



# FISIOLOGIA DE CULTIVOS: EUCALIPTO

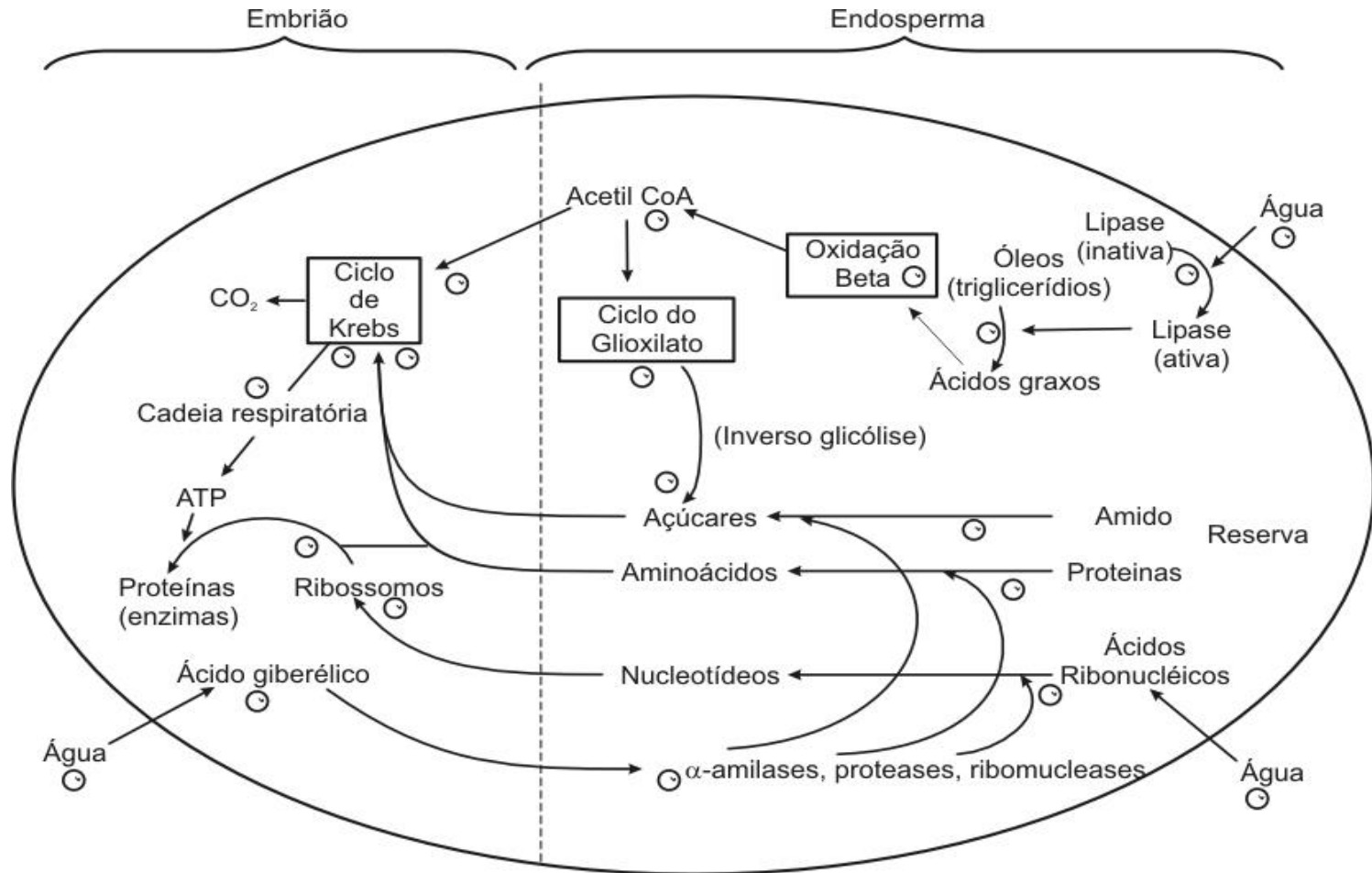


**Paulo Roberto de Camargo e Castro**  
**Professor Titular - ESALQ/USP**

# GERMINAÇÃO E PROPAGAÇÃO VEGETATIVA

- Durante muitos anos, o único método empregado para a produção de mudas foi a seminal, porém, atualmente, o uso de propágulos vegetativos se tornou de suma importância para a garantia de plantios mais homogêneos e de maior produtividade.
- A viabilidade das sementes é alta, quando armazenada em condições favoráveis de temperatura e umidade. Trabalhos a este respeito já mostravam que umidades relativas (UR) inferiores a 40% mantinham o poder germinativo das sementes de *E. saligna*, após 270 dias, porém URs inferiores a 10% são prejudiciais, diminuindo o peso das sementes, quando armazenadas a 25 °C.

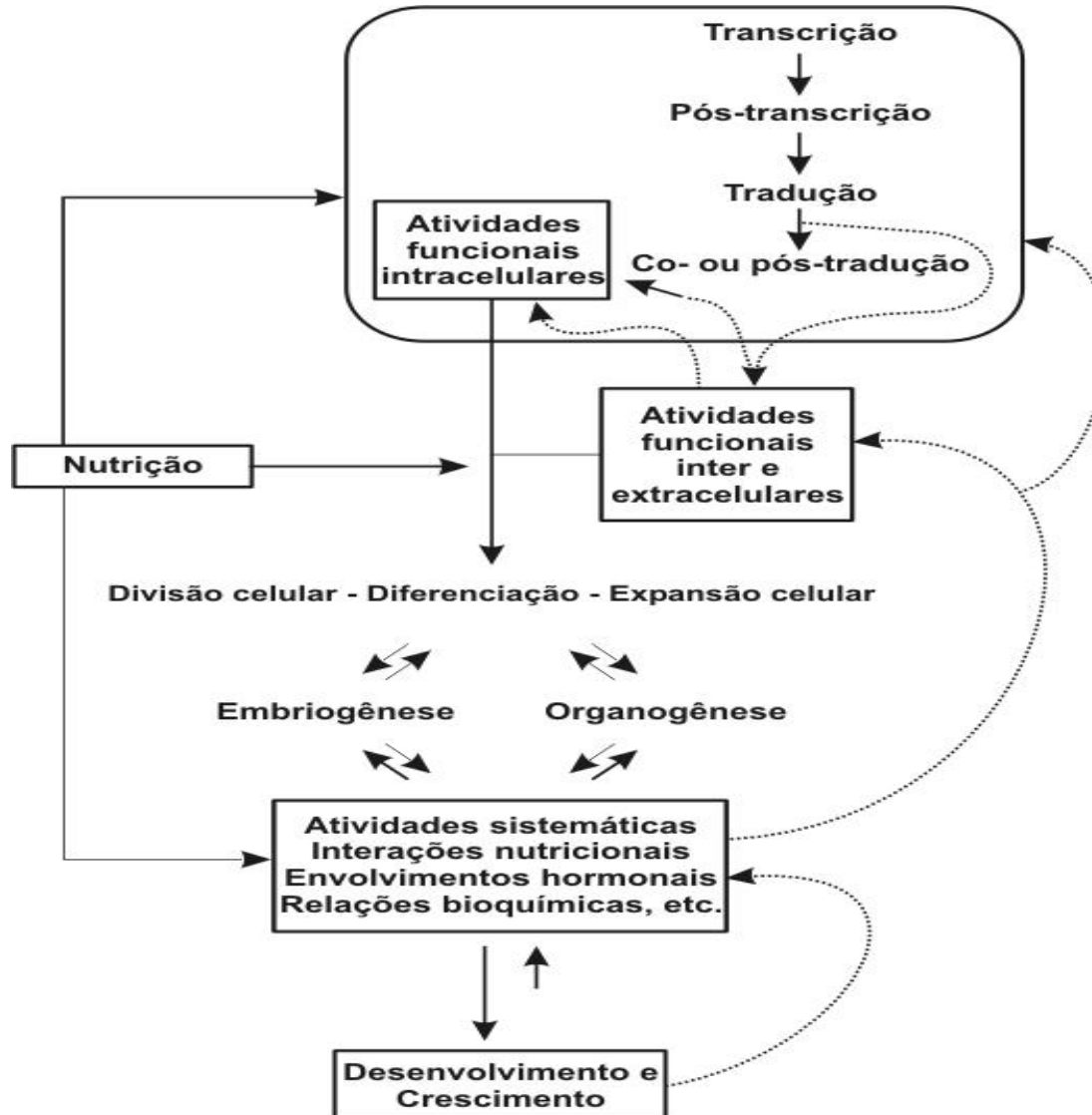
# METABOLISMO DA GERMINAÇÃO



# **GERMINAÇÃO E PROPAGAÇÃO VEGETATIVA**

- **Na propagação vegetativa, conhecida também como propagação clonal, um indivíduo superior é propagado através de estacas, na produção de mudas. Nesse processo os propágulos são geneticamente idênticos à árvore matrix. Uma das preocupações na propagação clonal é a manutenção da juvenilidade do material.**
- **Um dos fatos mais importantes do sucesso da eucaliptocultura no Brasil é seu potencial de rebrota. Após o corte das árvores, na maioria das espécies, ocorre a rebrota. Dessa maneira é possível economizar o custo de implantação no final do ciclo, apenas conduzindo essas brotações.**

# DESENVOLVIMENTO VEGETAL



# **FATORES QUE AFETAM A EMISSÃO DE REBROTAS**

- **Tratamentos que promovem o desenvolvimento de brotações laterais mantidos sob inibição correlativa:**
  - (1) Decapitação do caule principal.**
  - (2) Remoção de folhas novas em desenvolvimento.**
  - (3) Restrição física do crescimento apical.**
  - (4) Isolamento da região apical do caule por doença, inseto ou anelamento.**
  - (5) Infecção por patógenos causadores de vassoura-de-bruxa.**
  - (6) Altos níveis de dióxido de carbono.**

# **FATORES QUE AFETAM A EMISSÃO DE REBROTAS**

- (7) Intensidade e qualidade da luz.**
- (8) Umidade.**
- (9) Suprimento de água e nutrientes às raízes.**
- (10) Tratamentos gravimórficos.**
- (11) Indução da condição reprodutiva.**
- (12) Aplicação de inibidores do transporte de auxinas nos tecidos acima da gema.**
- (13) Aplicação de inibidores e retardadores de crescimento ao ramo.**
- (14) Aplicação de auxina, citocinina, giberelina, ethephon e cianamida hidrogenada à gema.**

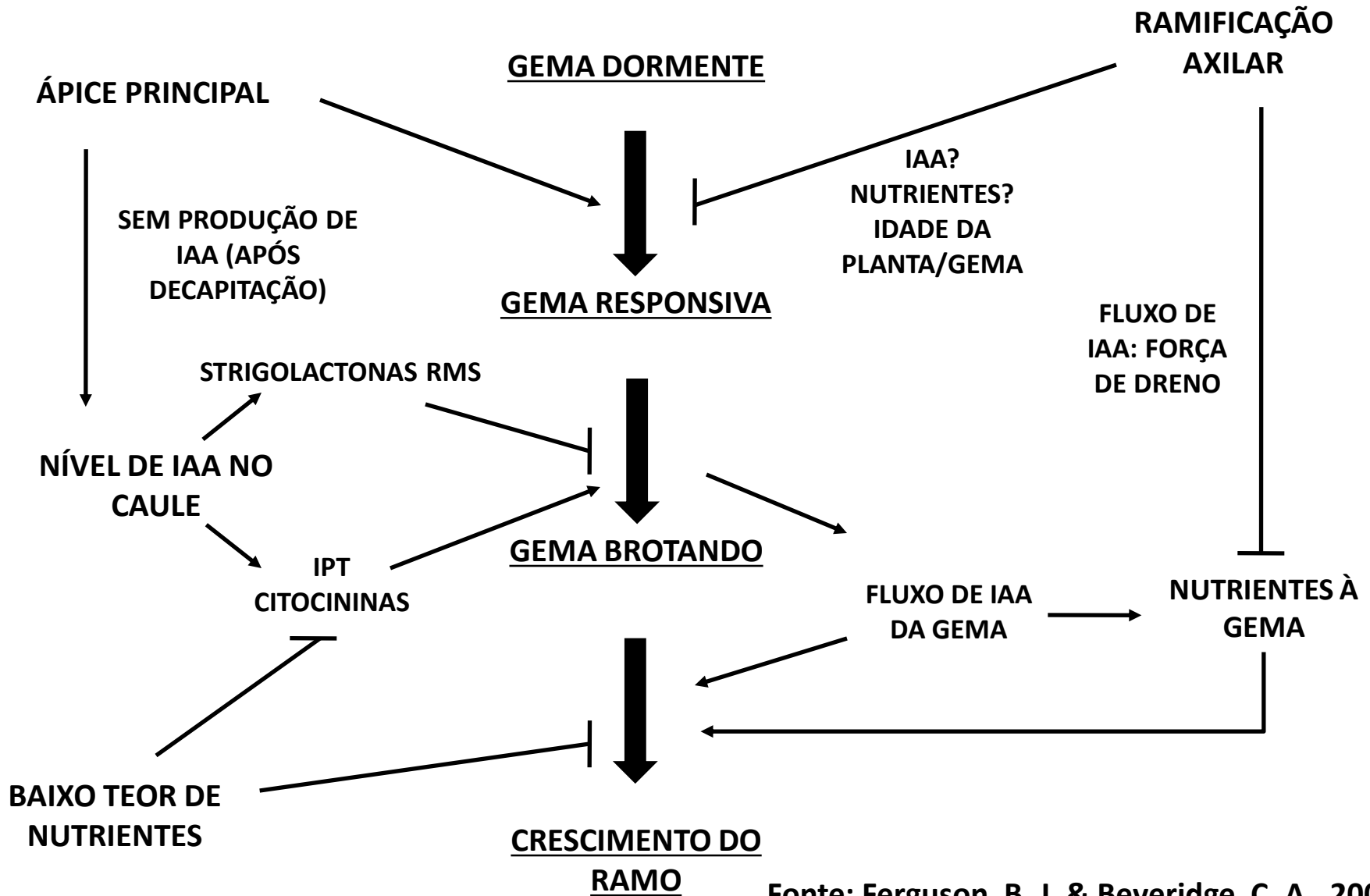


# EMISSÃO DE REBROTAS



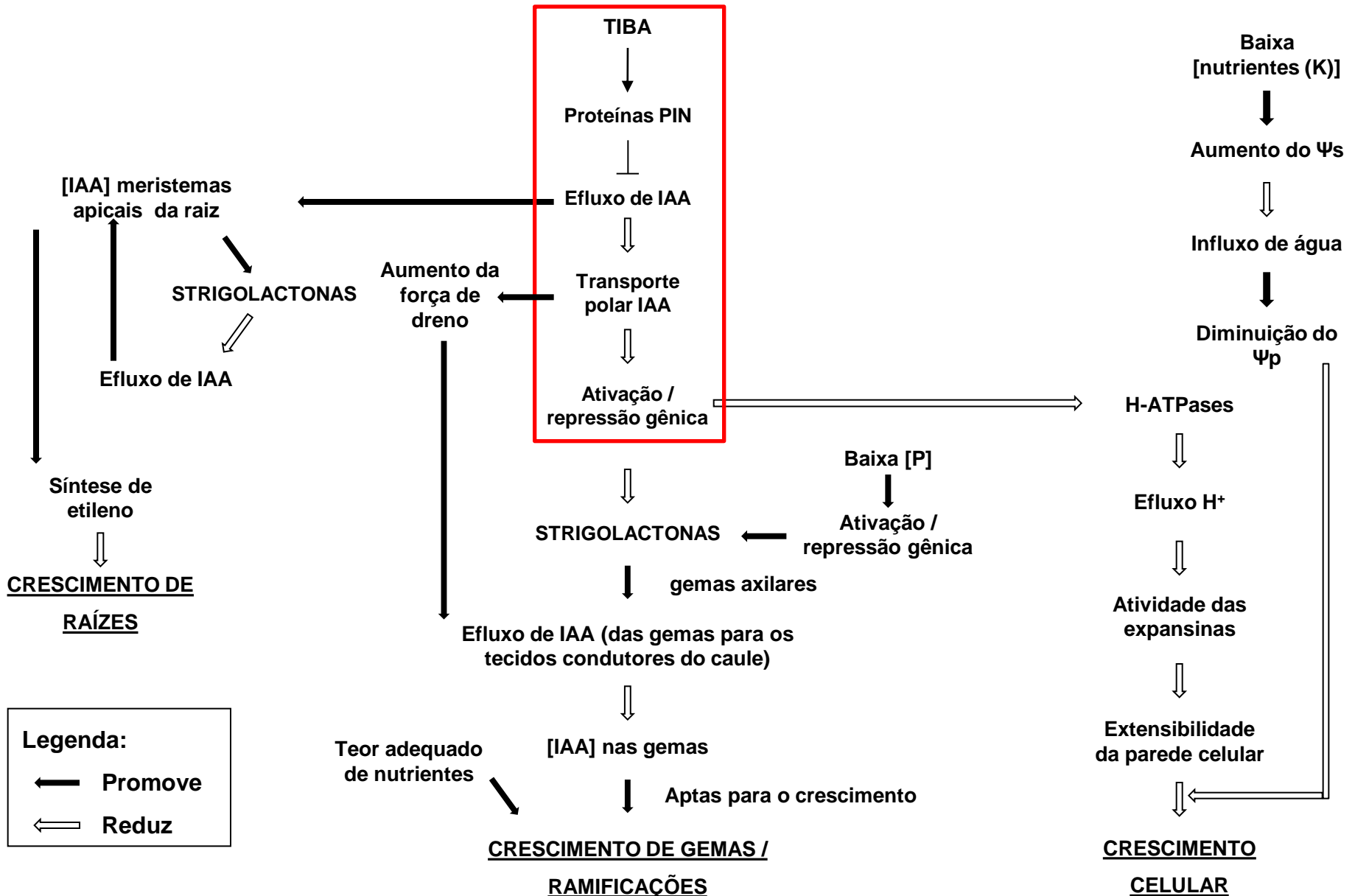


# MODELO DE REBROTA



Fonte: Ferguson, B. J. & Beveridge, C. A., 2009.

**DIAGRAMA ESQUEMÁTICO PROPOSTO PARA OS PROCESSOS FISIOLÓGICOS POSSIVELMENTE ENVOLVIDOS NAS VARIÁVEIS MASSA SECA DE RAÍZ, RAMIFICAÇÕES E ALTURA (CRESCIMENTO CELULAR)**

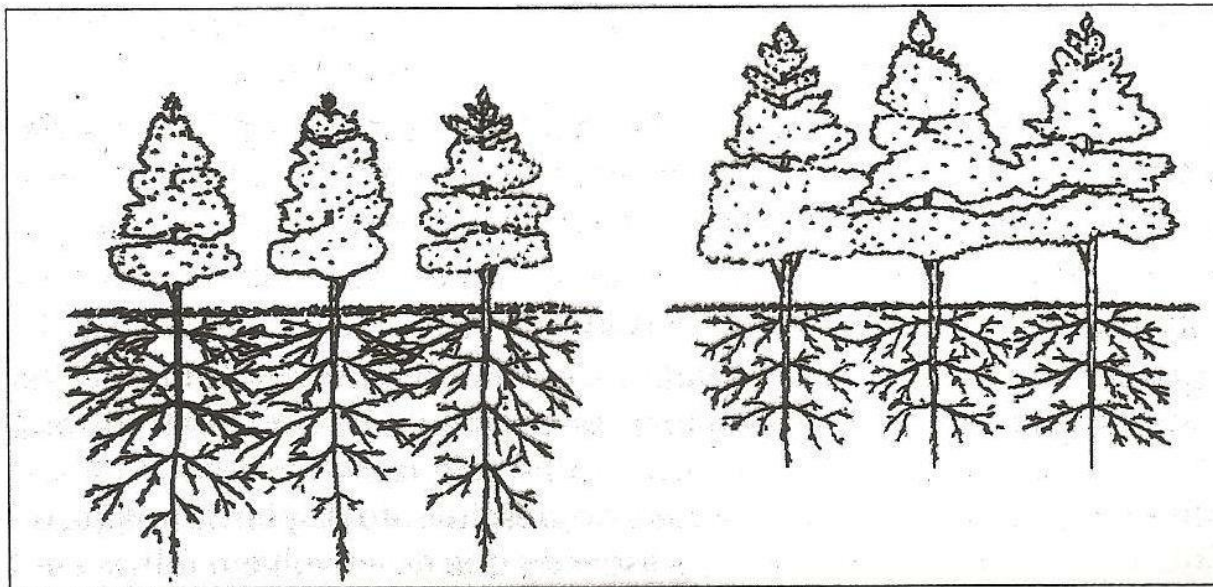


# DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES

- **O eucalipto possui um hábito de crescimento de raízes de sustentação pivotante, com uma raiz principal, com tamanho limitado geneticamente e pelo solo em que se apresenta. Fatores como textura, estrutura, fertilidade, barreiras físicas e químicas, nível e oscilação do lençol freático, servem como barreiras para o crescimento desse tipo de raiz.**
- **A configuração do sistema radicular difere entre mudas originadas de sementes ou através da propagação vegetativa (estaquia). Mudas provenientes de sementes apresentam forte gravitropismo da raiz pivotante, possuindo 2 tipos de raízes primárias das quais surgem as raízes secundárias. Mudas obtidas de estaquia não possuem raiz pivotante, sendo que o principal componente do seu sistema radicular constitui-se de raízes adventícias formadas durante o processo de propagação.**

# DESENVOLVIMENTO DAS RAÍZES

- A disponibilidade de água no solo afeta diretamente a quantidade de raízes no perfil do solo. Solos com estoques reduzidos de água e nutrientes produzem plantas com biomassa de parte aérea reduzida, devido a maior alocação de fotoassimilados para a formação de biomassa do sistema radicular, comparados a um solo fértil com boa disponibilidade hídrica.



*Figura 1. Maior alocação de fotoassimilados em raízes e redução da parte aérea (esquerda), quando há baixa disponibilidade de água e nutrientes (adaptado de Gonçalves & Mello, 2005).*

# DESENVOLVIMENTO DO CAULE

- **Dentre os produtos oriundos do caule do eucalipto, estão a lenha, o carvão vegetal, a madeira sólida e a celulose.**
- **Parâmetros como a densidade básica da madeira, quantidade de extrativos, teores de celulose e lignina, resistência mecânica, dentre outros, são alvos de pesquisas atualmente.**
- **No melhoramento, a grande busca é por um maior desenvolvimento do caule, gerando maior produtividade. Na indústria de celulose, procura-se esse maior desenvolvimento, aliado a uma maior relação celulose/lignina.**



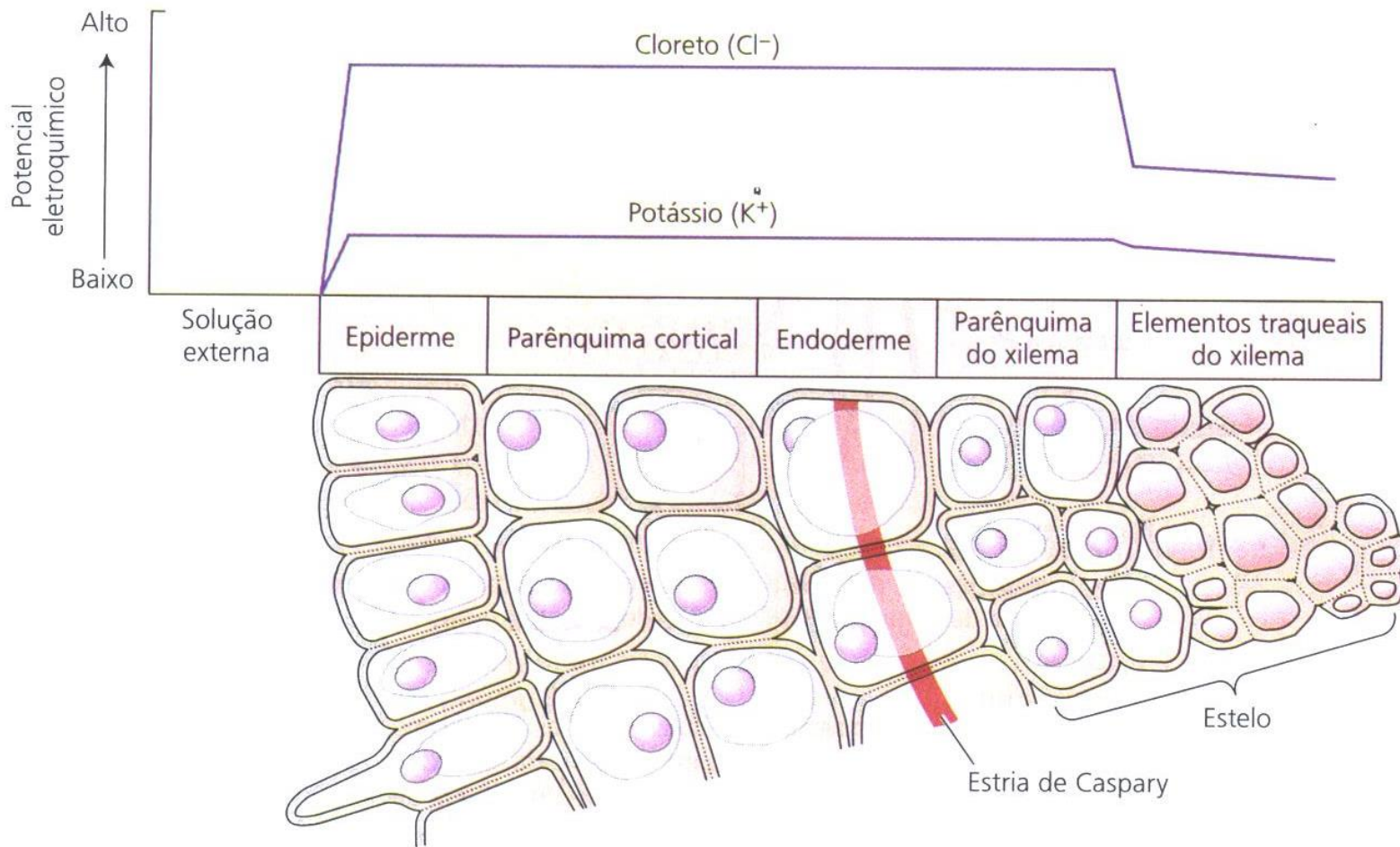




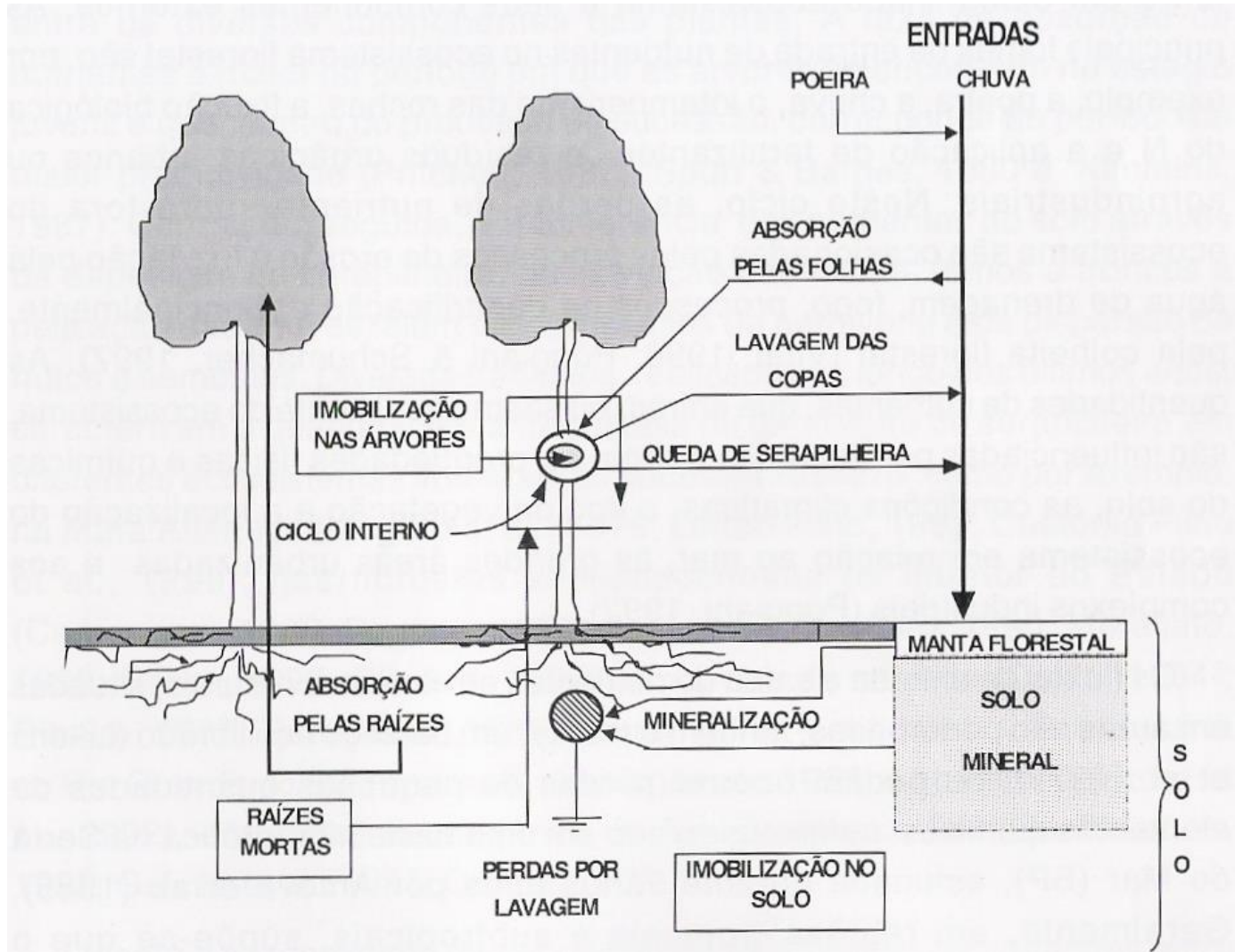
# SOLOS, NUTRIÇÃO MINERAL E MICORRIZAS

- **No momento da colheita, grande parte dos nutrientes da área é exportado, tornando-se essencial sua reposição. Entretanto, muitos desses nutrientes se encontram nos chamados resíduos da exploração (folhas, galhos, cascas e serapilheiras), representando cerca de 28% da biomassa do plantio. Aproximadamente 57% do nitrogênio, 61% do fósforo e 51% do potássio da parte aérea do eucalipto se encontram nesses compartimentos, mostrando a importância de se manter esses resíduos no campo após a colheita.**
- **Durante a fase anterior ao fechamento das copas, as plantas não competem entre si por luz, água ou nutrientes. Portanto respondem satisfatoriamente a adubação, com alta absorção de nutrientes e crescimento acelerado. Com este crescimento, as copas acabam por se fechar, iniciando um período de competição entre as plantas.**

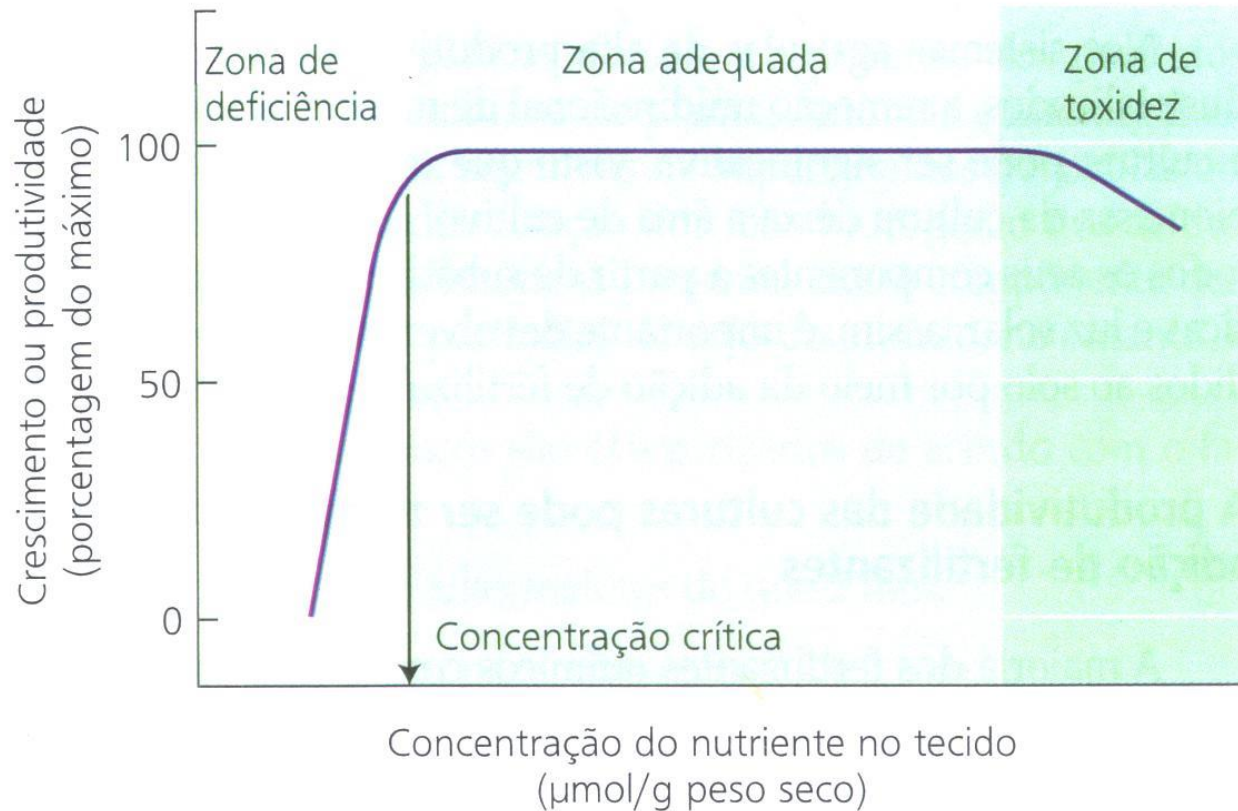
# POTENCIAIS ELETROQUÍMICOS NA RAÍZ



# DINÂMICA DE NUTRIENTES EM UM ECOSISTEMA



# CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO





# SISTEMA RADICULAR



Figura – Sistema radicular de *E. grandis* vs. *E. urophylla* em Latossolo vermelho-amarelo, de textura média.

# SISTEMA RADICULAR

## Quadro

Espécies, tipo de cobertura florestal, distribuição do sistema radicular no perfil de solo, probabilidade de resposta à fertilização e ao espaçamento de plantio e tolerância à seca.

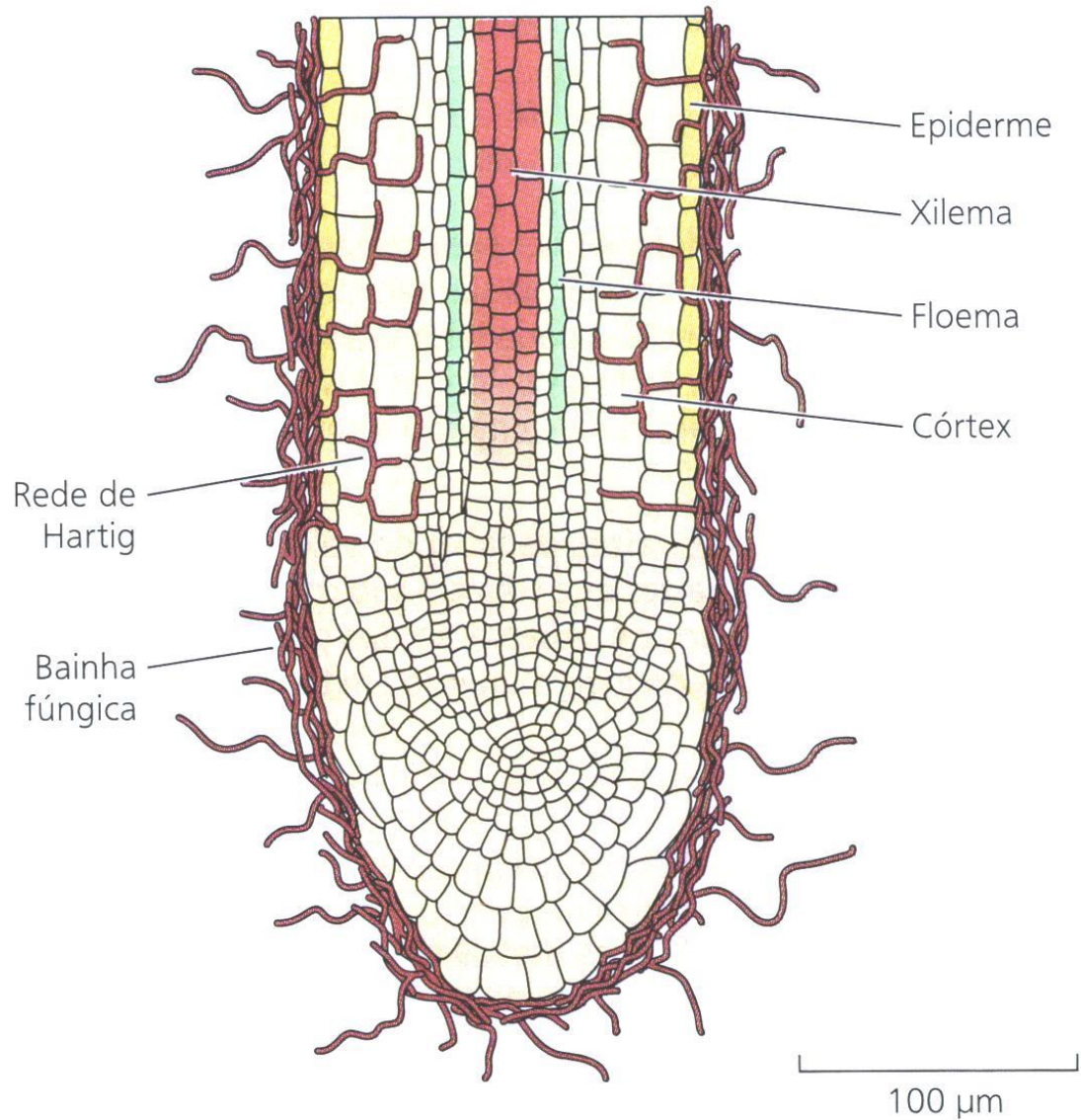
Espécie	Tipo de cobertura florestal	Prof. sistema radicular	Resposta à fertilização	Resposta ao espaçamento	Tolerância à seca
<i>E. cloeziana</i> , <i>E. microcorys</i>	fechada	superficial	grande	grande	pequena
<i>E. pellita</i> , <i>E. robusta</i> , <i>E. resinifera</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. dunii</i>	intermed.	intermed.	média	média	média
<i>E. camaldulensis</i> , <i>E. tereticornis</i> e <i>E. citriodora</i>	aberta	profundo	pequena	pequena	grande



# MICORRIZAS

- **As ectomicorrizas são importantes na absorção de nutrientes pouco móveis no solo, como o P. As hifas do fungo chegam a cobrir as raízes mais finas da planta isolando-as do contato direto com o solo. Também promovem a exploração de regiões mais profundas do solo, locais em que essas raízes mais finas não alcançam, tornando mais eficiente a absorção de água e nutrientes.**

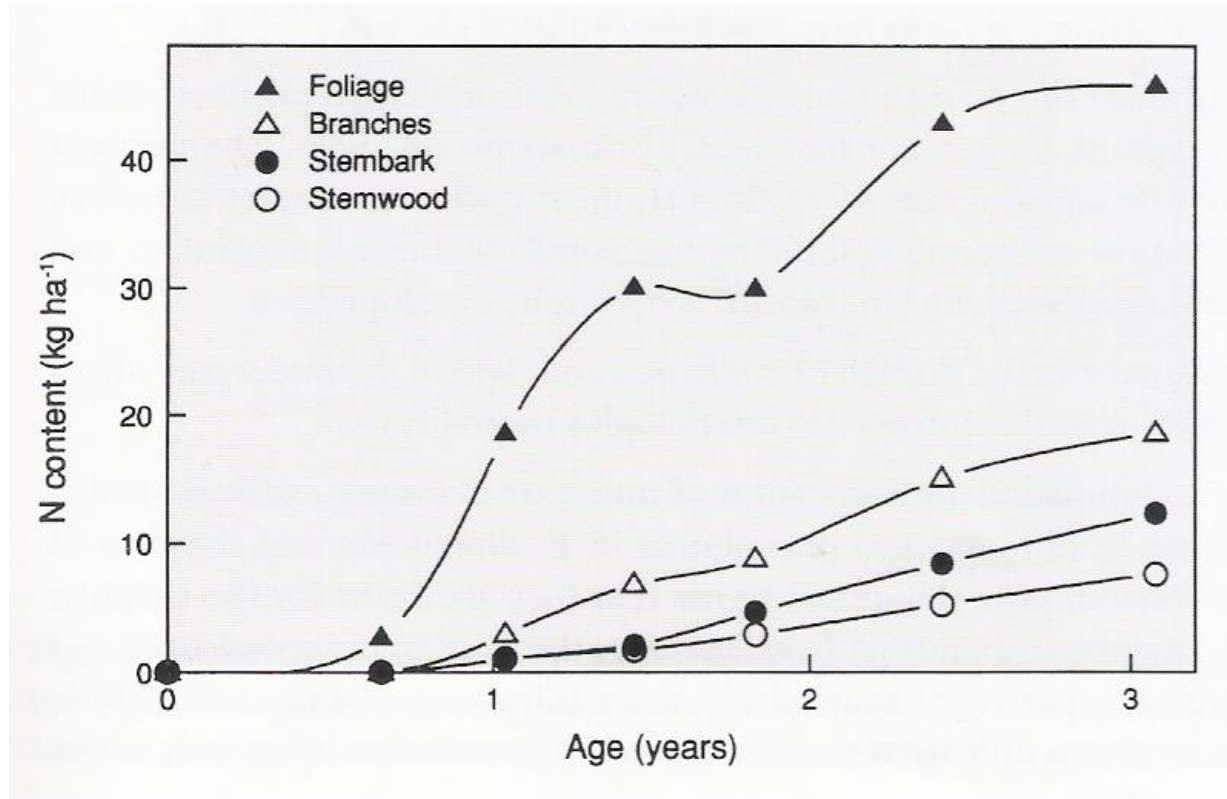
# RAÍZ INFECTADA COM FUNGOS MICORRÍZICOS ECTOTRÓFICOS



# SOLOS E NUTRIÇÃO MINERAL

- **Eucaliptos mostram baixo conteúdo de fósforo na vegetação acima do solo e geralmente possuem baixo teor de nitrogênio com relação às espécies do hemisfério norte. Proporcionalmente apresentam maior conteúdo de massa seca e nutrientes nas raízes quando se desenvolvem em áreas com déficit de nutrientes e água do que em áreas mais ricas e úmidas.**
- **A folhagem contém a maior proporção do nitrogênio e fósforo acima do solo nas árvores jovens. Ramos e galhos de plantas mais velhas contém a maioria dos nutrientes da árvore, sendo que parecem ser os drenos preferenciais dos nutrientes adicionais absorvidos quando se aumenta o suprimento do solo.**

# ABSORÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES



# FAIXAS ADEQUADAS E DEFICIENTES DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS

Elemento	Faixa adequada				Faixa deficiente		
	Malavolta et al. (1997) <sup>(1)</sup>	Dell et al. (1995) <sup>(2)</sup>	Gonçalves (1995) <sup>(3)</sup>	Silveira et al. (1998 e 1999) <sup>(2)</sup>	Malavolta (1987) <sup>(3)</sup>	Dell et al. (1995) <sup>(2)</sup>	Silveira et al. (1998 e 1999) <sup>(2)</sup>
<b>Macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>)</b>							
N	21-23	18-34	13,5-18	22-27	8-13	-	< 16
P	1,3-1,4	1,0-2,2	0,9-1,3	1,7-2,2	0,4-0,8	-	< 1,1
K	9-10	9-18	9-13	8,5-9,0	6-8	5 a 6	< 7,0
Ca	5-6	3-6	6-10	7,1-11	2-4	-	< 5,5
Mg	2,5-3	1,1-2,1	3,5-5	2,5-2,8	1,5-2,0	-	< 2,1
S	1,5-2,5	1,5-2,3	1,5-2	1,5-2,1	0,8-1,2	-	< 1,3
<b>Micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>)</b>							
B	25- 30	15-27	30-50	34-44	15-20	-	< 21
Cu	7-10	2-7,4	7-10	6-7	4-6	-	< 4
Fe	100- 140	63-128	150-200	65-125	75-100	-	-
Mn	300-400	193-547	400-600	200-840	< 100	-	-
Zn	12-17	17-42	35-50	15-20	20-30	-	< 7

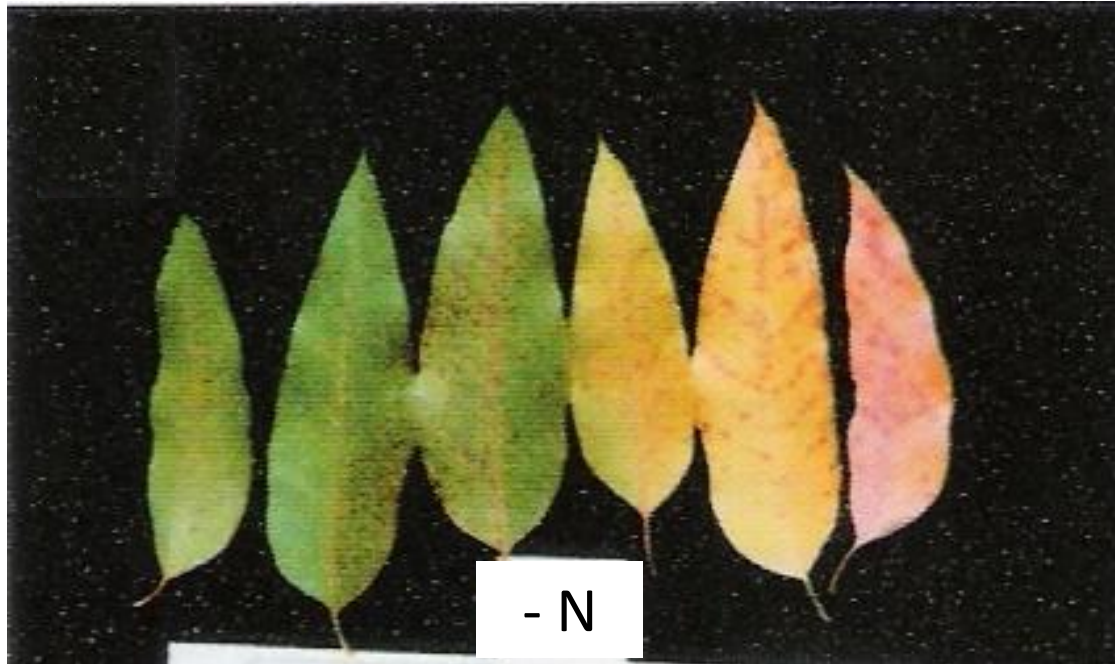
<sup>(1)</sup>Dados referentes a povoamentos de *Eucalyptus grandis* com alta produtividade de madeira;  
<sup>(2)</sup>Dados referentes a povoamentos de *Eucalyptus grandis*; e <sup>(3)</sup>Dados médios para espécies de *Eucalyptus* mais plantadas no Brasil.

# RELAÇÃO ENTRE O ESTADO NUTRICIONAL E A PRODUTIVIDADE DE *Eucalyptus*

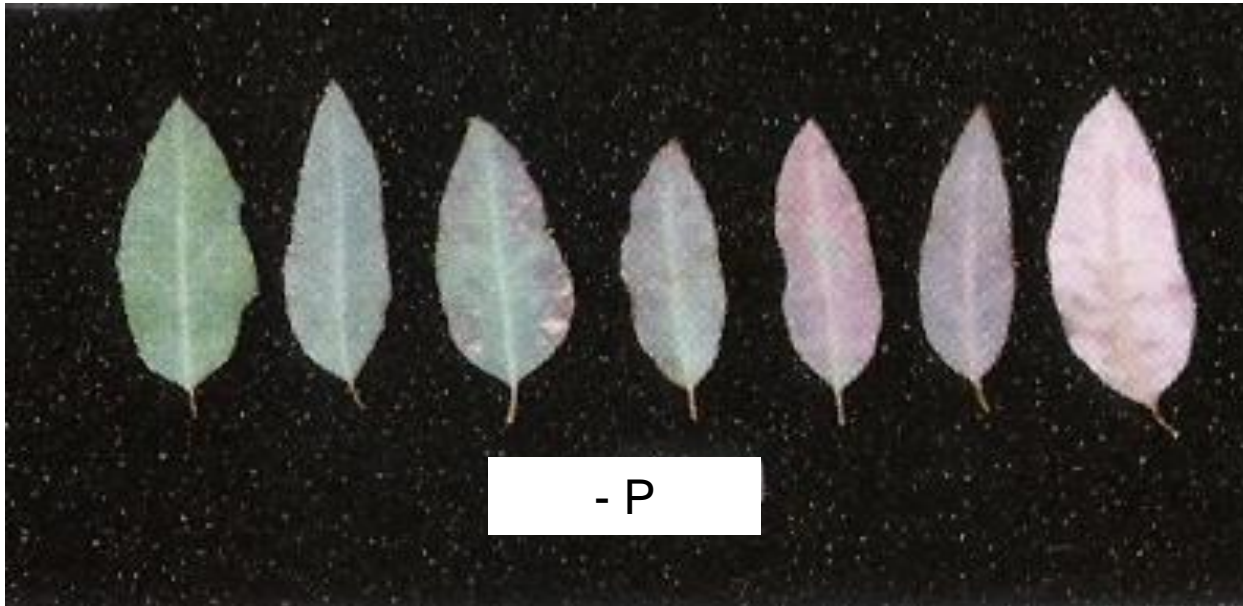
- O efeito da concentração foliar de N sobre o volume de *E. grandis*, aos 2 anos de idade, em sítios de alta produtividade localizados na região de Capão Bonito-SP. O nível crítico (90% da produção relativa) para o N nas folhas foi de aproximadamente 21 g kg<sup>-1</sup> de N. A máxima produtividade foi alcançada quando o *E. grandis* apresentava 24,8 g kg<sup>-1</sup> de N.
- Pesquisa realizada em Capão Bonito, mostrou que há uma relação linear entre a concentração foliar de K e a produtividade de *E. saligna*, com aproximadamente dois anos de idade. Onde verificou-se que altas produtividades (> 80 st ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) foram obtidas quando os valores de K nas folhas foram superiores a 6,4 g kg<sup>-1</sup>.



# SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL



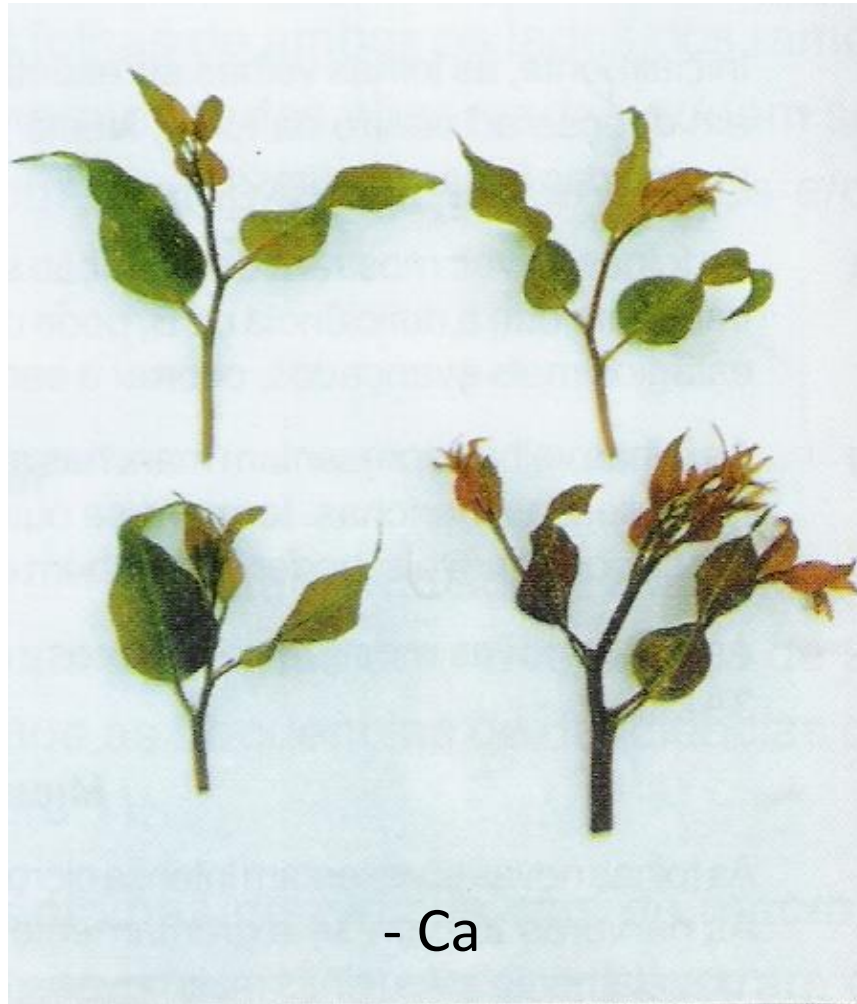
# SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL



# SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL



# SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL



- Ca

# SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL



Figura – Folhas normais comparadas com folhas deficientes em B de *E. globulus*.



# TOXICIDADE



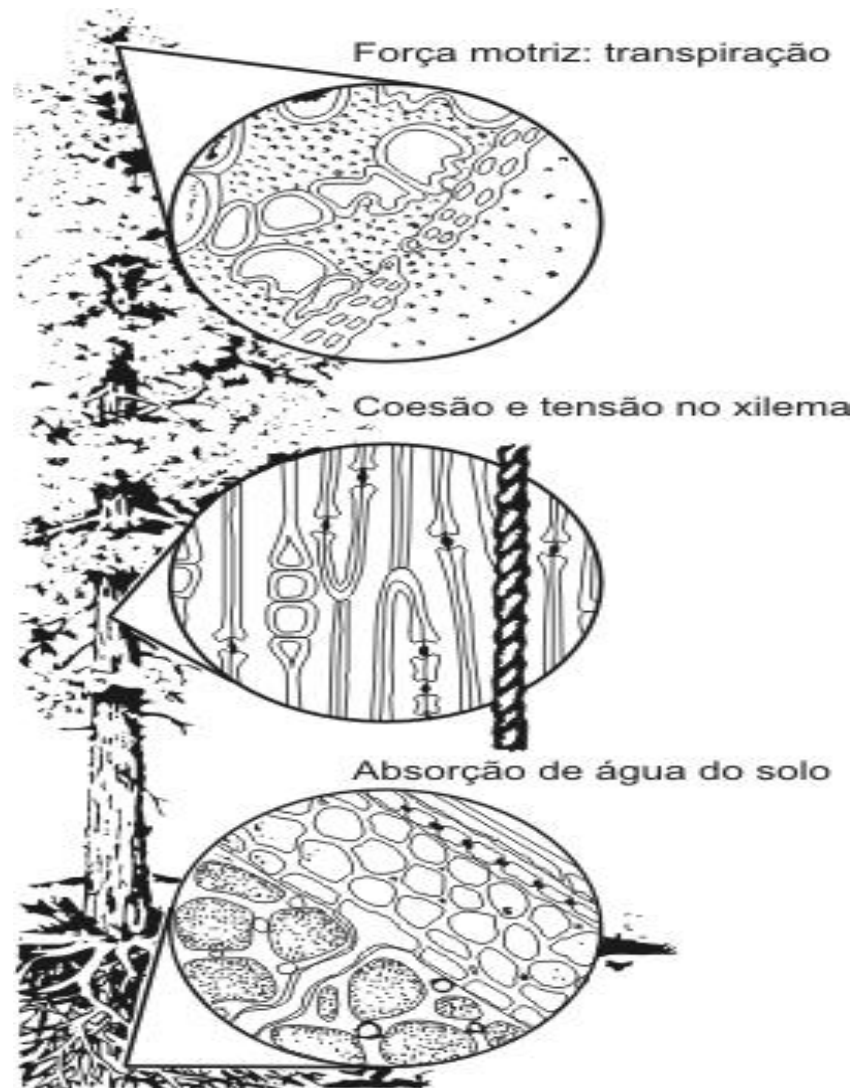
Figura – Toxicidade de Mn em mudas de *E. grandis*.



# **RELAÇÕES HÍDRICAS, FOTOSSÍNTESE, TRANSLOCAÇÃO E RESERVA , FOTOPERIODISMO**

- **As distintas espécies de eucalipto diferem no uso da água, características ecofisiológicas e de arquitetura variam de acordo com a disponibilidade de água, alterando de ambientes mesofíticos a xerofíticos.**
- **A disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas, por controlar a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a atividade fotossintética e a produção de biomassa. O decréscimo na quantidade de água no solo diminui o potencial hídrico na folha e a condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o influxo de CO<sub>2</sub> para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que implica em redução da produtividade.**

# ABSORÇÃO E PERDA DE ÁGUA



# FOTOSSÍNTESE

- Com base em medições da taxa fotossintética máxima, diferentes espécies de eucalipto apresentam relativamente alta capacidade fotossintética. Isto está associado com as taxas de carboxilação e transporte de elétrons, muitas vezes superiores a média relatada para espécies perenes (44 e 154  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente) sendo similares a plantas herbáceas anuais (75 e 154  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente).

**Tabela 2.** Valores de condutância estomática máxima ( $g_{s\text{max}}$ ) taxa fotossintética máxima ( $A_{\text{max}}$ ) taxa máxima de atividade carboxilativa ( $V_{\text{cmax}}$ ) e taxa de transporte de elétrons a irradiância máxima ( $J_{\text{max}}$ ) em algumas espécies de eucalipto.

Espécies	$g_{s\text{max}}$ ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$A_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$V_{\text{cmax}}$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$J_{\text{max}}$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
<i>E. globulus</i>	191-499	15,0-15,5		
<i>E. nitens</i>	387	19,8-20,6		
<i>E. pauciflora</i>			70-126	147-222
<i>E. camaldulensis</i>	278-725	25		
<i>E. grandis</i>	280-600	13,4-32,9	49-87	80-200
<i>E. tereticornis</i>	500-980			
<i>E. miniata</i>	880			
<i>E. tetrodonta</i>	440	15,9		

Fonte: adaptado de Whitehead & Beadle, 2004.

# FOTOSSÍNTESE, TRANSLOCAÇÃO E RESERVA

- **Extremos de temperatura apresentam efeito deletério na fotossíntese, sendo frequentemente associados com fotoinibição.**
- **As taxas fotossintéticas também são limitadas pelo estresse hídrico e nutricional.**
- **As reservas orgânicas presentes no sistema radicular são cruciais durante a quebra de dormência das gemas, e, posteriormente, para o crescimento inicial das brotações. Desta forma, deve-se procurar manejar o povoamento para se obter elevado vigor das cepas e, conseqüentemente, uma floresta produtiva.**

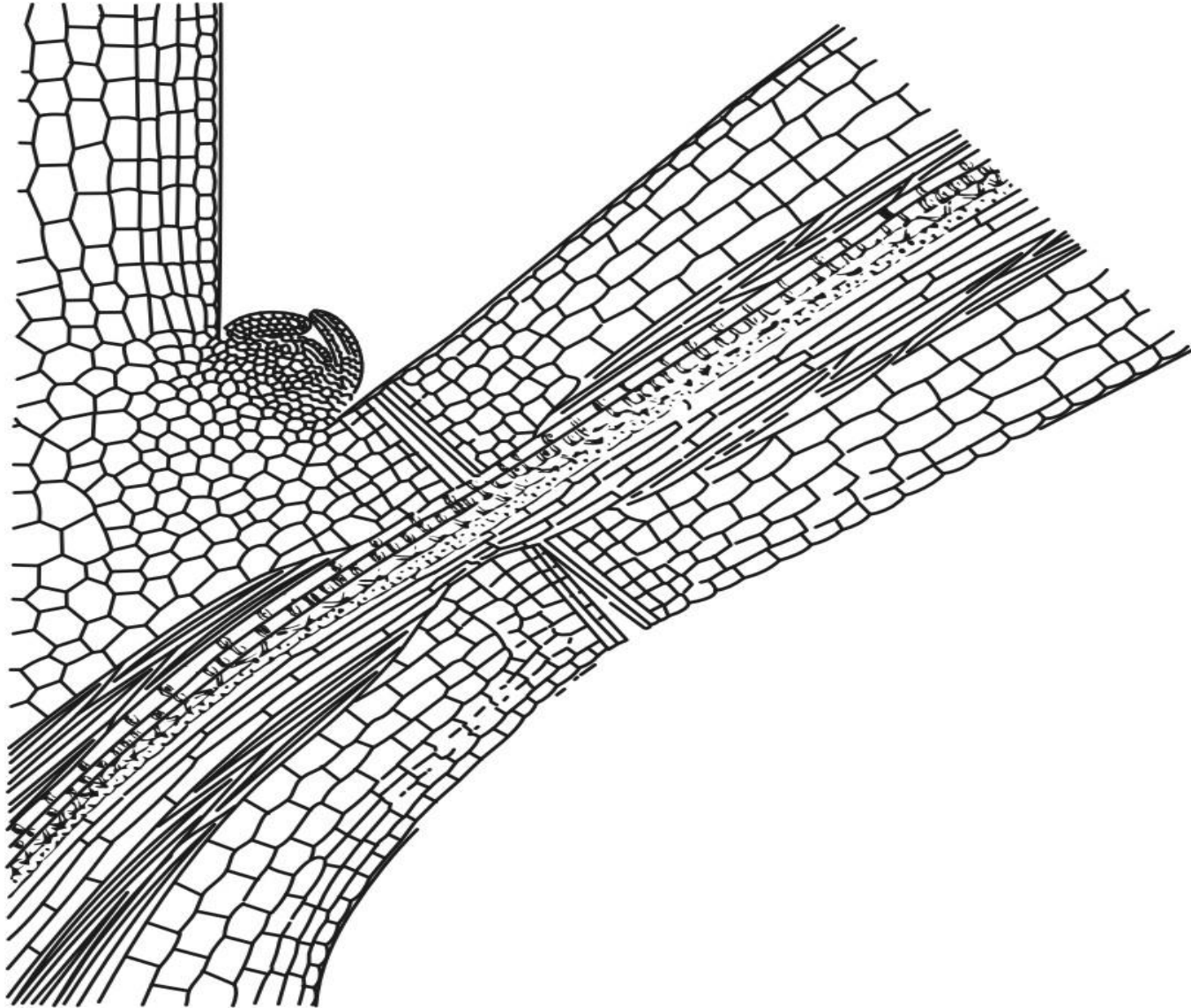
# FLORESCIMENTO

- **Existe uma grande variação na iniciação floral e no período de florescimento, fatores estes que influenciam na produção de sementes. O tempo entre a iniciação da gema floral e a maturação da semente varia entre clones, mas é em média de 18 meses. Muitos clones florescem em períodos distintos, não conseguindo se cruzar. Uma das consequências é que muitas das gemas florais não conseguem completar o ciclo reprodutivo.**





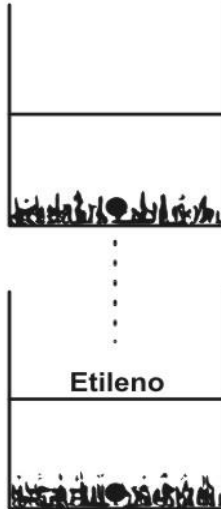
# REGIÃO DE ABSCISÃO



# PROCESSO DE ABSCISÃO

Fatores que aumentam o suprimento de etileno:

ABA  
Lesão  
Doença  
Senescência  
Escuro  
Seca  
Movimento de ACC  
Etileno



Fatores que influenciam o suprimento a partir do órgão distal

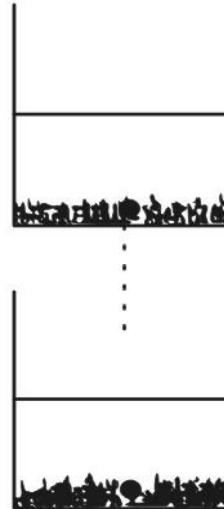
Concentração na zona de abscisão

Fatores que aumentam o suprimento de auxina:

Crescimento ativo  
Fecundação  
Crescimento da semente

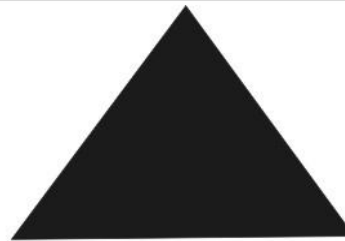
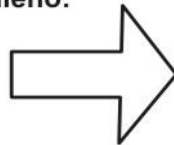
Fatores que diminuem o suprimento de auxina:

Etileno  
Baixa Luminosidade  
Lesão  
Senescência



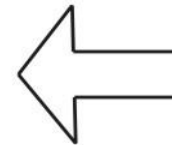
Fatores que aumentam a sensibilidade ao etileno:

Déficit de água  
ABA  
Etileno  
Idade  
Polinização  
Baixa luminosidade

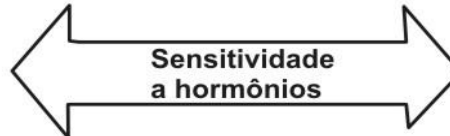


Fatores que aumentam a sensibilidade a auxina:

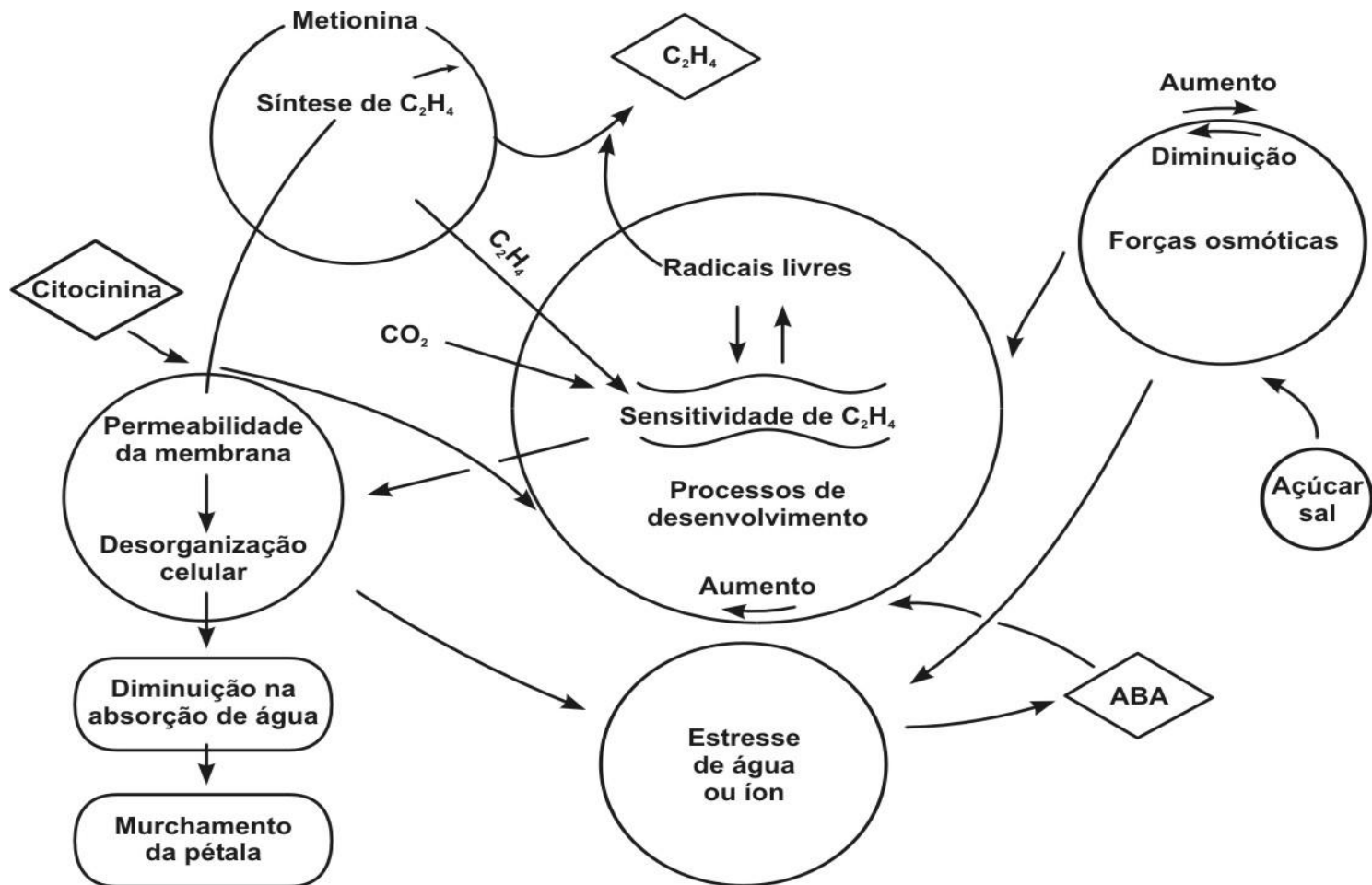
Citocinina  
Juvenildade  
Cálcio  
Fecundação  
Alta luminosidade  
Auxina



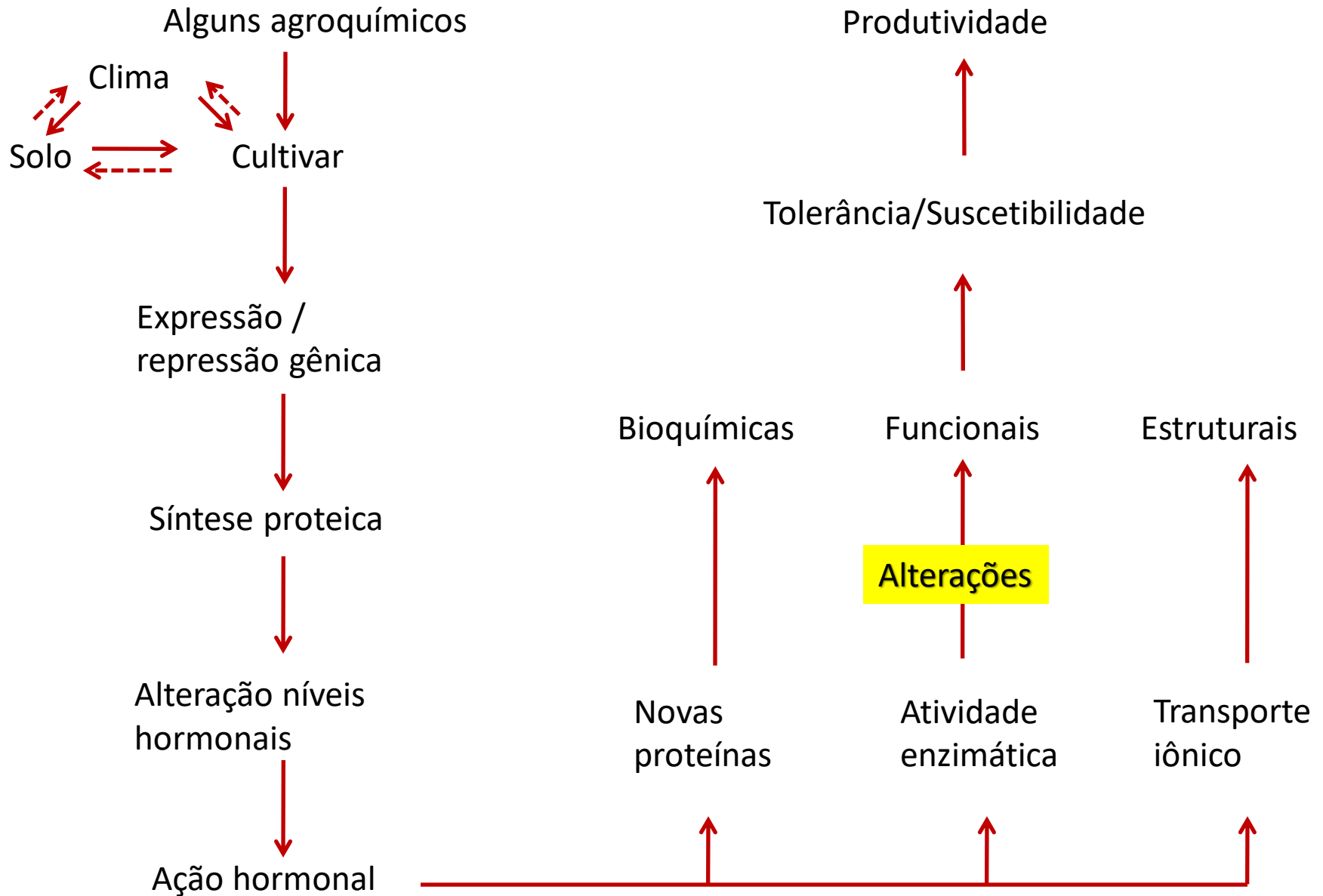
Sensitividade a hormônios



# PROCESSO DE SENESCÊNCIA



# AGROQUÍMICOS: ENVOLVIMENTO GÊNICO E FISIOLÓGICO



# EFEITOS DE REGULADORES VEGETAIS

- Estacas de *E. grandis* quando coletadas no inverno, e tratadas com IBA nas doses de 6000 e 8000 mg L<sup>-1</sup> apresentaram 64% de enraizamento, ao passo que estacas coletadas na primavera apresentaram 42% de enraizamento quando tratadas com a dose de 8000 mg L<sup>-1</sup> de IBA. Por outro lado, em *E. terenticornis* a dose de 8000 mg L<sup>-1</sup> de IBA, promoveu acréscimo de 37,5% no enraizamento de estacas.
- A aplicação de paclobutrazol, um inibidor da biossíntese de giberelinas, representa uma importante ferramenta na produção de sementes de eucalipto, pois é capaz de induzir florescimento precoce e abundante sem influenciar na qualidade das sementes.





***OBRIGADO***

***prcastro@usp.br***