

RELAÇÕES ÁGUA/SEMENTES

Julio Marcos Filho
Tecnologia de Sementes
Depto. Produção Vegetal
USP/ESALQ



Relações água / sementes reúnem, basicamente, atividades dirigidas à garantia da continuidade da espécie

- Período de formação e desenvolvimento
- Quiescência (latência)
- Germinação
- Deterioração
- Tolerância à dessecação

Consideram-se tanto os processos de síntese, de hidrólise, de liberação de energia (para a realização desses processos) e os que ocorrem em tecidos desidratados

IMPORTÂNCIA E FUNÇÕES DA ÁGUA

**PRESENTE EM TODOS OS PROCESSOS
DINÂMICOS DA CÉLULA VIVA**



CURIOSIDADE

Água no corpo humano:

Homem – 60%

Mulher – 55%

As mulheres têm menos água devido ao maior teor de gordura do seu corpo.



IMPORTÂNCIA E FUNÇÕES DA ÁGUA

- Representa 70% do protoplasma de células ativas
- Organização da estrutura celular e cadeia de processos bioquímicos anabólicos e catabólicos
- Difusão de solutos para regiões de maior atividade enzimática
- Organização e integridade das membranas; estrutura de macromoléculas
- Porcentagem, velocidade e uniformidade de germinação
- Velocidade e intensidade de deterioração
- Decisões sobre momento e procedimentos para colheita, secagem, processamento e armazenamento



IMPORTÂNCIA E FUNÇÕES DA ÁGUA

- Atividade de insetos



IMPORTÂNCIA E FUNÇÕES DA ÁGUA

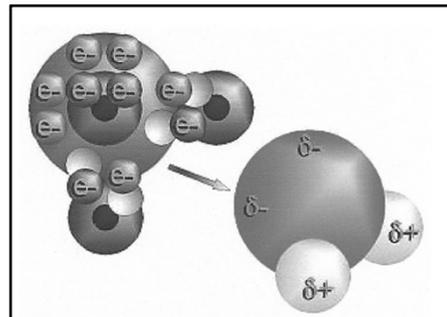
- Atividade de microrganismos

Condições que favorecem o desenvolvimento de fungos durante a armazenagem (MAPA / CASEMG).

Teor de água (%)	Desenvolvimento de fungos
< 13	Lento
13 – 16	Rápido
> 16	Explosivo



- Composição e Estrutura da Água

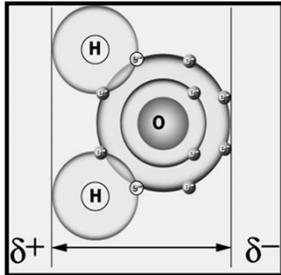


Molécula de água, mostrando dois elétrons na primeira camada e oito na externa. Note-se que cada hidrogênio compartilha seu elétron simples com o oxigênio, formando uma ligação covalente



PROPRIEDADES DA ÁGUA

- Composição e Estrutura da Água



Ligação covalente: ligação química caracterizada pelo compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre átomos, causando uma atração mútua que mantém unida a molécula resultante.



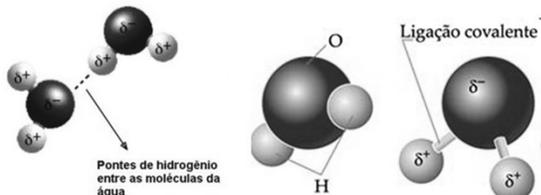
PROPRIEDADES DA ÁGUA

- As cargas positivas e negativas da molécula de água possibilitam atração eletrostática entre o terminal positivo de uma molécula com o negativo de outra, conhecida como ligação (ponte) de hidrogênio ("hydrogen bounding").



Água

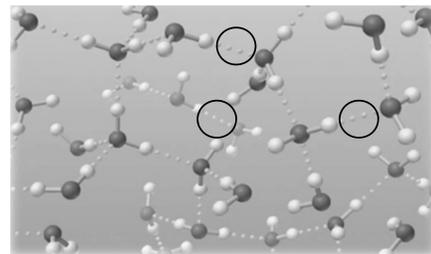
- Substância essencial para as reações químicas do organismo
- Molécula polar;
- Coesão – fenômeno formado pelas pontes de hidrogênio que unem as moléculas formando assim a tensão superficial.



fck



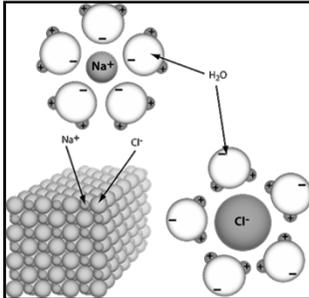
PROPRIEDADES DA ÁGUA



Exemplo ilustrativo da atração entre moléculas de água (COESÃO), via pontes de hidrogênio, representadas pelas linhas interrompidas; essas forças representam cerca de 1/10 da força gerada pela ligação covalente entre átomos de oxigênio e hidrogênio



PROPRIEDADES DA ÁGUA



Um exemplo da afinidade da água por um sal, como o cloreto de sódio.

Note-se que a carga negativa do oxigênio da água circunda o íon positivo sódio e os íons positivos hidrogênio se aproximam do íon cloro.

Diferenças no grau de afinidade da água com outras substâncias afetam a quantidade de água contida na semente

União entre moléculas de água → coesão

União entre moléculas de água e outra superfície → adesão



PROPRIEDADES DA ÁGUA

- Água “presa” (“ligada”) ou “livre”

O conceito de água presa ou água ligada se refere à atração de moléculas de água por diferentes superfícies, mediante interações eletrostáticas ou hidrofílicas

A água ligada também pode ser associada ao trabalho exigido para sua remoção da macromolécula. Suas propriedades termodinâmicas diferem das da água “livre”



PROPRIEDADES DA ÁGUA

Sementes: ampla variação na estrutura morfológica, anatômica e química → variação do grau de afinidade à água (proteínas ≠ carboidratos ≠ lipídios)

Afinidade pode ser expressa mediante o conhecimento do potencial hídrico



PROPRIEDADES DA ÁGUA

Proteínas: compostas por sequências de aminoácidos com múltiplos sítios de sorção

Carga positiva no terminal “amino” e negativa no terminal carboxílico

Carga negativa: ligação com a água através de pontes de hidrogênio



PROPRIEDADES DA ÁGUA

Amido: ligações com o Hidrogênio podem ocorrer nos grupos hidroxílicos da molécula de amido, mas a afinidade à água é menor que a das proteínas

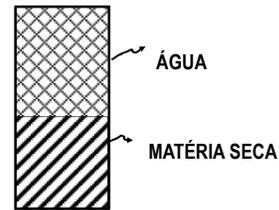
Lipídios: glicerol + ácidos graxos não têm grupos polares, de modo que não há ligações H, não havendo atração pela água; são hidrófobos.



ÁGUA NAS SEMENTES

Numa estrutura qualquer:

massa de matéria úmida = massa de água + massa de matéria seca



- TEOR: proporção de determinada substância em um todo

TEOR DE ÁGUA DAS SEMENTES

Dimensão do teor de água pode ser expressa pelo grau de umidade, com base na massa de matéria seca ou de matéria úmida

$$GU_{bu} = \frac{Mu - Ms}{Mu}$$

Matéria úmida → (%)

$$GU_{bs} = \frac{Mu - Ms}{Ms}$$

Matéria seca → g/g ou g/kg

GRAU: cada um dos pontos sucessivos ou estágios de uma progressão



TEOR DE ÁGUA DAS SEMENTES

Transformação de dados do teor de água com base na matéria seca para matéria úmida e vice-versa

$$GU_{bu} = \frac{GU_{bs}}{100 + GU_{bs}}$$

$$GU_{bs} = \frac{GU_{bu}}{100 - GU_{bu}}$$



PERDA DE PESO COM A SECAGEM

- Situação inicial:

100,0 kg de sementes com teor de água de 35% (base úmida)

65,0 kg de matéria seca + 35,0 kg de água

- Secagem até atingir 13% de água

- Qual é o peso final da amostra ? **78,0 kg ?**

65,0 kg de matéria seca + ?? kg de água

65,0 kg m.s. → 87,0 %

X kg água → 13,0 %

X = 9,7 kg

- Peso final da amostra = 65,0 kg m.s. + 9,7 kg água = **74,7 kg**

PERDA DE PESO COM A SECAGEM

$$\% \text{ Perda de Peso (PP)} = \frac{100 (\text{Gu inicial} - \text{Gu final})}{100 - \text{Gu final}}$$

$$\% \text{ Perda de Peso (PP)} = \frac{100 (35,0 - 13,0)}{100 - 13,0} = 25,3 \%$$

$$100 \times 0,253 = 25,3 \text{ kg}$$

$$\text{Peso final} = 100 - 25,3 = 74,7$$

EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

HIGROSCOPICIDADE: capacidade de retenção de água, característica de cada substância

Variável com a composição química

AR ATMOSFÉRICO: gases + vapor d'água

Quantidade de água contida no ar X temperatura

Umidade de saturação → quantidade máxima aumenta com a elevação da temperatura

EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

Temperatura (°C)	Umidade de Saturação (g de vapor d'água / kg de ar seco)
0	3,8
10	7,6
20	14,8
30	26,4

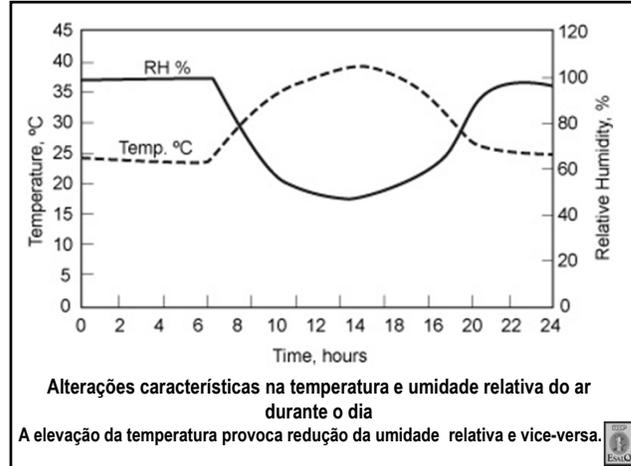
Variação da umidade de saturação em função da temperatura do ar (Harrington, 1972).

EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

Umidade relativa: quantidade existente / máxima

$$U. R. (\%) = \frac{U. Atual}{U. Saturação} \times 100$$

- Aquecimento ou resfriamento do ar



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

PRESSÃO ATMOSFÉRICA: gases + vapor d'água

SEMENTE: água no estado de vapor exerce pressão

P. Vapor semente > P. vapor atmosférico → SECAGEM

P. Vapor atm > P. vapor semente → UMEDECIMENTO

PRESSÕES SE IGUALAM → EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

Espécie	Temper. (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)					
		30	40	50	60	70	80
Feijão	20	8,5	9,9	11,3	12,8	14,5	16,6
	28	8,3	9,7	11,1	12,6	14,3	16,4
	36	8,2	9,6	11,0	11,5	14,2	16,3
Soja	20	7,2	8,0	9,1	10,7	13,1	15,4
	28	5,7	6,5	7,6	9,2	11,6	13,9
	36	4,2	5,0	6,1	7,7	10,1	12,4
Sorgo	20	9,6	10,8	12,0	13,0	14,1	17,4
	28	9,1	9,3	10,5	11,5	13,6	15,9
	36	6,6	7,8	9,0	10,0	12,1	14,4

Teor de água no ponto de equilíbrio diminui com a elevação da temperatura; sob a mesma temperatura, aumenta com a elevação da umidade relativa



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

Para cada acréscimo de 1°C na temperatura do ar, queda aproximada de 4,5% na U.R. (quando U.R. \geq 80%)



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

FATORES QUE AFETAM

Composição química

Umidade relativa e Temperatura do ar

Permeabilidade da “cobertura”

Integridade das sementes



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

ÁGUA NA SEMENTE:

Ligada a substâncias componentes (“presa”) ou “livre”

Sorção: fenômeno decorrente da interação de forças no interior de substâncias ou na superfície de outras



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

ISOTERMA DE SORÇÃO: Curva sigmóide

Descreve a quantidade de água sorvida por uma substância sob influência da umidade relativa do ar, em determinada temperatura.

Adsorção: adesão física de ions e moléculas à superfície

Dessorção: separação física de ions e moléculas da superfície



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

ÁGUA NA SEMENTE:

Ligada a substâncias componentes (“presa”) ou “livre”

ISOTERMA DE SORÇÃO: Curva sigmóide

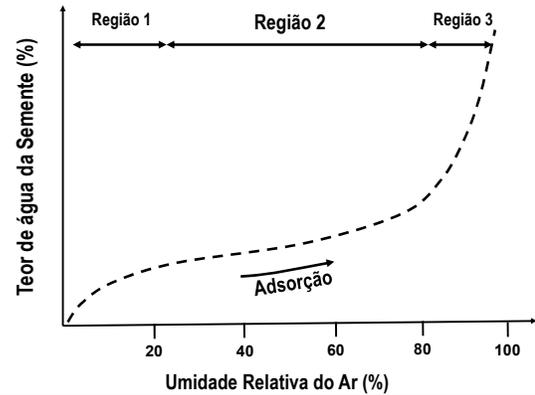
Descreve a quantidade de água sorvida por uma substância sob influência da umidade relativa do ar, em determinada temperatura.

Adsorção: adesão física de ions e moléculas à superfície

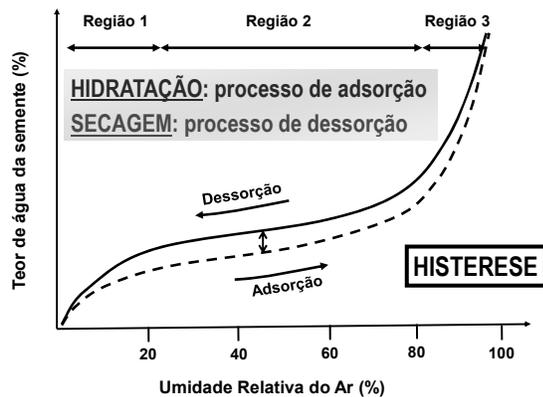
Dessorção: separação física de ions e moléculas da superfície



ISOTERMA



ISOTERMAS



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

HISTERESE: diferenças entre pontos de equilíbrio higroscópico durante os processos de adsorção e dessorção, para uma mesma umidade relativa do ar ou potencial hídrico



EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

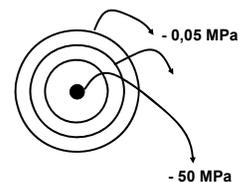
Umidade relativa do ar (%)	Teor de água da semente (%)	
	Adsorção	Dessorção
10	3,9	4,6
20	5,3	6,5
30	6,8	7,9
40	7,9	9,4
50	9,2	10,8
60	10,4	12,2
70	11,8	13,4
80	13,3	14,8
90	16,6	16,7

Teores de água de equilíbrio de sementes de arroz com diferentes umidades relativas do ar, durante a adsorção e a dessorção, a 25°C. (Puzzi, 1986).



POTENCIAL DE ÁGUA

Tenacidade da retenção de água depende da natureza da matriz (solo, corpos proteicos, paredes celulares), do potencial de água e superfície matricial



POTENCIAL DE ÁGUA

ÁGUA NA SEMENTE: caracterizada por estado de energia identificado pelo potencial de energia por unidade de volume → potencial de água ou potencial hídrico, expresso em unidades de medida de pressão (MPa)



POTENCIAL DE ÁGUA

Potencial hídrico depende do estado da água (condição energética) e da posição da água em relação às macromoléculas. Ambas interagem para caracterizar o estado energético conhecido por potencial de água ou potencial hídrico,

POTENCIAL DE ÁGUA

$$\Psi_a = \Psi_m + \Psi_\pi + \Psi_p$$

Ψ_a = potencial de água;

Ψ_m = potencial mátrico (atração por superfícies)

Ψ_π = potencial osmótico (atração por compostos com "carga")

Ψ_p = pressão de turgescência (exercida contra as paredes)

Potencial de água ou hídrico: expressão do estado de energia da água.

Potencial hídrico da água pura = zero



POTENCIAL DE ÁGUA

Potencial mátrico e potencial osmótico → negativos
Pressão de turgescência → positiva

Difusão da água: gradiente de energia, do maior potencial (menos negativo) para o menor potencial (mais negativo)

À medida que as sementes são umedecidas seu potencial de água se eleva e o do substrato diminui, até que seja alcançado o equilíbrio.

Neste ponto → quantidades se estabilizam



POTENCIAL DE ÁGUA

O conhecimento do potencial de água permite verificar até que ponto um sistema está ou não em equilíbrio e estabelecer uma estimativa da possibilidade de movimentação da água entre dois sistemas.

Teor de água: quantidade de água presente na amostra

Potencial hídrico: informa atuação e disponibilidade



POTENCIAL DE ÁGUA

Semente seca → - 100 a - 400 MPa

Durante a embriogênese → -0,9 MPa (di); -1,2 (mono)

Maturidade → -2,0 MPa

Teor de água → variável durante o desenvolvimento

Germinação → teores de água de 35% a 50%
potencial de água: -2,0 MPa



FORMAS DE ÁGUA NAS SEMENTES

Estudos iniciais:

água “livre” (espaços intercelulares), água adsorvida (presa, retida por adesão), água de composição

Evolução: *Bound water*

água “presa”, água ligada ou água “retida”

Associada à superfície de macromoléculas (proteínas, polissacarídeos, ácidos nucleicos) e estruturada; suas propriedades termodinâmicas são diferentes das da água “livre”; não é congelável

Trata-se da água predominante durante o manejo entre colheita e semeadura



FORMAS DE ÁGUA NAS SEMENTES

Tipos de Água

Identificados com base no potencial hídrico e modo de ligação com a superfície das macromoléculas



FORMAS DE ÁGUA NAS SEMENTES

Propriedades da superfície das macromoléculas, especialmente as proteínas, são modificadas pela quantidade de água associada.

As proteínas de estrutura terciária têm múltiplos sítios de sorção, com diferentes afinidades à água.

Assim, o modelo de proteínas globulares (estrutura terciária) é utilizado para caracterizar e identificar o estado energético da água.

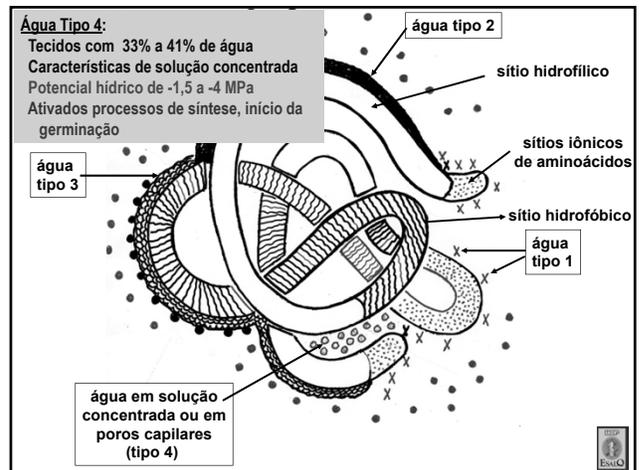
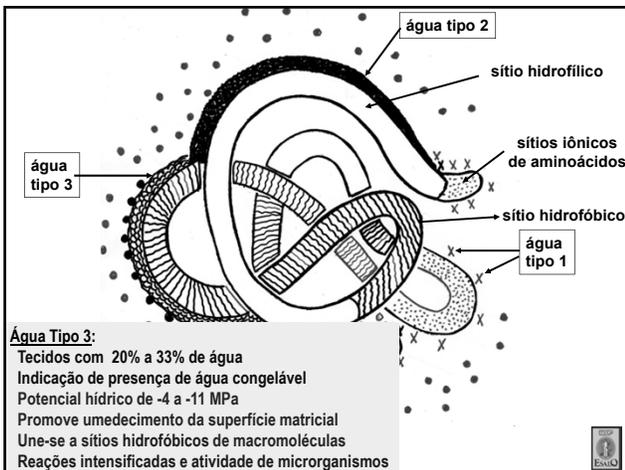
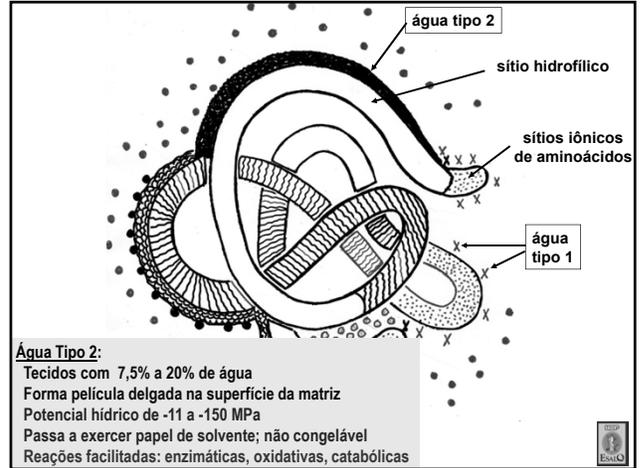
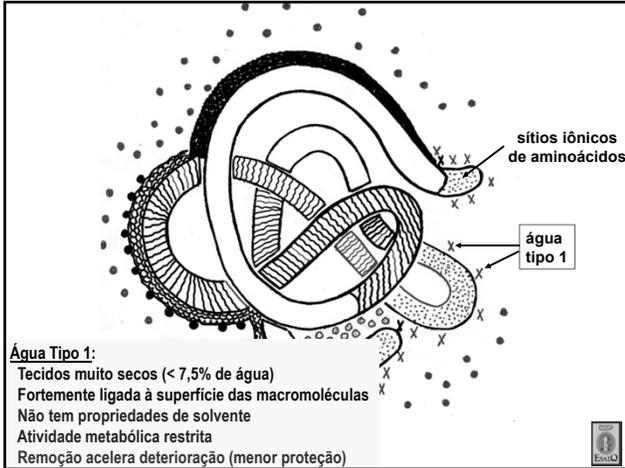


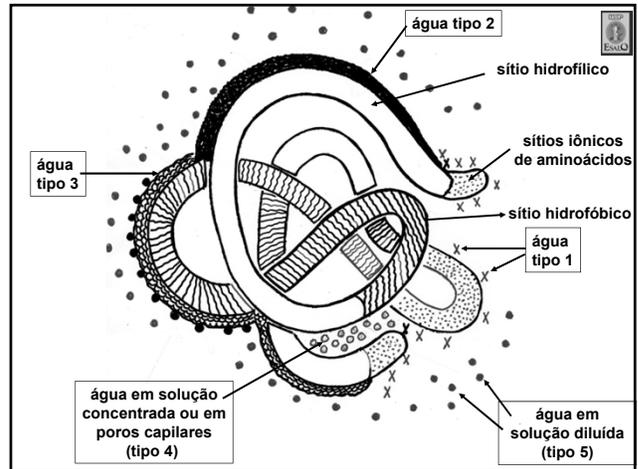
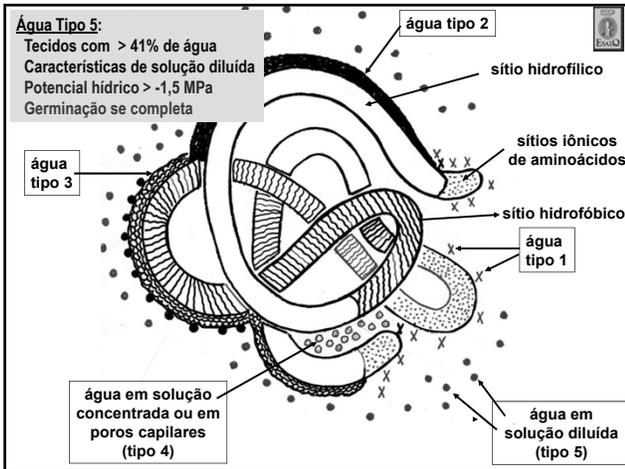
FORMAS DE ÁGUA NA SEMENTE

- Há cinco tipos de água na semente, definidos pela localização e associação com as substâncias que compõem a semente
- Tipos 1, 2 e 3 : água “presa” → teor de água até 33%
- Tipos 4 e 5: sementes com teor de água $\geq 33\%$ (bu) São correspondentes à solução concentrada e à solução diluída → “água livre”

Dependendo do tipo de água, maior ou menor atividade metabólica







FORMAS DE ÁGUA NAS SEMENTES

Água Tipo 4 e Tipo 5:

Não interagem com a superfície da proteína

Têm propriedades muito semelhantes ao de uma solução
 Correspondentes à água “absorvida” → água “livre”

Umidades relativas (independentes da espécie e tipo de tecido):

Água Tipo 1: equilíbrio com < 30% U.R.

Água Tipo 2: equilíbrio com 30 a 85% U.R.

Água Tipo 3: equilíbrio com 85 a 92% U.R.

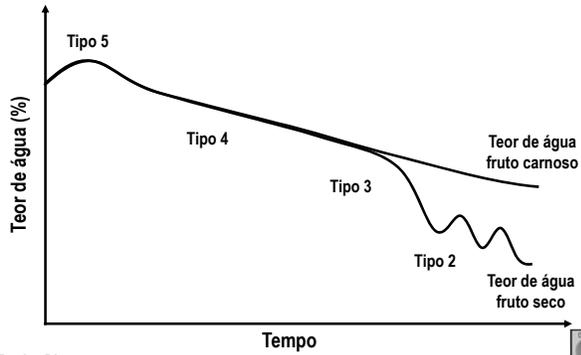
FORMAS DE ÁGUA NAS SEMENTES

Tipos de Água:

Identificados com base no potencial hídrico e modo de ligação com a superfície das macromoléculas

TIPOS	Potencial Hídrico (MPa)	Teor de água	
		B _s	B _u
1	< -150	< 8,0	< 7,5
2	-150 a -11	8 a 25	7,5 a 20
3	-11 a -4	25 a 45	20 a 33
4	-4 a -1,5	45 a 70	33 a 41
5	> -1,5	> 70	> 41

Alterações no teor e dos tipos de água das sementes durante a maturação

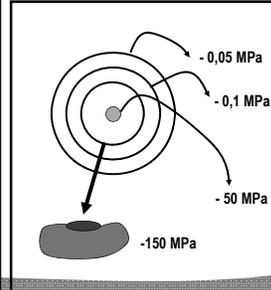


O PROCESSO DE EMBEBIÇÃO

Potencial de Água: $\psi_m + \psi_\pi + \psi_p$

À medida que o material se hidrata, as moléculas de água passam a ocupar posições mais distantes da matriz

(força de retenção diminui: maior potencial)



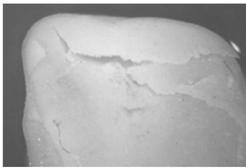
Transferência de água ocorre através de gradiente de energia, com movimentação da região de maior para a de menor potencial, até que seja alcançado o equilíbrio.

A partir daí, entra em ação a condutividade hidráulica

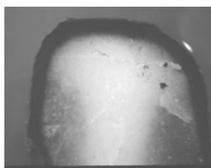
EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO

Conhecimento do ponto de equilíbrio higroscópico: bases para a secagem artificial, embalagem e armazenamento

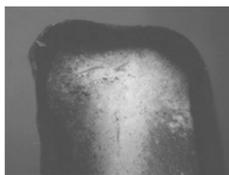
SECAGEM: "RUPTURA" DO EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO



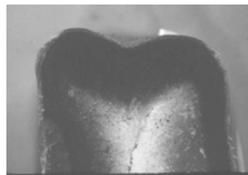
0 h



6 h



24 h



48 h

McDonald, et al.

O PROCESSO DE SECAGEM

a) Transferência da água da superfície da semente para a atmosfera

P. Vapor semente > P. vapor atmosférico → SECAGEM

P. V. atm. > P. vapor semente → UMEDECIMENTO

PRESSÕES SE IGUALAM → EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO



a) Transferência da superfície para a atmosfera



T.A. inicial

PERDA DE ÁGUA PELA SEMENTE DURANTE A SECAGEM



O PROCESSO DE SECAGEM

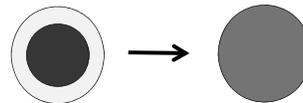
Se o ar não está em movimento, gradiente cada vez menor e tendência ao equilíbrio

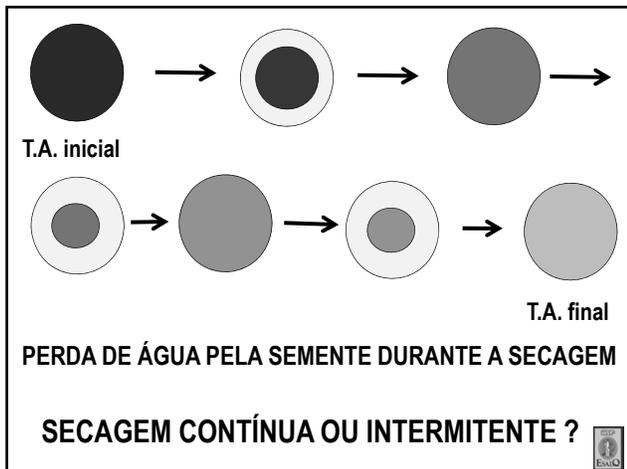
Continuidade da secagem → movimentação do ar e entrada de outro “mais seco” ou que consiga “retirar água” da semente



O PROCESSO DE SECAGEM

b) Movimentação da água do interior para a superfície da semente





EVENTOS FISIOLÓGICOS E ASPECTOS TECNOLÓGICOS IMPORTANTES ASSOCIADOS AO ESTADO DA ÁGUA E TEOR DE ÁGUA DE SEMENTES

Teor de Água (%)	Tipo de Água	Eventos Destacáveis
> 41	5	Maturidade fisiológica de dicotiledôneas Início do metabolismo para a germinação de dicotiledôneas Complementação da germinação
30 – 40	4	Síntese de proteínas e de ácidos nucléicos durante a maturação e a germinação Atividade de mecanismos de reparo de membranas e DNA Armazenamento de sementes recalcitrantes Alta sensibilidade a injúrias por congelamento
18/20 a 30	3	Respiração intensa e aquecimento da massa de sementes armazenadas Deterioração acelerada Atividade intensa de microrganismos Níveis mínimos para a atividade de enzimas que atuam em reações anabólicas Estruturação do sistema de membranas celulares Níveis de água necessários para a síntese de ATP Armazenamento de sementes recalcitrantes Recalcitrantes não sobrevivem com a remoção dessa água

Teor de Água (%)	Tipo de Água	Eventos Destacáveis
12/14 a 18/20	2	Diminui a atividade respiratória, mas permanece o risco de aquecimento Níveis mínimos para as reações de síntese catalisadas por enzimas Deterioração durante o armazenamento Atividade de fungos e insetos de armazenamento Níveis adequados para a colheita mecanizada Menor sensibilidade da semente a injúrias mecânicas (grau de umidade de 13% a 16%)
10 a 13	2	Não se verificam reações de síntese Redução da velocidade de deterioração Aceitável para o armazenamento em embalagens porosas ou resistentes a trocas de vapor d' água com a atmosfera Ocorrência de insetos
< 10	2	Redução drástica ou paralisação da atividade de insetos Favorável ao armazenamento em embalagens herméticas
4 a 8	1	Favorável ao armazenamento em embalagens herméticas Possibilidade de dormência e de autooxidação de lipídios Remoção de água pode acelerar a deterioração Proteção contra efeitos tóxicos de radicais livres