



**CONDICIONAMENTO OSMÓTICO DE
SEMENTES DE PIMENTÃO: EFEITO NA
GERMINAÇÃO, VIGOR E ATIVIDADE
ENZIMÁTICA**

SOLANGE CARVALHO BARRIOS ROVERI JOSÉ

1999

11

REVISION 1087

MINISTRY OF DEFENSE
GENERAL STAFF
OFFICE

1. The purpose of this document is to provide information regarding the current status of the defense forces and the progress of the military operations. The information is classified as "Secret" and is intended for the use of the General Staff and the Ministry of Defense.

SECRET

2. The information is classified as "Secret" and is intended for the use of the General Staff and the Ministry of Defense.

SECRET
GENERAL STAFF
OFFICE

SOLANGE CARVALHO BARRIOS ROVERI JOSÉ

**CONDICIONAMENTO OSMÓTICO DE SEMENTES DE
PIMENTÃO: EFEITO NA GERMINAÇÃO, VIGOR E
ATIVIDADE ENZIMÁTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Maria das Graças G. C. Vieira

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
1999

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Roveri José, Solange Carvalho Barrios

Condicionamento osmótico de sementes de pimentão: efeito na germinação, vigor e atividade enzimática / Solange Carvalho Barrios Roveri José. -- Lavras : UFLA, 1999.

107 p. : il.

Orientador: Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira..

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Pimentão. 2. Condicionamento osmótico. 3. Semente. 4. Germinação. 5. Vigor. 6. Isoenzima. 1. Universidade Federal de Lavras. II. Título

CDD-635.64321

SOLANGE CARVALHO BARRIOS ROVERI JOSÉ

**CONDICIONAMENTO OSMÓTICO DE SEMENTES DE
PIMENTÃO: EFEITO NA GERMINAÇÃO, VIGOR E
ATIVIDADE ENZIMÁTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção do título de "Mestre".

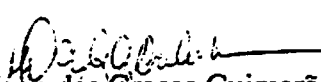
APROVADA em 14 de setembro de 1999.

Prof. Renato Mendes Guimarães

UFLA

Prof.^a Dr.^a Édila Vilela de Resende Von Pinho

UFLA


Prof.^a Dr.^a Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira

UFLA

(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A DEUS, por tudo.

**Aos meus queridos pais, Maria Helena e Daniel Barrios,
por tanta dedicação e pela constante presença.**

**Aos meus irmãos Soraya, Sanzio, e cunhado, pelo
apoio e amizade.**

OFEREÇO.

**A meu marido Marcos
e filha Lara, pelo amor
e estímulo.**

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e seu Departamento de Agricultura pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À coordenadoria de Pós-Graduação do Departamento de Agricultura, na pessoa do Professor Rovilson José de Souza, pelo apoio e colaboração sempre manifestados.

À Empresa de Sementes Horticeres (Igarapé-MG), especialmente aos Srs José Viggiano e Rui Medina, pelo fornecimento das sementes e atenção sempre concedida.

À Professora Maria das Graças G. Carvalho Vieira pela orientação, profissionalismo e amizade sempre dedicados.

Ao professor e co-orientador Renato Mendes Guimarães pelos valiosos ensinamentos transmitidos e sugestões.

Às professoras Maria Laene Moreira de Carvalho e Édila Vilela de Resende Von Pinho, e ao pesquisador João Almir, pelos esclarecimentos e auxílio na execução deste trabalho.

Ao professor Augusto Ramalho de Moraes e Telde Natel Custódio pela orientação estatística.

Aos funcionários do Setor de Sementes, Andréia, Maria de Lourdes, Dinara, Elza e a estudante de agronomia Regiane, pelo auxílio na condução do experimento e amizade.

Aos funcionários do laboratório de Cultura de Tecidos, Evaldo e Vantuil, pelo carinho e colaboração.

Aos colegas de pós-graduação pelo apoio e convivência amiga.
A todos enfim,

Agradeço.

⋮

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Relações hídricas e fases da embebição.....	3
2.2. Condicionamento osmótico de sementes.....	6
2.2.1. Benefícios da técnica.....	9
2.2.2. Fatores que afetam o condicionamento osmótico.....	12
2.2.3. Efeitos na embebição.....	18
2.2.4. Efeitos no vigor e na viabilidade.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1. Experimento 1: Temperatura e período de condicionamento osmótico sobre a germinação e vigor de sementes de pimentão.....	34
3.1.1. Condicionamento osmótico em diferentes temperaturas e períodos.....	34
3.1.2. Determinação do grau de umidade.....	36
3.1.3. Teste de germinação.....	36
3.1.4. Porcentagem, índice de velocidade e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular.....	36
3.1.5. Teste de germinação sob estresse térmico.....	37
3.1.6. Porcentagem, índice de velocidade e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico.....	38
3.1.7. Condutividade elétrica.....	38
3.1.8. Análise estatística.....	38
3.2. Experimento 2: Influência de métodos de condicionamento osmótico, utilizando KNO ₃ e PEG 6000, sobre a qualidade	

fisiológica e bioquímica de sementes de pimentão.....	39
3.2.1. Tratamentos utilizados.....	39
3.2.2. Determinação do grau de umidade.....	41
3.2.3. Teste de germinação; porcentagem, índice de velocidade e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular.....	41
3.2.4. Primeira contagem do teste de germinação.....	41
3.2.5. Comprimento de plântula.....	41
3.2.6. Emergência e índice de velocidade de emergência de plântula.....	42
3.2.7. Condutividade elétrica.....	43
3.2.8. Análise enzimática.....	43
3.2.9. Análise estatística.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1. Experimento 1: Temperatura e período de condicionamento osmótico sobre a germinação e vigor de sementes de pimentão.....	45
4.1.1. Determinação do grau de umidade.....	45
4.1.2. Teste de germinação sob condição ideal de temperatura e estresse térmico.....	47
4.1.3. Porcentagem de protusão radicular sob condição ideal de temperatura e estresse térmico.....	53
4.1.4. Índice de velocidade de protusão radicular sob condição ideal de temperatura e estresse térmico.....	56
4.1.5. Tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob condição ideal de temperatura e estresse térmico.....	61
4.1.6. Condutividade elétrica.....	66
4.2. Experimento 2: Influência de métodos de condicionamento osmóticos, utilizando KNO ₃ e PEG 6000, sobre a qualidade fisiológica e bioquímica de sementes de pimentão.....	70

4.2.1. Determinação do grau de umidade.....	70
4.2.2. Teste de germinação.....	71
4.2.3. Porcentagem de protusão radicular.....	72
4.2.4. Índice de velocidade de protusão radicular.....	73
4.2.5. Tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular..	74
4.2.6. Primeira contagem do teste de germinação.....	75
4.2.7. Comprimento de plântula.....	76
4.2.8. Emergência de plântula.....	77
4.2.9. Índice de velocidade de emergência.....	78
4.2.10. Condutividade elétrica.....	79
4.2.11. Análise enzimática.....	81
4.3. Considerações finais.....	83
5. CONCLUSÕES.....	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
ANEXOS.....	99

RESUMO

ROVERI JOSÉ, Solange Carvalho Barrios. **Condicionamento osmótico de sementes de pimentão: efeito na germinação, vigor e atividade enzimática.** Lavras-MG, UFLA, 1999. 107 p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).*

Com o intuito de estudar o efeito do condicionamento osmótico em sementes de pimentão da cultivar Yolo Wonder tratadas com Captan e que apresentavam uma germinação de 69%, dois experimentos foram conduzidos. No primeiro foi estudada a influência do período e da temperatura de condicionamento sobre a germinação e o vigor das sementes. As sementes foram previamente lavadas ou não em água corrente e condicionadas sobre papel umedecido com solução osmótica de polietileno glicol (PEG 6000) a $-1,1$ MPa, por períodos de 4, 8, 12 e 16 dias, nas temperaturas de 5, 15, 20 e 25°C . Após completar cada período, as sementes foram lavadas e secas sob condições ambiente até atingir seu peso original. A qualidade fisiológica foi avaliada pelo teste de germinação (sob condição ideal de temperatura e estresse térmico); teste de condutividade elétrica; avaliação da protusão radicular sob condição ideal de temperatura e estresse térmico, obtendo a porcentagem de protusão radicular, o índice de velocidade e o T_{50} . Para comparação das sementes osmocondicionadas, foi utilizada uma testemunha (semente seca, sem tratamento de embebição). Os tratamentos de condicionamento reduziram a absorção de água pelas sementes, porém a 25°C e por períodos mais prolongados, o conteúdo de água atingido foi suficiente para a ocorrência da protusão radicular, e não foram, portanto, avaliados quanto à qualidade fisiológica. O osmocondicionamento foi influenciado tanto pelo período quanto pela temperatura e quando realizado em temperaturas mais elevadas, o desempenho das sementes foi favorecido, melhorando sua qualidade fisiológica. O período requerido para a obtenção de maiores benefícios da técnica foi dependente da temperatura utilizada. O tratamento de condicionamento, realizado durante 8 dias na temperatura de 25°C em sementes não lavadas, se destacou principalmente nos testes que avaliaram a velocidade de germinação, incluindo o T_{50} e o índice de velocidade, tanto sob condição ideal de temperatura quanto de estresse térmico. Os valores de condutividade elétrica das sementes condicionadas osmoticamente foram significativamente inferiores ao da testemunha. Porém, os resultados obtidos

* Comitê Orientador: Dr.^a Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira – UFLA (Orientadora) e Prof. Renato Mendes Guimarães – UFLA.

✕ pelo teste de condutividade elétrica diferiram dos resultados obtidos pelos demais testes de avaliação da qualidade das sementes. No segundo experimento foi avaliada a eficiência de métodos de condicionamento osmótico utilizando diferentes agentes osmóticos. As sementes foram submetidas aos seguintes tratamentos: condicionamento osmótico em solução aerada de PEG 6000; KNO_3 ; e KNO_3 + PEG 6000, durante 8 dias numa temperatura de 25°C , todas as soluções com potencial osmótico de $-1,1$ MPa. Com o objetivo de verificar o efeito destes tratamentos sobre parâmetros fisiológicos e bioquímicos, as sementes foram submetidas aos testes de germinação; primeira contagem do teste de germinação; porcentagem de protusão radicular, índice de velocidade e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular; comprimento de plântula; teste de condutividade elétrica; emergência de plântula; índice de velocidade de emergência de plântula e análise enzimática pelo sistema PAGE para as isoenzimas catalase e glucose-6-fosfato desidrogenase. Para comparação das sementes osmocondicionadas por imersão, foram utilizadas sementes secas e sementes condicionadas sobre papel umedecido com solução de PEG 6000, no mesmo potencial osmótico, temperatura e período de condicionamento. O conteúdo de água atingido pelas sementes foi maior quando a embebição foi feita em solução salina pura, seguida pela mistura com PEG. Sementes condicionadas em PEG 6000 sobre papel apresentaram uma melhor performance, seguido pelo tratamento em solução salina de KNO_3 , e os métodos de imersão em soluções contendo o soluto PEG foram menos eficientes. Os resultados obtidos pelo teste de condutividade elétrica não foram consistentes com os resultados obtidos pelos demais testes para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes. A técnica de condicionamento osmótico constitui numa alternativa para melhoria do desempenho de sementes de pimentão, recuperando lotes que apresentavam germinação próxima ao padrão nacional de comercialização de sementes certificadas.

ABSTRACT

ROVERI JOSÉ, Solange Carvalho Barrios. Osmotic conditioning of pepper seeds: effect in germination, vigor and enzyme activity. Lavras: UFLA, 1999. 107 p. (Dissertation – Master Program in Plant Science).*

With a view to studying the effect of the osmotic conditioning in pepper seeds of the cultivar Yolo Wonder, treated with Captan and which presented a germination of 69%, two experiments were conducted. In the first one, was studied the influence of the conditioning period and temperature upon germination and vigor of seeds. The seeds were previously washed or not in running water, and conditioned on paper moistened with osmotic solution of glycol polyethylene (PEG 6000) at -1.1 MPa, for periods of 4, 8 12 and 16 days, at the temperatures of 5 , 15 , 20 and 25°C . Following completing each period, the seeds were washed and dried under environmental conditions until they reached their original weight. Physiological quality was evaluated by the germination test (under ideal condition of temperature and thermal stress); electric conductivity test; evaluation of root protrusion under ideal condition of temperature and thermal stress, obtaining the root protrusion percentage, velocity index and T_{50} . For comparison of the osmoconditioned seeds, a check (dry seed, without soaking treatment), was utilized. The conditioning treatments reduced water uptake by the seeds, but at 25°C and for more extended periods, water content reached was enough for root protrusion to occur, they were not therefore evaluated as to physiological quality. Osmoconditioning was influenced both by the period and temperature and when performed at higher temperatures, seed performance was favored, improving their physiological quality. The period requered for obtaining greater benefits of the technique, was dependent on the temperature utilized. The conditioning treatment performed for 8 days at the temperature of 25°C on non-washed seeds stood out chiefly in the tests which evaluated germination velocity, including T_{50} and velocity index, both under ideal temperature and thermal stress conditions. The values of electric conductivity of the seeds osmotically conditioned were significantly inferior to the one of check. But, the results obtained by the electrical conductivity test differed from the results obtained by the other tests of evaluating seeds quality. In the second experiment, the efficiency of methods of osmotic conditioning was evaluated by utilizing different osmotic agents. The

* Guidance Committee: Dr.* Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira – UFLA (Major Professor) and Prof. Renato Mendes Guimarães – UFLA.

seeds were submitted to the following treatments: osmotic conditioning in aerated solution of PEG 6000; KNO_3 ; and $\text{KNO}_3 + \text{PEG 6000}$, for 8 days at a temperature of 25°C , all the solutions with osmotic potential of -1.1 MPa . With the objective of verifying the effect of these treatments on physiological and biochemical parameters, the seeds were submitted to the germination tests; first count of the germination test; percentage of root protrusion, velocity index and average time for occurrence of 50% of root protrusion; seedling length; electric conductivity test, seedling emergence; seedling emergence velocity index and enzyme analysis by the PAGE system for the isoenzymes catalase and glucose-6-phosphate dehydrogenase. For comparison of immersion osmoconditioned seeds, dry seeds and conditioned seeds on paper moistened with PEG 6000 solution, at the same osmotic potential, temperature and conditioning period were utilized. Water content reached by the seeds was greater when soaking was done in pure saline solution, followed by the mixture with PEG. Seeds conditioned in PEG 6000 on the paper presented a better performance, followed by the treatment in KNO_3 saline solution, and the immersion methods in solution containing PEG solute were less efficient. The results obtained by the electrical conductivity test were not consistent with the results obtained by the other tests for the evaluation of the physiological quality of seeds. The osmotic conditioning technique constituted an alternative to the improvement of the performance of pepper seeds, recovering lots which presented germination close to the national commercialization pattern of certified seeds.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do pimentão no Brasil cresceu de maneira significativa nos últimos anos tanto na produção em peso fresco de fruto, na utilização como condimento, quanto em produtos alimentícios industrializados, justificando o aumento na demanda de sementes, cuja produção representa uma atividade agrícola bastante rentável (Sales, 1996).

Para culturas de ciclo curto, o tempo da semente até o estabelecimento da plântula é um período crucial, pois é quando a semente é exposta a uma grande variedade de fatores ambientais adversos, que podem afetar o desempenho germinativo e o sucesso no estabelecimento de uma plântula saudável. Para otimizar o desempenho das culturas, são necessárias sementes vigorosas, capazes de germinar rápido e uniformemente nas mais diversas condições edafoclimáticas (Lopes, 1996).

Dentre os problemas mais comuns associados às sementes de hortaliças estão a dormência em algumas espécies, a baixa velocidade e a desuniformidade de germinação (Silveira, 1998). A redução da velocidade dos processos germinativos, que é uma característica relevante do declínio do vigor, frequentemente é acompanhada pelo prolongamento do período de germinação de sementes individuais de um lote, que são atributos indesejáveis tanto para o produtor de sementes quanto para o agricultor, que depende do estabelecimento rápido de cada semente plantada para atingir populações desejáveis (Heydecker et al., 1975; Powell, 1998).

A germinação e a emergência de sementes de pimentão frequentemente são lentas, particularmente sob condições frias (Bradford et al., 1990). A máxima germinação ocorre em temperaturas em torno de 29°C (Lorenz e Maynard, 1988), e quando semeadas diretamente sua emergência é frequentemente desuniforme e incompleta, necessitando de replantios (Kenneth

e Sanders, 1987). Outro ponto a ser considerado é que a disponibilidade de sementes capazes de germinarem sob condições de temperaturas baixas permitiria uma expansão nas áreas de cultivo de pimentão.

O uso de técnicas como o condicionamento osmótico tem sido uma alternativa para se obter uniformidade e aceleração da germinação das sementes, permitindo um ganho de tempo no ciclo da cultura e uniformização da colheita. Também em condições de estresse, como temperatura inadequada, tem-se observado um melhor desempenho das sementes condicionadas (Borges et al.,1994; Warren e Bennett, 1997). Sementes em estágio de deterioração avançado vêm mostrando uma resposta positiva ao incremento da velocidade de germinação quando submetidas ao osmocondicionamento (Lanteri et al.,1996), permitindo um melhor aproveitamento dessas sementes.

Porém, para que se tenha sucesso no emprego desta técnica é preciso conhecer a melhor combinação de potencial osmótico, temperatura e período de condicionamento, e a qualidade fisiológica das sementes a serem condicionadas. Informações a respeito desta técnica, bem como seus efeitos em sementes em estágio de deterioração avançado, ainda são escassas para as sementes de pimentão.

A presente pesquisa teve como objetivos avaliar, através de parâmetros fisiológicos e bioquímicos, o comportamento de sementes de pimentão submetidas ao condicionamento osmótico em diferentes períodos e temperaturas, bem como a eficiência de métodos de condicionamento, utilizando diferentes agentes osmóticos e meio de embebição.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Relações hídricas e fases da embebição

A água é o fator determinante sobre o processo de germinação, que é iniciado pela embebição das sementes, um processo físico relacionado com as propriedades dos colóides. A absorção da água pelas sementes é a primeira etapa na sequência de eventos, seguida de ativação enzimática, quebra, translocação e uso do material de reserva, culminando com a retomada do crescimento do eixo embrionário, que resulta na emergência da radícula, significando o final do processo germinativo (Bewley e Black, 1994).

A absorção de água se faz de maneira diferenciada pelos diferentes tecidos da semente. A casca absorve muito pouca água, expandindo bem menos que os tecidos internos, a fim de ser rompida, facilitando a difusão de oxigênio para os tecidos internos. O tecido de reserva vem após a casca, em volume de água absorvido, e absorve água até um certo ponto, funcionando daí por diante como um reservatório. O tecido meristemático, justamente por crescer, é o que absorve as maiores quantidades de água (Carvalho e Nakagawa, 1988).

O movimento de água do solo para a semente é governado por vários fatores, destacando as relações hídricas da semente e do solo. Potencial hídrico (ψ_w) é uma expressão do "status" energético da água, e a sua difusão ocorre devido a um gradiente de energia, translocando do mais alto para o mais baixo potencial (Bewley e Black, 1994).

O potencial hídrico das células (ψ_w), nos tecidos das sementes, é resultante da interação entre os três potenciais: o osmótico (ψ_o), que representa a concentração de solutos dissolvidos nas células, condicionado pelas ligações entre a água e os solutos. Quanto maior a concentração de solutos, menor será o potencial osmótico e menor será o potencial hídrico nas células; o potencial

mátrico (ψ_m), resultante das interações interfaciais, tais como forças capilares e de adsorção, entre a água e os constituintes moleculares das células (como proteínas e amido) e da semente (parede celular); e o de pressão (ψ_p), relacionado à força contrária exercida pela parede celular externa por causa da turgescência causada pela entrada de água nas células. A soma desses três componentes é um valor negativo, exceto nas células completamente túrgidas, onde é aproximadamente zero, que corresponde ao valor do potencial hídrico da água pura ($\psi_w=0$), (Bewley e Black, 1994).

O potencial hídrico pode ser expressado em termos de pressão ou energia. Tem-se preferido a unidade de pressão megapascal (MPa), em que $1\text{MPa} = 10\text{ bar} = 9,87\text{ atm}$.

Sendo assim, o potencial hídrico das sementes secas é muito baixo (geralmente entre -350 e -50 MPa), atribuído principalmente às forças mátricas (ψ_m), gerando um gradiente para a absorção de água bastante amplo quando a semente é colocada para germinar em água pura ou em condições do meio com potencial hídrico de 0 a aproximadamente $-2,0\text{ MPa}$ (Bradford, 1995; Lopes, 1996).

Sementes maduras e secas (ortodoxas) exibem um padrão trifásico de absorção de água quando lhes são dadas um suplemento adequado. A fase I é relativamente rápida e ocorre como uma consequência do potencial matricial dos vários tecidos das sementes, independente da semente ser viável ou não e dormente, a não ser que trate de dormência por impermeabilidade do tegumento à água. É uma fase em que as substâncias de reserva são desdobradas em substâncias permissíveis a um transporte facilitado até o embrião. Na fase II ocorre o transporte ativo das substâncias desdobradas anteriormente, para os pontos de crescimento. Os potenciais hídricos da semente estão em equilíbrio com seu ambiente circundante, estabilizando a absorção de água pela semente. Somente sementes em germinação são capazes de entrar na fase III, que ocorre

como consequência da emergência e alongação da radícula, com uma retomada rápida da absorção de água (Bray, 1995).

Embora o padrão de absorção de água possa ser similar entre sementes de diferentes espécies, a duração de cada fase é dependente tanto das características da semente (condições intrínsecas das sementes, como longevidade natural da espécie, estágio de maturação, dormência, cultivar e a idade das sementes) quanto das condições do ambiente durante hidratação, como disponibilidade de água, temperatura e composição do substrato, (Eira, 1988; Bewley e Black, 1994; Bray, 1995).

A velocidade inicial de embebição será determinada primariamente pela permeabilidade do tegumento da semente, área de contato semente/substrato e condutividade hidráulica do solo. (Mayer e Poljakoff – Mayber, 1989; Bradford, 1995).

A temperatura na qual a semente está se embebendo exerce um efeito considerável sobre o processo. A taxa de absorção da água pelas sementes é proporcional ao aumento da temperatura, até certo limite, porém o volume total absorvido é maior nas temperaturas mais baixas (Copeland, 1976; Carvalho e Nakagawa, 1988). Aquecendo-se a água, sua energia é aumentada, resultando num aumento de sua pressão de difusão. As atividades metabólicas também são aumentadas pelo aumento da temperatura, propiciando rápida utilização da água no interior da semente, o que resulta num decréscimo da pressão de difusão interna e que ocasiona um aumento na velocidade de embebição (Popinigis, 1985).

Para que ocorra a germinação, cada espécie necessita atingir um determinado grau de umidade variando de 35 a 40% para as endospermáticas e de 50 a 60% para as cotiledonares (Carvalho e Nakagawa, 1988). Em condição de estresse hídrico, as espécies apresentam sensibilidade diferenciada, sendo menos evidente durante o processo inicial de embebição (Lopes, 1996). As

11

sementes apresentam uma tolerância à dessecação gradualmente decrescente a partir da fase I. A desidratação até a fase II do processo de embebição não provoca danos irreversíveis ao embrião e as sementes podem continuar a germinação quando retomar a condição de hidratação. No entanto, a partir da transição entre as fases II e III, os danos provocados pela deficiência hídrica são irreparáveis (Bewley e Black, 1994).

2.2. Condicionamento osmótico de sementes

O agricultor reconhece que um plantel uniforme e vigoroso é fator importante para obter qualidade. Por isso cresce a demanda por sementes de alta qualidade fisiológica, adquiridas de empresas de renome.

Cada vez mais se exige uniformidade, rapidez e completa germinação de sementes. Um método de melhorar o desempenho germinativo de sementes tanto no campo quanto em casa de vegetação tem sido através do uso de tratamentos pré-semeadura, que envolvem a promoção do início do metabolismo de germinação, podendo ser divididos em: tratamentos que antecipam parte ou mesmo todos os processos de germinação antes da semeadura, e aqueles que modificam esse processo, ficando "retido" nas sementes embebidas de modo que a emergência da radícula seja inibida por algum tempo antes da semeadura (Heydecker e Coolbear, 1977; Khan et al., 1978).

Dentre os tratamentos pré-semeadura empregados para assegurar uma performance superior das sementes e aumentar sua tolerância em germinar em ambientes adversos, pode-se citar o "priming", uma técnica que envolve o controle da hidratação das sementes, suficiente para permitir os processos preparatórios essenciais à germinação, porém insuficiente para ocorrência da emergência da radícula (Heydecker e Gibbins, 1978; Bradford, 1986). Diferentes métodos de "priming" têm sido utilizados, variando quanto ao método de

hidratação. Estes incluem drum-priming, matricondicionamento, e osmopriming (Hilhorst e Leprince, 1998; Powell, 1998).

O termo osmopriming, condicionamento osmótico ou osmocondicionamento, tem sido usado para descrever a embebição das sementes numa solução, utilizando vários agentes osmóticos, que fornecem diferentes potenciais osmóticos (Copeland e McDonald, 1995). As sementes são osmocondicionadas em temperaturas específicas e por um período de tempo definido, e vão absorver água até o ponto que alcançarem o equilíbrio com o potencial osmótico da solução (Bray, 1995). O potencial hídrico da solução é ajustado de maneira a permitir todos os processos preparatórios da germinação das sementes, mas impede o alongamento celular e, conseqüentemente, a emergência da radícula, mesmo após semanas de contato entre as sementes e a solução (Heydecker et al., 1975).

Durante a embebição das sementes, em condições normais, o conteúdo de água atinge um platô (Fase II) e praticamente estabiliza-se até o momento antes da emergência da radícula. Porém, quando o potencial hídrico do meio é reduzido, o conteúdo de água das sementes para atingir esse equilíbrio é menor e, dependendo desse potencial, o início da germinação pode ser retardado ou completamente inibido. Sob essas condições, o conteúdo de água na semente permanece praticamente inalterado. (Bradford, 1986). Deste modo, as sementes não entram na fase III de absorção de água, prolongando o tempo de permanência na fase II (Heydecker et al., 1975; Bray, 1995).

Bradford (1986), estudando os diferentes potenciais hídricos que permitiam a germinação das sementes de alface, observou que o efeito primário da restrição de água do meio de embebição foi o aumento do comprimento da fase "lag". entre a embebição e crescimento. No potencial de 0,0 MPa, o conteúdo de água para emergência da radícula foi maior que 90% (base peso seco). Tanto nas soluções de - 0,5 MPa quanto na de -1,0 MPa, o conteúdo de

água aumentou lentamente durante a fase "lag", e a emergência eventualmente ocorreu num valor próximo a 90% de umidade. Esse aumento gradual no conteúdo de água das sementes foi porque a força (potencial osmótico) que dirige a entrada de água para dentro das sementes estava aumentando. Para cada potencial, foi requerido um determinado período "lag" para gerar solutos suficientes para elevar o conteúdo de umidade das sementes a 90%. Para o autor, a emergência da radícula está relacionada à obtenção de um nível de umidade na semente, que depende de um potencial hídrico específico. Nas soluções de potenciais hídricos menores, não ocorreu emergência da radícula, permanecendo constante o conteúdo de água das sementes. Sementes de alfaca osmocondicionadas tiveram um aumento na velocidade de germinação em virtude do acúmulo de solutos durante o tratamento.

A duração total dos eventos que ocorrem durante o "priming", do início da embebição até emergência da radícula, é de fato mais longa que a da germinação convencional, já que a fase "lag" de germinação é estendida durante o tratamento. Porém, como é realizada antes da semeadura, pós semeadura demanda um menor tempo para emergência, já que esta fase é reduzida ou eliminada (Heydecker et al., 1975).

Geralmente o grau de umidade das sementes osmocondicionadas é mantido a 40-45% sobre o peso fresco, correspondendo a 90-95% do conteúdo de umidade que permitiria germinação (Bray, 1995). A água contida nas sementes nesse estágio é suficiente para que se tornem fisiologicamente ativas (Heydecker e Gibbins, 1978), permitindo a iniciação e/ou realização de eventos metabólicos pré germinativos essenciais, como processos de reparo macromolecular. A consequência desses eventos parece ser tolerante à dessecação e estimuladores da germinação, já que sementes osmocondicionadas e secas novamente germinam rapidamente e uniformemente durante embebição, como resultado da redução do tempo gasto na fase II (Bray, 1995). Porém, uma

semente embebida poderá gradualmente perder sua tolerância à dessecação. Isto frequentemente coincide com o começo da fase de crescimento, que pode iniciar alguns momentos antes da germinação visível. Submeter uma radícula em crescimento ao processo de secagem poderá resultar num escurecimento e necrose da mesma após rehidratação (Hilhorst, 1997). Entretanto, para a maioria das espécies, as sementes devem ser secadas novamente após o tratamento para facilitar o manuseio, armazenamento e semeadura.

Uma grande vantagem desta tecnologia de hidratação de sementes é a sua aplicabilidade comercial, podendo ser ampliada em larga escala (10-20 Kg de sementes), dependendo do controle hídrico nas fases de embebição, utilizando-se diferentes equipamentos e técnicas visando atender às necessidades de cada companhia de sementes.

2.2.1. Benefícios da técnica

Diversos benefícios do condicionamento osmótico têm sido relatados. Um deles é a maior probabilidade de melhoria da germinação e emergência, particularmente em condições de estresse, como déficit hídrico ou temperatura inadequada (Heydecker et al., 1975; Eira, 1988; Pill et al., 1991; Nascimento, 1998), ampliando, assim, as áreas e épocas de cultivo.

Tem-se observado um melhor desempenho das sementes condicionadas quando semeadas em temperaturas sub ou super-ótimas para diferentes espécies, como alface, alho porró, beterraba, brássicas, cenoura, melão, milho doce, pimentão, pimenta, tomate e outras (Nascimento, 1998). Quando o osmocondicionamento é realizado em baixas temperaturas, pode quebrar a dormência em muitas espécies, como alface, e é usado para possibilitar uma germinação em altas temperaturas. Este aumento da faixa de temperatura para germinação é uma característica de quebra de dormência (Cantliffe et al., 1984;

Hilhost e Leprince, 1998), e para algumas espécies de *Aquilegia* o osmocondicionamento tem substituído o método de estratificação (Finnerty et al., 1992, citados por Pill, 1995). Condicionamento osmótico numa temperatura de 15°C em sementes de cenoura promoveu uma redução do tempo gasto para germinação e aumentou a porcentagem final, principalmente sob condições de baixa temperatura de germinação (Heydecker et al., 1975).

Em condição de estresse hídrico, as sementes osmocondicionadas germinam mais rapidamente, visto que essas já iniciaram a embebição, tendo um potencial osmótico mais baixo, necessitando, assim, de menores quantidades de água para completar a germinação (Bradford, 1986). Para Akers et al. (1987), o condicionamento osmótico induz o desenvolvimento de baixo potencial hídrico nas células pelo aumento na concentração de solutos como açúcares, ácidos orgânicos e íons, favorecendo sua posterior germinação, sob condições de deficiência hídrica. Esse ajustamento osmótico que ocorre durante o condicionamento é definido como sendo o acúmulo de solutos pelas células em resposta ao baixo potencial hídrico do meio (Taiz e Zeiger, 1991).

O condicionamento osmótico também permite um aumento na velocidade e uniformidade de germinação; sementes de tomate, melão e pimentão possuem um endosperma bastante duro, que restringe o crescimento do embrião. Durante o pré-tratamento as células da parede do endosperma são degradadas e quando as sementes são semeadas, a germinação inicia imediatamente (Hilhorst, 1997).

Outro benefício é a melhoria da qualidade das sementes que tenham sofrido algum tipo de dano no armazenamento (pré-tratamento permite processos de reparo macromolecular e de membranas) (Hilhorst, 1997).

Por promover uma rápida emergência das plântulas, o condicionamento poderá influenciar no desenvolvimento vegetativo: é sugerido que o período para maturação e colheita de algumas olerícolas pode ser influenciado pelo tempo

gasto para as sementes germinarem e estabelecerem plântulas. Porém o efeito do condicionamento sobre a taxa de crescimento, maturidade e produtividade, é uma questão ainda não totalmente elucidada (Nascimento,1998). Sementes revigoradas produziram um rendimento maior do peso fresco das plantas, sendo mais expressivo em lotes de sementes com baixo vigor, porém viáveis (Perl e Feder, 1981).

Para cultivos em estufa, proporciona uma maior taxa de reciclagem; além do que, um estabelecimento mais rápido de plântulas no campo implicará em um menor ciclo da cultura, menor risco, melhor controle de plantas daninhas e uma melhor eficiência de irrigação (Nascimento, 1998).

Sementes submetidas ao condicionamento, mesmo em solos com alta concentração salina, apresentam melhor emergência (Pill et al., 1991); também tem sido utilizada essa técnica para minimizar o efeito de microrganismos causadores de damping-off, reduzindo a sua incidência, e para reduzir problemas relacionados com aderência de tegumento aos cotilêdones durante a emergência (Nascimento e West, 1998a).

Ao lado dos efeitos benéficos, "priming" pode ser uma arriscada operação, visto que uma semente embebida poderá perder sua tolerância à dessecação, reduzindo sua armazenabilidade. A implicação disso é que a qualidade dessas sementes cai rapidamente quando comparadas com as sementes não condicionadas (Hilhorst e Leprince, 1998).

A redução do tempo de armazenabilidade das sementes pré-condicionadas é usualmente solucionada por esta técnica ser realizada bem próximo à sua entrega aos produtores de hortaliças para a semeadura. Se essas sementes forem armazenadas sob condições de baixa temperatura e umidade, o período de armazenamento é estendido, não causando efeito deletério às sementes.

2.2.2. Fatores que afetam o condicionamento osmótico

Vários fatores afetam a técnica do condicionamento osmótico, incluindo condições do ambiente durante hidratação (temperatura e luz); agente osmótico; disponibilidade de oxigênio; duração do tratamento; contaminação microbiana e secagem das sementes (Brocklehurst e Dearman, 1984; Smith e Cobb, 1991a; Copeland e McDonald, 1995).

A duração do tratamento é importante, devendo inibir a germinação por um período que garanta o efeito máximo do "priming". Foi observado um menor efeito do pré-condicionamento em água, comparado com soluções salinas por um período de 12 dias (Smith e Cobb, 1991a). Entretanto, extendendo-se o período, parcialmente os efeitos benéficos do tratamento foram revertidos, fenômeno referido como "overpriming" (Ely e Heydecker, 1981). Para Kennet e Sanders (1987), a temperatura de germinação após condicionamento das sementes influenciou mais no incremento germinativo do que a duração do tratamento de pré-condicionamento.

O processo de germinação é uma sequência de reações químicas, e será mais rápido e eficiente quanto maior for a temperatura até um certo limite (Carvalho e Nakagawa, 1988). A temperatura utilizada no condicionamento geralmente é aquela usada para a germinação das sementes, variando entre 15 e 25°C (Nascimento, 1998). Segundo Heydecker et al. (1975), para espécies temperadas, a temperatura de condicionamento de 15°C é satisfatória, dependendo do período utilizado. Furutani et al. (1986) verificaram um maior aumento na velocidade de germinação quando sementes de cebola foram condicionadas em solução aerada de manitol numa temperatura de 10°C, comparada com a de 24°C. Os autores alegaram que na temperatura mais elevada de condicionamento, a respiração das sementes provavelmente foi acelerada e o suprimento de oxigênio pode ter sido inadequado. Copeland e

McDonald (1995) afirmaram que temperaturas mais baixas de condicionamento propiciam melhores resultados. Geralmente, baixas temperaturas requerem uma menor quantidade de PEG em relação a uma temperatura mais elevada, no mesmo potencial osmótico, o que resulta numa maior disponibilidade de oxigênio. O tratamento realizado a 25°C também foi eficiente em melhorar a taxa germinativa segundo Akers et al. (1987), inclusive em temperaturas de germinação mais baixas. Yaklich e Orzolek (1977), citados por Perl e Feder (1981), explicaram que a utilização de baixa temperatura no tratamento osmótico pode ter sido a causa do reduzido envigoramento obtido pelo osmocondicionamento em sementes de pimentão.

Luz pode ser necessária para espécies que a requerem para ocorrência da germinação. Deve-se atentar também para um suprimento adequado de oxigênio durante o processo de embebição, proporcionando um ambiente aeróbico às sementes. Houve diferentes respostas nos tratamentos quando as sementes foram imersas ou não na solução osmótica, sendo que, em condições aeróbicas, o T_{50} e a porcentagem de germinação foram maiores (Heydecker et al., 1975). Similarmente foi observado quando sementes de canola foram completamente imersas em água, proporcionado um ambiente anaeróbico às sementes (Zheng et al., 1994).

Um pré-requisito essencial para o sucesso da técnica é o uso de sementes livres de microrganismos. Entretanto, a obtenção de tais sementes nem sempre é possível, sendo comum a adição prévia de fungicidas às sementes ou durante a embebição das mesmas na solução osmótica (Finch-Savage et al., 1991; Copeland e McDonald, 1995). Durante a fase inicial de embebição na solução osmótica, ocorre perda de solutos das sementes, e esses lixiviados podem estimular a atividade microbiana, geralmente saprófitas. Por outro lado, durante a embebição e lavagem das sementes após tratamento, o fungicida pode ser lavado das sementes, diminuindo sua eficiência, aumentando a proporção de

plântulas anormais por contaminação. Outro ponto a ser considerado é o efeito fitotóxico do fungicida sobre as sementes (Nascimento e West, 1998b).

Cuidados especiais têm que ser tomados em relação à secagem das sementes após o tratamento osmótico, para evitar injúrias (Copeland e McDonald, 1995). Diferentes métodos de secagem têm sido utilizados, podendo ser realizado em ambiente natural, ar forçado, ou secagem a vácuo. Quando a secagem é conduzida em condições ambientais, as sementes são colocadas sobre uma superfície, em camada única, permitindo que elas sequem lentamente. Assim, a taxa de secagem é uniforme, e em algumas instâncias pode ser considerada muito lenta. O método de secagem utilizando ar forçado já requer menos espaço e é mais rápido, mas deve-se atentar para a ocorrência de danos a semente (Armstrong e McDonald, 1992). Já a secagem a vácuo fornece um ambiente de secagem mais uniforme, porém sua utilização é bastante restrita devido a seu alto custo. Segundo Brocklehurst e Dearman (1983a), para a maioria das espécies trabalhadas, secagem a 15°C após tratamento propiciou sementes com maior velocidade de germinação que aquelas secadas a 30°C.

Um outro fator que poderá afetar a resposta do tratamento é a qualidade da semente. Para Cantliffe (1989), a técnica é eficaz somente para sementes de alta qualidade, não transformando sementes de qualidade inferior em saudáveis e de alta germinabilidade, embora seja demonstrado que o condicionamento tem revigorado lotes de sementes de baixa qualidade fisiológica, reduzindo os efeitos do envelhecimento (Szafirowska et al., 1981; Parera e Cantliffe, 1994). Para Burgass e Powell (1984), citados por Paixão (1998), sementes de couve flor com baixo vigor apresentaram maiores ganhos em relação às de alto vigor, após o condicionamento osmótico. A melhoria na qualidade dessas sementes sugere pouca probabilidade desse ganho ter ocorrido somente em função de quaisquer mudanças ocorridas durante os estádios iniciais de germinação, pois, neste caso, as sementes de melhor qualidade também teriam sido envigoradas. Em vista

disso, os autores concluíram que também os mecanismos de reparo atuaram nas sementes de pior qualidade, contribuindo para reverter os efeitos provocados pela deterioração.

A qualidade inicial da semente e duração do tratamento interagem, influenciando no sucesso da técnica. Durante o tratamento de sementes com alto vigor, um incremento na germinação pode ocorrer, mas prorrogando o período de condicionamento, resultaria em "over-advancement", aumentando a susceptibilidade da semente ao estresse da secagem ou armazenamento após tratamento. Em contraste, para as sementes de baixo vigor, reparos metabólicos ocorreriam antes do processo germinativo iniciar. Mesmo com um prolongado tratamento, a germinação não teria avançado a ponto de afetar negativamente o subsequente armazenamento (Powell et al., 1997, citados por Powell, 1998).

Os solutos usados ou a solução osmótica onde as sementes vão permanecer em contato devem apresentar algumas características. Não devem ser tóxicos ou causar alterações estruturais nas sementes; não devem penetrar através do sistema de membranas das células dos tecidos das sementes, nem serem metabolizados pela planta e não estarem sujeitos às mudanças causadas por microrganismos durante a imersão das sementes na solução (Bradford, 1986; Slavik, 1974, citado por Eira, 1988). Dentre os agentes osmóticos utilizados, podemos incluir os sais (K_3PO_4 , KH_2PO_4 , $MgSO_4$, $NaCl$, KNO_3), açúcares (manitol, sorbitol), polietileno glicol (PEG) e glicerol. Nenhum desses solutos comumente utilizados no condicionamento osmótico obedecem completamente essas exigências, mas é importante observar que o critério a ser tomado na sua escolha é em relação ao efeito desejável sobre a semente (Heydecker e Coolbear, 1977).

O benefício no uso de sais no condicionamento é o de suprir as sementes com nitrogênio e outros nutrientes essenciais para síntese protéica durante germinação, porém podem penetrar nas sementes e causar toxidez às plântulas.

A absorção de íons da solução salina não somente influencia na quantidade de água absorvida pelas sementes (efeito osmótico), como também pode exercer um efeito negativo sobre enzimas e membranas (Frett et al., 1991). Khan (1992) observou uma variação no conteúdo de umidade de sementes de beterraba, em função do meio de embebição. Quando foram embebidas em água, ou em solução de $-1,2$ MPa de PEG; de KNO_3 ; ou de NaCl , todas a 15°C , os conteúdos de umidade atingidos foram, respectivamente, 94, 57, 84 e 87%. O termo “overpriming” foi usado por Alvarado e Bradford (1988) para descrever o maior teor de água das sementes osmocondicionadas em sal (KNO_3) em relação às de PEG. Os sais também têm a vantagem sobre o PEG por não reduzirem a disponibilidade de oxigênio dentro da solução (Heydecker e Coolbear, 1977). O uso de compostos contendo nitrato, na opinião de Nerson e Govers (1986), são mais eficientes que outros sais como agentes osmóticos. Dependendo da concentração e período de condicionamento, os sais apresentam-se mais eficientes, e a utilização de KNO_3 na solução apresentou efeito sinérgico nas sementes de cenoura (Haigh e Barlow, 1987), tomate (Haigh e Barlow, 1987; Frett et al., 1991) e aspargus (Frett et al., 1991). Para sementes de cebola, entretanto, o uso de sais foi menos benéfico que solução de PEG, e apresentou-se tóxico às sementes de sorgo (Haigh e Barlow, 1987). O agente osmótico PEG 6000 também foi mais eficiente que glicerol e KH_2PO_4 , no condicionamento de sementes de cenoura, aipo, alho porró e cebola (Brocklehurst e Dearman, 1984).

O produto químico PEG, composto inerte de alto peso molecular (de 6000 a 8000 daltons), tem sido bastante usado por facilitar o controle da hidratação das sementes e não apresentar efeito tóxico à germinação, já que não penetra nas sementes devido ao grande tamanho de suas moléculas (Michel e Kaufmann, 1973). Entretanto, foi observado que altas concentrações de PEG podem impedir o crescimento de pêlos absorventes da raiz (Jackson, 1962, citado por Eira, 1988). Além do mais, o PEG apresenta a desvantagem do alto

custo e baixa solubilidade ao oxigênio, que é inversamente proporcional a sua concentração e alta viscosidade, fazendo com que a solução tenha que ser frequentemente aerada para um suprimento adequado de oxigênio às sementes (Akers, 1990). Bujalski et al. (1989) relataram que solução de PEG 8000 aerada com ar enriquecido (75% de oxigênio e 25% de nitrogênio) resultou em maior taxa, sincronismo e porcentagem de germinação de cebola, comparado com sistema de aeração normal. Bujalski et al. (1991) sugeriram que o fornecimento de ar enriquecido na solução osmótica de PEG 6000 provocou um aumento da taxa de absorção de oxigênio pelas sementes, e conseqüentemente acelerou os processos metabólicos responsáveis pelo benefício do condicionamento osmótico, além de possibilitar a redução do tempo do tratamento.

Efeitos negativos sobre a porcentagem de protusão radicular e o T_{50} (tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular) foram evidenciados quando sementes de cebola foram imersas em solução de PEG 6000, em relação às sementes parcialmente imersas (Heydecker et al., 1975). O condicionamento osmótico em solução aerada a $-1,1$ MPa de manitol, NaCl ou $KNO_3 + K_3PO_4$ não afetou a porcentagem final e tempo médio para 50% de protusão radicular de sementes de cebola, segundo Furutani et al. (1986). Porém, quando se utilizou o produto PEG, houve uma diminuição na porcentagem de protusão radicular, acreditando que essa redução pode ter sido provocada pela oxigenação insuficiente da solução, induzindo uma condição de anaerobiose em algumas sementes, conduzindo a um nível tóxico de etanol.

Cuidados devem ser tomados quando se usam soluções de polietileno glicol em papel – filtro, pois pode ocorrer a absorção de água pelo papel, concentrando a solução de PEG, reduzindo o potencial hídrico da solução. A concentração de PEG na solução e a relação volume da solução : peso do papel influenciam nesse processo (Hardegree e Emmerich, 1990).

Grzesik e Nowak (1998) citam algumas restrições na utilização do “priming” em meio líquido: longo tempo de incubação, problemas de aeração e algumas vezes foi observado efeito fitotóxico do agente osmótico (especialmente PEG 6000), o que propiciou a redução da germinação das sementes (Pill, 1995). Ainda há que se considerar que o agente osmótico usado pode alterar potenciais hídricos já que as sementes estão absorvendo água ativamente da solução, que tem conseqüentemente seu potencial hídrico reduzido no decorrer do tempo. Tal fato é agravado quando se utilizam sementes de maior tamanho ou onde existe uma alta proporção semente: solução. Durante o processo de embebição, a evaporação da água da solução osmótica também deve ser considerada, especialmente em condições de temperatura mais alta (Copeland e McDonald, 1995).

2.2.3. Efeitos na Embebição

O processo de envelhecimento e dano por embebição, este último ocorrendo principalmente em espécies leguminosas que possuem sementes grandes, são causas fisiológicas associadas com o baixo vigor das sementes (Matthews e Powell, 1986).

Deve-se atentar para a taxa de embebição inicial, pois uma rápida embebição das sementes poderá causar danos, particularmente a baixas temperaturas (Bradford, 1995). Embebição em baixas temperaturas influi na reorganização normal das membranas, talvez pela modificação do estado físico dos fosfolípidios de membranas (Knypl e Janas, 1979). Os efeitos danosos da rápida embebição podem ser devidos à redução da integridade de membranas celulares, com conseqüente perda de nutrientes essenciais; aumento da atividade de microrganismos em razão dos exsudatos das sementes, ou pela falta de oxigênio (Woodstock e Taylorson, 1981a).

Uma hidratação das sementes realizada lentamente, em temperatura normal antes da semeadura em condições sub ótimas de temperatura, diminuiu os sintomas de injúria causados pelo frio e a lixiviação de eletrólitos durante a embebição de sementes de soja (Knypl e Janas, 1979, citados por Del Giúdice, 1996).

Thapliyal e Connor (1997), estudando os efeitos do envelhecimento acelerado sobre a exsudação de lixiviados, verificaram um grande aumento da condutividade quando o envelhecimento foi realizado numa temperatura mais elevada e por um período de tempo maior. A condutividade foi positivamente relacionada com a temperatura do envelhecimento, indicando que o aumento da permeabilidade das membranas está envolvido no processo de envelhecimento. Duke e Kakefuda (1981) verificaram que a ruptura de células de sementes de soja, durante a embebição, pode ser causada por uma hidratação desigual dos tecidos.

A queda na integridade da membrana citoplasmática tem sido demonstrada em sementes envelhecidas pela proporção de componentes citoplasmáticos lixiviados para o meio externo (Ghosh et al., 1981) e pela atividade de certas enzimas. Porém, microrganismos patogênicos têm habilidade de secretar enzimas líticas capazes de degradar polissacarídeos da parede celular, afetando também essa capacidade de regulação do fluxo de solutos (Fisher et al., 1973).

Nas sementes secas, as membranas celulares também estão desorganizadas e os solutos podem vazar da células por difusão passiva durante os estádios iniciais de hidratação das membranas, antes da formação da dupla camada lipídica (Simin, 1984, citado por Del Giúdice, 1996).

Para Duke et al. (1983), a difusão de macromoléculas é dependente de fenômenos que afetam a integridade da membrana, não ocorrendo por difusão passiva, como nos sais.

A redução da taxa de entrada de água durante o período inicial de embebição permite maior tempo para reparação ou reorganização da membrana, possibilitando que os tecidos se desenvolvam de maneira mais ordenada (Woodstock e Tao, 1981). Quando as sementes são embebidas em um meio osmótico, a taxa de absorção de água pelas sementes é reduzida, evitando injúrias às sementes, que normalmente ocorreriam durante a embebição das sementes em água (Woodstock e Taylorson, 1981a e b).

Estes mesmos autores constataram que os danos por embebição são causados principalmente pela rápida absorção de água, e não por deficiência de oxigênio, uma vez que sua concentração em soluções de PEG é inferior ao da água. Além do mais, o nível de umidade no eixo embrionário das sementes embebidas em solução de PEG é menor quando comparado com embebição das sementes em água, o que pode reduzir as taxas respiratórias, prevenindo concentrações tóxicas de etanol.

Kang et al. (1997) verificaram que a quantidade de aminoácidos e proteínas exsudadas das sementes foi menor quando em solução osmótica, pois esta promoveu uma regulação na permeabilidade das membranas em relação às sementes embebidas em água.

2.2.4. Efeitos no vigor e na viabilidade

Vigor de sementes é um dos fatores que determinam sua qualidade, e pode ser definido como o somatório de todas as propriedades da semente que determinam o seu potencial em atividade e desempenho durante a germinação e emergência (Perry, 1978). Uma série de eventos fisiológicos iniciam nas sementes antes da perda total da viabilidade. A desestruturação do sistema de membrana, através da ação de radicais livres, é uma das primeiras alterações bioquímicas provocadas pelo processo de envelhecimento, o que leva a um

desequilíbrio na capacidade de regulação do fluxo de solutos, tanto da célula como da organela (Koostra e Harrington, 1973). Declínio na respiração, na biossíntese, taxa de germinação, crescimento e desenvolvimento, armazenabilidade, uniformidade, resistência da planta, rendimento e emergência em campo também ocorrem, bem como um aumento no número de plântulas anormais (Delouche e Baskin, 1973).

O mais importante benefício do "priming" é o aumento do vigor das sementes devido principalmente ao seu efeito positivo sobre a germinação, aumentando sua velocidade e uniformidade.

Numa população de sementes existem aquelas de alto e baixo vigor. Durante o processo de germinação, as de baixo vigor têm um metabolismo mais lento, enquanto as de vigor mais alto atingem um nível metabólico mais rápido e ordenado. Com o condicionamento osmótico, as sementes de baixo vigor tendem a "alcançar" as de alto vigor, diminuindo essas diferenças, contribuindo para maior uniformidade de germinação e emergência (Heydecker et al., 1975; Heydecker e Gibbins, 1978).

O efeito benéfico desta técnica inclui, além da reorganização da membrana plasmática, outros processos metabólicos (Knypl e Khan, 1981; Tilden e West, 1985). Melhoria no vigor após "priming" tem sido correlacionada com processo de reparo de DNA durante o tratamento, bem como um balanço metabólico mais favorável das sementes pré-condicionadas no início da germinação (Lanteri et al., 1998).

Há grande variedade nos tratamentos e nas respostas ao condicionamento osmótico em relação às diferentes espécies. Para *Capsicum annum* L., as melhores combinações foram potencial osmótico ou concentração de PEG de - 0,4 à -1,2 MPa e solução de KNO₃ de 0,1 a 0,3M, nas temperatura de 20-22°C por 5 e 6 dias respectivamente, resultando numa melhor germinação e emergência, bem como aumento do peso fresco de planta. Solução de PEG

(240g/Kg de água) a 15°C por 5 dias não apresentou bons resultados (Bradford, 1986).

Tratamentos de pré-hidratação aumentaram as taxas de germinação e emergência de sementes de pimentão em laboratório, casa de vegetação ou em ambientes controlados (Perl e Feder, 1981; Rivas et al., 1984; Sundstrom e Edwards, 1989). Bradford et al. (1990) observaram que o ganho na taxa de germinação e emergência de sementes de pimentão após embebição sobre papel umedecido com KNO₃ (30 g/Kg H₂O) a 25°C por 7 dias sob luz foi dependente da qualidade inicial da semente, entretanto, houve uma redução da porcentagem de germinação. Segundo os autores, houve forte interação entre lotes de sementes de germinação mais baixa e maiores benefícios com o "priming", e a técnica foi eficaz em reduzir o tempo da semente até a emergência de plântulas de pimentão, na semente direta. Brocklehurst e Dearman (1983b), osmocondicionando sementes de cenoura, cebola e aipo, verificaram que o efeito do tratamento osmótico sobre a porcentagem de emergência foi dependente da qualidade inicial das sementes e espécie trabalhada. Para Saracco et al. (1995), as concentrações de -1,1 e -1,5 MPa de PEG melhoraram a performance das sementes, reduzindo o tempo médio de germinação.

Sementes de pimentão secas após pré-tratamento em soluções de diferentes concentrações de NaCl a 23°C, por 5 dias, apresentaram maiores índices de velocidade de germinação nas menores concentrações do sal, porém os efeitos na porcentagem final de germinação foram irrisórios (Carter, 1994). Giulianini et al. (1992) não verificaram nenhum aumento na viabilidade das sementes após tratamento osmótico, mesmo quando foram colocadas para germinar sob condições de estresse térmico. Quando o "priming" foi realizado sob condições frias (10°C) por 5 dias em sementes de tomate e a 5°C por 10 dias em Capsicum, houve um incremento na taxa germinativa. Para tomate, solução de PEG a -1,0 MPa, além de permitir um aumento da uniformidade de

germinação e promover um melhor desenvolvimento da plântula, reduziu a dormência das sementes, resultando num aumento de vigor (Liu, 1994).

Perda de viabilidade é acompanhada por uma redução na capacidade de sintetizar proteínas, e dentre estas, as enzimas desempenham um papel importante na evolução da deterioração de sementes. Reduzindo a síntese protéica, ocorrerá uma redução das enzimas atuantes no processo germinativo, promovendo uma germinação mais lenta ou até mesmo perda da viabilidade. Mudanças qualitativas e quantitativas em carboidratos, lipídios e proteínas nos fornecem informação sobre mudanças metabólicas associadas com a deterioração durante o armazenamento (Anderson, 1973). Um bom indicativo de perda de qualidade seria a avaliação da atividade de enzimas específicas (Brandão Júnior, 1996).

Respiração envolve o ciclo da glicólise, rota oxidativa das pentoses fosfato, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa, ocorrendo a contribuição de enzimas na regulação de cada rota (Bettey e Finch-Sarage, 1996). Com o envelhecimento, há uma declínio na atividade de enzimas removedoras de peróxido, como a catalase, peroxidase, superóxido desmutase, ascorbato peroxidase, contribuindo com o processo de envelhecimento (Nkang, 1988; Basavarajappa et al., 1991; Jeng e Sung, 1994, citados por Brandão Júnior, 1996).

Através do metabolismo anaeróbico, a produção de compostos voláteis pela semente acelera a deterioração. Com a diminuição da atividade da enzima álcool desidrogenase (ADH), atuante no metabolismo anaeróbico, a semente fica mais susceptível à ação deletéria do acetaldeído (Zheng et al., 1994).

A Rota das Pentoses é uma via metabólica anaeróbica de oxidação de carbono, fornecedora de NADPH extracloroplastídeo, um agente redutor para síntese de moléculas como lipídeos, aminoácidos e componentes da parede celular. A atividade das enzimas dessa rota é também importante em determinar

o fluxo através da glicólise, uma vez que esta é fornecedora do substrato para esta rota (Bettey e Finch-Savage, 1996). O balanço entre a glicólise e a rota das pentoses assegura um suprimento adequado às sementes de poder redutor, ATP e esqueletos de carbono para a biossíntese. Nas sementes envelhecidas, este balanço é alterado (Priestley, 1986, citado por Bettey e Finch-Savage, 1996), podendo afetar a capacidade biossintética das células, sendo que, nestas sementes, a atividade das enzimas pertencentes a esta rota é afetada antes mesmo do ciclo da glicólise e Krebs (Zalewski, 1992, citado por Bettey e Finch-Savage, 1996).

A atividade da glucose-6-fosfato desidrogenase (G6P) aumentou durante a germinação de sementes de maçã, segundo Bogatek et al. (1989), embora isto não ocorra para todas as espécies (Botha et al., 1992). Em sementes envelhecidas de brássica, a atividade desta enzima foi mais baixa comparada com o controle (não envelhecidas), e houve uma restauração parcial da sua atividade após "priming" (Bettey e Finch-Savage, 1996).

Trabalhos vêm mostrando que sementes são metabolicamente ativas durante o "priming", por monitoramento das mudanças nos níveis de rRNA, conteúdo de proteínas solúveis, taxa respiratória das sementes, atividade de enzimas específicas e também por distintas alterações nos padrões eletroforéticos de proteínas e isoenzimas, embora em alguns casos não tenham ocorrido mudanças quantitativas na atividade destas (Sundstrom e Edwards, 1989; Smith e Cobb, 1991 b).

Sementes de alface osmocondicionadas reduziram o tempo de embebição necessário para iniciarem a síntese de RNA e proteínas. O aumento observado na síntese de RNA, de proteínas e de enzimas, em sementes condicionadas osmoticamente, pode ser devido à remoção de certos fatores de inibição e/ou à produção de fatores promotores (Khan et al., 1978).

Zheng et al. (1994) estudaram o efeito de um inibidor lixiviado durante o tratamento de condicionamento de sementes de canola sobre a posterior germinação, que foi conduzida nas temperaturas de 10 e 23°C. Na temperatura mais baixa, o inibidor foi mais efetivo em reduzir a germinação, acreditando-se que a possível razão desse fato é que este inibidor foi metabolizado ou degradado na temperatura mais elevada de germinação (Zheng et al., 1994).

Embebição de sementes de cevada sob condições aeróbicas diminuiu rapidamente o nível de ácido abscísico, e houve germinação. Porém, sob condições anaeróbicas, esse inibidor não foi degradado e as sementes não germinaram (Yamada, 1985).

A mobilização de materiais de reserva, tais como açúcares, lipídios e proteínas, pela ativação ou síntese de novo de enzimas chaves durante o tratamento, parecem ser componentes essenciais para a eficiência do condicionamento osmótico (Khan et al., 1978; Fu et al., 1988). Em sementes oleaginosas, houve um aumento na germinação das sementes submetidas ao "priming" pela indução na síntese da enzima "scavenger", responsável pela neutralização da peroxidação de lipídeos e de radicais livres (Berjak, 1978; Saha et al., 1990).

Scavenger

O condicionamento osmótico melhorou a performance germinativa das sementes de amendoim deterioradas e aumentou a atividade da isocitrato liase, enzima chave no metabolismo de lipídios (Fu et al., 1988), envolvida na mobilização de ácidos graxos de reserva, que são convertidos em carboidratos durante a germinação (ciclo glioxilato). Houve um incremento no crescimento de plântulas devido a um aumento da atividade dessa enzima nas sementes (Jeng e Sung, 1994).

"Priming" em solução aerada de KNO_3 a 3%, numa temperatura de 25°C, não aumentou a porcentagem final de germinação, mas sim a velocidade de germinação e desenvolvimento do hipocótilo de plântulas de *Capsicum*

annuum L. O tratamento osmótico, realizado num período adequado, permitiu a mais alta atividade metabólica pré-germinativa e consequentemente, durante a subsequente germinação, o desenvolvimento da plântula foi também incrementado. Para *Capsicum frutescens* L, o "priming" não aumentou o desenvolvimento da plântula, e os autores sugeriram que algum processo no desenvolvimento da plântula foi afetado negativamente pelo tratamento. Na solução osmótica, lixiviação de fatores essenciais durante tratamento prolongado pode retardar a germinação e crescimento, e podem ser apenas parcialmente compensados pelo aumento da atividade metabólica ocasionado pelo tratamento. Quando as sementes foram colocadas para germinar, não houve diferença quanto ao conteúdo de umidade atingido pelas sementes osmocondicionadas e sementes embebidas em água, até o momento da emergência da radícula. Nas sementes condicionadas osmoticamente, foi necessário um teor de umidade de 46,4% para ocorrência da emergência da radícula, e nas sementes condicionadas em água, 44,7% de umidade não foi o bastante para a protusão radicular (Halpin-Ingham e Sundstrom, 1992).

A indução da síntese protéica, atividade da isocitrato liase e aumento na respiração das sementes estão normalmente associados com embebição ou com estágios iniciais da germinação (Sunstrom e Edwards, 1989). Isto também foi demonstrado por Smith e Cobb (1991b) quando as sementes foram condicionadas osmoticamente. Sementes de pimentão parcialmente submersas em solução de NaCl a -0,90 ou -1,35 MPa, no escuro, a 23°C, foram monitoradas durante o tratamento para o acompanhamento da taxa de germinação e mudanças fisiológicas que poderiam ocorrer. A secagem das sementes foi feita somente para avaliação da germinação. "Priming" na solução de -0,90 MPa durante 12 dias não inibiu a germinação, e na solução de -1,35 MPa não foi observada emergência durante 18 dias. Todos os tratamentos melhoraram a taxa germinativa, sem diminuir a porcentagem final de

germinação, sendo mais efetivo o de $-0,90$ MPa durante 9 dias. A taxa respiratória das sementes não osmocondicionadas e embebidas em água (controle) aumentou com a embebição e estabilizou (fase "lag") até emergência radicular, quando novamente aumentou, similarmente ao que acontece nas 3 fases da germinação, que são dependentes do nível de hidratação das sementes (Bewley e Black, 1994). O aumento inicial da respiração nas sementes osmocondicionadas segue conforme o controle, porém foi retardada devido à extensão da fase lag, e posteriormente retomado nas sementes que germinaram ($0,90$ MPa/12 dias). O conteúdo de proteína solúvel nas sementes controle permaneceu constante e depois decresceu com a emergência radicular, o que não ocorreu com as sementes condicionadas, em que o conteúdo, além de ser maior, também aumentou com o decorrer do tratamento (12 dias). O fato da velocidade de incorporação de aminoácidos marcados nas sementes controle ter sido maior indica que, nas sementes osmocondicionadas, a síntese protéica ocorre numa menor taxa ou de forma mais organizada, necessitando de um maior tempo de permanência das sementes na solução. A atividade da aldolase (ciclo da glicólise), álcool desidrogenase (ADH), glucose-6-fosfato desidrogenase (G6P) e isocitrato liase (ICL) diminuiu nas sementes controle durante emergência radicular, mas permaneceu alta (G6P e ADH) ou aumentou (aldolase e ICL) nas sementes osmocondicionadas por 12 dias. A atividade da enzima 6-fosfogluconato desidrogenase (6PG), que coincide com a emergência da radícula, aumentou no momento da emergência e depois estabilizou, nas sementes controle (embebidas em água).

Condicionamento osmótico em solução de K_3PO_4 a $20^{\circ}C$ durante 7 dias proporcionou um maior aumento na taxa de germinação e redução do T_{50} quando sementes de pimentão foram germinadas numa temperatura de $15^{\circ}C$, comparado com sementes pré-condicionadas em água. Entretanto, na temperatura

de 20°C de germinação, nenhuma diferença entre os dois tratamentos de pré-condicionamento foi verificada (Kang et al., 1997).

Outra pesquisa, conduzida pelos autores Smith e Cobb (1992), constatou que o incremento no nível protéico obtido durante o condicionamento osmótico foi mantido quando essas sementes foram colocadas para germinar. A atividade da aldolase e isocitrato liase (ICL) aumentou mais ainda durante a germinação; a da álcool desidrogenase (ADH) ficou abaixo do nível de detecção e a da glucose-6-fosfato desidrogenase (G6P) e 6-fosfogluconato desidrogenase (6PG) permaneceu constante, todas comparadas com o controle (não tratadas germinadas em água). Acredita-se que a natureza transitória e instável da enzima álcool desidrogenase poderia ser responsável pelo desaparecimento desta enzima. O potencial de -1,35 Mpa apresentou o mais alto conteúdo de proteína e atividades das enzimas aldolase e isocitrato liase. Smith e Cobb (1991b) explicaram que o aumento da taxa respiratória e atividade da 6-fosfogluconato desidrogenase (que coincide com a emergência da radícula) foram retardados durante o "priming" devido à extensão da fase lag. Esses eventos não foram iniciados antes da emergência da radícula, sugerindo que o "priming" pode influenciar nos processos fisiológicos que precedem a emergência da radícula. Isto mostra que muitos dos eventos que ocorrem normalmente na germinação ocorrem também no "priming", embora certos aspectos fisiológicos da germinação sejam atrasados e intensificados. Essa possibilidade de iniciar a síntese protéica se dá devido a aumentos observados durante e após "priming" de rRNA e mRNA específicos. Porém, inibidores da síntese de proteínas e RNA eliminaram a indução da atividade da isocitrato liase durante "priming", bem como reduziram os efeitos benéficos promovidos pelo tratamento sobre a germinação (Fu et al., 1988).

Sementes de pimentão osmocondicionadas em K_3PO_4 apresentaram um aumento na taxa de germinação e redução do T_{50} (tempo médio para ocorrência

de 50% de germinação), promovendo rápida e sincronizada germinação, especialmente sob temperaturas baixas (Kang et al., 1997; Sanchs et al., 1980). Soluções salinas com potencial osmótico mais negativo, que previnem a germinação durante o tratamento, resultaram em menores reduções no T_{50} . O nível de hidratação das sementes está correlacionado com o potencial osmótico da solução. Sementes incubadas em soluções com potencial hídrico alto possuem um maior conteúdo de umidade e potencialmente maior atividade metabólica (Smith e Coob, 1991a). Hegarty (1977) demonstrou maior utilização de oxigênio em sementes embebidas nas soluções de alto potencial osmótico.

Um dos efeitos do envelhecimento natural ou deterioração controlada, tem sido a perda da germinabilidade das sementes, atribuída a uma série de deficiências metabólicas que acumulam tanto na estrutura embriônica como não embriônica (Roberts, 1973; Osborne, 1983). Muitos processos moleculares e fisiológicos têm sido correlacionados com a perda de vigor das sementes, dentre os quais mutações e aberrações cromossômicas de um modo geral, perda da integridade de rRNA, diminuição do conteúdo de fosfolipídio de membrana e aumento no conteúdo de ácidos graxos, mesmo não ocorrendo intensa peroxidação lipídica (Bruggink et al., 1991, citado por Lanteri et al., 1996). Tanto dano genético quanto perda da integridade da membrana podem causar mudanças na síntese protéica durante germinação, crescimento anormal e finalmente perda da germinabilidade (Ellis e Roberts, 1981; Gidrol et al., 1990, citados por Lanteri et al., 1996).

Existem algumas discordâncias se o envelhecimento artificial produz exatamente as mesmas mudanças fisiológicas e bioquímicas que o envelhecimento natural (Betty e Finch-Savage, 1996). Segundo Kalpana e Madhava Rao (1997), a diferença entre os dois processos é que sob condições acelerada de envelhecimento, a taxa de deterioração é aumentada.

Preestley e Leopold (1991) observaram que a resposta ao "priming" está principalmente relacionada à deterioração durante armazenamento de sementes. Eles sugeriram que o envelhecimento leve poderia, não necessariamente, causar acúmulo de defeitos metabólicos do mesmo modo que condições severas de envelhecimento, sendo que estas ampliam e alteram o tipo de deterioração que ocorre durante o armazenamento normal, bem como as respostas aos tratamentos seguintes de priming.

O condicionamento osmótico reverteu os efeitos do envelhecimento precoce de sementes de soja, sendo uma evidência da reparação metabólica, já que o vigor das sementes foi aumentado em virtude da reparação de componentes celulares e da membrana celular. Tilden e West (1985) explicaram que esse mecanismo de reversão foi provavelmente metabólico e não espontâneo, pois dependeu tanto da umidade da semente como da temperatura e período de condicionamento.

Amostras de lotes de sementes de pimentão não envelhecidas e com deterioração controlada foram osmocondicionadas em PEG a $-1,1$ MPa e $-1,5$ MPa por 6, 10, ou 14 dias, a 20° C, no escuro. O "priming" em sementes não envelhecidas reduziu o tempo médio para germinação, sem afetar a porcentagem de germinação. O tratamento mais eficiente foi o de $-1,1$ MPa por 10 e 14 dias. Houve um decréscimo no desempenho das sementes com deterioração controlada por reduzir a porcentagem de germinação e aumento do tempo médio de germinação, sendo este efeito proporcional à duração do tratamento de envelhecimento. O efeito do "priming" sobre a germinação dependeu do potencial osmótico e duração do tratamento, bem como do grau de deterioração das sementes. Todos os tratamentos de osmocondicionamento em sementes envelhecidas por 4 dias reverteram completamente o efeito do envelhecimento e até proporcionaram uma redução do tempo médio para germinação semelhante ao das não envelhecidas e osmocondicionadas. Nas sementes submetidas ao

envelhecimento durante 6 dias, o "priming" teve pouca influência no aumento da porcentagem de germinação e acentuado efeito sobre o tempo médio de germinação. Nas mais envelhecidas (por 8 dias), o "priming" induziu uma maior deterioração, reduzindo a porcentagem de germinação de 29,9% para 5%. Assim, danos severos desenvolvidos na fase que precede a morte da semente são irreversíveis, sendo incapazes de efetuar processos de reparo celular eficientemente (Lanteri et al., 1996).

Segundo Lanteri et al. (1998), o declínio no vigor das sementes é precedido por queda no metabolismo relacionado à germinação, incluindo replicação de DNA. A indução de sua síntese pelo "priming" foi diretamente correlacionado com a restauração do vigor. A síntese de ácidos nucleicos é um pré-requisito para a germinação, mas parece não ser o único fator metabólico, já que houve tratamento que não induziu a replicação, mas diminuiu o tempo médio para a germinação. Osmocondicionamento realizado por longos períodos, pode afetar a viabilidade (redução da germinação). É importante ressaltar que a síntese de DNA depende tanto do potencial osmótico quanto da duração do tratamento (Bino et al., 1992; Lanteri et al., 1993) e que sementes de diferentes espécies respondem diferentemente ao tratamento (Lanteri et al., 1994).

Condicionamento osmótico antes do envelhecimento acelerado reduziu a deterioração das sementes e quando realizado após o envelhecimento, não mostrou efeito sobre a viabilidade de sementes de tomate e cebola (Jaap et al., 1996; Dearman et al., 1986). Porém, para sementes de alho porró e cenoura, houve uma redução na porcentagem e emergência das sementes quando estas foram condicionadas após o teste de envelhecimento (Derman et al., 1987).

Deterioração de sementes de pimentão durante armazenamento prolongado difere entre cultivares e é influenciada pela temperatura de armazenamento e condições de cultivo. Sementes da cultivar Yolo Wonder, armazenadas por 68 meses a 25^oC, mostraram reduzida germinação sob

condições laboratoriais e baixa emergência (17,5%). Entretanto, a 5°C mantiveram a germinação em 80%. O osmocondicionamento destas sementes antes da semeadura foi benéfico para a emergência e também dependente da viabilidade (Passam et al., 1997).

Tratamentos osmóticos com solução de PEG nas concentrações de -1,1 e -1,5 MPa melhoram a performance de sementes de pimentão, reduzindo o tempo médio para germinação. Sementes nas quais o priming induziu replicação nuclear foram mais sensíveis às condições adversas de armazenamento por consequência do conteúdo mais elevado de DNA, sujeitando-se mais a fatores indutores de mutação. Nestas sementes, os eventos germinativos estariam mais avançados, tornando-as menos resistentes a fatores deteriorativos impostos pelo armazenamento (Saracco et al., 1995).

Submeter as sementes condicionadas sob condições de estresse, bem como avaliar seu desempenho germinativo seria um bom parâmetro para determinar o benefício da técnica. Trawatha et al. (1990) recomendaram germinação sob estresse de temperatura (15°C) para prever o desempenho das sementes no campo em várias localidades e anos de cultivo.

Além do condicionamento osmótico, outro tratamento pré-germinativo muito utilizado é o de hidratação-desidratação. Este consiste na pré-embebição das sementes, antes da semeadura, em água destilada, sem nenhum soluto. Neste caso, a quantidade de água absorvida pela semente é controlada pelo período de tempo que as sementes são deixadas em contato com o substrato umedecido.

Peñaloza e Eira (1993) verificaram que os resultados obtidos pelo tratamento de hidratação-desidratação são influenciados pela cultivar e qualidade inicial do lote, e que esses tratamentos apresentaram-se como uma alternativa viável para melhorar o desempenho de lotes de sementes com qualidade intermediária.



Nath et al. (1991) verificaram que sementes de trigo submetidas a tratamentos curtos de hidratação, seguidos de secagem, permitiram a manutenção da viabilidade durante o armazenamento. Tratamentos de hidratação mais longos, aplicados antes do armazenamento, aceleraram a deterioração das sementes, porém foram efetivos em restaurar a taxa de germinação após armazenamento. Os autores concluíram que nem todos os aspectos da deterioração em sementes de trigo são irreversíveis, e que as perdas de vigor e de viabilidade nas sementes não são necessariamente características do mesmo processo do metabolismo de germinação.

Pôde-se observar que informações sobre a técnica de condicionamento osmótico em sementes de pimentão armazenadas por longos períodos e de baixa germinação são bastante escassas, necessitando de estudos que definam a melhor temperatura, período e método de condicionamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Sementes e na casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (MG), utilizando sementes de pimentão Yolo Wonder (Empresa de Sementes HORTICERES), lote número 111093, safra de 1991, com germinação inicial de 91%. As sementes tratadas com Captan a 0,15% via úmida permaneceram armazenadas em câmara fria e seca no período de outubro de 1991 a fevereiro de 1996, e depois foram transferidas para latas herméticas, onde permaneceram sob condições ambiente até abril de 1998, com germinação de 69%. As sementes foram acondicionadas em papel multifoliado (1,5 Kg de sementes) e enviadas para o setor de Sementes da UFLA, onde permaneceram armazenadas sob condição de baixa temperatura ($\pm 15^{\circ}\text{C}$) e baixa umidade relativa ($\pm 50\%$). Antes da instalação de cada experimento, as sementes foram retiradas da câmara em quantidades suficientes, permanecendo em equilíbrio higroscópico por 24 horas sob condições ambiente. Foi realizado o teste de sanidade utilizando o método do papel de filtro com 2,4 D (Machado, 1988), e não houve incidência de microrganismos.

3.1. Experimento 1. Temperatura e período de condicionamento osmótico sobre a germinação e vigor de sementes de pimentão.

3.1.1. Condicionamento osmótico em diferentes temperaturas e períodos

Da amostra de sementes armazenadas em câmara fria, foi retirada uma subamostra de tamanho suficiente para este experimento. Metade das sementes foram lavadas em água corrente por 3 minutos, enxaguadas em água destilada e secas superficialmente antes do condicionamento osmótico, e as remanescentes

não foram previamente lavadas. Com este procedimento, pretendeu-se avaliar o possível efeito fitotóxico do fungicida sobre a germinação posterior das sementes. A umidade inicial foi, respectivamente, de 6,7% e 8,1% para as sementes não lavadas e para as lavadas, secadas superficialmente. As sementes, com peso inicial determinado, foram distribuídas em caixas tipo "gerbox", sobre duas folhas de papel mata borrão, umedecidas com solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, na proporção de 3:1 (ml de solução: g de papel), num total de 0,81 g de sementes por gerbox (± 100 sementes). As concentrações de PEG 6000 para a obtenção do potencial osmótico de -1,1MPa, nas diferentes temperaturas, estão indicadas na Tabela 1 (Michel e Kaufmann, 1973; Villela et al., 1991).

TABELA 1 - Quantidade de PEG 6000 para preparação das soluções osmóticas no potencial de -1,1 MPa¹ nas diferentes temperaturas.

Temperatura de condicionamento	Concentração (g/l)
5° C	268,300
15° C	288,168
20° C	299,288
25° C	311,332

¹ 1 MPa = 9,87 atm = 10 bar

As caixas foram colocadas nas câmaras de germinação tipo BOD, na ausência de luz, e reguladas para as temperaturas de 5, 15, 20 e 25°C, permanecendo por períodos de 4, 8, 12 e 16 dias.

Após completarem cada período nas diferentes temperaturas, as sementes foram retiradas da solução e uma amostra foi tomada para a determinação do grau de umidade. As restantes foram enxaguadas em água corrente por aproximadamente 3 minutos e, por último, em água destilada. Além de serem secas superficialmente com papel toalha, as sementes permaneceram sobre bancada, em camada única sobre papel, por aproximadamente 24 horas,

até atingirem o peso original. Os tratamentos nos quais ocorreram mais de 5% de germinação não foram avaliados quanto à qualidade fisiológica.

Para comparação das sementes osmocondicionadas, utilizou-se uma testemunha (semente seca, sem qualquer tratamento de embebição).

3.1.2. Determinação do grau de umidade

Após cada tratamento, três repetições de 100 sementes foram colocadas em recipientes de alumínio (diâmetro de 4 centímetros), pesadas e secas à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por 17 ± 1 hora, conforme as Regras para Análises de Sementes (Brasil, 1992). Os resultados foram expressos em porcentagem média de umidade.

3.1.3. Teste de germinação

Foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. Cada repetição foi distribuída em gerbox contendo duas folhas de papel mata borrão umedecidas com água destilada na proporção de 3,0 ml:1g de papel. As sementes permaneceram nas câmaras de germinação à $20-30^{\circ}\text{C}$ por 16/8 horas (escuro / luz), respectivamente. A avaliação foi feita no vigésimo primeiro dia, seguindo as prescrições das Regras para Análises de Sementes (Brasil, 1992).

3.1.4. Porcentagem, índice de velocidade e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular

Realizado conjuntamente com o teste de germinação. As contagens do número de sementes germinadas (protusão radicular de no mínimo 1 mm de

comprimento) foram realizadas em dias alternados durante 21 dias. O resultado foi dado em porcentagem.

Posteriormente, foi calculado o índice de velocidade de protusão radicular, de acordo com a fórmula de Maguire (1962), citado por Viera e Carvalho (1994):

$$IVPR = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

onde:

IVPR = índice de velocidade de protusão radicular;

G1, G2, ... Gn = número de sementes com radículas emergidas, computadas na primeira contagem, segunda contagem, . . . , última contagem;

N1, N2, ... Nn = número de dias de semeadura à primeira, segunda, . . . , última contagem.

O tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular foi calculado a partir da porcentagem de emissão da radícula (somatório do número de sementes que emitiram radícula com comprimento superior a 1 mm), e através de interpolação foi calculado o tempo necessário para 50% da protusão total.

3.1.5. Teste de germinação sob estresse térmico

Conduzido de forma semelhante ao item 3.1.3, porém à temperatura de 15°C constante. A avaliação das plântulas normais foi feita aos 31 dias após a instalação do teste, seguindo os critérios prescritos nas Regras para Análises de Sementes (Brasil, 1992).

3.1.6. Porcentagem, índice de velocidade e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico

Realizado conjuntamente com o teste de germinação a 15°C (item 3.1.5). As contagens do número de sementes germinadas (protusão radicular de no mínimo 1 mm de comprimento) foram realizadas em dias alternados durante 31 dias, sendo calculados, posteriormente, o índice de velocidade e o tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular, como prescritos no item 3.1.4.

3.1.7. Condutividade elétrica

Quatro repetições de 50 sementes, aparentemente intactas, foram selecionadas e pesadas (0,001g) para cada tratamento. Em seguida, foram imersas em 50 ml de água destilada por 24 horas, à temperatura constante de 25°C. Com um condutivímetro de massa, marca DIGIMED, modelo CD 21A, foi efetuada a leitura em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os resultados expressos com base no peso da amostra (Vieira e Carvalho, 1994; Torres, 1996).

Fórmula para transformação:

$$\text{Condutividade } (\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}) = \frac{\text{Condutividade lida} - \text{condutividade da água}}{\text{Peso das 50 sementes (g)}}$$

3.1.8. Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, num esquema fatorial (4 x 3 x 2) + 6, sendo quatro períodos de condicionamento osmótico (4, 8, 12 e 16 dias), três temperaturas (5, 15 e 20°C) e dois tipos de

preparo das sementes (previamente lavadas e não lavadas), mais seis tratamentos adicionais (sementes secas; sementes lavadas, condicionadas à 25°C por 4 e 8 dias; sementes não lavadas, condicionadas a 25°C por 4, 8 e 12 dias). Somente a determinação do grau de umidade foi realizada com três repetições, os demais testes com quatro. Os dados obtidos foram interpretados por meio de análise de variância.

Para os fatoriais, os efeitos da temperatura e período de condicionamento foram avaliados por meio de análise de regressão, mediante uma superfície de resposta. Substituindo os valores das temperaturas no modelo de superfície de resposta, obteve-se uma curva de resposta em função do período de condicionamento. As médias obtidas dos tratamentos adicionais foram comparados entre si e com o melhor tratamento fatorial pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os dados das variáveis, expressos em porcentagem de germinação, foram submetidos ao teste de homogeneidade de variância (Teste de Hartley), indicando a não necessidade de transformação dos dados para a análise.

3.2. Experimento 2: Influência de métodos de condicionamento osmótico, utilizando KNO₃ e PEG 6000, sobre a qualidade fisiológica e bioquímica de sementes de pimentão.

3.2.1. Tratamentos utilizados

As sementes, com umidade inicial de 6,4%, foram condicionadas em solução aerada de PEG 6000; KNO₃; e PEG 6000 + KNO₃, num potencial osmótico de -1,1 MPa. O cálculo da concentração de PEG 6000 foi baseado na equação de Michel e Kaufmann (1973), descrito por Villela et al. (1991), e a concentração do sal KNO₃, de acordo com a equação de Van't Hoff (Hillel,

1971). Na Tabela 2 estão indicadas as concentrações dos produtos para a preparação das soluções.

Amostras de 25 g de sementes foram colocadas num balão volumétrico de capacidade de 1000 ml contendo 625 ml da solução osmótica correspondente a cada tratamento. As sementes foram osmocondicionadas durante 8 dias em câmara de germinação a 25°C, em ausência de luz. A aeração das soluções foi feita com o auxílio de compressor de ar para aquário, adaptando-se duas saídas para cada aparelho, cada saída para um tratamento. Após 8 dias, as sementes foram retiradas da solução e foi tomada uma amostra para determinação do grau de umidade. Para o estudo da germinação e vigor, as sementes foram enxaguadas e secas como citado no experimento 1, e aquelas destinadas às análises enzimáticas foram enxaguadas e secas superficialmente, congeladas e posteriormente liofilizadas.

TABELA 2 - Concentrações das soluções osmóticas a 25°C (298°K), para obtenção do potencial osmótico de -1,1MPa.

Soluções osmóticas	Concentração (g/l de água)
PEG 6000	311,332
KNO ₃	26,083 (258 mM)
PEG 6000 + KNO ₃	213,139 + 13,041 (129 mM)

Para comparação das sementes osmocondicionadas por imersão foram utilizadas sementes secas, sem tratamento de embebição, e sementes condicionadas sobre papel umedecido com solução de PEG 6000 a -1,1MPa, nas mesmas condições (25°C/ 8 dias).

3.2.2. Determinação do grau de umidade

Foi utilizada a mesma metodologia descrita no item 3.1.2.

3.2.3. Teste de germinação; porcentagem, índice de velocidade e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular

A metodologia utilizada na condução e avaliação destes testes foi a mesma descrita nos itens abordados anteriormente, 3.1.3 e 3.1.4, respectivamente, diferindo apenas nas avaliações, que foram realizadas diariamente, por um período de 14 dias.

3.2.4. Primeira contagem do teste de germinação

Aos sete dias da instalação do teste de germinação foram realizadas as avaliações das plântulas normais seguindo critérios estabelecidos pela Regras para Análises de Sementes (Brasil, 1992). Os resultados médios foram expressos em porcentagem.

3.2.5. Comprimento de plântula

Este teste foi realizado em gerbox, empregando quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento. As sementes foram semeadas com a radícula voltada para baixo, no terço superior do papel mata borrão pré-umedecido. Cada repetição foi distribuída em dois gerbox, que foram posicionados de maneira a formar um ângulo de 45° com a grade da câmara de germinação. As condições do teste foram as mesmas adotadas no item 3.1.3. Aos 7 dias, as plântulas normais foram medidas, obtendo-se o comprimento total. A média dos resultados foi expressa em mm .

3.2.6. Emergência e índice de velocidade de emergência de plântula

Foram semeadas cinquenta sementes por repetição, perfazendo um total de quatro repetições para cada tratamento, em bandejas de isopor com 128 células e tamanho 66 x 34 x 5,5 cm . O substrato utilizado foi uma mistura de plantimax com casca de arroz carbonizado, numa proporção de 3:1, respectivamente. Como a avaliação se restringia somente até a emergência, foram semeadas duas sementes em cada célula, numa profundidade de 1 cm, tendo o cuidado da não interferência no desenvolvimento de uma sobre a outra. As bandejas permaneceram em casa de vegetação com sistema de irrigação por nebulização e as temperaturas máximas e mínimas foram anotadas (Tabela 5A). As contagens das plântulas com cotilêdones acima do solo foram feitas diariamente até 14 dias após a instalação do teste.

Posteriormente, foi calculado o índice de velocidade de emergência de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962), citado por Vieira e Carvalho (1994).

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn}$$

onde:

IVE = índice de velocidade de emergência

E1, E2, ... En = número de plântulas emergidas, computadas na primeira contagem, segunda contagem, ... , última contagem.

N1, N2, ... Nn = número de dias de semeadura à primeira, segunda, ... , última contagem.

3.2.7. Condutividade elétrica

Quatro repetições de 50 sementes aparentemente intactas foram selecionadas e pesadas (0,001g) para cada tratamento. Em seguida, foram imersas em 25 ml de água destilada por 24 horas à temperatura de 25°C e os resultados expressos em $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ de sementes (Marcos Filho, 1998).

3.2.8. Análise enzimática

Foi utilizada a técnica da eletroforese para o acompanhamento da qualidade das sementes, através da detecção de alterações nos padrões isoenzimáticos específicos. Foi avaliada atividade das isoenzimas catalase (CAT-sistema de membrana) e glucose-6-fosfato desidrogenase (G6P - rota das pentoses fosfato).

Para análise eletroforética de isoenzimas, foram utilizadas aproximadamente 14g de sementes para cada tratamento, previamente liofilizadas, trituradas a frio em moinho refrigerado a 4°C e armazenadas em "deep freezer" a -86°C.

Para a extração das enzimas, 100 mg do pó das sementes referente a cada tratamento foram ressuspensos em 300 μl do tampão de extração (Tris HCl 0,2 M, pH 8,0 + 0,1% de β mercaptoetanol, 0,4% de polivivipirrolidone, 0,4% de polietilenoglicol e 1 mM EDTA). As amostras ficaram incubadas no gelo e permaneceram em geladeira por 12 horas. Após este período, foram centrifugadas a 14000 $\times g$ por 60 minutos a 4°C. Quarenta microlitros do sobrenadante de cada tratamento foram aplicados em géis de poliácridamida a 4,5% (concentrador) e 7,5% (separador) e a corrida eletroforética foi realizada a 150V. A revelação para os sistemas isoenzimáticos CAT e G6P foi conduzida segundo metodologia de Alfenas (1991).

3.2.9. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado nos testes de laboratório e casa de vegetação foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, com exceção da umidade, em que foram utilizadas três repetições.

Os dados foram interpretados estatisticamente por meio da análise de variância, com exceção da análise eletroforética, e aqueles expressos em porcentagem de germinação foram transformados em arco-seno $\sqrt{\%/100}$, para efetuar a análise estatística (Gomes, 1987). As médias foram comparadas pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, e destransformadas para a apresentação dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1: Temperatura e período de condicionamento osmótico sobre a germinação e vigor de sementes de pimentão.

O resumo da análise de variância dos dados obtidos nos testes para avaliar o efeito do condicionamento osmótico conduzido em diferentes períodos e temperaturas, sobre as sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, está registrado nas Tabelas 1A e 2A.

4.1.1. Determinação do grau de umidade

As médias dos resultados obtidos na determinação do grau de umidade das sementes osmocondicionadas não foram submetidas à análise estatística e estão representadas na Tabela 3.

As sementes previamente lavadas (SL) apresentaram um conteúdo de água ligeiramente superior às sementes não lavadas (SNL), sugerindo a ocorrência de absorção de água durante a lavagem das mesmas.

Pode ser observado que no período de condicionamento de 4 dias, para todas as temperaturas estudadas, as sementes já se encontravam na fase II de embebição. Segundo Bradford (1986), em condições normais de embebição o conteúdo de água das sementes atinge um platô e estabiliza-se até emergência radicular.

Como o potencial hídrico do meio de embebição foi reduzido, o conteúdo de água das sementes permaneceu praticamente inalterado, impedindo a germinação das sementes submetidas aos diferentes períodos de embebição, nas temperaturas de 5, 15 e 20°C. Nota-se que houve um controle na hidratação das sementes, já que elas absorveram água até o ponto em que alcançaram o equilíbrio com o potencial osmótico da solução. Esses resultados reforçam os

constatados por Lanteri et al. (1996), em que o conteúdo de água atingido pelas sementes de pimentão durante “priming” a 20°C, em PEG 6000 a -1,1 e -1,5 MPa, permaneceu entre 37% e 30%, respectivamente, não ocorrendo germinação durante os 14 dias de tratamento.

Na temperatura de 25°C, o condicionamento osmótico não inibiu a germinação das sementes nos tratamentos prolongados, mostrando que a temperatura influenciou nos processos metabólicos que precedem a germinação, como mencionado por Popinigis (1985).

TABELA 3 - Médias em porcentagem do grau de umidade de sementes de pimentão cultivar Yolo Wonder, lavadas (SL) e não lavadas (SNL), submetidas ao condicionamento osmótico em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, em diferentes períodos e temperaturas UFLA, Lavras - MG, 1999.

Temperatura (°C)	Período (dias)	Umidade*	
		SL	SNL
5	4	37,9	36,6
5	8	37,8	36,1
5	12	37,2	36,9
5	16	37,8	35,8
15	4	38,0	35,7
15	8	38,0	36,5
15	12	36,6	35,7
15	16	37,5	34,2
20	4	39,7	36,5
20	8	37,9	36,1
20	12	38,6	36,4
20	16	38,4	37,2
25	4	39,2	35,9
25	8	39,5	38,4
25	12	40,2 **	38,9
25	16	38,9 ***	38,8 ****

* Média de três repetições

** 2,2% de sementes germinadas após condicionamento; 6,3% após secagem.

*** 7,2% de sementes germinadas após condicionamento.

**** 5,1% de sementes germinadas após condicionamento.

A protusão da radícula para sementes osmocondicionadas ocorreu num teor de água inferior ao das sementes embebidas em água, que foi de aproximadamente 48% , numa temperatura de 25°C (dados não mostrados), o que sugere que diferentes níveis de restrição hídrica e temperatura requerem períodos "lags" diferentes e níveis de umidade adequado para que ocorra a protusão da radícula. Esses resultados reforçam os obtidos por Bradford (1986), que relatou que o efeito primário da restrição hídrica do meio de embebição foi o aumento da fase "lag" entre a embebição e crescimento, e que no potencial de 0,0 MPa, o conteúdo de água para emergência da radícula foi maior, comparado com soluções de potenciais osmóticos mais negativos.

A redução da umidade nos tratamentos de osmocondicionamento a 25°C, no período de 16 dias, em relação aos 12 dias nas sementes lavadas, pode se explicado pelo maior número de sementes germinadas após condicionamento e que foram incluídas na determinação do grau de umidade. Como citado por Lopes (1996), a metodologia utilizada na determinação da umidade pode ser insuficiente para a secagem completa das sementes germinadas, obtendo-se valores subestimados.

4.1.2. Teste de germinação sob condição ideal de temperatura e estresse térmico

As equações de regressão para cada variável estão representadas na Tabela 3A e nas Figuras 7, 8, 9, 13 e 14 encontra-se uma curva de resposta em função do período de condicionamento.

A germinação das sementes osmocondicionadas diminuiu com a redução da temperatura de condicionamento (Figuras 1 e 2; figuras 3 e 4), independente das sementes terem sido lavadas (SL) ou não (SNL) previamente.

Os maiores incrementos na germinação, conduzida sob condição ideal de temperatura, foram obtidos quando o condicionamento foi realizado a 20°C, no período de 11,27 dias (SL) e 12,47 dias (SNL), com uma porcentagem em torno de 92% de plântulas normais, representando ganhos de 15% em relação à testemunha (Figuras 1 e 2). Estes ganhos foram bem mais expressivos quando o teste de germinação foi conduzido sob estresse térmico, com um incremento de 72% na porcentagem de plântulas normais em relação à testemunha, no período de 13,67 dias de condicionamento para as SL (Figura 3) e 16 dias para as SNL (Figura 4), diferindo dos resultados obtidos por Kennet e Sanders (1987), que detectaram maiores ganhos no percentual de germinação quando as avaliações foram realizadas sob condição ideal de temperatura. Nas SNL (Figura 4), o pico máximo de germinação (96,57%) ocorreu no período de condicionamento de 25 dias (dados calculados), com um incremento da ordem de 75% na porcentagem de plântulas normais em relação à testemunha. Esse maior período de condicionamento provavelmente se deveu ao menor conteúdo de água atingido por essas sementes durante o tratamento osmótico. Bradford (1986) citou que, para a temperatura de 20°C, 5 dias de condicionamento foram suficientes para incrementar a germinação e emergência em pimentão.

A viabilidade das sementes foi afetada negativamente pelas baixas temperaturas de condicionamento. A 5°C houve uma drástica redução da porcentagem de plântulas normais em relação à testemunha, principalmente quando o teste foi conduzido sob condições de estresse térmico (Figuras 3 e 4). Estes resultados estão de acordo com Nascimento (1998), que comenta que a temperatura utilizada no condicionamento osmótico geralmente é aquela requerida para a germinação da espécie, pois segundo Carvalho e Nakagawa (1988), temperaturas mais elevadas aceleram as reações químicas envolvidas nos processos germinativos.

A temperatura de condicionamento de 15°C não incrementou a porcentagem de germinação (Figuras 1 e 2), porém, quando o teste foi conduzido sob condição de estresse térmico, a porcentagem de plântulas normais foi superior à testemunha a partir de 8 dias de condicionamento (Figuras 3 e 4). Vale ressaltar que, além da temperatura, a duração do tratamento também foi um fator importante para otimizar o efeito do pré-condicionamento.

Os resultados contidos nas Tabelas 4 e 5 indicam que as médias da porcentagem de plântulas normais dos melhores tratamentos de condicionamento conduzidos a 20°C não diferiram significativamente entre si.

O tratamento de pré-condicionamento realizado durante 12 dias, à temperatura de 25°C, para as sementes não lavadas (Tabela 4), tendeu a ser o de pior desempenho, igualando-se à média da testemunha quando o teste de germinação foi conduzido sob condição ideal de temperatura. Isto não foi constatado quando a temperatura de condicionamento reduziu para 20°C, por um período de tempo semelhante. Porém, quando a germinação foi conduzida sob condição de estresse térmico (Tabela 5), houve necessidade de um maior período de contato das sementes com a solução osmótica a 20°C para um maior incremento na porcentagem de plântulas normais. Os tratamentos conduzidos a 20°C por 16 dias (SNL) e 14 dias (SL), e a 25°C por 8 dias de condicionamento, apresentaram-se superiores e não diferiram significativamente entre si.

O coeficiente de variação (Tabela 1A) foi de 24,89% para o teste de germinação sob condição de estresse térmico, o que sugere que o condicionamento osmótico não foi eficiente para uniformizar o vigor das sementes. Todos os demais testes conduzidos sob condição de estresse térmico foram realizados conjuntamente com o teste de germinação sob a mesma condição de temperatura, porém seus coeficientes de variação (cv) foram inferiores.

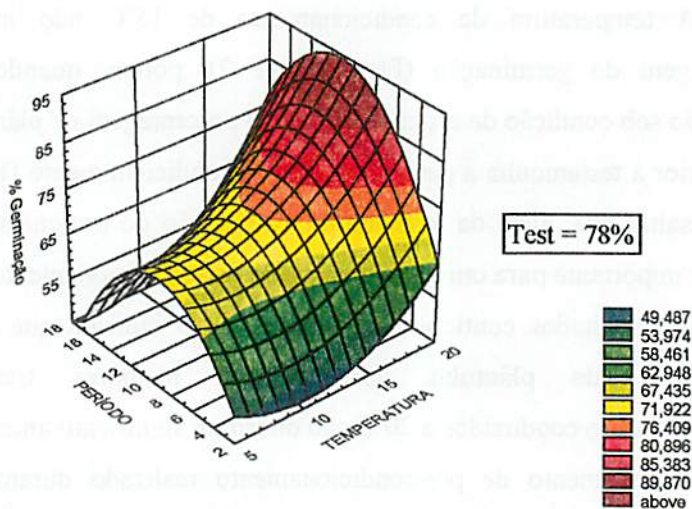


FIGURA 1 – Estimativa da porcentagem de germinação de sementes de pimentão, previamente lavadas, em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

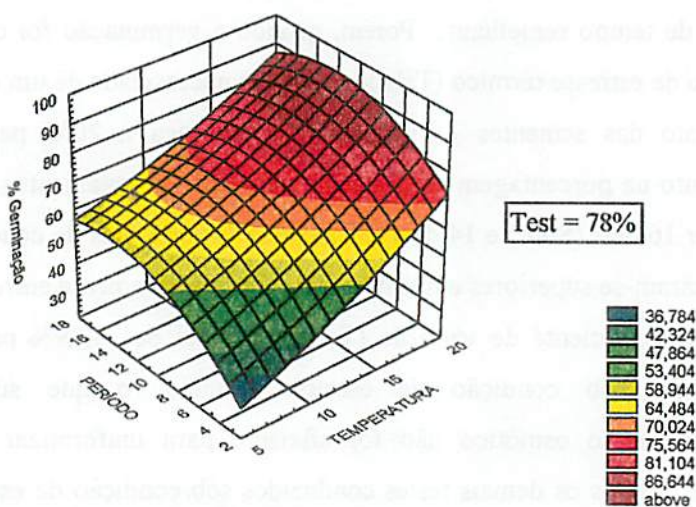


FIGURA 2 – Estimativa da porcentagem de germinação de sementes de pimentão, não lavadas, em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

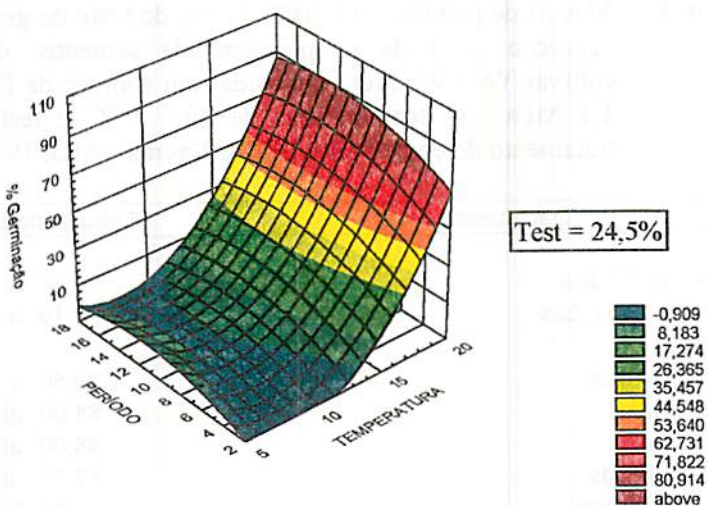


FIGURA 3 – Estimativa da porcentagem de germinação sob estresse térmico de sementes de pimentão, previamente lavadas, em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

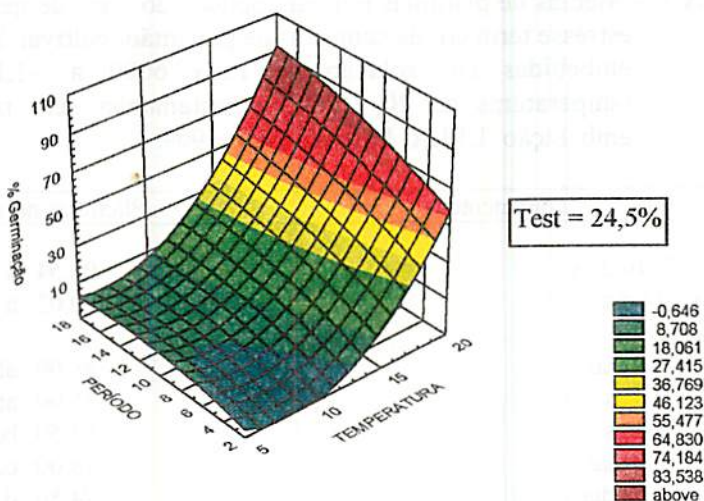


FIGURA 4 – Estimativa da porcentagem de germinação sob estresse térmico de sementes de pimentão, não lavadas, em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

TABELA 4 – Médias de plântulas normais obtidas do teste de germinação sob condição ideal de temperatura, de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Plântulas normais (%)
Fatoriais	
SL, 20°C, 11,27 dias	94,36 a
SNL, 20°C, 12,47 dias	92,19 a
Adicionais	
SNL, 25°C, 4 dias	89,50 a
SL, 25°C, 4 dias	88,00 ab
SL, 25°C, 8 dias	88,00 ab
SNL, 25°C, 8 dias	87,50 ab
SNL, 25°C, 12 dias	81,00 bc
Testemunha	78,00 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

TABELA 5 – Médias de plântulas normais obtidas do teste de germinação sob estresse térmico, de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Plântulas normais (%)
Fatoriais	
SNL, 20°C, 16 dias	90,54 a
SL, 20°C, 14 dias	90,02 a
Adicionais	
SNL, 25°C, 8 dias	88,00 ab
SL, 25°C, 8 dias	85,00 abc
SL, 25°C, 4 dias	83,50 bc
SNL, 25°C, 4 dias	78,00 cd
SNL, 25°C, 12 dias	74,50 d
Testemunha	24,50 e

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

No entanto, o condicionamento osmótico reverteu os efeitos do envelhecimento, sendo evidente a reparação metabólica, já que houve um incremento na porcentagem de plântulas normais, principalmente sob condições de estresse. Esse incremento variou com a temperatura e período de condicionamento, reforçando resultados de Tilden e West (1985).

4.1.3. Porcentagem de protusão radicular sob condição ideal de temperatura e estresse térmico

O condicionamento osmótico realizado na temperatura de 20°C foi superior aos de 5 e 15°C, proporcionando 93,16% de protusão radicular aos 11,35 dias, a partir dos quais foi detectada uma tendência de menor protusão, apesar de se ter mantido superior à testemunha (Figura 5). Os tratamentos a partir de 15-16 dias de condicionamento, na temperatura de 15°C, não propiciaram ganhos na emissão de radícula, e para a temperatura de 5°C esse fato se deu a partir de 9-10 dias. Essa influência do período de condicionamento também foi mencionada por Smith e Cobb (1991a) e Ely e Heydecker (1981), que afirmaram que a duração do tratamento deve ser aquela que garanta o efeito máximo do “priming”, sem reverter o efeito benéfico alcançado pela técnica.

Na germinação sob condição de estresse (Figura 6), o efeito do condicionamento foi mais evidente, com valores máximos de protusão radicular de 93,51, 78,49 e 52,95% aos 12,16; 11,32 e 9,63 dias de condicionamento nas temperaturas de 20, 15 e 5°C, respectivamente. Esses resultados contradizem os obtidos por Giulianini et al. (1992), em que nenhum aumento na viabilidade foi verificada mesmo sob condições de estresse térmico, e estão de acordo com os obtidos por Pill et al. (1991) e Heydecker et al. (1975), em que os maiores incrementos na porcentagem final de protusão radicular foram verificados na temperatura mais baixa de germinação. O tratamento realizado a 5°C afetou

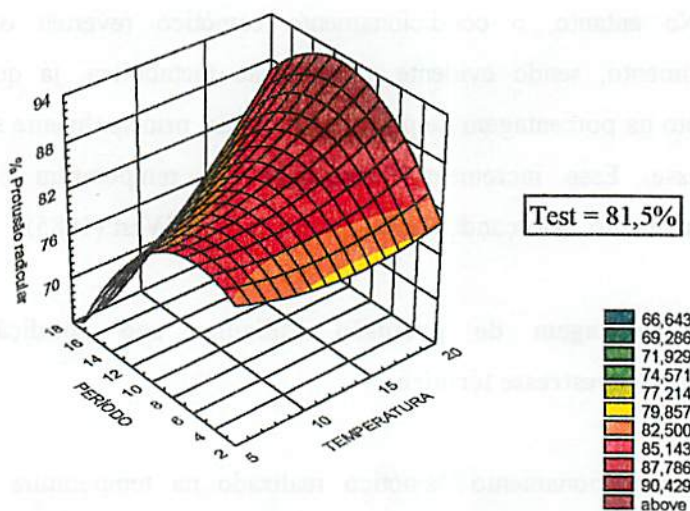


FIGURA 5 – Estimativa da porcentagem de protusão radicular de sementes de pimentão em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

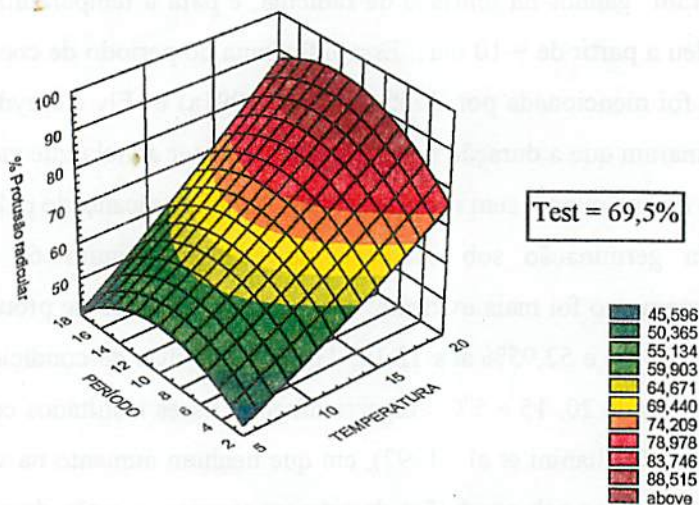


FIGURA 6 – Estimativa da porcentagem de protusão radicular sob estresse térmico de sementes de pimentão em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

negativamente a capacidade germinativa das sementes, discordando de Copeland e McDonald (1995), que afirmaram que temperaturas mais baixas de condicionamento propiciam melhores resultados.

De uma maneira geral, a dormência induzida pelo estresse térmico foi superada pelo osmocondicionamento. Vale ressaltar que houve uma tendência dos tratamentos de condicionamento serem iguais entre si e superiores à testemunha (Tabelas 6 e 7). Comparando estes resultados com os obtidos no teste de germinação (Tabela 4 e 5), observa-se que houve uma semelhança em detectar os tratamentos que proporcionaram um melhor desempenho das sementes, com exceção da porcentagem de protusão radicular obtida pelas sementes osmocondicionadas na temperatura de 20°C (Tabela 7), em que um menor período de condicionamento foi requerido em relação àquele indicado pela porcentagem de plântulas normais (Tabela 5). Os valores da porcentagem de plântulas normais do teste de germinação foram inferiores à porcentagem de

TABELA 6 – Médias da protusão radicular sob condição ideal de temperatura de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Protusão radicular (%)
Fatoriais	
20°C, 11,35 dias	93,16 a
Adicionais	
SNL, 25°C, 4 dias	92,00 a
SL, 25°C, 4 dias	91,00 a
SL, 25°C, 8 dias	89,50 ab
SNL, 25°C, 8 dias	88,00 ab
SNL, 25°C, 12 dias	86,00 ab
Testemunha	81,50 bc

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

TABELA 7 - Médias da protusão radicular sob estresse térmico de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Protusão radicular sob estresse térmico (%)
20°C, 12,16 dias (fatorial)	93,51 a
Adicionais	
SNL, 25°C, 8 dias	93,00 a
SL, 25°C, 8 dias	89,50 a
SL, 25°C, 4 dias	89,00 a
SNL, 25°C, 4 dias	88,00 a
SNL, 25°C, 12 dias	86,50 a
Testemunha	69,50 b

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

protusão radicular, principalmente sob condições de estresse térmico (Tabelas 5 e 7), o que ressalta a importância de se considerar o estágio de plântula normal para se detectar os reais ganhos pelo uso da técnica.

4.1.4. Índice de velocidade de protusão radicular sob condição ideal de temperatura e estresse térmico

Diferenças entre os tipos de preparo das sementes (SL e SNL) foram detectadas quando o teste de germinação foi conduzido sob condições de estresse de temperatura (Tabela 1A), ressaltando, no entanto, a mesma tendência de comportamento de ambos os tipos nas diferentes temperaturas de condicionamento.

Pelas Figuras 7, 8 e 9 pode ser observado que a velocidade de protusão radicular não foi incrementada quando o condicionamento foi realizado a 5°C. Na temperatura de 15°C, somente próximo aos 8 dias de condicionamento é que houve um incremento em relação à testemunha, tanto no teste conduzido sob condição ideal de temperatura quanto sob estresse térmico. A superioridade do

tratamento conduzido a 20°C pôde ser constatada nos diversos períodos de condicionamento, detectados pelo índice de protusão radicular. Resultados semelhantes foram obtidos por Lanteri et al. (1998), em que o condicionamento osmótico em solução de PEG 6000 a 20°C, durante 12 dias, também aumentou a velocidade de germinação de sementes de pimentão. O maior índice de velocidade de protusão radicular foi de 18,28 aos 19,29 dias (dados calculados), quando o teste foi conduzido sob condição ideal de temperatura (Figura 7). Vale ressaltar que o maior tempo estudado foi de 16 dias, quando foi detectado um índice de protusão radicular de 17,83 e um incremento de 74% em relação à testemunha. Nas temperaturas de 5 e 15°C os índices máximos de velocidade de protusão radicular foram de 4,69 e 7,61 nos períodos de 7,96 e 15,52 dias de condicionamento, respectivamente. Estes resultados diferem dos obtidos por Liu (1994), que detectou aumento na taxa germinativa quando as sementes foram osmocondicionadas a 5°C.

Em germinação sob condições de estresse térmico (Figuras 8 e 9), os índices máximos de protusão radicular alcançados foram de 12,16 aos 23,10 dias de condicionamento para as SL (dados calculados), e de 11,93 aos 29,72 dias de condicionamento para as SNL (dados calculados), o que representa uma superioridade, em relação à testemunha, de 87% aproximadamente, incremento esse superior ao obtido quando o teste de germinação foi conduzido sob condições ideais de temperatura (Figura 7). Resultados semelhantes foram verificados por Heydecker et al. (1975); Eira (1988); Pill et al. (1991) e Nascimento (1998). Dentro do limite de 16 dias de condicionamento, foram alcançados índices de 11,10 e 9,58 para as SL e SNL, respectivamente, representando ganhos superiores a 83% em relação à testemunha. O incremento inicial na velocidade de germinação foi dependente não só de temperatura mais elevada, como de um maior período de permanência das sementes na solução osmótica. Nas temperaturas de condicionamento de 5 e 15°C, os maiores índices

de velocidade de protusão radicular para as SL (Figura 8) foram, respectivamente, 1,72 (no período de 8,45 dias de condicionamento) e 3,98, aos 18,21 dia (dados calculados). Para as SNL (Figura 9), esse índice foi de 1,34 (aos 6,32 dias de condicionamento) e 4,18 no período de 21,92 dias (dados calculados), nas temperaturas de condicionamento de 5 e 15°C, respectivamente.

As maiores médias do índice de velocidade de protusão radicular foram atingidas pelos tratamentos de condicionamento realizado a 25°C nos períodos mais prolongados (8 e 12 dias), sendo que o tratamento conduzido durante 8 dias, nas SNL, apresentou uma superioridade de 77% e 91% em relação à testemunha, sob condição de temperatura ideal e sob estresse térmico, respectivamente (Tabelas 8 e 9). Lanteri et al. (1996), utilizando o período de 14 dias de condicionamento na temperatura de 20°C, reduziram o tempo gasto para a germinação de sementes de pimentão submetidas ao envelhecimento artificial.

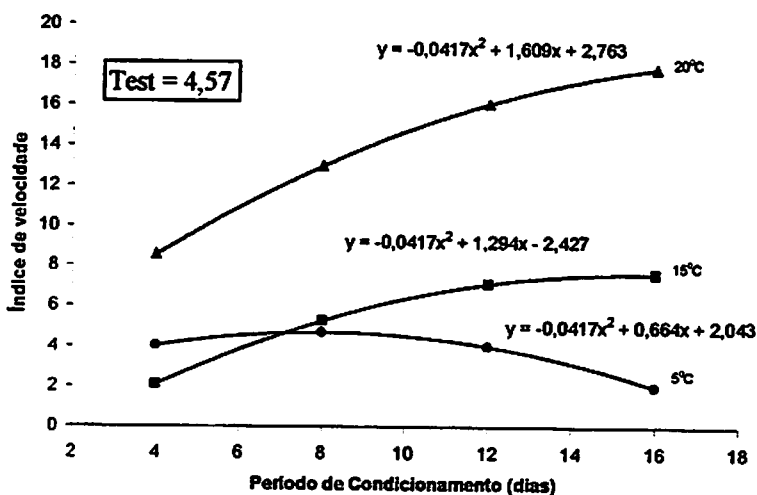


FIGURA 7 - Estimativa do índice de velocidade de protusão radicular de sementes de pimentão em função da período de condicionamento em solução de PEG 6000 a -1.1 MPa nas temperaturas de 5, 15 e 20°C. UFLA, Lavras - MG, 1999.

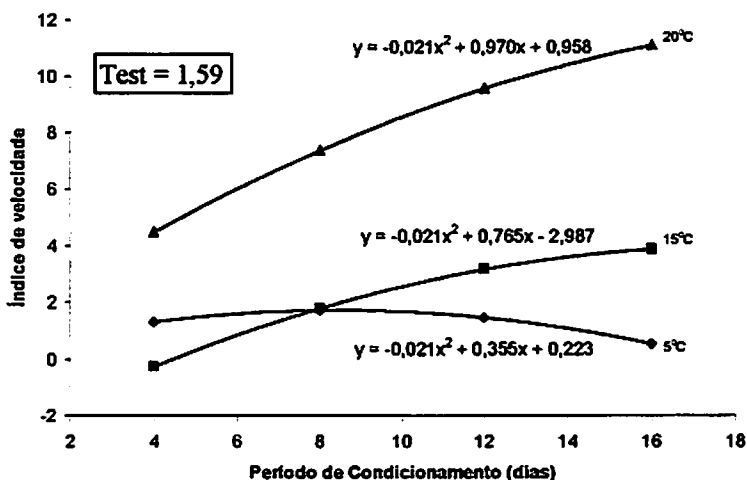


FIGURA 8 - Estimativa do índice de velocidade de protusão radicular sob estresse térmico de sementes de pimentão, previamente lavadas, em função do período de condicionamento em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa nas temperaturas de 5, 15 e 20°C. UFLA, Lavras – MG, 1999.

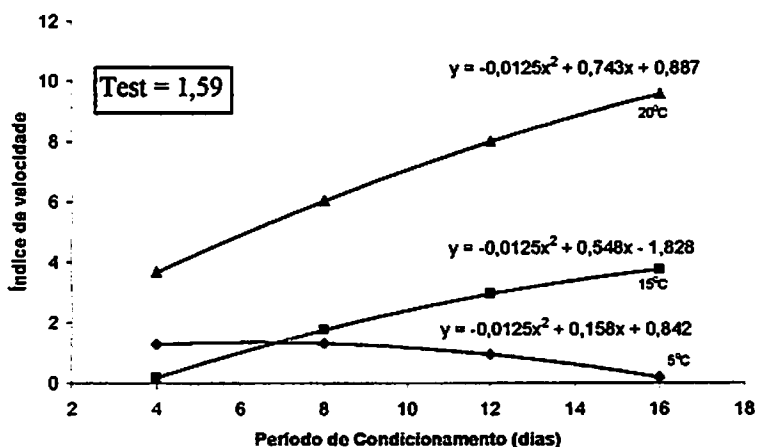


FIGURA 9 – Estimativa do índice de velocidade de protusão radicular sob estresse térmico de sementes de pimentão, não lavadas, em função do período de condicionamento em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa nas temperaturas de 5, 15 e 20°C. UFLA, Lavras – MG, 1999.

TABELA 8 – Médias do índice de velocidade de protusão radicular sob condição ideal de temperatura, de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Índice de velocidade de protusão radicular
SNL, 25°C, 8 dias	20,00 a
SL, 25°C, 8 dias	19,24 a
SNL, 25°C, 12 dias	18,88 a
20°C, 16 dias (fatorial)	17,83 a
SNL, 25°C, 4 dias	10,20 b
SL, 25°C, 4 dias	9,76 b
Testemunha	4,57 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

TABELA 9 – Médias do índice de velocidade de protusão radicular sob estresse térmico, de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Índice de velocidade de protusão radicular sob estresse térmico
SNL, 25°C, 8 dias	17,11 a
SL, 25°C, 8 dias	15,64 ab
SNL, 25°C, 12 dias	15,26 b
Fatoriais	
SL, 20°C, 16 dias	11,10 c
SNL, 20°C, 16 dias	9,58 d
SNL, 25°C, 4 dias	4,72 e
SL, 25°C, 4 dias	4,61 e
Testemunha	1,59 f

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

Entre os tratamentos osmóticos, o período de condicionamento de 4 dias, à temperatura de 25°C, foi o que proporcionou um menor incremento na velocidade de protusão radicular, tanto sob condição ideal de temperatura como sob estresse térmico.

Os melhores tratamentos realizados a 20°C diferiram significativamente entre si, sugerindo que a maior umidade atingida após condicionamento pelas SL contribuiu para um melhor desempenho das sementes quando estas foram germinadas sob condição de estresse térmico (Tabela 9).

4.1.5. Tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob condição ideal de temperatura e estresse térmico

Diferenças significativas em relação ao tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular entre sementes lavadas e não lavadas previamente ao condicionamento osmótico foram detectadas quando o teste de germinação foi conduzido sob condição ideal de temperatura (Tabela 1 A). Vale ressaltar a mesma tendência de comportamento, para os dois tipos de preparo das sementes, detectada por outros testes de avaliação da qualidade fisiológica (Figuras 10 e 11).

O tempo gasto para que ocorra 50% de protusão radicular (T_{50}) aumenta para aquelas sementes osmocondicionadas em menores temperaturas (Figuras 10, 11 e 12). O valor mínimo de T_{50} (1,70) foi para sementes osmocondicionadas na temperatura de 20°C, no período de 16,19 dias (SL), e de 1,74 para aquelas osmocondicionadas por um período de 12,64 dias (SNL), apresentando uma superioridade de 78% em relação à testemunha (Figuras 10 e 11).

Quando se determinou o T_{50} sob condição de estresse (Figura 12) em sementes osmocondicionadas na temperatura de 20°C, por 19 dias (dados calculados), foi obtido o valor mínimo de T_{50} de 2,51. Já para sementes

osmocondicionadas por 16 dias, esse valor foi 2,91, representando um incremento de 86% em relação à testemunha. Esses resultados ressaltam o efeito benéfico do condicionamento osmótico sobre o vigor das sementes, evidenciado quando as sementes são germinadas sob condições de estresse, fato também detectado por Heydecker et al. (1975); Eira (1998); Pill et al. (1991) e Nascimento (1998).

Foram necessários aproximadamente 10 dias de condicionamento (na temperatura de 5°C) e 12-13 dias (temperatura de 15°C) para que o T_{50} atingisse seu menor valor, em torno de 9,77 e 6,81 para as SL e 8,28 e 6,14 para as SNL, respectivamente (Figuras 10 e 11). Quando o teste foi efetuado sob condições de estresse, o T_{50} mínimo das sementes osmocondicionadas nas temperaturas de 5 e 15°C foi de 21,78 (aos 10,33 dias de condicionamento) e 14,41 (no período de 16,14 dias).

Para todos os períodos de condicionamento conduzidos a 20°C foi observado um aumento na taxa germinativa, o que não aconteceu na temperatura mais baixa, em que nenhum incremento foi constatado. Lanteri et al. (1996) obtiveram um incremento na velocidade de germinação da ordem de 60% em relação à testemunha quando sementes de pimentão submetidas ao envelhecimento, foram osmocondicionadas a 20°C. Furutani et al. (1986), utilizando as temperaturas de 10 e 24°C de condicionamento para sementes de cebola, obtiveram o maior incremento no T_{50} com a temperatura mais baixa.

Em sementes osmocondicionadas na temperatura de 15°C, por um período a partir de 8 dias, foi constatado um incremento na velocidade de germinação em relação à testemunha apenas no teste conduzido sob condição de estresse térmico.

Pode ser notado que o período de condicionamento que determinou a melhor performance das sementes variou de acordo com a temperatura durante o tratamento, fato detectado por todos os testes conduzidos para avaliação da

qualidade fisiológica das sementes. Na temperatura de 20°C foram necessários períodos maiores, diferindo das temperaturas mais baixas de condicionamento, em que a permanência das sementes na solução osmótica deve ser menor para que os benefícios com a técnica venham a ocorrer. Esses resultados contradizem os de Zheng et al. (1994), que verificaram a necessidade de ampliar o tempo de contato das sementes de canola na solução osmótica conduzida sob temperatura baixa.

Não houve diferenças entre os tratamentos de condicionamento osmótico realizados a 25°C nos períodos a partir de 8 dias; e 4 dias de condicionamento foi o período que propiciou menores incrementos no T₅₀. Porém, todos os tratamentos foram superiores à testemunha (Tabelas 10 e 11). O tratamento realizado a 25°C durante 8 dias, nas SNL, aumentou a velocidade de emissão de radícula em torno de 85% (Tabela 10) e de 92% (Tabela 11) em relação à testemunha, que atingiu 50% da emissão radicular sob condição de estresse térmico somente aos 20 dias após instalação do teste.

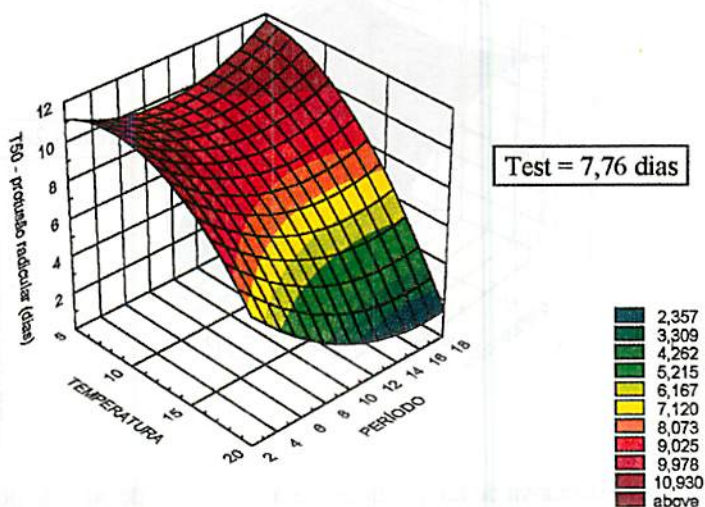


FIGURA 10 – Estimativa do tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular de sementes de pimentão, previamente lavadas, em função da temperatura (°C) e período (dias) de condicionamento em solução osmótica de PEG 6000 a -1,1 MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

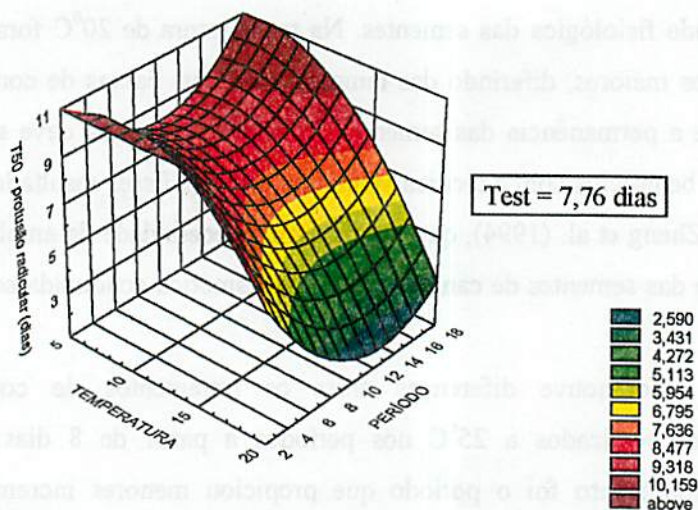


FIGURA 11 – Estimativa do tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular de sementes de pimentão, não lavadas, em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução osmótica de PEG 6000 a -1,1 MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

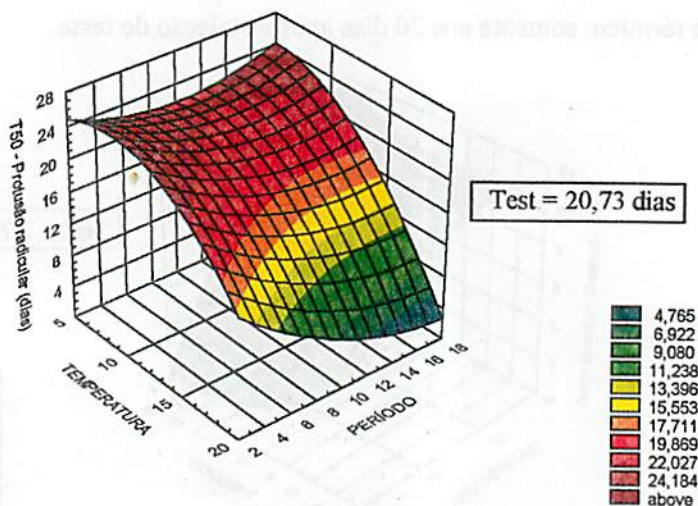


FIGURA 12 – Estimativa do tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico de sementes de pimentão em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e período (dias) de condicionamento em solução osmótica de PEG 6000 a -1,1 MPa. UFLA, Lavras – MG, 1999.

TABELA 10 – Médias do tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob condição ideal de temperatura, de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular (dias)
SNL, 25°C, 8 dias	1,17 a
SNL, 25°C, 12 dias	1,20 a
SL, 25°C, 8 dias	1,29 a
Fatoriais	
SL, 20°C, 16 dias	1,70 a
SNL, 20°C, 12,64 dias	1,74 a
SNL, 25°C, 4 dias	4,22 b
SL, 25°C, 4 dias	4,35 b
Testemunha	7,76 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

TABELA 11 - Médias do tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico, de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a -1,1 MPa, nas temperaturas de 20, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico (dias)
SNL, 25°C, 8 dias	1,68 a
SNL, 25°C, 12 dias	1,72 a
SL, 25°C, 8 dias	1,76 a
20°C, 16 dias (fatorial)	2,91 a
SNL, 25°C, 4 dias	8,24 b
SL, 25°C, 4 dias	9,38 b
Testemunha	20,73 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)



4.1.6. Condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica, detectou diferença estatística entre tipos de preparo das sementes (SL e SNL). Sementes lavadas, condicionadas à temperatura de 15°C, por 8,5 dias, e as não lavadas, por 9,85 dias, apresentaram os menores valores de condutividade (28,38 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ e 30,67 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$, respectivamente) (Figuras 13 e 14). Para as SL previamente, a temperatura de 20°C durante o condicionamento foi a que propiciou os valores mais elevados de condutividade, seguidas pelas sementes osmocondicionadas a 15 e 5°C (Figura 13). Sementes não lavadas, osmocondicionadas até aproximadamente o nono dia à temperatura de 5°C, apresentaram pior desempenho (Figura 14), e a partir de 12 dias de condicionamento foram observados os menores valores de condutividade, comparado às outras temperaturas. Os valores de condutividade elétrica das sementes osmocondicionadas na temperatura de 20°C somente não foram superiores aos daquelas osmocondicionadas a 15°C, no período de 4 dias de condicionamento (Figura 14).

Apesar dos danos por embebição serem mais severos sob condições de baixa temperatura, como citado por Bradford (1995), pode-se observar que a condutividade das sementes condicionadas osmoticamente nas diferentes temperaturas foi influenciada pelo período de condicionamento, sendo que, nas temperaturas mais baixas, os menores valores de condutividade foram obtidos num período de condicionamento maior do que na temperatura de 20°C.

Todos os tratamentos osmóticos propiciaram menor condutividade elétrica que a testemunha, o que parece suportar a teoria do reparo, se considerar que os lixiviados das sementes controle são resultado de danos das membranas celulares. Outros eventos, no entanto, podem ter ocorrido, como lixiviação durante a embebição na solução osmótica, como mencionado por Dearman et al.

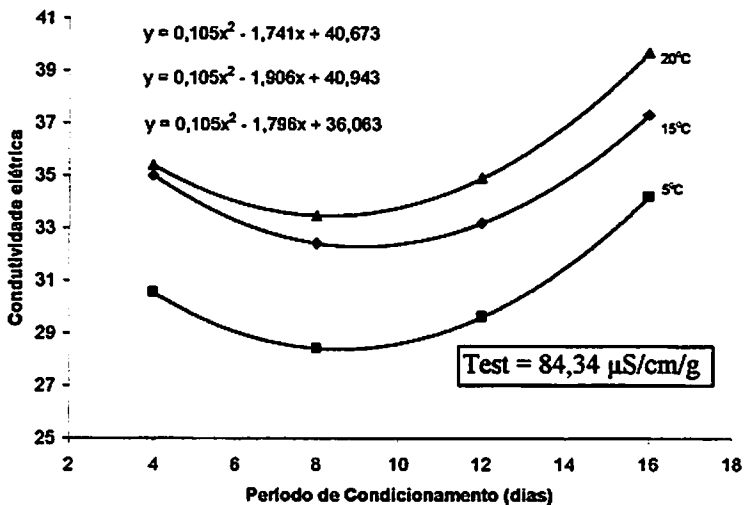


FIGURA 13 – Estimativa da condutividade elétrica de sementes de pimentão, previamente lavadas, em função do período de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa nas temperaturas de 5, 15 e 20°C . UFLA, Lavras – MG, 1999.

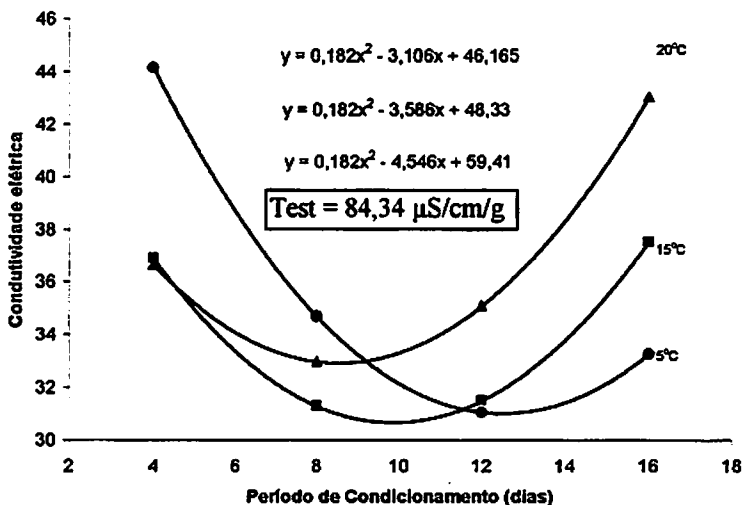


FIGURA 14 – Estimativa da condutividade elétrica de sementes de pimentão, não lavadas, em função do período de condicionamento em solução de PEG 6000 a $-1,1$ MPa nas temperaturas de 5, 15 e 20°C . UFLA, Lavras – MG, 1999.

(1996) e Bray (1995), contribuindo para a redução dos valores de condutividade elétrica.

Os resultados apresentados na Tabela 12 indicam que sementes osmocondicionadas a 25°C durante 4 dias apresentaram menores valores de condutividade, igualando-se àquelas condicionadas a 15°C.

TABELA 12 - Médias da condutividade elétrica de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas em solução de PEG 6000 a – 1,1 MPa, nas temperaturas de 15, 25°C e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)
SL, 25°C, 4 dias	27,61 a
Fatoriais	
SL, 15°C, 8,5 dias	28,31 a
SNL, 15°C, 9,85 dias	30,67 a
SNL, 25°C, 4 dias	31,89 a
SNL, 25°C, 8 dias	49,09 b
SL, 25°C, 8 dias	51,08 b
SNL, 25°C, 12 dias	55,54 b
Testemunha	84,34 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

SL (sementes lavadas)

SNL (sementes não lavadas)

Os resultados do teste de condutividade elétrica, ao contrário dos demais, indicam os períodos de 8 e 12 dias de permanência das sementes na solução osmótica a 25°C como os piores para a recuperação da qualidade fisiológica das sementes. Também o tratamento realizado a 25°C durante 8 dias nas SNL, que vem propiciando um melhor desempenho das sementes, detectado pelos demais testes da avaliação da qualidade fisiológica, pelo teste de condutividade elétrica isso não foi verificado. Provavelmente, esta aparente divergência nos resultados seja devida aos princípios diferentes dos demais testes em relação a este, o que não os desqualifica. O que pode acontecer é que

determinados aspectos do vigor de sementes podem ser detectados por determinados testes e não por outros.

4.2. Experimento 2: Influência de métodos de condicionamento osmótico, utilizando KNO_3 e PEG 6000, sobre a qualidade fisiológica e bioquímica de sementes de pimentão.

4.2.1. Determinação do grau de umidade

O resumo da análise de variância se encontra na Tabela 4A, e as médias da porcentagem do grau de umidade após cada tratamento de condicionamento estão registradas na Tabela 13.

As sementes condicionadas na solução salina pura atingiram o maior teor de água, seguidas em ordem decrescente pelas sementes das soluções de KNO_3 + PEG, PEG imersão e PEG sobre papel, o que demonstra que a velocidade de embebição foi dependente das propriedades do soluto utilizado e também do método de condicionamento.

O íon NO_3 pode ter sido absorvido pelas sementes, reduzindo o potencial osmótico interno e estimulando o influxo de água nas sementes que foram osmocondicionadas na solução contendo KNO_3 . Esse maior teor de água também foi constatado por Khan (1992) nas sementes osmocondicionadas em sal.

TABELA 13 – Médias do grau de umidade das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO_3 , PEG 6000 + KNO_3 ; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de $-1,1$ MPa, na temperatura de 25°C , durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Grau de umidade (%)
Imersão	
PEG 6000	39,0 c
KNO_3	46,6 a
PEG 6000 + KNO_3	41,7 b
PEG 6000 sobre papel	35,7 d
Testemunha	6,8 e

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

Segundo Brocklehurst e Dearman (1984), quando as sementes de espécies olerícolas foram embebidas em solução salina, o potencial osmótico teve que ser mais negativo (potencial hídrico menor) para que o conteúdo de água dessas sementes fosse semelhante ao valor atingido pela solução osmótica utilizando PEG.

4.2.2. Teste de germinação

Os resultados apresentados na Tabela 14 indicam que sementes condicionadas com PEG pelo método de imersão não apresentaram incremento na porcentagem de germinação em relação à testemunha, ao passo que os demais tratamentos proporcionaram ganhos na porcentagem de germinação das sementes. Isto provavelmente ocorreu devido à alta viscosidade da solução de PEG, que parece ter propiciado um sistema de aeração inadequado para esta solução, restringindo a disponibilidade de oxigênio. Bujalski et al. (1989) relataram a superioridade do tratamento utilizando PEG em solução aerada com ar enriquecido, comparado com sistema de aeração normal.

TABELA 14 – Médias de plântulas normais do teste de germinação das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de - 1,1 MPa, na temperatura de 25°C, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Teste de germinação (%)
Imersão	
PEG 6000	68,97 c
KNO ₃	79,18 b
PEG 6000 + KNO ₃	72,83 c
PEG 6000 sobre papel	86,19 a
Testemunha	64,26 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

O condicionamento em solução de PEG sobre papel afetou positivamente a porcentagem de germinação, com 25% a mais no total de plântulas normais, seguida pela de KNO_3 , com um ganho de 18% sobre a testemunha. Esses resultados reforçam os obtidos por Brocklehurst e Dearman (1984), em que as sementes embebidas em papel umedecido com solução de PEG apresentaram melhores resultados.

O uso de sais pode ter contribuído para um distúrbio no balanço osmótico das células, aumentando a taxa de absorção de água, como mencionado por Frett et al. (1991), o que pode ter ocasionado algum tipo de dano durante o processo de embebição das sementes. Porém, é importante salientar que existem diferenças entre as espécies quanto à tolerância ao acúmulo de íons, e segundo Maas e Hoffman (1977), citados por Brocklehurst e Dearman (1984), a cultura do tomate foi menos susceptível.

4.2.3. Porcentagem de protusão radicular

A porcentagem de protusão radicular das sementes não foi incrementada quando submetidas aos tratamentos com PEG sobre papel e KNO_3 , já a dos tratamentos de imersão em PEG e PEG + KNO_3 foram iguais entre si e inferiores aos demais (Tabela 15). Uma redução na porcentagem de protusão radicular também foi verificada por Furutani et al (1986) quando o condicionamento foi realizado em solução aerada de PEG a $-1,1$ MPa. Já nas sementes de pimentão pré-condicionadas em solução de NaCl, a porcentagem final de protusão radicular não foi afetada, segundo Smith e Cobb (1991b e 1992). Frett et al. (1991) observaram que aumentos na porcentagem final de protusão radicular foram dependentes da espécie trabalhada, aumentando a porcentagem final de protusão radicular em sementes de aspargus, não verificando o mesmo para tomate.

Vale ressaltar que a porcentagem de protusão radicular (Tabela 15) foi superior à de plântulas normais (Tabela 14) para todos os tratamentos. No entanto, as maiores diferenças entre esses dois parâmetros ocorreram na testemunha (em torno de 24%); e nos demais tratamentos essa diferença foi inferior a 14%, com uma diferença de apenas 6% para PEG 6000 sobre papel. Esses resultados reforçam o importante papel do condicionamento sobre a reversão no processo deteriorativo de sementes.

TABELA 15 – Médias da porcentagem de protusão radicular das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de -1,1 MPa, na temperatura de 25°C, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Porcentagem de protusão radicular (%)
Imersão	
PEG 6000	80,28 b
KNO ₃	87,87 a
PEG 6000 + KNO ₃	79,83 b
PEG 6000 sobre papel	91,78 a
Testemunha	85,28 a

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

4.2.4. Índice de velocidade de protusão radicular

Todos os tratamentos de condicionamento proporcionaram um aumento da velocidade de germinação das sementes em relação à testemunha, porém houve diferenças entre eles (Tabela 16).

O tratamento PEG sobre papel proporcionou ganhos da ordem de 74%, seguido da solução de KNO₃, com 67,5%; de PEG + KNO₃ com 37,9% e da solução PEG, com 28%, em relação à testemunha, respectivamente.

TABELA 16 – Médias do índice de velocidade de protusão radicular das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de - 1,1 MPa, na temperatura de 25°C, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Índice de velocidade de protusão radicular
Imersão	
PEG 6000	6,75 c
KNO ₃	14,97 b
PEG 6000 + KNO ₃	7,82 c
PEG 6000 sobre papel	18,65 a
Testemunha	4,86 d

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

Smith e Cobb (1991a) relataram que quanto maior o conteúdo de umidade das sementes após condicionamento, maior atividade metabólica. No entanto, os resultados obtidos neste experimento indicam um maior incremento na velocidade de protusão radicular para o tratamento que apresentou um menor conteúdo de água (PEG sobre papel), sugerindo que o benefício proporcionado pelo condicionamento osmótico foi consequência de mecanismos de reparo que atuaram no processo de deterioração das sementes, como já relatado por Burgass e Powell (1984), citados por Paixão (1998).

4.2.5. Tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular

Os efeitos dos diversos tratamentos medidos pelo T₅₀ diferiram estatisticamente entre si (Tabela 17), e todos reduziram o tempo gasto para a emissão radicular, em relação à testemunha, na ordem de 77,8, 69,4, 40,8 e 32,4% para as soluções de PEG sobre papel, KNO₃, PEG + KNO₃ e PEG, respectivamente. Brocklehurst e Dearman (1984) também verificaram maiores

incrementos na velocidade de protusão radicular quando as sementes foram embebidas em solução de PEG sobre papel. De uma maneira geral, estes ganhos foram superiores aos observados por Lanteri et al. (1996), que trabalhando com sementes de pimentão não envelhecidas e submetidas ao envelhecimento, obtiveram um incremento na velocidade de protusão radicular em torno de 52% próximo aos 8 dias de condicionamento. Smith e Cobb (1991b e 1992), osmocondicionando sementes de pimentão em solução de NaCl, obtiveram os maiores incrementos na velocidade de germinação no período de 9 dias de condicionamento.

TABELA 17 – Médias dos valores obtidos do tempo médio p/ ocorrência de 50% de protusão radicular das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de -1,1 MPa, na temperatura de 25°C, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	T ₅₀ - protusão radicular (dias)
Imersão	
PEG 6000	5,65 d
KNO ₃	2,56 b
PEG 6000 + KNO ₃	4,95 c
PEG 6000 sobre papel	1,86 a
Testemunha	8,36 e

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

4.2.6. Primeira contagem do teste de germinação

O condicionamento osmótico contribuiu para a melhoria do vigor das sementes, avaliado pela porcentagem de plântulas normais na primeira contagem do teste de germinação, com valores mais expressivos nos tratamentos PEG

sobre papel e solução de KNO_3 , com um ganho de 57,43% e 39,29% em relação à testemunha, respectivamente (Tabela 18).

À semelhança dos demais testes, foi verificada a inferioridade dos tratamentos de solução de PEG aerada, o que possivelmente indica a insuficiência de oxigênio nas referidas condições, o que prejudicou o envigoreamento das sementes.

TABELA 18 – Médias de plântulas normais da primeira contagem do teste de germinação das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO_3 , PEG 6000 + KNO_3 ; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de $-1,1$ MPa, na temperatura de 25°C , durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Primeira contagem (%)
Imersão	
PEG 6000	1,43 c
KNO_3	39,29 b
PEG 6000 + KNO_3	2,93 c
PEG 6000 sobre papel	57,43 a
Testemunha	0,00 d

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

4.2.7. Comprimento de plântula

Os dados relativos ao comprimento de plântula revelam, a exemplo dos demais testes, a superioridade do tratamento PEG sobre papel (Tabela 19). Apesar dos demais tratamentos não terem apresentado diferenças significativas entre si, foram superiores à testemunha. Desta forma, os resultados sugerem que o osmocondicionamento foi eficiente em reverter o processo deteriorativo, permitindo uma maior atividade metabólica pré-germinativa e consequentemente um incremento no desenvolvimento das plântulas. Esses

resultados reforçam os obtidos por Halpin-Ingham e Sundstrom (1992), que relatam que o tratamento osmótico quando realizado num período adequado, permite a mais alta atividade metabólica pré-germinativa, resultando, posteriormente, num melhor desenvolvimento do hipocótilo de plântulas de pimentão.

TABELA 19 – Médias do comprimento de plântula das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, todas no potencial osmótico de -1,1 MPa, na temperatura de 25°C, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Comprimento de plântula (mm)
Imersão	
PEG 6000	2,2 b
KNO ₃	2,2 b
PEG 6000 + KNO ₃	2,0 b
PEG 6000 sobre papel	2,5 a
Testemunha	0,0 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

4.2.8. Emergência de plântula

Os resultados do teste de emergência de plântula em bandeja, sob condições de casa de vegetação, estão indicados na Tabela 20. É importante ressaltar que a média de temperatura durante a condução do experimento foi de 20°C, considerada baixa para a germinação das sementes de pimentão (Tabela 5A).

O efeito benéfico do condicionamento osmótico pôde ser evidenciado pelo baixo desempenho da testemunha, que apresentou reduzida emergência comparada com os demais tratamentos. Estes resultados estão de acordo com os

obtidos por Passam et al. (1997). Entretanto, Broklehurst e Dearman (1984) não verificaram diferenças na porcentagem final de emergência, que foi associada às condições ambientais favoráveis da casa de vegetação, não evidenciando os efeitos do condicionamento osmótico (Lopes, 1996).

TABELA 20 – Médias de plântulas normais do teste de emergência das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de - 1,1 MPa, na temperatura de 25°C, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Emergência de plântulas (%)
Imersão	
PEG 6000	73,50 b
KNO ₃	80,62 a
PEG 6000 + KNO ₃	72,40 b
PEG 6000 sobre papel	85,28 a
Testemunha	39,05 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

Os tratamentos de PEG sobre papel e KNO₃ possibilitaram as maiores porcentagens de emergência nas referidas condições, seguidas dos tratamentos de solução aerada de PEG e PEG +KNO₃.

Comparando os resultados deste teste com os obtidos no teste de germinação (Tabela 14), pode-se observar que os ganhos obtidos na porcentagem de emergência em relação à testemunha foram mais pronunciados sob condições de casa de vegetação.

4.2.9. Índice de velocidade de emergência

Os resultados do teste de índice de velocidade de emergência, contidos na Tabela 21, revelam uma superioridade do tratamento com solução de PEG

sobre papel em relação aos demais. Brocklehurst e Dearman (1983b) também verificaram uma redução do tempo gasto para emergência de plântulas de sementes de aipo osmocondicionadas sobre papel embebido com solução de PEG. Similarmente ao já indicado pelos demais testes determinantes da qualidade fisiológica das sementes, os piores tratamentos foram PEG em solução aerada e PEG + KNO₃, apesar de ainda se apresentarem superiores à testemunha.

Uma das principais vantagens do osmocondicionamento relatadas por Eira (1988), Pill et al. (1991) e Bradford et al. (1990) é favorecer uma emergência mais rápida e uniforme das plântulas no campo, proporcionando um estande adequado, mesmo sob condições adversas.

TABELA 21 – Médias do índice de velocidade de emergência das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de -1,1 MPa, na temperatura de 25^oC, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Tratamentos	Índice de velocidade de emergência
Imersão	
PEG 6000	2,08 c
KNO ₃	2,98 b
PEG 6000 + KNO ₃	2,25 c
PEG 6000 sobre papel	3,57 a
Testemunha	0,99 d

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

4.2.10. Condutividade elétrica

As sementes osmocondicionadas em soluções de PEG, tanto em imersão quanto em papel, foram as que apresentaram menores valores de condutividade elétrica de seus exsudatos. Os maiores valores foram observados nos tratamentos conduzidos em soluções salinas, provavelmente porque os íons dissociados das

soluções contendo sais, podem ter penetrado nos tecidos das sementes e, posteriormente, terem sido liberados na solução de embebição, contribuindo para alterar os resultados.

Como foi citado por Duke et al. (1983), o vazamento de eletrólitos durante a embebição ocorre por difusão passiva e não é necessariamente uma indicação de ruptura celular, não se podendo afirmar, então, que sempre existe uma relação entre vazamento de eletrólitos e dano celular. Ainda há que se considerar que a variação dos resultados entre as repetições referentes aos tratamentos de imersão foi maior (dados não mostrados), sendo mais pronunciada nas soluções contendo sais, o que pode ter contribuído para elevar o valor do coeficiente de variação (Tabela 4A). De qualquer forma, foi o único teste a destacar o tratamento de solução de PEG aerada como um dos melhores.

TABELA 22 - Médias da condutividade elétrica das sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, embebidas nas soluções aeradas de PEG 6000, KNO₃, PEG 6000 + KNO₃; solução de PEG 6000 sobre papel, no potencial osmótico de -1,1 MPa, na temperatura de 25°C, durante 8 dias e testemunha sem tratamento de embebição. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Tratamentos	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$)
Imersão	
PEG 6000	30,85 a
KNO ₃	177,13 c
PEG 6000 + KNO ₃	102,95 b
PEG 6000 sobre papel	64,41 a
Testemunha	176,93 c

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade.

O teste de condutividade elétrica tem sido proposto para a avaliação do vigor das sementes, sendo relacionado com a integridade das membranas celulares. Porém existem muitos fatores que interferem nos resultados, não

podendo se restringir somente à quantidade de lixiviados detectada na solução de embebição.

4.2.11. Análise enzimática

Os perfis isoenzimáticos revelaram, para a catalase (CAT), uma diminuição da intensidade da banda para a testemunha, e entre os tratamentos de condicionamento osmótico, a solução de PEG sob imersão apresentou uma menor atividade (Figura 15).

A redução da atividade desta enzima nas sementes secas (testemunha) explica-se pelo fato dessas apresentarem um nível de deterioração maior, e sua atividade reduzida faz com que as sementes estejam mais susceptíveis aos efeitos deletérios do O₂ e radicais livres sobre os ácidos graxos insaturados de membrana, comprometendo o seu vigor, como citado por Brandão Júnior (1996).

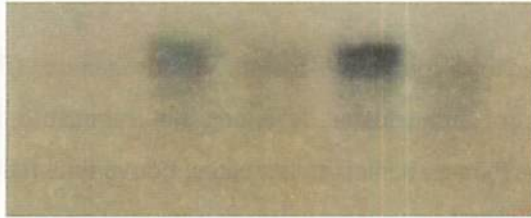
Com relação à glucose-6-fosfato desidrogenase (Figura 16), pode-se observar uma maior intensidade de banda no tratamento PEG sobre papel, seguido do KNO₃. Para os demais tratamentos, houve uma tendência de perda de atividade desta enzima.

A rota das pentoses opera paralelamente ao ciclo da glicólise, e sua função é a de suprir as sementes com NADPH para as reações de biossíntese, parecendo ser importante na regulação da germinação (Comê et al., 1988; Comê e Corbineau, 1983; Perino e Comê, 1991, citados por Bettey e Finch - Savage, 1996). Esses resultados reforçam os encontrados pelos demais testes determinantes da qualidade fisiológica das sementes, em que o condicionamento nas soluções de PEG sobre papel e de KNO₃ sempre se destacaram dos demais. Também, resultados de Bettey e Finch-Savage (1996) mostram uma correlação negativa entre o T₃₀ e a atividade da enzima glucose-6-fosfato desidrogenase.



T1 T2 T3 T4 T5

FIGURA 15 – Padrões isoenzimáticos de sementes de pimentão submetidas ao condicionamento osmótico em soluções aeradas de PEG (T₁), KNO₃ (T₂) e PEG + KNO₃ (T₃); PEG sobre papel (T₄) e testemunha (T₅), revelados para a catalase (CAT). UFLA, Lavras – MG, 1999.



T1 T2 T3 T4 T5

FIGURA 16 – Padrões isoenzimáticos de sementes de pimentão submetidas ao condicionamento osmótico em soluções aeradas de PEG (T₁), KNO₃ (T₂) e PEG + KNO₃ (T₃); PEG sobre papel (T₄) e testemunha (T₅), revelados para a glucose-6-fosfato desidrogenase (G6P). UFLA, Lavras – MG, 1999.

4.3. Considerações finais

Apesar da técnica de condicionamento osmótico ter se apresentado como uma excelente ferramenta para melhorar a performance de sementes de pimentão de qualidade intermediária, são necessárias algumas considerações.

Um importante ponto a ser pesquisado com maior profundidade é a relação entre ganho de umidade e reparo de danos. Na presente pesquisa foi constatado que a umidade final das sementes após condicionamento variou em função do soluto, método de condicionamento; e num mesmo soluto e método, nas temperaturas mais altas e por períodos mais prolongados, a umidade atingida pelas sementes foi suficiente para que ocorresse a protusão radicular. Pôde-se notar uma maior taxa de absorção de água nas sementes condicionadas em soluções salinas, o que pode, de certa forma, não ter propiciado as melhores condições para "reparo". Sugere-se, para esse tipo de soluto, que outras temperaturas e tempo de condicionamento sejam testados, uma vez que, na presente pesquisa, foi usada a melhor temperatura e tempo de condicionamento detectado para PEG 6000 a $-1,1\text{MPa}$ no primeiro experimento. Vale ressaltar, ainda, que não foi observado nenhum efeito fitotóxico nas plântulas, independente do soluto e método utilizados.

Outro ponto importante observado na presente pesquisa é com relação à importância do tratamento fungicida. Além de não ter sido constatado efeito fitotóxico desse sobre as sementes durante o condicionamento, é essencial a sua utilização, uma vez que o "priming" favorece o desenvolvimento dos microrganismos associados às sementes, o que contribuiria, de certa forma, para o insucesso da técnica.

Apesar de determinadas literaturas recomendarem o condicionamento em temperaturas mais baixas, foi constatado, nesta pesquisa, que temperaturas similares àsquelas ideais para a germinação da espécie são as que propiciam os

melhores resultados. Assim é que entre as temperaturas de 5, 15 e 20°C, a temperatura de condicionamento a 20°C por períodos entre 11-13 dias foi mais eficiente, ressaltando, no entanto, que os testes determinantes do vigor (índice de velocidade e T_{50} para protusão radicular), tanto sob condições ideais de temperatura como sob estresse térmico e porcentagem de germinação sob estresse térmico, indicaram a necessidade de maiores períodos de permanência das sementes na solução de PEG sobre papel. Outra opção indicada pela maioria dos testes determinantes da qualidade fisiológica das sementes, à exceção do teste de condutividade elétrica, que não se apresentou como um bom parâmetro para avaliar o desempenho dessas sementes, é a condução do condicionamento a 25°C durante 8 dias. Apesar deste tratamento não ter diferido do tratamento realizado a 20°C por períodos superiores a 8 dias, a possibilidade de redução do tempo de permanência das sementes na solução osmótica é mais interessante.

Vale ressaltar, no entanto, que observando o coeficiente de variação para os testes de germinação sob estresse térmico, T_{50} e primeira contagem do teste de germinação, nota-se a necessidade de maiores ajustes em relação a estas variáveis, uma vez que, apesar dos ganhos propiciados pela técnica nessas condições, ainda não estão ajustadas adequadamente para possibilitarem uma maior uniformidade em relação ao vigor dessas sementes. É importante que se tenha em mente que lotes de qualidade intermediária são mais heterogêneos, portanto mais difíceis de serem trabalhados. Também há necessidade de se checar a referida metodologia para outros níveis de qualidade e outras cultivares.

Outro aspecto a ser levado em consideração é a necessidade de maiores avaliações em relação ao aspecto bioquímico das sementes. Apesar das duas enzimas trabalhadas terem sido eficientes em acompanhar as melhorias ocasionadas pelo condicionamento, seria interessante que se pesquisasse a modificação na atividade de outras enzimas chaves, a exemplo da isocitrato liase, álcool desidrogenase, aldolase e malato desidrogenase.

Por último, há necessidade de mencionar que apesar do condicionamento em solução aerada ser mais prático para avaliação a nível comercial, ainda se fazem necessários reajustes, pois os resultados sugerem deficiência de oxigênio, o que provavelmente contribuiu para que sementes condicionadas sob imersão em solução aerada de PEG 6000 tenham tido desempenho superior apenas às das testemunha. No entanto, solução osmótica de KNO_3 teve esse problema minimizado, sendo, esse tratamento, superado apenas pelo condicionamento sobre papel em PEG 6000. Desta forma, por ser mais econômico e mais prático para aplicação comercial, sugere-se que mais pesquisas sejam desenvolvidas visando metodologias mais adequadas para este tipo de soluto.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que:

A técnica de condicionamento osmótico é eficiente em melhorar a performance de sementes de pimentão de baixa germinação.

O desempenho das sementes é favorecido quando o condicionamento osmótico é conduzido em temperaturas similares às ideais para a germinação da espécie.

Sementes não lavadas, osmocondicionadas em papel embebido com a solução osmótica de PEG 6000 a $-1,1$ MPa, numa temperatura de 25°C , durante 8 dias, apresentam qualidade fisiológica superior. O pré-condicionamento realizado em solução osmótica aerada de KNO_3 , nas mesmas condições, melhora a performance das sementes, tendo a vantagem de ser mais viável para aplicação comercial.

Condicionamento osmótico em solução aerada de PEG 6000, numa temperatura de 25°C e durante 8 dias, é menos eficiente na promoção do incremento na velocidade de germinação das sementes de pimentão e desenvolvimento da plântula.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFENAS, A. C.; PETERS, I.; BRUCE, W.; PASSADOS, G. C. **Eletrofresc de proteínas e isoenzimas de fungos e essências florestais**. Viçosa: UFV, 1991. 242 p.
- ALVARADO, A.D.; BRADFORD, K.J. Priming and storage of tomato (*Lycopersicon lycopersum*) seeds. I. Effects of storage temperature on germination rate and viability. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.16, p.601-612, 1988.
- AKERS, S. W. Seed response to priming in aerated solutions. **Search**, London, v.19, p.8-17, 1990.
- AKERS, S. W.; BERKOWITZ, G. A.; RABIN, J. Germination of parsley seed primid in aerated solutions of polyethylene glycol. **HortScience**, Alexandria, v.22, n. 250-252, 1987
- ANDERSON, J.D. Metabolic changes associated with senescence. **Seed Science and Tecnology**, Zurich, v.1, p.401-416, 1973.
- ARMSTRONG, H.; McDONALD, M.B. Effects of osmoconditioning on water uptake and electrical conductivity in soybean. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 20, p. 391-400, 1992.
- BASAVARAJAPPA, B.S.; SHETTY, H.S.; PRAKASH, H.S. Membrane deterioration and other biochemical chances, associated with accelerated ageing of maize seeds. **Seed Science and Tecnology**, Zurich, v.19, n.2, p.279-286, 1991.
- BERJAK, P. Stored seeds: The problems caused by microorganism (with particular reference to the fungi). In: NASSES, R.C.; WETZEL, M.M.; FERNANDES, J.M. (ed) **Seed Pathology**. International Advance Course, proceedings. Brasília: ABRATES, 1987. p.38-50.
- BETTEY, M.; FINCH-SAVAGE, W.E. Respiratory enzyme activities during germination in Brassica seed lots of differing vigour. **Seed Science Research**, Wallingford, v.6, p.165-173, Aug. 1996.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.

- BINO, R.J.; DE VRIES, J.N.; KRAAK, H.L.; VAN PIJLEN, J.G.** Flow cytometric determination of nuclear replication stages in tomato seeds during priming and germination. *Annals of Botany*, New York, v.69, p.231-236, 1992.
- BOGATEK, R.; ZARSKA-MACIEJEWSKA, B.; SINNSKA, B.; LEWAK, S.** The embryonic axis controls lipid catabolism in cotyledons of apple seeds during germination. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.76, p.557-562, 1989.
- BORGES, E.E.L.; SILVA, L.F.; BORGES, R.C.** Avaliação do osmocondicionamento na germinação de sementes de quaresminha (*Meconia candolleana* Trian.). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, DF, v.16, n.1, p.90-94, Abr. 1994.
- BOTHA, F.C.; POTGIETER, G.P.; BOTHA, A.M.** Respiratory metabolism and gene expression during seed germination. *Plant Growth Regulation*, Dordrecht, Netherlands, v.11, p.211-224, 1992.
- BRADFORD, K.J.** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hort Science*, Alexandria, Virginia, USA, v.21, n.5, p.1105-1112, Oct. 1986.
- BRADFORD, K.J.** Water relations in seed germination. In: KIGEL, J.; GALILI, G. *Seed development and germination*. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 767-789.
- BRADFORD, K.J.; STEINER, J.J.; TRAWATHA, S.E.** Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. *Crop Science*, Madison, USA, v.30, p.718-721, 1990.
- BRANDÃO JÚNIOR, D. da S.** Eletroforese de proteína e isoenzima na avaliação da qualidade de sementes de milho. Lavras: UFLA, 1996, 110p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- BRASIL.** Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. *Regras para análises de sementes*. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365 p.
- BRAY, C.M.** Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In: KIGEL, J.; GALILI, G. *Seed development and germination*. New York: Marcel Dekker, 1995. p.767-89.

- * BROCKLEHURST, P.A.; DEARMAN, J. A Comparison of different chemicals for osmotic treatment of vegetable seed. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v.105, p.391-398, June 1984.
- BROCKLEHURST, P.A.; DEARMAN, J. Interations between seed priming treatments and seed lots of carrot, celery and onion. I.Laboratory germination. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v.102, p.577-584, Feb. 1983a.
- BROCKLEHURST, P.A.; DEARMAN, J. Interations between seed priming treatments and seed lots of carrot, celery and onion. II. Seedling emergence and plant growth. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v.102, p.585-593, Feb. 1983b.
- BULJALSKI, W.; NIENOW, W.; GRAY, D. Establishing the large scale osmotic priming of onion seeds by using enriched air. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v.115, p. 171-176, 1989.
- BULJALSKI, W.; NIENOW, A.W.; PETCH, G.M. The bulk priming of leek seeds. The influence of oxygen-enriched air. **Process Biochemistry**, Oxford, v.26, p.281-286, 1991.
- CANTLIFFE, D.J. Stand establishment. **Acta Horticulturae**, Wagening, v.247, p.175-179, 1989.
- CANTLIFFE, D.J.; FISCHER, J.M.; NELL, T.A.. Mechanism of seed-priming in circumventing thermodormancy in lettuce. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 75, p.290-294, 1984.
- CARTER, A.K. Effect of NaCl concentration and temperature on germination of "Tam Veracruz"chile seed (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Seed Technology**, Fort Collins, v.18, n.1, p.16-20, Jan. 1994.
- CARVALHO, N.M.de.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 3.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.
- COPELAND, L.O. **Principles of seeds science and technology**. Minneapolis: Burgess publishing Company, 1976. 369 p.
- COPELAND, L. O.; McDONALD, M. B. **Seed Science and Technology**. 3.ed., New York: Chapman e Hall, 1995. 409 p.

- DEARMAN, J.; BROCKLEHURST, P. A.; DREW, R. L. Effects of osmotic priming and ageing on onion seed germination. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 108, p. 639-648, 1986.
- DEARMAN, J.; BROCKLEHURST, P. A.; DREW, R. L. Effects of osmotic priming and ageing on the germination and emergence of carrot and leek seed. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 111, p. 717-722, 1987.
- DEL GIUDICE, M.P. Condicionamento osmótico de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Viçosa: UFV, 1996. 130 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia).
- DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.1, p. 427-452, 1973.
- DUKE, S.H.; KAKEFUDA, G. Role of the testa in preventing cellular rupture during imbibition of legume seeds. **Plant Physiology**, Lancaster, v.67, p. 449-456, 1981.
- DUKE, S.H.; KAKEFUDA, G.; HARVEY, T.M. Differential leakage of intracellular substances from imbibing soybean seeds. **Plant Physiology**, Lancaster, v.72, p.919-924, 1983.
- EIRA, M.T.S. Condicionamento osmótico de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) : Efeitos sobre a germinação e desempenho sob estresses hídrico, salino e térmico. Piracicaba: ESALQ/USP, 1988. 90 p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- ELY, P. R.; HEYDECKER, W. Fast germination of parsley seeds. **Science Horticulturae**, Athens, v. 15, p.127-136, 1981.
- FINCH-SAVAGE, W.E; GRAY, D.; DICKSON, G.M. The combined effects of osmotic priming with plant growth regulator and fungicide soaks on the seed quality of five bedding plant species. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 19, p. 495-503, 1991.
- FISHER, M.L.; ANDERSON, A.J.; ALBERSHEIM, P. Host Patholgen Interactions. VI A single plant protein efficiently inhibits endopolygalacturonases secreted by *Colletotrichum lindemuthianum* and *Aspergillus niger*. **Plant Physiology**, Lancaster, v.51, p.489-491, 1973.

- FRETT, J. J.; PILL, W. G.; MORNEAU, D.C. A comparasion of primng agents for tomato and asparagus seeds. *HortScience*, Alexandria, v. 26, p. 1158-1159, Sep. 1991.
- FU, J. R.; LU, X. H.; CHEN, F. Z.; ZHANG, B. Z.; LIU, Z. S.; LI, Z. S.; CAI, D. Y. Osmoconditioning of peanut (*Arachis hypogea* L.) seeds with PEG to improve vigour and some biochemical activities. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.16, p.197-212, 1988.
- FURUTANI, S. C.; ZANDSTRA, B. H.; PRICE, H.C. The effects of osmotic solute composition and duration and temperature of priming on onion seed germination. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.14, p. 545-551, 1986.
- GHOSH, B.; ADHIKARY, J.; BANERJEE, N.C. Changes of some metabolites in rice seeds during aging. *Seed Science and Technology*, Zurich , v.9, n.2, p.468-473, 1981.
- GIULIANINI, D.; NUVOLI, S.; PARDOSSI, A.; TOGNONI, F. Pregermination treatment of tomato and papper seeds. *Colture Protette*, Bologna, v.11, n.6, p.73-79, 1992.
- GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. 12.ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 1987. 467 p.
- GRZESIK, M.; NOWAK, J. Effects of matricconditioning and hydropriming on *Helichrysum bracteatum* L. seed germination, seedling emergence and stress tolerance. *Seed Science and Tecnology*, Zurich, v.26, p.363-376, 1998.
- HAIGH, A. M.; BARLOW, E. W. R. Germination and priming of tomato, carrot, onion, and sorghum seeds in a range of osmotica. *Journal of American Society of Horticultural Science*, Alexandria, v. 112, p. 202-208, 1987.
- HALPIN-INGHAM, B.; SUNDSTROM, F.J. Pepper seed water content, germination response and respiration following priming treatments. *Seed Science and Tecnology*, Zurich, v.20, p.589-596, June 1992.
- HARDEGREE, S. P.; EMMERICH, W. E. Effect of polyethylene glycol exclusion on the water potential of solution-saturated filter paper. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 92, p. 462-466, 1990.

- HEGARTY, T. W. Seed activation and seed germination under moisture stress. *New Phytologist*, Cambridge, v.78, p.349-359, 1977.
- † HEYDECKER, W.; COOLBEAR, P. Seed treatments for improved performance – survey and attempted prognosis. *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 5, p. 353-425, 1977.
- ‡ HEYDECKER, W.; GIBBINS, B.M. The priming of seeds. *Acta Horticulturae*, Wageningen, v. 83, p. 231-223, 1978.
- HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; TURNER, I. J. Invigoration of seeds? *Seed Science and Technology*, Zurich, GER, v.3, n.1 ,p.881-888, fev 1975.
- HILHOST, H.; LEPRICE, O. Germination: Topics I to IV. Lavras:UFLA, 1998. p. ir. (Seed Physiology course simposium UFLA/WAV- Lavras-MG, Brasil, 19-24/10/1998).
- HILHOST, H. Tópico especial em sementes: “First advanced course on seed physiology and technology”. Lavras: UFLA, 1997. p.ir.
- HILLEL, D. *Soil and water: Physical principles and processes*. New York: Academic Press, 1971. 288 p.
- JAAP, G. V. P.; STEVEN, P. C. G.; KRAAK, H. L.; JAN, H. W. B. Effects of pre-storage hydration treatments on germination performance, moisture content, DNA syntesis and controlled deterioration tolerance of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) seeds. *Seed Science Research*, Wallingford, v. 6, p. 57-63, 1996.
- † JENG, T.L.; SUNG, J.M. Hydration effects on lipid peroxidation and peroxide-scavenging enzyme activity of artificially age peannut seed. *Seed Science and Tecnology*, Zurich, n.22, p.531-539, 1994.
- KALPANA, R.; NADHAVA RAO, R.V. Protein metabolism of seeds of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) cultivars during accelerated ageing. *Seed Science and Tecnology*, Zurich, v.25, p.271-279, 1997.
- KANG, N. J.; JEOUNG, Y. O; CHO, J. L.; KANG, S. M. Changes of seed proteins related to low temperature germinability of primed seeds of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, V. 38, n.4, p. 342-346, 1997.

- KENNETH, W.J.; SANDERS, D.C. The influence of soaking pepper seed in water or potassium salt solutions on germination at three temperatures. **Journal of Seed Technology**, Fort Collins, v.11, n.1, p. 97-102, 1987.
- KHAN, A.A. Preplant physiological seed conditioning. **Horticultural Review**, Edinburgh, v.13, p.131-181, 1992.
- ✧ KHAN, A.A.; TAO, K.L.; KNYPL, J.S.; BORKOWSKA, B.; POWELL, L.E. Osmotic conditioning of seeds: physiological and biochemical changes. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.83, p. 267-83, 1978.
- KIGEL, J.; GALILI, G. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995. 853p.
- KNYPL, J.S.; JANAS, K.N. Increasing low temperature resistance of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) by exposure of seeds to water saturated atmosphere. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v.21, p.291-297, 1979.
- KNYPL, J.S.; KHAN, A.A. Osmoconditioning of soybean seeds to improve performance at suboptimal temperatures. **Agronomy Journal**, Madison, v.73, p.112-116, 1981.
- KOOSTRA, P.; HARRINGTON, J. Biochemical effects of age membranial lipids of *Cucumis sativus* L. seed. **Proceedings International Seed Testing Association**, Copenhagen, v.34, p.329-340, 1973.
- LANTERI, S.; KRAAK, L.; DE VOS, C. H. R.; BINO, R. J. Effects of osmotic preconditioning on nuclear replication activity in seeds of pepper (*Capsicum annuum* L.). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 89, p.433-440, 1993.
- LANTERI, S.; NADA, E.; BELLETTI, P. Effects of controlled deterioration and osmoconditioning on germination and nuclear replication in seeds of pepper (*Capsicum annuum* L.). **Annals of Botany**, New York, USA, v.77, n.66, p.591-597, June 1996.
- LANTERI, S.; QUAGLIOTTI, L.; BELLETTI, P. Delayed luminescence and priming-induced nuclear replication of unaged and controlled deteriorated pepper seeds (*Capsicum annuum* L.) **Seed Science and Technology**, Zurich, v.26, p.413-424, 1998.

- LANTERI, S.; SARACCO, F.; KRAAF, H. L.; BINO, R.J. The effect of priming on nuclear replication activity and germination of pepper (*Capsicum annuum* L.) and tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seeds. *Seed Science Research*, Wallingford, v. 4, p. 81-87, 1994.
- ‡ LIU, Y.O. Effects of osmotic treatments on tomato seed vigour. *Journal of Hunan Agricultural College*, v.20, n.1, p. 42-46, 1994.
- LOPES, H. M. Embebição e condicionamento fisiológico de sementes de cebola influenciados por temperatura e potencial osmótico da solução. Viçosa: UFV, 1996. 103 p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- LORENZ, O.A.; MAYNARD, D.N. *Knott's handbook for vegetable growers*. 3.ed. New York: J. Wiley, 1988.
- MACHADO, J. da C. *Patologia de sementes: Fundamentos e aplicações*. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 107 p.
- MARCOS-FILHO, J. New approaches to seed vigor testing. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.55, (Número especial), p.27-33, Ago. 1998.
- MATTHEWS, S.; POWELL, A.A. Environmental and physiological constraints on field performance of seeds. *HortScience*, Alexandria, v.21, p.1125-1128, Oct. 1986.
- MAYER, A.M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. *The germination of seeds*. 4.ed. New York: Pergamon Press, 1989. 270 p.
- MICHEL, B.E.; KAUFMANN, M.R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, Rockville-Maryland, USA, v.51, p. 914-916, 1973.
- NASCIMENTO, W. M. Condicionamento osmótico de sementes de hortaliças: potencialidades e implicações. *Horticultura Brasileira*, Brasília, V. 16, n.2, p. 106-109, Nov. 1998.
- NASCIMENTO, W.M.; WEST, S.H. Microorganism growth during muskmelon seed priming. *Seed Science and Technology*, Zurich, GER, v. 26, p.531-534, Mar. 1998b. (Research Note)
- NASCIMENTO, W. M.; WEST, S. H. Priming and seed orientation affect seed coat adherence and seedling development of muskmelon transplants. *HortScience*, Alexandria, v. 33, n. 5, p. 847-848, Aug. 1998a.

- *NATH, S.; COOLBEAR, S. N.; HAMPTON, J. G. Hydration – dehydration treatments to protect or repair stored “Karamu”wheat seeds. *Crop Science*, Madison, v. 31, p. 822-826, 1991.
- NERSON, H.; GOVERS, A.. Salt priming of muskmelon for low temperature germination. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 28, p. 85-91, 1986.
- OSBORNE, D. J. Biochemiacal control of systems operating in the early hours of germination. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.61, p..3568-3577,1983.
- *PAIXÃO, G.P. da. Pré condicionamento da sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) : Efeitos sobre a qualidade fisiológica e potencial de armazenamento. Viçosa: UFV, 1998. 56 p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- *PARERA, C.A.; CANTLIFFE, D.J. Presowing seed priming. *Horticultural Reviews*, Edinburg, v. 16, p. 109-139, 1994.
- PASSAM,H.C.; LAMBROPOULOS,E.; KHAH,E.M. Pepper seed longevity following production under high ambient temperature. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.25, n.2, p.177-185, June 1997.
- PENÃLOZA, A.P.S.; Eira, M.T.S. Hydration-dehydration treatments on tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Seed Science and Technology*, Zurich, v.21, n.1, p.309-316, Jan. 1993.
- PERL, M.; FEDER, Z. Improved seedling development of pepper seeds (*Capsicum annuum* L.) by seed treatment for pregermination activities. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.9, p. 655-663, 1981.
- PERRY, D.A. Report of the vigour test committee 1974-1977. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.6, p.159-181, 1978.
- PRETORIUS, J. C.; SMALL, G. C. The effect of soaking injury in bean seeds on aspects of the oxidative pentose phosphate pathway in embryonic axes. *Seed Science Research*, Wallingford, v.2, p.33-39, 1992.
- *PILL, W.G. Low water potential and pressowing germination treatments to improve seed quality. In: BARSA, A.S. *Seed quality*. New York: Food Products Press, 1995. 389 p.

PILL, W.G.; FRETT, J.J.; MORNEAU, D.C. Germination and seedling emergence of primed tomato and asparagus seeds under adverse conditions. *HortScience*, Alexandria, v. 26, n.9, p. 1160-1162, Sept. 1991.

POPINIGIS, F. *Fisiologia da semente*. 2.ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

POWELL, A. A. Seed improvement by selection and invigoration. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.55 (Número Especial), p.126-133, Ago. 1998.

PREESTLEY, D.A.; LEOPOLD, A.C. Absence of lipid oxidation during accelerated aging of soybean seeds. *Plant Physiology*, Rockville, v.63, p. 726-729, 1991.

RIVAS, M.; SUNDSTROM, F.J.; EDWARDS, R.L. Germination and crop development of hot pepper after seed priming. *Hort Science*, Alexandria, v.19, n.1, p. 279-281, Fev. 1984.

ROBERTS, E.H. Loss of seed viability: Ultrastructural and physiological aspects. *Seed Science and Tecnology*, Zurich, v.1, p.529-545, 1973.

ROBINSON, R.A.; STOKES, P.H. Tables of osmotic and activity coefficients of eletrolytes in aqueous solutions at 25°C. *Faraday Society Transactions*, London, n. 45, p.612-624, 1949.

SACHS, M.; CANTLIFFE, D.J.; WATKINS, J.T. Germination on pepper seed at low temperatures after various pretreatments. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, Florida, USA, v..93, P.258-260, 1980.

SAHA, R.; MANDAL, A.K.; BASU, R.N. Physiology of seed invigoration treatments in soybean (*Glycine max* L.). *Seed Science and Tecnology*, Zurich, n.18, p.268-276, 1990.

SALES, N. S. de. *Qualidade fisiológica de sementes de pimentão (Capsicum annum L.) associada à poda, cobertura morta e localização do fruto na planta*. Viçosa: UFV, 1996. 53p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).

SARACCO, F.; BINO, R.J.; BERGERVOET, J.H.W.; LANTERI, S. Influence of priming- induced nuclear replication activity on storability of pepper (*Capsicum annum* L.) seed. *Seed Science Research*, Wallingford, v.5, n.1, p. 25-29, Mar. 1995.

- SMITH, P.T.; COBB, B.G. Accelerated germination of peppers seed by priming with salt solutions and water. *HortScience*, Alexandria, v. 26, n. 4, p. 417-419, Apr. 1991a.
- SMITH, P.T.; COBB, B.G. Physiological and enzymatic activity of peppers seeds (*Capiscum annum L.*) during priming. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 82, p. 443-449, Mar. 1991b.
- SMITH, P.T.; COBB, B.G. Physiological and enzymatic characteristics of primed, re-dried, and germinated pepper seeds (*Capiscum annum L.*). *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 20, p. 503-513, Mar. 1992.
- SILVEIRA, S. Recobertura como medida para proteção da semente. *Seed News*, Pelotas-RS, n.5, p.34-35, maio/jun. 1998.
- SUNDSTROM, F. J.; EDWARDS, R.L. Pepper seed respiration, germination, and seedling development following seed priming. *HortScience*, Alexandria – Virginia, USA, v. 24, p. 343-345, 1989.
- SZAFIROWSKA, A.; KHAN, A.A.; PECK, N.H. Osmoconditioning of carrot seeds to improve seedling establishment and yield in cold soil. *Agronomy Journal*, Madison, v.73, p.845-848, 1981.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Redwood City: The Benjamin/Cummings, 1991. 559 p.
- THAPLIYAL, R.C.; CONNOR, K.F. Effects of accelerated ageing on viability, leachate exudation, and fatty acid content of *Dalbergia sissoo* Roxb. *Seed Science and Technology*, Zurich, v.25, p.311-319, Jan. 1997.
- TILDEN, R. L.; WEST, S. H. Reversal of the effects of aging in soybean seeds. *Plant Physiology*, Lancaster, v.77, p. 584-586, 1985.
- TORRES, S. S. B. Qualidade fisiológica de sementes de pimentão (*Capiscum annum L.*) através do teste de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília DF, v. 11, n. 2, p. 246-250, Dez. 1996.
- TRAWATHA, S.E.; STEINER, J.J.; BRADFORD, K.J. Laboratory vigor tests used to predict pepper seedling field emergence performance. *Crop Science*, Madison, v.30, p.713-717, 1990.
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.

- VILLELA, F.A.; FILHO, L. D.; SEQUEIRA, E.L. Tabela de potenciais osmóticos em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, V.26, n. 11/12, p. 1957-1968, nov/dez. 1991.
- WARREN, J.E.; BENNETT, M.A. Seed hydration using the drum priming system. *Hort Science*, Alexandria, v.32, n.7, p.1220-1221, Dec. 1997.
- WOODSTOCK, L.W.; TAO, K.L.J. Prevention of imbibition injury in low vigor soybean embryonic axes by osmotic control of water uptake. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v.51, p.133-139, 1981.
- WOOSTOCK, L. W.; TAYLORSON, R. B. Ethanol and acetaldehyde in imbibing soybean seeds in relation to deterioration. *Plant Physiology*, Lancaster, v. 67, p. 424-428, 1981b.
- WOOSTOCK, L. W.; TAYLORSON, R. B. Soaking injury and its reversal with polyethylene glycol in relation to respiratory metabolism in high and low vigor soybean seeds. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 53, p. 263-268, 1981a.
- YAMADA, K. Endogenous abscisic acid in barley and use of abscisic acid in malting. *Agricultural and Biological Chemistry*, Tokyo, v.49, p.429-434, 1985.
- ZHENG, G.H.; WILEN, R.W.; SLINKARD, A.E.; GUSTA, L.V. Enhancement of canola seed germination and seedling emergence at low temperature by priming. *Crop Science*, Madison, v.34, p.1589-1593, 1994.



ANEXOS

	Página
1A	Cálculo do potencial osmótico das soluções com polietileno glicol (PEG 6000)..... 101
2A	Cálculo do potencial osmótico da solução salina e da solução de polietileno glicol (PEG 6000) mais sal..... 101
TABELA 1A	Resumo da análise de variância do experimento 1, dos dados obtidos do teste de germinação (TG); porcentagem de protusão radicular (PPR), índice de velocidade de protusão radicular (IVPR) e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular (T_{50} PR); teste de germinação sob estresse térmico (TG-ET); porcentagem de protusão radicular, índice de velocidade de protusão radicular e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico, respectivamente (PPR-ET), (IVPR-ET), (T_{50} PR-ET) e condutividade elétrica (CE). UFLA, Lavras – MG, 1999..... 103
TABELA 2A	Resumo da análise de variância dos dados obtidos da determinação do grau de umidade (GU) do experimento 1. UFLA, Lavras – MG, 1999..... 104
TABELA 3A	Equações de regressão ajustadas do teste de germinação (TG); porcentagem de protusão radicular (PPR); índice de velocidade de protusão radicular (IVPR) e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular (T_{50} PR); teste de germinação sob estresse térmico (TG-ET); porcentagem de protusão radicular, índice de velocidade de protusão radicular e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico, respectivamente, (PPR-ET), (IVPR-ET), (T_{50} PR-ET) e condutividade elétrica (CE) em função do período (P) e temperatura (T) de condicionamento osmótico de sementes de pimentão. UFLA, Lavras – MG, 1999..... 105

TABELA 4A	Resumo da análise de variância do experimento 2, dos dados obtidos do teste de germinação (TG); primeira contagem do teste de germinação (PC); porcentagem de protusão radicular (PPR), índice de velocidade de protusão radicular (IVPR) e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular (T_{50} PR); comprimento de plântula (CP); emergência de plântula (EP) e índice de velocidade de emergência de plântula (IVG); condutividade elétrica (CE) e grau de umidade (GU). UFLA, Lavras – MG, 1999.....	106
TABELA 5A	Temperaturas máximas e mínimas registradas na casa de vegetação durante o teste de emergência e índice de velocidade de emergência de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, submetidas ao condicionamento osmótico (experimento 2). UFLA, Lavras – MG, 1999.....	107

ANEXOS

1A. Cálculo do potencial osmótico das soluções com polietileno glicol (PEG 6000)

O cálculo da concentração de polietileno glicol (PEG 6000) a ser adicionada para a obtenção do potencial osmótico de $-1,1\text{MPa}$ nas diferentes temperaturas foi definido de acordo com Michel e Kaufmann (1973) e descrito por Villela et al. (1991).

$$\psi_s = - (1,18 \times 10^{-2})C - (1,18 \times 10^{-4})C^2 + (2,62 \times 10^{-4})CT + (8,39 \times 10^{-7})C^2T$$

em que

ψ_s = potencial osmótico (bar);

C = concentração (g de PEG 6000/litro de água);

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

2A. Cálculo do potencial osmótico da solução salina e da solução de polietileno glicol (PEG 6000) mais sal

A concentração do sal KNO_3 utilizada para a obtenção do potencial osmótico de $-1,1\text{Ma}$ ($10,857\text{ atm}$) a 25°C (298°K) foi calculada de acordo com a equação de Van't Hoff (Hillel, 1971):

$$\psi_{os} = -i RTC$$

onde: ψ_{os} : potencial osmótico (atm);

i = coeficiente isotômico;

R: constante geral dos gases perfeitos ($0,082\text{ atm} \times \text{l} \times \text{mol}^{-1} \times ^{\circ}\text{K}^{-1}$);

T: temperatura ($^{\circ}\text{K}$)

C: concentração (mol/l).

O coeficiente osmótico a 25°C para a solução salina de KNO₃ com molalidade entre 0,2 e 0,3 é de 0,873 e 0,851, respectivamente (Robinson e Stokes, 1949). Neste trabalho, foi considerado $i = 1,72$ ($0,86 \times 2$).

Para a mistura de PEG 6000 e KNO₃, foram calculados 50% do potencial osmótico para cada um, independente, desconsiderando a interação entre os dois solutos. Portanto, a quantidade de soluto necessária para o preparo da solução de KNO₃ + PEG 6000 a -1,1Ma foi baseado na equação de Michel e Kaufmann (1973), descrito por Villela et al. (1991), para o cálculo da concentração de PEG 6000 a -0,55 MPa e de Van't Hoff (Hillel, 1971) para o sal KNO₃ a -0,55 MPa.

TABELA 1A - Resumo da análise de variância do experimento 1, dos dados obtidos do teste de germinação (TG); porcentagem de protusão radicular (PPR), índice de velocidade de protusão radicular (IVPR) e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular (T₅₀PR); teste de germinação sob estresse térmico (TG-ET); porcentagem de protusão radicular, índice de velocidade de protusão radicular e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular sob estresse térmico, respectivamente (PPR-ET), (IVPR-ET), (T₅₀PR-ET) e condutividade elétrica (CE). UFLA, Lavras - MG, 1999.

Quadradros Médios										
FV	GL	TG	PPR	IVPR	T ₅₀ PR	TG-ET	PPR-ET	IVPR-ET	T ₅₀ PR-ET	CE
Tipo (tp)	1	92,042**	63,375ns	2,269ns	6,253**	45,375*	210,042ns	6,197**	2,633ns	94,936*
Temp. (T)	2	7381,500**	1104,542**	953,849**	375,647**	54272,792**	12826,125**	384,745**	2015,549**	133,134**
Perf. (P)	3	1268,597**	287,375**	98,492**	28,660**	918,264**	336,375**	47,657**	142,0920**	170,490**
Tp x T	2	408,167**	3,875ns	0,762ns	2,312ns	160,125**	82,292ns	3,982**	3,434ns	14,450ns
Tp x P	3	326,153**	59,819ns	0,108ns	0,9223ns	104,042**	67,375ns	1,174ns	2,222ns	35,973ns
T x P	6	442,056**	211,542**	69,378**	6,311**	424,514**	175,292*	31,189**	34,687**	94,592**
Tp x T x P	6	223,611**	16,986ns	0,628ns	2,048*	69,625**	102,125ns	1,892**	2,466ns	65,615**
Trat. Adic.	5	87,067**	58,800ns	166,713**	27,880**	2284,300**	277,367**	189,960**	223,352**	1633,045**
Erro	90	10,856	33,0778	1,031	0,772	10,467	61,356	0,493	1,862	14,568
cv (%)		3,77	6,69	9,43	17,51	24,89	9,98	10,41	11,99	9,01

* e ** Teste F significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente
ns Teste F não significativo a 5% de probabilidade

TABELA 2A - Resumo da análise de variância dos dados obtidos da determinação do grau de umidade (GU) do experimento I. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Quadrados médios		GV	
FV	GL	59,164	**
Tipo (t)	1	6,914	**
Temp. (°C)	2	1,092	**
Peri. (P)	3	0,981	**
T x T ^o	2	1,158	**
T x P	3	1,351	**
T ^o x P	6	1,227	**
T x T ^o x P	6	345,014	**
Trat. Adicionais	8	0,070	
Erro	66	0,72	

** Teste F significativo a 1% de probabilidade

TABELA 3A - Equações de regressão ajustadas do teste de germinação (TG); porcentagem de protusão radical (PPR), índice de velocidade de protusão radical (IVPR) e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radical (T₅₀PR); teste de germinação sob estresse térmico (TG-ET); porcentagem de protusão radical, índice de velocidade de protusão radical e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radical sob estresse térmico, respectivamente, (PPR-ET), (IVPR-ET), (T₅₀PR-ET) e condutividade elétrica (CE) em função do período (P) e temperatura (T) de condicionamento osmótico de sementes de pimentão. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Variaáveis	Equações de regressão	r ²
TG	SL Y=52,505952-3,503571*T+6,149405*P+0,1625*T ² -0,369792*P ² +0,109107*TP	0,8011
	SNL Y=12,25+1,65*T+5,356250*P+0,0475*T ² -0,179688*P ² -0,04375*TP	0,7614
	PPR Y=85,095-0,303*T+1,056*P+0,038*P ² -0,147*P ² +0,114*TP	0,9146
	IVPR Y=11,703-2,427*T+0,349*P+0,099*T ² -0,0417*P ² +0,063*TP	0,9540
	T ₅₀ PR Y=8,871+0,842*T-0,362*P-0,043*T ² +0,026*P ² -0,024*TP	0,9513
	SNL Y=9,938+0,810*T-0,838*P-0,043*T ² +0,045*P ² -0,015*TP	0,8384
	TG-ET	
	SL Y=22,744048-10,871429*T+3,306845*P+0,64*T ² -0,153646*P ² +0,044643*TP	0,9724
	SNL Y=22,166667-8,775*T+1,308333*P+0,51*T ² -0,072917*P ² +0,1175*TP	0,9733
	PPR-ET	
	IVPR-ET Y=29,136+1,447*T+3,023*P+0,025*P ² -0,172*P ² +0,058*TP	0,9697
	SL Y=7,378-1,801*T+0,150*P+0,074*T ² -0,021*P ² +0,041*TP	0,9002
	SNL Y=6,227-1,347*T-0,037*P+0,054*T ² -0,0125*P ² +0,039*TP	0,9567
	T ₅₀ PR-ET	
	CE Y=19,612+1,825*T-0,638*P-0,095*T ² +0,043*P ² -0,05*TP	0,9948
	SL Y=50,433-2,368*T-1,961*P+0,094*T ² +0,105*P ² +0,011*TP	0,4621
	SNL Y=68,325-2,008*T-5,026*P+0,045*T ² +0,182*P ² +0,096*TP	0,9157

* e ** Teste F significativo a 5 e 1% de probabilidade
 † SL = sementes lavadas; SNL = sementes não lavadas
 ns Teste F não significativo a 5% de probabilidade

TABELA 4A – Resumo da análise de variância do experimento 2, dos dados obtidos do teste de germinação (TG); primeira contagem do teste de germinação (PC); porcentagem de protusão radicular (PPR), índice de velocidade de protusão radicular (IVPR) e tempo médio para ocorrência de 50% de protusão radicular (T_{50PR}); comprimento de plântula (CP); emergência de plântula (EP) e índice de velocidade de emergência de plântula (IVE); condutividade elétrica (CE) e grau de umidade (GU). UFLA, Lavras – MG, 1999.

Quadrados Médios

FV	GL	TG ¹	PPR ¹	IVPR	T50PR	PC ¹	CP	EP ¹	IVE	CE	GU
Trat.	4	0,0417**	0,0217*	139,3958**	26,9867**	0,5730**	4,0463**	0,1515**	3,8191**	17376,8808**	739,1657**
Erro	15	0,0029	0,0057	0,8215	0,0625	0,0047	0,0142	0,0038	0,0304	588,1896	0,0393
cv (%)		5,20	6,41	8,54	5,35	18,71	6,71	6,13	7,35	21,96	0,58

¹ Dados transformados em arco – seno $\sqrt{\%/100}$

* e ** Teste F significativo a 5 e 1% de probabilidade.

TABELA 5A - Temperaturas máximas e mínimas registradas na casa de vegetação durante o teste de emergência e índice de velocidade de emergência de sementes de pimentão, cultivar Yolo Wonder, submetidas ao condicionamento osmótico (experimento 2). UFLA, Lavras – MG, 1999.

Dias após semeadura	Temperaturas (°C)	
	Máx.	Mín.
1	23	15
2	21	15
3	22	14
4	27	16
5	26	16
6	28	17
7	28	13
8	28	15
9	29	15
10	27	18
11	28	12
12	27	11
13	26	11
14	27	12
15	22	13
16	28	14
17	25	14
18	25	13
19	27	17
20	28	16
21	28	16
Média	26,2	14,4
Média geral	20,3	