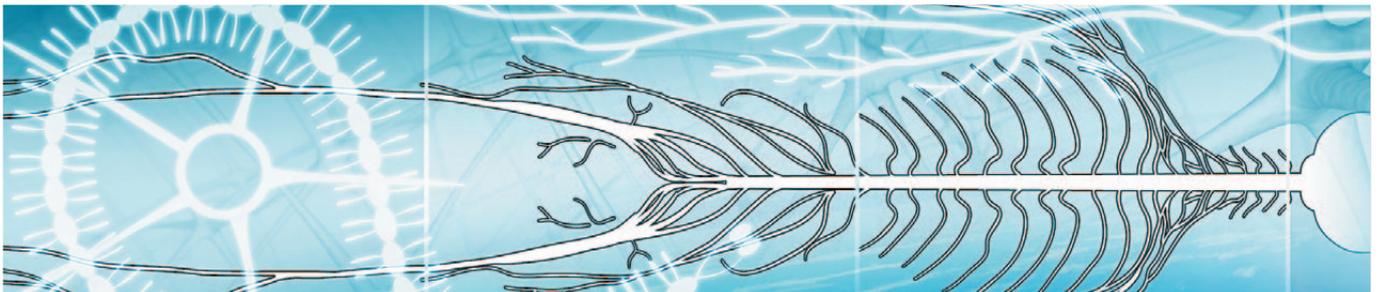


Percepção e Sensibilidade nos Seres Vivos

Jeferson de Souza Cavalcante
Judney Cley Cavalcante
Juliana Espada Lichston



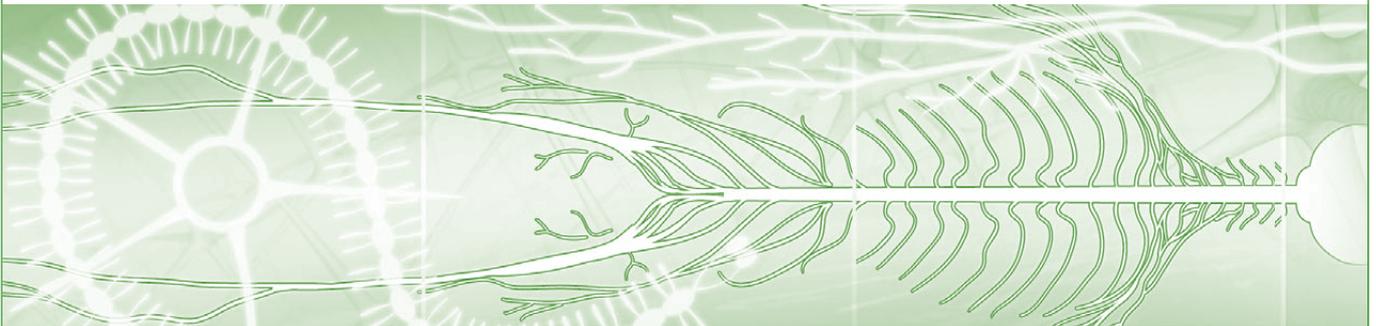
Percepção e Sensibilidade nos Seres Vivos

Jeferson de Souza Cavalcante
Judney Cley Cavalcante
Juliana Espada Lichston

Biologia

Percepção e Sensibilidade nos Seres Vivos

2ª Edição



EDUFRN
Editora da UFRN

Natal – RN, 2011

Governo Federal

Presidenta da República

Dilma Vana Rousseff

Vice-Presidente da República

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Ministro da Educação

Fernando Haddad

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Reitora

Ângela Maria Paiva Cruz

Vice-Reitora

Maria de Fátima Freire Melo Ximenes

Secretaria de Educação a Distância (SEDIS)

Secretária de Educação a Distância

Maria Carmem Freire Diógenes Rêgo

Secretária Adjunta de Educação a Distância

Eugênia Maria Dantas

FICHA TÉCNICA

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO DE MATERIAIS DIDÁTICOS

Marcos Aurélio Felipe

GESTÃO DE PRODUÇÃO DE MATERIAIS

Luciana Melo de Lacerda

Rosilene Alves de Paiva

PROJETO GRÁFICO

Ivana Lima

REVISÃO DE MATERIAIS

Revisão de Estrutura e Linguagem

Eugenio Tavares Borges

Janio Gustavo Barbosa

Jeremias Alves de Araújo

Kaline Sampaio de Araújo

Luciane Almeida Mascarenhas de Andrade

Thalyta Mabel Nobre Barbosa

Revisão de Língua Portuguesa

Camila Maria Gomes

Cristinara Ferreira dos Santos

Emanuelle Pereira de Lima Diniz

Janaina Tomaz Capistrano

Priscila Xavier de Macedo

Rhena Raize Peixoto de Lima

Revisão das Normas da ABNT

Verônica Pinheiro da Silva

EDITORIAÇÃO DE MATERIAIS

Criação e edição de imagens

Adauto Harley

Anderson Gomes do Nascimento

Carolina Costa de Oliveira

Dickson de Oliveira Tavares

Leonardo dos Santos Feitoza

Roberto Luiz Batista de Lima

Rommel Figueiredo

Diagramação

Ana Paula Resende

Carolina Aires Mayer

Davi Jose di Giacomo Koshiyama

Elizabeth da Silva Ferreira

Ivana Lima

José Antonio Bezerra Junior

Rafael Marques Garcia

Módulo matemático

Joacy Guilherme de A. F. Filho

IMAGENS UTILIZADAS

Acervo da UFRN

www.depositphotos.com

www.morguefile.com

www.sxc.hu

Encyclopædia Britannica, Inc.

Catálogo da publicação na fonte. Bibliotecária Verônica Pinheiro da Silva.

Cavalcante, Jeferson de Sousa.

Percepção e Sensibilidade nos Seres Vivos / Jeferson de Sousa Cavalcante, Judney Cley Cavalcante e Juliana Espada Lichston. – Natal: EDUFRN, 2011.

214p.: il.

ISBN: 978-85-7273-887-3

Disciplina ofertada ao curso de Biologia a Distância da UFRN.

1. Biologia. 2. Ambiente. 3. Plantas. 4. Seres vivos. I. Cavalcante, Judney Cley. II. Lichston, Juliana Espada. III. Título.

CDU 573
C376p

Sumário

Apresentação Institucional	5
Aula 1 Como sentir o ambiente ao seu redor	7
Aula 2 Enxergando o mundo (Visão)	33
Aula 3 Audição	51
Aula 4 Gustação e olfato	77
Aula 5 Quem sou eu? Uma questão de somestesia	101
Aula 6 Será as plantas se movem?	123
Aula 7 As plantas e sua relação com a gravidade	141
Aula 8 As respostas dos vegetais ao toque e às substâncias químicas	157
Aula 9 Dormência: mecanismo de sobrevivência dos vegetais	173
Aula 10 O contra-ataque dos vegetais	189

Apresentação Institucional

A Secretaria de Educação a Distância – SEDIS da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, desde 2005, vem atuando como fomentadora, no âmbito local, das Políticas Nacionais de Educação a Distância em parceria com a Secretaria de Educação a Distância – SEED, o Ministério da Educação – MEC e a Universidade Aberta do Brasil – UAB/CAPES. Duas linhas de atuação têm caracterizado o esforço em EaD desta instituição: a primeira está voltada para a Formação Continuada de Professores do Ensino Básico, sendo implementados cursos de licenciatura e pós-graduação *lato e stricto sensu*; a segunda volta-se para a Formação de Gestores Públicos, através da oferta de bacharelados e especializações em Administração Pública e Administração Pública Municipal.

Para dar suporte à oferta dos cursos de EaD, a Sedis tem disponibilizado um conjunto de meios didáticos e pedagógicos, dentre os quais se destacam os materiais impressos que são elaborados por disciplinas, utilizando linguagem e projeto gráfico para atender às necessidades de um aluno que aprende a distância. O conteúdo é elaborado por profissionais qualificados e que têm experiência relevante na área, com o apoio de uma equipe multidisciplinar. O material impresso é a referência primária para o aluno, sendo indicadas outras mídias, como videoaulas, livros, textos, filmes, videoconferências, materiais digitais e interativos e webconferências, que possibilitam ampliar os conteúdos e a interação entre os sujeitos do processo de aprendizagem.

Assim, a UFRN através da SEDIS se integra o grupo de instituições que assumiram o desafio de contribuir com a formação desse “capital” humano e incorporou a EaD como modalidade capaz de superar as barreiras espaciais e políticas que tornaram cada vez mais seletivo o acesso à graduação e à pós-graduação no Brasil. No Rio Grande do Norte, a UFRN está presente em polos presenciais de apoio localizados nas mais diferentes regiões, ofertando cursos de graduação, aperfeiçoamento, especialização e mestrado, interiorizando e tornando o Ensino Superior uma realidade que contribui para diminuir as diferenças regionais e o conhecimento uma possibilidade concreta para o desenvolvimento local.

Nesse sentido, este material que você recebe é resultado de um investimento intelectual e econômico assumido por diversas instituições que se comprometeram com a Educação e com a reversão da seletividade do espaço quanto ao acesso e ao consumo do saber E REFLETE O COMPROMISSO DA SEDIS/UFRN COM A EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA como modalidade estratégica para a melhoria dos indicadores educacionais no RN e no Brasil.

**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA
SEDIS/UFRN**

Como sentir o ambiente ao seu redor

Aula

1



Apresentação

Se adaptar ao meio ambiente é fundamental para o sucesso da sobrevivência dos animais e para isso o animal precisa interagir de forma contínua e dinâmica com esse ambiente. Portanto, o reino animal desenvolveu uma diversidade de sistemas sensoriais capazes de detectar mudanças e informações necessárias para uma melhor resposta do organismo. Nesta disciplina, você vai aprender muito da sensibilidade e percepção dos seres vivos em geral. Nesta primeira aula, abordaremos as propriedades fisiológicas dos receptores sensoriais, que são células especializadas em “sentir” o ambiente.

Objetivos

- 1** Conceituar sistema sensorial.
- 2** Identificar as propriedades físicas e fisiológicas dos receptores sensoriais.
- 3** Descrever como o sistema nervoso entende a “linguagem” dos receptores sensoriais.





Transdução

Codificação

Transdução

Codificação

Transdução

Codificação

Importância da sensibilidade

Imagine uma situação de “fuga e luta” entre uma presa e um predador (Figura 1). Quem sairia vencendo?



Figura 1 – A eterna luta entre presa e predador

Fonte: <http://www.lasnieves.edu.ar/blog.php?blog_name=primero_gestion_a>. Acesso em: 70 abr. 2011.

Nem sempre o predador vence e nem sempre a presa é vencida. O vitorioso dessa luta, que acontece desde os primeiros resquícios de vida na terra, depende muito da capacidade de interação que esses animais têm com o meio ambiente. E essa interação vai depender muito dos sistemas sensoriais desses animais, ou podemos dizer, dos sentidos que apresentam. A detecção das mudanças do meio ambiente e o processamento dessa informação são fundamentais para a geração de uma resposta do organismo, pois juntos formam a atividade e o comportamento animal.

Sistemas sensoriais

Quando pensamos em sistemas sensoriais, geralmente idealizamos órgãos especializados em detectar informações do meio, por exemplo: o olho, a orelha, o nariz e a boca. Realmente esses são órgãos especializados, isto é, são formados por muitas células sensoriais especializadas em detecção do meio. Porém, é necessário que se saiba que também existem células simples espalhadas por diversas partes do corpo e que conseguem detectar diversas informações sensoriais importantes.

Mesmo os sistemas sensoriais complexos podem ser utilizados de forma diferente dependendo do estilo de vida animal. O sistema auditivo é um bom exemplo disso. O ser humano usa o sistema auditivo basicamente para ouvir sons e melhor interagir na sua comunicação. Já uma coruja consegue usar sons para localizar presas.



Figura 2 – Utilização do sistema auditivo

Os sistemas sensoriais são capazes de efetuar quatro funções fundamentais no processo da recepção sensorial, são elas: (1) receber o sinal; (2) transduzir o sinal; (3) transmitir o sinal e (4) perceber o sinal. Como isso acontece?

As células sensoriais, ou melhor, os **receptores sensoriais**, são capazes de ser despolarizados por um tipo específico de energia (veremos isso mais adiante). Esse tipo específico pode ser um estímulo físico ou químico. Isso gera uma alteração no potencial de membrana e isso é chamado de **recepção sensorial**. Já essa alteração no potencial de membrana é chamada de potencial receptor. Muitas vezes, esse potencial receptor caminha pela célula até a região em que há canais iônicos e a partir daí começam a ser gerados os potenciais de ação (retome as aulas da disciplina Coordenação da Vida), que são a linguagem que o sistema nervoso entende.

Na maioria das vezes, esse potencial de ação é gerado na própria célula receptora; outras vezes, isso depende de um circuitaria, como no caso da retina. A transformação da energia específica em potencial de ação é denominada **transmissão** do sinal. Quando essa salva de potenciais de ação atinge o cérebro ou estrutura equivalente, dependendo do nível de complexidade do animal, atinge-se, portanto, a **percepção** do estímulo, fechando assim o ciclo sensorial.



Tipos de receptores sensoriais

Os receptores sensoriais podem ser classificados de acordo com a localização ou modalidade do estímulo. Com relação à localização, podemos classificá-los em telerreceptores, exteroceptores e interoceptores. Vejamos cada um deles.

- **Telerreceptores:** são receptores que detectam estímulos que acontecem a certa distância do corpo, como exemplo: visão e audição.
- **Exteroceptores:** conseguem detectar estímulos localizados fora do corpo, como pressão e temperatura.
- **Interoceptores:** detectam estímulos localizados dentro do corpo, como a pressão e oxigenação do sangue.

Com relação à modalidade do estímulo, os receptores podem ser classificados em **mecanorreceptores, quimiorreceptores, receptores eletromagnéticos, termorreceptores e nocirreceptores**. Vejamos cada um deles:

- **Mecanorreceptores:** são células capazes de detectar estímulos mecânicos físicos, como pressão, tato, movimento e frequência de onda (audição). Geralmente eles são canais iônicos ligados a células externas, como o pelo, ou estruturas celulares internas, como o citoesqueleto. O dobramento ou alongamento, bem como a pressão nesses receptores, muda a permeabilidade dos canais iônicos, despolarizando ou hiperpolarizando o receptor. O sistema somestésico de tato da maioria dos mamíferos, bem como o sistema auditivo, é basicamente formado por mecanorreceptores (Figura 3). O do tato depende da pressão, já o auditivo, do movimento das suas células ciliadas.

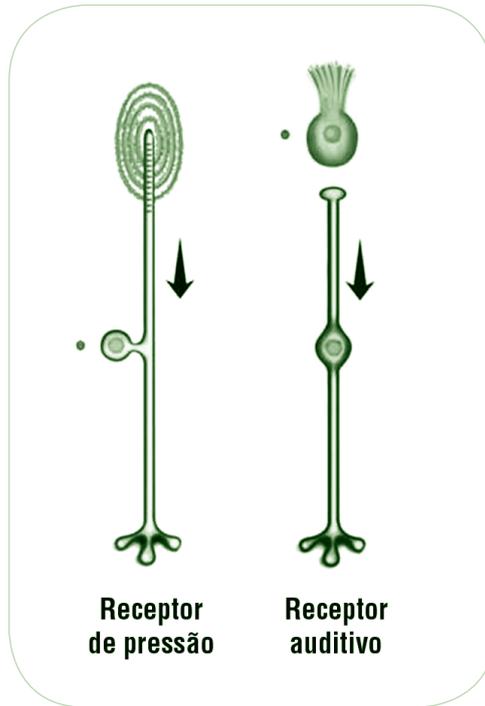


Figura 3 – Receptores mecânicos (mecanorreceptores)

Adaptado de: Modificado de Lent (2010).

- **Quimiorreceptores:** são receptores sensoriais que conseguem captar certas moléculas e a concentração de alguns solutos químicos. O melhor exemplo para eles é o olfato, o paladar (Figura 4) e os osmorreceptores presentes no cérebro de mamíferos.

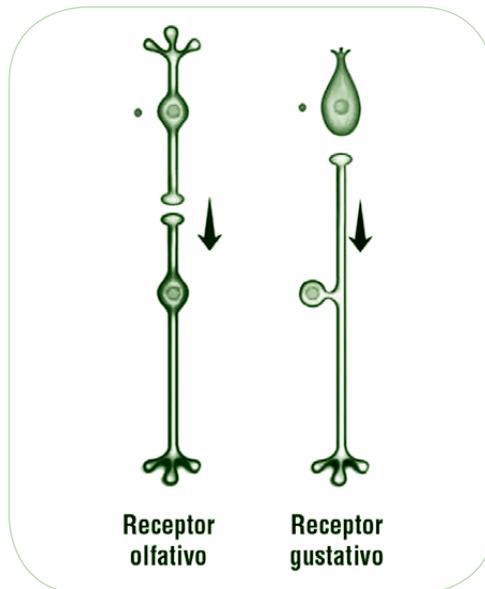


Figura 4 – Receptores químicos (quimiorreceptores)

Adaptado de: Modificado de Lent (2010).

- **Receptores eletromagnéticos:** detectam luz, eletricidade e magnetismo. Os mais conhecidos são os fotorreceptores da retina (Figura 5). Geralmente essas células são encontradas em estruturas especializadas chamadas de olhos. Mas também podemos encontrar receptores de infravermelho em cobras, especializados em detectar presas, e alguns tipos de peixes também podem utilizar eletrorreceptores para detectar objetos e presas.

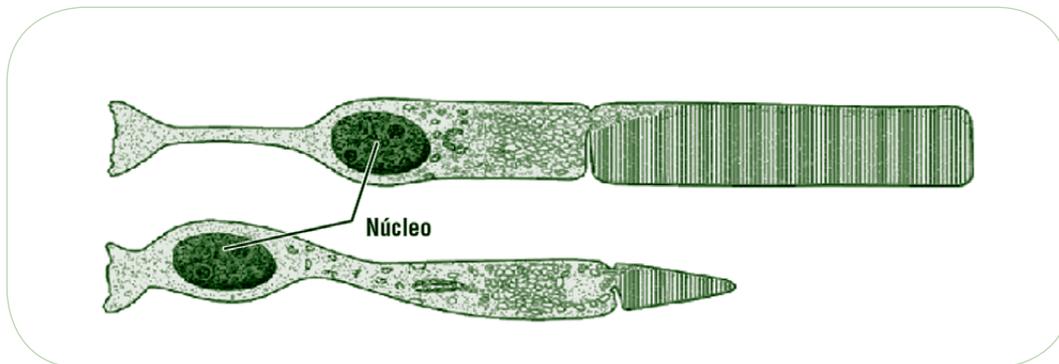


Figura 5 – Fotorreceptores da retina de mamíferos

Fonte: <http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/sentido-vista.html?x=20070417kpcnavid_181. Kes&ap=1>. Acesso em: 12 abr. 2011.

- **Termorreceptores:** como o próprio nome diz, são responsáveis por detectar frio ou calor. Estão localizados na pele e enviam sinais para o hipotálamo (retome as aulas da disciplina de Coordenação da Vida), que é responsável por manter a temperatura dentro do limite homeostático. Os mamíferos apresentam uma série de receptores para temperatura dentro de faixas bem definidas. Geralmente essas células termorreceptoras são terminações nervosas livres.
- **Nocirreceptores:** são receptores de dor, portanto são fundamentais para a sobrevivência do animal, já que dor é um estímulo que faz com que o animal se proteja de um fenômeno nocivo.

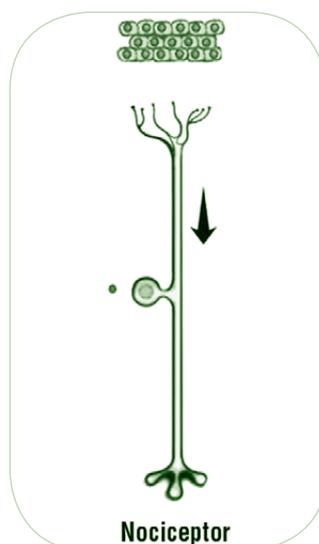


Figura 6 – Terminação nervosa livre especializada em sentir dor

Adaptado de: Modificado de Lent (2010).



Atividade

2

1

Quais das cinco categorias de receptores sensoriais podem ser classificadas como telerreceptores?

2

Qual é a importância dos interoceptores para a manutenção da homeostase animal?

3

Discuta a importância da dor para a sobrevivência do animal.

4

Cite cinco exemplos de quimiorreceptores existentes no seu corpo.

Propriedades fisiológicas dos receptores sensoriais

Um receptor sensorial, seja qual for ele, tem de informar para o sistema nervoso central basicamente quatro características importantes de um estímulo: (1) **o que** é esse estímulo, (2) **onde** ele se localiza, (3) **por quanto** tempo dura e (4) **o quanto** ele é intenso. Para isso, ele tem de apresentar umas propriedades fisiológicas essenciais.

Primeiro vamos entender como essas células especializadas conseguem informar “**o quê?**”. Essa propriedade tem a ver com a especificidade e modalidade de um determinado estímulo. Portanto, essas células despolarizam em resposta a energias específicas. Um fotorreceptor da retina só vai ser despolarizado por luz, nunca por som. E dentre os fotorreceptores, eles ainda apresentam submodalidades específicas.

O Quadro 1 resume bem as especificidades dos sistemas sensoriais. Mas como o sistema nervoso central interpretaria isso? Aproximadamente há 150 anos, Johandes Müller propôs que diferentes tipos de nervos partiriam de órgãos sensoriais específicos, como o ouvido e o olho, em direção ao cérebro, e que cada um desses nervos levaria uma energia específica, por exemplo: o nervo que sai do olho levaria energia luminosa e o nervo que sai do ouvido, frequência de onda. Essa é a **lei das energias nervosas específicas** de Müller.

Modalidade	Submodalidade	Estímulo	Órgão Receptor	Tipo Funcional	Tipo Morfológico
VISÃO	Cor Movimento Forma	Luz	Olho	Fotorreceptor	Cones e Bastonetes
AUDIÇÃO	Tons altos e baixos	Mecânico	Ouvido	Mecanoceptor Auditivo	Células Ciliadas da Cóclea
SOMESTESIA	Tato	Mecânico	-	Macanoceptor	Células Raiz Dorsal
	Temperatura	Calor e Frio	-	Termoceptor	Células Raiz Dorsal
	Dor	Mecânico Térmico Químico	-	Nociceceptor	Células Raiz Dorsal
	Propriocepção	Movimentos e posição estática do corpo	Fuso muscular e órgão tendinoso	Macanoceptor	Células Raiz Dorsal
OLFATO	?	Químico	Nariz	Quimioceptor	Mucosa Olfatória
PALADAR	Doce Azedo Salgado Amargo Umami	Químico	Boca	Quimioceptor	Papilas Gustativas

Quadro 1 – Especificidade dos receptores sensoriais

É interessante frisar aqui que apesar de toda essa especificidade ao estímulo adequado, alguns receptores podem apresentar respostas a outros estímulos não considerados adequados. Por exemplo, um fotorreceptor da retina quando estimulado com pressão, geralmente quando você aperta seu olho com a mão, provoca a visão de luzes, concorda? E ainda existem os receptores polimodais. Os mais conhecidos em humanos são os nociceptores, que respondem a estímulos fortes de diversos tipos: temperatura, pressão, químicos, entre outros.

Com relação à pergunta “quanto?”, um receptor tem de fazer o sistema nervoso entender a intensidade de um estímulo. Como essa célula especializada (o receptor) pode fazer isso? Bom, vamos começar com uma pergunta. Qual é a linguagem que o sistema nervoso entende? Lembra-se das aulas iniciais da disciplina Coordenação da Vida? Exatamente, frequência de potenciais de ação. Portanto, o receptor tem de ter a capacidade de gerar frequências variadas de potenciais de ação. Quando um receptor é estimulado, ele gera um potencial chamado de potencial gerador ou receptor (**transdução**). Esse potencial vai atingir locais na célula onde se abrem canais de sódio dependentes de voltagem, e então serão gerados potenciais de ação (**codificação**), como pode ser observado na Figura 7.

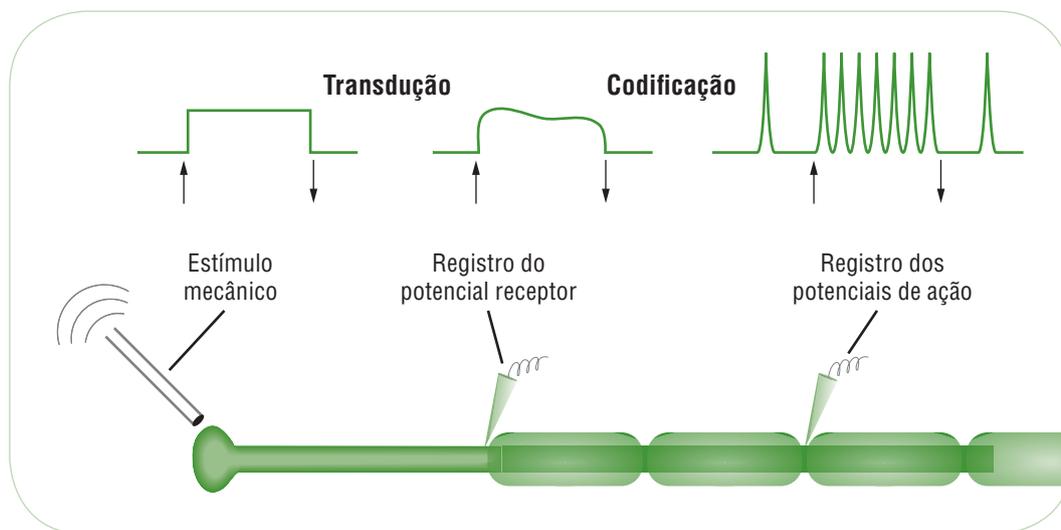


Figura 7 – Célula estimulada gerando potenciais

Adaptado de: Modificado de Lent (2010).

Note no gráfico a seguir (Figura 8) que à medida que o estímulo aumenta de intensidade, o potencial receptor aumenta sua amplitude e conseqüentemente a frequência de potenciais de ação também aumenta. Dessa forma, podemos resumir que quanto maior a intensidade de um estímulo, maior será a amplitude do seu potencial receptor e maior será a frequência dos potenciais de ação.

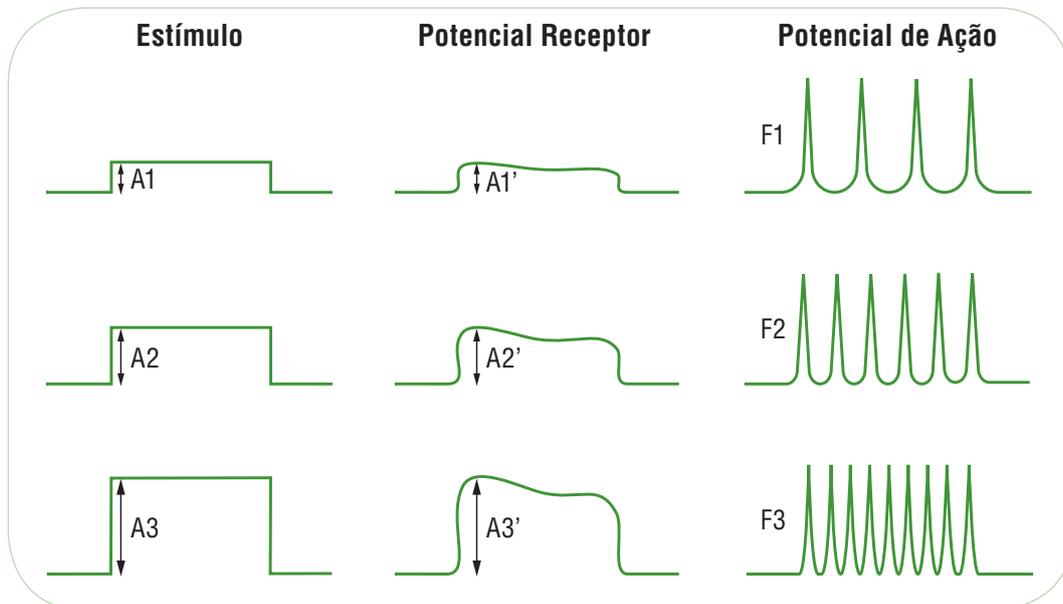


Figura 8 – Codificação da intensidade de um estímulo pelo receptor sensorial

Adaptado de: Modificado de Lent (2010).

Já com relação à pergunta “**por quanto?**”, fica mais fácil ainda nós entendermos isso. Enquanto houver estímulo haverá geração de potencial receptor e conseqüentemente geração de potenciais de ação (Figura 9).

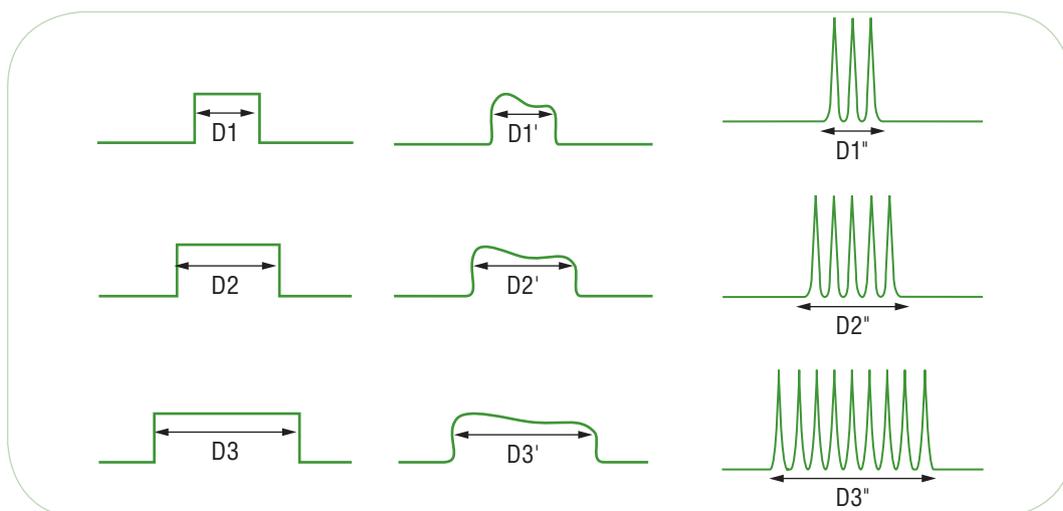


Figura 9 – Codificação de duração de um estímulo pelo receptor sensorial

Adaptado de: Modificado de Lent (2010).

A pergunta “**onde?**”, que diz respeito à localização espacial, é uma especialidade de uma característica muito interessante dessas células, o campo receptivo. Mas a tarefa de codificar a localização do estímulo varia entre os receptores. Alguns sistemas sensoriais codificam essa localização através do próprio local onde o receptor se encontra no corpo. A via que esse receptor estimula é específica para determinada resposta física (Figura 10).

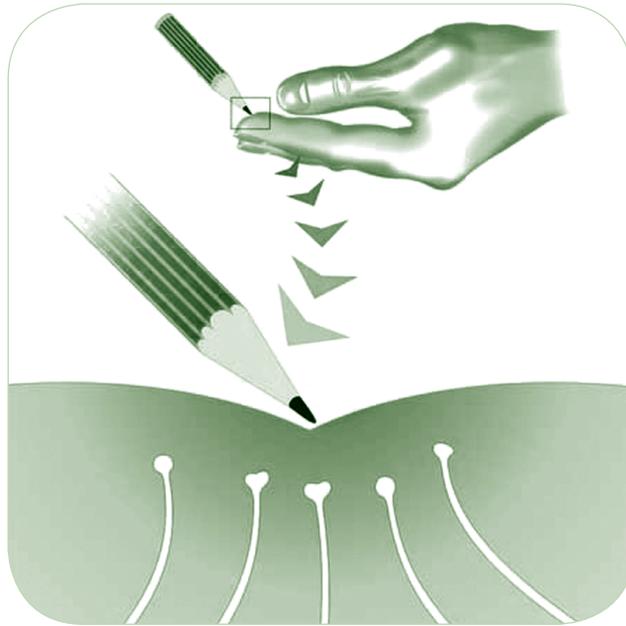


Figura 10 – Estimulação de via específica

Fonte: Modificado de Lent (2010).

Com relação ao campo receptivo, vamos explicar utilizando o exemplo da sensibilidade sinestésica de tato. O **campo receptivo** é uma área do corpo que quando tocada estimula o receptor. Espalhados pelo nosso corpo existem receptores com campos receptivos pequenos (Figura 11a) e grandes (Figura 11b). Receptores com campos receptivos grandes detectam estímulo numa área maior do que os receptores com campos receptivos pequenos. Dessa forma, os receptores de campos receptivos menores fornecem uma maior acuidade. Tomando como exemplo os humanos, fica claro que nós apresentamos mais sensibilidade ao tato na ponta dos dedos das mãos do que nas costas. Portanto, observa-se que os campos receptivos dos receptores dos dedos das mãos de humanos são bem menores do que os campos receptivos dos receptores das costas.

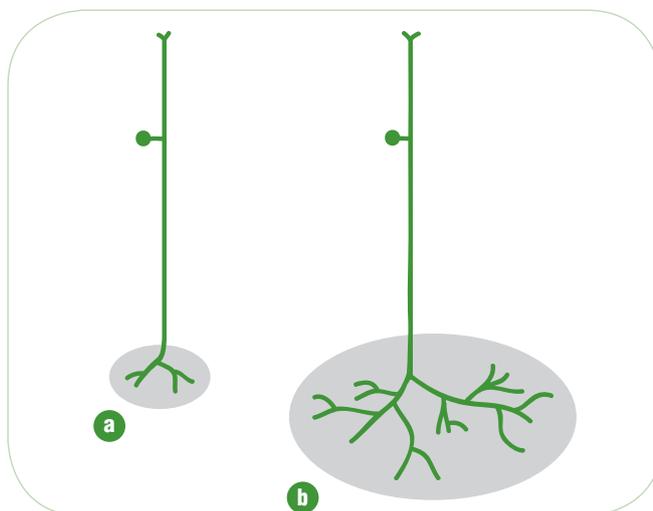


Figura 11 – Campos receptivos de receptores sensoriais

Adaptado de: Modificado de Widmaier e Eric (2006).

Além desse fenômeno, existe ainda um mecanismo de integração sináptica chamado de **inibição lateral** que ajuda na localização de um estímulo. O exemplo mostrado na Figura 12 mostra como esse fenômeno acontece. Um estímulo fraco aplicado nos campos receptivos dos neurônios A, B e C, faz com que cada neurônio libere uma pequena quantidade de neurotransmissor sobre os neurônios de segunda ordem, estimulando dessa forma todos os três neurônios de segunda ordem. Por outro lado, um estímulo muito forte, como a ponta de um alfinete, no neurônio B faz com que ele libere uma quantidade muito maior de neurotransmissor. Note que vai sempre ocorrer uma deformação na pele, que faz com que os neurônios A e C também sofram estimulação. A forte estimulação sobre o neurônio B faz com que ocorra uma estimulação em neurônios laterais e, por sua vez, estes neurônios liberam neurotransmissor inibitório sobre as vias A e C, inibindo assim a passagem de informação lateralmente.

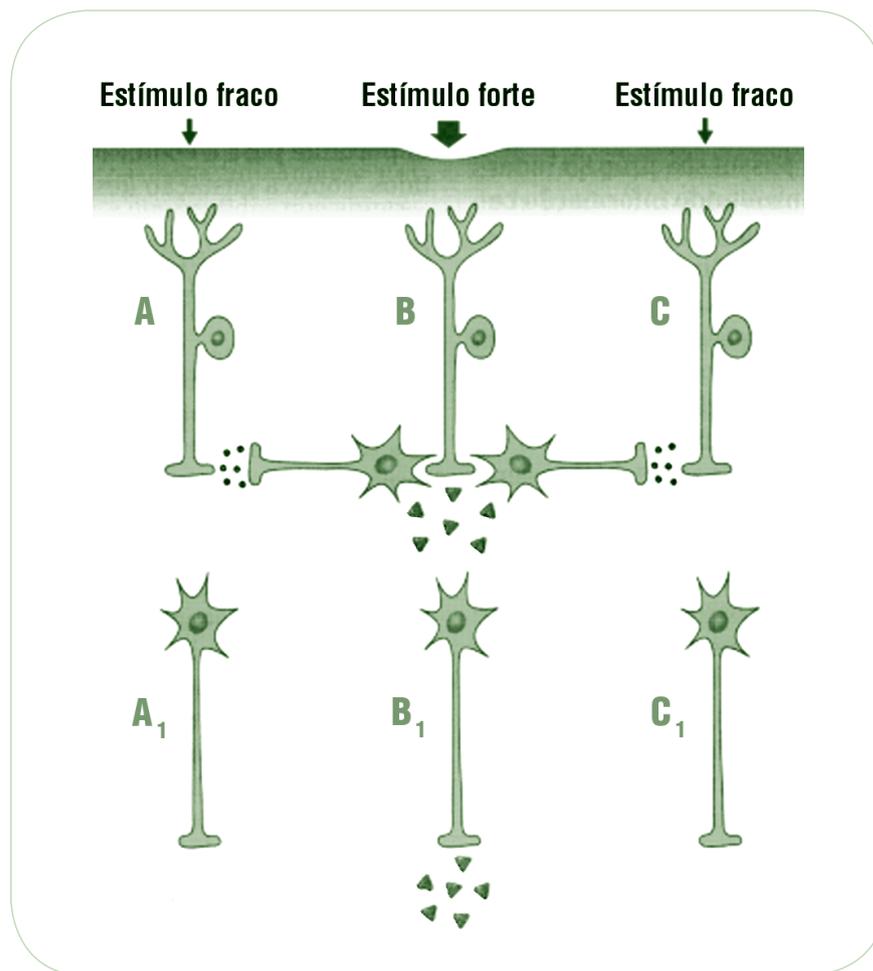


Figura 12 – Inibição lateral

Fonte: Modificado de Moyes (2010).

3

Explique detalhadamente, utilizando exemplo, como um receptor sensorial consegue codificar variação de intensidade para o sistema nervoso.

4

Qual é a diferença física entre potencial gerador e potencial de ação?

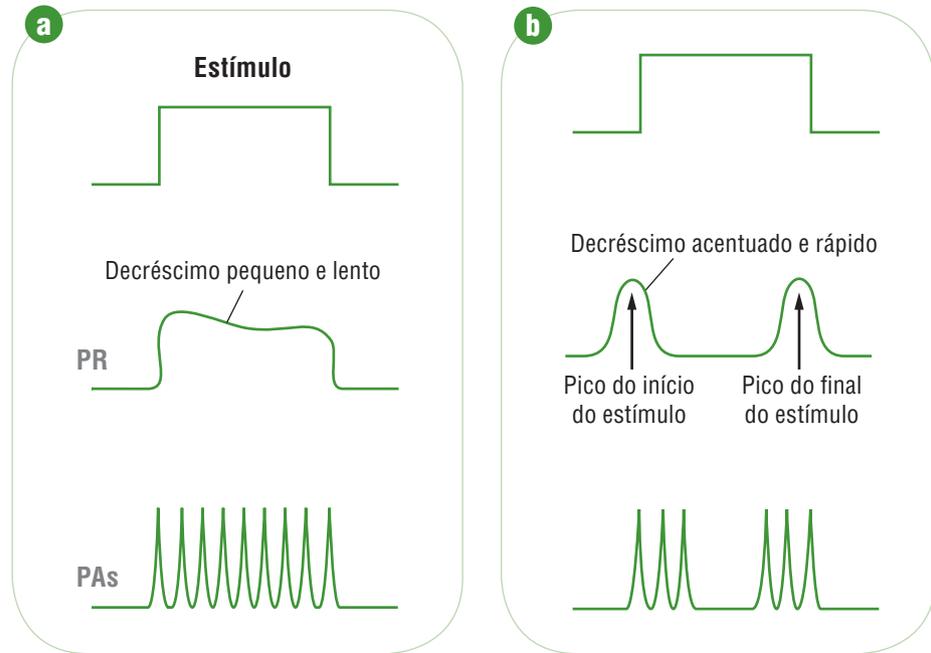


Figura 13 – Adaptação dos receptores

Adaptado de: Modificado de Lent (2010).



Atividade

4

1

Qual é a importância da existência de receptores tônicos e fásicos para a adaptação do animal ao meio ambiente?



Autoavaliação

- 1 Qual é a importância da sensibilidade para a sobrevivência do organismo?
- 2 Dê exemplos de neurônios e células epiteliais especializadas em captação de informações ambientais.
- 3 Por que a variação de frequência de potencial de ação é importante para a recepção sensorial?
- 4 Qual é a importância funcional da existência de receptores de adaptação rápida e lenta?

Referências

CAMPBELL N. A. et al. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios da fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: ArtMed 2010.

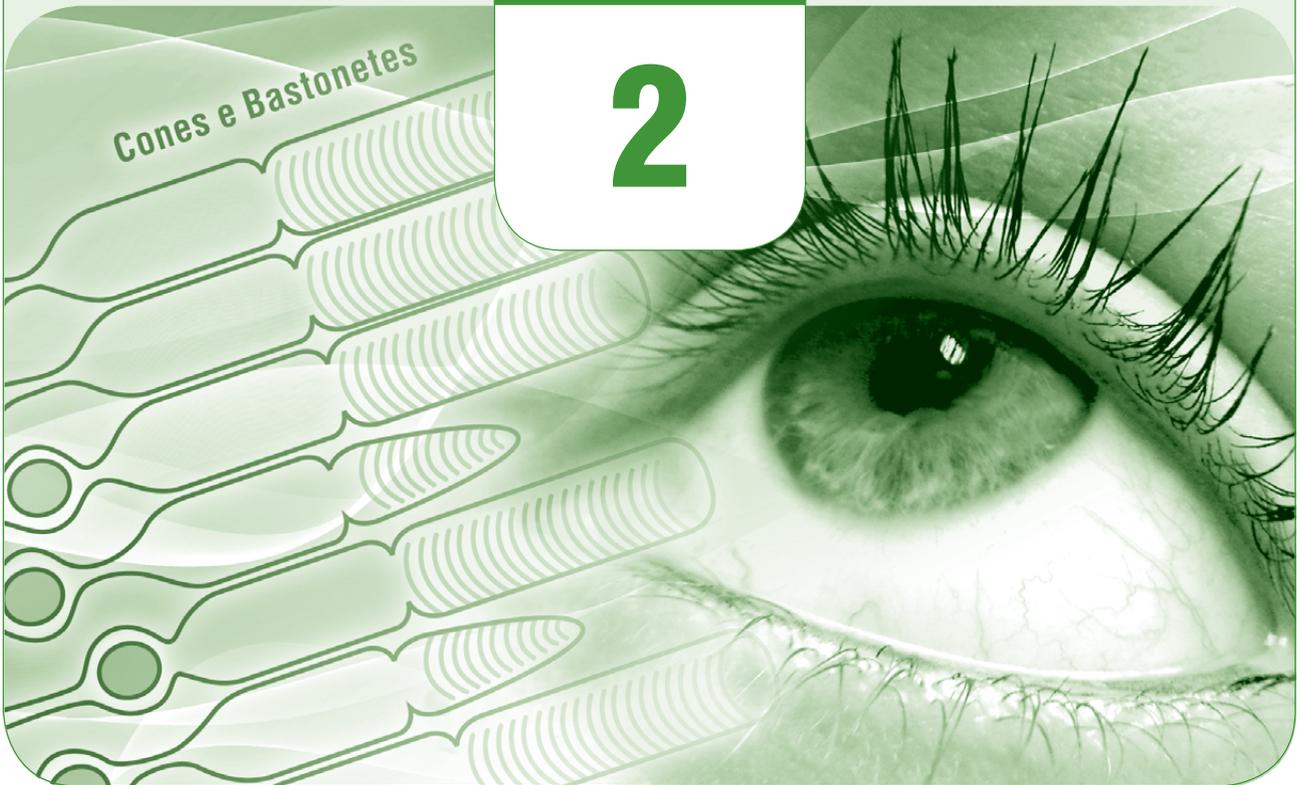
WIDMAIER, E. P.; RAFF, H.; STRANG, K. T. **Fisiologia humana**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Enxergando o mundo (Visão)

Aula

2

Cones e Bastonetes

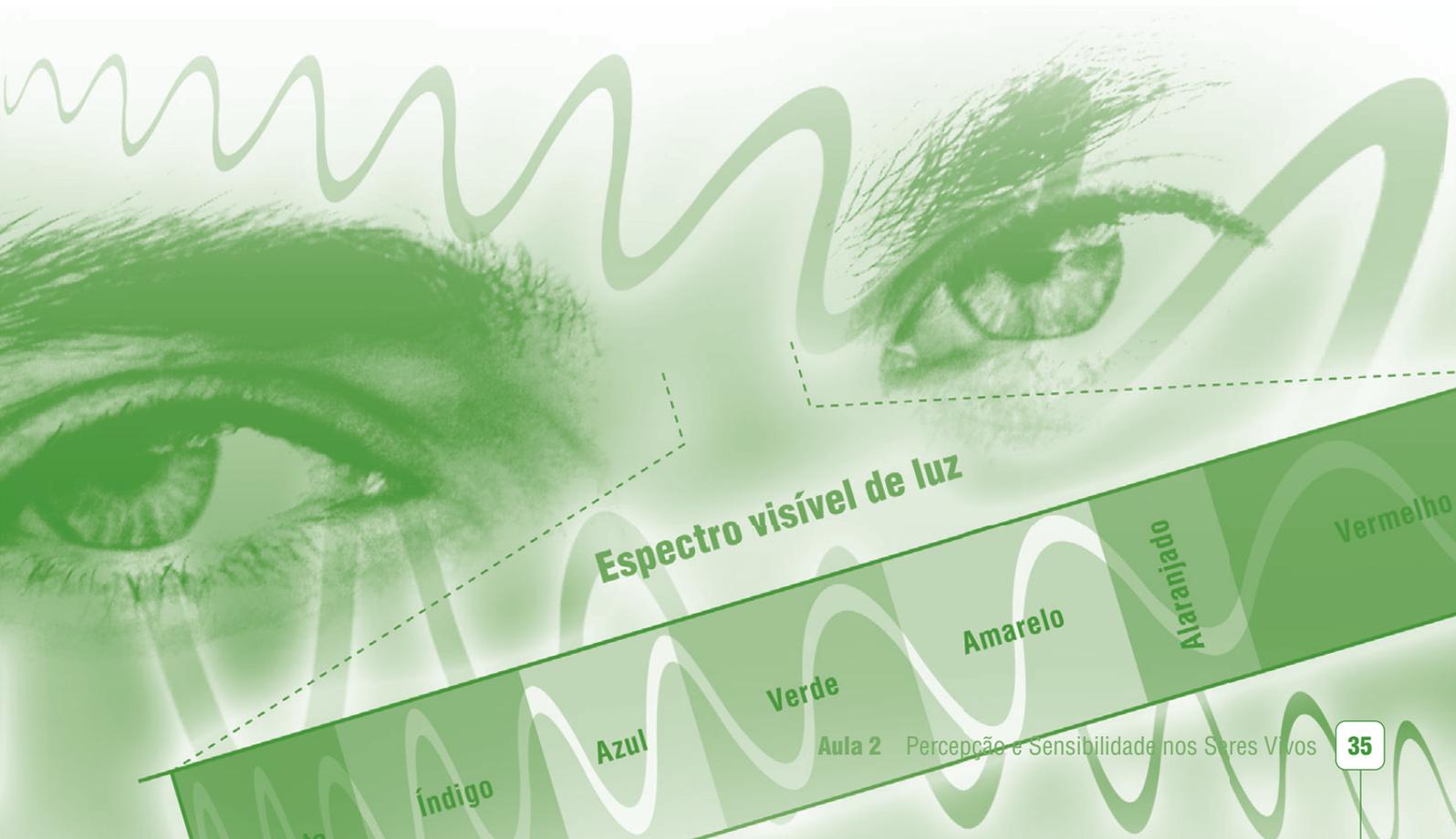


Apresentação

A luz solar tem sido um fator seletivo importante para a evolução na terra desde a sua formação. A maioria dos organismos é capaz de detectar energia luminosa, seja através de células isoladas e especializadas ou por meio de órgãos extremamente complexos que conseguem captar a luz. Essa capacidade de captar fótons se chama fotorrecepção. A visão é um sentido fundamental para muitos animais, principalmente os vertebrados. A grande maioria deles é capaz de responder a estímulos luminosos. Nesta aula, entenderemos como as células especializadas que captam energia luminosa evoluíram até formar estruturas complexas que desencadeiam a percepção luminosa nos animais.

Objetivos

- 1** Conceituar fotorrecepção.
- 2** Descrever os diversos tipos de estruturas visuais nos animais.
- 3** Identificar as estruturas funcionais do olho dos vertebrados.





O que é fotorrecepção?

Para início de conversa, é preciso saber o que é fotorrecepção. Você saberia defini-la?

A fotorrecepção é a capacidade de detectar partes do espectro eletromagnético entre o ultravioleta e o infravermelho. Nesta faixa, os comprimentos de onda vão de 300 nm até 1000 nm (Figura 1).

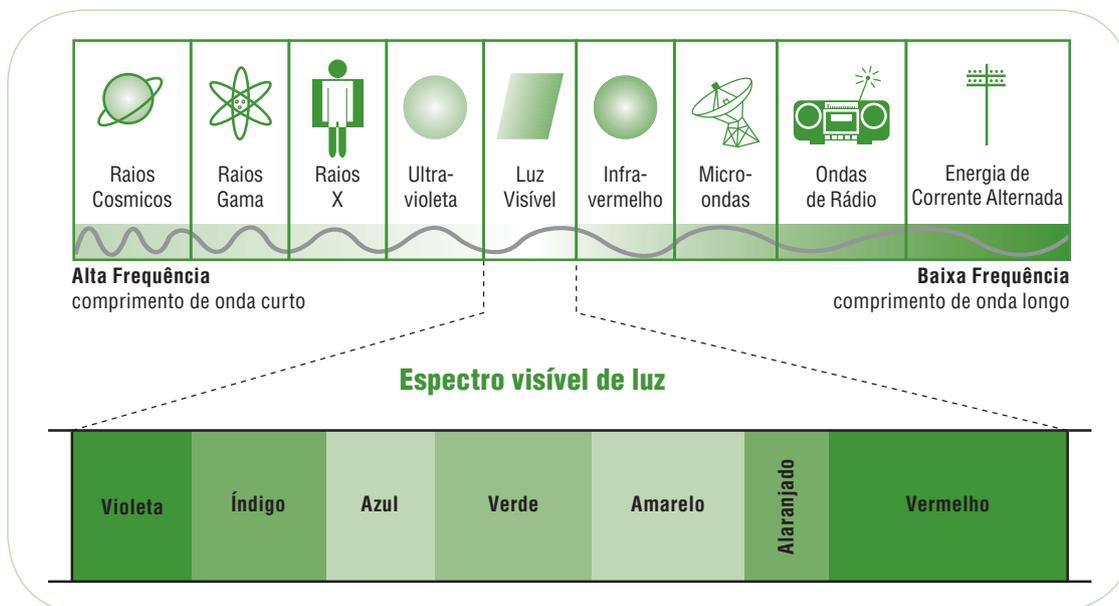


Figura 1 – Espectro visível de luz

Essa capacidade varia entre as diversas espécies de animais. O homem, por exemplo, consegue captar entre a faixa de 350 a 750 nm. Essa faixa estreita de detecção é uma prova de que os animais evoluíram a partir do ambiente aquático. Essa luz visível representa a luz visível que se propaga na água, os outros comprimentos de onda são bloqueados neste meio.

As células capazes de detectar o comprimento de luz que representa essa faixa luminosa são chamadas de fotorreceptores (veja a Aula 1 – **Como sentir o ambiente ao seu redor** – desta disciplina).

Fotorreceptores

As células fotorreceptoras apresentam uma variação na complexidade entre as espécies de animais. Os dois principais tipos de células fotorreceptoras são os **fotorreceptores ciliados** e os **fotorreceptores rdoméricos** ou **com microvilosidades**.

Os fotorreceptores ciliados são formados por um cílio que emerge de uma célula. Esse cílio possui uma membrana ciliar altamente dobrada formando lamelas ou discos que contêm os fotopigmentos, que são moléculas especializadas em absorção do espectro luminoso.

Os fotorreceptores rabdoméricos (ou com microvilosidades) na superfície apical dessas células contêm fotopigmentos e apresentam muitas expansões chamadas de microvilosidades. Não se pode dizer que um tipo de célula é mais evoluída do que outra. A sua disposição na escala filogenética é bastante confusa.

A seguir, trataremos da fotorrecepção dos invertebrados e posteriormente dos vertebrados.

A fotorrecepção dos invertebrados

A maioria dos invertebrados possui algum tipo de estrutura capaz de detectar luz. Uma dessas estruturas mais simples seriam os ocelos. Os ocelos são células individuais que possuem um pigmento fotossensível. As planárias são animais que possuem ocelos, muitas vezes chamados de manchas ocelares. A luz que incide na planária estimula os fotorreceptores através de uma única abertura onde não há células pigmentadas. Se você observar bem a Figura 2 verá que a abertura de um ocelo está direcionada para a esquerda e o outro ocelo para a direita, a luz que incide sobre um lado da planária estimula apenas aquele lado. Os gânglios cerebrais da planária comparam a taxa de potências de ação de um lado e de outro e gera movimentos para diminuir a taxa de estimulação das células fotorreceptoras. Desse modo, a planária tende a se afastar da luz.

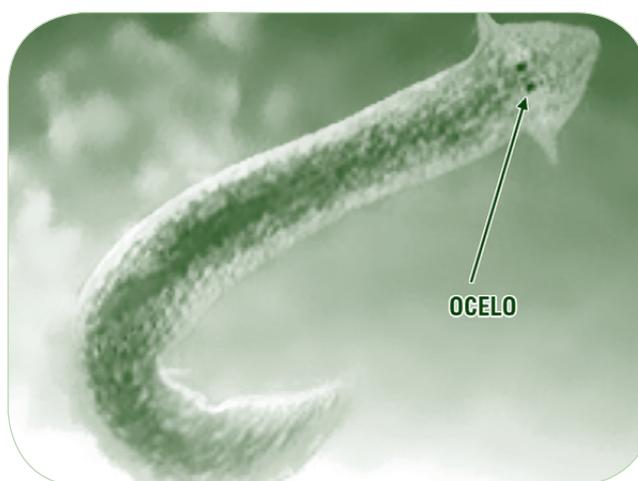


Figura 2 – Planária e seus ocelos

Fonte: <sobiologia.com.br>. Acesso em: 6 maio 2011.

Mas, como já enfatizamos, os ocelos são estruturas simples. Um olho é a estrutura visual da maioria dos animais, é uma estrutura mais complexa e consegue obter mais informações do estímulo luminoso incidente. Geralmente, elas são compostas por grupos de células especializadas em diferentes funções, apresentando quase sempre células fotorreceptoras e pigmentadas separadas.

Os dois principais tipos de olhos que são capazes de formar imagens surgiram nos invertebrados. São eles: **olhos compostos** e **olhos com lentes únicas**.

Os olhos compostos são encontrados em insetos e crustáceos e em alguns vermes poliquetas (Figura 3).

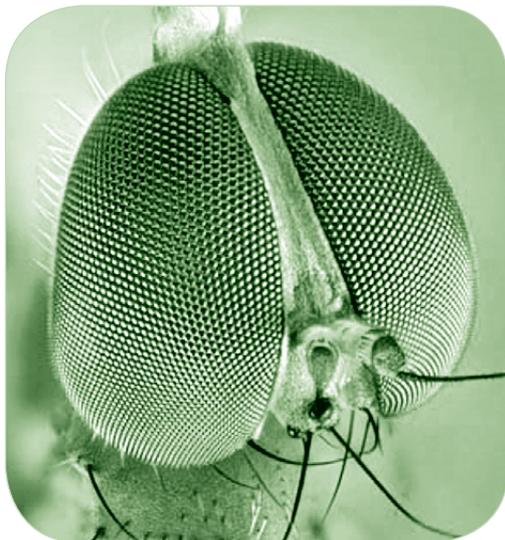


Figura 3 – Olhos compostos de um inseto

Fonte: <<http://diariodebiologia.com/tag/olhos-compostos/>>. Acesso em: 6 maio 2011.

Um olho composto é formado por milhares de detectores de luz que são chamados de omatídeos. Esse tipo de olho é muito eficiente na detecção de movimento, o que é superimportante para insetos voadores. Os insetos possuem uma excelente visão de cores, e algumas abelhas conseguem enxergar até ultravioleta.

Já o outro tipo de olho, o olho de lente única, é encontrado em medusas, poliquetas, moluscos e aranhas (Figura 4).

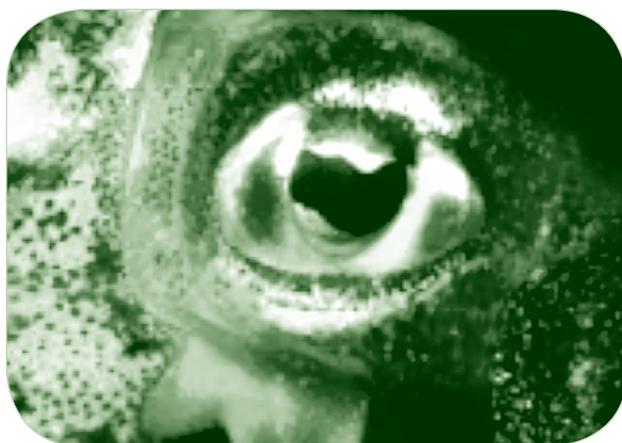


Figura 4 – Olho de uma lula (lente única)

Fonte: <360graus.terra.com.br>. Acesso em: 6 maio 2011.

Gosta-se muito de comparar esse tipo de olho com uma câmera, eles possuem uma pequena abertura, chamada de pupila, por onde a luz entra. A íris, que é uma abertura ajustável, contrai e dilata a pupila fazendo com que a quantidade de luz que entra varie. Então, exatamente como uma câmera fotográfica, o olho de lente única dos invertebrados se movimenta para frente e para traz para focar os objetos.



Atividade

1

1

O que são fotorreceptores?

2

Quais os principais tipos de receptores? Existem vantagens e desvantagens entre os dois tipos? Justifique.

3

Por que se acredita que o sistema visual dos animais evoluiu a partir dos animais aquáticos?

4

O que são ocelos? Como eles funcionam?

5

Quais são as diferenças entre os dois tipos de olhos mais encontrados nos vertebrados?

A fotorrecepção dos vertebrados

O sistema visual dos vertebrados é bem amplo. Envolve tanto o olho como também diversas estruturas encefálicas que estão envolvidas no processamento de imagem. Está claro que o olho é apenas o primeiro estágio da visão, o cérebro é que forma a imagem.

Todas as células fotorreceptoras dos vertebrados são ciliares. Nos mamíferos elas podem ser divididas em duas classes funcionais: **cones** e **bastonetes** (Figura 5).

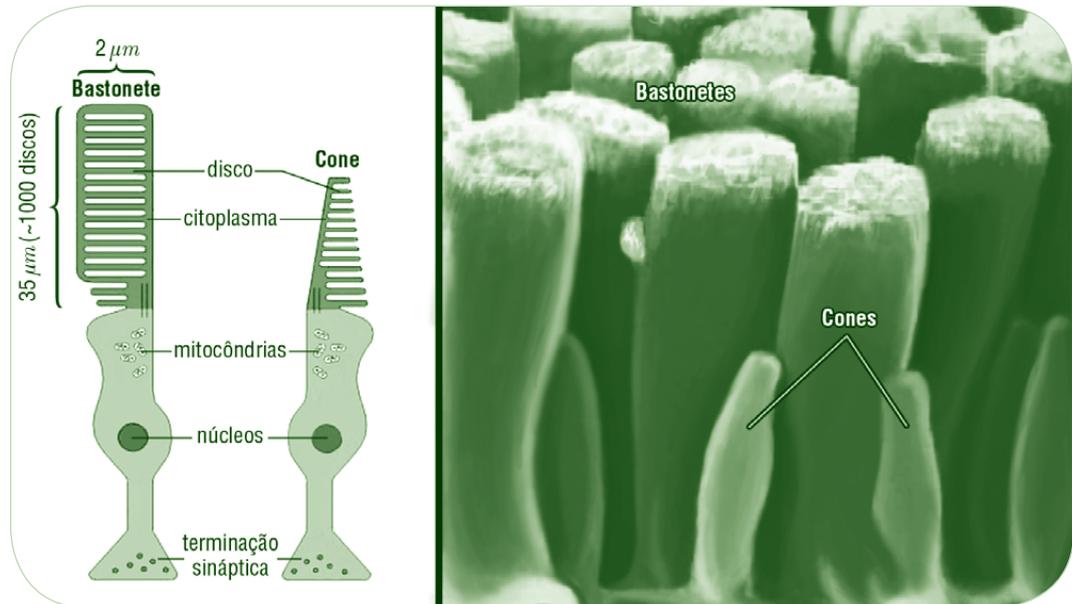


Figura 5 – Fotorreceptores de vertebrados (cones e bastonetes)

Fontes: <olhohuma.no.sapo.pt>; <lookfordiagnosis.com>. Acesso em: 6 maio 2011.

Essas células apresentam segmento externo formado por uma série de discos membranosos onde estão localizados os fotopigmentos. Possuem núcleo e na outra extremidade fazem conexão sináptica com outras células. Existem diferenças funcionais importantes entre essas duas células. Os bastonetes são mais sensíveis à luz, mas não conseguem diferenciar cores, portanto, são utilizados para visão noturna. Por isso, à noite, enxergamos em tons de cinza.

Os cones proporcionam a visão colorida e são mais utilizados na visão com muita luminosidade. Existem basicamente três tipos de cones (vermelho, verde e azul), cada um específico para um determinado comprimento de onda. O número dessas células e a proporção entre elas dependem do animal em questão. Animais noturnos contêm muito mais bastonetes do que cones. A maioria dos peixes, anfíbios, répteis e aves possuem visão colorida, portanto, possuem mais cones. Dentre os mamíferos, os humanos e outros primatas também enxergam colorido, mas é minoria.

Tantos os cones como os bastonetes possuem pigmentos que absorvem luz, geralmente, chamada de retinal (derivado da vitamina A). Esse pigmento se liga a uma proteína de membrana chamada **opsina**. A combinação da opsina com o retinal forma o pigmento visual que chamamos de **rodopsina**. A absorção da luz por esse pigmento altera a ligação do retinal, modificando a sua conformação molecular. Depois dessa mudança de conformação, a transdução do sinal fecha os canais de sódio. Já no escuro, os canais de sódio ficam abertos. Portanto, a luz hiperpolariza as células fotorreceptoras.



Atividade

2

1

Realize o seguinte experimento: tape um dos olhos com uma mão e foque um objeto que se encontra distante de você. Depois, tape o outro o olho e foque o mesmo objeto. Qual foi o resultado? Baseado neste resultado, defina o que é olho dominante.

2

Quais são as diferenças funcionais entre os cones e bastonetes?

3

Explique, com base em seu conhecimento sobre fotorreceptores, o porquê da frase: a noite todos os gatos são pardos.

4

Considerando que a luz provoca uma hiperpolarização nos fotorreceptores, como eles se encontram em estado de repouso?

O sistema visual dos vertebrados

O sistema visual de vertebrados é formado pelo olho, uma estrutura especializada que contém os fotorreceptores responsáveis pela captação da luz e diversas estruturas subcorticais e corticais, lembre que o olho é apenas o primeiro estágio da visão, quem realmente enxerga é o cérebro. Vamos começar a entender a morfologia do olho.

O olho dos vertebrados (Figura 6) tem forma de globo, esse globo é chamado de **esclera**, que é a superfície branca. A camada mais externa, que é fina e pigmentada, é chamada de **coroide**. Na frente do olho, a esclera deixa de ser branca e fica transparente, essa região é formada de **córnea**. Ela permite a entrada de luz no olho, na verdade, é uma lente. Na mesma região do olho, a coroide forma a **íris**, que dá a coloração do olho. A íris pode mudar de tamanho e dessa forma controla a quantidade de luz que entra pela **pupila**, que é a abertura no centro da íris. No interior da coroide, aparece a **retina**, camada mais interna do globo ocular, formada por vários tipos de neurônios dispostos em camadas, constituindo uma complexa circuitaria.

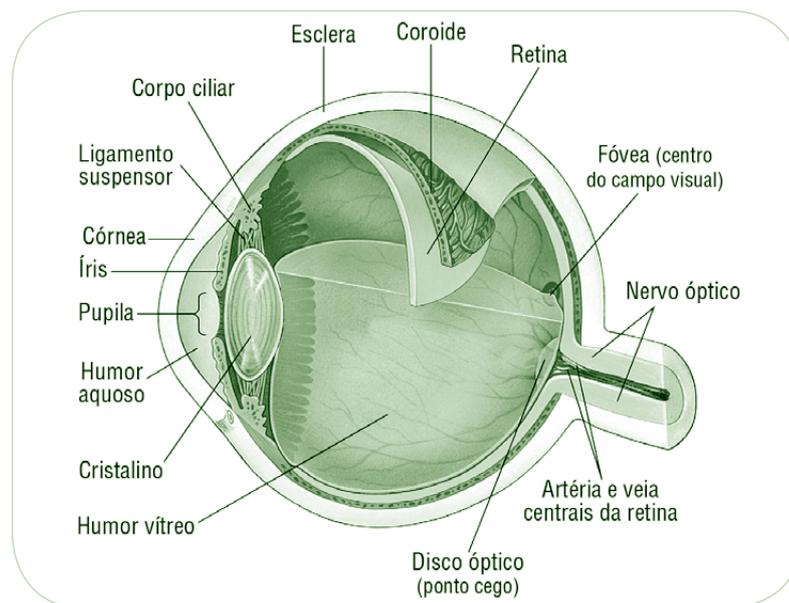


Figura 6 – Fotorreceptores de vertebrados (cones e bastonetes)

Fonte: Campbell et al (2010).

A informação luminosa captada pelos receptores da retina sai pelo nervo óptico, formado pelos axônios das células ganglionares da retina. Como nesta região da saída não existem fotorreceptores, ela é chamada de **disco óptico** ou **ponto cego**. O **crystalino** e o **corpo ciliar** dividem o olho em duas cavidades, uma anterior e uma posterior, que se localiza atrás do cristalino e é bem maior que a primeira. O corpo ciliar produz um líquido transparente chamado de **humor aquoso**, que preenche toda a cavidade anterior. A cavidade posterior é preenchida pelo **humor vítreo** e constitui a maior parte do volume do olho. A maioria dos peixes e moluscos focalizam a imagem movimentando o cristalino para frente e para trás. Os mamíferos, inclusive os humanos, focalizam as imagens modificando a forma do cristalino.

A retina é a camada mais interna do olho, é formada por várias subcamadas compostas por tipos de células morfologicamente e fisiologicamente diferenciadas (Figura 7). O processamento da informação visual inicia-se na retina. Lá os cones e os bastonetes fazem sinapse com as **células bipolares**. No escuro as células, os fotorreceptores são despolarizados e liberam neurotransmissor. Algumas células bipolares despolarizam e outras hiperpolarizam. Ainda existem mais três tipos de células na retina, as **células ganglionares**, que geram potencial de ação e formam o nervo óptico levando a informação luminosa para o cérebro. As células **horizontais** e **amácrinas**, que atuam em vias neurais e modulam a informação que vai para o cérebro. Por causa dessa disposição celular em camadas, a luz precisa passar por várias camadas de células antes de chegar aos fotorreceptores. A intensidade da luz não é reduzida, pois esses neurônios são transparentes.

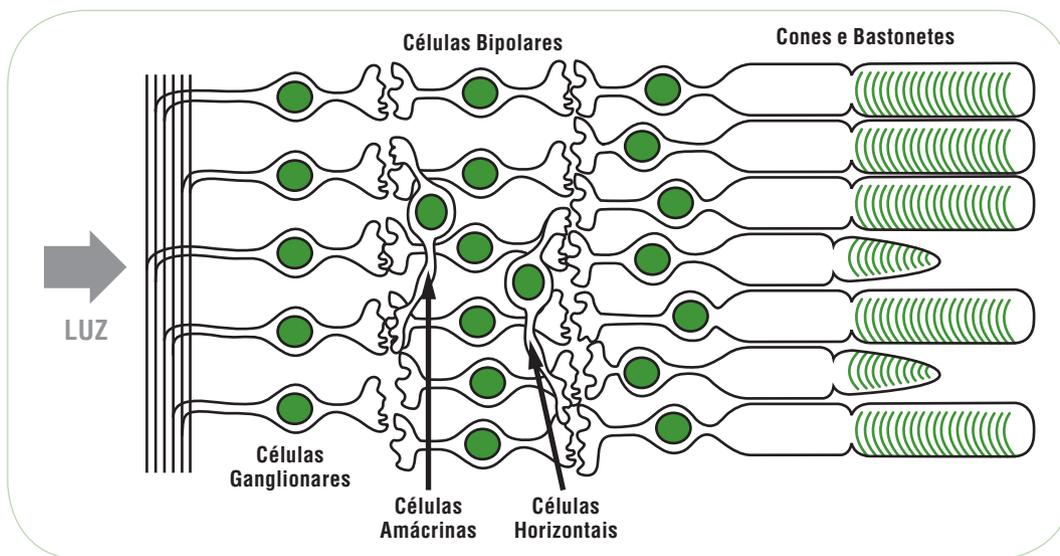


Figura 7 – Camadas da retina

Adaptado de: <<http://spie.org/x32352.xml>>. Acesso em: 13 maio 2011.

Após “entrar” no cérebro, os axônios das células ganglionares que formam o nervo óptico cruzam no **quiasma óptico** formando, assim, o tracto óptico, que chega ao **núcleo geniculado lateral** do tálamo, principal estação visual subtalâmica, fazem sinapse com as células deste núcleo e de lá seguem em direção ao **córtex visual primário** (Figura 8). A partir daí, outros neurônios levam essa informação para centros secundários de processamento visual que integram informações sensoriais e formam a percepção.

A informação do campo visual chega ao córtex visual e esse converte uma complexa frequência de potenciais de ação que representam imagens bidimensionais focadas na retina para uma percepção tridimensional. Portanto, a visão é uma complexa ligação entre diversas estruturas do sistema nervoso do animal.

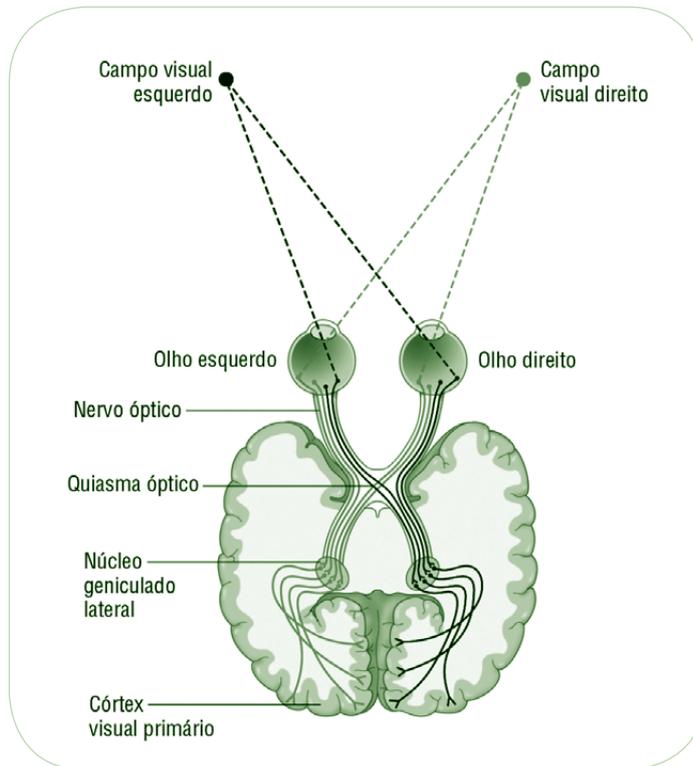


Figura 8 – Fotorreceptores de vertebrados (cones e bastonetes)

Fonte: Campbell et al (2010).

Atividade 3

- 1** Realize o seguinte experimento: acenda uma lanterna pequena e passe o fecho de luz a 5 cm de distância do seu olho. Observe o que acontece. Qual é a estrutura envolvida e qual é o papel desse fenômeno?

2

Realize o seguinte experimento: pegue uma caneta, coloque a 40 cm de distância e aproxime do seu rosto vagarosamente. Observe o que ocorre e explique o fenômeno com relação ao funcionamento do olho humano.

3

Por que a disposição das camadas da retina de vertebrados não atrapalha na passagem de informação fóptica aos fotorreceptores?

4

Cite as principais células que formam a retina e quais as funções de cada uma no processamento visual.

5

Onde a imagem visual é realmente formada? Justifique sua resposta.

6

Qual é a importância do cristalino para a formação da imagem?



Leituras complementares

Para melhor compreender a fisiologia do sistema visual, sugerimos o seguinte sítio:
<<http://www.afh.bio.br/sentidos/sentidos1.asp>>

Para melhor entender a anatomia do olho, consulte o sítio a seguir:
<<http://www.laboratoriorigor.com.br/anatomia.html>>



Resumo

Nesta aula, você estudou como o sistema visual dos animais apresenta uma variação zoológica que se reflete desde os fotorreceptores até as estruturas mais complexas responsáveis pela visão. Viu que as diversas formas de olho apresentam um funcionamento diferenciado que permite às diversas espécies de animais responder de forma variada ao ambiente.

Autoavaliação

- 1 Por que o sistema visual é tão variado entre as diversas classes de animais?
- 2 Descreva a via visual de um vertebrado, desde o receptor até o córtex visual primário.
- 3 Quais são os componentes do olho humano? Qual é a função de cada um.
- 4 Onde a imagem é formada? Justifique a sua resposta.

Referências

CAMPBELL N. A. et al. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios da fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: ArtMed 2010.

Audição

Aula

3



Apresentação

A capacidade de perceber sons é muito importante para a maioria dos animais. Pode ser um sentido utilizado para proteção, predação, localização e até mesmo para comportamentos bem mais complexos, como a linguagem entre indivíduos da mesma espécie ou espécies diferentes. No dia a dia, nós conseguimos detectar sons que nos alertam (buzina de um carro ao atravessar uma rua), sons que nos ameaçam (latido de um cachorro agressivo), sons que nos acalmam (uma boa música) e sons que nos alegram (a voz de um amigo). Portanto, entender como essas frequências de ondas podem ajudar aos animais na sua adaptação ao meio ambiente é importante na nossa disciplina.

Objetivos

- 1** Definir o que é sistema auditivo.
- 2** Definir e caracterizar os componentes do sistema auditivo nos animais vertebrados e invertebrados.
- 3** Compreender como o som é detectado pelo sistema nervoso.





CICLO 3

3 Hz

t(s)

1s / 3 Ciclos



Ondas sonoras

Sons são variações na pressão do ar que conseguem ser detectadas pelos receptores auditivos do sistema nervoso. Todas as coisas que conseguem mover moléculas de ar podem gerar som, isso inclui as cordas vocais da laringe humana, a vibração de uma corda de violão ou o “pipocar” dos fogos de artifício na virada do ano (Figura 1).



Figura 1 – Produção de sons pelas cordas vocais e objetos

Fonte: <<http://www.lookfordiagnosis.com/images.php?term=Cordas+Vocais&lang=3&from3=48>> Acesso em: 20 maio 2011.

Quando um objeto se move, um trecho do ar é comprimido, aumentando assim a densidade das moléculas. De maneira recíproca, o ar fica rarefeito (menos denso) quando o objeto se afasta. Quando falamos de frequência de som, queremos dizer que é o número de trechos de ar comprimido ou rarefeito que passam pelo nosso ouvido a cada segundo. A frequência do som, se expressa em unidades chamadas hertz (Hz), é o número de ciclos por segundo (Figura 2). Um ciclo de som é a distância entre trechos comprimidos sucessivos.

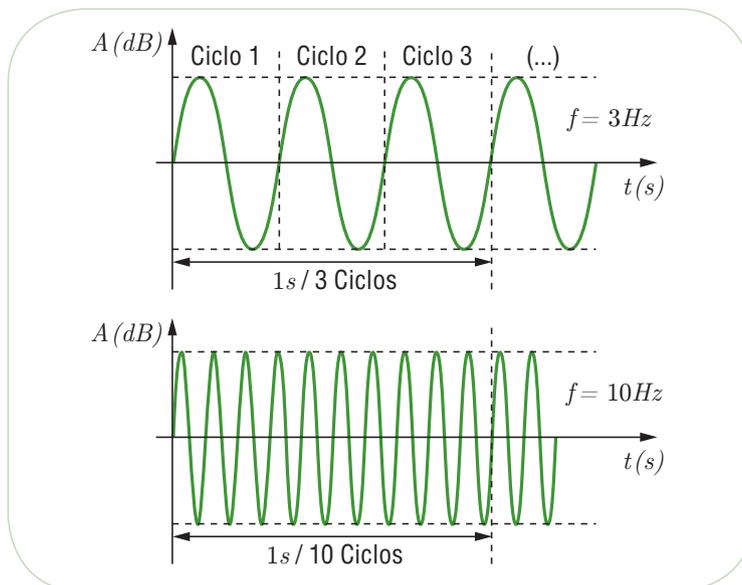


Figura 2 – Frequências de ondas

Fonte: <http://www.musicaadoracao.com.br/tecnicos/matematica/matematica_musica/cap3.htm> Acesso em: 20 maio 2011.

O sistema auditivo humano pode detectar sons de 20 até 20.000 *Hz*. Já com relação aos tons, podemos dizer que os sons podem ser classificados em agudos ou graves. Essa definição é determinada pela frequência. A intensidade de um som determina o volume que nós percebemos: sons altos ou de maior volume têm maiores intensidades.



Atividade

1

1

Realize o seguinte experimento: Usando qualquer objeto em sua casa, tente produzir sons agudos e graves e estabeleça mapas tonográficos nos objetos.

2

Descreva a importância, no seu ponto de vista, da capacidade de captar sons pelos animais para a adaptação ao meio ambiente.

Sistema auditivo dos INVERTEBRADOS

Os insetos (como exemplo de invertebrados) apresentam uma diversidade enorme de sistemas auditivos. Muitos deles não apresentam órgãos especializados na detecção de sons. O tipo mais simples de sistema auditivo dessas espécies é denominado **senilas tricoides modificadas**.

As ondas sonoras fazem com que as senilas se curvem, enviando o sinal sonoro para células dentro do sistema nervoso. Essa estrutura não é muito sensível. Alguns insetos apresentam um órgão chamado de cordotonal modificado, denominado de **órgão subgenual**. Esse órgão consegue detectar vibrações presentes no solo ou na superfície da água. Em algumas espécies, o órgão subgenual consegue responder a ondas sonoras. Essa estrutura morfológica é encontrada em baratas, abelhas melíferas e guerrídeos aquáticos (Figura 3).



Figura 3 – Animais que utilizam o órgão subgenual

O órgão subgenual é localizado dentro da pata dos insetos, por isso as movimentações dos membros do animal fazem esse órgão vibrar. Isso faz com que um canal iônico mecanossensível se abra, os neurônios que estão dentro do órgão despolarizem e mandem o sinal para o sistema nervoso do animal.

Outro tipo de órgão sensorial auditivo nos insetos é uma estrutura chamada de órgão cordotonal modificado, também conhecido por **órgão de Johnston**. Esse órgão se localiza na antena de muitos insetos, como as mariposas e moscas-das-frutas. As antenas desses animais apresentam uma grande quantidade de pelos, os quais são curvados pelas ondas sonoras, fazendo com que haja um estiramento da membrana das células do órgão de Johnston, que proporciona a abertura de canais iônicos mecanossensíveis e gera potenciais de ação.

A estrutura auditiva mais sensível presente nos insetos recebe o nome de **órgão timpanal**. Esse órgão compreende uma membrana superdelicada chamada de tímpano. As ondas sonoras fazem essa membrana vibrar e isso faz com que se movimente o ar dentro do espaço aéreo, gerando potenciais de ação. Esse órgão é encontrado em muitas regiões do corpo dos insetos, incluindo patas, abdome, tórax e base das asas (Figura 4).



Figura 4 – Órgão timpantal de alguns insetos

Adaptado de: Modificado do Campbell et al (2010).



Atividade

2

1

Cite os diversos órgãos sensoriais auditivos nos insetos e descreva como ocorre a transdução de sinais nessas estruturas.

Sistema auditivo dos vertebrados

O sistema auditivo dos vertebrados é mais complexo e organizado. É formado por diversas estruturas anatômicas, que juntas, contribuem para a percepção dos sons em todos os seus estágios. Vejamos cada uma delas.

Receptores

Em vertebrados, as células receptoras do sistema auditivo são células epiteliais diferenciadas (mecanorreceptores). Essas células são denominadas de células ciliadas, pois possuem cílios (Figura 5). A maioria das células ciliadas possui um cílio longo, chamado de cinocílio, e outros cílios curtos, chamados de estereocílios.

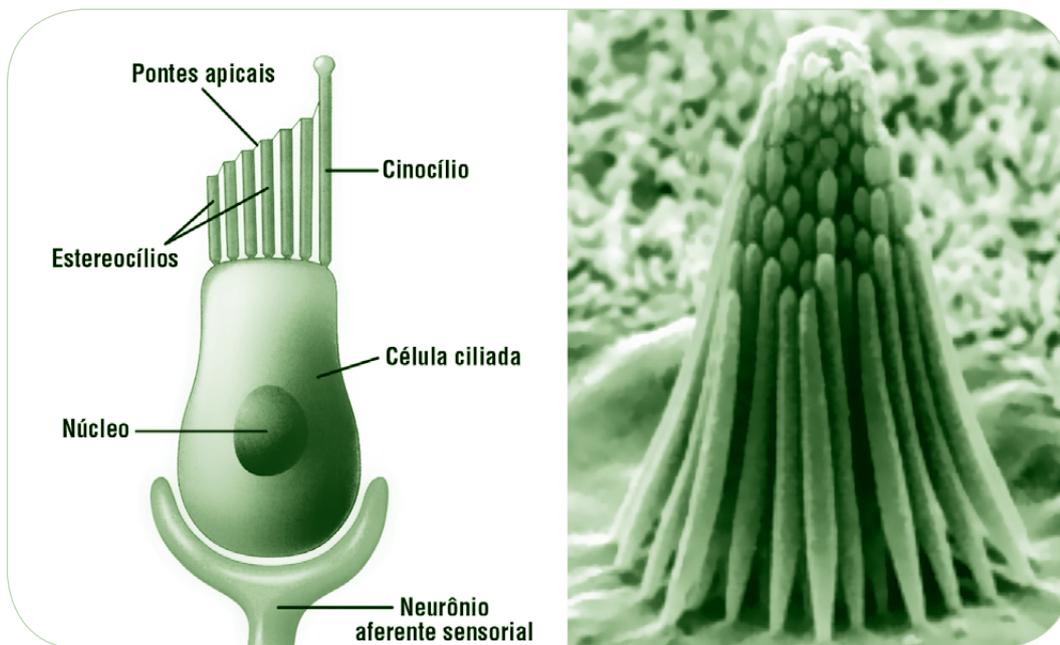


Figura 5 – Células ciliadas auditivas de um vertebrado

Fonte: Modificada do Moyes e Schulte (2006; CAMPBELL et al, 2010).

As células ciliadas dos mamíferos não apresentam cinocílio. Já os estereocílios possuem um papel crítico na transdução do sinal auditivo. Canais iônicos que estão localizados no ápice dos estereocílios são os responsáveis pela captação da informação sonora. No repouso, alguns desses canais se encontram abertos.

Quando um estímulo mecânico (sonoro) causa uma vibração nessa célula, os estereocílios se doblam. Se o movimento for em direção ao cinocílio, mais canais se abrem, permitindo a entrada de potássio, causando assim a despolarização da célula e, dessa forma, um aumento da frequência de potencial de ação.

Se o movimento dos estereocílios ocorrer na direção contrária, os canais serão fechados e, dessa forma, causará uma hiperpolarização da célula, o que diminuirá a frequência de potencial de ação (Figura 6).

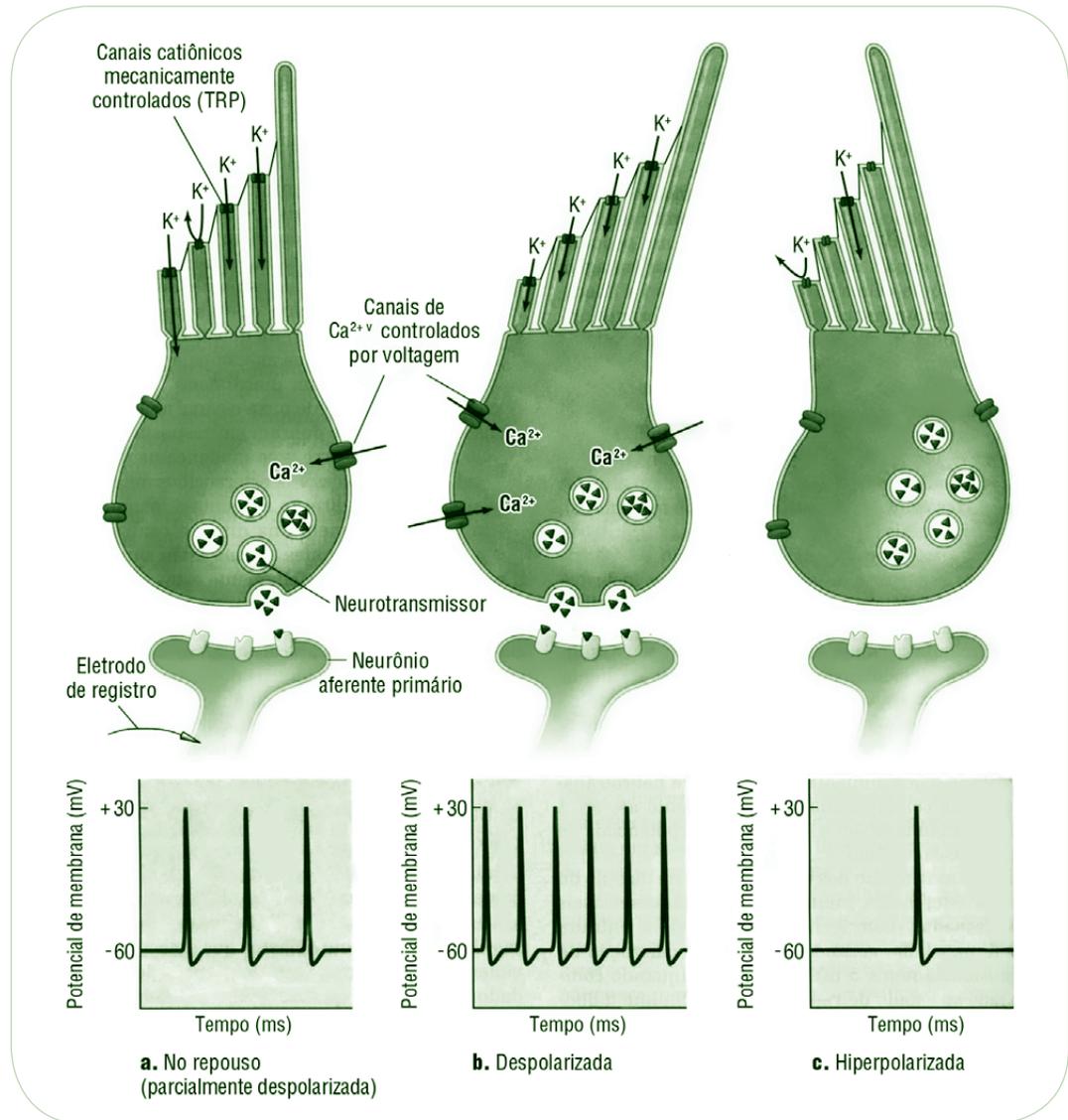


Figura 6 – Despolarização das células ciliadas

Fonte: Modificada do Moyes e Schulte (2010).

É dessa forma, portanto, que os sinais sonoros são traduzidos e codificados para o sistema nervoso.

Estrutura do sistema auditivo

Você certamente sabe o que é uma orelha (também conhecida como ouvido) e provavelmente já brincou com alguém sobre o tamanho dela. Vamos agora entender como essa estrutura anatômica ajuda na percepção auditiva (Figura 7).

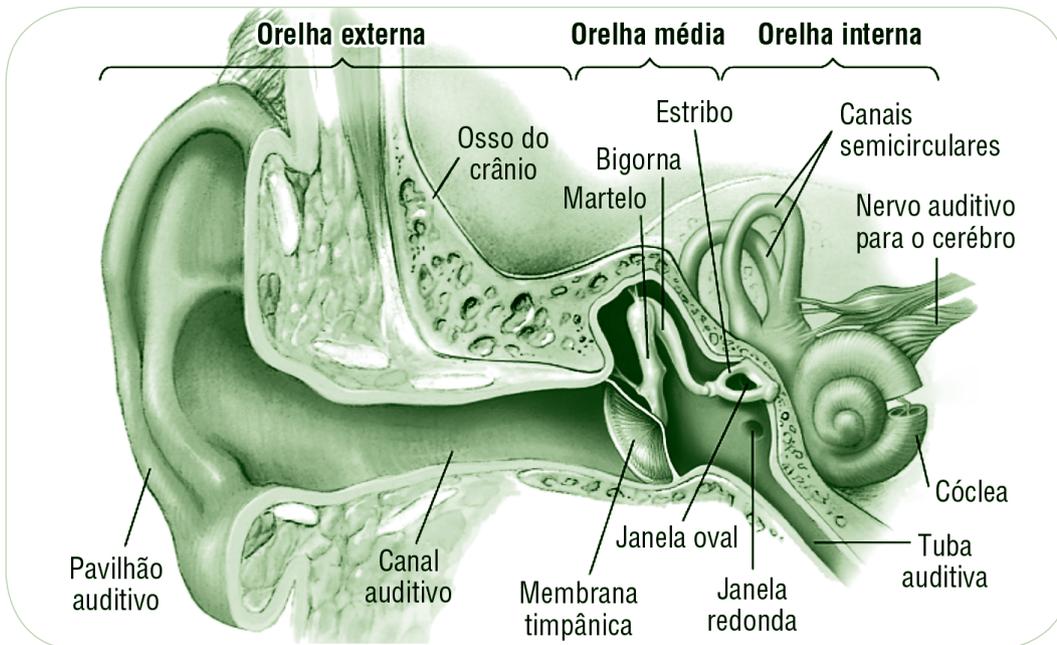


Figura 7 – Estrutura do sistema auditivo de vertebrado

Fonte: Modificado do Campbell et al (2010).

A orelha converte a energia de ondas sonoras em impulsos nervosos. A orelha é dividida em três porções: **orelha externa**, **orelha média** e **orelha interna**.

A orelha externa é formada pelo **pavilhão** da orelha, também chamada de **aurícula**. A função dessa estrutura é basicamente capturar o som do ambiente externo. Alguns animais, como o gato, conseguem movimentar o pavilhão de um lado para outro em busca do som. Já os humanos têm um pavilhão em uma posição mais ou menos fixa.

A orelha média é formada pelo **meato acústico externo** e estende-se cerca de 2,5 *cm* para o lado interno do crânio até terminar na **membrana timpânica**, que também é chamada de **tímpano**. Conectados ao tímpano se encontram os **ossículos (martelo, bigorna e estribo)**, que são os menores ossos do corpo. Os ossículos se conectam e na outra ponta se ligam à **janela oval**. Atrás da janela oval tem a **cóclea** que já é uma estrutura da orelha interna. A cóclea é preenchida por fluido e contém um mecanismo que transforma movimento físico da membrana da janela oval em resposta neural.

Agora que já temos conhecimento das estruturas anatômicas desse sistema, vamos ver como realmente ele funciona. A orelha externa serve apenas para direcionar as ondas sonoras para a orelha média, cavidade cheia de ar que contém as primeiras estruturas que vibram em resposta ao som. As ondas sonoras chegam à membrana timpânica e provocam uma vibração nela. Por sua vez, os ossículos (martelo, bigorna e estribo) são estimulados e fazem com que a membrana da janela oval também vibre.

Para compreender esse mecanismo de transmissão, vamos considerar a definição de pressão. A pressão sobre uma membrana é definida como a força que lhe é imposta dividida pela sua área de superfície. Portanto, se transportamos essa definição de pressão para as estruturas que estamos estudando, a pressão na janela oval termina sendo bem maior do

que a pressão na membrana timpânica, considerando que a área de superfície da janela oval é menor do que a da membrana timpânica.

O ouvido médio promove um aumento da pressão sobre a janela oval pela alteração da força de pressão ou pela área de superfície. O aumento da força é promovido pela força de alavanca que os ossículos fazem. Com relação à área de superfície, o mecanismo é simples: as ondas sonoras causam grandes movimentos na membrana timpânica, os quais são vibrações menores, porém, mais fortes na janela oval. Como a área de superfície da janela oval é bem menor do que a da membrana timpânica, a pressão da janela oval se torna pelo menos 20 vezes maior do que a pressão na membrana timpânica.

Ainda na orelha média ocorre um fenômeno bem interessante chamado de **reflexo de atenuação**. Esse reflexo é desencadeado por dois músculos (Figura 8) que estão ligados aos ossículos (músculo tensor do tímpano e o músculo estapédio). Quando esses músculos se contraem, a cadeia de ossículos se torna muito mais rígida e a condução do som fica bastante diminuída. Isso acontece porque um som muito barulhento, como por exemplo, o produzido por um trio elétrico no carnaval, faz com que os músculos se contraiam e desencadeiem o reflexo de atenuação, com a finalidade de proteger o seu sistema auditivo.

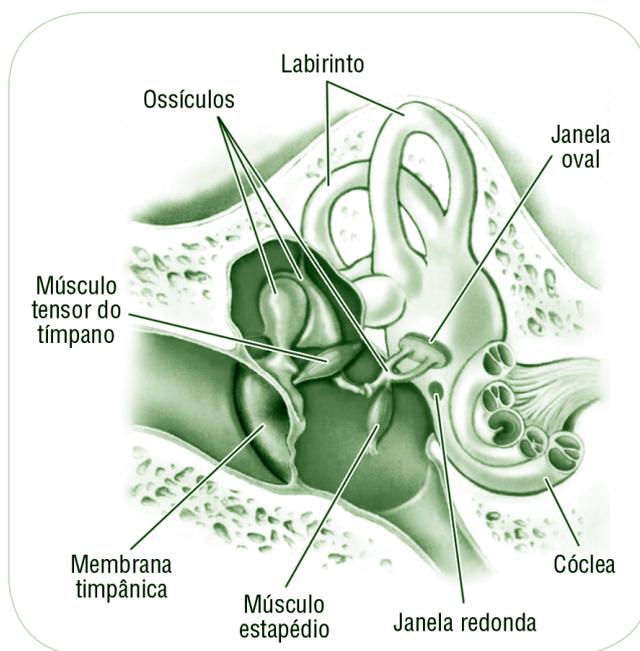


Figura 8 – Músculos do ouvido médio

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

A orelha interna não está só envolvida com a audição, mas também com o sentido do equilíbrio. As estruturas que formam a orelha interna são a **cóclea** e o **labirinto**. Este está relacionado com o equilíbrio, portanto, não será abordado neste momento. Vamos então conhecer a cóclea.

A cóclea (em Latim, “caracol”) tem esse nome porque é uma estrutura enrolada que aparenta um caracol. A cóclea humana é do tamanho de uma ervilha. Na base da cóclea há dois orifícios cobertos por membrana: a **janela oval** e a **janela redonda**.

Se seccionarmos a cóclea (Figura 9), veremos que ela apresenta três câmaras preenchidas de fluido, são elas: a **escala vestibular**, a **escala média** e a **escala timpânica**. Elas são separadas por membranas. A **membrana de Reissner** separa a escala vestibular da escala média e a **membrana basilar** separa a escala timpânica da escala média.

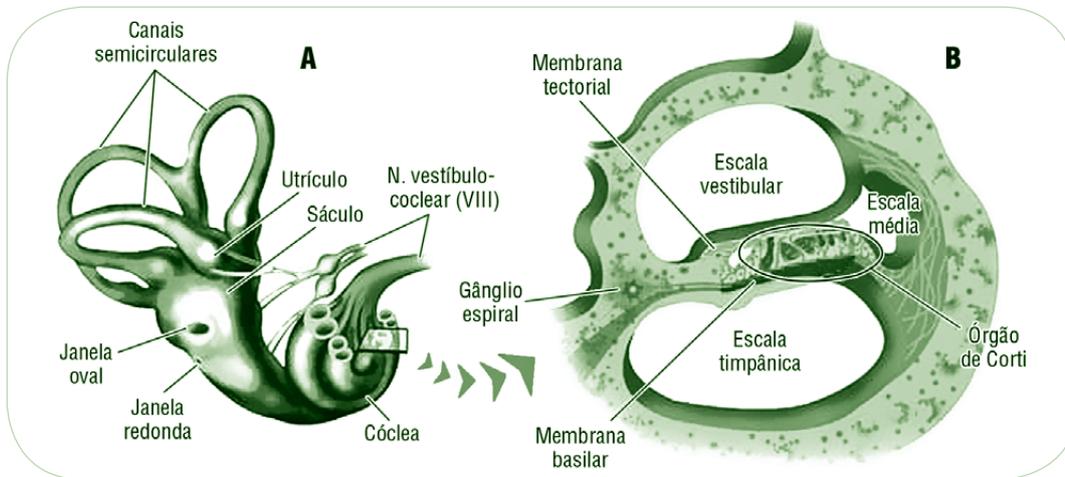


Figura 9 – Cóclea

Fonte: Modificado do Lent (2010).

Apoiado na membrana basilar, nós encontramos o **órgão de Corti** (Figura 10), o qual contém os neurônios receptores auditivos que discutimos na seção passada, e suspensa sobre esse órgão está a membrana tectorial.

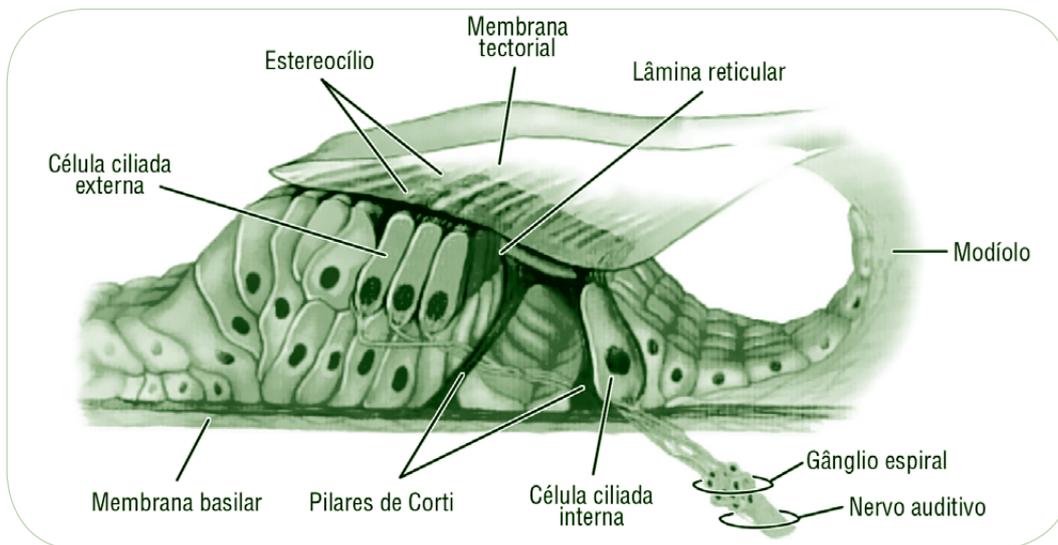


Figura 10 – Órgão de Corti

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

Vamos ver agora como tudo isso funciona. O fluido da escala vestibular é chamado de **perilinf**a e contém uma concentração baixa de potássio e alta de sódio. Já o fluido presente na escala média é chamado de **endolinfa**, tem uma alta concentração de potássio e uma baixa concentração de sódio. Quando os ossículos da orelha média se movem, fazem pressão sobre

a janela oval e movimentam essa membrana para dentro e para fora, como se fosse um pistão. Quando o movimento é para dentro da janela oval, isso faz com que ocorra um empurrão da endolinfa para a escala vestibular.

O que isso faz na membrana basilar? Essa membrana responde ao som de formas diferentes, pois apresenta duas propriedades fundamentais: primeiro, é cerca de 5 vezes mais larga no ápice do que na base; segundo, a rigidez da membrana diminui da base em direção ao ápice, com a base sendo aproximadamente 100 vezes mais rígida. Quando o som empurra a janela oval, a perilinfa desloca-se dentro da escala vestibular e como a membrana de Reissner é flexível, a endolinfa desloca-se dentro da escala média. Já se o som puxar a janela oval pra fora, o movimento é invertido. A onda gerada por esse movimento de puxa e empurra percorre toda a membrana basilar (Figura 11).

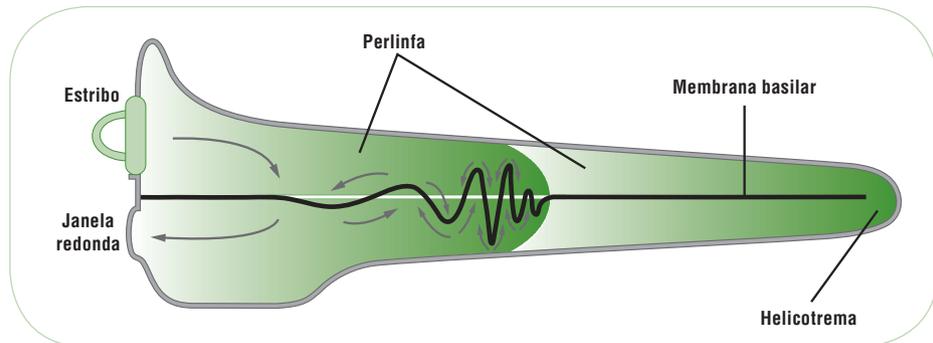


Figura 11 – Propagação das ondas

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

A distância que essa onda percorre na membrana basilar depende da frequência do som. Se a frequência for alta, a base mais rígida da membrana vibrará muito. Se a frequência for baixa, o ápice é quem vibrará muito. Isso estabelece para o sistema nervoso central um código de frequência para o entendimento da frequência de som (Figura 12).

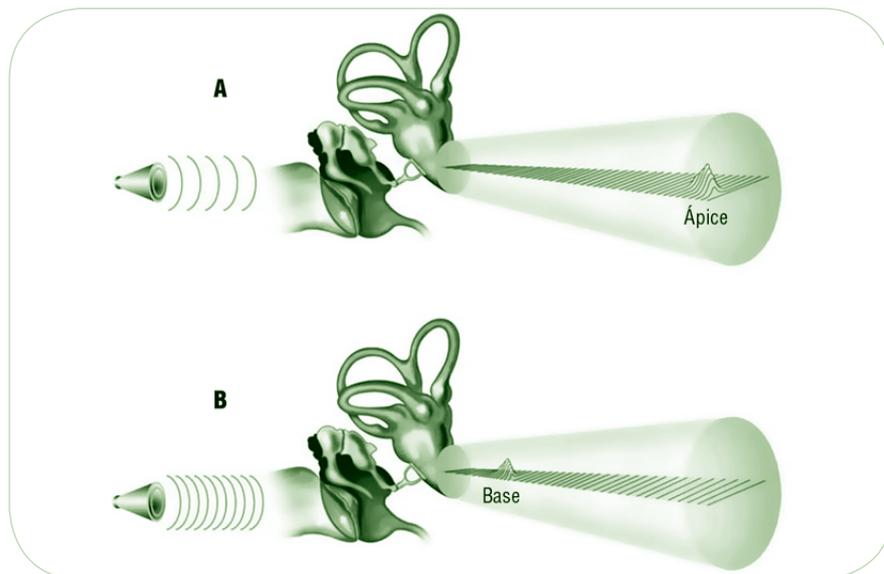


Figura 12 – Mapeamento da frequência de ondas

Fonte: Modificado do Lent (2010).



Atividade

3

1

Você viu na Aula 1 que o sistema auditivo é basicamente formado por mecanorreceptores, células capazes de detectar estímulos mecânicos físicos, como a frequência de onda. Assim, informe como ocorre a mecano-despolarização das células ciliadas auditivas.

2

O que são perilinfa e endolinfa? Qual é a importância dessas substâncias para o sistema auditivo?

3

O que é reflexo de atenuação? Para que serve? Como ele é desencadeado?

4

Descreva o papel funcional das orelhas externas, média e interna na tradução do sinal sonoro para o sistema nervoso.

5

Como a membrana timpânica consegue codificar tonalidade para o sistema nervoso?

Vias auditivas

Bom, vamos agora começar a descrever o caminho que a informação auditiva percorre dentro do sistema nervoso central. Para isso, vamos acompanhar a descrição pela figura a seguir.

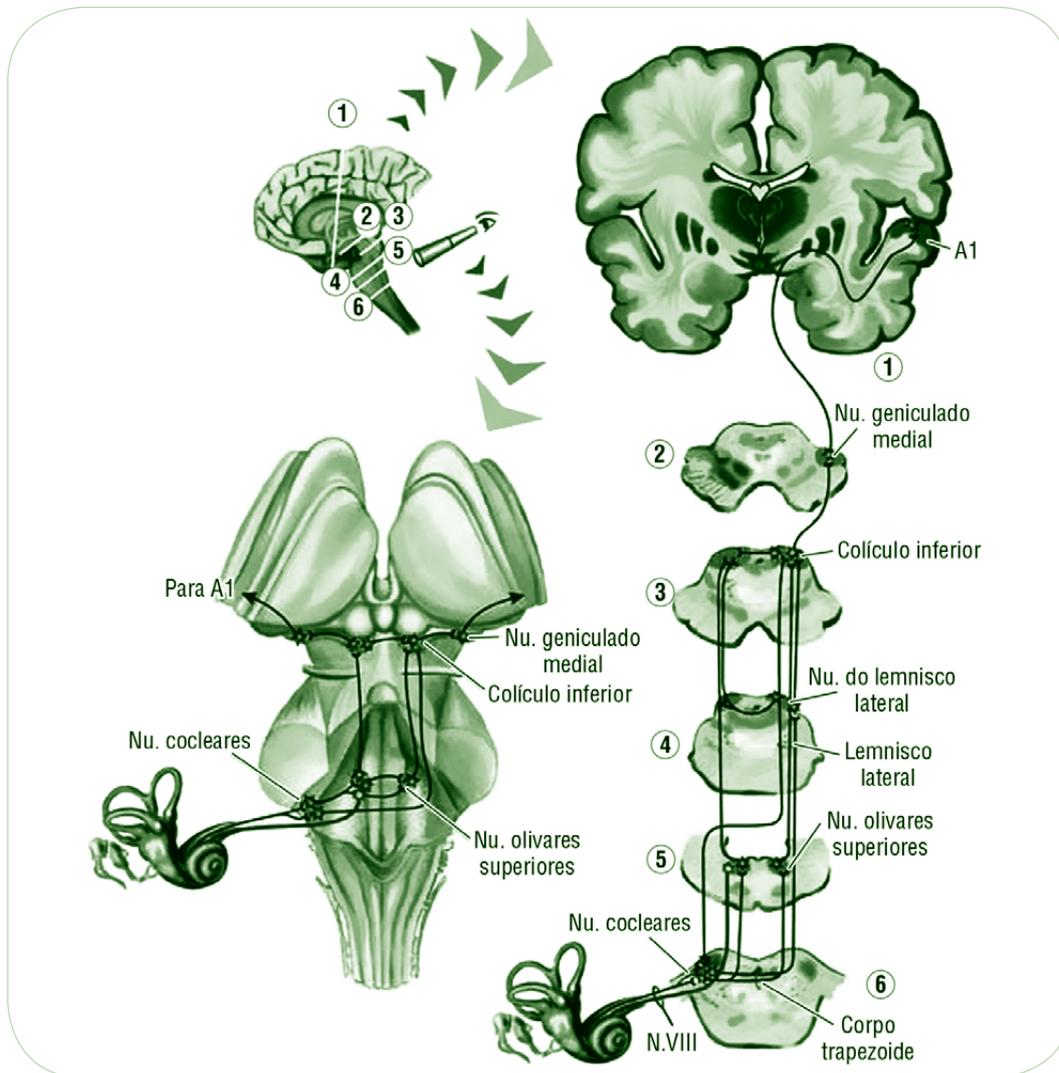


Figura 13 – Vias auditivas

Fonte: Modificado do Lent (2010).

As células ciliadas fazem sinapse com neurônios localizados no **gânglio espiral**. Essas células são bipolares, seus axônios entram no nervo **vestíbulo-coclear** e se projetam para o núcleo coclear do bulbo. A partir desse ponto aparecem múltiplas vias paralelas. O núcleo coclear se divide em duas porções: uma ventral e outra dorsal.

A porção ventral se projeta para a **oliva superior**, outro conjunto de neurônios do sistema nervoso central. Axônios dos neurônios olivares ascendem até o mesencéfalo e inervam o **colículo inferior**. Alguns axônios da porção dorsal do núcleo coclear seguem caminho similar, mas a via dorsal segue diretamente, sem parar. Do colículo inferior as fibras ascendem para

o tálamo onde fazem sinapses com neurônios localizados no **núcleo geniculado medial**, a principal estação auditiva a caminho do córtex auditivo. Desse ponto, a informação segue para o **córtex auditivo** primário, localizado no lobo temporal.

Durante todo esse caminho, a informação auditiva vai sofrendo modificações significativas até chegar ao nível mais superior de sua percepção no córtex auditivo, no lobo temporal (Figura 14).

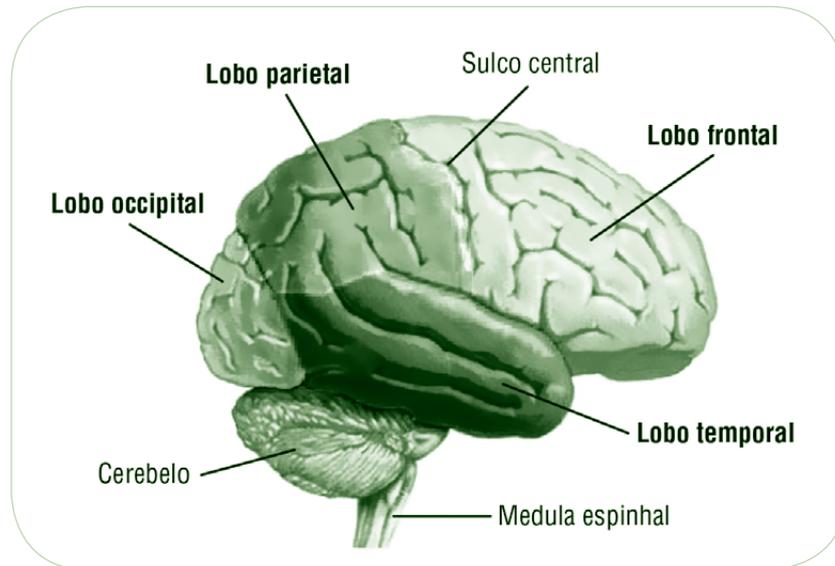


Figura 14 – Córtex humano

Fonte: <<http://www.cistosaracnoide.org/anatomia.html>>. Acesso em: 30 maio 2011.

O córtex auditivo primário (*A1*), bem como as áreas secundárias, apresenta uma estrutura semelhante ao do córtex visual (ver Aula 2). A camada I contém poucos corpos celulares e as camadas II e III contêm, principalmente, células piramidais pequenas. Os axônios provenientes do núcleo geniculado medial terminam na camada IV, que é composta por células granulares. As camadas V e VI contêm basicamente células piramidais.

Os neurônios de *A1* são sincronizados de maneira precisa com relação à frequência de sons. Além dessa sincronia, alguns neurônios também respondem de forma sincronizada à intensidade de som, fornecendo uma resposta máxima a um determinado volume. Além de *A1*, outras áreas corticais localizadas na superfície superior do lobo temporal também respondem aos estímulos auditivos.



Atividade 4

1

Descreva a via sensorial auditiva desde as células ciliadas até o córtex auditivo.

2

Onde ocorre a percepção auditiva? Justifique sua resposta.

Distúrbios do sistema auditivo

Apesar do fato de uma lesão muito severa no córtex auditivo, geralmente em consequência de um acidente, ocasionar perda da audição, outros fatores muito comuns que podem levar a uma surdez são as lesões perceptivas. Elas provocam dois tipos de surdez: **a surdez de condução** e a **surdez neural**.

A surdez de condução geralmente é provocada por uma perda de condução da orelha externa à cóclea. Isso pode ser causado por excesso de cera ou problemas com ruptura de membrana timpânica, ou até mesmo problemas com a vibração dos ossículos.

A surdez neural está associada à perda de neurônios tanto da cóclea como dos que formam o nervo auditivo. Geralmente, é causada por tumores no ouvido interno, mas pode ainda ser ocasionada pelo uso de drogas ou barulhos muito altos.

Segue aqui um alerta para o pessoal que gosta de ouvir som muito alto. A percepção dos sons é muito importante para a sobrevivência de qualquer espécie animal, inclusive os humanos, que conseguem interagir melhor com o mundo a partir da audição.



Faça um levantamento dos males causados pela exposição do ouvido humano aos tons altos. Descreva os cuidados necessários para mantermos sempre o sistema auditivo saudável.



Leituras complementares

Veja nos sites a seguir como é formado o sistema auditivo humano, quais são os seus componentes e o papel de cada um na audição.

- <http://telecom.inescn.pt/research/audio/cienciaviva/principio_audicao.html>
- <<http://cienciatube.blogspot.com/2010/04/fisiologia-da-audicao-como-funciona-o.html>>
- <<http://www.afh.bio.br/sentidos/Sentidos4.asp>>



Resumo

Nesta aula, você estudou como os sons são percebidos pelos animais. De um invertebrado até o ser humano, a percepção dos sons que nos cercam é fundamental para a fuga de um predador, a busca de alimentos, bem como para a comunicação social dos animais e a formação de cultura dos humanos. Você viu também os diversos tipos de sistemas auditivos presentes nesses animais e como a informação sonora é captada pela célula receptora presente nas estruturas mais complexas do sistema auditivo, seguindo pela complexa circuitaria das vias auditivas até chegar ao ponto alto da sua percepção pelo córtex auditivo. Por fim, estudou alguns tipos de deficiências auditivas que podem prejudicar a interação dos seres com o meio ambiente.



Autoavaliação

- 1 Defina frequência e intensidade de som. Qual é a diferença física entre os dois?
- 2 Descreva a importância do sistema auditivo para um invertebrado.
- 3 Como os ossículos do ouvido médio contribuem para a sinalização sonora no sistema nervoso?
- 4 Qual é a diferença entre surdez de condução e surdez neural?
- 5 Qual é a importância da janela redonda para o funcionamento da cóclea?

Referências

CAMPBELL N. A. et al. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências, desvendando o sistema nervoso**. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios da fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: ArtMed 2010.

Gustação e olfato

Aula

4



Apresentação

Os sentidos químicos são fundamentais para a sobrevivência dos seres vivos, principalmente os animais. Os principais sentidos químicos dos animais estão relacionados à capacidade de sentir gosto (gustação) e cheiro (olfato). Esses dois sentidos fazem com que as mais variadas espécies se sintam atraídas sexualmente, busquem comida, sintam medo e experimentem experiências sensoriais importantes para a adaptação ao meio ambiente. Nesta aula, você irá estudar como os sistemas gustatório e olfatório agem separadamente ou de forma integrada e constroem a percepção química do meio ambiente.

Objetivos

- 1 Identificar os componentes dos sistemas gustatório e olfatório.
- 2 Definir como ocorre a transdução dos sinais químicos dos sistemas gustatório e olfatório.
- 3 Definir como ocorre a percepção olfatória e gustatória.





Os sentidos químicos

Nos bilhões de anos que a vida vem se desenvolvendo na Terra, os seres vivos estão envolvidos por um grande número de estímulos químicos. Os sentidos químicos são certamente os mais primitivos de todos os sentidos. Até mesmo uma bactéria, que está bem longe de possuir sistema nervoso, pode detectar e ser atraída por uma fonte de alimento através deste sentido. Os animais utilizam os sentidos químicos para encontrar parceiros, reconhecer territórios de inimigos ou aliados, migrar, serem defensivos ou agressivos, sentirem medo e buscar alimento (Figura 1).



Figura 1 – Os sentidos químicos envolvidos na replicação de bactérias, acasalamento, alimentação e migração de animais

Fonte: <http://3.bp.blogspot.com/_V1Zewl80z3Y/TH8g4PDZaPI/AAAAAAAAACM/6DP-d5yqOug/s1600/suruba+de+bacterias.jpg>; <<http://keystoneimages.com.br/imagens-incriveis/wp-content/uploads/2011/04/WES-FOF00916.jpg>>; <<http://www.baixaki.com.br/usuarios/imagens/wpapers/2713766-173335-1280.jpg>>; <<http://pix.com.ua/db/animals/birds/penguins/m-54105>>. **Acesso em:** 3 jun. 2011.

Os dois principais sentidos químicos dos animais são a capacidade de detectar as substâncias químicas em solução, isso se chama **gustação**, e a capacidade de detectar odorantes transportados pelo ar, no caso do **olfato**. A detecção de sinais químicos se desenvolveu para captar sinais provindos do ambiente, mas se pensarmos bem, poderemos observar que os mecanismos químicos são a base da comunicação celular (reveja a disciplina Coordenação da Vida), e até mesmo o comando do sistema nervoso sobre órgãos periféricos.

Gustação: Vamos sentir gosto? Como são seus receptores?

Começando a compreender a gustação pelas células receptoras, podemos entender que essas células em mamíferos são células epiteliais modificadas organizadas em **botões gustativos** que, por sua vez, são localizados em várias regiões da língua e da boca (Figura 2). Apesar de se usar sempre um mapa sensorial da língua para explicar a detecção de sabores, é bom que fique claro que qualquer região da língua que apresente botões gustativos pode detectar qualquer sabor.

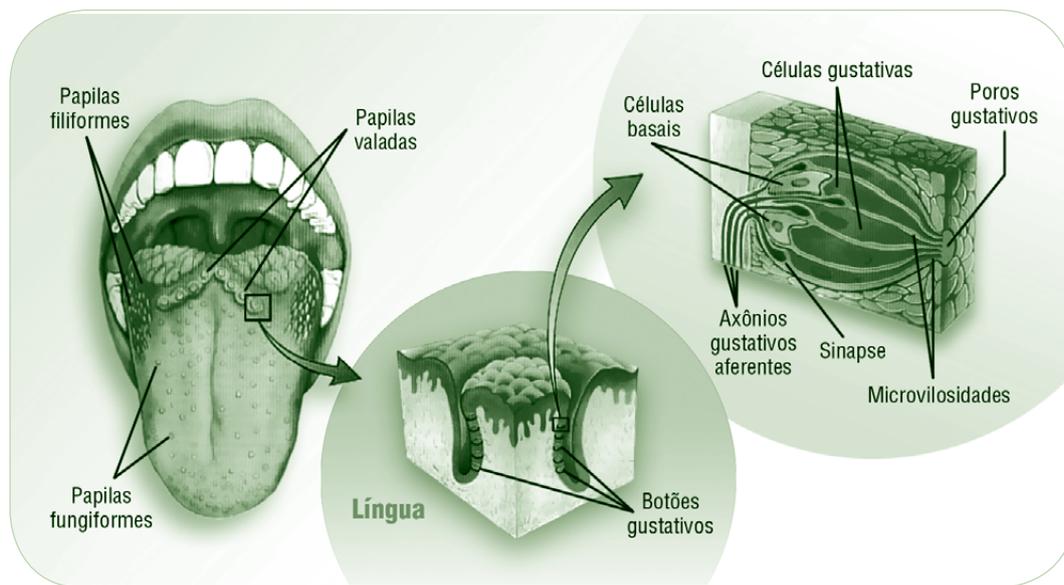


Figura 2 – Localização das papilas gustativas

Adaptado de: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

Os receptores gustatórios em invertebrados são bem diferentes dos que são encontrados em vertebrados. Os artrópodes, por exemplo, apresentam **sensilas**. As sensilas gustatórias são encontradas em diversas partes do corpo desses animais. Nos insetos, elas aparecem geralmente na porção externa da probóscide ou boca (Figura 3), na porção interna da faringe, ao longo da borda da asa, nas extremidades dos membros e até mesmo nas placas vaginais das fêmeas. Isso varia muito entre as classes de invertebrados. As diferenças entre os mecanismos de gustação entre os invertebrados e vertebrados sugerem que os órgãos olfatórios evoluíram de forma independente.



Figura 3 – Prosbócide de um inseto

Fonte: <<http://i56.tinypic.com/10h5a9g.jpg>>. Acesso em: 29 maio 2011.

Nos vertebrados terrestres, as células gustatórias estão localizadas na língua, no palato mole, na laringe e no esôfago. Nos vertebrados aquáticos, os botões gustatórios, por incrível que pareça, também estão localizados na porção externa do corpo. Muitos peixes possuem os botões gustatórios nos barbilhões ou nas extremidades das barbatanas.

Nos mamíferos, principalmente no homem, esses receptores formam os **botões gustativos** como já foi mencionado anteriormente. Cada botão gustativo é formado por aproximadamente 50 a 150 células receptoras, arranjadas em gomos como se fosse uma cebola. Os botões gustativos estão localizados nas **papilas gustativas**, que podem ser vistas macroscopicamente espalhadas pela língua (Figura 2).

A parte sensível da célula gustativa é uma região chamada de terminal apical. Os terminais apicais possuem finas extensões, denominadas de microvilosidades, que se projetam ao botão gustativo. Estas células não são neurônios, mas fazem sinapses com neurônios aferentes nos botões gustativos. Elas também fazem sinapses, tanto químicas quanto elétricas com algumas células basais que, por sua vez, fazem sinapse com axônios sensoriais, e isso forma um circuito dentro do próprio botão gustativo. Essas células sofrem muita plasticidade. Quando os receptores são ativados por uma substância química, o potencial de membrana muda, gerando assim uma despolarização. A transdução do sinal gustativo envolve processos diferentes, e cada sabor básico pode usar um ou mais dos mecanismos relacionados a seguir.

- 1) O estímulo passa diretamente pelo canal iônico (salgado e ácido).
- 2) Liga-se e bloqueia o canal iônico (ácido).
- 3) Liga-se a receptores de membrana acoplados à proteína *G*, que ativam segundos mensageiros e abrem outros canais iônicos (doce, amargo e umami).



Atividade

1

1

Diferencie os sistemas gustativos dos vertebrados e dos invertebrados.

2

Como são as formas de transdução e codificação do sinal gustatório que as células receptoras podem utilizar? Explique como funcionam.

Quais são os sabores?

Os receptores gustativos são capazes de reconhecer basicamente cinco tipos de substâncias químicas, caracterizando cinco sabores básicos: **salgado, doce, azedo, amargo e umami**. Vamos entender aqui como a transdução desses sabores é feita.

O sabor **salgado** é basicamente desencadeado pelo íon Na^+ , e sua concentração tem de ser bem alta para que o sistema nervoso possa percebê-lo. Células gustativas sensíveis para salgado possuem um canal seletivo para esse íon, que é encontrado em outras células epiteliais e que é bloqueado pelo fármaco amilorida. Quando a gente come algum alimento em que a concentração desse íon é grande, o gradiente de Na^+ aumenta e, então, o íon se difunde para dentro da célula, que é despolarizada (Figura 4). Essa despolarização leva a uma abertura dos canais de Na^+ e Ca^{+2} dependentes de voltagem e isso faz com que a célula libere um neurotransmissor sobre o axônio gustativo aferente.

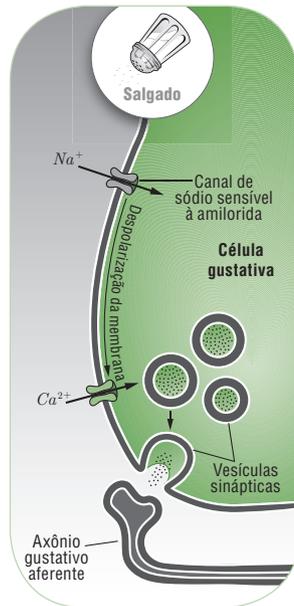


Figura 4 – Despolarização da célula para o sabor salgado

Adaptado de: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

O sabor **azedo** é caracterizado pela grande presença de íons H^+ em algumas substâncias. Isso torna essas substâncias bastante ácidas. Esses íons presentes no meio fazem com que receptores gustativos específicos sejam ativados de duas maneiras: na primeira, o íon H^+ pode entrar pelos canais de Na^+ sensíveis à amilorida, isso faz com que a célula seja despolarizada; na segunda, o íon pode se ligar ao receptor de membrana e bloquear canais seletivos de K^+ . Quando a permeabilidade de K^+ diminui, a membrana despolariza.

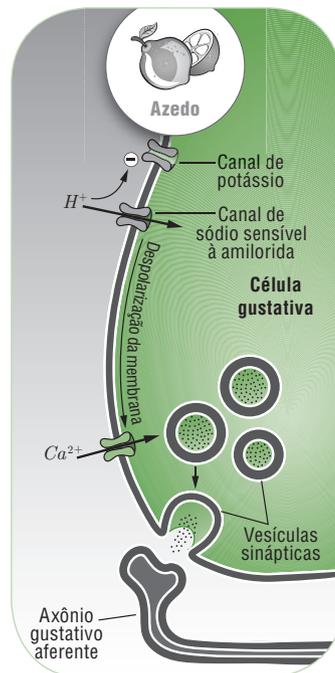


Figura 5 – Despolarização da célula para o sabor azedo

Adaptado de: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

O sabor **amargo** é detectado por cerca de 30 tipos diferentes de receptores. Esse sabor está sempre relacionado com venenos, e esta quantidade de receptores faz com que um grande número de substâncias amargas sejam detectadas. Quando o sistema nervoso recebe informação destes receptores o encéfalo entende como um aviso de alerta, do tipo: “cuidado com esta substância...”. Os receptores de sabor amargo usam vias de segundos mensageiros, os sabores doce e umami também (conforme você verá a seguir). Quando a substância química se liga ao receptor, ativa uma proteína *G* e estimula uma enzima fosfolipase *C*, com posterior produção de mensageiro intracelular inositol trifosfato (*IP3*). O *IP3* ativa um tipo especial de canal iônico que permite a entrada de Na^+ e a célula é despolarizada (Figura 6).

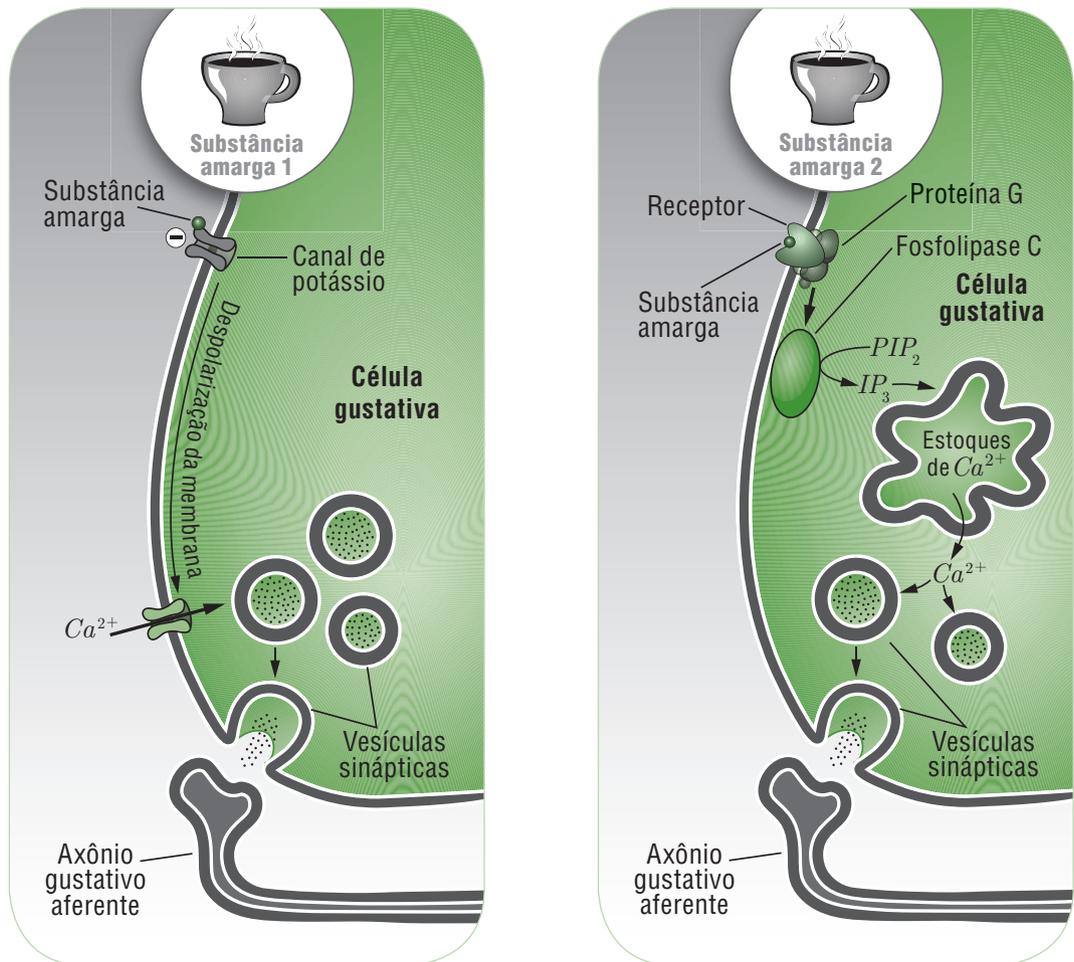


Figura 6 – Despolarização da célula para o sabor amargo

Adaptado de: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

O sabor **doce** é detectado por receptores muito parecidos com os do sabor amargo, sendo, portanto, acoplados à proteína *G*. Portanto, a substância doce ativa a mesma via de segundos mensageiros do sabor amargo.

O sabor **umami** (relacionado com aminoácidos, mas precisamente, o glutamato monossódico) é um sabor classificado pelos japoneses. O processo de transdução desse sabor é o mesmo do doce e do amargo (Figura 7). A pergunta que fica é: Como o sistema consegue diferenciar os sabores, já que os receptores são ativados de forma semelhante? A resposta é simples: as células gustativas expressam proteínas específicas para determinados sabores. Existem células específicas para o sabor umami, doce e amargo. E os axônios gustativos que são estimulados por essas células enviam mensagens ao encéfalo por vias específicas.

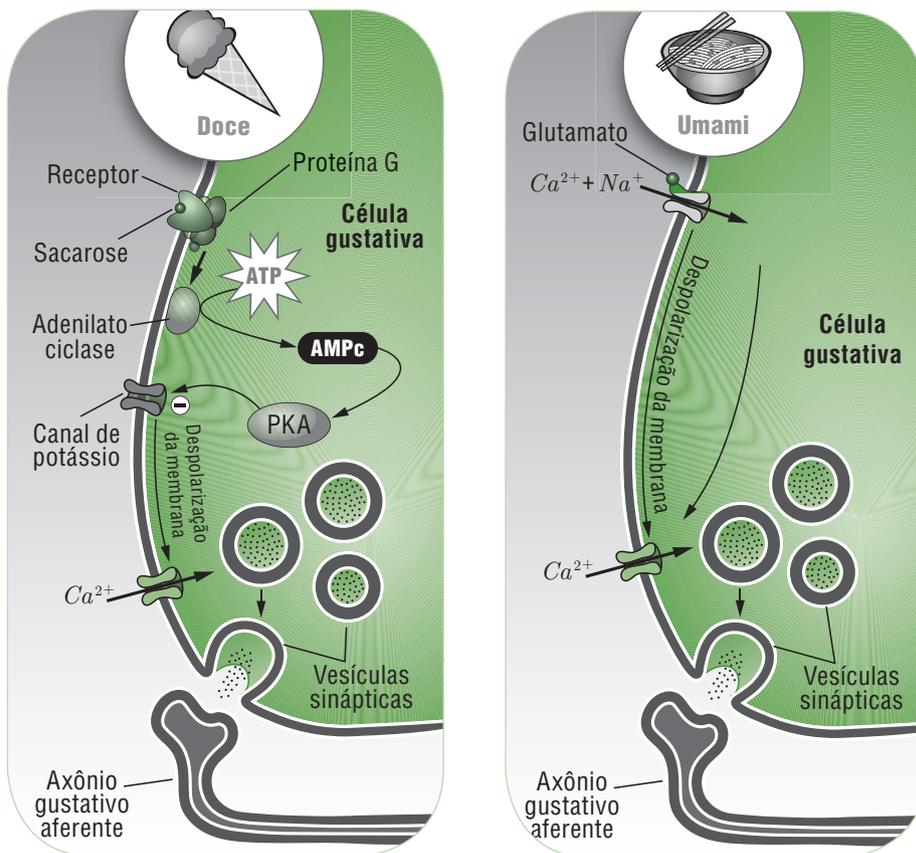


Figura 7 – Despolarização das células para os sabores doce e umami

Adaptado de: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).



Atividade 2

1

Realize o seguinte experimento: Coloque alimentos de diversos sabores (doce, azedo, salgado e amargo) em pratos separados. Tente mapear a sua língua, colocando uma pequena porção destas substâncias nas diversas regiões da língua. Em seguida, anote quais são os locais mais sensíveis para determinados sabores (se houver). Não se esqueça de lavar a boca quando for trocar de sabor.

2

Como ocorre a despolarização das células gustativas para o sabor salgado?

3

Qual é a importância das vias que utilizam proteína G para a transdução do sinal gustativo?

4

Como o sistema nervoso consegue compreender o que é doce, amargo ou umami?

As vias da gustação

As informações gustativas saem dos botões gustativos e seguem pelos axônios dos neurônios primários até o tronco encefálico. Três nervos cranianos são responsáveis por transportar essas informações: o par de nervos craniano VII (facial), o par IX (glossofaríngeo) e o par X (vago). No tronco encefálico, todos os axônios fazem sinapses no núcleo gustativo que é conhecido como **núcleo do tracto solitário**. As células desse núcleo se projetam para uma variedade de outras regiões do tronco, regiões estas envolvidas com deglutição, salivacção, vômito, digestão, entre outras. A percepção do gosto (consciente) é mediada pelo córtex cerebral. Portanto, os neurônios do núcleo do tracto solitário enviam projeções para o **núcleo ventral pósteromedial** do tálamo. E, por sua vez, esses neurônios enviam informações para o **córtex gustativo primário** (Figura 8).

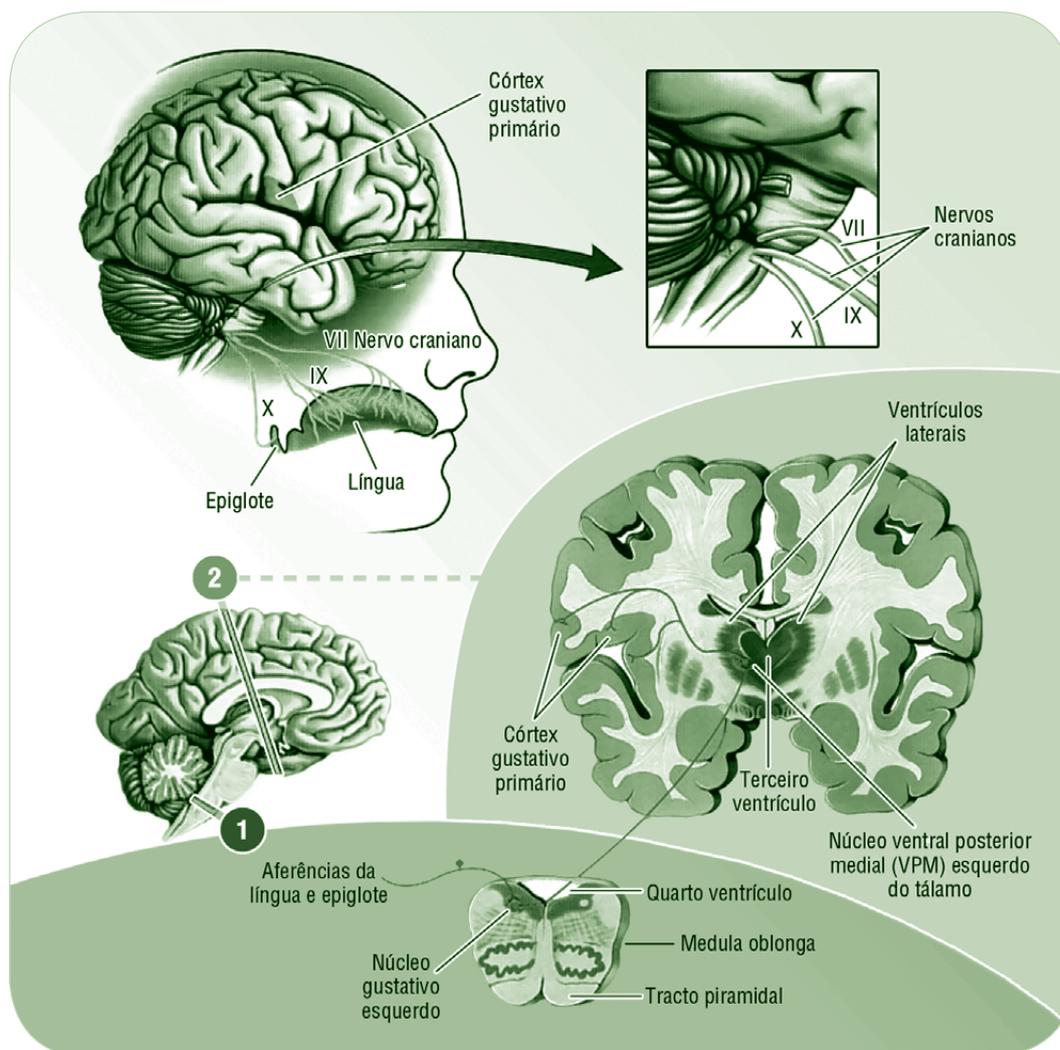


Figura 8 – Vias gustativas

Adaptado de: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).



Atividade

3

1

Você viu na Aula 1 que o sistema auditivo é basicamente formado por mecanorreceptores, células capazes de detectar estímulos mecânicos físicos, como a frequência de onda. Assim, informe como ocorre a mecano-despolarização das células ciliadas auditivas.

2

Descreva detalhadamente a via do sentido gustativo.

3

Sob a perspectiva funcional, por que existe uma grande integração do núcleo gustativo do tronco encefálico com outras áreas desse mesmo tronco? Cite exemplos para justificar sua resposta.

Que cheiro é este?

Todos os animais, indiscutivelmente, possuem capacidade para detectar odores provenientes do meio ambiente (Figura 9). Certamente existe uma grande variação no que diz respeito a como isso acontece e sua forma de percepção. Por exemplo, nós humanos percebemos o composto octanol como sendo o de odor similar ao de laranjas ou rosas e descrevemos o ácido octanoico como o cheiro rançoso ou de suor. Certamente esses dois compostos “ativam” os receptores de outros animais de maneira diferente.



Figura 9 – Olfato

Fonte: <<http://www.colegioatrio.com.br/site/images/stories/sentidos1.jpg>>; <<http://pt.olhares.com/data/big/1/18821.jpg>>. Acesso em: 7 jun. 2011.

O olfato combina com a gustação para nos ajudar a identificar alimentos. Ele também tem a função de nos alertar aos perigos (cheiro de fumaça, de comida estragada, entre outros). Pra você ter ideia, nós podemos identificar milhares de odores diferentes, mas apenas 20% deles cheiram bem. O olfato também pode ser utilizado como um modo de comunicação animal. Um exemplo disso é a existência dos feromônios, que é uma forma importante de sinalização para comportamentos reprodutivos em diversas espécies de animais



Você sabia que os cães conseguem sentir o cheiro do seu dono ou sentir o cheiro de uma cadela no cio a quilômetros de distância?
Essa capacidade é fundamental para que o animal consiga se proteger dos perigos e até mesmo encontrar uma fêmea para procriar.

Estrutura do sistema olfativo

Os sistemas olfativos das diversas espécies de animais são muito parecidos, principalmente no que diz respeito aos vertebrados. Nos invertebrados, os órgãos olfatórios geralmente estão localizados em todo o corpo, porém, a maioria se encontra em uma região perto da cabeça. Nos artrópodes, principalmente em insetos, os órgãos olfatórios estão localizados nas antenas (Figura 10), e estão em forma de sensilas (estrutura idêntica aos órgãos gustatórios, descritos no início da aula, desses mesmos animais). E o sistema de transdução é idêntico ao dos vertebrados, como veremos adiante.

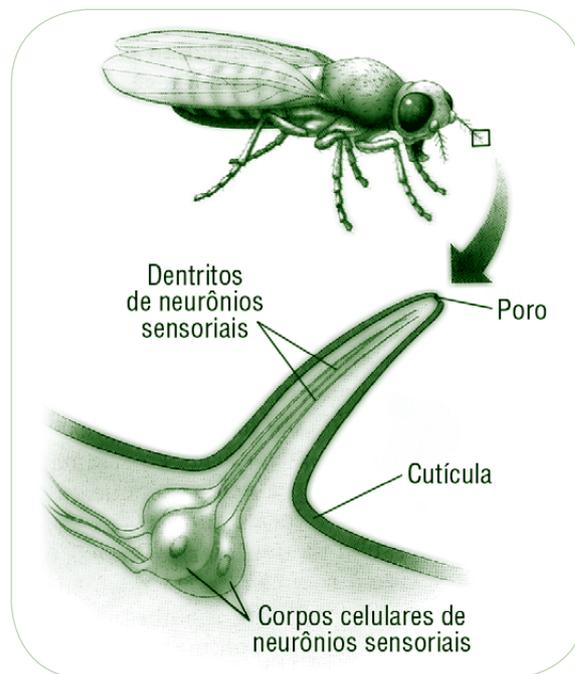


Figura 10 – Célula olfativa do inseto

Fonte: Modificado do Moyes e Schulte (2010).

O sistema olfatório dos vertebrados (Figura 11) é formado por uma pequena e fina camada de células no alto da cavidade nasal, o nome dessa camada é **epitélio olfativo**. Esse epitélio é formado por três tipos de células, as **células receptoras olfativas** que são as células responsáveis pela transdução dos sinais olfativos. As **células de suporte** que produzem o muco. E as **células basais** que são responsáveis por novos receptores. Ao contrário dos receptores gustativos, os receptores olfativos são neurônios e sofrem uma grande plasticidade, podendo ser substituídos por outros neurônios durante toda a vida.

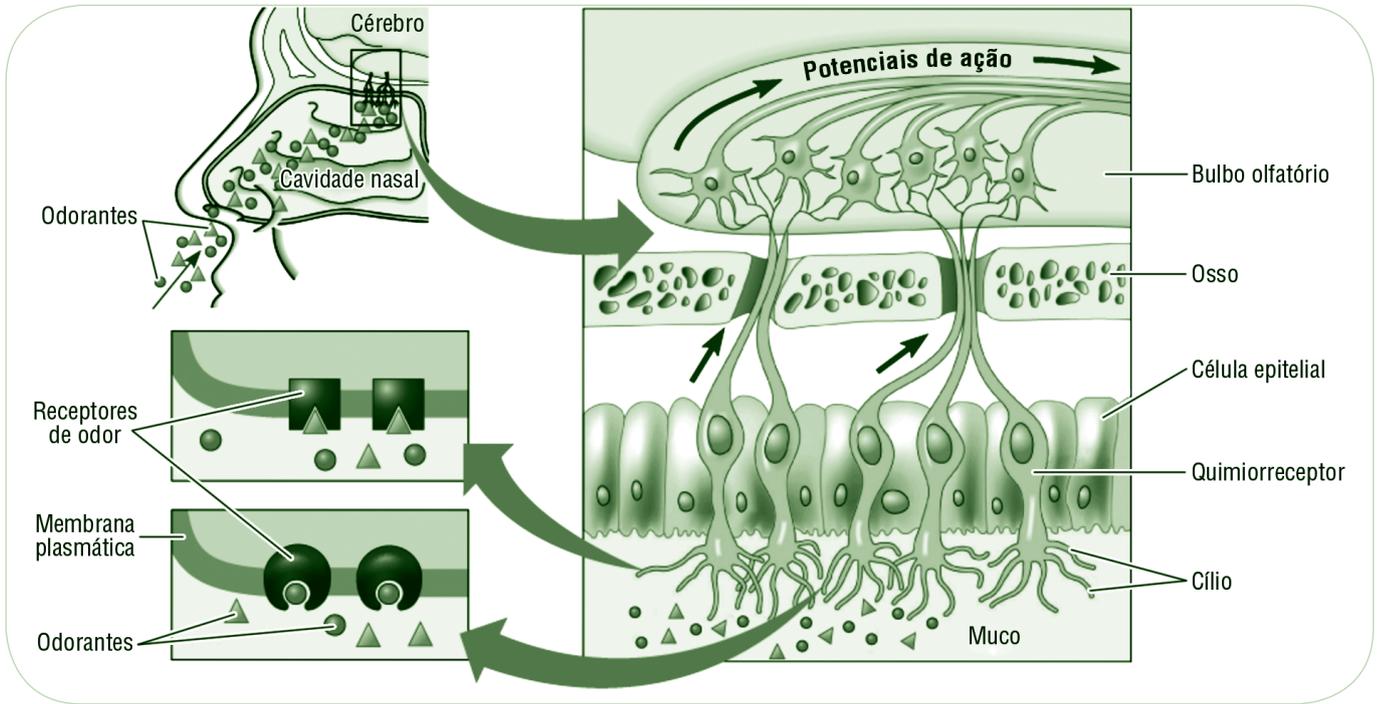


Figura 11 – Epitélio olfativo de humanos

Fonte: Modificado do Campbell et al (2010).

O epitélio olfativo produz muco que flui constantemente, sendo substituído a cada 10 minutos. Os odorantes se dissolvem na camada de muco antes de atingirem as células receptoras. O tamanho do epitélio olfativo é um indicador da acuidade olfativa. Os humanos possuem cerca de 10 cm^2 . Já o epitélio olfativo dos cães pode passar de 170 cm^2 , ele possui 100 vezes mais receptores por centímetro quadrado que o epitélio dos humanos (Figura 12).

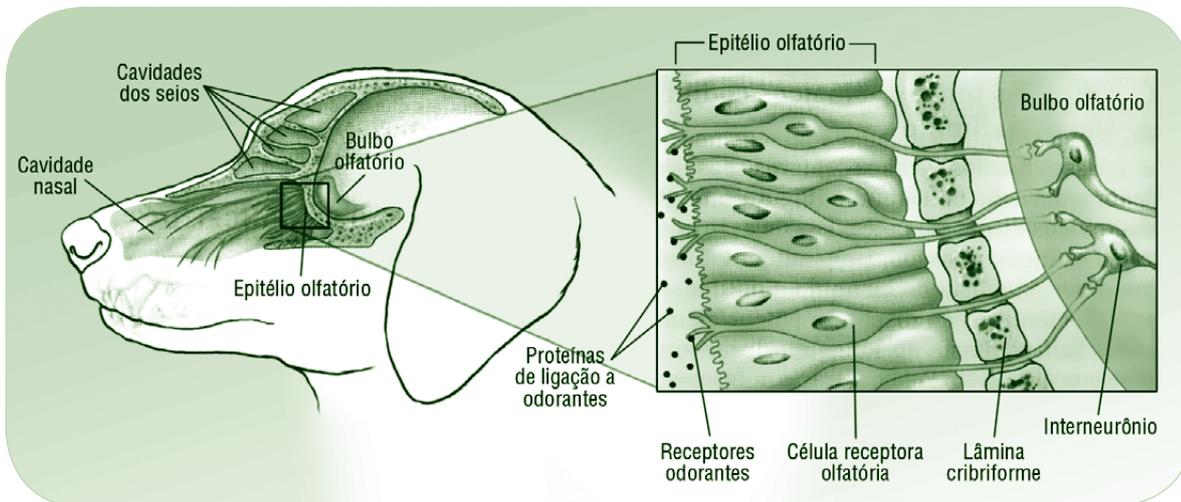


Figura 12 – Epitélio olfativo de um cão

Fonte: Modificado do Moyes e Schulte (2010).

Com relação aos neurônios receptores, eles apresentam um único dendrito fino que se localiza na superfície do epitélio. Na extremidade da célula receptora existem diversos cílios finos que se estendem dentro da camada do muco (Figura 13). As substâncias odoríferas no muco ligam-se à superfície dos cílios e ativam o processo de transdução. Na outra extremidade, há um axônio muito fino e não mielinizado. Coletivamente, os axônios olfativos constituem o **nervo olfativo**. Uma característica importante do sistema olfatório é que quando os axônios do nervo olfativo deixam o epitélio, eles rumam diretamente para uma estrutura chamada de bulbo olfatório.

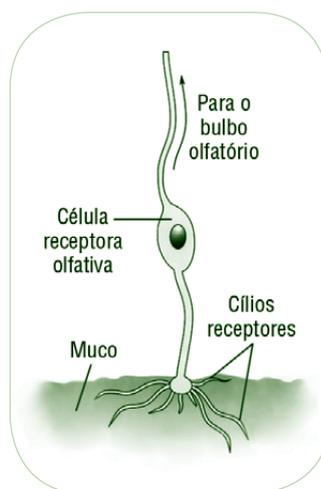


Figura 13 – Célula olfativa

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

A transdução do sinal olfativo é muito semelhante à transdução gustatória, basicamente ocorre na seguinte sequência: as substâncias odoríferas se ligam aos receptores na membrana das células e estimulam uma proteína *G*; ativam a via da adenilato ciclase e formam *AMP* cíclico; o *AMPc* se liga a canais catiônicos específicos e abrem canais de influxo de Na^+ e Ca^{+2} ; abrem-se então os canais de cloreto regulados por Ca^{+2} ; e ocorre um fluxo de corrente e despolarização da membrana.

Vias centrais do olfato

Os neurônios olfatórios projetam-se para dois bulbos olfatórios. Em cada bulbo, a camada que recebe este sinal contém cerca de 2000 estruturas esféricas denominadas **glomérulos olfativos**. Dentro de cada glomérulo existem cerca de 25000 terminais axônicos olfativos primários que convergem para cerca de 100 neurônios olfativos de segunda ordem. Vocês já podem imaginar o tamanho da circuitaria que isto forma (Figura 14), um verdadeiro mundo encantado para os neurocientistas que estudam comunicação neuronal.

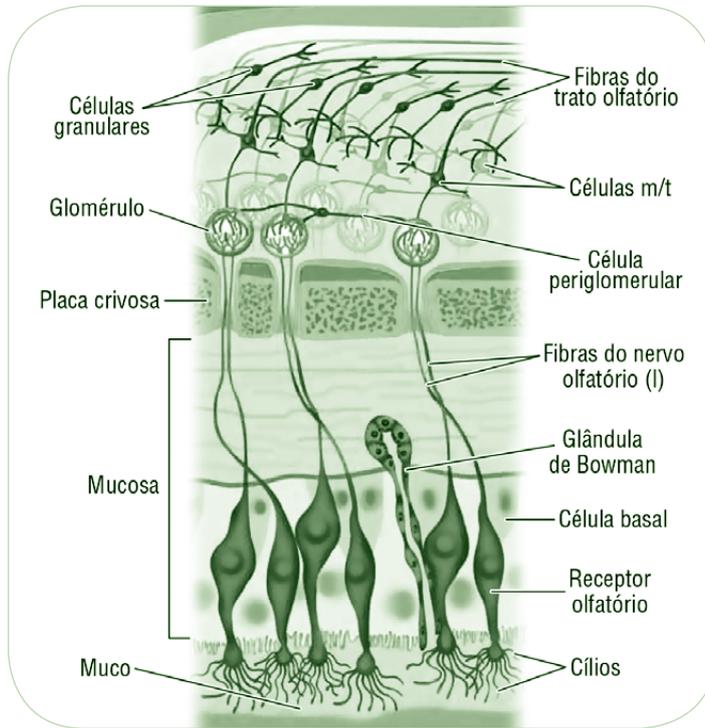


Figura 14 – Circuitaria olfativa

Fonte: Modificado do Lent (2010).

Muitas estruturas encefálicas recebem comunicação olfativa. Mas o alvo mais importante dos axônios de saída do bulbo, com certeza, é o **córtex olfativo**. Notem que o sistema olfativo tem uma particularidade em relação aos outros sistemas sensoriais. Enquanto todas as outras informações sensoriais antes de chegarem ao córtex passam pelo tálamo, as informações olfativas saem diretamente do bulbo olfativo para o córtex. O padrão das vias olfativas permite o uso desta informação sensorial na discriminação do odor, na emoção, na motivação e em certos tipos de memória.



Atividade

4

1

De vez em quando nos pegamos dizendo “Que cheiro doce!” ou “Isso está com um cheiro frio”. Doce é um sabor e o frio é uma sensação somestésica. Investigue em livros e sites da internet o porquê de nós não termos cheiros bem definidos. Por que confundimos os sentidos?.

2

Qual é a diferença morfológica entre as células receptoras gustativas e olfatórias?

3

Qual é a característica peculiar das vias olfatórias que permite diferenciá-las dos outros sentidos?

4

Como ocorre a despolarização dos receptores olfatórios?

5

Como ocorre a despolarização dos receptores olfatórios?



Leituras complementares

Acesse os sítios a seguir e veja como relacionar as estruturas gustativas e olfatórias dos humanos com suas determinadas funções.

- <<http://www.afh.bio.br/sentidos/Sentidos7.asp>>
- <http://www.webciencia.com/11_32paladar.htm>



Resumo

Nesta aula, você estudou as características morfológicas e funcionais dos dois sistemas que nos permitem perceber os principais sentidos químicos dispersos no ambiente. Viu que o olfato e a gustação são fundamentais para que os animais consigam interagir com o ambiente, visto que é através deles que nós, animais, conseguimos procurar alimentos, julgar qual é o melhor alimento, nos proteger, buscar parceiros sexuais, entre outras funções importantes para a sobrevivência.

Autoavaliação

- 1 Apesar de termos basicamente a capacidade de sentir 5 sabores, podemos distinguir uma variedade de outros sabores, como por exemplo: sabor de morango, sabor de chocolate, sabor de peixe etc. Explique por que isto ocorre.
- 2 Como ocorre a transdução dos cinco tipos de sabores?
- 3 Nos livros, sempre nos é apresentado um mapa sensorial gustativo da língua. Esse mapa é correto? Justifique sua resposta.
- 4 Por que a acuidade olfativa está relacionada ao tamanho do epitélio olfativo e a quantidade de células receptoras? Explique.

Referências

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências, desvendando o sistema nervoso**. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

CAMPBELL N. A. et al. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios da fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: ArtMed 2010.

WIDMAIER, E. P.; RAFF, H.; STRANG, K. T. **Fisiologia humana**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Anotações

Quem sou eu? Uma questão de somestesia

Aula

5



Apresentação

Todos os sentidos estudados até agora são fundamentais para a adaptação do animal ao meio em que ele vive. Visão, audição, paladar e gustação são sentidos especiais, pois estão localizados em órgãos especiais. Nesta aula, vamos estudar um sentido que não se localiza em nenhum órgão específico, isso mesmo, ele se espalha por todo o corpo e por todas as vísceras dos animais. Trata-se da **somestesia**, o sentido do corpo, que pode ser dividida em tato, dor, temperatura e propriocepção.

Objetivos

- 1** Entender o que é somestesia.
- 2** Identificar como o sistema nervoso interpreta os sinais somestésicos.
- 3** Compreender a importância da somestesia para a sobrevivência do animal.





Somestesia

Às vezes, geralmente quando crianças, nós brincávamos de como seria o mundo se não tivéssemos um dos sentidos especiais. Costumávamos fechar os olhos para não enxergar as coisas e, assim, esbarrar nelas. Muitas vezes até colocávamos as mãos nas orelhas para não escutar os sons do ambiente. Todos já passaram por isso, não? A questão é que podemos nunca ter nos dado conta da importância de um sentido tão presente no dia a dia, a **somestesia**. Mas o que é somestesia? Você saberia defini-la?

A **Somestesia** é o sentido que permite que nosso corpo perceba o contato (tato ou pressão), frio ou calor, dor e até mesmo reconheça e saiba a localização de outras partes do corpo. Ela se divide em submodalidades, são elas: tato, temperatura, dor e propriocepção. A partir de agora você vai estudar como essas sensações são “entendidas” pelo sistema nervoso.

Tato

A sensação de **tato** é desencadeada por mecanorreceptores que são sensíveis a deformações físicas, como flexão ou estiramento. Eles se encontram espalhados por todo corpo (Figura 1), inclusive nas vísceras, por isso conseguem detectar um grande número de estímulos, dentre os quais podemos citar: um leve toque na pele, pressão nos vasos sanguíneos e no coração, dilatação das paredes do intestino, dilatação da bexiga urinária e outros. Esses mecanorreceptores são formados por uma terminação nervosa livre e por axônios, onde se encontram os canais sensíveis à energia mecânica.

A maioria desses mecanorreceptores foi descoberta no século XIX e apresenta homenagens aos seus descobridores através dos nomes pelos quais são conhecidos. Os principais são o **corpúsculo de Pacini**, as **terminações de Ruffini**, os **corpúsculos Meissner**, os **discos de Merkel** e os **bulbos terminais de Krause**. A figura a seguir mostra a distribuição de alguns desses mecanorreceptores na pele humana.

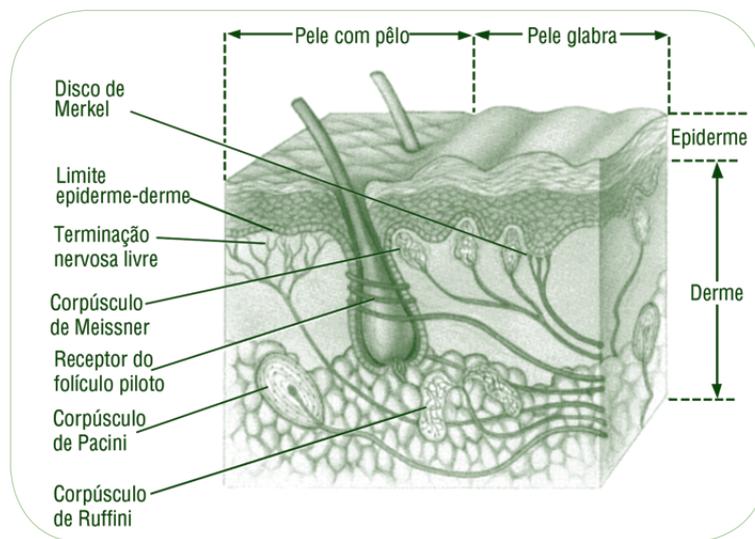


Figura 1 – Distribuição dos mecanorreceptores na pele

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

O **corpúsculo de Pacini** (Figura 2), situado na camada profunda da derme, apresenta cerca de 2 *mm* de comprimento e quase 1 *mm* de diâmetro, e responde a vibrações entre 150-300 *Hz*.

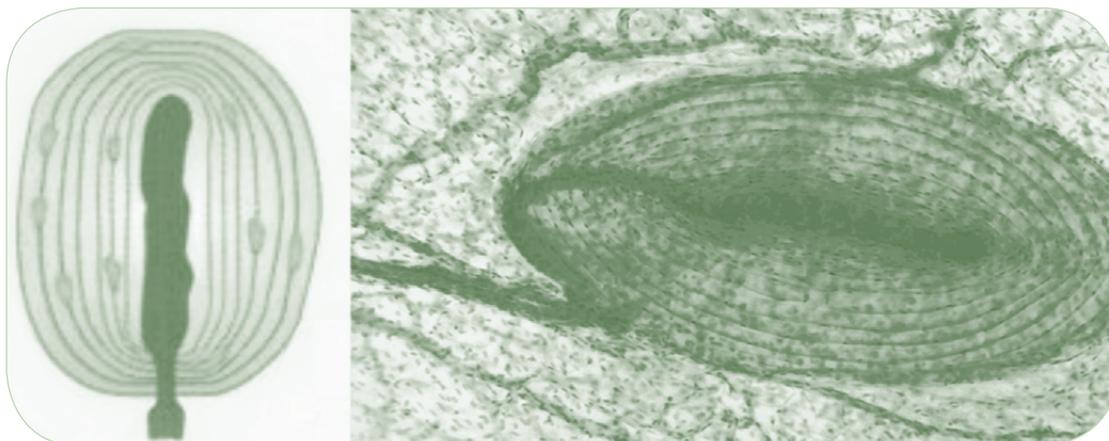


Figura 2 – Corpúsculo de Pacini

Fonte: <<http://2.bp.blogspot.com/-MoybcQZK-kE/TeEp-FJ1AJI/AAAAAAAAABQU/Uvskb5ZtRqM/s200/pacini.jpg>>; <<http://legacy.owensboro.kctcs.edu/gcaplan/anat/Notes/Image559.gif>>. Acesso em: 13 jun. 2011.

As **terminações de Ruffini** (Figura 3) são menores do que os corpúsculos de Pacini e se localizam tanto na pele pilosa como na glabra. Esses receptores respondem de forma polimodal tanto para vibrações quanto para tato.

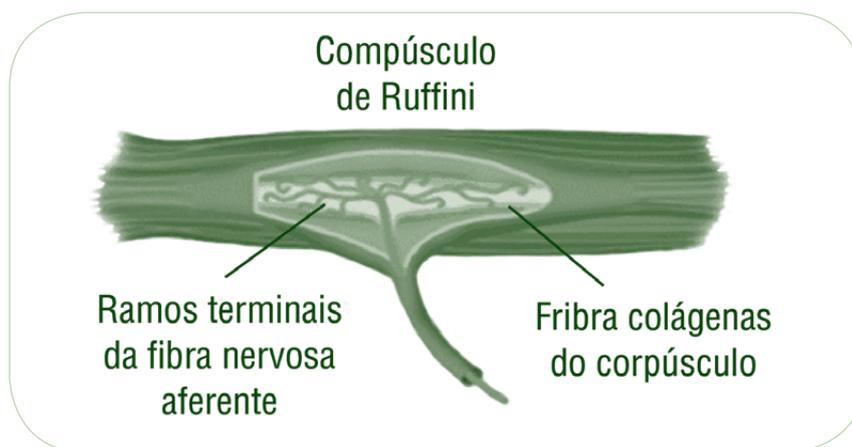


Figura 3 – Terminações de Ruffini

Fonte: Modificado do Lent (2010).

Os **corpúsculos de Meissner** (Figura 4) são ainda menores e estão localizados entre as papilas dérmicas. Responde a vibrações entre 20-40 *Hz*.

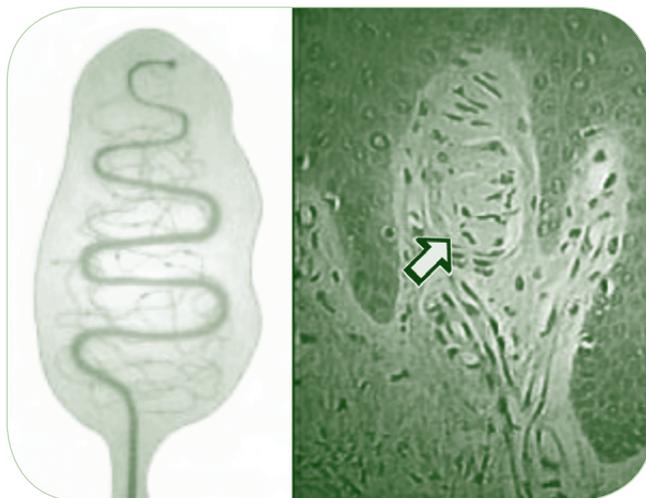


Figura 4 – Corpúsculos de Meissner

Fonte: http://3.bp.blogspot.com/-LhUiY2_CpYg/TeEpZO1RIQI/AAAAAAAAABQQ/VixVS2CbRS8/s1600/meissner.jpg;
<http://www.poderdasmaos.com/site/pub/bancoimg/bancodeimagens/Neuroanatomia/NAT7.jpg>. Acesso em: 13 jun. 2011.

Os **discos de Merkel** (Figura 5) são terminações nervosas que se localizam junto à epiderme e respondem a toques e pressão.

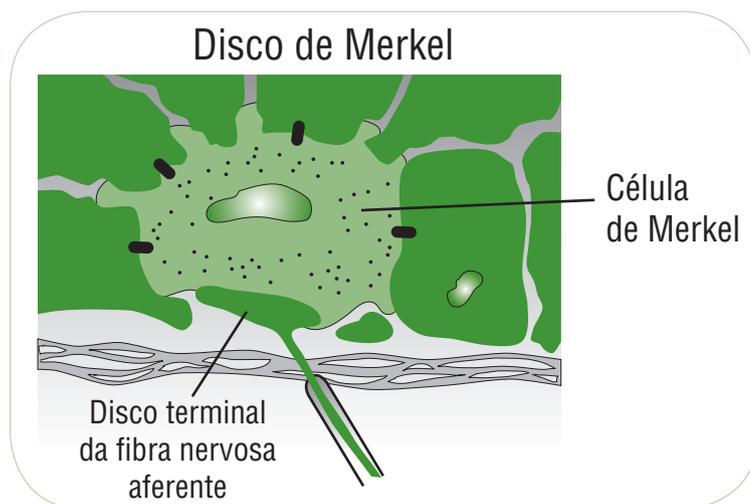


Figura 5 – Disco de Merkel

Fonte: Modificado do Lent (2010).

Os **bulbos terminais de Krause** (Figura 6) estão localizados entre a pele seca e a mucosa e respondem à pressão.

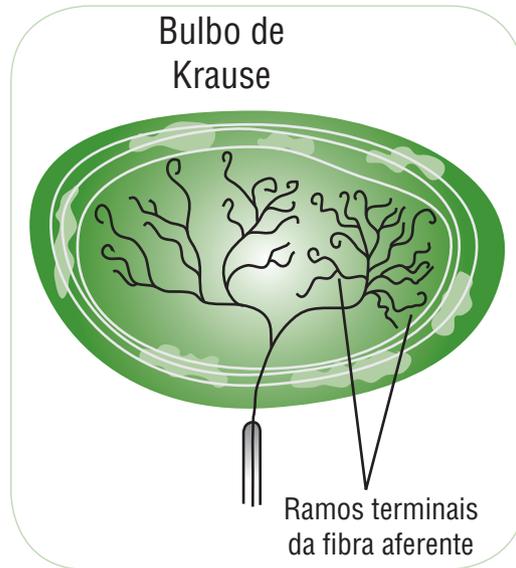


Figura 6 – Bulbos de Krause

Fonte: Modificado do Lent (2010).

A pele pode sofrer vários estímulos mecânicos, como vibração, pressão, ser agulhada e até mesmo alisada, ter os pelos dobrados ou puxados. Essas diferentes formas de energia mecânica podem ser individualmente discriminadas de acordo com a especificidade dos receptores anteriormente citados.

 **Atividade 1**

1 Qual é a importância da somestesia para a adaptação do animal ao meio? Explique com suas palavras.

2

Descreva como o sistema nervoso pode discriminar os diferentes tipos de estímulos sensoriais que a pele é capaz de sentir.

Temperatura

A **temperatura** também é uma percepção que começa a ser desencadeada por receptores somestésicos. Os receptores de temperatura são as terminações nervosas livres (Figura 7).

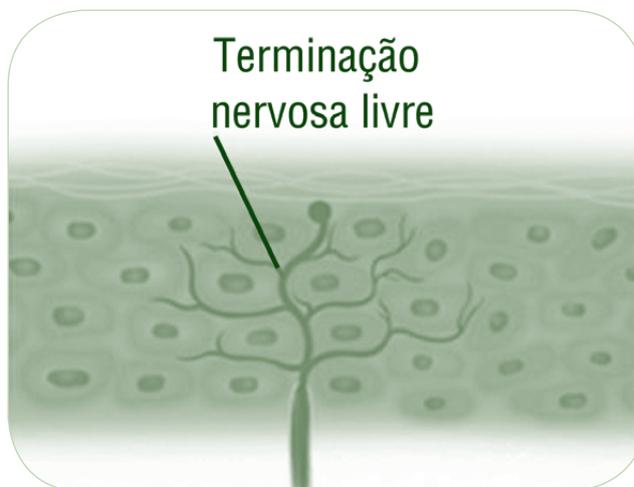


Figura 7 – Terminação nervosa livre

Fonte: Modificado do Lent (2010).

O estímulo de temperatura não é muito bem discriminado. Em algumas regiões do corpo, nós não conseguimos diferenciar muito bem o que é quente e o que é frio. Já em outras podemos detectar até a variação de temperatura em $0,1^{\circ}C$. Os termorreceptores presentes no hipotálamo (veja a Aula 5 da disciplina Coordenação da Vida) servem para a manutenção da homeostase corporal. Já os termorreceptores encontrados na pele são os verdadeiros responsáveis pela percepção de frio ou calor. Apesar de termos termorreceptores específicos para temperaturas altas e baixas, percebemos muito melhor a variação de temperatura. Quando saímos de um ambiente quente para um frio ou vice-versa, conseguimos detectar com mais facilidade a temperatura.



Atividade

2

Antes de seguir, realize o seguinte experimento: Encha três bacias com água. Uma com água quente, outra com água fria e uma terceira com água à temperatura ambiente. Coloque uma das mãos na bacia com água fria e a outra na bacia com água quente. Depois de 30 segundos coloque as duas mãos na bacia com água a temperatura ambiente. Descreva o que você sentiu, e com base no seu entendimento de receptores de temperatura, explique a sensação.

Dor

A **dor** é uma modalidade somestésica fundamental para a sobrevivência do animal no meio ambiente. Imagine um animal que não consegue sentir dor! Ele não poderia se proteger de estímulos danosos à sua integridade física. A dor com certeza é uma percepção de proteção. Os receptores que são responsáveis por esse sentido são chamados de nociceptores e são terminações nervosas livres muito parecidas com as dos termorreceptores (Figura 7).

Os nociceptores sinalizam quando o tecido nervoso está sendo lesado. O termo *noci* está relacionado ao sentido do estímulo ser nocivo. É importante ressaltar que nocicepção é bem diferente de dor. A dor é a percepção de sensações diversas, como inflamação, fisgada, ardência, latejo e outras coisas que podem danificar o tecido. Já a nocicepção é o processo sensorial que fornece os sinais dolorosos para o sistema nervoso. A maioria dos nociceptores são polimodias, isto é, respondem a diversos tipos de estímulos: mecânicos, térmicos e químicos. Mas existem também os receptores específicos para determinados estímulos, como os nociceptores mecânicos, os nociceptores térmicos e os nociceptores químicos.

Além dos estímulos considerados momentâneos para a dor, existem também aqueles que vão aumentando durante algum tempo depois do estímulo ser apresentado. Quando você fere o pé em um prego, sente a dor na hora da pisada. No entanto, mesmo tratando da ferida, depois de algum tempo ela pode voltar a doer. Esse fenômeno é chamado de **hiperalgesia** (Figura 8).

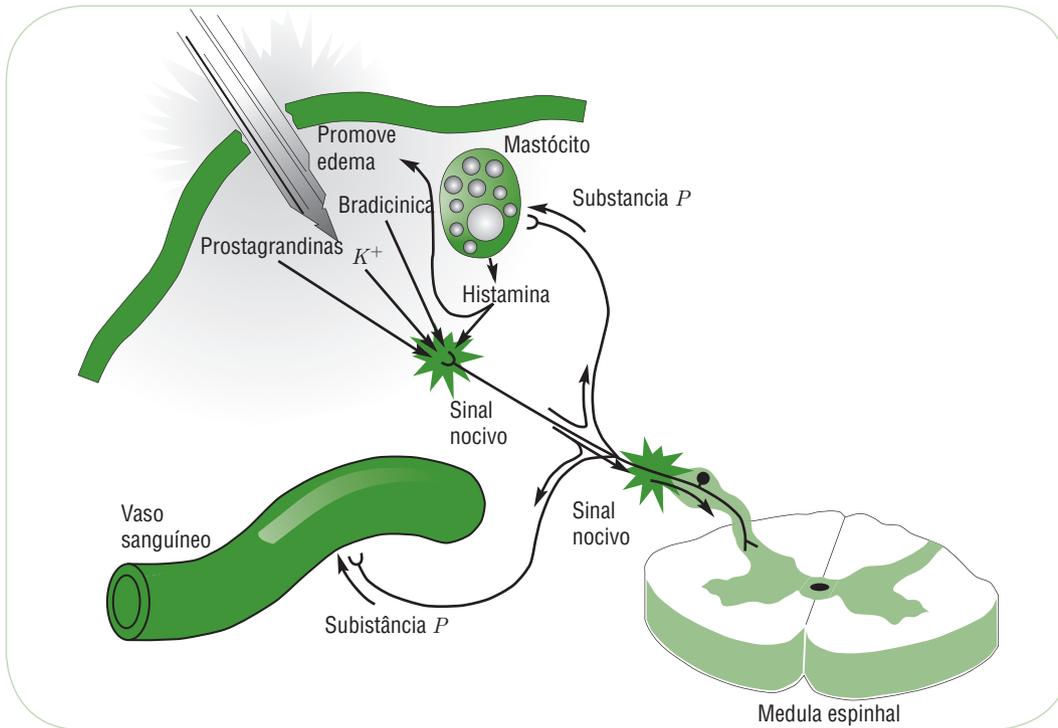


Figura 8 – Fenômeno de Hiperalgesia

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

A hiperalgesia está relacionada a uma baixa no limiar de dor em uma determinada área, devido à liberação de várias substâncias químicas que fazem com que os nociceptores fiquem bem mais sensíveis aos estímulos. Entre essas substâncias, encontramos a bradicinina, as prostaglandinas e a substância P.

Atividade 3

- 1 Com base no que você estudou até aqui, responda: Por que é tão difícil entrar na água fria do mar, mas depois que entra não se quer mais sair?

2

Explique por que qualquer estímulo (químico, mecânico e térmico) pode fazer você ter a sensação de dor.

3

O que é hiperalgesia? Dê um exemplo desse fenômeno.

4

Faça uma pesquisa em livros didáticos, na internet e em outras fontes da sua escolha e responda às seguintes questões: Nós sentimos dor em todas as partes do corpo? Existe alguma parte do nosso corpo em que não sentimos dor? Qual é essa parte? Por que não sentimos dor nela?

Você acha que seria boa uma vida sem dor?

A resposta é **não**! Se nós não sentíssemos dor, teríamos graves problemas com as coisas mais simples do dia a dia. Quando sofrêssemos um simples corte, não teríamos como nos proteger de possíveis infecções. Algumas pessoas que nascem sem sentir dor são treinadas para se proteger de estímulos nocivos, mas não conseguem fazer isso por muito tempo e acabam morrendo precocemente. Portanto, sentir dor é um fenômeno biológico de proteção e de fundamental importância para a nossa sobrevivência.

Propriocepção

A **propriocepção** é a sensação corporal, ou o sentido, que informa como o nosso corpo se posiciona e se move no espaço. Se uma pessoa ficar sem esse sentido, terá muitas dificuldades de andar sem olhar para os pés, ou de pegar um objeto sem monitorar com o olhar o movimento que seu braço deve fazer para isso. Os receptores especializados para a propriocepção estão localizados nas articulações ou nos músculos. Os mais conhecidos são os proprioceptores musculares. Os dois proprioceptores musculares são o **fuso muscular** e o **órgão tendinoso de Golgi**.

O **fuso muscular** apresenta um funcionamento bastante simples. Primeiro vamos entender sua morfologia: ele é formado por diversas fibras musculares esqueléticas especializadas, contidas dentro de uma cápsula fibrosa (Figura 9). No centro do fuso, existe uma fibra sensorial enrolada, chamada de “aferente sensorial Ia”. Essa fibra é um mecanorreceptor que entra pela raiz dorsal da medula e faz sinapse com o motoneurônio alfa responsável pela contração de um determinado músculo.

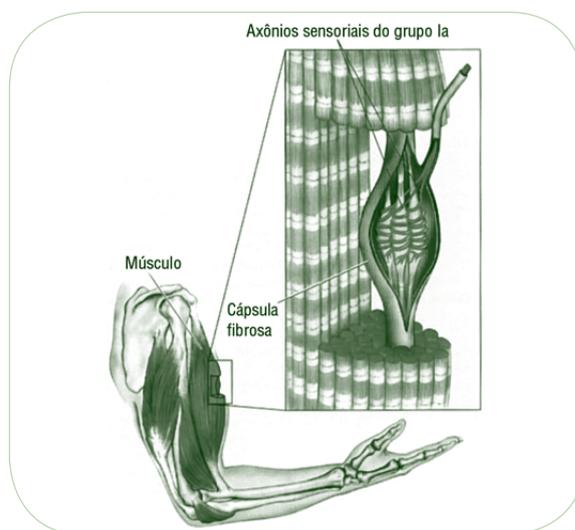


Figura 9 – Fuso muscular

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

O funcionamento desse fuso é bastante simples, ele é responsável por informar ao sistema nervoso a variação de comprimento do músculo. Observe o reflexo miotático (patelar) na Figura 10, e veja como é simples. Quando o médico bate o martelo no tendão do quadríceps, esse músculo sofre uma pequena variação de comprimento e isso faz com que o aferente Ia despolarize e excite o motoneurônio alfa (responsável pela contração muscular), promovendo assim a contração do músculo e o estiramento da perna.

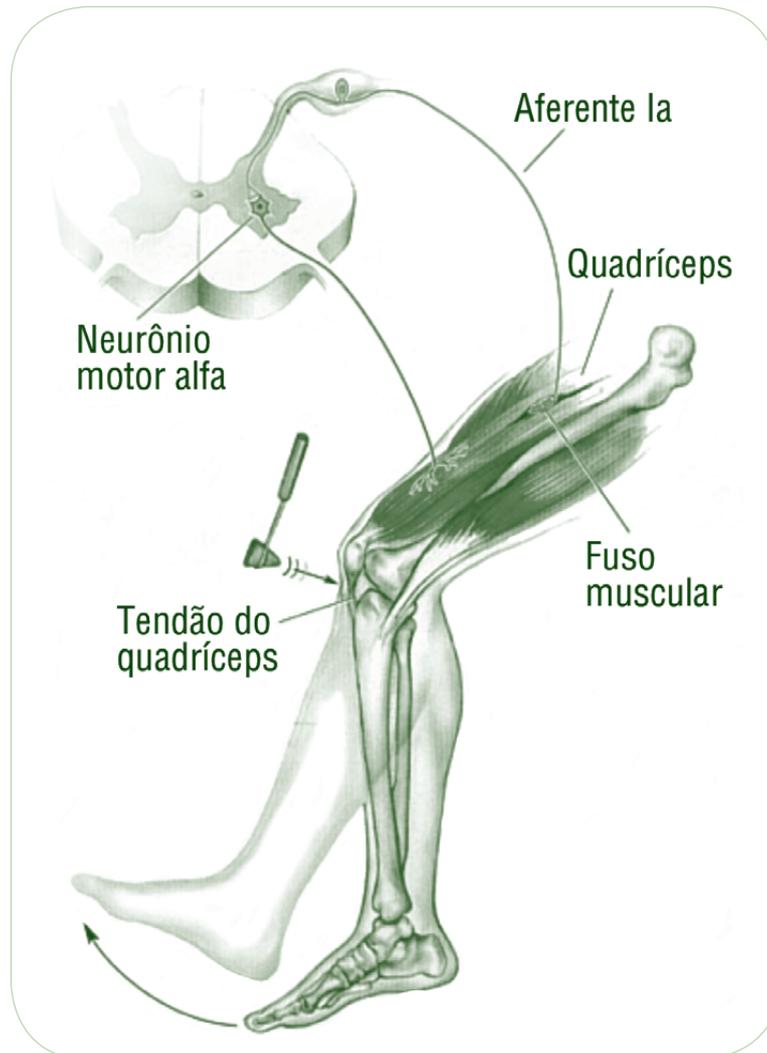


Figura 10 – Reflexo patelar

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

O **órgão tendinoso de Golgi** é bem mais simples. Ele está localizado na junção do músculo com o tendão e é inervado pelo “aferente Ib” (Figura 11).

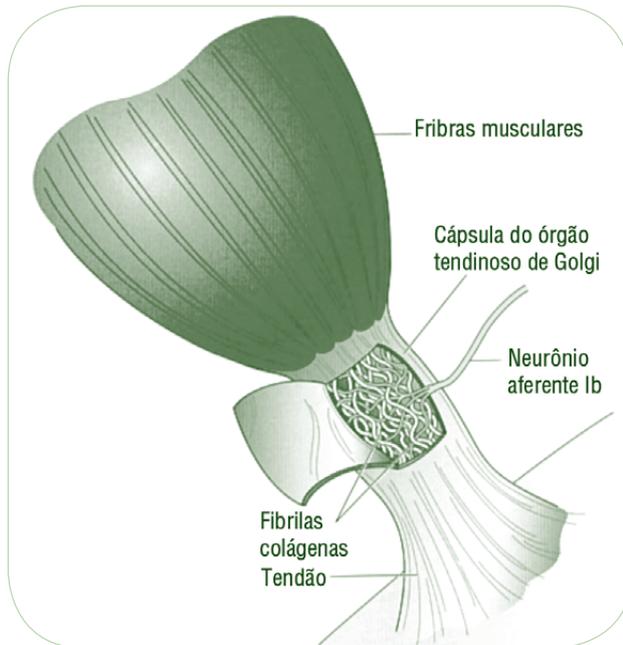


Figura 11 – Órgão tendinoso de Golgi

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010).

Seu funcionamento é muito simples. Quando o músculo se encontra muito contraído, o órgão tendinoso de Golgi tende a puxar o tendão e, nessa “puxada”, o “aferente Ib” despolariza, entra pela raiz dorsal da medula, faz sinapse com um interneurônio inibitório da medula e este, por sua vez, libera neurotransmissor inibitório no motoneurônio alfa, fazendo com que este pare de liberar neurotransmissor no músculo. Essa ação é chamada de reflexo miotático inverso.

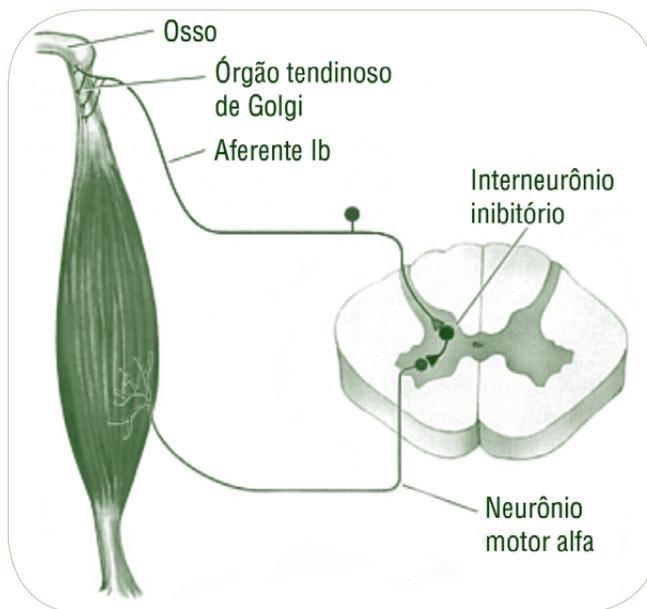


Figura 12 – Reflexo miotático inverso

Fonte: Modificado do Bear, Connors e Paradiso (2010)



Atividade

4

1

Descreva, com suas palavras, por que a propriocepção é importante para a adaptação do animal ao meio ambiente.

2

Dê um exemplo cotidiano da sua vida em que você usa o sentido da propriocepção.

3

Descreva como ocorre o reflexo miotático simples e explique o que ele tem a haver com a propriocepção.

4

Por que dizemos que o órgão tendinoso de Golgi é um receptor de proteção? Justifique.

Curiosidade

Você já viu, ao vivo ou pela televisão, uma competição de halterofilismo? Note que quando os atletas levantam um peso muito excessivo para o seu corpo sustentar, em alguns minutos eles soltam os halteres de vez, chegando mesmo a se machucarem em algumas situações. Essa atitude é tomada devido ao reflexo miotático inverso, que é desencadeado pelo órgão tendinoso de Golgi, e tem o objetivo de proteger o músculo de um possível rompimento.

Vias somestésicas

Os receptores somestésicos que acabamos de abordar, como já foi dito antes, estão espalhados por todas as regiões do corpo e todos enviam informações para o sistema nervoso através de vias formadas por uma rede de neurônios de segunda e terceira ordem. As vias somestésicas têm características importantes. São elas:

- 1) Transmissão sináptica com alta segurança de que a informação chega ao córtex.
- 2) Modalidade sensorial altamente específica.
- 3) Mapeamento topográfico detalhado das regiões onde os receptores estão localizados.

Apesar de toda diversidade de receptores, o sistema somestésico pode ser dividido em dois sistemas ascendentes (que sobem até o córtex) bem definidos. São eles: o sistema **epicrítico** e o sistema **protopático** (Figura 13).

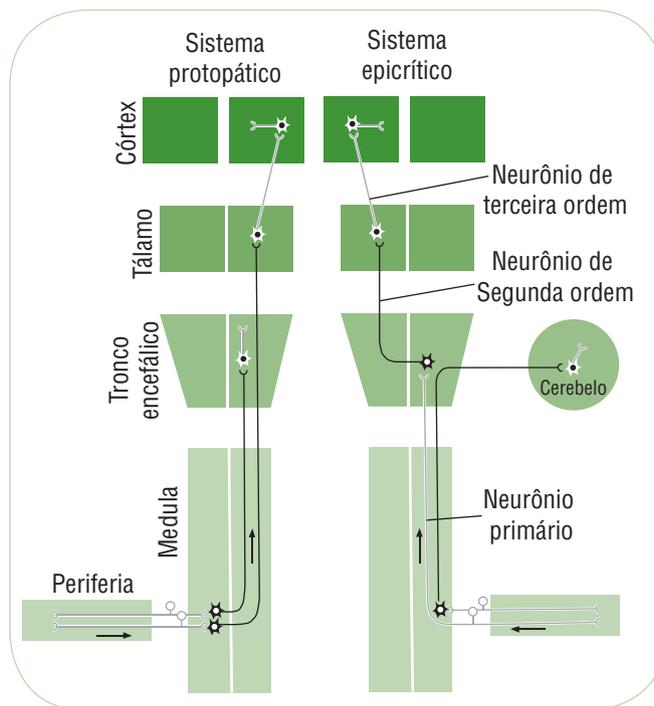


Figura 13 – Sistemas ascendentes

Fonte: Modificado do Lent (2010).

O **sistema epicrítico** reúne os receptores que promovem a capacidade discriminativa e alta precisão sensorial. Já o **sistema protopático**, leva informação de temperatura, dor e tato grosseiro. Este com certeza é o sistema mais antigo e deve ter sido a primeira tentativa da evolução de determinar um sistema mais discriminativo.

Os axônios desses dois sistemas entram no nível medular em que estão localizados e depois sobem até o tronco encefálico, onde fazem a primeira sinapse. De lá ascendem até o tálamo, onde fazem mais uma sinapse e se dirigem para o córtex somestésico primário (S1), que se encontra no giro pós-central. S1 possui representações distintas de tato, dor, temperatura e propriocepção espalhadas por todo o corpo.

Atividade 5

- 1** Analise a Figura 13 e cite quais são as principais diferenças anatômicas entre os sistemas protopático e epicrítico, e quais são as implicações funcionais dessas diferenças.

2

Apresente as principais características das vias somestésicas. Discuta se existe alguma importância evolutiva nessas características.



Leitura complementar

Leia os casos da “mulher desencarnada” e do “homem que caía da cama” no livro a seguir. Os dois casos clínicos são exemplos de deficiências no sistema somestésico.

SACKS, Oliver W. **O homem que confundiu sua mulher com um chapéu e outras histórias clínicas**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997. <http://www.webciencia.com/11_32paladar.htm>



Resumo

Nesta aula, você estudou a importância de um sistema sensorial que está presente em todo o nosso corpo, mas nunca nos damos conta dele: a somestesia. Viu que a somestesia é fundamental para locomoção, proteção e até mesmo para a homeostase do nosso organismo e que as sensações de tato, propriocepção, temperatura e dor provavelmente foram as primeiras a se desenvolverem evolutivamente. Além das especificidades do tato, você estudou como a dor é importante para as bases fisiológicas. Compreendeu ainda que além do controle da temperatura pelo hipotálamo, visto na disciplina de Coordenação da Vida, os receptores cutâneos de temperatura são os verdadeiros responsáveis pela nossa sensação de calor e frio. Enfim, o sentido do corpo (somestesia) é o que nos define como um ser existente.



Autoavaliação

1

Quais são os principais receptores somestésicos espalhados na pele? Quais são as suas especificidades?

2

Diferencie tato de pressão.

3

Por que temperatura e dor são tão importantes para a sobrevivência do animal?

4

Por que as sensações tato, propriocepção, temperatura e dor seguem vias diferentes a caminho do córtex?

Referências

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. **Neurociências, desvendando o sistema nervoso**. 3. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

CAMPBELL N. A. et al. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

MOYES, C. D.; SCHULTE, P. M. **Princípios da fisiologia animal**. 2. ed. Porto Alegre: ArtMed 2010.

WIDMAIER, E. P.; RAFF, H.; STRANG, K. T. **Fisiologia humana**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

Será que as plantas se movem?

Aula

6



Apresentação

Todos os seres vivos são capazes de reagir a estímulos ou a modificações do ambiente. Por isso dizemos que eles possuem irritabilidade.

As plantas, como todos os seres vivos, são organismos altamente complexos organizados em moléculas, células, tecidos e órgãos. Dentro da sua complexidade físico-química, os vegetais respondem ao meio ambiente de diversas formas.

Você já conhece bastante a respeito das reações dos animais aos diversos estímulos, agora, convido-o a conhecer um pouco mais das respostas dos vegetais ao mundo em que vivem. Nesta aula, você irá estudar as interações das plantas com a luz.

Objetivos

- 1** Distinguir os tipos de respostas dos vegetais à luz.
- 2** Entender os mecanismos e hormônios envolvidos no crescimento vegetal.
- 3** Conhecer o que é fototropismo positivo e negativo e heliotropismo.



Tropismo

É muito fácil notarmos os movimentos nos animais e suas respostas ao meio ambiente. Basta sermos um pouco observadores e somos capazes de perceber quando um animal está assustado, sendo caçado, quando gosta de ser tocado. Por diversas vezes fomos capazes de perceber as reações dos animais de acordo com a pressão ambiental em determinada circunstância.

Quanto aos vegetais, perceber suas respostas ao meio ambiente não é uma tarefa muito fácil na maioria das vezes. Por exemplo, se mudarmos a direção de um vaso de uma planta que fica perto de uma fonte de luz, pode ser uma sacada ou uma janela, com o tempo perceberemos que os galhos da planta se moverão muito lentamente em direção à fonte luminosa.

Os animais apresentam um sistema nervoso central que os capacita a compreender determinadas situações, aprender com elas e reagir a elas. Os animais, como o ser humano, possuem órgãos sensoriais (olhos, ouvidos etc.) altamente especializados em receber os estímulos ambientais. Esses órgãos estão ligados ao sistema nervoso, que emite respostas rápidas aos mais variados estímulos.

A essa capacidade de responder de alguma forma a estímulos externos ou ambientais chamamos de sensibilidade. Com isso, concluímos que todos os seres vivos têm irritabilidade, mas só os animais possuem sensibilidade.

Todos os seres vivos, sejam animais, vegetais, fungos, protozoários, etc., reagem às pressões do meio ambiente e respondem de forma adaptativa. Isso garante a sobrevivência das espécies frente às pressões sofridas. Podemos tomar como exemplo o crescimento de uma planta em direção à luz. A luz é fundamental para que ocorra a fotossíntese, um processo bioquímico pelo qual as plantas produzem seu próprio alimento, a glicose. Crescer na presença de muita luz é fundamental para o vegetal.

Na maioria das vezes, as respostas dos vegetais aos estímulos externos costumam ser lentas, diferente dos animais. As reações dos vegetais podem ser desde a inclinação de caules, folhas, ramos e flores em direção à luz ou rápido fechamento das folhas mediante um simples toque. Esse fenômeno de irritabilidade vegetal (resposta dos vegetais ao ambiente externo) é denominado tropismo.

Tropismo é, portanto, o movimento feito pelas plantas e por algumas espécies de fungos, ou por seus órgãos, executado através de ação hormonal e orientado em relação a um agente externo. Podem ser positivos - em direção ao agente externo excitante; e negativos - em direção oposta ao agente externo excitante (WIKIPÉDIA, 2011, extraído da Internet).

Quais estímulos ou forças ambientais interferem no movimento das plantas?

Os seres vivos respondem aos mais variados estímulos, como mudanças na luz, temperatura, gravidade, pressão ou até mesmo composição química do meio ambiente onde estão inseridos.

Existem plantas que, diferente da maioria, respondem rapidamente a determinados estímulos, como a dormideira (*Mimosa pudica*). Essa espécie retrai rapidamente seus folíolos quando tocadas por algum animal. O mesmo ocorre com algumas plantas insetívoras (que se alimentam de insetos).

Podemos citar ainda o girassol, que rotaciona sua inflorescência orientado pela direção dos raios solares. A espécie *Portulaca grandiflora*, popularmente conhecida como onze-horas, tem suas flores abertas somente próximo desse horário, por isso leva esse nome.

No caso dos vegetais, você já sabe que essas reações são referidas como tropismos. Dentre os tropismos, podemos citar:

- Fototropismo: vegetal crescendo a favor ou contra uma fonte luminosa.
- Gravitropismo: vegetal orientando-se a favor ou contra a força de gravidade.
- Tactismo ou quimiotropismo: vegetal orientando-se em relação a substâncias químicas. Um exemplo interessante são algumas plantas parasitas que usam suas raízes para perfurarem caules ou raízes de outras plantas e, assim, sugarem a seiva da planta vizinha.
- Tigmotropismo: vegetal orientando seu crescimento em torno de um suporte. Podemos citar como exemplo as plantas trepadeiras que apresentam gavinhas. Estas tocam uma superfície sólida e começam a crescer enrolando-se nela. É o que faz com que uma trepadeira cresça encostada a um muro, ou que as gavinhas se enrolem ao redor de um suporte. As gavinhas são caules ou folhas modificados que se enrolam e agarram a planta em um suporte, como ocorre nas espécies de uva, maracujá, chuchu etc.
- Hidrotropismo: vegetal orientando seu crescimento em resposta à água, isso ocorre com algumas raízes.

Veremos todas essas respostas dos vegetais aos estímulos do meio ambiente nas próximas aulas.

Hormônios vegetais e sua influência no crescimento e movimento das plantas

Algumas substâncias produzidas pelos vegetais são capazes de regular várias respostas das plantas aos estímulos ambientais. Estamos falando dos hormônios vegetais ou fitormônios. Estes são substâncias orgânicas responsáveis pela regulação fisiológica do vegetal, sendo importantes no desenvolvimento, crescimento e reprodução das plantas. Os hormônios

podem atuar no local (tecido) onde são produzidos ou ser transportados para diversas partes do vegetal, onde encontrarão tecidos-alvo (tecidos onde eles irão atuar) para sua atuação.

A palavra hormônio vem a partir do termo grego *horman*, que significa “excitar”. Entretanto, existem hormônios inibitórios. Sendo assim, é mais conveniente considerá-los como sendo reguladores químicos. (SÓ BIOLOGIA, 2011, extraído da Internet).

A composição dos reguladores químicos pode mediar a sua atuação, no entanto, além disso, a forma como esses reguladores são detectados pelos tecidos-alvo também influencia na sua atuação. Uma prova disso é que um único hormônio vegetal pode atuar de diferentes formas, causando diferentes efeitos quando atua em locais distintos na planta. A atuação desse mesmo hormônio ainda pode variar no vegetal dependendo da sua quantidade e do estágio de desenvolvimento dos tecidos e até mesmo da planta.

Atendendo às suas principais ações, podem considerar-se cinco importantes grupos de substâncias reguladoras do crescimento: auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico e etileno.

Um dos primeiros hormônios a serem descobertos foram as auxinas, responsáveis pelo crescimento dos vegetais. Subsequentemente à descoberta das auxinas, os outros hormônios foram identificados e, em geral, essas substâncias controlam o crescimento e desenvolvimento das plantas afetando a divisão, o alongamento e a diferenciação das células. O Quadro 1 exemplifica os principais hormônios vegetais e as suas ações nas plantas.

Ao longo das aulas você identificará algumas respostas das plantas ao meio ambiente e como elas são mediadas por hormônios.

HORMÔNIO	AÇÕES	ORIGEM	ALVO
Auxinas (IAA)	Estimulam o crescimento celular e o alongamento das raízes e caules e o desenvolvimento do fruto. Controlam o fototropismo e o gravitropismo. Promovem a dominância apical, inibindo a formação de ramos laterais. Retardam a abscisão das folhas e dos frutos.	Meristemas de raízes e gomos	Células de raízes, caules e folhas
Giberelinas	Estimulam o alongamento do caule e dos gomos e o desenvolvimento do fruto. Promovem a germinação das sementes. Estimulam a floração em algumas plantas.	Cloroplastos e tecidos das folhas	Células do caule
Citoquininas	Estimulam a divisão celular. Promovem o desenvolvimento de gomos laterais. Retardam a abscisão das folhas.	Em vários tecidos das plantas	Tecidos em crescimento de raízes, caules e folhas
Ácido abscísico	Estimula a abscisão das folhas. Inibe a germinação das sementes e desenvolvimento de gomos. Promove o fecho dos estomas em plantas com carência de água.	Folhas	Tecidos de caules e gomos
Etileno	Estimula a abscisão das folhas. Promove a maturação dos frutos. Inibe o crescimento de raízes e de gomos laterais	Tecidos de raízes e folhas envelhecidas	Frutos e flores

Quadro 1 – Principais hormônios vegetais, suas ações e sítios de produção e atuação

Fonte: <<http://campus.fortunecity.com/yale/757/fototrop.htm>>. Acesso em: 29 jul. 2011..

Como se comportam as plantas na presença de luz?

É interessante observarmos que sempre que plantamos uma semente no solo, seja de que espécie vegetal for, ela germina no solo e encontra o caminho certo para emergir e alcançar a superfície. A nova planta formada pela germinação da semente, chamada de plântula, começa a crescer em direção ao Sol, em busca da luz. É fácil entendermos esse comportamento do vegetal, quando lembramos que a planta precisa da luz para fazer a fotossíntese e, consequentemente, produzir o seu próprio alimento.

Quando as plantas estão longe do sol, ou seja, na sombra, elas começam a produzir as auxinas, que ajudam a planta a direcionar-se em busca do sol. A ajuda dada pelas auxinas ocorre porque esses hormônios aceleram o crescimento da planta, favorecendo-o em direção ao Sol. O hormônio vai se acumulando em partes da planta que crescem mais rápido do que outras e essas partes de crescimento acelerado estão sempre indo em direção ao Sol.

O crescimento da maioria dos caules das plantas tem um desenvolvimento vertical, enquanto os ramos crescem, geralmente, na direção horizontal. Se uma caixa opaca é colocada sobre uma planta que cresce verticalmente e se corta a caixa só de um lado para receber luz, a extremidade da planta, dentro de algumas horas, começa a curvar-se nessa direção. Se a caixa for retirada, o crescimento é compensado, voltando a extremidade a crescer verticalmente. O movimento em direção à luz é denominado fototropismo positivo. Se um movimento similar ocorre em direção oposta à da fonte luminosa, denomina-se fototropismo negativo.

“As extremidades superiores da maioria das plantas são fototrópicas positivas, enquanto as raízes não são sensíveis à luz ou são fototrópicas negativas” (CERQUEIRA, 2011, extraído da Internet).

As folhas torcem muitas vezes os seus pecíolos como resposta à iluminação, ficando colocadas perpendicularmente à fonte luminosa. Há plantas em que as folhas têm orientação solar, mantendo os limbos (parte verde expandida da folha) constantemente perpendiculares à direção do Sol durante todo o dia.

Alguns autores denominam esse movimento de heliotropismo, mas nesse caso não há participação, com respostas fototrópicas, dos caules, das raízes e do crescimento. São as células que ligam o pecíolo ao limbo que controlam o movimento de torção dos pecíolos (CERQUEIRA, 2011, extraído da Internet).

Na ausência de luz, ou seja, durante a noite, as flores geralmente não possuem uma orientação espacial determinada. No entanto, quando surgem os raios solares ao amanhecer, as flores orientam-se na direção do nascer do Sol, ou seja, para o Oriente, um movimento fototrópico positivo. Essa torção das flores em busca do sol é realizada no pulvino, o início do caule logo abaixo da flor. No pulvino, existem células motoras que proporcionam a rotação das flores em busca do sol. Essas células enchem-se de água ou murcham e assim distendem ou recolhem os tecidos, causando o movimento nas flores.

Você sabia que...



A primeira pessoa a observar e relatar o fenômeno do heliotropismo não foi um cientista e sim um artista? Isso mesmo, Leonardo da Vinci em suas observações da natureza reparou no movimento das plantas em direção ao Sol. Dá pra acreditar que esse gênio das artes observava tanto a natureza para retratá-la em suas obras que percebeu que as flores mudavam de direção ao longo do dia?

A orientação das folhas das plantas em direção aos raios do Sol pode ser diferente de uma espécie para outra. Existem espécies em que as folhas estão geralmente dispostas perpendicularmente aos raios do Sol. Diz-se que essas espécies apresentam diaheliotropismo. As espécies que apresentam folhas orientadas paralelamente aos raios do Sol apresentam paraheliotropismo, diminuindo a incidência solar na folha.

Esses movimentos foliares não são movimentos de crescimento. Ao contrário, são movimentos rápidos e reversíveis em resposta a alterações de turgor nas células de um órgão na base do pecíolo da folha, chamado pulvino. O mesmo ocorre com as flores, como relatado anteriormente.

Muitas espécies vegetais de ambientes desérticos apresentam heliotropismo. Os movimentos das folhas dessas espécies captam maiores quantidades de radiação solar e, conseqüentemente, aumentam a taxa fotossintética dessas espécies de ambiente hostil. No entanto, quando a temperatura do deserto está muito alta, elas realizam paraheliotropismo, diminuindo a incidência solar sobre a superfície foliar e, conseqüentemente, a transpiração, perda de água por evaporação. Isso pode ser vital em um ambiente com carência hídrica.

Muitas espécies de plantas, especialmente leguminosas e malváceas, têm a capacidade de orientar suas folhas em relação aos raios do Sol.

A Figura 1 mostra plantas do deserto de Death Valley, na Califórnia. A figura evidencia um exemplo de diaheliotropismo na família Malvaceae, através da espécie de leguminosa *Eremalche rotundifolium*, e a *Arizonicus lupinus*, que apresenta uma mistura de diaheliotropismo e paraheliotropismo, dependendo da temperatura local e quantidade de água nas plantas em determinado momento.



Figura 1 – À esquerda está *Eremalche rotundifolium*, um rastreador solar da família Malvaceae. À direita está *Arizonicus lupinus*, uma leguminosa que apresenta uma mistura de diaheliotropismo e paraheliotropismo.

Fonte: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Desert_Five-Spot_\(Eremalche_rotundifolium\).jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Desert_Five-Spot_(Eremalche_rotundifolium).jpg);
http://www.abdnha.org/images/03_flora/family/fabaceae/lupinus/lupinus_5707a.jpg.

Atividade 1

Visite o site <<http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&langpair=en%7Cpt&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Heliotropism>>. Nele você verá uma série de fotos tiradas de uma espécie vegetal cultivada durante 9 dias de seca. As fotos foram tiradas todas ao meio-dia e mostram o desenvolvimento da planta no período. O pulvino pode ser visto como um inchaço de uma cor mais clara na base dos folhetos.

O exemplo mais conhecido de heliotropismo ocorre com o girassol, aliás, o próprio nome da planta está relacionado ao fato de ela girar em direção ao Sol ao longo do dia. O movimento é realizado pelas células motoras do pulvino, logo abaixo da flor. Essas células apresentam paredes flexíveis capazes de resistirem a grandes tensões sem se rasgarem, uma característica muito importante para sua função. Quando a luz incide sobre um dos lados do pulvino pela manhã, certas enzimas induzem as células desse lado a perder água e encolher-se, fazendo com que o pulvino se dobre e arraste a inflorescência. À medida que avança o dia, durante o entardecer, as células do pulvino localizadas do lado contrário ao Sol voltam a absorver água e adquirem o volume original, fazendo com que o pulvino volte a movimentar a inflorescência para a posição de origem. A Figura 2 ilustra esse movimento no girassol.



Figura 2 – Detalhe do pulvino da inflorescência do girassol curvando-se em direção ao Sol

Fonte: <http://www.lookfordiagnosis.com/images.php?term=Fototropismo&photo_id=3610412961&lang=3>. Acesso em: 29 jul. 2011.

A Figura 3 mostra a espécie *Lactuca serriola*, que pode alcançar 1,5 metros de altura e é conhecida por suas folhas robustas com espinhos. As folhas se retorcem na base, de modo que o limbo foliar se fecha protegendo a planta do Sol do meio-dia. Dessa forma, a planta evita uma transpiração excessiva e diminui a perda de água nos horários mais quentes do dia.



Figura 3 – Folhas de *Lactuca serriola* em paraheliotropismo

Fonte: <http://www.lookfordiagnosis.com/images.php?term=Fototropismo&photo_id=2626847299&lang=3>. Acesso em: 29 jul. 2011.

Mas, afinal, qual é a diferença entre fototropismo e heliotropismo?

O fototropismo não é reversível, diferente do heliotropismo, que é reversível assim que as condições de luminosidade do meio em que as plantas estão mudam. As reações fototrópicas dos vegetais maximizam a captura de luz e, conseqüentemente, aumentam suas taxas fotossintéticas. Essa é uma interessante adaptação dos vegetais às condições ambientais, permitindo maior produção de alimento e melhores chances de sobrevivência.

Alguns pesquisadores observaram que as plantas apresentam curvaturas em direção à luz. Por volta de 1881, Charles Darwin e o filho Francis realizaram várias experiências utilizando sementes de gramíneas e, em especial, sementes de aveia.

Na aveia, assim como em outras espécies de monocotiledôneas, a primeira porção da plântula que emerge do solo é o coleóptilo, uma bainha cilíndrica que protege as folhas jovens. Darwin observou que dos exemplares deixados intactos, os que tinham o ápice do coleóptilo coberto por material transparente e os coleóptilos que estavam cobertos com material opaco, exceto os ápices, se encurvaram em direção à luz (Figura 1). Após a análise dos resultados, Darwin relatou que quando as plântulas são expostas a uma luz lateral, é transmitida uma mensagem da parte superior da planta para a parte inferior, que provoca a curvatura dos coleóptilos. Com essa conclusão, atribuiu-se a Darwin o mérito de ter sido o investigador que obteve os primeiros dados que levaram à ideia de que as plantas produzem hormônios.

Em 1913, Boysen e Jensen cortaram o ápice da plântula de aveia e o recolocaram no coleóptilo sobre uma lâmina de mica, um material rígido que impedia completamente a comunicação entre o ápice da plântula e todo o restante dela. A plântula não cresceu em direção à luz, conforme observado na Figura 4.

Em outro experimento, eles novamente cortaram o ápice da plântula de aveia e o recolocaram no coleóptilo, dessa vez sobre uma lâmina de gelatina, conforme indicado na figura. Após algum tempo, eles perceberam que, dessa vez, a planta voltou a crescer em direção à luz. Com esses experimentos, Boysen e Jensen perceberam que alguma substância produzida pelo ápice da plântula fazia com que ela reagisse à luz, crescendo em sua direção.

Quando eles usaram a gelatina, perceberam que essas substâncias produzidas no ápice da plântula conseguiam se difundir pela gelatina e, com isso, alcançavam o resto do coleóptilo, fazendo com que a planta crescesse em direção à luz.

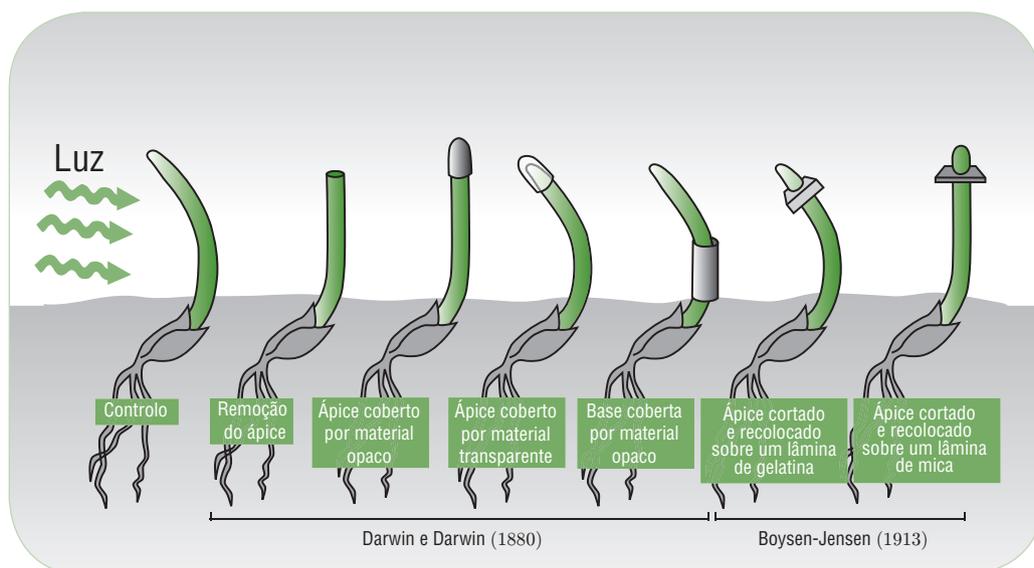


Figura 4 – Esquema de experimentos de fototropismo com plântulas de aveia

Fonte: <http://www.netxplica.com/manual.virtual/exercicios/bio10/hormonas_vegetais_experiencias.htm>. Acesso em: 29 jul. 2011.

Algumas décadas depois das experiências consideradas, em 1926, o botânico holandês Frits Went realizou novas experiências semelhantes às realizadas anteriormente por Darwin e Boysen-Jensen. O resultados indicaram que a alteração na forma das plantas, ou seja, a curvatura foi ocasionada pela ação de algum composto sintetizado na parte superior do coleóptilo. Mais tarde descobriu-se que esse composto era a auxina, um hormônio vegetal.

“A curvatura dos caules das plantas, quando expostas a uma luz lateral, pode ser explicada devido ao maior crescimento das células do lado oposto à fonte luminosa do que do lado mais luminoso” (TROPISMOS..., 2011, extraído da Internet). Essa diferença no crescimento celular entre os dois lados do coleóptilo era causada pela maior concentração, na área de maior crescimento, de auxina, um hormônio que estimula o crescimento do vegetal.

A auxina estará presente como mediadora em alguns casos de fototropismo, mas não em todos. As Figuras 5 e 6 ilustram fototropismo positivo em diferentes espécies vegetais.



Figura 5 – Fototropismo positivo do coqueiro

Fonte: <http://www.lookfordiagnosis.com/images.php?term=Fototropismo&photo_id=3610412961&lang=3>. Acesso em: 29 jul. 2011.



Figura 6 – Fototropismo positivo de uma planta na sacada de um apartamento

Fonte: <http://www.lookfordiagnosis.com/images.php?term=Fototropismo&photo_id=435070413&lang=3>. Acesso em: 29 jul. 2011.

Alguns fungos, como o *Stropharia aurantiaca*, também apresentam fototropismo positivo crescendo em busca do sol. A Figura 7 mostra que em um plano inclinado, o cogumelo levantou o seu caule de modo a usufruir ao máximo da luz solar.



Figura 7 – Fungo *Stropharia aurantiaca* em fototropismo positivo

Fonte: <http://www.lookfordiagnosis.com/images.php?term=Fototropismo&photo_id=2240871896&lang=3>. Acesso em: 29 jul. 2011.



Atividade 2

Se plantarmos sementinhas de vegetais de crescimento rápido, como por exemplo, feijão ou milho em vasos e, depois, os posicionarmos conforme visto na figura a seguir, passado algum tempo, independentemente de sua posição, as plantas estarão todas crescendo em direção à luz. Explique o porquê dessa alteração no crescimento da planta.

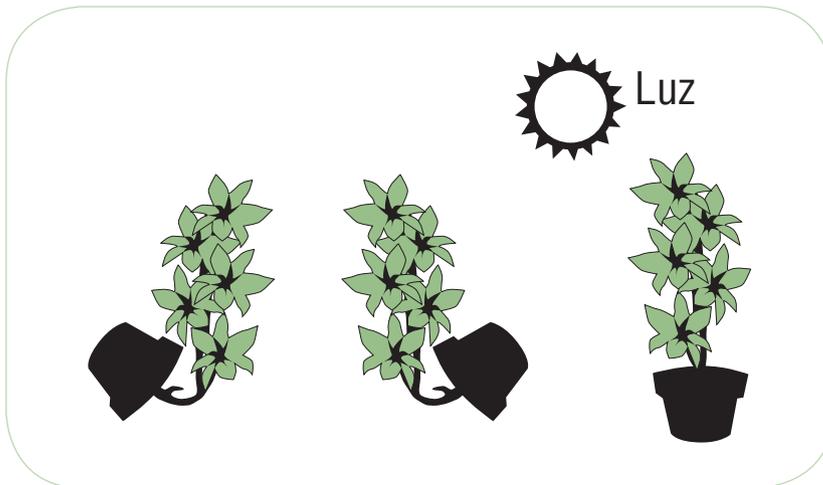


Figura 8 – Alteração no crescimento vegetal sob influência da luz

Fonte: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/117>>. Acesso em: 29 jul. 2011.



Resumo

Nesta aula, você viu que todos os seres vivos possuem irritabilidade. Isso quer dizer que eles são capazes de reagir a estímulos ou a modificações do ambiente. No caso dos vegetais, as reações aos estímulos costumam ser mais lentas do que nos animais, manifestando-se, por exemplo, pelo crescimento do caule em direção à luz ou pelo crescimento das raízes em direção ao solo. Esse fenômeno de irritabilidade vegetal é denominado tropismo. O movimento dos órgãos vegetais em direção à luz é denominado fototropismo positivo. Se um movimento similar ocorre em direção oposta à da fonte luminosa, denomina-se fototropismo negativo. Algumas folhas e flores podem torcer-se em busca do sol ou escondendo-se dele. Esse movimento é chamado de heliotropismo. As plantas são mesmo surpreendentes. Nas próximas aulas você aprenderá mais sobre tropismos e as diferentes respostas dos vegetais ao meio ambiente

Autoavaliação



Agora que você já conhece muito sobre fototropismo e heliotropismo, estabeleça as diferenças entre esses dois tipos de irritabilidade vegetal e a influência de alguns hormônios envolvidos nesse processo.

Referências

AWAD, M.; CASTRO, P. R. C. **Introdução à Fisiologia vegetal**. Campinas: Livraria Nobel S.A., 1989.

CERQUEIRA, Luisa: blog. Disponível em: <<http://luisacerqueira10a.blogspot.com/>>. Acesso em: 29 jul. 2011.

CUTER, E. G. **Anatomia vegetal**. Trad. G.V.M.C. Catena. São Paulo: Livraria Roca, 1987. v I e II.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda.; Editora da Universidade de São Paulo, 1979. v I e II.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Kookan, 1992.

ROIALS PIQUÉ, M. P.; BRITO, J. F. **Atlas escolar de Botânica**. São Paulo: Ícone, 1996. 178p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TROPISMOS e movimentos násticos. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/marcelthomasjob/tropismo-e-movimentos-nasticos>>. Acesso em: 29 jul. 2011.

WIKIPÉDIA. **Tropismo**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Tropismo>>. Acesso em: 29 jul. 2011.

_____. **Heliotropismo**. Disponível em: <<http://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&langpair=en|pt&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Heliotropism>>. Acesso em: 29 ju. 2011.

As plantas e sua relação com a gravidade

Aula

7



Apresentação

Você já conhece bastante as reações dos vegetais aos estímulos luminosos. Nesta aula, você será capaz de *entender como a força da gravidade atua sobre os vegetais e como eles respondem a esta força invisível.

Objetivos

- 1** Entender como a força da gravidade atua sobre os organismos vivos.
- 2** Distinguir os tipos de respostas dos vegetais à força da gravidade.





Afinal, o que é a famosa força da gravidade?

A força da gravidade é descrita pela Lei da Gravitação Universal de Newton. Isaac Newton foi o primeiro cientista que estudou e descreveu essa lei que seria tão estudada por todos nós. A força da gravidade é o que atrai todos os corpos para a superfície da Terra. Se não fosse essa fabulosa força, todos os seres vivos, objetos, a água e tudo mais estaria circulando no espaço.

A Figura 1 representa pessoas que estão em um local que reproduz acontecimentos sem a presença da força da gravidade. Note que as duas mulheres estão flutuando em virtude da falta de uma força que as atraia para o chão, a força da gravidade.



Figura 1 – Simulação de ausência de gravidade em laboratório da NASA nos Estados Unidos

Fonte: <http://artedepensar.com.br/images/gravzerovirado.jpg>

Na verdade, o que ocorre é que a força da gravidade promove um certo peso a tudo o que está sobre a Terra. Por isso os objetos ficam presos ao chão e quando jogados para cima eles caem e não sobem.

A gravitação é o motivo pelo qual a Terra, o Sol e outros corpos celestiais existem: sem ela, a matéria não se teria aglutinado para formar aqueles corpos e a vida como a entendemos não teria surgido. A gravidade também é responsável por manter a Terra e os outros planetas em suas respectivas órbitas em torno do Sol e a Lua em órbita em volta da Terra, bem como pela formação das marés e por muitos outros fenômenos naturais (WIKIPÉDIA, 2011, extraído da internet).

Um pouco de história



Ninguém tem certeza se o conto sobre Newton e a maçã é verídico, mas o raciocínio, com certeza, tem seu valor. Essa força invisível que atrai todos os corpos para sua superfície foi descoberta por volta de 1660, pelo cientista inglês Isaac Newton. A história contada afirma que Newton estava descansando debaixo de uma macieira, quando de repente uma maçã caiu sobre sua cabeça. Qualquer um de nós poderia simplesmente ter ficado com raiva da maçã que nos atingiu, mas Newton resolveu pensar a respeito: Por que todos os objetos caem na direção de cima para baixo? Certamente tem uma força que os puxa para baixo e não para cima. Foi aí que começou a surgir a teoria da gravidade, muito explorada por Newton.

Não é somente na Terra que existe a força da gravidade, ela ocorre em todos os outros planetas do sistema solar. No caso da Lua, a força da gravidade é menor, por isso quando Neil Armstrong desceu da sua espaçonave, a Apollo 11, em 1969, e deu um salto na superfície da Lua ele demorou mais tempo para chegar ao chão, parecia até que ele estava pulando em câmera lenta.

Como a gravidade influencia os vegetais?

Uma semente quando cai em um solo com condições favoráveis logo começa a germinar. O caule começa a crescer para cima e a raiz começa a crescer para baixo, em direção ao solo. Esse crescimento das raízes para baixo era chamado de geotropismo (Geo = Terra). Atualmente, o termo geotropismo foi substituído por gravitropismo. Essa alteração foi sugerida pela NASA, uma vez que as raízes crescem para baixo em resposta à força da gravidade, representando verdadeiramente um tropismo.

O crescimento da raiz a favor da força da gravidade, ou seja, para baixo, é chamado de **gravitropismo positivo**. No entanto, o crescimento do caule contra a força da gravidade, ou seja, para cima, é chamado de **gravitropismo negativo**.

Mas se em uma mesma planta há dois tipos de tropismo, um positivo e outro negativo, como cada parte da planta responde a esses tropismos? Como o caule naturalmente cresce para cima e não para baixo? O responsável por essa orientação espacial é a **auxina**, um hormônio vegetal que você conheceu na Aula 6, intitulada “Será que as plantas se movem?”.

A comprovação de que a auxina ajuda a orientar a direção do crescimento do caule e da raiz ocorreu com um simples experimento. Colocou-se uma planta muito jovem na horizontal e mediram as concentrações desse hormônio na região do caule e da raiz. Os pesquisadores viram que as suas concentrações eram distintas nas metades superiores e inferiores no caule e na raiz. A parte inferior da raiz e do caule acumulou mais auxina com o tempo do que a metade superior nesses dois órgãos. Vale lembrar que, no caule, a maior concentração dessa substância promove o seu crescimento, porém, na raiz, sua maior concentração inibe o seu crescimento. Com isso, o lado inferior do caule (que apresenta mais auxina) se desenvolve mais do que o superior, efetuando uma curva para cima, e, na raiz, o lado superior (que tem menos auxina) se desenvolve mais do que o inferior, projetando-se para baixo. Dessa forma, os pesquisadores concluíram que a força da gravidade atuava deslocando a auxina para baixo e, conseqüentemente, quando a planta está na sua posição ereta, as auxinas, auxiliadas pela força da gravidade, fazem com que a raiz cresça para baixo e o caule para cima.



Laboratório

Existem experimentos que evidenciam a atuação da força da gravidade nos ápices do caule e da raiz.

Colocando uma planta deitada sobre o solo, em posição horizontal por alguns dias, nota-se aos poucos um discreto crescimento do caule fazendo uma curva na planta para cima. O mesmo ocorre com a raiz, porém, esta cresce fazendo uma curva para baixo, em direção ao solo (Figura 2).

Essa mudança na direção do crescimento do ápice do caule e da raiz ocorre devido à concentração de auxinas nesses ápices, conforme explicado anteriormente (Figura 3). Com isso, confirma-se que o caule tem gravitropismo negativo e que a raiz tem gravitropismo positivo.

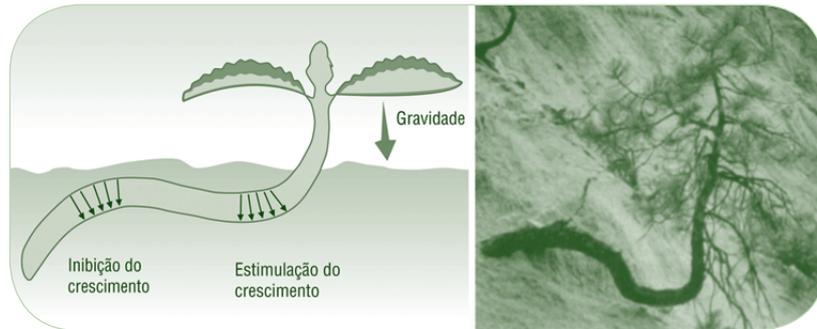


Figura 2 – Plântulas colocadas na posição horizontal em que o caule responde negativamente à gravidade e força o crescimento para cima, deformando a planta jovem

Fonte: <http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Gravitropismo&lang=3>. Acesso em: 25 jul. 2011.

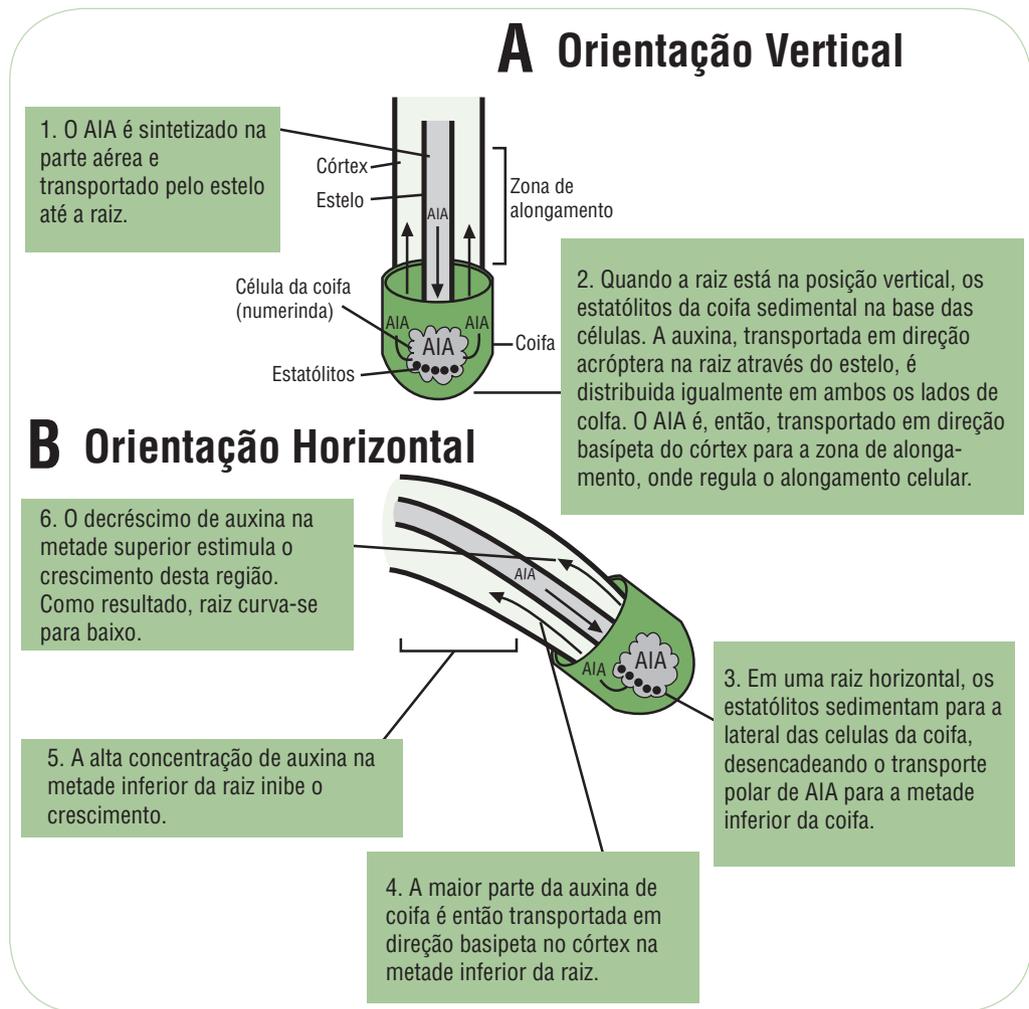


Figura 3 – Esquema de um ápice (ponta) de raiz. A: planta na posição vertical com a auxina acumulada na posição mais inferior, fazendo com que a raiz cresça verticalmente. B: planta na posição horizontal; A força da gravidade puxa as auxinas para baixo e com isso a raiz começa a entortar, buscando a posição vertical

Fonte: <http://farm4.static.flickr.com/3246/2705039654_f5b3bfe562.jpg>. Acesso em: 25 jul. 2011.

Como se comportam as plantas na ausência de gravidade?

A agência espacial norte-americana (NASA) desenvolve há alguns anos diversas pesquisas que avaliam o crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais sob ausência de gravidade. Essas pesquisas são consideradas de grande importância, pois a NASA tem buscado informações sobre o comportamento de espécies vegetais que serão necessárias na ocupação de locais fora do ambiente terrestre, em uma nave espacial, por exemplo, ou uma base lunar, e quem sabe até em outro planeta do sistema solar.

É de se esperar que fora do ambiente terrestre, o crescimento e o desenvolvimento dos seres vivos sejam muito diferentes, quando comparados com o que ocorre na Terra. Nas naves espaciais, há a microgravidade agindo sobre os seres vivos, mas não há a força da gravidade. Já foi comprovado que o desenvolvimento e sobrevivência das plantas são altamente influenciados pela ausência ou a diminuição da força da gravidade.

Sem a ação da gravidade, por exemplo, as raízes crescem em direções aleatórias e não para baixo, como ocorre com as plantas sob a ação da gravidade. Dentro da nave, a direção do crescimento dos caules também é alterada, pois eles crescem em direção à luz e dentro da nave ou na estação espacial, existem luzes por todos os lados.



Atividade

Estabeleça a relação entre o hormônio auxina, influenciado pela força da gravidade, e sua atuação nas raízes das plantas.



A UFRN, sob o comando do Prof. Dr. José Renan de Medeiros, tem desenvolvido uma pesquisa científica, cujo foco é um estudo sobre a cana-de-açúcar no espaço.

Desde a década de 1960, os cientistas buscam compreender como as plantas respondem à ausência de gravidade ou ao gravitropismo. Pretende-se ainda descobrir quais seriam as mensagens moleculares que estariam associadas a esses mecanismos de percepção da gravidade e resposta a ela.

Os trabalhos existentes até o momento mostram que algumas variedades de plantas, em condições de microgravidade na estação espacial internacional, apresentam problemas no desenvolvimento ou esterilidade das flores.

A UFRN, através do seu Instituto Nacional de Estudos do Espaço, prepara-se para a realização de um experimento inédito nessa área. A Universidade estudará experimentos com cana-de-açúcar no espaço, portanto fora dos efeitos da gravidade terrestre.

O experimento da UFRN escolheu como modelo vegetal plantas de cana-de-açúcar devido a sua importância agrônômica para todo o Brasil, incluindo a região Nordeste. Essa espécie também foi escolhida, pois já existem algumas base de dados contendo informações sobre seu genoma.

Assim, o projeto *Vegetal Gravity Product* (VGP) trata de um experimento biológico com finalidade de expor plantas de cana-de-açúcar em condições de microgravidade em um curto espaço de tempo por meio do foguete VSB-30. Esse foguete foi construído no Brasil e lançado em dezembro de 2010 no Centro de Lançamentos de Alcântara, Maranhão.

As plantas de cana-de-açúcar estão contidas em duas caixas de alumínio hermeticamente fechadas. Quando as plantas voltarem para a Terra serão enviadas para o laboratório de Biologia Molecular e Genômica do Departamento de Biologia Celular e Genética do Centro de Biociências da UFRN para análise. Esta será realizada utilizando ferramentas moleculares como genômicas e proteômicas para identificar mensagens produzidas em resposta à condição de microgravidade.

Com esse experimento espera-se identificar as mensagens que, em geral, as plantas produzem na tentativa de se adaptar a uma nova condição ambiental. Essas mensagens permitirão compreender um pouco mais da fisiologia em geral das plantas frente às condições adversas a que são expostas diariamente.

Reportagem integral no site:

<http://www.opublico.com.br/navegacao/noticias.php?id=3099>.

Estamos muito mais próximos do espaço do que se pode imaginar, não é mesmo?

Que alterações podem ser esperadas em uma planta que cresce no espaço?

Já vimos que no espaço encontramos a microgravidade. Cada espécie vegetal responde de uma forma a ela. As plantas podem produzir substâncias em qualidade e quantidade diferentes no espaço, algumas delas estimulam o crescimento das plantas, como ocorre com os polissacarídeos, um dos constituintes da parede celular. No entanto, alguns estudos já revelaram que na microgravidade as plantas podem diminuir a produção de lignina (proteína da parede celular que dá rigidez à célula) e tornar a divisão celular mais lenta. Também já foi observado que algumas espécies vegetais expostas à microgravidade apresentaram um desenvolvimento reduzido das sementes, além de uma fisiologia alterada pela variação no fluxo de hormônios.

A Agência Espacial Europeia, ESA, ativou o primeiro experimento, com plantas sem ação da gravidade, no interior do laboratório espacial Columbus. O site <http://www.apolo11.com/iss.php?titulo=De_olho_no_futuro_ESA_estuda_plantas_no_espaco&posic=dat_20080303-093017.inc> conta detalhes do experimento: “Conhecido como WAICO, o experimento consistia em investigar os efeitos da gravidade nas raízes de plantas em crescimento. WAICO (*Waving and Coiling of Arabidopsis Roots at Different g-levels*) significa Ondulação e Espiralamento de Raízes de *Arabidopsis* em Diferentes Níveis de Gravidade.

WAICO acompanhou o crescimento de dois tipos de sementes de *Arabidopsis*, um do tipo selvagem e outro geneticamente modificado. Ambas as sementes foram submetidas a forças de gravidades de $0g$ e $1g$, onde “ g ” é o equivalente à gravidade na Terra.

As pequenas sementes cresceram entre 10 e 15 dias sob condições controladas de temperatura, umidade e iluminação. Utilizando dados telemétricos, as imagens e dados relacionados foram retransmitidos em tempo real aos pesquisadores em terra.”

Os pesquisadores verificaram a influência da força da gravidade nas raízes de *Arabidopsis*, as quais se tornaram espiraladas (Figura 4). Essa pesquisa contribuirá para a elucidação do desenvolvimento completo de plântulas (plantas jovens), podendo auxiliar na prática da agricultura terrestre.

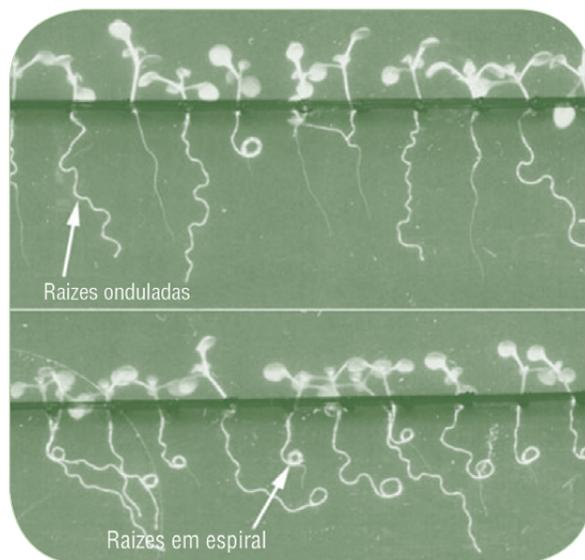


Figura 4 – Plântulas de *Arabidopsis* crescendo na ausência de gravidade com raízes deformadas

Fonte: <http://www.apolo11.com/iss.php?titulo=De_olho_no_futuro_ESA_estuda_plantas_no_espaco&posic=dat_20080303-093017.inc>. Acesso em: 25 jul. 2011.

A pesquisa WAICO será ainda de grande valia para compreender o desenvolvimento vegetal na Lua e em Marte, auxiliando a exploração do homem a esses misteriosos lugares. Será necessário compreender o ciclo fenológico (crescimento e desenvolvimento) das plantas fora da Terra, para que a agricultura seja viável no espaço, possibilitando a colheita de espécies vegetais em estações espaciais para consumo dos astronautas. Atualmente, os astronautas dependem de alimentos que colocam dentro das espaçonaves, ocupando grande espaço e gerando alto risco de contaminação.

O estoque dos alimentos é renovado nas estações espaciais com a chegada de novas equipes em missões espaciais. No entanto, quando as missões são mais extensas, a situação se complica bastante, pois o tempo que uma espaçonave demora para sair da Terra, chegar em Marte e voltar para a Terra é de 18 meses. Como estocar alimento para esse tempo todo? É pensando em problemas como esse que vários institutos de pesquisa espalhados pelo mundo têm avançado em estudos da adaptação dos vegetais no espaço.

Atualmente, a Agência Espacial Europeia e o Instituto Russo têm feito pesquisas científicas com produção de alimentos simulando os efeitos do espaço nos alimentos. O experimento principal leva o nome de Mars500 e visa possibilitar aos astronautas a produção de alimentos no espaço, a fim de tornar as expedições autossuficientes quanto à alimentação. Os pesquisadores estão desenvolvendo estufas especiais para serem colocadas dentro das espaçonaves, nas estações espaciais e na superfície de outros planetas.

Já existe uma miniestufa funcionando com plantio de uma pequena espécie vegetal na Estação Espacial Internacional, a ISS comandada pelo astronauta Paolo Nespoli. Esse minicultivo ficará a bordo da Estação por seis meses. A espécie vegetal utilizada para os testes na miniestufa é a *Arabidopsis thaliana*, conhecida como arabeta, pertence à família Brassicacea, a mesma da mostarda e da couve.

Essa planta foi escolhida por ser pequena, chegando a 30 *cm* de comprimento, ser de fácil trato e por não precisar de muito espaço para crescer e se desenvolver plenamente (Figura 5). Em apenas 6 meses essa espécie nasce, cresce, se reproduz e morre, facilitando o seu estudo no espaço.

Outro aspecto a ser considerado para a escolha de *Arabidopsis thaliana* foi o fato de sua genética já ter sido elucidada. Uma vez conhecidos os genes dessa planta, quaisquer alterações gênicas sob influência do espaço seriam facilmente percebidas.



Figura 5 – Flores de *Arabidopsis thaliana*

Fonte: <<http://www.kuleuven-kortrijk.be/facult/wet/biologie/pb/kulakbiocampus/lage%20planten/Arabidopsis%20thaliana%20-%20Zandraket/zandraket.htm#3>>.

Acesso em: 25 jul. 2011.

Na miniestufa espacial, as sementes de *Arabidopsis thaliana* foram cultivadas em papel germitest embebido em água, um papel especial utilizado para germinação de sementes de forma mais segura e de fácil análise.

O experimento supervisionado pelo astronauta Paolo foi bem-sucedido até a 3ª semana, quando as plantas recém-germinadas começaram a ser colonizadas por fungos (Figura 6). Como qualquer tipo de contaminação é considerado de alto risco dentro de estações espaciais, a miniestufa com plântulas de *Arabidopsis thaliana* teve que ser desativada e as plantas foram descartadas.

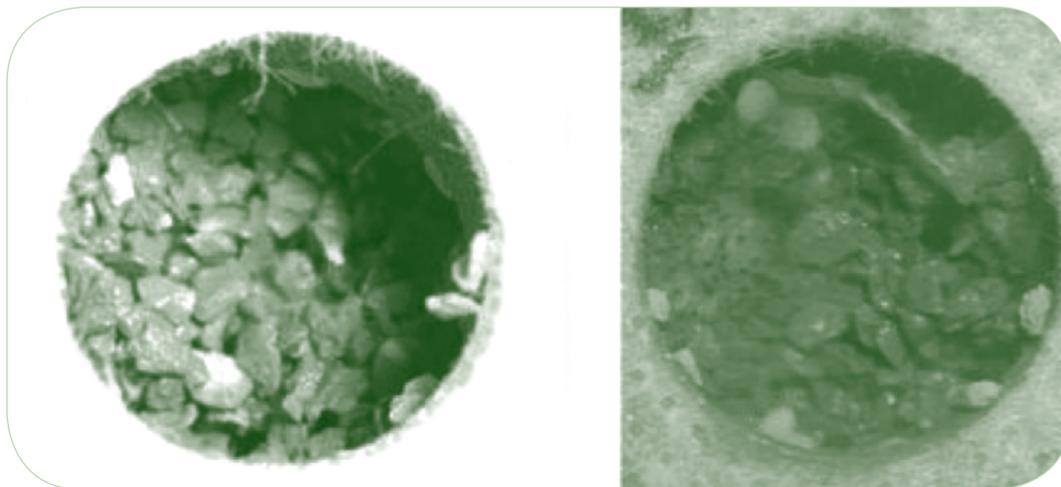


Figura 6 – *Arabidopsis* crescendo em experimento na nave espacial ISS

Fonte: <http://s63302.gridserver.com/missao_centenario.php?posic=dat_20060324-084204.inc>. Acesso em: 25 jul. 2011.

Como pudemos ver, estudar o crescimento de plantas e suas respostas aos efeitos da força da gravidade no espaço já não é apenas mais um experimento ou uma curiosidade. Os resultados desses estudos terão grande impacto no futuro, principalmente na produção de alimentos frescos no espaço, o que deixará de ser apenas uma obra de ficção científica para se tornar realidade.



Resumo

Nesta aula, você compreendeu que o crescimento do caule e da raiz está diretamente relacionado com a gravidade. O gravitropismo ou geotropismo é estudado há anos e cada vez mais explorado pelos cientistas, buscando respostas das plantas à ação da gravidade até mesmo em estações espaciais. Para a maioria das plantas, o crescimento da raiz é caracterizado como geotrópico positivo, enquanto que o crescimento do caule é geotrópico negativo. A gravidade exerce efeitos significativos sobre diversos processos biológicos vitais para as plantas. Todo o mecanismo de resposta das plantas à força da gravidade ainda não é conhecido, no entanto, sabe-se que as auxinas são as maiores responsáveis por essas respostas.

Autoavaliação



Explique a interferência da gravidade no crescimento dos vegetais, revelando qual a sua importância.

Referências

AWAD, M.; CASTRO, P. R. C. **Introdução à fisiologia vegetal**. São Paulo: Livraria Nobel, 1989.

CUTER, E. G. **Anatomia vegetal**. Trad. G.V.M.C. Catena. São Paulo: Livraria Roca, 1987. v I e II.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda.; Editora da Universidade de São Paulo, 1979. v I e II.

JORNAL O PÚBLICO. **Experimento pioneiro da UFRN com produtos biológicos em Microgravidade vai ser realizado no espaço**. Disponível em: <<http://www.opublico.com.br/navegacao/noticias.php?id=3099>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.

ROIALS PIQUÉ, M. P.; BRITO, J. F. **Atlas escolar de Botânica**. São Paulo: Ícone, 1996. 178p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

WIKIPÉDIA. **Gravidade**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Gravidade>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

As respostas dos vegetais ao toque e às substâncias químicas

Aula

8



Apresentação

Você já sabe que tropismo é o movimento feito pelas plantas e por algumas espécies de fungos, ou por seus órgãos, executado através de ação hormonal e orientado em relação a um agente externo. Os movimentos podem ser positivos - em direção ao agente externo excitante; e negativos - em direção oposta ao agente externo excitante. Você já conhece bastante a respeito das reações dos vegetais aos estímulos luminosos e da força da gravidade. Nesta aula, você conhecerá um pouco mais sobre as respostas dos vegetais a diversos estímulos do meio ambiente como substâncias químicas, água e até ao toque.

Objetivo

Reconhecer as respostas dos vegetais ao toque e às substâncias químicas.





Tigmotropismo

Talvez você não saiba, mas os vegetais podem movimentar-se, reagindo a estímulos ambientais. As plantas podem reagir ao contato ou ao toque produzindo movimentos, esse fenômeno é chamado de **tigmotropismo**. A planta responde ao toque com um movimento rápido ou até mesmo uma orientação de crescimento, geralmente com movimento mais lento. Em alguns casos, células especializadas da epiderme (tecido de revestimento do vegetal) dão esta resposta, no entanto, a forma exata de como isso ocorre ainda não é totalmente elucidada.

Temos alguns exemplos bem interessantes de tigmotropismo, um deles é o movimento das plantas trepadeiras e das suas gavinhas quando tocam alguma superfície sólida. A planta tende a crescer na direção desta superfície e com isso a trepadeira ocupa todo o muro de uma casa, por exemplo, ou as gavinhas enrolam-se em um fio do varal como ocorre com plantas de chuchu.

As gavinhas podem ser caules ou folhas modificados que se enrolam como uma mola (Figura 1) e ajudam as plantas a subirem e se fixarem em uma determinada superfície, como outras plantas, muros etc. São vistas em algumas plantas como maracujá, abóboras, chuchu, videira e morango.



Figura 1 – Gavinha de maracujá

Fonte: <<http://www.talentsdamaturidade.com.br/galeria/detalhe/work/214>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

As gavinhas são formadas assim que a planta toca em um suporte (Figura 2). Alguns hormônios como a auxina, já conhecida por você, e o etileno influenciam o crescimento e desenvolvimento das gavinhas. Esses hormônios induzem o enrolamento da gavinha, caso a planta não seja estimulada por contato a alguma superfície.

Como esses hormônios atuam no enrolamento das gavinhas?

Quando as gavinhas encostam em superfícies sólidas, como um fio, uma parede ou um animal, as auxinas que estavam no lado do contato são deslocadas para o lado oposto, entrando nas células do outro lado da superfície de contato. Dessa forma, essas células são alongadas e começam a enrolar a gavinha, prendendo a planta à superfície onde ela está encostada (Figura 3).



Figura 2 – Início da formação de uma gavinha, assim que esta toca um suporte

Fonte: <http://www.kalipedia.com/ciencias-vida/tema/graficos-tigmotropismo.html?x1=20070417klpcnavid_105.Ees&x=20070417klpcnavid_147.Kes&x2=20070417klpcnavid_144.Kes>. Acesso em: 20 jul. 2011.

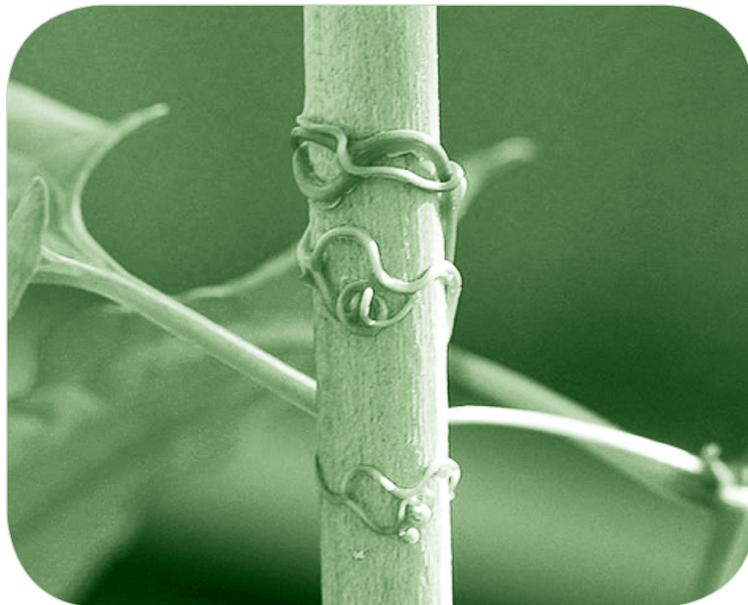


Figura 3 – Gavinha de *Brunnichia ovata* enrolando-se em um caule de outra planta

Fonte: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Brunnichia_ovata_.jpg>. Acesso em: 20 jul. 2011.



Acesse o site <www.youtube.com> e assista ao vídeo *Twining motion of vines*. O vídeo trata da formação de gavinhas em uma espécie vegetal. Em seguida, comente o que observou.

O rápido fechamento das folhas em resposta ao toque

Existem espécies vegetais nas quais a reação ao toque pode ser bastante rápida. É o caso da espécie *Mimosa pudica*, popularmente conhecida como dormideira (Figura 4). Um breve contato de um animal ou até mesmo uma ventania pode provocar o rápido fechamento dos folíolos em poucos segundos (Figura 5). Quem já não se encantou com a rapidez do fechamento desses folíolos?



Figura 4 – Vista geral da dormideira, espécie *Mimosa pudica*

Fonte: <<http://redmosquito-neto.blogspot.com/2010/07/fisiologia-vegetal-eu-quero-uma-pra.html>>. Acesso em: 20 jul. 2011.



Figura 5 – Tigmotropismo em dormideira, ao tocar a planta os folíolos se fecham

Fonte: <<http://terragiratg.blogspot.com/2009/06/tropismos-movimentos-nas-plantas.html>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

Os folíolos da dormideira se fecham rapidamente devido à diminuição na pressão hídrica em sua base. Nesta região existe uma pequena estrutura mais expandida, os **pulvinos**. Estes são os responsáveis pelo movimento de “abre e fecha” da dormideira.

O que ocorre é o seguinte: quando algum animal toca os folíolos da dormideira, nas células da região do pulvino há uma rápida alteração da pressão de turgor. Essa pressão modifica-se de acordo com a quantidade de água dentro da célula.

Ao menor contato, ocorre uma eliminação de íons de potássio para o exterior das células parenquimáticas do pulvino (tecido de preenchimento do vegetal). Desse modo, as células do pulvino eliminam a água que existe dentro delas. A célula praticamente murcha de um instante para outro. Isso é mudança na pressão de turgor: os pulvinos murcham de repente e arrastam os folíolos, por isso eles se fecham.

E por que a dormideira investiria tanta energia para fechar rapidamente seus folíolos?

O mecanismo de fechamento dos folíolos da dormideira é um mecanismo de defesa das plantas contra animais herbívoros, ou seja, aqueles que as consomem.

Quando pensamos em um grande ruminante, como um boi, por exemplo, fica difícil entender como os folíolos fechados protegeriam a dormideira contra a predação.

No entanto, quando lembramos que os maiores predadores dos vegetais são os insetos, fica mais fácil de compreender o mecanismo de defesa da dormideira. Assim que uma lagarta toca a superfície dos folíolos da dormideira, ela os fecha rapidamente através do processo que você já descobriu nos parágrafos anteriores. Quando os folíolos se fecham, eles dobram de espessura, o que dificulta a capacidade da lagarta mordê-los, o aparelho bucal da lagarta não consegue morder uma “folha tão grossa”, com isso os insetos abandonam a dormideira e vão tentar alimentar-se de outro vegetal. Sorte da dormideira!

Movimentação das plantas carnívoras

Podemos observar nas plantas carnívoras o mecanismo semelhante ao que ocorre na dormideira.

As plantas carnívoras são conhecidas por se alimentarem, principalmente, através da captura de insetos. A designação planta carnívora foi dada devido ao fato dessas plantas terem

hábitos nutricionais diferentes dos da maioria das plantas. Apesar de se alimentarem de seres vivos, elas não causam nenhum risco ao homem. Sendo assim, é mais apropriado chamarmos essas plantas de insetívoras.

Essas plantas são originárias do sudeste de Ásia, América e Austrália.

Por que as plantas insetívoras capturam e digerem insetos?

Essas espécies vegetais necessitam de compostos nitrogenados, ou seja, à base de nitrogênio, e conseguem absorver uma pequena parcela desses compostos do solo. Desse modo, também necessitam capturar insetos e digeri-los, complementando a quantidade de nitrogênio de que necessitam.

Existem cerca de 500 espécies de plantas insetívoras. Na Indonésia, encontra-se uma espécie de planta carnívora que realmente se alimenta de animais maiores como pássaros pequenos, sapos, lagartos e outros animais de pequeno porte.

Certas espécies de plantas insetívoras exalam um cheiro peculiar que atrai os insetos. Após atraí-los, a planta geralmente os prende em uma mucilagem produzida nas folhas modificadas que servem de prisão para os insetos.

Outras já atraem os insetos através do brilho dessa mucilagem e algumas espécies abrem e fecham, prendendo os insetos em seu interior.

Depois de capturar os insetos, as folhas das plantas insetívoras envolvem esses animais com suas substâncias, emitem enzimas digestivas que irão retirar os nutrientes para a planta.



Figura 6 – Planta insetívora - *Dionaea sp*

Fonte: <<http://www.brasilecola.com/biologia/adaptacoes-foliares.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2011.



Figura 7 – *Dionaea sp.* alimentando-se de uma aranha

Fonte: <<http://www.sempretops.com/curiosidades/plantas-carnivoras-fotos-e-curiosidades/>>. Acesso em: 21 jul. 2011.



Curiosidade

Uma nova espécie de planta carnívora gigante foi descoberta na área central das Filipinas. A planta é uma das maiores do tipo e pode se alimentar até de pequenos mamíferos como ratos. Acreditava-se na existência desta espécie de planta carnívora desde 2000, mas foi apenas em 2007, quando especialistas viajaram para as Filipinas a 1600 metros acima do nível do mar, que encontraram a nova espécie – *Nepenthes attenboroughii*.



Figura 8 – *Nepenthes attenboroughii*, uma das maiores plantas carnívoras do mundo

Fonte: <<http://hypescience.com/19684-planta-carnivora-gigante-e-descoberta/>>. Acesso em: 21 jul. 2011.

Quimiotropismo

O **quimiotropismo** ocorre quando o vegetal é estimulado de alguma forma por uma substância química e responde a esse estímulo.

Um exemplo interessante de quimiotropismo é a orientação do tubo polínico que cresce dentro do estilete da flor e chega até o seu ovário, onde encontra-se com o óvulo (gameta feminino da flor).

O óvulo produz substâncias químicas que atraem o tubo polínico até ele. O tubo polínico conduz o gameta masculino até o óvulo dentro do ovário, proporcionando assim a fecundação do vegetal.

Pode-se também verificar quimiotropismo em algumas raízes que crescem em direção a uma fonte de estímulo químico. Esse estímulo pode ser a alta concentração de sais minerais ou o alto teor de água no solo.

Quando trata-se do movimento das raízes em direção à água, pode-se afirmar que a espécie vegetal apresenta **hidrotropismo**.

Em *Drosera*, planta insetívora (Figura 9), pode-se observar o quimiotropismo dos tricomas da planta que se curvam atraídos por substâncias químicas liberadas por insetos. Lembre-se de que tricomas são células epidérmicas que revestem algumas plantas, semelhantes a pelos. Após o reconhecimento das substâncias químicas, a planta emite mucilagens e enzimas digestivas que prendem o inseto e, em seguida, fazem a digestão.



Figura 9 – Tricomas de *Drosera capensis*, que reconhecem as substâncias químicas dos insetos que pousam

Fonte: <http://www.thefullwiki.org/Drosera_capensis>. Acesso em: 21 jul. 2011.



Resumo

Nesta aula, você viu que o tropismo é o movimento feito pelas plantas e por algumas espécies de fungos, ou por seus órgãos. Os movimentos podem ser realizados através de ação hormonal e orientado em relação a um agente do meio ambiente. Os tropismos podem ser positivos, isto é, crescimento e/ou movimento em direção ao agente externo excitante; e negativos, isto é, crescimento e/ou movimento na direção oposta ao agente externo excitante. Você também aprendeu que as plantas podem movimentar-se em resposta a um simples toque ou contato, caracterizando o tigmotropismo. Quando uma substância química é o agente estimulador ao movimento da planta, dizemos que esta espécie vegetal possui quimiotropismo. No decorrer da aula, você reconheceu que as plantas reagem de diversas formas aos estímulos ambientais. Estas respostas são tão variadas quanto à diversidade morfológica e bioquímica dos vegetais.

Autoavaliação



Agora que você já conhece diversos tipos de tropismo, faça um resumo sobre as respostas das plantas às influências do meio ambiente. Destaque pelo menos 1 exemplo de cada tropismo estudado nas Aulas 6, 7 e 8.

Dormência: mecanismo de sobrevivência dos vegetais

Aula

9



Apresentação

Nas aulas anteriores, você viu que as plantas, mesmo sendo organismos sésseis, apresentam mecanismos que, em certo sentido, comportam-se como animais. Elas podem “dizer as horas”, “planejar” com antecedência para enfrentar estações mais rigorosas e “responder” a mudanças ambientais. Essas respostas são indicativas de que os vegetais possuem irritabilidade, ou seja, capacidade de reagir a estímulos ou modificações ambientais, assim como os animais. No entanto, as respostas dos vegetais geralmente são mais lentas. Nesta aula, você compreenderá a grande importância do fenômeno da **dormência das sementes** para o desenvolvimento dos vegetais e como tal fenômeno responde às mudanças ambientais.

Objetivos

- 1** Identificar a importância das sementes para o vegetal.
- 2** Compreender o fenômeno da dormência de sementes e sua importância para o desenvolvimento dos vegetais.





Envoltório da semente

Endosperma

Cotilédone

Eixo hipocólito-radicular

Ápice

Ápice rad

Semente: inovação na história evolutiva das plantas

A semente (Figura 1) é um dos principais fatores responsáveis pela dominância das plantas com sementes na flora atual. A razão disso é que as sementes têm grande valor de sobrevivência. A proteção que conferem ao embrião, além do alimento armazenado que lhe está disponível nos estágios críticos da germinação e estabelecimento, garante às plantas com sementes vantagem seletiva em relação aos grupos dotados de esporos livres como, por exemplo, as Briófitas e Pteridófitas.

As sementes, em geral, resistem às condições adversas que seriam limitantes para algumas espécies. São de vital importância para a reprodução dos vegetais e a forma de perpetuação e multiplicação destes. Além disso, têm importância econômica como alimento – correspondem a 60-70% dos alimentos consumidos mundialmente – e são transformadas pela agroindústria em uma variedade de produtos.

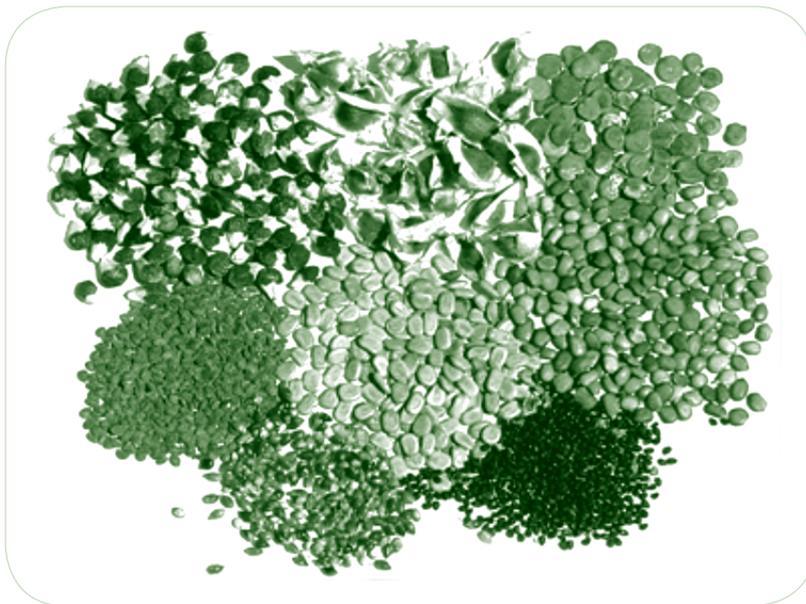


Figura 1 – Sementes de várias espécies do semiárido

Fonte: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/imagens/sementes/semente%20mais%20viva.png/view>>. Acesso em: 3 ago. 2011.

Como é a semente? A semente das angiospermas (plantas que apresentam flores e frutos) é constituída de embrião, quantidade variável de endosperma (ou nenhum) e tegumento.

- 1) Embrião:** é parte fundamental das sementes, de onde surge um novo vegetal.
- 2) Endosperma** (em caso de sementes endospérmicas): é a reserva de sementes que é utilizada como fonte de energia para o desenvolvimento do embrião.

3) Tegumento ou testa: é o revestimento externo das sementes. Constitui uma barreira natural contra microrganismos, umidade, entre outros.

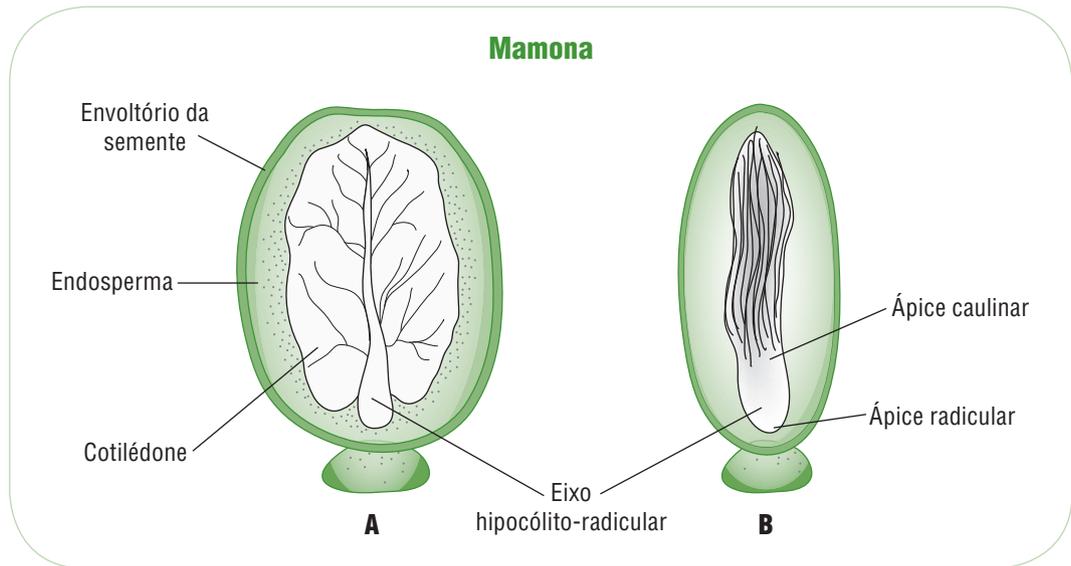


Figura 2 – Seções longitudinais da semente de mamona. A e B representam uma visão geral em dois planos distintos

Fonte: Gloria e Guerreiro (2006).



Curiosidade

A interação ecológica entre formigas e plantas tem sido foco de pesquisas há mais de dois séculos. Estima-se que existam mais de 3.000 espécies de angiosperma, cujas sementes são dispersas por formigas. Essas espécies pertencem a mais de 70 famílias e são encontradas em diversos ecossistemas de todos os continentes, à exceção da Antártida (BEATTICE, 1985 apud LEAL, 2011).

A mirmecocoria, dispersão de sementes por formigas, inclui plantas que produzem um apêndice gorduroso preso externamente à semente, chamado elaiossomo, como, por exemplo, a mamona e a faveleira (Figura 3). As formigas são atraídas pelo elaiossomo e o utilizam como apoio no transporte, entretanto, algumas sementes podem ser perdidas durante o percurso, germinando e se estabelecendo em novos locais.



Figura 3 – Semente de faveleira em visão ventral (seta: destaque para o elaiossomo)

Fonte: Gabrielle Macedo Pereira.

Dormência de sementes: mecanismo de sobrevivência

As sementes são dispersas da planta-mãe quando estão maduras, ou seja, quando prontas para tornarem-se organismos independentes. Nessa fase, elas contêm em sua estrutura um embrião que, sob condições adequadas do ambiente, se desenvolverá e dará origem a uma plântula.

As plantas não crescem com a mesma velocidade em todas as épocas. Durante as estações desfavoráveis, elas limitam ou cessam o seu crescimento. Essa capacidade permite que as plantas sobrevivam a períodos de escassez de água ou baixa temperatura.

A dormência é uma condição especial de crescimento inibido. Após períodos de repouso normal, o crescimento é retomado quando a temperatura torna-se mais amena ou quando a água ou outro fator limitante qualquer se torna novamente disponível. Um embrião dormente, entretanto, pode ser “ativado” apenas por certos sinais ambientais, frequentemente muito precisos.

Dessa forma, o mecanismo de dormência de sementes é uma fase do ciclo de vida das plantas que permitem a sobrevivência das espécies às adversidades do ambiente, principalmente aquelas que impeçam ou dificultem o estabelecimento do vegetal. Esse mecanismo também é importante para que não ocorra germinação dentro do fruto quando este ainda está ligado à planta-mãe, uma vez que, após a maturidade fisiológica e havendo condições favoráveis, não há nenhum tipo de bloqueio ao crescimento do embrião.

Um dos fatores que influenciam o nível de dormência em sementes é o ambiente em que se desenvolveu a planta-mãe. Os papéis da temperatura, qualidade da luz, a duração do dia, a seca e nutrientes (bem como tempo de maturação e posição na planta) na determinação do grau de dormência foram investigados em uma ampla gama de espécies. Por exemplo, alguns pesquisadores afirmam que o tegumento espesso das sementes de soja em condições de seca pode ser uma resposta adaptativa às condições áridas. Essa resposta é também encontrada em outras leguminosas e pode retardar a germinação até que a água se torne disponível.

A dormência confere às sementes resistência à ingestão por animais, ao calor, ao frio, ao fogo e aos demais agentes. Isso tem um grande significado ecológico, já que esse mecanismo está relacionado à adaptação das plantas às particularidades dos diferentes ecossistemas, o que permite a sobrevivência das espécies vegetais.

Mecanismos de dormência em sementes

Para que você entenda melhor, pode-se considerar que há três mecanismos de dormência, são eles:

- 1) Dormência física:** Esta dormência é dada pela causada pela impermeabilidade das células da casca da semente e/ou fruto. Esta impermeabilidade dificulta a entrada de água e oxigênio na semente e conseqüentemente a hidratação e oxigenação do embrião.
- 2) Dormência fisiológica:** Esta dormência inibe alguns processos do metabolismo do embrião afetando o seu desenvolvimento fisiológico. Esta relacionada com a sensibilidade a reguladores químicos, disfunção hormonal, impermeabilidade da casca da semente à água e aos gases oxigênio e gás carbônico;
- 3) Dormência morfológica:** Aqui relaciona-se os casos de dormência em que o embrião ainda está imaturo, mas mesmo assim a semente é dispersa, levando consigo este embrião que ainda não está pronto para germinação. Sendo assim, a semente ficará em dormência até eu o embrião esteja plenamente desenvolvido e maduro.



Atividade 1

Você viu que a dormência em sementes tem grande importância para o desenvolvimento dos vegetais. Explícite, com suas palavras, a importância ecológica desse mecanismo.

Quebra de dormência: a retomada do crescimento

As sementes de quase todas as plantas que crescem em áreas com acentuadas variações sazonais de temperatura requerem um período frio antes da germinação. Esse requisito é normalmente satisfeito por temperaturas de inverno. Muitas sementes requerem desidratação antes da germinação (embora algumas possam estar não dormentes antes que elas sequem), isso previne sua germinação dentro do fruto úmido da planta parental. Algumas sementes, como a da alface, requerem exposição à luz, entretanto, outras são inibidas pela luz.

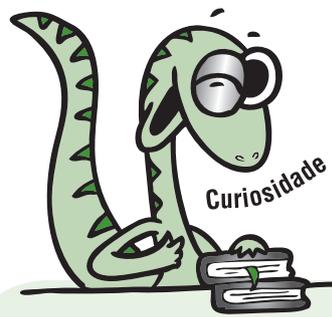
Algumas sementes não germinam na natureza até que elas sejam esscarificadas, por exemplo, mediante atrito com o solo. Essa abrasão desgasta o tegumento da semente, permitindo que haja entrada de água ou oxigênio nelas, removendo em alguns casos as fontes inibidoras. Esse mecanismo pode ser desenvolvido de maneira artificial com auxílio de uma lixa ou superfície abrasiva (Figura 3). Essa técnica é muito desenvolvida em laboratório em ensaios de germinação de sementes.



Figura 4 – Homem utilizando o asfalto como superfície abrasiva para esscarificar as sementes

Fonte: <http://peixedourado25dejulho.blogspot.com/2009_10_01_archive.html>. Acesso em: 3 ago. 2011.

As sementes de algumas espécies de vegetais do deserto germinam somente quando há um volume de chuva suficiente, capaz de lixiviar substâncias inibidoras presentes no tegumento. A quantidade de água necessária para retirar os inibidores da germinação está diretamente ligada com o suprimento de água necessário para o estabelecimento da plântula.



Algumas sementes podem permanecer viáveis por um longo tempo em condição dormente, permitindo a ela existir por muitos anos, décadas e até mesmo séculos sob condições favoráveis. A notícia que se tem até então sobre a semente mais velha que se sabe ter germinado pertence a uma planta de lótus sagrado (*Nelumbo nucifera*). A semente foi encontrada no leito de um antigo lago em Pulantien, na província de Lioing, China. A datação com carbono radioativo indicou que a semente tinha 1.288 anos.



Garça-SP

Para saber mais, acesse o sítio: <<http://faefloresta.blogspot.com/2011/05/aula-pratica-do-curso-de-engenharia.html>>.

Várias práticas podem ser realizadas para exemplificar quebras de dormência (Figura 5), uma delas é a análise de fezes de animais silvestres. As fezes dos animais herbívoros estão repletas de sementes, uma vez que eles consomem muitos frutos na natureza. Coletando-se as fezes desses animais é possível observar sementes que passaram pelos ácidos do aparelho digestório, estando agora com suas cascas delgadas e prontas para germinação.

Em uma prática realizada no município de **Garça-SP**, por exemplo, foram coletadas fezes de diferentes espécies mantidas no Bosque Municipal de Garça-SP, tais como, veado, jabuti, bugio e quati, além de fezes das emas. No laboratório, esse material foi apresentado aos alunos para que eles verificassem as diferenças que ocorrem entre as fezes dos animais. Em seguida, as fezes de bugio foram triadas para verificar a variedade de frutos consumidos por ele através da classificação das sementes encontradas.

A análise de fezes, apesar de ser um estudo diferente, é de grande importância para profissionais que pretendem atuar na área de conservação. Através dessas análises é possível realizar levantamentos faunísticos, uma vez que alguns animais possuem fezes bem características como, por exemplo, o veado. Dessa forma, os pesquisadores podem constatar a presença desses animais em um local, mesmo que não haja contato direto. Além disso, pode-se detectar o hábito alimentar dos animais através da análise do material encontrado em suas fezes, tais como, pelos, sementes, ossos e folhas.

O potencial dispersor do animal é analisado apenas pelo conteúdo de sementes em suas fezes. Por exemplo, os bugios, uma espécie de primata, ao consumirem os frutos, ingerem também algumas sementes que são eliminadas em suas fezes a certa distância da planta-mãe. Portanto, é importante que as sementes tenham mecanismos de dormência ao passar pelo trato digestivo desses animais, possam ser dispersas e estejam aptas a germinar em outros locais. Isso caracteriza a dispersão zoocórica, ou seja, dispersão de sementes ou diásporos por intermédio de animais.

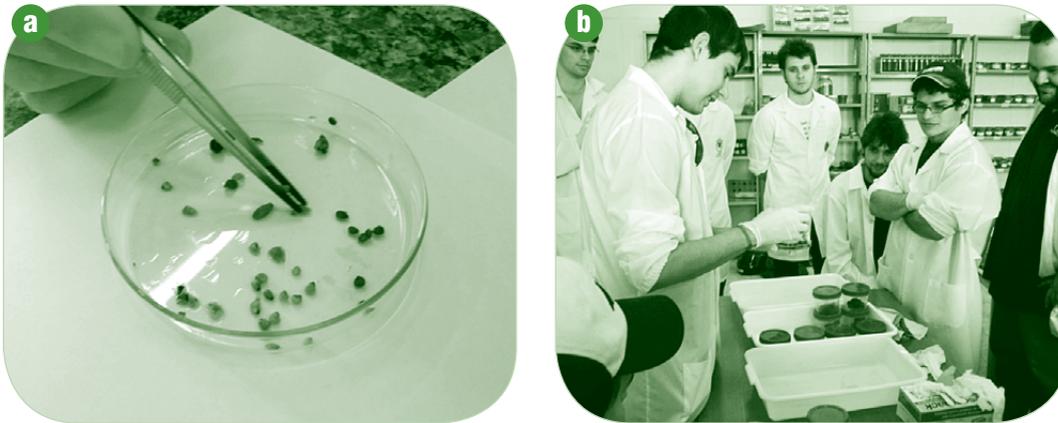


Figura 5 – Prática com quebra de dormência: (a) Sementes coletadas do estômago de animais; (b) Análise do conteúdo estomacal de animais.

Fonte: <http://www.faeef.edu.br/principal/index.php?option=com_content&task=view&id=525&Itemid=1>. Acesso em: 15 maio 2011.

Existe dormência somente em sementes?

Você conhecerá outro tipo de dormência que ocorre nas gemas meristemáticas e que, para alguns vegetais, é de extrema importância.



Dormência em gemas

A dormência em gemas é essencial para a sobrevivência de plantas herbáceas e lenhosas perenes de regiões temperadas que são expostas a baixas temperaturas no inverno. Durante as estações desfavoráveis, as plantas limitam ou cessam seu crescimento de forma a permitir a sobrevivência em períodos de escassez de água ou de baixas temperaturas. Apesar de a planta não apresentar crescimento visível, as atividades metabólicas essenciais continuam a ocorrer com intensidade reduzida.

A gema dormente é um ramo embrionário, consistindo em um meristema apical, nós e entrenós (ainda não alongado) e pequenas folhas rudimentares (primórdios foliares) apresentando gemas ou primórdios de gemas em suas axilas, tudo envolvido por escamas das gemas. As escamas das gemas ajudam a prevenir a dessecação, restringindo a perda de calor. Os inibidores de crescimento acumulam-se nas escamas e no eixo das gemas (Figura 6), assim como nos primórdios dentro delas. Por isso, em muitos aspectos, as escamas das gemas são semelhantes aos do tegumento da semente.

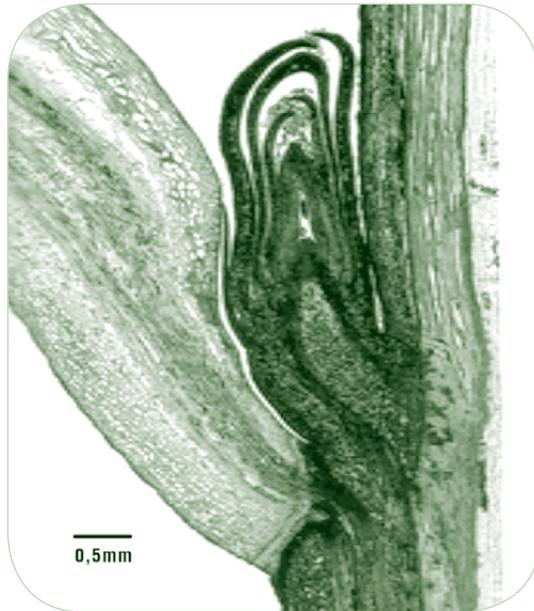


Figura 6 – Corte longitudinal de uma gema axilar dormente de um ácer (*Acer*).
A gema dormente em um sistema caulinar embrionário envolto por escamas

Fonte: Raven (2007).

Do mesmo modo que as sementes, as gemas de muitas espécies de plantas requerem frio para quebrar a dormência. Árvores frutíferas decíduas, tais como macieira e pereira não podem crescer em climas nos quais o inverno não é frio. No entanto, o frio não é requerido para quebrar a dormência em todos os casos. Na batata, por exemplo, na qual os “olhos” (Figura 7) são gemas dormentes, o principal requisito é que elas sejam armazenadas por pelo menos dois meses em ambiente seco; nesse caso, a temperatura não é um fato limitante.

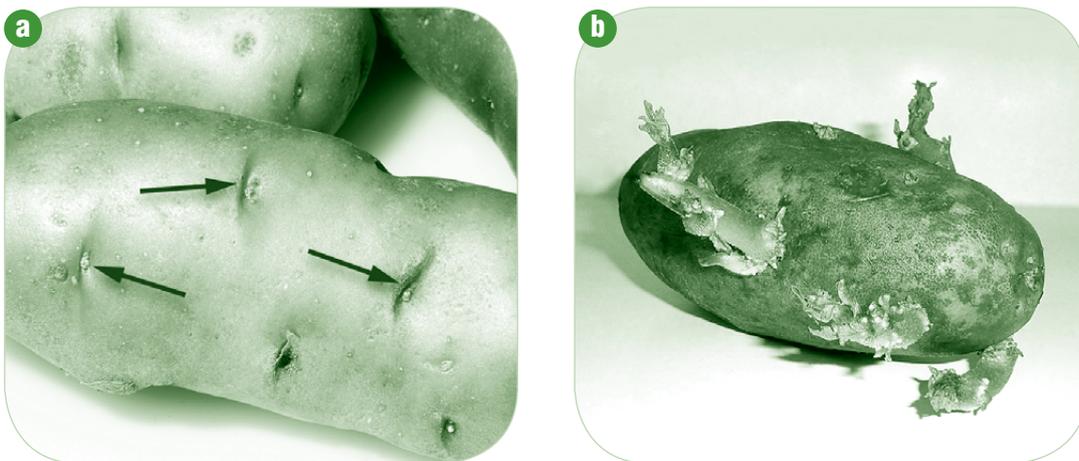


Figura 7 – (a) Gemas dormentes de batata (destaque para gemas) (b) Batata com gemas ativas (não dormentes)

Fonte: (a) <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/cesta-basica-aumenta-pela-terceira-semana-consecutiva-em-natal/164968>>;
(b) <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/caule/caule-27.php>>. Acesso em: 3 ago. 2011.



Atividade 2

Os fatores ambientais são bastante importantes para a quebra da dormência. No entanto, existem técnicas artificiais, realizadas em laboratório, que aceleram esse processo. Acesse sítios de busca e faça uma pesquisa sobre as técnicas laboratoriais para quebra de dormência.



Resumo

Nesta aula, você viu que a dormência é uma condição especial de crescimento interrompido, no qual plantas ou estruturas, como sementes e gemas, não retomam o desenvolvimento sem sinais específicos do ambiente. Sob o ponto de vista evolutivo, a dormência é uma característica adaptativa que assegura a sobrevivência das espécies nos diferentes ecossistemas.

Autoavaliação



Agora que você já aprendeu a respeito de dormência em plantas, comente as vantagens desse fenômeno. Cite onde e como ocorre a quebra de dormência, explicitando os fatores que colaboram para isso.

Referências

DIAS, D. C. F. S. **Dormência em sementes**: mecanismos de sobrevivência das espécies. Disponível em: <<http://www.seednews.inf.br/portugues/seed94/artigocapa94.shtml>>. Acesso em: 3 maio 2011.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004.

LEAL, I. R. **Dispersão de sementes por formigas na Caatinga**. Disponível em: <http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/libros/Caatinga/19_caatinga_cap14_dispersao_formigas.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2011.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7th ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

Anotações

O contra-ataque dos vegetais

Aula

10



Apresentação

Uma forma interessante de aprender a biologia dos seres vivos é estudarmos a interação organismo-ambiente. Ao invés de estudarmos os diferentes seres vivos reino a reino, grupo a grupo, característica a característica, hoje podemos apresentá-los no contexto da ecologia e da evolução, priorizando-se a discussão das diferentes estratégias adotadas pelos diversos grupos, ao longo da evolução, para sobreviver às condições ambientais. Sob essa perspectiva, conceitos importantes, como o de adaptação, ganham destaque e permitem a vocês a apreensão de ideias realmente significativas em biologia. Nesta aula, você irá compreender quais as estratégias adotadas pelos vegetais para responder à herbivoria e aos organismos que são capazes de desencadear doenças, organismos patogênicos. Saberá quais os prejuízos e benefícios trazidos por essas relações ecológicas e as adaptações desenvolvidas para a sobrevivência das plantas.

Objetivos

- 1 Definir a relação existente entre plantas-herbívoros.
- 2 Descrever os tipos de respostas e adaptações das plantas à herbivoria.
- 3 Identificar a relação existente entre plantas-patógenos.
- 4 Reconhecer os prejuízos e benefícios dessas relações ecológicas.





Interação planta–animal

As interações entre predador-presa, parasita-hospedeiro e herbívoro-planta são importantes para a abundância e distribuição das espécies. Além disso, elas podem favorecer o surgimento de adaptações que são responsáveis pela diversidade das espécies. As relações planta-animal têm consequências para a ecologia e para os processos evolutivos, assim como exercem influência marcante na sucessão ecológica, uma vez que podem provocar efeitos negativos no desenvolvimento e na capacidade reprodutiva das plantas, diminuindo sua habilidade competitiva.

O conflito entre os herbívoros e as plantas assemelha-se àqueles entre os parasitos e hospedeiros no sentido de que ambos são promovidos em campos de batalha bioquímica. O conhecimento da interação animal-planta pode ter grande interesse no reconhecimento de estruturas de comunidades naturais. As defesas dos vegetais contra a herbivoria constituem uma série de adaptações que garantem a sobrevivência e a reprodução das plantas através da redução das injúrias dos herbívoros.

Os insetos (Figura 1), pela grande representatividade do grupo no reino animal (constituem cerca de 80% da vida animal), são os principais consumidores da produção primária terrestre. Eles desempenham importantes papéis ecológicos, atuam como predadores, parasitas, polinizadores, fitófagos, entre outros. Em pelo menos uma fase de suas vidas apresentam hábito herbívoro. Também são considerados bioindicadores, ou seja, indicadores de impacto ambiental, pois respondem rapidamente às alterações da qualidade e quantidade de recursos disponíveis.



Figura 1 – Lagarta consumindo tecido foliar

Estratégias de defesa contra herbivoria

A herbivoria afeta a aptidão da planta, ou seja, ocasiona a diminuição das taxas de crescimento e reprodução do vegetal. Em resposta a essa pressão ambiental, algumas espécies de plantas desenvolveram adaptações para se defender dos herbívoros. Essas defesas são classificadas em indiretas e diretas. As defesas indiretas envolvem interações benéficas entre vegetais e herbívoros. Por exemplo, as plantas mimercófitas, ou seja, espécies que proporcionam às formigas local para nidificação e corpúsculos nutritivos como alimento, e as formigas, por sua vez, defendem as plantas hospedeiras contra a ação dos herbívoros (relação encontrada em plantas conhecidas popularmente como embaúbas).

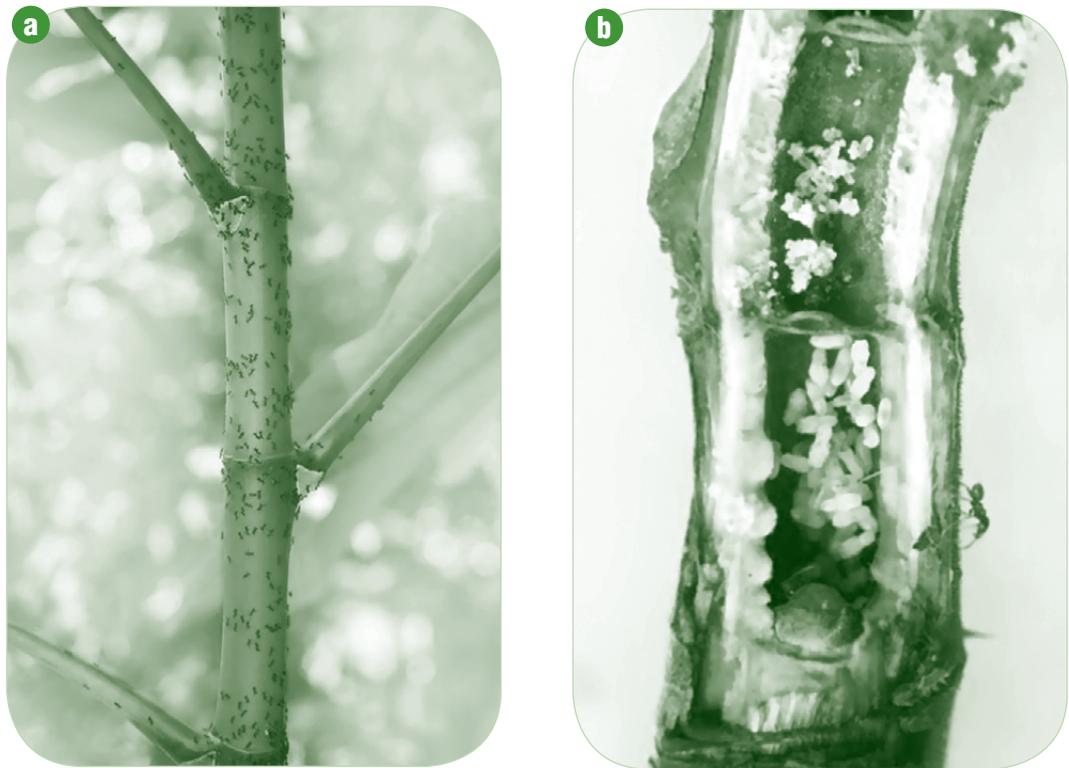


Figura 2 –Embaúba (*Cecropiasp.*) e formigas (*Azteca sp.*): a – vista externa do caule de embaúba e formigas; b – região interna do caule onde as formigas se abrigam

Fonte: (a) <<http://pt.mongabay.com/travel/belize/p20518p.html>>; (b) <http://testenepal.blogspot.com/2011/06/formiga-de-embrauba-azteca-sp_8665.html>. Acesso em: 22 ago. 2011.

As plantas têm a capacidade de se protegerem diretamente, pelo uso de defesas químicas ou mecânicas. Essas defesas envolvem o uso de compostos tóxicos, provenientes do metabolismo secundário dos vegetais, que podem matar os herbívoros ou reduzir sua capacidade de digerir a planta. Outra forma de resposta às injúrias é a defesa física, ou seja, dureza foliar, densidade de tricomas, espinhos e outras estruturas que dificultam o acesso aos tecidos da planta.

As defesas vegetais ainda podem ser classificadas, genericamente, como induzidas ou constitutivas. As defesas induzidas são sintetizadas ou mobilizadas para o local da injúria, enquanto que as defesas constitutivas são aquelas que estão sempre presentes no vegetal. Geralmente, as defesas que demandam grande quantidade de recursos e são difíceis de mobilizar são do tipo constitutivas.

Defesas mecânicas contra herbivoria

As defesas mecânicas (físicas ou morfológicas) que atuam negativamente sobre os herbívoros são a cutícula, epiderme espessada (pode ser unisseriada ou plurisseriada), grande quantidade de cristais (drusas, ráfides, cristais prismáticos), tricomas (tectores ou glandulares) e fibras esclerenquimáticas na folha.

A epiderme é coberta por uma cutícula lipídica (pode ser espessa ou não, dependendo do ambiente onde o vegetal se encontra), a qual forma a primeira barreira mecânica contra a entrada de fungos e a ação de insetos herbívoros. Ela constitui a principal defesa física contra o estresse abiótico (por exemplo, seca) e biótico. A cutícula impermeabiliza a superfície foliar e a deixa com uma textura lisa, o que dificulta a fixação e a penetração dos insetos nos tecidos vitais do vegetal como, por exemplo, o parênquima clorofiliano. As folhas de plantas do gênero *Ilex* sp. (gênero da erva-mate, entre outras espécies), por exemplo, são muito lisas e escorregadias, tornando a alimentação difícil. A cutícula mais espessa também dificulta a penetração na folha. A maior dureza da folha implica em paredes espessadas e/ou feixes de fibras, lignificadas ou não. Uma epiderme com textura rígida, por deposição de sílica e/ou lignina, é uma barreira mecânica que reduz a oviposição por alguns insetos.

Os tricomas podem se apresentar sob diversas formas em algumas folhas (Figura 3). Eles podem ser unicelulares ou multicelulares, glandulares (presente no boldo, *Plectranthus barbatus*) ou tectores, em ganchos ou espiral, retos, tortuosos, simples, peltados (encontrado em folha de Bromeliaceae) ou estrelados. Essas estruturas podem variar em densidade nos diferentes órgãos ou em forma.

Alguns tricomas desenvolvem paredes mais espessas, secundárias, que podem ser impregnadas por sílica e carbonato de cálcio. Os tricomas glandulares acumulam produtos do metabolismo, como óleos essenciais (folha de boldo), ácidos, terpenos, gomas e/ou taninos. Essas estruturas podem causar repelência, em virtude da não palatabilidade, imobilidade ou ainda toxidez, podendo levar o animal à morte. Outras particularidades dos tricomas são a criação de microclima na superfície foliar em vegetais de ambientes secos, o que favorece a redução da perda de água por transpiração. A grande densidade de tricomas pode afetar a oviposição, liberando substâncias ácidas, ou apresentar células que dificultam a locomoção sobre a superfície foliar. Essas estruturas funcionam como barreiras físicas.

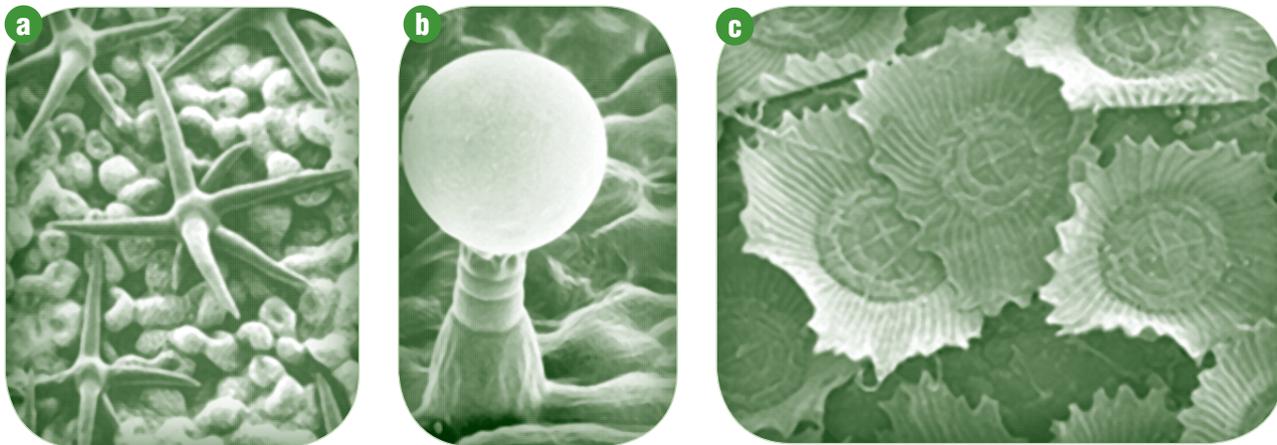


Figura 3 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV):
a – tricomastectores; b – tricoma glandular; c – tricomas peltados

Fonte: <<http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/exercicios-html/Epiderme.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

Alterações na anatomia foliar das plantas afetam diretamente os insetos fitófagos. O número de camadas celulares do mesofilo contribui para a definição da espessura da folha; a presença de fibras esclerenquimáticas contribui para adureza da folha, uma vez que apresenta células com paredes espessadas. Ainda nas folhas, podem ser encontrados cristais de oxalato de cálcio (drusas, cristais prismáticos ou ráfides), que são estruturas importantes na defesa dos vegetais, devido as suas propriedades irritantes. Geralmente, folhas de espécies expostas às injúrias de herbívoros possuem maior densidade de cristais quando comparadas com aquelas que não são atacadas.

Características mais estruturais das plantas, como espinhos e acúleos (Figura 4), reduzem a alimentação de grandes herbívoros ungulados (por exemplo, cabras), restringindo a sua taxa de alimentação ou desgastando os molares. A estrutura de uma planta, seu padrão de ramificação e arranjo das folhas também podem ter por função reduzir o impacto de herbívoros.



Figura 4 – Acúleos em uma haste de rosas (Rosaceae)

Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Rose_Prickles.jpg>. Acesso em: 1 set. 2011.

Em aulas anteriores, você pôde conhecer alguns movimentos vegetais. A tigonastia ocorre em resposta ao toque e também é uma defesa de algumas plantas como, por exemplo, a dormideira (*Mimosa pudica*). As folhas da dormideira fecham rapidamente em resposta a toques, vibrações e até estímulos elétricos e térmicos. A mudança rápida na pressão de turgor nos pulvinos, estruturas da base da folha, é a causa fisiológica dessa resposta mecânica. Essa mudança abrupta é transmitida por meios de estímulos elétricos e químicos por toda a planta; apenas um folíolo necessita ser estimulado para desencadear a resposta. Essa resposta atua na diminuição da área foliar disponível para os herbívoros, já que apenas a face abaxial (face inferior dos folíolos) fica exposta. A planta fica com aparência de murcha.

Galhas: câncer em plantas?

As galhas (Figura 5) ou tecidos tumorais em plantas podem ser causadas por herbívoros, como bactérias, vírus, fungos, protozoários, nematódeos, ácaros ou insetos (insetos galhadores), dependendo do órgão e do vegetal afetado. Elas são interpretadas como uma reação defensiva contra o galhador. Esses parasitas penetram nos vegetais, sobrepujam suas defesas mecânicas e químicas e liberam compostos que estimulam células meristemáticas a se multiplicar e se diferenciar. A obtenção de nutrientes pelos organismos galhadores se dá a partir de sinais químicos produzidos por esses animais.

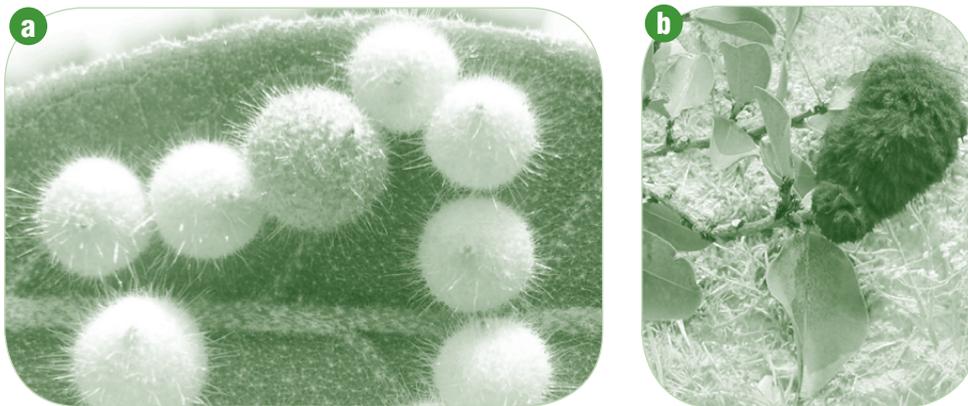


Figura 5 – Exemplos de galhas em vegetais: a – galhas em folha de Figo; b – Galha em caule

Fonte: (a) <http://www.3onda.org/meioambiente>. Acesso em 19 de ago. 2011;
(b) <<http://www.nucleodeaprendizagem.com.br/galhafol2.jpg>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

Mais de 13.000 espécies de insetos induzem a formação de galhas. Os vegetais injuriados por esses herbívoros são induzidos a produzir tecidos não encontrados em indivíduos não afetados (Figura 6), podendo ser estruturas complexas formadas por pelos, espinhos e por células produtoras e secretoras de néctar e resina. Os indivíduos injuriados podem apresentar desde lignificação de alguns tecidos até o desenvolvimento e formação de novos tecidos, hipertrofia e hiperplasia, que não são observados em indivíduos saudáveis.

Nas galhas induzidas por insetos, frequentemente há formação de um tecido nutritivo que reveste a câmara larval (Figura 7). As células desse tecido geralmente apresentam citoplasma denso, no qual se observa o acúmulo de substâncias nutritivas. No entanto, em algumas galhas não ocorre a formação de tecido nutritivo; os indutores (galhadores) se alimentam de seiva.



Figura 6 – Ciclo de formação de uma galha entomógena

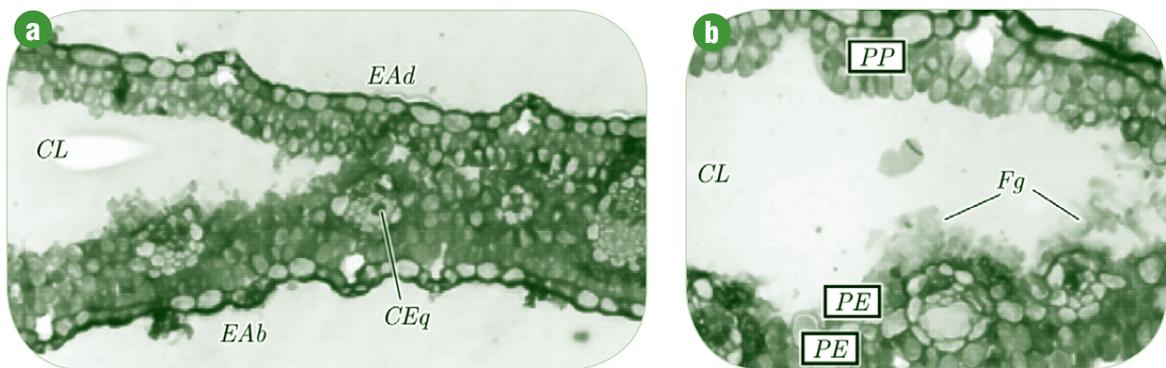
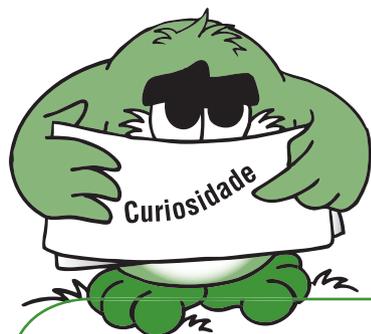


Figura 7 – Galha de ambrosia em folha de *Baccharis concinna*: cortes transversais. a - Região da câmara larval e os tecidos adjacentes. b - Detalhe da câmara larval. CEq = Cavidade esquizógena, CL = Câmara larval, EAb = Epiderme da face abaxial, EAd = Epiderme da face adaxial, Fg = Fungo, PE = Parênquima esponjoso, PP = Parênquima paliádico.

Fonte: Arduim e Kraus(2001).



Mandarová da mandioca

A lagarta mandarová (Figura 8) é a praga mais importante na cultura da mandioca, devido aos danos diretos provocados pela desfolha, destruição das hastes e de brotações, ocasionando redução da produtividade das raízes, assim como os teores de amido.

Essas lagartas, em ataques mais severos, podem ocasionar a morte das plantas, além de facilitar a entrada de doenças através dos ferimentos e lesões.

Os ataques no Brasil surgem, principalmente, durante os períodos de setembro a fevereiro, as injúrias ocorrem nas regiões que estão associadas às altas temperaturas e no período da estação chuvosa.

As lagartas podem consumir até seis folhas durante seu ciclo de vida, sendo 75% destas consumidas no seu último estágio de crescimento. Além disso, esses organismos causam prejuízos na produção em decorrência da perda foliar.



Figura 8 – Mandarová da mandioca

Fonte: <http://portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?tit=bioinseticida_caseiro_controla_praga_da_mandioca&id=47579>. **Acesso em:** 18 ago. 2011.

As primeiras barreiras dos vegetais contra patógenos: cutina, ceras e suberina

Todas as partes dos vegetais expostas ao ambiente são cobertas com uma camada de material lipídico, o qual reduz a perda de água e auxilia a impedir a entrada de fungos ou bactérias patogênicas. Os principais tipos de revestimento são a cutina, a suberina e ceras. A cutina é encontrada na maioria das partes aéreas; a suberina está presente nas porções subterrâneas, nos caules lenhosos e nos ferimentos cicatrizados; já as ceras estão associadas à cutina e à suberina.

A cutina é o principal constituinte da cutícula (Figura 9), uma estrutura secretada, pluristratificada que cobre as paredes das células epidérmicas das porções aéreas dos vegetais. A cutícula é formada por uma cobertura de cera (Figura 10), uma camada intermediária espessa, contendo cutina embebida em cera (o que é chamado de cutícula propriamente dita) e uma camada interna formada de cutina e cera, combinadas com substâncias da parede celular (camada cuticular).

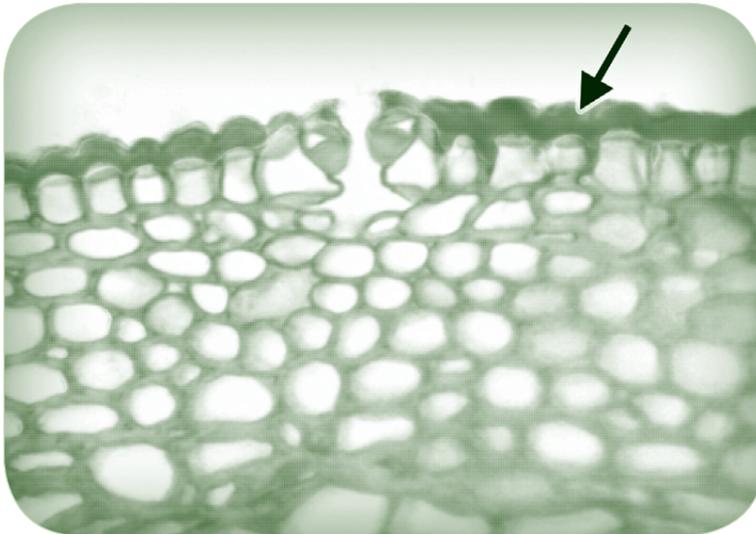


Figura 9 – Corte transversal de pecíolo de *Azadirachta* indica em aumento de 400 vezes. Detalhe da cutícula (seta)

Fonte: Gabrielle Macedo Pereira.

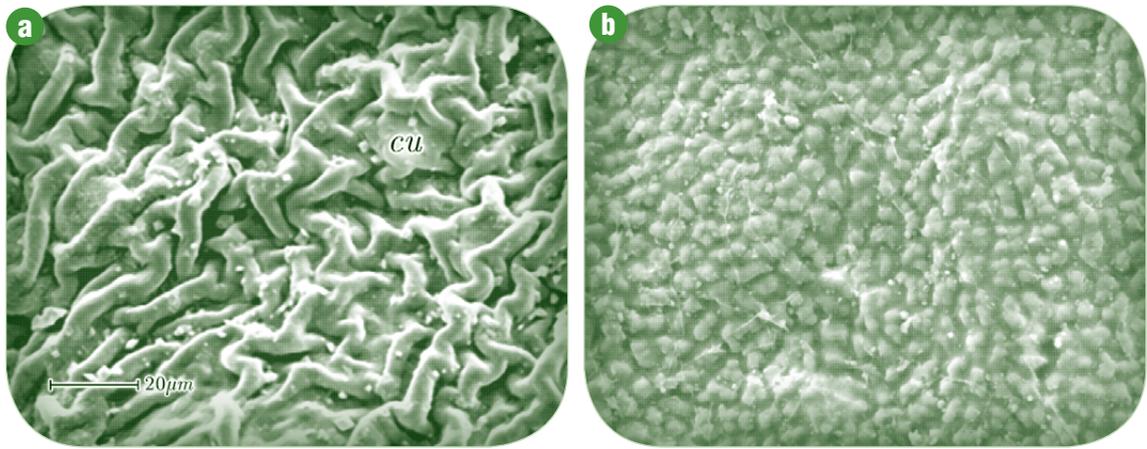


Figura 10 – Microscopia de varredura de diferentes formas de depósitos de ceras epicuticulares, as quais formam a camada superior da cutícula. a – superfície da folha de *Corymbiacallophyla*; b – superfície da folha de *Azadirachta indica*

Fonte: (a) <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-695X2010000300012&script=sci_arttext>; (b) Gabrielle Macedo Pereira.

A suberina é constituinte da parede celular encontrada em muitas partes do vegetal. Sua presença foi observada nas estrias de Caspary, na endoderme de raízes (Figura 11), a qual forma uma barreira impermeável para água e íons. O movimento apoplástico da água e dos solutos - a água e solutos movem-se pela parede celular, sem atravessar nenhuma membrana - através da endoderme é bloqueado pelas estrias. A suberina é o principal componente das paredes celulares externas de todos os órgãos subterrâneos e está associada às células suberizadas da periderme. A periderme se desenvolve no vegetal como tecido de proteção e tecido de cicatrização (Figura 12). No primeiro caso, em caules e raízes com crescimento secundário; no segundo caso, em superfícies expostas por necrose, ferimento, ataque de parasitas, enxertia ou abscisão de folhas, galhos ou frutos.

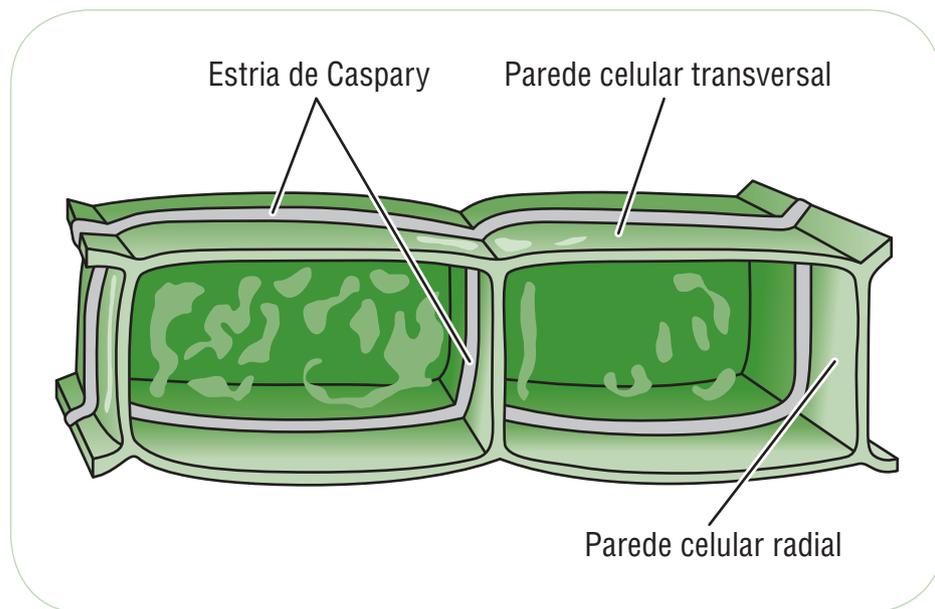


Figura 11 – Esquema de uma célula de endoderme com estrias de Caspary

Fonte: <<http://www.botany.uwc.ac.za/ecotree/root/rootA.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

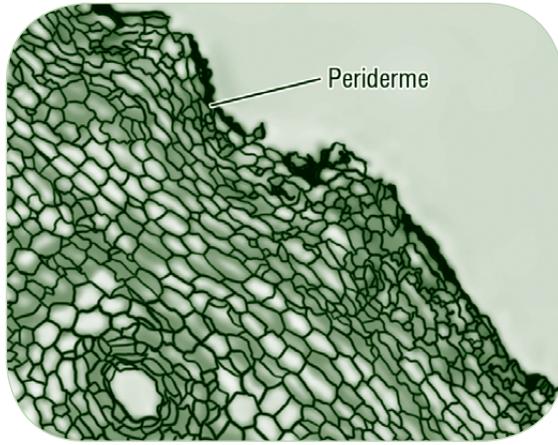


Figura 12 – Corte transversal de caule com destaque para periderme

Fonte: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/caule/caule-30.php>>. Acesso em: 17 ago. 2011.



Atividade

2

Você viu que a cutícula pode ser uma primeira barreira para os patógenos, e que ela pode impedir a entrada desses microrganismos. No entanto, mesmo tendo essa primeira barreira, as plantas são infectadas. Faça uma pesquisa em um site de busca (www.google.com.br) e responda:

Como ocorre essa infecção? Por onde os patógenos entram na planta?

As plantas produzem substâncias tóxicas em resposta às injúrias animais: contra-ataque químico

Os vegetais apresentam respostas aos estímulos ambientais sejam de natureza química, física ou biológica. A intensidade dos ventos, a umidade do ar, o tipo de solo, a intensidade da radiação solar, temperatura e a poluição atmosférica podem influenciar a composição química das plantas. Além do metabolismo primário, responsável pela produção de substâncias que exercem funções vitais (proteína, açúcares, lipídios), as plantas também apresentam o chamado metabolismo secundário, responsável pela produção de substâncias de baixo peso molecular e muitas vezes produzidas em pequenas quantidades. Esses metabólitos são compostos orgânicos que não são vitais para o crescimento, desenvolvimento e reprodução desses organismos. Os metabólitos secundários são classificados quanto a sua estrutura química (Figura 13).

Os metabólitos secundários, durante muito tempo, foram considerados produtos de excreção das plantas e não apresentavam funções definidas. Depois foi observado que a coevolução da relação plantas-animal conduziu para a síntese desses metabólitos com função de defesa ou atração de polinizadores, principalmente.

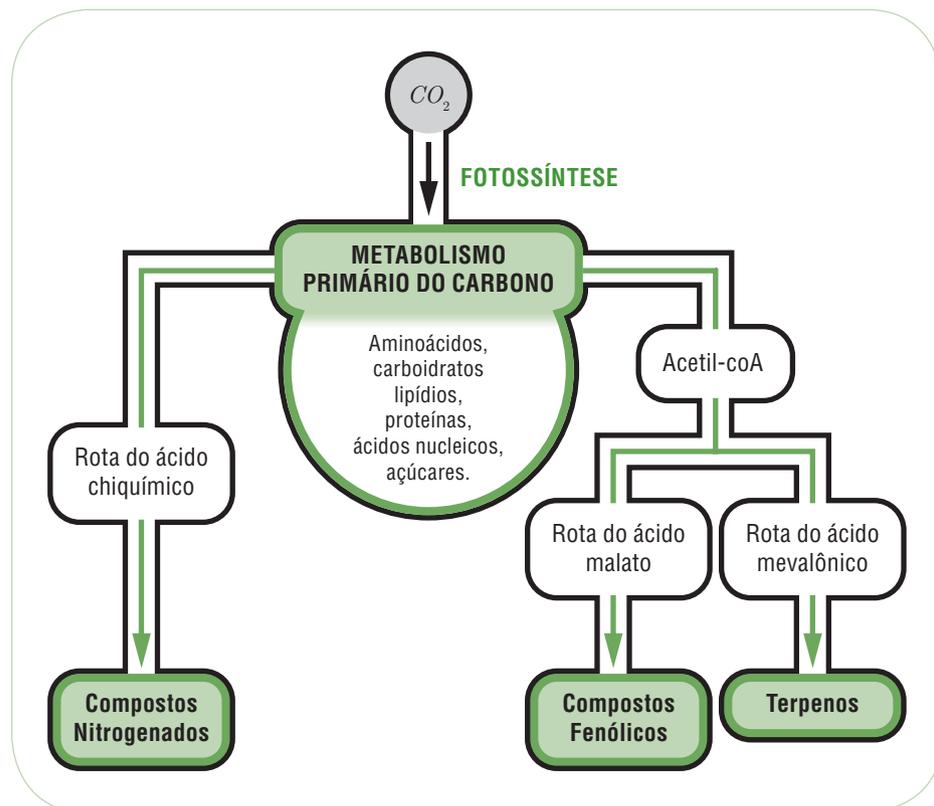


Figura 13 – Visão simplificada das principais rotas de biossíntese de metabólitos secundários

Fonte: Modificado de Taiz e Zeiger(2008).

Terpenos

Os terpenoides, ou terpenos, ocorrem em todas as plantas e são a maior classe de metabólitos secundários, havendo mais de 22.000 compostos terpenoides descritos. Os terpenos são tóxicos para muitos insetos e mamíferos herbívoros. Assim, eles exercem importantes funções de defesa no reino vegetal.

O mais simples terpenoide é o hidrocarboneto isopreno (C_5H_8). Todos os terpenoides podem ser classificados de acordo com a quantidade de isopreno (Figura 14). A classificação dos terpenos foi estabelecida baseada no número de unidades isopreno incorporadas no esqueleto molecular básico (Quadro 1). Uma única planta pode sintetizar muitos terpenoides diferentes, em distintas partes da planta, para uma grande diversidade de propósitos e em épocas diferentes, ao longo do seu desenvolvimento.

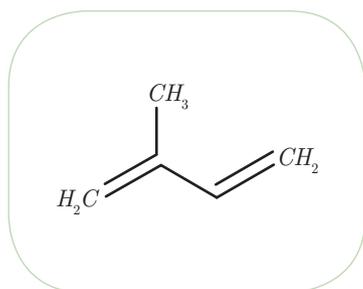


Figura 14 – Um grupo diverso de compostos é formado por unidades de isopreno

Fonte: <http://www.terpenoil.com.br/Web/terpeno_02.html>. Acesso em: 17 ago. 2011.

Terpenos	Unidades Isoprenos	Átomos de Carbono
Monoterpenos	2	10
Sesquiterpenos	3	15
Diterpenos	4	20
Sesterpenos	5	25
Triterpenos	6	30
Carotenoides	8	40
Borracha	>100	>500

Quadro 1 – Classificação dos terpenoides de acordo com o número de unidades de isopreno

Fonte: <http://www.terpenoil.com.br/Web/terpeno_02.html>. Acesso em: 17 ago. 2011.

Muitos monoterpenoides, ou monoterpenos, e sesquiterpenoides (sesquiterpenos) são componentes de óleos essenciais, por serem altamente voláteis e contribuírem para a fragrância ou essência das plantas que os produzem. Na hortelã (*Mentha*), grandes quantidades de monoterpenoides voláteis (mentol e mentona) são sintetizadas e armazenadas em tricomas glandulares (anexos da epiderme).

Os óleos essenciais apresentam reconhecidas propriedades como repelentes de insetos, ou seja, eles podem atuar repelindo herbívoros mesmo antes que eles ataquem. Em milho, algodão, tabaco selvagem e outras espécies, certos monoterpenos e sesquiterpenos são pro-

duzidos e liberados somente após o inseto ter iniciado a ingestão da planta. Tais substâncias repelem herbívoros ovíparos e atraem inimigos naturais, incluindo insetos predadores e parasitas, que matam os insetos herbívoros e, assim, minimizam danos adicionais.

Dessa forma, os terpenos voláteis não só agem diretamente na proteção, como também propiciam que os vegetais que os produzem obtenham auxílio de outros organismos para sua defesa. Como você viu na aula passada, isso se caracteriza como uma defesa indireta.

Entre os compostos terpênicos não-voláteis e repelentes de herbívoros estão os limonoides, um grupo de triterpenos (C_{30}) reconhecido por seu sabor amargo nas frutas cítricas (Figura 15). Outro limonoide conhecido pela atividade bioinseticida é a azadiractina, composto obtido da *Azadirachta indica*, conhecida popularmente como nim.

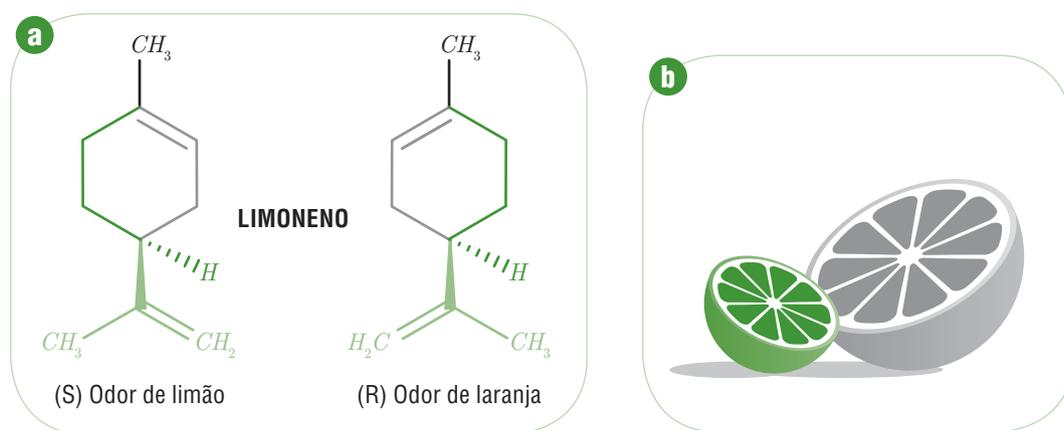


Figura 15 – Estruturas químicas do limoneno (a), terpenoide responsável pelo sabor amargo nas frutas cítricas (b)

Fonte: <<http://alquimistaspontocom.blogspot.com/2009/03/intrigante-e-verdade-que-casca-da.html>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

Compostos fenólicos: flavonoides, taninos, ligninas e ácido salicílico

As plantas produzem uma grande variedade de produtos secundários que contêm um grupo fenol (Figura 16).

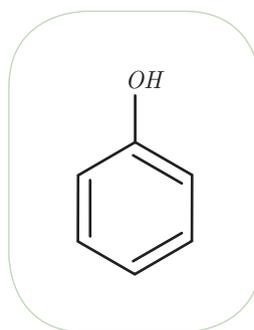


Figura 16 – Estrutura química de um fenol, um grupo hidroxila funcional em um anel aromático

Os flavonoides, que são pigmentos hidrossolúveis presentes nos vacúolos das células das plantas, representam o maior grupo de compostos fenólicos vegetais. As antocianinas variam de cor, desde o vermelho até o púrpura e o azul. A maioria das flavonas e flavonóis é de pigmentos amarelados ou de coloração marfim, e alguns são incolores. Os flavonoides também afetam o modo como as plantas interagem com outros organismos, tais como bactérias simbióticas que vivem dentro das raízes do vegetal e micróbios patogênicos.

Os fenóis mais importantes na inibição alimentar de herbívoros nas angiospermas (plantas com flores) são os taninos, compostos presentes em concentrações relativamente elevadas nas folhas de uma ampla variedade de plantas lenhosas. O seu sabor adstringente repele os insetos, répteis, pássaros e animais superiores.

As ligninas depositam-se na parede celular e não no vacúolo, diferentemente de outros compostos fenólicos. Elas são superadas apenas pela celulose como o mais abundante composto orgânico na Terra. A principal importância das ligninas é a resistência à pressão e a rigidez que confere à parede celular. Acredita-se que a lignificação, ou seja, o processo de deposição de lignina teve um papel primordial na evolução das plantas terrestres.

Compostos nitrogenados

Uma grande variedade de metabólitos secundários vegetais possui nitrogênio na sua estrutura. Nessa categoria se incluem alguns compostos bem conhecidos na defesa de plantas contra herbivoria, como alcaloides e os glicosídeos cianogênicos, por exemplo, que são encontrados em algumas plantas da família Euphorbiaceae.

Os alcaloides constituem uma grande família com mais de 15.000 metabólitos secundários nitrogenados, encontrados em aproximadamente 20% das espécies de plantas vasculares. O interesse por eles tem derivado tradicionalmente do seu efeito fisiológico e psicológico nos seres humanos.

O primeiro alcaloide a ser identificado foi a morfina, obtida da papoula (*Papaversomniferum*). Ela é hoje usada na medicina como analgésico (alivia a dor) e inibidor da tosse. No entanto, o uso excessivo dessa droga pode levar a uma extrema dependência. Aproximadamente 10.000 alcaloides foram até agora isolados e suas estruturas identificadas, entre eles a cocaína, a cafeína, a nicotina e a atropina.





Atividade

3

Você já sabe que os metabólitos secundários têm grande importância para a defesa dos vegetais contra herbivoria e patógenos. Visite o site www.google.com.br e faça uma pesquisa bibliográfica a respeito de plantas que produzem e armazenam taninos. Discorra sobre outras utilizações desse metabólito.



Extratos contendo atropina obtida do meimendo egípcio (*Hyoscyamus muticus*) foram usados por Cleópatra no último século antes de Cristo para dilatar suas pupilas, na esperança de se tornar mais atraente. Durante o período medieval, as mulheres europeias usavam extratos contendo atropina obtida da beladona (*Atropa belladonna*) com os mesmos objetivos. A atropina é usada atualmente como estimulante cardíaco, dilatador de pupilas em exames oftalmológicos e eficientes antídotos contra envenenamento por alguns gases asfixiantes.

Respostas dos vegetais aos patógenos

Os vegetais são resistentes a doenças provocadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides que estão sempre presentes no ambiente. Mesmo não possuindo sistema imunológico, eles apresentam mecanismos de defesas surpreendentes.

Várias classes de produtos secundários que você pôde conhecer nesta aula apresentam alta atividade microbiana. Dessa forma, tais compostos podem atuar como defesas contra patógenos nas plantas intactas.

Após ser infectado por um patógeno, o vegetal disponibiliza um amplo espectro de defesas contra o microrganismo invasor. Uma defesa comum é a resposta de hipersensibilidade (Figura 17), na qual as células adjacentes ao local da infecção morrem rapidamente, privando o patógeno de nutrientes e impedindo a sua propagação.

Muitas vezes, dentro da espécie, algumas diferem quanto à resistência a patógenos microbianos. Essas diferenças frequentemente dizem respeito à velocidade e à intensidade das reações da planta. Plantas resistentes respondem mais rápida e vigorosamente aos patógenos do que aquelas suscetíveis. Dessa forma, é importante conhecer quais os mecanismos que os vegetais utilizam para perceber a presença dos patógenos e iniciar suas defesas.



Figura 17 – Reação de Hipersensibilidade (HR) em fumo

Fonte: <<http://bervieira.sites.uol.com.br/hr.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

Impactos das mudanças climáticas globais sobre doenças de plantas

Alterações no clima ocorridas nas últimas décadas têm despertado as atenções de diferentes segmentos da sociedade, especialmente com relação às suas causas e consequências. A importância do ambiente para ocorrência de doenças de plantas é conhecida há séculos. O triângulo de doença estabelece as condições para a ocorrência de enfermidades, isto é, há a necessidade de ocorrer interação entre hospedeiro suscetível (vegetal) e o patógeno virulento em ambiente favorável (Figura 18).

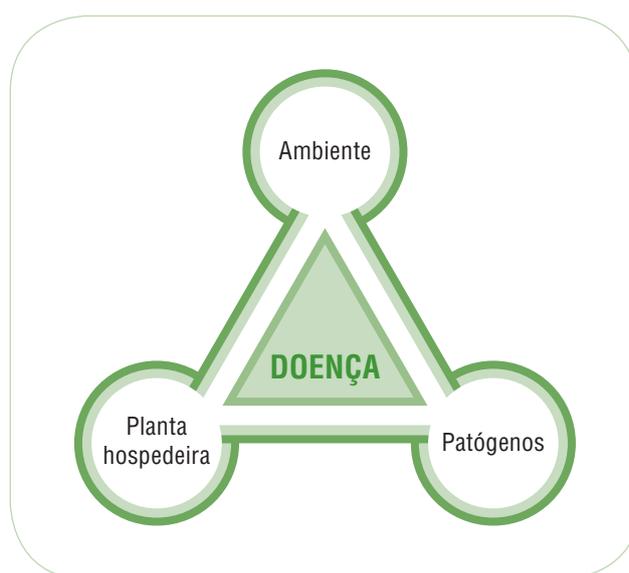


Figura 18 – Triângulo de doença: interação entre elementos fundamentais que determinam ocorrência de uma doença de planta

Um dos assuntos estratégicos para o Brasil é a vulnerabilidade da agricultura com relação a organismos fitopatogênicos, ou seja, aqueles que podem causar doenças em plantas. As mudanças climáticas são responsáveis pelas alterações do atual cenário dos problemas fitossanitários da agricultura brasileira. Os impactos dessas alterações climáticas implicam inúmeros resultados, que podem ser positivos, negativos ou neutros.



Resumo

Nesta aula, você aprendeu que as plantas reagem às ações dos herbívoros, os quais limitam o potencial reprodutivo das plantas. Elas exibem uma variedade de estratégias e modificações a fim de reduzir a perda de tecido fotossintético pela ação dos herbívoros. As respostas às injúrias são de natureza física e/ou química. As defesas físicas ou mecânicas se dão pelo desenvolvimento de espinhos, acúleos, presença de tricomas, folhas duras e estruturas semelhantes. Você viu também que as plantas produzem uma enorme variedade de substâncias que não apresentam função aparente nos processos de crescimento e desenvolvimento do vegetal, sendo, então, classificadas como metabólitos secundários. Esses produtos secundários protegem as plantas contra herbívoros e patógenos, pois podem ser tóxicos e repelentes a esses organismos. Existem três grupos principais de metabólitos secundários: os terpenos, os fenóis e os compostos nitrogenados. Ao longo da evolução, os vegetais desenvolveram múltiplos mecanismos de defesa contra injúrias provocadas por herbívoros e patógenos.

Autoavaliação



Agora que você já viu que as plantas têm uma grande variedade de mecanismos de defesa para recompensar a sua impossibilidade de deslocamento. Comente a respeito das variadas estratégias de defesa dos vegetais contra injúrias provocadas por herbívoros e patógenos.

Referências

ARDUIN, M.; KRAUS, J. E. Anatomia de galhas de ambrosia em folhas de *Baccharis concinna* e *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae). **Revista brasileira de Botânica**, v.24, n.1, p. 63-72, 2001.

BORGES, J. C. Câncer em plantas? **Revista Ciência Hoje**, 14 jul. 2006. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/por-dentro-das-celulas/cancer-em-plantas>>. Acesso em: 13 de out. 2009.

CORREA, P. G. et al. Herbivoria e anatomia foliar em plantas tropicais brasileiras. **Ciência e Cultura**, v. 60, n. 3, p. 54-57, 2008.

ESAU, Katherine. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. 293 p.

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília, DF: Editora EMBRAPA Informações Tecnológicas, 2008. 331 p.

RAVEN P. H.; EVERT R. F.; EICHHORN S. E. **Biologia vegetal**. 7th ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

Anotações

Esta edição foi produzida em **mês de 2012** no Rio Grande do Norte, pela Secretaria de Educação a Distância da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (SEDIS/UFRN). Utilizando-se Helvetica Lt Std Condensed para corpo do texto e Helvetica Lt Std Condensed Black títulos e subtítulos sobre papel offset 90 g/m².

Impresso na nome da gráfica

Foram impressos **1.000** exemplares desta edição.

SEDIS Secretaria de Educação a Distância – UFRN | CampusUniversitário
Praça Cívica | Natal/RN | CEP 59.078-970 | sedis@sedis.ufrn.br | www.sedis.ufrn.br

ISBN 978-85-7273-887-3



9 788572 738873 >



Ministério da
Educação

