

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR
PARTE 1



Profa. Dra. Helenice Mercier

Laboratório de Fisiologia do Desenvolvimento
Vegetal
Ano 2020

Todas as plantas têm raízes?



Tillandsia usneoides (Bromeliaceae)

Principais objetivos :

- Por que é importante compreender o desenvolvimento do sistema radicular?
- Quais são os principais fatores ambientais que modulam o crescimento das raízes?
- Onde e como ocorre crescimento das raízes?
- Como é conferida a identidade do MAR?
- Quais hormônios participam da sinalização da divisão e do alongamento celular?
- Como se formam as raízes laterais? Como se distribuem num solo heterogêneo em termos de nutrientes?
- Qual a sinalização existente entre raízes e parte aérea?

Qual a importância prática de se estudar o desenvolvimento de raízes e o grau de plasticidade desse desenvolvimento?

Algumas informações para contextualizar...

- A população mundial cresce rapidamente;
- Cultivares foram selecionadas para crescer em condições ótimas. Isso implica em fornecer água, nutrientes, por exemplo, em altas doses;
- Irrigação: 70% do uso da água doce vai para esse fim. Escassez!
- Uso de fertilizantes: solos adubados são necessários. Poluentes e caros!

Atualmente...

- Criação de cultivares “robustas” – podem ser cultivadas em condições sub-ótimas.
- Tolerância a estresses abióticos – estratégia importante!
- Solos em sua maioria são ambientes heterogêneos: pobres em nutrientes, secos, salinos etc
- Otimização do sistema radicular- uma possibilidade...uma solução!

Arquitetura do sistema radicular-(ASR)

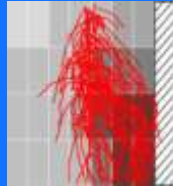
- Disposição espacial das raízes no solo- comprimento, número, posicionamento e ângulo – determinam o volume de solo a ser explorado.

https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=_Y6vgAnMhGxs

Plasticidade do crescimento radicular

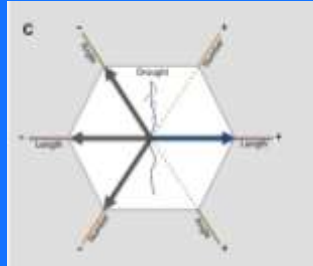
- Capacidade de ajustar a ASR – importante aspecto do desenvolvimento da planta, adaptando-a para enfrentar uma grande variedade de condições ambientais, como distribuição desigual de água e nutrientes

Distribuição desigual de água
Hidrotropismo



Dietrich, D. 2018

ASR responde a estresse abiótico:
deficiência hídrica (dicot)

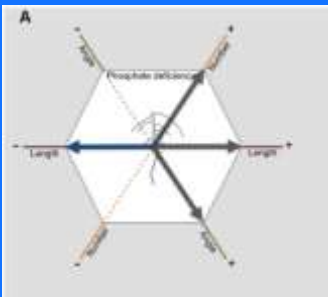


seta azul = raiz primária
seta cinza = raiz lateral

efeito positivo à direita e
negativo à esquerda

Koevoets et al. 2016

ASR responde a estresse abiótico:
deficiência de P (dicot)

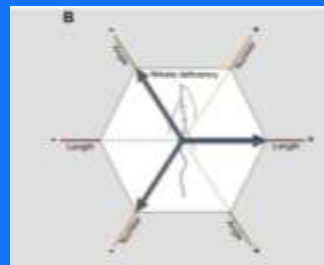


seta azul = raiz primária
seta cinza = raiz lateral

efeito positivo à direita e
negativo à esquerda

Koevoets et al. 2016

ASR responde a estresse abiótico:
deficiência de nitrogênio (dicot)



seta azul = raiz primária
seta cinza = raiz lateral

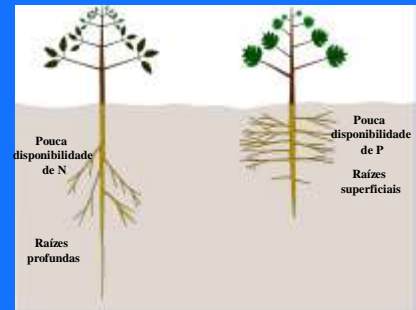
efeito positivo à direita e
negativo à esquerda

Koevoets et al. 2016

Limitação Nutricional

- Fósforo (P)
- **Baixa mobilidade nos solos**
- **Alta reciclagem**
- Nitrogênio (N)
- **Alta mobilidade nos solos**
- **Alta lixiviação**

Mudanças na arquitetura do sistema radicular



Kerbaui, 2019

Onde e como ocorre o crescimento nas raízes?

Qual a diferença entre crescimento e desenvolvimento?



DESENVOLVIMENTO

CRESCIMENTO (aumento irreversível tamanho)
DIFERENCIAÇÃO (especialização)

MEDIDAS DE CRESCIMENTO

AUMENTO DE DIÂMETRO
AUMENTO DE VOLUME
AUMENTO DE COMPRIMENTO
AUMENTO DE MASSA FRESCA
AUMENTO DE MASSA SECA (biomassa)
AUMENTO N° DE CÉLULAS

**CRESCIMENTO ABERTO:
FORMAÇÃO DA RAIZ PRIMÁRIA**

Diagram illustrating the formation of the primary root in a dicot embryo. The main diagram shows the shoot and root with labels: vascular tissue, lateral roots, root hairs, REGIÃO DE MATURACÃO, REGIÃO DE ALONGAMENTO, and COIFA. A detailed view of the shoot shows the vascular cambium, the shoot, and the shoot apical meristem (SAM).

As raízes crescem continuamente? Os meristemas não desaparecem durante o processo de diferenciação radicular?

Crescimento aberto ou indeterminado:
CÉLULAS-TRONCO permitem a manutenção do meristema

Diagram illustrating the shoot apical meristem (SAM) and the vascular cambium. Labels include stem cells, organizing center, peripheral zone, vascular cambium, and quiescent center.

Localização específica – zona central do meristema.
Células com capacidade de auto-renovação, não se diferenciando estruturalmente.
Produzem células-filhas que se diferenciam, produzindo os diferentes tecidos e órgãos radiculares

IDENTIDADE DO MERISTEMA APICAL RADICULAR (MAR):
o papel das auxinas (AIA)

Diagram illustrating the shoot apical meristem (SAM) and the root apical meristem (RAM). Labels include SAM, AIA, and RAM. A detailed view of the RAM shows the shoot apical meristem (SAM), the root apical meristem (RAM), and the quiescent center (CC).

TPA = fluxo basípeto forma gradiente de distribuição de AIA

Um pico de AIA se forma no ápice radicular, fornecendo informação posicional essencial para manutenção da divisão celular.

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR
PARTE 2



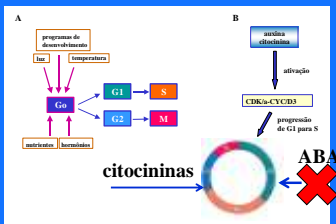
Profa. Dra. Helenice Mercier

Laboratório de Fisiologia do Desenvolvimento Vegetal
Ano 2020

CRESCIMENTO ABERTO:
FORMAÇÃO DA RAIZ PRIMÁRIA

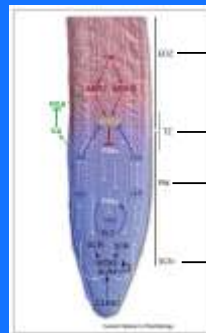


DIVISÃO CELULAR NO MAR: cada hormônio como AIA, citocininas e ABA tem sua vias biossintéticas e de transdução de sinal específicas e o crescimento adequado das raízes depende de uma interação entre eles (*Cross-talk*)



Kerbaui 2008

Diferenciação do MAR: o papel das citocininas



SHY2 = (SHORT HYPOCOTYL2)
GENE MARCADOR
SHY2 INDUZIDO POR CKs
ESTIMULANDO A
DIFERENCIAÇÃO
CELULAR

Azul = AIA
Rosa = Citocininas

Manutenção do meristema para crescimento contínuo:
Taxa de diferenciação deve se igualar à taxa de produção de novas células.



3 dias pós-germinação

5 dias pós-germinação

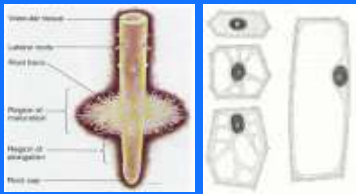
Arabidopsis thaliana

Pacifici et al. 2015

COMO OCORRE A SINALIZAÇÃO HORMONAL DO ALONGAMENTO?



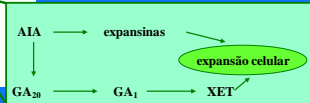
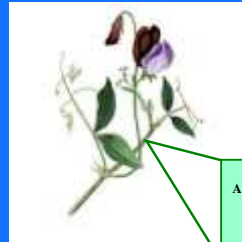
SINALIZAÇÃO HORMONAL DO ALONGAMENTO CELULAR



AUXINAS

GIBERELINAS

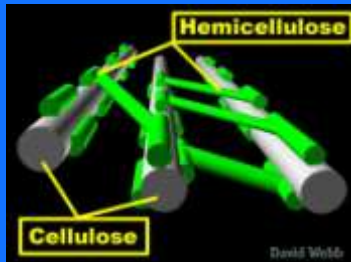
AUXINAS E GIBERELINAS ATUANDO CONJUNTAMENTE NO ALONGAMENTO CELULAR



Kerbauy 2008

XET – xiloglucano endotransglicosidase ou
XTH – xiloglucano transglicosidase
(xiloglucano – componente da fração hemicelulósica da parede)

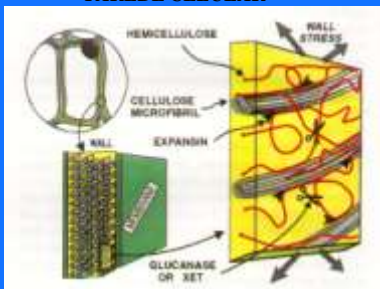
PAREDE CELULAR



PAREDE CELULAR



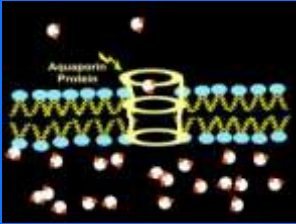
PAREDE CELULAR



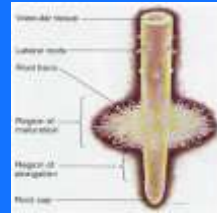
COMO OCORRE A ENTRADA DE ÁGUA
NA CÉLULA?

CANAIS FACILITADORES DA
ENTRADA D'ÁGUA
CANAIS DE ENTRADA DE K^+

Aquaporinas: PIPs (membrana plasmática) e TIPS (membrana vacuolar)



COMO SE FORMAM AS RAÍZES LATERAIS?



SINALIZAÇÃO HORMONAL DA FORMAÇÃO DE RAÍZES LATERAIS



Talaz & Zeiger (2009)



Kerhany (2019) Fisiologia Vegetal

SINALIZAÇÃO HORMONAL DA FORMAÇÃO DE RAÍZES LATERAIS

DE RAÍZES LATERAIS



Vasos de protoxilema em diferenciação

Início do desenvolvimento da raiz lateral

Endoderme

Periciclo

Kerhany (2019) Fisiologia Vegetal

A DISTRIBUIÇÃO DESIGUAL DE NUTRIENTES
 NUMA DETERMINADA REGIÃO DO SOLO
 PODE INDUZIR A FORMAÇÃO DE RAÍZES
 LATERAIS?

A SINALIZAÇÃO DO NITRATO

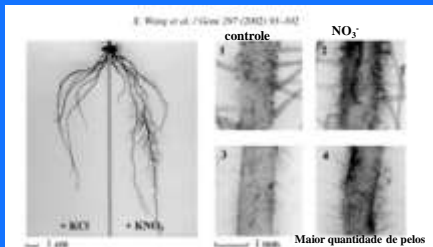
Sistema "split root" de estudo



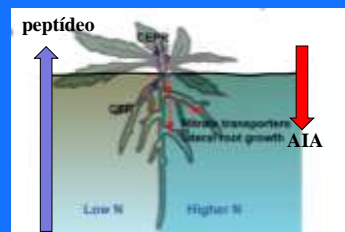
Arabidopsis thaliana

Ruffel et al. PNAS 2011

Distribuição desigual de nutrientes (N)
 em raízes de arroz



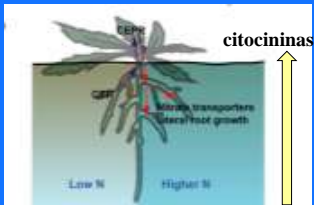
Formação de raízes laterais: solos com presença desigual de N



Peptídeo transmitido através do xilema do lado com baixa concentração de N para receptores localizados na parte aérea; um sinal da parte aérea é transmitido para as raízes, aumentando os transportadores de nitrato e o crescimento de raízes laterais em contato com as altas concentrações N

New Phytologist
 Volume 208, Issue 1, pages 26–38, 20 MAY 2015 DOI: 10.1111/nph.13469
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.13469>

SOLO COM DISTRIBUIÇÃO HETEROGÊNEA DE N



Lado com maior nível de N (nitrato) induz nas raízes uma enzima-chave da síntese de citocininas. Este hormônio é transportado via xilema para a parte aérea.

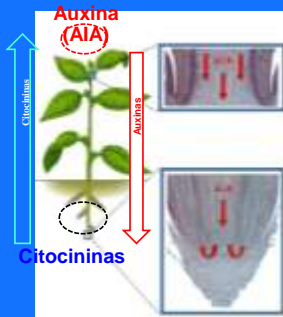
Sinalização hormonal raiz-parte aérea e parte aérea -raiz

Modulação do crescimento e distribuição de biomassa entre raízes e eixo caulinar



Sinalização hormonal sistêmica:

fluxo de auxinas basipeto / fluxo de citocininas: acrópeto



Kerbauy 2008

BIBLIOGRAFIA

- HORMONE SIGNALING IN PLANT DEVELOPMENT (2012) CURRENT OPINION IN PLANT BIOLOGY 15: 92-96
- GROWTH AND DEVELOPMENT OF ROOT APICAL MERISTEM (2012) CURRENT OPINION IN PLANT BIOLOGY 15: 17-23
- INTEGRATION OF LOCAL AND SYSTEMIC SIGNALING PATHWAYS FOR PLANT N RESPONSES (2012) CURRENT OPINION IN PLANT BIOLOGY 15: 185-191
- THE IMPORTANCE OF NUTRITIONAL REGULATION OF PLANT WATER FLUX (2009) OECOLOGIA 161: 15-24

- GENES AND NETWORKS REGULATING ROOT ANATOMY (2015) NEW PHYTOLOGIST 208: 26-38
- OSCILLATING GENE EXPRESSION DETERMINES COMPETENCE FOR PERIODIC ARABIDOPSIS ROOT BRANCHING (2010) SCIENCE 329: 1306-1311
- GETTING TO THE ROOTS OF IT: GENETIC AND HORMONAL CONTROL OF ROOT ARCHITECTURE.(2013) FRONTIERS IN PLANT SCIENCE 4: 1-30
- ROOTS WITHSTANDING THEIR ENVIRONMENT: EXPLOITING ROOT SYSTEM ARCHITECTURE RESPONSES TO ABIOTIC STRESS TO IMPROVE CROP TOLERANCE. (2016) FRONTIERS IN PLANT SCIENCE VOL 7 AGOSTO
- NITROGEN ECONOMICS OF ROOT FORAGING: TRANSITIVE CLOSURE OF THE NITRATE- CYTOKININ RELAY AND DISTINCT SYSTEMIC SIGNALING FOR N SUPPLY VS. DEMAND. PNAS NOVEMBER 8, 2011 108 (45) 18524-18529
- HYDROTROPISM: HOW ROOTS SEARCH FOR WATER. J. EXP. BOT. 2018; 69: 2759-2771
- IDENTIFICATION OF GENES ENRICHED IN RICE ROOTS OF THE LOCAL NITRATE TREATMENT AND THEIR EXPRESSION PATTERNS IN SPLIT-ROOT TREATMENT. GENE 297 (2002) 93-102
- PLANT HORMONE CROSS-TALK: THE PIVOT OF ROOT GROWTH. JOURNAL OF EXPERIMENTAL BOTANY, VOL. 66, NO. 4 PP. 1113-1121, 2015