



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

REVIGORAMENTO DE SEMENTES DE MILHO POR
HIDROCONDICIONAMENTO

CHRISTIAN VITERBO MAXIMIANO

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
JUNHO/2024



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

REVIGORAMENTO DE SEMENTES DE MILHO POR
HIDROCONDICIONAMENTO

CHRISTIAN VITERBO MAXIMIANO

ORIENTADOR: RICARDO CARMONA
CO-ORIENTADORA: NARA OLIVEIRA SILVA SOUZA

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
JUNHO/2024



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**REVIGORAMENTO DE SEMENTES DE MILHO POR
HIDROCONDICIONAMENTO**

CHRISTIAN VITERBO MAXIMIANO

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.

APROVADO POR:

**Ricardo Carmona, Dr. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária -
Universidade de Brasília, CPF: 183.492.181-34, rcarmona@unb.br
(Orientador)**

**Warley Marcos Nascimento, Dr. (Embrapa Hortaliças), wmn@cnph.embrapa.br
(Examinador Interno)**

**Caroline Jacome Costa, Dra. (Embrapa Hortaliças), caroline.costa@embrapa.br
(Examinadora Externa)**

**Flivia Fernandes de Jesus Souza, Dra. fliviafdejesus@gmail.com
(Examinadora Externa)**

BRASÍLIA/DF, 28 de JUNHO de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

MAXIMIANO, Christian Viterbo

“REVIGORAMENTO DE SEMENTES DE MILHO POR HIDROCONDICIONAMENTO”.

Orientação: Ricardo Carmona, Brasília 2024. 141 p.

Tese de doutorado – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2024.

1. Qualidade fisiológica, germinação, vigor, hidratação, condicionamento fisiológico, enzimas.

I. Carmona, R. II. Dr.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MAXIMIANO, C.V. **Revigoração de sementes de milho por hidrocondicionamento. Brasília:** Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2024, 141 páginas. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Christian Viterbo Maximiano

TÍTULO DA TESE: Revigoração de sementes de milho por hidrocondicionamento

GRAU: Doutor ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

NOME: Christian Viterbo Maximiano CPF:031.649.311-23 Tel. (61) 98346-1730

E-mail: christianviter@hotmail.com

**DEUS, SENHOR DA MINHA VIDA,
E A MINHA FAMÍLIA
DEDICO.**

AGRADECIMENTOS

-Agradeço a Deus, por me guiar e permitir que eu crescesse com as diversas dificuldades que encontrei nessa caminhada.

- À minha amada mãe, Shirlene, que sempre iluminou minha vida com todo seu amor e carinho, sempre me incentivando e me dando forças, durante todas as escolhas que movem a minha vida.

-Ao meu querido pai, Alfredo, que é a base de todo o meu comprometimento e determinação profissional, que sempre me apoiou e me deu força para conseguir alcançar meus sonhos.

- À minha tia-avó Lacy, que durante todos esses anos sempre me motivou e me apoiou a concretizar esse sonho e por todo o seu amor e carinho.

-Ao meu tio Carlos Sergio (*in memoriam*) com todo meu amor e gratidão, por ter proporcionado momentos de muita alegria a nossa família e por ser um exemplo de dedicação ao trabalho.

-À minha família, base de todo o carinho e amor que existe em mim.

-Ao meu orientador Professor Dr. Ricardo Carmona, não somente pelos conselhos no desenvolvimento e elaboração desta tese, mas principalmente pela amizade, pelos conselhos e exemplos para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

-À minha co-orientadora Professora Dra. Nara Oliveira, por conduzir os meus primeiros passos na pesquisa, pela confiança nas minhas atividades desde a época da graduação até a conclusão do curso de mestrado e doutorado, pelas orientações e pela sua amizade.

-Ao professor Dr. Ernandes, pela orientação, disponibilidade e apoio dados em diversos momentos durante o curso de doutorado.

- À professora Dra. Eliane Ferreira Noronha, pelas orientações e ensinamentos na área da enzimologia que foram valiosas na condução deste projeto.

- À professora Dra. Selma Regina Maggiotto pela amizade, constante disponibilidade e contribuição em minha formação profissional.

- Ao Dr. Warley, Dra. Caroline e Dra. Flivia pela disponibilidade de participar da banca examinadora e pelas sugestões.

- Aos funcionários da Fazenda Água Limpa, em especial ao Israel, Joel, Jamanta, Rodrigo, Seu Zé, por toda ajuda nos experimentos de campo. Foi um prazer trabalhar com vocês.

- Ao colega José Cruz por toda ajuda nas análises estatísticas e convívio durante os anos de doutorado.

- Aos alunos de graduação Bruno Santos, Thiago Estácio, Maíza Souza, Luis Carlos, Amanda, Athos e Antônio pelo apoio e ajuda nas atividades de campo e em laboratório.

- À minha amiga Nayara Carvalho por toda a convivência, pelos momentos de descontração, pela alegria, por toda a força e ensinamentos transmitidos durante a pesquisa na área da enzimologia e por ser um exemplo de dedicação ao trabalho e aos estudos.

- Ao Centro Universitário ICESP pelo apoio durante a condução dos experimentos do doutorado.

- A todos os amigos da Pós-Graduação, pelo convívio e amizade.

- A todos que colaboraram direta ou indiretamente para realização deste trabalho, meu muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO II – Revigoração de sementes de milho (comum, pipoca, doce e super doce) por hidrocondicionamento

- Figura 1.** Processo de hidrocondicionamento das sementes de milho com insuflação de ar com compressor (A) e concentrador de oxigênio (B). **Fonte:** Christian Viterbo Maximiano..... 45
- Figura 2.** Curvas de embebição de sementes de milho de diferentes tipos e qualidades fisiológicas distintas, com e sem insuflação de ar. Brasília, DF, Brasil, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01, segundo o teste F..... 49
- Figura 3.** Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho comum BR 106, com distintas qualidades, no vigor das sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântula; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível de 0,05 e ** significativo ao nível de 0,01 segundo teste F. 52
- Figura 4.** Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho pipoca BRS Angela, com distintas qualidades, no vigor de sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântulas; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível de 0,05 e ** significativo ao nível de 0,01 segundo teste F. 53
- Figura 5.** Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho Doce Cristal BR 402, com distintas qualidades, no vigor de sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântulas; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível de 0,05 e ** significativo ao nível de 0,01 segundo teste F. 54
- Figura 6.** Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho Super Doce BR 400, com distintas qualidades, no vigor de sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântulas; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível de 0,05 e ** significativo ao nível de 0,01 segundo teste F. 55

Figura 7. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintas qualidades, no percentual geminativo de sementes. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F. 57

Figura 8. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintas qualidades, na condutividade elétrica de sementes. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F. 61

CAPITULO III - Hidrocondicionamento de sementes de milho no desempenho e seu campo

Figura 1. Processo de hidrocondicionamento das sementes de milho com insuflação de ar com compressor (A) e concentrador de oxigênio (B). **Fonte:** Christian Viterbo Maximiano..... 76

Figura 2. Precipitação e temperatura médias diárias na Fazenda Água Limpa no ano de 2021..... 77

Figura 3. Precipitação e temperatura médias diárias na Fazenda Água Limpa no ano de 2022..... 78

Figura 4. Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação dos grupos de diferentes tipos de milho, com distintos níveis de qualidade, tratados com diferentes técnicas de hidrocondicionamento e períodos de hidrocondicionamento. 81

Figura 5. Análise de componentes principais (PCA) do desempenho em campo de semente de diferentes tipos de milho de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos e tipos de insuflação (O₂ concentrado, Ar atmosférico e Ausência de insuflação). Em que: IVE: índice de velocidade de emergência, EC: emergência em campo, ALT: altura de plantas aos 45 dias (ALT 45) e aos 75 dias (ALT 75), AIE: altura da inserção da espiga, IC: índice de colheita e PROD: produtividade 83

Figura 6. Análise de componentes principais (PCA) do desempenho em campo de semente de diferentes tipos de milho de baixa qualidade fisiológica hidrocondicionadas durante distintos períodos e tipos de insuflação (O₂ concentrado, Ar atmosférico e

Ausência de insuflação). Em que: IVE: índice de velocidade de emergência, EC: emergência em campo, ALT: altura de plantas aos 45 dias (ALT 45) e aos 75 dias (ALT 75), AIE: altura da inserção da espiga, IC: índice de colheita e PROD: produtividade . 85

CAPITULO IV - Hidrocondicionamento de sementes de milho na atividade de enzimas amilolíticas e correlação com a qualidade fisiológica

Figura 1. Processo de hidrocondicionamento das sementes de milho com insuflação de ar com compressor (A) e concentrador de oxigênio (B). **Fonte:** Christian Viterbo Maximiano..... 100

Figura 2. Atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais em sementes de alta qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (pontilhado - vermelho), insuflação com ar (tracejado - verde) e insuflação com oxigênio (continua – azul)..... 106

Figura 3. Atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais em sementes de baixa qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (pontilhado - vermelho), insuflação com ar (tracejado - verde) e insuflação com oxigênio (continua – azul)..... 107

Figura 4. Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas, que permitiu a separação dos grupos de diferentes tipos de milho, com distintos níveis de qualidade, tratados com diferentes técnicas e períodos hidrocondicionamento..... 109

Figura 5. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros de qualidade fisiológica de sementes de alta qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho e atividade das enzimas amilolíticas, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação. Em que: germinação (G), comprimento de plântulas (CP), comprimento de radícula (CR), matéria seca de plântulas (MS) e condutividade elétrica (CE)..... 110

Figura 6. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros de qualidade fisiológica de sementes de baixa qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho e atividade das enzimas amilolíticas, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação. Em que: germinação (G), comprimento de plântulas

(CP), comprimento de radícula (CR), matéria seca de plântulas (MS) e condutividade elétrica (CE).....	112
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE TABELAS

CAPITULO II – Revigoração de sementes de milho (comum, pipoca, doce e super doce) por hidrocondicionamento

Tabela 1. Germinação (%) prévia ao hidrocondicionamento das sementes de diferentes tipos de milho com alta e baixa qualidade fisiológica.	44
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPITULO III - Hidrocondicionamento de sementes de milho e seu desempenho em campo

Tabela 1. Germinação (%) prévia ao hidrocondicionamento das sementes de diferentes tipos de milho com alta e baixa qualidade fisiológica.	75
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabela 2. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de desempenho em campo de diferentes tipos de milho provenientes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar.	84
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabela 3. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de desempenho em campo de diferentes tipos de milho provenientes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar.	86
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPITULO IV - Hidrocondicionamento de sementes de milho na atividade de enzimas amilolíticas e correlação com a qualidade fisiológica

Tabela 1. Germinação (%) prévia ao hidrocondicionamento das sementes de tipos de milho com alta e baixa qualidade fisiológica.	99
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabela 2. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de atividade enzimática, germinação e vigor de plântulas de tipos de milho proveniente de sementes de alta qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação.....	111
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Tabela 3. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de atividade enzimática, germinação e vigor de plântulas de tipos de milho proveniente de sementes de baixa qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação..... 113

RESUMO

O hidrocondicionamento é uma técnica de embebição controlada das sementes que permite a ativação dos processos metabólicos da germinação, evitando a emissão da raiz primária, propiciando uniformização e melhoria no desempenho das plantas em campo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes períodos e técnicas de hidrocondicionamento na atividade enzimática e no desempenho de sementes de milho convencional, pipoca, doce e super doce. Os experimentos foram realizados nos Laboratórios de Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) e de Enzimologia (Departamento de Biologia Celular - IB), da Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal. As avaliações de campo foram realizadas na Fazenda Água Limpa (UnB), Área rural da Vargem Bonita – DF. Foram utilizadas sementes de quatro tipos de milho (comum BR 106, pipoca BRS Angela, Doce Cristal BR 402 e Super Doce BR 400), com alta e baixa qualidade fisiológica, submetidas a três técnicas de insuflação durante o hidrocondicionamento (ausência, ar atmosférico, oxigênio concentrado) por cinco períodos (0, 30, 60, 90 e 120 minutos), em esquema fatorial 2x3x5, em quatro repetições, totalizando 30 tratamentos, por tipo de milho avaliado. Após o hidrocondicionamento, as sementes foram submetidas ao processo de secagem natural por 168 horas, a 25 °C, até aproximadamente 13% de teor de água. As sementes foram então submetidas aos testes de qualidade fisiológica em laboratório, avaliações das características morfoagronômicas em campo e análise da atividade enzimática. Foram realizadas as seguintes avaliações de qualidade fisiológica: teor de água (TA); germinação (G); comprimento de plântula (CP) e de raiz (CR); massa seca de plântulas (MS) e condutividade elétrica (CE). As avaliações das características morfoagronômicas em campo compreenderam: índice de velocidade de emergência (IVE), emergência em campo (EC), altura de plantas (ALT), altura da inserção da primeira espiga (AIE), índice de colheita (IC) e produtividade (PROD). A atividade e a expressão das enzimas amilolíticas foram avaliadas por meio de fluorescência em espectrofotômetro. Na avaliação da qualidade fisiológica das sementes, atividade enzimática e para as demais avaliações laboratoriais foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) e para as variáveis de campo, o delineamento em blocos ao acaso (DBC). A técnica de hidrocondicionamento associado com insuflação de oxigênio ou ar, em lotes com diferentes níveis de qualidade, seguida de secagem natural, proporcionou aumento da porcentagem de germinação, reduziu a perda de solutos celulares, acarretou desenvolvimento inicial mais rápido das plântulas e ocasionaram aumento do desempenho das plantas em campo em todos os tipos de milho, exceto nos milhos doce e super doce com baixa qualidade fisiológica. A atividade das enzimas amilolíticas dos diferentes tipos de milho, com distintos níveis de qualidade fisiológica, foi intensificada quando as sementes foram submetidas ao tratamento de hidrocondicionamento associado com a insuflação de ar ou oxigênio. A germinação, o desenvolvimento inicial das plântulas, o desenvolvimento em campo e a atividade amilolítica de todos os tipos de milho avaliados, com alta e baixa qualidade foram intensificados mediante a exposição das sementes à água insuflada (oxigênio ou ar),

especialmente durante os períodos de embebição de 30 e 60 minutos, seguido de secagem natural das sementes.

Palavras-Chave: Qualidade fisiológica, germinação, vigor, hidratação, condicionamento fisiológico, enzimas.

ABSTRACT

Hydropriming is a controlled seed imbibition technique that allows the activation of the metabolic processes of germination, avoiding the emission of the primary root, providing uniformity and improving the performance of plants in the field. The objective of this work was to evaluate the effect of different periods and hydroconditioning techniques on the enzymatic activity and performance of conventional, popcorn, sweet and super sweet corn seeds. The experiments were carried out in the Seed Technology Laboratories of the Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine (FAV) and of Enzymology (Department of Cell Biology - IB), of the University of Brasília (UnB), Brasília, Federal District. Field evaluations were carried out at Fazenda Água Limpa (UnB), rural area of Vargem Bonita – DF. Seeds of four types of corn were used (common BR 106, popcorn BRS Angela, Sweet Crystal BR 402 and Super Sweet BR 400), with high and low physiological quality, subjected to three inflation techniques during hydroconditioning (absence, atmospheric air, concentrated oxygen) for five periods (0, 30, 60, 90 and 120 minutes), in a 2x3x5 factorial scheme, in four replications, totaling 30 treatments, per type of corn evaluated. After hydropriming, the seeds were subjected to a natural drying process for 168 hours, at 25°C, until approximately 13% water content. The seeds were then subjected to physiological quality tests in the laboratory, evaluation of morphoagronomic characteristics in the field and analysis of enzymatic activity. The following physiological quality assessments were carried out: water content (TA); germination (G); seedling length (CP) and root length (CR); seedling dry mass (DM) and electrical conductivity (EC). The evaluations of morphoagronomic characteristics in the field included: emergence speed index (IVE), field emergence (EC), plant height (ALT), first ear insertion height (AIE), harvest index (IC) and productivity (PROD). The activity and expression of amylolytic enzymes were evaluated using fluorescence spectrophotometer. In evaluating the physiological quality of the seeds, enzymatic activity and for other laboratory evaluations, the completely randomized design (DIC) was used and for field variables, the randomized block design (DBC) was used. The hydroconditioning technique associated with oxygen or air insufflation, in batches with different qualities, followed by natural drying, provided an increase in the percentage of germination, reduced the loss of cellular solutes and resulted in faster initial development of seedlings. In the field experiment, hydroconditioning techniques, in high and low quality batches, associated with gas insufflation caused an increase in field performance in all types of corn, except for sweet and super sweet corn with low physiological quality. The activity of amylolytic enzymes from different types of corn, with different physiological qualities, was intensified when the seeds were subjected to hydroconditioning treatment associated with air or oxygen insufflation. Germination, initial seedling development, field development and amylolytic activity of all types of corn evaluated, with high and low quality, were intensified by exposing the seeds to insufflated water (oxygen or air), especially during the soaking periods of 30 and 60 minutes, followed by natural drying of the seeds.

Keywords: Physiological quality, germination, vigor, hydration, physiological conditioning, enzymes.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	2
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 A cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.).....	5
3.2 Tipos de milho	6
3.2.1 Comum.....	6
3.2.2 Doce e Superdoce (<i>Zea mays</i> L., grupo saccharata).....	7
3.2.3 Pipoca (<i>Zea mays</i> L. var. everta).....	9
3.4 Caracterização morfoagronômica do milho	11
3.5 Qualidade de sementes de milho	12
3.5.1 Qualidade fisiológica de sementes.....	13
3.5.2 Enzima alfa – amilase e a qualidade de sementes	14
3.6 Fisiologia da germinação	15
3.7 Condicionamento fisiológico de sementes	17
3.7.1 Enzima alfa – amilase e condicionamento de sementes	19
3.7.2 Hidrocondicionamento	20
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO II: REVIGORAMENTO DE SEMENTES DE MILHO (COMUM, PIPOCA, DOCE E SUPER DOCE) POR HIDROCONDICIONAMENTO	39
RESUMO	40
ABSTRACT	41
2.1 INTRODUÇÃO	42
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	44
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
2.4 CONCLUSÕES	63
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
CAPÍTULO III: HIDROCONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE MILHO E SEU DESEMPENHO EM CAMPO	71
RESUMO	72
ABSTRACT	73
3.1 INTRODUÇÃO	74
3.2 MATERIAL E METODOS	74
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81

3.4 CONCLUSÕES	89
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
CAPÍTULO IV: HIDROCONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE MILHO NA ATIVIDADE DE ENZIMAS AMIOLÍTICAS E CORRELAÇÃO COM A QUALIDADE FISIOLÓGICA	94
RESUMO	95
ABSTRACT	96
4.1 INTRODUÇÃO	97
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	99
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
4.4. CONCLUSÕES	117
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
ANEXOS	125

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais importantes mundialmente, do ponto de vista econômico e social. De maneira primordial, está inserido na estrutura da cadeia produtiva do agronegócio brasileiro. O milho é atualmente cultivado em todas as microrregiões do Brasil, que é o terceiro maior produtor mundial do cereal, sendo que, na safra 2022/2023 o País atingiu a produção de 137 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (348,4 milhões de toneladas) e da China (277,2 milhões de toneladas) (CONAB, 2023).

Os tipos de milho designados como “especiais” são todos aqueles que não são cultivados para a produção de grãos secos ou *commodities*, compreendendo o milho verde comum, milho verde doce e super doce, milho pipoca e milho destinado à produção de minimilho, dentre outros, que possuem nichos de mercado próprios com grande valor agregado. O cultivo de milhos pertencentes ao grupo “especial” é pouco difundido no Brasil, sendo diversos fatores apontados como responsáveis, entre os quais a inexistência de variedades bem adaptadas às condições de cultivo, a baixa qualidade fisiológica das sementes e a presença de caracteres agronômicos indesejáveis.

Alguns tipos de milho, como o doce e o super doce apresentam problemas de baixa qualidade fisiológica, quando comparados ao milho comum. Isso se deve à reduzida quantidade de amido e à maior quantidade de açúcares no endosperma, que acarretam a formação de espaços entre a camada de aleurona e o pericarpo da semente, durante a maturação, deixando-a enrugada (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007). O milho pipoca, quando comparado ao milho comum, apresenta, em geral, grãos menores, maior prolificidade, menor vigor, maior suscetibilidade a pragas e doenças, ao acamamento e ao quebramento do colmo, conseqüentemente, menor produtividade (KANTETY et al., 1995; LARISH; BREWBAKER, 1999; SAWAZAKI, 2001).

Na cultura do milho, vários são os fatores determinantes de produtividade, sendo a qualidade de sementes um fator determinante para o êxito da cultura, pois ela determina o potencial produtivo da planta. O uso de sementes com qualidade certificada é um fator primordial para o estabelecimento da cultura do milho, pois resulta em maiores volumes de produção, maior uniformidade e maior vigor das populações de mudas e plantas (BITTENCOURT et al., 2012; CATÃO et al., 2013).

O potencial fisiológico engloba informações sobre a viabilidade e o vigor das sementes e compreende o conjunto de aptidões que permite estimar a capacidade de um lote de sementes manifestar adequadamente suas funções vitais após a semeadura, ou seja, sob uma ampla faixa de condições ambientais. Assim, as informações referentes à germinação e ao vigor permitem a comparação entre lotes de sementes e avaliam a probabilidade de sucesso com a aquisição e utilização de sementes de alta qualidade (MARCOS FILHO, 2011).

A aplicação de técnicas que possibilitem a melhoria da qualidade fisiológica em sementes de milho é de importância relevante. Algumas técnicas vêm sendo estudadas, como o condicionamento das sementes (ARIF et al., 2014; MASETTO et al., 2013; SEDIYAMA et al., 2012; YASARI, et al., 2013). Várias técnicas de condicionamento de sementes têm sido empregadas com a finalidade de proporcionar melhor potencial germinativo das sementes e melhor desempenho das plantas em campo, como: condicionamento osmótico, embebição em atmosfera úmida, condicionamento mátrico e hidrocondicionamento (MARCOS FILHO, 2005).

O condicionamento fisiológico é uma técnica de embebição controlada das sementes que permite a ativação dos processos metabólicos da germinação, evitando a emissão da raiz primária, propiciando uniformização e melhor desempenho das plantas em campo (CASTRO; HILHORST, 2004). A eficiência da técnica de hidratação implica que a absorção de água seja lenta para que não haja danos às membranas.

Na literatura, existem diversos relatos de trabalhos em que as técnicas de condicionamento fisiológico das sementes de diversas espécies proporcionaram redução no período de germinação, sincronizando a emergência das plântulas (ARMONDES, 2013, GIURIZZATO et al., 2008, KIKUTI; MARCOS FILHO, 2009, MAROUFI et al., 2011); contudo, na cultura do milho, ainda existem poucos trabalhos referentes ao hidrocondicionamento.

A técnica de hidrocondicionamento, portanto, ao fornecer água para as sementes, faz com que ocorra ativação de eventos metabólicos e bioquímicos, necessários para que ocorra a germinação, como a ativação de enzimas. Deste modo, o estudo da atividade enzimática da α -amilase é uma ferramenta de importância para a compreensão dos processos germinativos e do vigor de plântulas de milho, devido a participação desta enzima na hidrólise do amido, sendo responsável por 90% da atividade amilolítica em sementes, podendo auxiliar na identificação de alterações ocorridas durante o condicionamento fisiológico (MARCOS FILHO, 2015).

Tendo em vista a importância econômica da cultura do milho e a necessidade de sementes com elevada qualidade, o uso de novas tecnologias, como o hidrocondicionamento de sementes, pode acarretar diversos ganhos, favorecendo uma série de características importantes para o estabelecimento das plântulas e melhorando o desempenho das etapas iniciais da planta para o estabelecimento da cultura.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito de diferentes técnicas de hidrocondicionamento no desempenho fisiológico de sementes de distintos tipos de milho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar o efeito de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em tipos variados de sementes de milho, com distintas qualidades, sobre a qualidade fisiológica das sementes.
- Testar o efeito de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em tipos variados de sementes de milho, com distintas qualidades, nas características morfoagronômicas das plantas.
- Testar o efeito de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em tipos variados de sementes de milho, com distintas qualidades, na atividade de enzimas amilolíticas e sua correlação com a qualidade fisiológica das sementes.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do milho (*Zea mays* L.)

A cultura do milho possui elevada importância econômica, sendo um dos cereais mais utilizados na alimentação humana, ração animal e na produção de etanol (FUMAGALLI et al., 2017; MORAIS et al., 2017). Os Estados Unidos da América são os maiores produtores de milho e o Brasil é o terceiro maior produtor (BOIAGO et al., 2017). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a estimativa da produção brasileira de milho na safra 2023/2024 será de aproximadamente 117,6 milhões de toneladas.

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta que pertence à família Poaceae, tendo o seu centro de origem no México e na América Central. Esta planta possui hábito de crescimento herbáceo, monóica, produz frutos secos, do tipo cariopse ou semente nua, possuindo o ciclo fenológico bastante variado, sendo que, nas condições brasileiras, a maioria das cultivares completa o seu ciclo em 110 a 160 dias. O ciclo de desenvolvimento do milho pode ser descrito da emergência à colheita como: superprecoce, precoce e normal (BORÉM; GALVÃO; PIMENTEL, 2017).

As sementes de milho, são na verdade, cariopses e se dividem em três partes: pericarpo, endosperma e embrião. O pericarpo é uma camada fina e resistente que constitui a parte mais externa da semente. O endosperma é envolvido pelo pericarpo e apresenta maior volume, sendo constituído de amido e outros carboidratos. No endosperma, a parte em contato com o pericarpo é chamada de camada de aleurona, sendo esta camada muito rica em proteínas e enzimas que são fundamentais para o processo de germinação. O embrião é a estrutura que se encontra ao lado do endosperma, possuindo os primórdios de todos os órgãos da planta desenvolvida (BRASIL, 2009).

No Brasil, o cultivo de milho é realizado em duas safras no mesmo ano agrícola: a primeira safra (safra do verão) e a segunda safra (safra de inverno). Os plantios de verão são realizados em todos os estados, durante o período chuvoso, que ocorre no final de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-Oeste. A safrinha (safra de inverno) refere-se ao milho de sequeiro, plantado geralmente de janeiro a março ou até, no máximo, meados de abril, e predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Ao longo dos anos, tem-se verificado um decréscimo nas áreas plantadas na primeira safra, mas compensado pelo aumento do plantio no período da safrinha e no aumento do rendimento de grãos das lavouras de milho, tanto na primeira safra

quanto na safrinha. Apesar das condições desfavoráveis de clima, os sistemas de produção da safrinha têm sido aprimorados e adaptados a essas condições, o que tem contribuído para elevar os rendimentos das lavouras também nessa época (EMBRAPA, 2012).

A cultura do milho, ao longo dos anos, foi sofrendo vários avanços tecnológicos em melhoramento genético que agregaram grande potencial produtivo, destacando-se, no Brasil, a biotecnologia visando o desenvolvimento de cultivares transgênicas resistentes a insetos e tolerantes a herbicidas, ou a combinação de ambas (MIGUEL et al., 2014). Como reflexo da maior resistência das plantas ao ataque de insetos, têm-se verificado o crescimento na produtividade de grãos (SILVEIRA, 2005).

No Brasil, a produção de milho decorre, principalmente, da utilização de cultivares híbridas (FREITAS et al., 2009). Segundo Oliveira et al. (2010), a utilização dos híbridos de milho constitui um dos fatores responsáveis pelo aumento da produtividade na cultura. A produtividade de grãos é o fator decisivo na escolha do híbrido, pois está diretamente relacionada à adaptação ao ambiente de produção (EMYGDIO et al., 2007). Entretanto, para explorar ao máximo o potencial da lavoura, também devem ser consideradas informações acerca da qualidade da semente, da genética dos materiais, principalmente, no que diz respeito ao tipo de híbrido.

3.2 Tipos de milho

3.2.1 Comum

O milho comum é um tipo de milho comercial com grande potencial adaptativo a praticamente todas as regiões do País, predominando em praticamente todos os mercados brasileiros, por possuir um pacote tecnológico adaptado e bem estabelecido, o que faz com que os produtores tenham maior facilidade em trabalhar com as sementes deste tipo de milho.

O milho comum pode ser destinado a diversos fins alimentícios, contudo, cerca de 70% do que é produzido destina-se à fabricação de rações para o consumo animal, principalmente para os setores da avicultura e da suinocultura. Para que a espécie passasse a ser amplamente utilizada no consumo animal e atingisse altos tetos produtivos foram necessários alguns anos de melhoramento genético, a partir da origem da espécie (FORNASIERI FILHO, 2007).

As áreas de cultivo de milho comum podem adotar materiais conhecidos como variedades ou cultivares híbridas, obtidas pelo cruzamento de linhagens puras. O híbrido

simples é obtido pelo cruzamento de duas linhagens puras, enquanto o híbrido triplo é proveniente do cruzamento de um híbrido simples com uma linha pura e o híbrido duplo, obtido pelo cruzamento de dois híbridos simples (PESKE et al., 2012).

O milho comum da variedade BR 106 apresenta elevado potencial produtivo e teve seu lançamento no mercado no ano de 1985. É um milho considerado rústico por ser do tipo variedade, com isso, também, seu custo de produção de sementes é mais baixo, possui um porte médio de 240 cm de altura e tem sua maturação em aproximadamente 130 dias. Esta variedade de milho apresenta boa adaptabilidade a todas as regiões do Brasil, possuindo boa resistência ao acamamento, altura média de inserção da espiga de 135 cm e produtividade média de 5.500 kg por hectare (EMBRAPA, 2013). O padrão mínimo de germinação exigido para comercialização de sementes de milho do tipo variedade é 85% (BRASIL, 2013).

Atualmente, a maioria das cultivares de milho comum utilizadas são híbridas, apresentando uma espiga por planta, empalhamento adequado de espigas e sementes de maior peso hectolítrico, comparativamente às aquelas de cultivares do início do século 20. Além disso, os materiais dentados são a minoria cultivada e possuem baixa aceitabilidade pela indústria, normalmente, restringindo-se à produção de milho verde e silagem (CRUZ et al., 2010).

O endosperma corresponde à maior fração do grão, sendo a concentração de amido equivalente a 86 a 89% do total de carboidratos (PAES, 2006). Pela concentração significativa, o amido pode ser considerado o subproduto mais importante do fracionamento do milho convencional, além de ser um dos hidratos de carbono naturais mais importantes na dieta humana (LIU et al., 2014). Além disso, possui propriedades hidrocoloidais, as quais possuem inúmeras aplicações industriais, tornando-o com maior valor agregado (CATÃO et al., 2010).

3.2.2 Doce e Superdoce (*Zea mays* L., grupo saccharata)

Os milhos doce e super doce (*Zea mays* L. grupo saccharata) são hortaliças de elevada importância econômica em nível mundial, pertencendo à família das Poaceae e ao gênero *Zea* (NAKAGAWA et al., 2012). A produção de milho doce no Brasil é estimada em 36.000 ha, sendo praticamente 100% da produção destinada ao processamento industrial para consumo humano, movimentando em torno de 550 milhões de reais por ano. Em nível nacional a produção de milho doce está concentrada no estado de Goiás, que se destaca como o maior produtor, com 28.000 ha (PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

Os milhos Doce Cristal (BR 402) e Super Doce (BR 400) apresentam, respectivamente, porte médio de 276 cm e 238 cm de altura, ciclo tardio e médio em torno de 95 e 85 dias e comprimento da espiga em torno de 18 cm para o milho doce e de 16 cm para o super doce. Os grãos do milho doce apresentam coloração amarelo – pálido, enquanto os grãos de milho super doce possuem coloração amarelo – alaranjado. A produtividade média da espiga do milho doce pode variar em torno de 12 toneladas por hectare e a do milho super doce, em torno de 10 toneladas por hectare. Produtividades mais altas, em ambos tipos de milho, são favorecidas em plantios de verão. O mesmo sistema de produção utilizado para o milho comum, nas respectivas regiões, pode ser utilizado para a produção de milho doce e super doce (PEREIRA FILHO; TEIXEIRA, 2016).

Os dois grupos de milho doce são identificados com base no teor de açúcares das sementes: os chamados doces, com 9 a 14% de açúcares e 30 a 35% de amido e os superdoces, com cerca de 25% de açúcares e 15% a 25% de amido (FREITAS, 2007; SILVA, 1994); já os grãos de milho comum apresentam em torno de 3% de açúcares e de 80% a 90% de amido (PAES, 2006).

O milho doce é resultante de uma mutação espontânea do milho convencional, que difere do milho comum pela presença de alelos que bloqueiam a conversão de açúcares em amido no endosperma, conferindo aos grãos alto teor de açúcares e baixo teor de amido. Entre os principais genes que conferem esta característica estão o sugary-1 (su1), brittle (bt2) e shruken (sh2) (ZUCHARELI et al., 2012).

O gene su1 é encontrado nas cultivares do grupo Doce Cristal, apresentando como limitação o curto período de permanência dos grãos no ponto de colheita, resultando em perda do sabor adocicado. Esta classe de milho apresenta leve redução da quantidade de amido, quando comparado ao milho super doce. As cultivares do grupo Super Doce são portadoras do gene bt2 ou do gene sh2 na forma homozigota recessiva, e, com isso, apresentam aumento do teor de sacarose no endosperma dos grãos imaturos em aproximadamente 25%. Esta classe de milho possui a característica de acumular açúcares em detrimento do amido, resultando em redução drástica de carboidratos totais na maturação fisiológica (TRACY, 2001; FREITAS, 2007).

As sementes de milho doce e super doce apresentam problemas de baixa qualidade fisiológica, quando comparadas ao milho comum, apresentando menor germinação e vigor. Para estes tipos de milho os padrões mínimos de germinação para a comercialização de

sementes são de 70% e 60%, respectivamente, para os milhos classificados como doce e super doce.

Na literatura, existem vários relatos que abordam que o baixo potencial fisiológico das sementes de milho dos tipos doce e super doce pode estar relacionado à reduzida quantidade de amido e à maior quantidade de açúcares no endosperma, ocasionando a formação de espaços entre a camada de aleurona e o pericarpo da semente, durante a maturação, deixando as sementes com aspecto enrugado. Segundo Kwiatkowski e Clemente (2007), a fina espessura do pericarpo e a maturidade incompleta dos grãos também contribuem para os problemas relacionados à qualidade fisiológica das sementes de milho dos tipos doce e super doce.

Além das características genéticas, outros fatores podem afetar a qualidade fisiológica de sementes de milho doce e super doce, tais como época de colheita, temperatura de secagem dos grãos, danos mecânicos, ataque de pragas e doenças (ARAÚJO et al. 2002, GOMES JÚNIOR et al. 2009).

3.2.3 Pipoca (*Zea mays* L. var. *everta*)

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de milho pipoca, com produção média anual de 80 mil toneladas, sendo o cultivo deste tipo de milho realizado, principalmente, por pequenos agricultores (FREIRE, 2015). A maior concentração da produção de milho pipoca no Brasil ocorre, principalmente, na região sul do país, por meio de agricultores familiares, sendo que este tipo de milho é considerado uma excelente alternativa para a agricultura orgânica e agroecológica, uma vez que pode ser cultivada junto com outras culturas, aumentando a diversidade do local e reduzindo problemas com pragas e doenças (EMBRAPA, 2013).

No Brasil, o fornecimento de cultivares nacionais de milho pipoca é insuficiente, principalmente devido à inexistência de híbridos e variedades adaptadas aos solos e aos ambientes predominantes no Brasil, o que aumenta a importação de sementes (CATÃO; CAIXETA, 2017).

O milho pipoca é uma planta que pertence à mesma subespécie do milho comum *Zea mays* L. var. *everta*. A variedade de milho pipoca BRS Angela foi selecionada pela Embrapa Milho e Sorgo, sendo formada a partir de 33 materiais, sendo 28 com grãos de endosperma predominantemente brancos e cinco amarelos. Esta variedade de milho possui porte médio de 210 cm de altura, ciclo precoce, a inserção da espiga fica, em média, a 125 cm de altura, possui

grãos do tipo branco e arredondados e capacidade de expansão de 26 mL g⁻¹ (EMBRAPA, 2013).

Este milho tem como característica morfológica marcante a presença de grãos pequenos e duros, com capacidade de estourar e expandir seu volume quando aquecidos a 180 °C (OGLIARI; ALVES, 2007). O padrão de mínimo de germinação exigido para a comercialização de sementes de milho do tipo pipoca é de 70% (BRASIL, 2013).

As sementes de milho do tipo pipoca apresentam o pericarpo bem resistente, sendo quatro vezes mais rígido do que o milho comum. O endosperma representa aproximadamente 83% da massa seca do grão, consistindo principalmente de amido (88%), organizado na forma de grânulos. O pericarpo representa, em média, 5% do grão, sendo a estrutura que protege as outras estruturas do grão da elevada umidade do ambiente, insetos e microrganismos (PAES, 2006).

A cultura do milho pipoca, quando comparada ao milho convencional, apresenta algumas características peculiares que o diferencia, como: em geral possuem grãos menores, maior prolificidade, menor vigor, maior suscetibilidade a pragas e doenças, ao acamamento e ao quebraamento do colmo, conseqüentemente, menor produtividade. Porém, a maior diferença é sua capacidade de se expandir (KANTETY et al., 1995; LARISH; BREWBAKER, 1999; SAWAZAKI, 2001).

O processo de expansão está associado à presença de óleo e umidade no grão, que, quando aquecidos, em torno de 180 °C, exercem forte pressão sobre o pericarpo, cujo rompimento expõe o endosperma, formando a pipoca. O grão de milho pipoca estoura devido à fina cápsula que envolve o endosperma. A película do milho pipoca funciona como uma parede rígida, que se rompe quando a pressão interna aumenta, devido ao calor transferido para o interior do grão (SILVA et al., 1993).

Insucessos no estabelecimento da população desejada de plantas de milho pipoca geralmente se devem à baixa qualidade das sementes disponíveis. Segundo Marcos Filho (2005), uma das alternativas para o estabelecimento da cultura seria considerar o fator da qualidade de semente para cálculo da quantidade de sementes a serem distribuídas na semeadura em campo, para se obter a população de plantas desejada.

Na literatura, não existem muitos relatos a respeito do controle genético de caracteres associados à qualidade de sementes do milho pipoca, sendo recomendado que, em programas de melhoramento genético, houvesse a inclusão de caracteres relacionados à qualidade das sementes, visto que incrementariam a resistência à deterioração no campo e a longevidade

durante o armazenamento, bem como a capacidade de germinação e emergência em condições não-favoráveis (DELOUCHE, 1985).

3.4 Caracterização morfoagronômica do milho

A caracterização morfológica e agrônômica de cultivares é de extrema importância, pois permite auxiliar no processo de escolha de materiais que melhor se adaptem às condições de cultivo (SANTOS et al., 2010). Alguns caracteres relacionados à espiga, como o número de grãos e fileiras por espiga, além da massa média do grão, são extremamente importantes, pois apresentam correlação positiva na produtividade do milho (BALBINOT JR et al., 2005).

A caracterização de uma cultivar consiste basicamente em identificar e descrever as diferenças existentes entre elas, sendo realizada através de mensurações e observações a olho nu, nas plantas e sementes, sendo um dos primeiros passos para descrever novas variedades (OLIVEIRA et al., 2011b). A análise morfológica da planta permite avaliar com maior eficiência os genótipos mais promissores para trabalhos de melhoramento genético, possibilitando a identificação das variáveis mais importantes para o estudo de diversidade genética e os caracteres que não contribuem para a separação dos genótipos (COELHO et al., 2010).

A caracterização morfoagronômica é uma das etapas mais importantes que antecede o melhoramento genético, pois esta etapa consiste na descrição e no registro do maior número de caracteres que a planta possui, sendo que, através desse estudo, torna-se possível identificar as cultivares com características desejáveis a serem utilizadas em programas de melhoramento genético, para o desenvolvimento de variedades mais promissoras e adaptáveis aos ambientes específicos de cada região (FREIRE FILHO et al., 2005).

Na cultura do milho, os descritores morfoagronômicos mais utilizados são: altura de plantas, altura de inserção da espiga, produção de grãos, diâmetro do colmo, caracteres da folha, entre outras características, sendo estes descritores mais presentes na avaliação de características morfo agrônômicas, visando à seleção de plantas mais precoces, de porte ereto e com boa qualidade e produção de sementes (TOME et al., 2007)

3.5 Qualidade de sementes de milho

Na produção de sementes de milho, a qualidade das sementes é um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso da lavoura. Isso porque a qualidade da semente é traduzida pelo somatório de seus atributos, que culminam no surgimento do cultivo ideal, influenciando diretamente a produtividade agrícola, visto que é responsável pela maximização da ação dos insumos e das técnicas de manejo, influenciando diretamente o sucesso da lavoura e contribuindo significativamente para que os altos níveis de produtividade sejam alcançados (MARCOS FILHO, 2005).

Segundo Popinigis (1985), os quatro atributos essenciais para a qualidade de sementes são:

a) Atributos genéticos: estão relacionados com à pureza varietal, homogeneidade, potencial de produtividade, resistência a patógenos e pragas, precocidade, atributos morfológicos da planta, entre outros.

b) Atributos físicos: os principais atributos da qualidade física das sementes incluem pureza física, umidade, incidência de danificações mecânicas, peso volumétrico, massa de 1000 sementes e aparência.

c) Atributos fisiológicos: é a capacidade da semente de desempenhar funções vitais, caracterizada pela sua germinação, vigor e longevidade.

d) Atributos sanitários: é definido como a associação de patógenos (fungos, bactérias, vírus e nematóides) com as sementes, que podem implicar em redução do rendimento e comprometimento da qualidade.

No cultivo do milho, a qualidade das sementes pode ser facilmente observada na uniformidade do estande da cultura, no material sadio que não é veículo de transmissão de patógenos; no alto vigor, capaz de superar as mais diversas condições adversas e na capacidade de manter a sua vitalidade por um determinado período, isto é, a sua longevidade (POPINIGIS, 1977).

3.5.1 Qualidade fisiológica de sementes

A qualidade fisiológica da semente é definida e avaliada por dois parâmetros fundamentais: germinação e vigor (POPINIGIS, 1977). A germinação é definida como a emergência das plântulas seguida pelo desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, que possuem a capacidade de produzir uma planta normal sob condições favoráveis de campo (BRASIL, 2009). O vigor é um parâmetro avaliativo da qualidade fisiológica das sementes que leva em consideração o conjunto das propriedades da semente ou do lote de sementes, determinando a sua capacidade de gerar plântulas normais quando expostas a diferentes condições ambientais (MARCOS FILHO, 1994).

Segundo Marcos Filho (2011), o potencial fisiológico compreende o conjunto de aptidões que permite estimar a capacidade de um lote de sementes em manifestar adequadamente suas funções vitais após a semeadura. Assim, sementes com alto potencial fisiológico estão relacionadas diretamente com boa germinação e vigor, o que proporciona rápido estabelecimento de campos de produção.

Os testes para avaliação da qualidade fisiológica das sementes são realizados em laboratórios, principalmente o teste de germinação; no entanto, este é conduzido em condições favoráveis de temperatura, umidade e de luz, permitindo ao lote expressar o seu potencial máximo, sendo, portanto, pouco eficiente para indicar o desempenho no campo (MARCOS FILHO, 1999).

Segundo Perry (1981), as sementes sujeitas às condições adversas do campo, como excesso ou déficit hídrico, obstrução mecânica imposta por compactação da camada de solo que as cobre e ao ataque de microrganismos e insetos, apresentam menor porcentagem de emergência das plântulas em campo, às vezes, sendo menor do que a porcentagem de germinação obtida no teste de germinação. Observa-se que as condições adotadas em laboratório não são obrigatoriamente encontradas em campo, causando discrepâncias com relação aos resultados obtidos.

Com a constatação de que o teste de germinação era inadequado para estimar a emergência das plântulas em campo, sob condições adversas de ambiente, houve o desenvolvimento do conceito de vigor e, conseqüentemente, de novos testes para aprimorar a eficiência da avaliação da qualidade fisiológica das sementes (SANTOS et al., 2003). Segundo o Comitê de Vigor Internacional de Analistas de Sementes (ISTA), o vigor da semente é a soma de todas as propriedades da semente as quais determinam seu nível de atividade e desempenho,

ou do lote de sementes durante a germinação e a emergência de plântulas. As sementes que possuem bom desempenho são classificadas como vigorosas e as de baixo desempenho são chamadas de sementes de baixo vigor (ISTA, 1981).

Na fase de plântula a influência do vigor da semente é marcante sobre todos os aspectos do processo germinativo, desde a própria possibilidade de ocorrência da germinação até outras características, como a uniformidade, a velocidade, o tempo total de germinação, o tamanho e a massa das plântulas (SCHUCH et al., 1999; CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Os testes de vigor são utilizados para diferenciar os níveis de vigor entre as sementes, distinguindo-as também entre seus lotes. Estes testes são classificados em métodos diretos e métodos indiretos. Os diretos seriam os métodos que procuram simular as condições (às vezes adversas) que ocorrem no campo e os indiretos procuram avaliar atributos que indiretamente se relacionam ao vigor (físicos, biológicos, fisiológicos) das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Diversos testes de vigor estão disponíveis, procurando comparar, com precisão, o comportamento de lotes de sementes em laboratório e no campo, por exemplo, o teste de frio para milho (CÍCERO; VIEIRA, 1994), o teste de envelhecimento acelerado para soja (VIEIRA et al., 1994) e o teste de condutividade elétrica para ervilha (CALIARI; MARCOS FILHO, 1990; BLANDON; BIDDLE, 1992).

Um teste, isoladamente, é incapaz, seja ele, germinativo, fisiológico ou bioquímico, de avaliar um lote de sementes, mesmo para uma única espécie, sob todas as condições. Portanto, as pesquisas com testes de vigor devem considerar as variáveis e suposições envolvidas em cada teste (OLIVEIRA et al., 2009).

A utilização de sementes que apresentam elevado potencial fisiológico (vigor e germinação) traz vários benefícios para o agricultor, como melhor germinação do lote, sendo esta rápida e uniforme, produz plântulas que suportam uma gama variada de adversidades ambientais, tais como, estresses hídricos, apresentando maturidade mais uniforme na colheita (MARCOS FILHO, 1999).

3.5.2 Enzima alfa – amilase e a qualidade de sementes

As enzimas são proteínas cuja função específica é acelerar reações químicas. Elas aceleram a velocidade das reações químicas em sistemas biológicos, quando comparadas com as reações correspondentes não-catalisadas. A proteína será classificada como enzima se ela

apresentar alta eficiência catalítica, demonstrar alto grau de especificidade em relação aos seus substratos e aos seus produtos, acelerar a velocidade da reação em 10^6 a 10^{12} vezes em relação à reação correspondente não-catalisada, não ser consumida ou alterada ao participar da catálise, não alterar o equilíbrio das reações e ter sua atividade regulada geneticamente ou pelas condições metabólicas (LEHNINGER, 2006).

As alterações enzimáticas vêm sendo estudadas dentro da área da tecnologia de sementes com o objetivo de encontrar indicadores confiáveis relacionados com a qualidade fisiológica das sementes e esclarecer os processos que levam à deterioração das mesmas. Vários pesquisadores na área de tecnologia de sementes vêm estudando como a atividade enzimática pode identificar lotes com diferentes níveis de deterioração, tolerância à dessecação, assim como auxiliar na avaliação da qualidade fisiológica de sementes armazenadas ou submetidas a diferentes testes e a processos de germinação (ALBUQUERQUE et al., 2009).

Na cultura do milho, a α -amilase é considerada uma das enzimas mais importantes e ativas no processo metabólico, devido ao fato de as sementes de milho apresentarem 70% da sua massa constituída por amido, considerada a principal substância de reserva das sementes (WU et al., 2009). Durante o processo de germinação das sementes, as reservas insolúveis com alto peso molecular são degradadas e convertidas em formas solúveis, transportadas rapidamente para o tecido em crescimento, sendo empregadas em reações de síntese ou produção de energia (OLIVEIRA et al., 2013).

A atividade da enzima α -amilase fornece energia e esqueleto carbônico para o desenvolvimento do embrião, através da quebra do amido, desempenhando, entre as enzimas amilolíticas ativas presentes na germinação, um papel fundamental na hidrólise do amido, sendo responsável por 90% da atividade amilolítica em sementes de milho (JOSE et al., 2004).

A identificação dos picos da atividade da α -amilase durante a germinação é fundamental, visto que a atividade da amilase pode ser detectada durante o início da germinação das sementes e seu papel principal é fornecer substrato para as plântulas até que elas se tornem ativas fotossinteticamente (SANTOS et al., 2010).

3.6 Fisiologia da germinação

O processo germinativo das sementes consiste na reativação do crescimento do embrião por meio de uma sequência ordenada de eventos metabólicos, resultando na ruptura do tegumento pela radícula. O início desse processo se dá pela absorção de água pelas sementes e termina com o alongamento do eixo embrionário (BEWLEY; BLACK, 1994).

A etapa de embebição da semente é fundamental no processo de germinação, pois é responsável pela reidratação dos tecidos, com a consequente intensificação da respiração e de todas as outras atividades metabólicas que culminam com o fornecimento de energia e nutrientes necessários à retomada do crescimento, por parte do eixo embrionário. Além disso, a absorção de água desempenha outros papéis que contribuem para o sucesso da germinação, como o aumento do volume da semente, provocando o rompimento da estrutura de revestimento, o que facilita a subsequente emergência da plântula (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; ARAÚJO et al., 2018; SOUZA et al., 2018).

A germinação é um processo composto por três fases que consistem na embebição (fase I), na ativação dos processos metabólicos requeridos para o crescimento do embrião (fase II) e na iniciação do crescimento do embrião (fase III) (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). Na fase I (embebição), ocorre rápida absorção de água, sendo um processo puramente físico. Essa fase chega ao final quando o conteúdo de água da semente, em geral, alcança um nível de platô, mantido relativamente constante ou aumenta pouco e muito lentamente, por um período conhecido como intervalo ou fase de preparação e ativação do metabolismo, ou apenas fase II da embebição (BEWLEY; BLACK, 1994).

Na fase II, conhecida como etapa metabólica, ocorre a ativação dos processos metabólicos requeridos para o crescimento do embrião e a conclusão do processo germinativo. É nessa fase que ocorre o início da degradação das reservas e quando as estruturas circunvizinhas ao embrião são enfraquecidas, por meio do processo de degradação enzimática (BEWLEY; BLACK, 1994).

A fase III é conhecida como fase de germinação pós-absorção de água, sendo caracterizada pela protrusão da raiz primária, com expressivo aumento da umidade das sementes, sendo que somente as sementes viáveis podem alcançar essa fase (BEWLEY; BLACK, 1994; MANZ et al., 2005; PEREIRA et al., 2007). Uma vez iniciado o crescimento, as sementes perdem rapidamente a sua tolerância à desidratação, geralmente marcando um “ponto sem retorno” para a semente, que se encontra comprometida com a germinação e com o desenvolvimento da plântula (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

A duração de cada fase depende de propriedades inerentes à semente, como a permeabilidade do tegumento e o tamanho da semente e, também, das condições durante a embebição, como temperatura e composição do substrato (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

O conhecimento da fisiologia do processo germinativo das sementes tem permitido a redução do tempo necessário entre a semeadura e a emergência das plântulas, através da adoção de técnicas que proporcionam a iniciação do metabolismo de germinação das sementes, por meio do controle da absorção de água, sem, no entanto, permitir a protrusão da radícula (KIKUTI et al., 2005; GIURIZZATO, 2008; FERREIRA, 2011).

3.7 Condicionamento fisiológico de sementes

O condicionamento fisiológico consiste na embebição controlada das sementes em água, solução salina ou osmótica, ou em substratos umedecidos, para ativação dos processos metabólicos essenciais à germinação, sem que ocorra, a emissão da raiz primária (MARCOS FILHO; KIKUTI, 2008). Esse processo tem sido citado na literatura como *priming*, "envigoramento", "condicionamento osmótico" e "condicionamento fisiológico", e apresenta como principais vantagens a uniformização dos estandes de plantas e a aceleração da germinação e emergência das plântulas em campo (FAROOQ et al.; 2005).

A técnica de condicionamento fisiológico das sementes permite que ocorra a antecipação do início da síntese de novo de RNAm, proteínas e síntese de enzimas fundamentais para o reparo do sistema de membranas, ocasiona o acréscimo na síntese de DNA e atividade enzimática, incrementando a atividade respiratória e a produção de ATP e atuando sobre a ação de enzimas que provocam o enfraquecimento de tecidos que restringem a expansão da radícula durante a germinação (CHOJNOWSHI et al., 1997; SILVA, 2013).

No processo de condicionamento fisiológico, podem ocorrer danos irreversíveis às sementes, se as mesmas ultrapassarem a fase II do processo de embebição (TOSELLI; CASENAVE, 2003). Assim, se o processo de hidratação for incompleto, ou seja, se ocorrer até a fase II, de tal modo que permita a atividade de alguns metabólitos e de mecanismos de reparação, pode ser utilizado para uniformizar a germinação das sementes.

A eficiência da técnica de hidratação implica que a absorção de água seja lenta para que não haja danos às membranas. Segundo Marcos Filho (2005), várias técnicas de condicionamento de sementes têm sido empregadas, como:

- Embebição em atmosfera úmida: promove a embebição por meio da exposição das sementes à atmosfera saturada com vapor de água.
- Condicionamento mátrico: fornece água para as sementes por meio de substrato inerte umedecido.

- Imersão em água ou hidrocondicionamento: fornecimento de água diretamente às sementes.

- Condicionamento osmótico: controla a absorção da água pelas sementes pela adição de agente osmótico (PEG, NaCl, KNO₃, MgSO₄, MgCl₂, KH₂PO₄, MnSO₄) na água de embebição.

Na literatura, existem diversos relatos de trabalhos em que as técnicas de condicionamento fisiológico nas sementes de diversas espécies proporcionaram redução no período de germinação, sincronizando a emergência das plântulas, contribuindo para o estabelecimento das plântulas e favorecendo o sucesso na produção agrícola. Em brássicas, existem vários trabalhos que avaliaram a resposta ao condicionamento fisiológico de sementes. Para sementes de colza (*Brassica napus* L.), a técnica de hidrocondicionamento (imersão em água) por 24 h aumentou o vigor das sementes (MAROUFI et al., 2011). Já em sementes de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*), o osmocondicionamento foi eficiente para melhorar o desempenho da germinação e vigor das sementes (ARMONDES, 2013). Para couve-flor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytris*), o matricondicionamento entre quatro e seis folhas de papel toalha demonstrou benefícios à velocidade de germinação e de emergência de plântulas e esta resposta dependeu da cultivar ou histórico dos lotes (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2009).

Uma solução para o problema do estabelecimento das plântulas de *Ornithopus compressus* foi proposta, através do envigoramento de suas sementes utilizando a técnica do *priming* em água ou *hydropriming*. Foram encontradas diferenças significativas no teste de vigor, comprovando que o *hydropriming* promoveu melhora no vigor das sementes de *Ornithopus compressus*, com o lote de melhor vigor emergindo primeiro. Houve também melhora acentuada na uniformidade dos lotes, especialmente no lote de menor vigor (ARTOLA et al., 2003).

Perez e Negreiros (2001) avaliaram o efeito do pré-condicionamento na qualidade fisiológica de *Peltophorum dubium* em condições de estresse. O ensaio consistiu em quatro tratamentos onde o primeiro não recebeu pré-condicionamento, o segundo recebeu condicionamento em água destilada continuamente aerada por 24 horas a 20 °C e o terceiro e o quarto receberam pré-condicionamento em soluções de KNO₃ a 0,5 M e 1,0 M continuamente aeradas por 24 horas a 20 °C, respectivamente. Os autores concluíram que o condicionamento em água melhorou a qualidade fisiológica das sementes de canafístula, enquanto o osmocondicionamento com KNO₃ a 0,5M e 1,0 M reduziu a viabilidade e o vigor das sementes.

As sementes condicionadas em água e armazenadas por 45 dias apresentaram maiores valores de germinação e de velocidade de germinação em condições de estresse salino.

Em trabalhos realizados por Giurizzato et al. (2008) com sementes de soja, observou-se aumento da expressão do vigor pela velocidade de germinação e de emergência de plântulas, indicando vantagem do tratamento por hidrocondicionamento de sementes.

3.7.1 Enzima alfa – amilase e condicionamento de sementes

As técnicas de condicionamento fisiológico de sementes que tem como objetivo realizar a embebição de sementes em água ou em solução com substâncias promotoras de crescimento são conhecidas há vários anos, influenciando na melhoria na qualidade fisiológica das sementes, ocasionando aumento do potencial de desempenho das mesmas. O condicionamento fisiológico, portanto, ao fornecer água para as sementes, faz com que ocorra ativação de eventos metabólicos e bioquímicos, necessários para que ocorra a germinação. Deste modo, a avaliação da atividade da enzima α -amilase pode contribuir para a identificação de alterações ocorridas durante o condicionamento fisiológico (MARCOS FILHO, 2015).

A enzima α -amilase começa a atuar com a realização do condicionamento fisiológico, iniciando a degradação e mobilização das reservas, como o amido, e com isto há produção de açúcares que são transportados para o eixo embrionário, atuando como principal fornecedor de energia para o crescimento do embrião, que culmina com a emissão da raiz primária (BEWLEY et al., 2013).

Vieira et al. (2002) verificaram aumento na concentração de α -amilase em sementes de arroz embebidas em água, sendo que quanto maior o tempo de embebição em água, maior foi a quantidade de α -amilase encontrada nas sementes. No entanto, Fries et al. (2007) revelaram que em condições de excesso de água, a atividade da enzima α -amilase é bastante reduzida.

Aragão et al. (2003) observaram maior germinação e vigor, menor teor de proteínas totais e maior atividade amilolítica em sementes de milho superdoce armazenadas por oito meses em câmara seca (25 °C/40% UR) e submetidas à pré-embebição. Os autores relacionam a maior germinação e vigor das sementes tratadas com a maior atividade da α -amilase.

Oliveira et al. (2013), avaliando a qualidade fisiológica e expressão das enzimas amilases em sementes de milho, observaram maior expressão das enzimas amilases em sementes de menor tamanho e embebidas, relatando também expressão diferenciada das enzimas amilases em sementes de linhagens com diferentes níveis de qualidade fisiológica.

3.7.2 Hidrocondicionamento

O hidrocondicionamento é um tratamento pré-germinativo que consiste na imersão das sementes em água por um determinado período a uma temperatura pré-estabelecida para regular a quantidade de água absorvida pela semente, promovendo as fases I e II da germinação, mas sem permitir o estágio de protrusão da raiz primária, cuja paralisação da embebição deve ocorrer antes deste evento (KAYA, 2020).

A técnica de pré-embebição das sementes em água sob condições controladas permite a ativação dos processos metabólicos essenciais para a germinação, como o aumento da biossíntese de proteínas no embrião, produção de ATP, ativação de reparos ao DNA e sistemas antioxidantes, restauração de macromoléculas ou de estruturas celulares danificadas, proporcionando a aceleração e uniformização da germinação e emergência, bem como maior vigor de plântulas (SISODIA et al., 2018).

No tratamento de hidrocondicionamento de sementes, cada período de condicionamento resulta em um nível de hidratação das sementes, ocasionando a ativação de diferentes reações metabólicas, visto que a atividade fisiológica da semente está diretamente relacionada ao seu teor de água (MARCOS FILHO, 2005). Nas sementes de milho, o processo de degradação do amido envolve várias enzimas, destacando-se a alfa-amilase, beta-amilase, amido fosforilase e alfa-glucosidase. Entretanto, somente a alfa-amilase é capaz de hidrolisar diretamente os grânulos de amido, transformando-os em moléculas de oligossacarídeos solúveis (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Após o tratamento de hidrocondicionamento, as sementes atingem teores de água relativamente elevados e inadequados para a conservação do potencial fisiológico durante o armazenamento. Desta maneira, a secagem deve ser conduzida de maneira adequada, para minimizar a possibilidade de reversão dos efeitos benéficos do tratamento (MARCOS FILHO; KIKUTI, 2008). Além disso, a secagem após o condicionamento é desejável, pois evita expor as sementes aos riscos de danos mecânicos provocados pelos equipamentos de semeadura (BALBINO; LOPES, 2006).

A técnica de hidrocondicionamento apresenta um mecanismo chamado de “memória” do condicionamento em sementes que representa o evento da irreversível ativação do processo de germinação iniciados durante o condicionamento das sementes. O hidrocondicionamento inicia atividades relacionadas à germinação, momentaneamente interrompidas quando as sementes hidrocondicionadas passam por secagem. Neste caso, quando as sementes que foram

hidrocondicionadas e secas são reidratadas, retomam as atividades do ponto de interrupção com melhorias na germinação e vigor. O hidrocondicionamento acarreta ganhos na germinação, podendo levar ao aumento na tolerância ao estresse das sementes de diversas culturas (CHEN; ARORA, 2013).

Dentre as técnicas disponíveis de condicionamento fisiológico de sementes, o hidrocondicionamento apresenta algumas vantagens em relação às demais técnicas por ser um método mais simples e barato, pois envolve somente a água como agente de condicionamento. No entanto, as condições de temperatura, potencial fisiológico inicial das sementes, genótipo, período de exposição das sementes à água, aeração das sementes durante o tratamento e tamanho das sementes necessitam ser ajustados para cada espécie (NOORHOSSEINI et al., 2018).

Marcos Filho e Kikuti (2008) afirmam que a técnica de hidrocondicionamento pode promover maior germinação e melhorar a expressão do vigor das sementes e desempenho inicial das plântulas, com garantia de sementes com maior qualidade fisiológica. Em condições ambientais pouco favoráveis à germinação, tais como temperatura do solo ou substrato elevada, e excesso ou déficit de umidade, a utilização de técnicas de hidrocondicionamento pode propiciar a manutenção da viabilidade e do vigor das sementes.

Na literatura, existem vários relatos dos efeitos benéficos do hidrocondicionamento no tratamento de sementes, como por exemplo em sementes de cebola (CASEIRO; BENNETT; MARCOS FILHO, 2004), cenoura (MARCOS FILHO; KIKUTI, 2008), couve flor (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2009), maxixe (ARAÚJO et al., 2011) e melão (PAIVA et al., 2012). No entanto, Caseiro, Bennett e Marcos Filho (2004) verificaram que o comportamento das sementes depende do genótipo, dos métodos utilizados para o tratamento e das condições de armazenamento após o tratamento.

Segundo Ghassemi – Golezani et al. (2008), o tratamento de hidrocondicionamento em sementes de lentilha (*Lens culinaris* Medik) promoveu aumento no vigor e no estabelecimento de plântulas em campo, demonstrando ser um método simples, que não requer equipamentos especiais devido ao uso somente de água como meio de condicionamento, constituindo um dos métodos mais baratos.

Elkoca et al. (2007), investigando o efeito de diferentes períodos (12, 24 e 48 horas) de condicionamento osmótico de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), observaram que o hidrocondicionamento por 12 horas resultou em maior sincronização e velocidade de

germinação, ao passo que o condicionamento nos diferentes potenciais osmóticos por 48 horas promoveu decréscimo drástico na porcentagem de germinação e outros índices analisados.

De Paula Queiroga et al. (2009) observaram, em sementes de algodão, que o condicionamento hídrico proporcionou maior potencial germinativo e maior vigor em comparação às sementes não pré-hidratadas.

Hölbig, Baudet e Villela (2011) observaram que o hidrocondicionamento realizado em sementes de cebola favoreceu a velocidade de emergência e a porcentagem de plântulas emergidas, além de originarem plântulas maiores e com maior acúmulo de biomassa.

Segundo Bisognin et al. (2016), o hidrocondicionamento de sementes mostrou-se uma técnica de baixo custo e eficiente para a melhoria da qualidade e uniformidade das plântulas para as culturas do tomate e repolho.

Hernández-López et al. (2018) observaram que o hidrocondicionamento em sementes de *Capsicum chinense* é suficiente para estimular a germinação e, conseqüentemente, diminuir a dormência dessas sementes.

Maximiano et al. (2018) observaram que o desenvolvimento inicial das plântulas de milho é intensificado mediante a exposição das sementes ao pré – condicionamento em água, especialmente nas concentrações de 0 mg L⁻¹ e 30 mg L⁻¹ de ozônio, durante um período de 60 a 90 minutos, seguido de secagem natural das sementes.

3.7.2.1 Hidrocondicionamento e aeração

A aeração da solução condicionante é uma das variáveis mais importantes no processo do condicionamento fisiológico das sementes, pois pode influenciar positivamente no sucesso da técnica. A resposta à aeração durante o condicionamento varia conforme a espécie, sendo que o período ideal de duração do tratamento pode ser modificado quando se utiliza um sistema de aeração (PARERA; CANTLIFFE, 1994). Para Guedes e Cantliffe (1980), a aeração da solução reduziu o tempo necessário para o condicionamento de sementes de alface, sendo esse tratamento também recomendado por Bradford et al. (1986) e Nascimento (2003). Balbinot e Lopes (2006) concluíram que o condicionamento de sementes de cenoura em água destilada com sistema de aeração contribuiu para o aumento do vigor das sementes.

A utilização da aeração associada ao tratamento de condicionamento fisiológico das sementes pode promover redução na duração do tratamento, ou seja, é possível obter-se resultados satisfatórios em menores períodos de exposição das sementes em solução quando

associa-se o tratamento de condicionamento com aeração. Portanto, o processo de aeração na solução condicionante é um fator primordial que afeta diretamente o sucesso do condicionamento fisiológico de sementes (NASCIMENTO, 2004).

Demir e Oztokat (2003) obtiveram acréscimos no tamanho da raiz primária de plântulas de melão com o tempo de condicionamento de 35 dias, afirmando que soluções aeradas facilitam o condicionamento por períodos mais longos.

Sguarezi et al. (2001) observaram maior porcentagem de germinação quando as sementes de café (*Coffea arabica* L.) foram condicionadas (0; -0,5; -1,0 e -1,5 MPa) pelo período de 4 dias, enquanto o condicionamento por 12 dias acarretou decréscimo na porcentagem de germinação. Os autores atribuem a redução na taxa de germinação à possível deficiência de oxigênio nas soluções ao longo do tempo, o que pode ter alterado de alguma forma a qualidade fisiológica das sementes.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, K.S.; GUIMARÃES, R.M.; ALMEIDA, I.F.; CLEMENTE, A.C.S. Alterações fisiológicas e bioquímicas durante a embebição de sementes de sucupira- preta (*Bowdichia virgilioides* K.). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.1, p.249-258, 2009.

ARAGÃO, C.A.; DANTAS, B.F.; ALVES, E.; CATANEIO, A.C.; CAVARIANI, A.; NAKAGAWA, J. Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho superdoce tratadas com ácido giberélico. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.25, n.1, p.43-48, 2003.

ARAÚJO, E.F.; GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V.; ARAÚJO, R.F. Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce submetidas à debulha, com diferentes graus de umidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 2, p. 101-110, 2002.

ARAÚJO, P. C.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P.; PAIVA, E. P. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de maxixe. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina – PR, vol. 33, nº 3 p. 482 - 489, 2011.

ARAÚJO, M. L.; MAGALHÃES, A. C. M.; ABREU, M. G. P.; MACIEL, J. A.; FILHO, A. L. M. Efeito de diferentes potenciais osmóticos sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de feijão enxofre. **Ensaio**, v. 22, n. 3, p. 201-204, 2018.

ARIF, M.; JAN, M. T.; MIAN, I. A.; KHAN, S. A.; HOLLINGTON, P.; HARRIS, D. Evaluating the impact of osmopriming varying with polyethylene glycol concentrations and durations on soybean. **International Journal of Agriculture and Biology**, v.16, n.2, p.359-364, 2014.

ARMONDES, K.A.P. **Condicionamento osmótico e desempenho de sementes de repolho com diferentes níveis de vigor**. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p.29, 2013.

ARTOLA, A.; CARRILO-CASTAÑEDA, G.; GARCIA DE LOS SANTOS, G. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigour. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.31, n.2, p.455-463, 2003.

BALBINOT JR, A., BACKES, R., ALVES, A., OGLIARI, J., & FONSECA, J. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 11, n. 2, p. 161-166, 2005.

BALBINOT JUNIOR, A. A; FLECK, G. N. **Redução do espaçamento entre fileiras: benefícios e limitações**. Revista Plantio Direto, edição nº 87, maio/junho de 2005. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo - RS.

BALBINOT, E.; LOPES, H.M. Efeitos do condicionamento fisiológico e da secagem na germinação e no vigor de sementes de cenoura. **Revista Brasileira de Sementes**, v.8, n.1, p.1-8, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa** N° 45, de 17 de setembro de 2013. Diário Oficial da União, DF, 20 set. 2013. p. 25, Seção 1.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds, physiology of development and germination**. 2ed. New York: Plenum Press, p.445, 1994.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD K. J.; HILHORST H. W. M.; NONOGAKI H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**, 3rd ed. New York: Springer. p 392, 2013.

BISOGNIN, M.B.; KULCZYNSKI, S.M.; FERRARI, M.; GAVIRAGHI, R.; PELEGRIN, A.J.; SOUZA, V.Q. Desempenho fisiológico de sementes olerícolas em diferentes tempos de hidrocondicionamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 349- 359, 2016.

BITTENCOURT, S.R.M. et al. Metodologia alternativa para condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Ciência Rural**, v.42, n.8, p.1360-1365, 2012.

BOIAGO, R. G. F. S. R. et al. Combinação de espaçamento entrelinhas e densidade populacional no aumento da produtividade em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 440–448, 2017.

BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017.

BLADON, F.L.B.; BIDDLE, A.J. A three-years study of laboratory germination, electrical conductivity and field emergence in combining peas. **Seed Abstracts**, v.15, n.8, p.17, 1992.

BRADFORD, K.J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HorScience**, Alexandria, v.21, n.5, p.1105-1112, 1986.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, p.395, 2009.

CALIARI, M. F.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de ervilha (*Pisum sativum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.12, n.3, p.52 – 75, 1990.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, p.588, 2000.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, p.590, 2012.

CASEIRO R; BENNETT MA; MARCOS FILHO J. Comparison of three priming techniques for onion seed differing in initial seed quality. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.32, n.2, p.365-375, 2004.

CASTRO, R.D.; HILHORST, H.W.M. **Embebição e reativação do metabolismo**. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETI, F. Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre. Capítulo 9, p.149. 2004.

CATÃO, H.C.R. M; COSTA; F.M; VALADARES, S.V; DOURADO, E.R; JUNIOR, D.da S.B.; SALES, N.L.P; Qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de milho crioulo produzidas no norte de Minas Gerais, **Ciência Rural**, v.40, n.10, p.2060-2066, 2010.

CATÃO, H.C.R.M. Incidência e viabilidade de sementes crioulas de milho naturalmente infestadas com fungos em pré e pós-armazenamento. **Ciência Rural**, v.43, n.5, p.764-770, 2013.

CATÃO, H.C.R.M.; CAIXETA, F. Physiological, isozyme changes and image analysis of popcorn seeds submitted to low temperatures. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.234-243, 2017.

CHEN, K.; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.94, n.1, p.33-45, 2013.

CHOJNOWSHI, M.; CORBINEAU, F.; COME, D. Physiological and biochemical changes induced in sunflower seeds by osmopriming and subsequent drying, storage and aging. **Seed Science Research**, New York, v.7, n. 4, p. 323-331, 1997.

CÍCERO, S. M.; VIEIRA, R. D. Teste de frio. In: Vieira, R. D.; Carvalho, N. M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP: p.151 – 164, 1994.

COELHO, C. M. M.; ZILIO, M.; SOUZA, C. A.; GUIDOLIN, A. F.; MIQUELLUTI, D. J. Características morfo-agronômicas de cultivares crioulas de feijão comum em dois anos de cultivo. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 1177-1186, maio. 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Quinto levantamento para safra 2022/2023**. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> >. Acesso em: 09Outubro. 2023.

CRUZ, J.C.; SILVA, G.H.; PEREIRA FILHO, I.A.; GONTIJO NETO, M.M.; MAGALHÃES, P.C. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.9, n.2, p.177-188, 2010.

DELOUCHE, J.C. **Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas**. In: Memorias Tecnológicas de Semilla. CIAT. Colombia, p.34, 1985.

DEMIR, I.; OZTOKAT, C. Effect of salt priming on germination and seedling growth at low temperatures in watermelon seeds during development. **Seed Science & Technology**, v.31, p.765-770, 2003.

DE PAULA QUEIROGA, V.; DURÁN, J.M.; BRUNO, R. D.L.A.; QUEIROGA, D.A.N.; JERÔNIMO, J.F. Efeito do condicionamento hídrico e mátrico sobre a qualidade de sementes de algodão deslintadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p.107-115, 2009.

ELKOCA, E.; HALILOGLU, K.; ESITKEN, A.; ERCISLI, S. Hydro- and osmopriming improve chickpea germination. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.57, p.193-200, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Árvore do conhecimento: milho**. Agência EMBRAPA de Informação tecnológica. 2013. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy9zxyn102wx5ok0pvo4k359f3bo9.html>>. Acesso em: 29 jul. 2017.

EMBRAPA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivo de milho**. 2012 Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes,milho/economia.htm>. Acesso em: 20 out. 2018.

EMYGDIO, B. M.; IGNACZAK, J. C.; CARGNELUTTI FILHO, A. Potencial de rendimentos de grãos de híbridos comerciais simples, triplos, e duplos de milho. **Revista Brasileira de Milho de Sorgo**, v. 6, p. 95-103, 2007.

FAROOQ, M.; MA BASRA, S.; HAFEEZ, K.; AHMAD, N. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. **Acta Bot. Sinica**, v.47, p.187-192. 2005.

FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, p.323, 2004.

FERREIRA, A.C. **Condicionamento fisiológico, fitorreguladores e qualidade de sementes de milho-doce**. iv 53 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, p.576, 2007.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Org.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 519, 2005.

FREIRE, A.I. **Avaliação da capacidade de expansão de milho-pipoca pelas técnicas de espectrometria no infravermelho próximo, composição química e microscopia eletrônica**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, p.53, 2015.

FREITAS, R.A. **Produção de sementes de milho-doce**. In: CURSO SOBRE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE HORTALIÇAS, 7., 2007, Brasília. Brasília: EMBRAPA, 2007.

FREITAS, M. B.; RIBEIRO, J. M. M.; PERIN, A.; JUNIOR, H. R. S.; SILVA, A. Produtividade e incidência de grãos ardidos em híbridos de milho cultivados no Sudoeste de Goiás. **Revista Agrarian**, v. 2, p. 73-81, 2009.

FRIES, D. D.; ALVES, J. D.; DELÚ FILHO, N.; MAGALHÃES, P. C.; GOULART, P. F. P.; MAGALHÃES, M. M. Crescimento de plântulas do milho "Saracura" e atividade de α -amilase e invertases associados ao aumento da tolerância ao alagamento exercido pelo cálcio exógeno. *Bragantia*, **Campinas**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

FUMAGALLI, M. et al. Desempenho produtivo do milho híbrido simples em função de espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 426–439, 2017.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; ALILOO, A.A.; VALIZADEH, M.; MOGHADDAM, M. Effects of different priming techniques on seed invigoration and seedling establishment of lentil (*Lens culinaris* Medik). **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.6, n.2, p.222-226, 2008.

GIURIZZATO, M.I.K.; ROBAINA, A.D.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas ao hidrocondicionamento. Maringá, **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.5, p.711-717, 2008.

GOMES JUNIOR, F.G. **Injúrias mecânicas em sementes de milho doce**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p.129, 2009.

GUEDES, A.C.; CANTLIFFE, D.J. Germination of lettuce seeds at high temperature after seed priming. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.105, n.6, p.777-781, 1980.

HERNÁNDEZ-LOPEZ, A.; BELTRÁN-PEÑA, E. G.; OLIVEIRA, A. E. A.; AVILA-ALEJANDRE, A. X. Water preconditioning on germination and emergence of *Capsicum chinense* Jacq. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 9, n. 8, p.1703-1714, 2018.

HÖLBIG, L.S.; BAUDET, L.; VILLELA, F.A. Hidrocondicionamento de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 171-176, 2011.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). **Handbook of vigour test methods**. Zurich, Switzerland, p.72, 1981.

JOSÉ, S. C. B. R. et al. Controle genético da tolerância à alta temperatura de secagem em sementes de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.3, n.3, p. 414-428, 2004.

KANTETY, R.V., ZENG, X., BENNETZEN, J., ZEHR, B.E. Assessment of genetic diversity in dent and popcorn (*Zea mays* L.) inbred lines using inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification. **Molecular Breeding**, v.1, p.365-373, 1995.

KAYA, N. Effect of priming treatments and active carbon on seed germination of two calendula species. **American Journal of Innovative Research and Applied Sciences**, v.11, n.6, p.182-186, 2020.

KIKUTI, A.L.P.; KIKUTI, H.; MINAMI, K. Condicionamento fisiológico em sementes de pimentão. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.2, p.243-248, 2005.

KIKUTI, A.L.P.; MARCOS FILHO, J. Condicionamento fisiológico de sementes de couve flor. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, n.2, v. 27, p-240-245. 2009.

KWIATKOWSKI, A; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays* L.) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p. 93-103, 2007.

LARISH, L.B., BREWBAKER, J. L. Diallel analyses of temperate and tropical popcorn. *Maydica*, **Bergamo**, v. 44, 279-284, 1999.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de Bioquímica**. São Paulo: Editora Sarvier, 4ed., p.1202, 2006.

LIU, H.; LIANG, R. ANTONIOU, J.; SHOEMAKER, C.F; LI, Y.; ZHONG, F.; The effect of high moisture heat-acid treatment on the structure and digestion property of normal maize starch. **Food Chemistry**, v.159, n.11, p. 222–229, 2014.

MANZ, B.; MÜLLER K.; KUCERA, B.; VOLKE F.; METZGERG. L. Water Uptake and Distribution in Germinating Tobacco Seeds Investigated in Vivo by Nuclear Magnetic Resonance Imaging. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 138, n. 3, p. 1538- 1551, 2005.

MAPA, **Instrução Normativa n. 45 de 17 de setembro de 2013**. Estabelece padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes. Disponível em Acesso em 02 de fevereiro de 2023.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Ed.). Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: **Funep**, 1994. p.133-150, 1994.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1.1 - 1.21, 1999.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005.

MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, J.A.D. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor e desempenho das plantas em campo. **Horticultura Brasileira**, v.26, n.1, p.165-169, 2008.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: dimensão e perspectivas. **Seed News**, Pelotas, n.1, 2011.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas. Londrina: **Abrates**, p.659, 2015.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MAROUFI, K.; FARAHANI, H.A.; MOAVENI, P. Effects of Hydropriming on Germination in Rapeseed (*Brassica napus* L.). **Advances in Environmental Biology**, Pakistan, v.5, n.8, p.2208-2211, 2011.

MASETTO, T. E.; FARIA, J. M. R.; FRAIZ, A. C. R.; REZENDE, R. K. S. Condicionamento osmótico de sementes de *Sesbania virgata* (CAV) PERS (FABACEAE). **Cerne**, v.19, n.4, p.629-636, 2013.

MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O.; ALENCAR, E. R. D.; BLUM, L. E. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho pré-condicionadas em água ozonizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 360-365, 2018.

MIGUEL, F. B.; ESPERANCINI, M. S. T.; GRIZOTTO, R. K. Rentabilidade e risco da produção de milho safrinha geneticamente modificado e convencional na região de Guaíra/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.29, n.1, p.64-75, 2014.

MORAIS, R. B. G. et al. Crescimento e produtividade de milho em diferentes épocas de plantio, nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 109–119, 2017.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D. e CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP. p.49-85, 1994.

NAKAGAWA, A. C. S.; MARINO, T. P.; LOPES, K. B.; DALTO, P. G.; KRAUSE, M. D.; CAVALCANTE, A. P.; DIAS, H. A. C. Potencial agrônomico de populações de milho superdoce portadoras do gene Brittle-2. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos**. Campinas: Instituto Agrônomico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012.

NASCIMENTO, W.M. Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.1, p.71-75, 2003.

NASCIMENTO, W.M, **Condicionamento osmótico de sementes de hortaliças**, Brasília, Embrapa Hortaliças, p.12, 2004. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 33).

NOORHOSSEINI, S. A.; JOKAR, N. K.; DAMALAS, C. A. Improving seed germination and early growth of garden cress (*Lepidium sativum*) and basil (*Ocimum basilicum*) with hydro-priming. **Journal of plant growth regulation**, v. 37, n. 1, p. 323-334, 2018.

OGLIARI, J. B.; ALVES, A. C. Manejo e uso de variedades de milho como estratégia da Conservação de Anchieta. In: BOEF, W. S.; THIJSSEN M. H.; OGLIARI, J. B.; STAPIT, B. R. (Eds). **Biodiversidade e agricultores: fortalecendo o manejo comunitário**. s/ed. Porto Alegre: L&PM, p. 226-234, 2007.

OLIVEIRA, A.C.S. et al. Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. **Inter Science Place**, São Camilo, v.2, n.4, 2009.

OLIVEIRA, J.S.E., SOBRINHO, F.D.S., PEREIRA, R.C., MIRANDA, J.M.D., BANYS, V.L., RUGGIERI, A.C., PEREIRA, A.V., LEDO, F.D.S., BOTREL, M.D.A., AUAD, M.V. Potencial de utilização de híbridos comerciais de milho para silagem, na região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.1, p. 62-71, 2010.

OLIVEIRA, F. N.; TORRES, S. B.; BEBEDITO, C. P.; Caracterização botânica e agronômica de acessos de feijão-fava, em Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 143-148, jan./mar. 2011b.

OLIVEIRA, G. E.; VON PINHO, R. G.; ANDRADE, T.; VON PINHO, E. V. R.; SANTOS, C. D.; VEIGA, A. D. Physiological quality and amylase enzyme expression in maize seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 40-48, 2013.

PAES, M. C. D. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. **Circular Técnica**, v.1, n.1, p.1-6, 2006.

PAES, J. M. V. **Informe agropecuário - cultivo do milho no sistema plantio direto**. Epamig, p. 136, 2006.

PAIVA, E.P.; TORRES, S.B.; BENEDITO, C.P. e ARAÚJO, P.C. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 55, n. 4, p. 332-337, 2012.

PARERA, C.A.; CANTLIFFE, D.J. Presowing seed priming. **Horticultural Reviews**, v. 16, n.1, p. 109-141, 1994.

PEREIRA, E.W.L.; RIBEIRO, M.C.C.; SOUZA, J.O.; LINHARES, P.C.F.; NUNES, G.H.S. Superação de dormência em sementes de jitrana (*Merremia aegyptia* L.). **Revista Caatinga**, v.20, n.2, p.59-62, 2007.

PEREIRA, M. D.; SANTOS, D. C. F.; DIAS, L. A. S.; ARAUJO, E. F. Germinação e vigor de sementes de cenoura osmocondicionadas em papel umedecido e solução aerada. **Revista Brasileira de Sementes**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 137-145, 2008.

PEREIRA FILHO, I. A.; TEIXEIRA, F. F. **O cultivo do milho-doce**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

PEREZ, S.C.J.G.A.; NEGREIROS, G.F. Efeitos do pré-condicionamento na viabilidade e no vigor de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* Spreng. Taub.) em condições de estresse. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.23, n.1, p.175-183, 2001.

PERRY, D.A. Introduction; methodology and application of vigour test; seedling growth and evaluation test. In: PERRY, D.A. **Handbook of vigor tests methods**. Zürich: International Seed Testing Association, p.3-20, 1981.

PESKE, S.T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 2º ed. Pelotas, UFPel. p.573, 2012.

POPINIGIS, F. Controle de qualidade de sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 4., 1985, Brasília. **Fisiologia da semente...** Brasília: AGIPLAN, p.157. p.289, 1985.

POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília: Agiplan. p. 289, 1977

SANTOS, C.M.R. Teste de deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.25, n.2, p.28-35, 2003.

SANTOS, R. D.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; AZEVÊDO, J. A. G.; MORAES, S. A.; COSTA, C. T. F. Características agronômicas de variedades de milho para produção de silagem. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 32, n. 4, p. 367-373, 2010.

SANTOS, I. J.; SANTOS, Y. L.; OLIVEIRA, M. G. A.; SILVA, P. H. A. Expressão da alfa e beta amilase durante a germinação de cevada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 67-73, 2010.

SAWAZAKI, E. A cultura do milho-pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, v. 53, n. 2, p. 11-13, 2001.

SCHUCH, L.O.B., NEDEL, J.L., MAIA, M.S., ASSIS, F.N. Vigor de sementes e adubação nitrogenada em aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.). **Revista Brasileira de Sementes**. v.21, p.127-347, 1999.

SEDIYAMA, C. A. Z.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; DIAS, M. A.; SEDIYAMA, T.; DIAS, D. C. F. S. Physiological quality of soybean seed cultivars by osmoconditioning. **Comunicata Scientiae**, v.3, n.2, p.90-97, 2012.

SGUAREZI, C.N. Avaliação de tratamentos prégerminativos para melhorar o desempenho de sementes de café (*Coffea arabica* L.). I-Condicionamento osmótico. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.23, n.2, p.152-161, 2001a.

SILVA, N. Melhoramento de milho doce. In: ENCONTRO SOBRE TEMAS DE GENÉTICA E MELHORAMENTO, 11. 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ. v.11, p.45-49, 1994.

SILVA, T.A. **Condicionamento fisiológico de sementes, componentes de produção e produtividade de soja**. Dissertação, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, p.63, 2013.

SILVA, W. J. da; VIDAL, B.C.; MARTINS, M. E. Q.; VARGAS, H.; PEREIRA, A. C.; ZERBETTO, M.; MIRANDA, L. C. M. What makes popcorn pop. **Nature**, v. 362, n. 6419, p. 417, 1993.

SILVEIRA, G. M. Mecanização: custo horário das máquinas agrícolas. **DBO Agrotecnologia**, São Paulo, p.26-29, 2005.

SISODIA, A. Seed priming on germination, growth and flowering in flowers and ornamental trees. In: **Advances in Seed Priming**. Springer, Singapore, p. 263-288, 2018.

SOUZA, P. A.; SANTOS, A. F.; GONÇALVES, D. S.; VENTURIN, N. Efeito da reidratação na germinação de sementes de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, n. 2, p. 286-291, 2018.

TOMÉ, L. G. O.; GAMA, E. E. G.; GUIMARAES, C. T.; MAGALHAES, J. V. de; OLIVEIRA, R. M. O.; CRUZ, C. D. Avaliação do potencial, da variabilidade e de parâmetros genéticos em população de milho com e sem estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS. 2007, São Lourenço. **Anais**. São Lourenço, 2007.

TOSELLI, M.E.; CASENAVE, E.C. Water content and the effectiveness of hydro and osmotic priming of cotton seeds. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.31, n.1; p.727-735, 2003.

TRACY, W.F. Sweet corn. In: HALLAUER, A.R.(Ed.). **Specialty corns**. Boca Raton: CRC Press, cap.6, p.162-204, 2001.

VIEIRA, A.R.; OLIVEIRA, J.A.; VIEIRA, M.G.G.C.; FRAGA, A.C.; SANTOS, C.D. Action of gibberellic acid (GA3) on dormancy and activity of alfa-amylase in rice seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 43-48, 2002.

VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica. In : VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. de. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal : FUNEP, p.103-132, 1994.

WU, Y. et al. Genetic analysis of high amylose content in maize (*Zea mays* L.) using a triploid endosperm model. **Euphytica**, Wageningen, v. 166, p. 155-164, 2009.

YASARI, E.; SORAKI, S.Y.; SARAVI, K.O. Appraisal of the effects of osmo-priming and hydro-priming treatments on the seeds of corn (*Zea mays* L.) cultivars. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v.4, p.195-203, 2013.

ZUCHARELI, C; PANOFF, B; PORTUGAL, G; FONSECA, ICB. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na qualidade fisiológica de sementes de milho- doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, PR. 34:480- 487, 2012.

CAPÍTULO II

REVIGORAMENTO DE SEMENTES DE MILHO (COMUM, PIPOCA, DOCE E SUPER DOCE) POR HIDROCONDICIONAMENTO

**MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O. S.; ALENCAR, E. R.;
CARVALHO, N.**

**(Trabalho publicado na revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible em 31 de julho de
2023)**

RESUMO

A produção de sementes de alta qualidade fisiológica é um dos principais desafios para os produtores de sementes. Na busca de condicionadores para a melhoria da qualidade fisiológica de sementes, surge a possibilidade do uso do hidrocondicionamento, que consiste na embebição controlada das sementes diretamente em água. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes períodos e técnicas de hidrocondicionamento sobre a germinação e o vigor em sementes de tipos variados de milho, com distintas qualidades. Foram utilizadas sementes de quatro tipos de milho (comum, pipoca, doce e super doce), com alta e baixa qualidade, submetidas ao tratamento de hidrocondicionamento, em três métodos de insuflação de gases (ausência, ar, oxigênio concentrado) e cinco períodos de embebição em água (0, 30, 60, 90 e 120 minutos), formando para cada tipo de milho um fatorial 2x3x5, com quatro repetições, totalizando 30 tratamentos. Após o hidrocondicionamento, as sementes foram secadas naturalmente, por 168 horas, a 25°C, até 13% de teor de água. As avaliações de qualidade fisiológica realizadas foram: teor de água (TA); germinação (G); comprimento de plântula (CP) e de raiz (CR); massa seca de plântulas (MS) e condutividade elétrica (CE). A técnica de hidrocondicionamento associado com insuflação de gás oxigênio ou ar atmosférico, em lotes com diferentes qualidades, seguido de secagem natural, proporcionou aumento da porcentagem de germinação, reduziu a perda de solutos celulares e acarretou desenvolvimento inicial mais rápido das plântulas em todos os tipos de milho avaliados, ocasionando maior crescimento, inclusive do sistema radicular, e acarretando maior acúmulo de matéria seca. A germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas de todos os tipos de milho avaliados, com alta e baixa qualidade, foram intensificados mediante a exposição das sementes à solução aerada (insuflação de oxigênio ou ar atmosférico), especialmente durante os períodos de embebição de 60 a 90 minutos, seguido de secagem natural das sementes.

Palavras-chave: vigor; condicionamento fisiológico; hidratação; variedade, aeração.

ABSTRACT

The production of seeds of high physiological quality is one of the main challenges for seed producers. In the search for conditioners to improve the physiological quality of seeds, the possibility of using hydropriming arises, which consists of the controlled imbibition of seeds directly in water. The objective was to evaluate the effect of different periods and hydropriming techniques on germination and vigor in seeds of different types of corn, with different qualities. Seeds of four types of corn were used (common, popcorn, sweet and super sweet), with high and low quality, subjected to hydroconditioning treatment, in three gas insufflation methods (absence, air, concentrated oxygen) and five periods of soaking in water (0, 30, 60, 90 and 120 minutes), forming a 2x3x5 factorial for each type of corn, with four replications, totaling 30 treatments. After hydropriming, the seeds were dried naturally, for 168 hours, at 25°C, until 13% water content. The physiological quality assessments carried out were: water content (TA); germination (TPG); seedling length (CP) and root length (CR); seedling dry mass (DM) and electrical conductivity (EC). The hydroconditioning technique associated with insufflation of oxygen gas or atmospheric air, in batches with different qualities, followed by natural drying, provided an increase in the percentage of germination, reduced the loss of cellular solutes and resulted in faster initial development of seedlings in all types of corn evaluated, causing greater growth, including the root system, and leading to greater accumulation of dry matter. The germination and initial development of seedlings of all types of corn evaluated, with high and low quality, was intensified by exposing the seeds to the aerated solution (oxygen insufflation or atmospheric air), especially during the imbibition periods of 60 to 90 minutes, followed by natural drying of the seeds.

Keywords: vigor; physiological conditioning; hydration; variety, aeration.

2.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie de grande importância econômica e social no Brasil, que gera emprego e renda no campo e nas cidades, sendo considerado entre os cereais, o mais produzido no Brasil. O grão possui alto valor nutritivo sendo muito empregado na alimentação humana, e principalmente, animal. Além do milho com a finalidade de produção de grãos (*commodity*) e de forragem, existem outros nichos de mercado que abrangem diferentes tipos de milho como os chamados milhos especiais. Essa denominação é dada a tipos de milho que são cultivados com finalidades peculiares especificamente para alimentação humana (BORDALLO et al.; 2005).

As sementes dos milhos especiais do tipo doce e super doce, quando comparadas às sementes do milho comum, apresentam menor vigor e germinação, em função do alto teor de açúcares e baixo teor de amido resultantes da ação genética. Por essas características, esses tipos de milho apresentam problemas com relação à qualidade fisiológica das sementes (ZUCARELI et al., 2014). Com relação ao cultivo de milho pipoca, um dos principais problemas enfrentados na produção em campo, assim como em outras culturas, refere-se à não obtenção de estande adequado. Isso se deve a alguns fatores, tais como: a baixa qualidade fisiológica das sementes de milho pipoca, quando comparadas ao milho comum e as condições adversas no início de estabelecimento da cultura, o que podem comprometer o estabelecimento das plântulas em campo (RIBEIRO et al., 2016).

No processo de produção, é fundamental a obtenção de sementes com alto potencial fisiológico, pois este atributo está relacionado com a capacidade em desempenhar funções vitais, como a germinação, vigor e longevidade (MARCOS FILHO, 2020).

O uso de técnicas que assegurem a germinação e o vigor de sementes no campo é um fator de grande importância para os produtores rurais, para que os custos de produção não sejam maiores pela aquisição de sementes de baixa qualidade, sendo que essas técnicas devem ser econômicas e de fácil utilização para que todos tenham acesso à melhor qualidade no decorrer da cadeia produtiva.

O condicionamento fisiológico de sementes ou *priming* é um conjunto de técnicas destinadas a realçar a qualidade ou beneficiar o desempenho de lotes ou das plântulas produzidas. Dentre os procedimentos disponíveis, destacam-se o hidrocondicionamento, o osmocondicionamento e o matricionamento, sendo o armazenamento das sementes

condicionadas um aspecto fundamental a ser resolvido, com vistas ao uso do processo em escala comercial (KIKUTI; MARCOS FILHO, 2009; MARCOS FILHO 2015).

O hidrocondicionamento é uma técnica de hidratação que consiste na imersão de sementes em água por um determinado período e temperatura, antes da realização da semeadura da cultura. Este processo apresenta baixo custo e facilidade de realização (PEREIRA, 2020; ROCHA et al., 2018).

Essa técnica proporciona alguns benefícios ao desempenho das sementes como maior probabilidade de se obter melhor emergência, particularmente em condições de estresse, como déficit hídrico ou temperatura inadequada, maior uniformidade de germinação e emergência, maior velocidade na germinação, melhoria da emergência das plântulas em solos com alta concentração salina e minimização do efeito de microorganismos causadores de tombamento (*damping-off*) (CASIEIRO; MARCOS FILHO, 2004; HILL et al., 2007).

Tendo em vista a importância econômica do milho e os possíveis benefícios do hidrocondicionamento, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes períodos e técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintos níveis de qualidade, na germinação e no vigor das sementes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Cultivares e Sementes

O experimento foi conduzido com sementes de quatro tipos de milho: comum BR 106 (safra 18/19), pipoca BRS Angela (safra 19/19), Doce Cristal BR 402 (safras 06/07 e 19/19) e Super Doce BR 400 (safras 06/07 e 19/19), fornecidas pela empresa pública Embrapa, sem tratamento químico.

As sementes de milho comum BR 106 e pipoca BRS Angela, previamente armazenadas a 5 °C, com teor de água variando entre 10% a 13%, foram separadas em dois lotes, sendo um de alta e outro de baixa qualidade fisiológica. Para obtenção dos lotes de baixa qualidade, os milhos convencional e pipoca, que inicialmente apresentavam percentual de germinação acima do padrão mínimo exigido para a comercialização, respectivamente, de 97% e 85%, foram submetidos a um estresse (envelhecimento acelerado). No envelhecimento, foram utilizadas caixas do tipo gerbox, com 40 mL de água destilada no fundo, sendo as sementes de milho comum e pipoca dispostas uniformemente sobre uma tela acima da água e incubadas a 42 °C. Testes preliminares de envelhecimento acelerado indicaram a necessidade de as sementes permanecerem por 96 h a 42 °C para atingir percentual de germinação de aproximadamente 75% para o milho comum e de 55% para o milho pipoca. Em seguida, as sementes foram colocadas para secar em condição ambiente de laboratório (temperatura média de 25 °C, umidade relativa do ar média de 60%), por sete dias, até atingirem massa constante.

Testaram-se dois lotes de milho doce e dois de superdoce (safras 06/07 e 19/19), de baixa e de alta qualidade fisiológica, previamente armazenados a 5 °C, com teor de água variando entre 10% a 13%.

Tabela 1. Germinação (%) prévia ao hidrocondicionamento das sementes de diferentes tipos de milho com alta e baixa qualidade fisiológica.

TIPO	QUALIDADE	
	ALTA	BAIXA
Comum	97	75
Pipoca	85	55
Doce	77	40
Super Doce	96	50

2.2.2 Hidrocondicionamento

Inicialmente, foi padronizada a quantidade de sementes a serem hidrocondicionadas, sendo a massa das sementes de cada tratamento determinada em função do número de sementes necessárias para a realização dos testes de qualidade fisiológica.

As sementes dos diferentes tipos de milho, com grau de umidade inicial variando entre 10% a 13% b.u, foram submersas em 400 mL de água em recipientes de vidro com capacidade de 800 mL, sendo as tampas adaptadas com uma mangueira para insuflação e outra para a exaustão dos gases (Figura 1A). O hidrocondicionamento foi testado empregando três técnicas de insuflação da água: ausência, ar atmosférico e oxigênio concentrado, durante: 0, 30, 60, 90 e 120 minutos (MAXIMIANO et al., 2018).

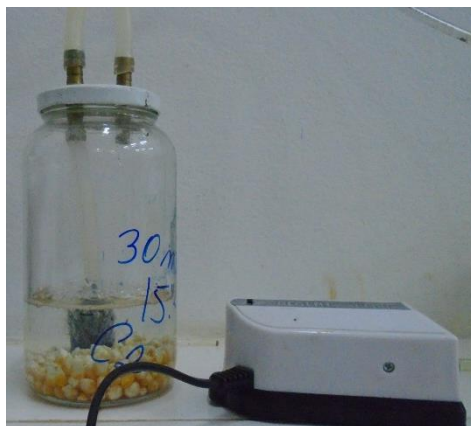


Figura 1A



Figura 1B

Figura 1. Processo de hidrocondicionamento das sementes de milho com insuflação de ar com compressor (A) e concentrador de oxigênio (B). **Fonte:** Christian Viterbo Maximiano.

A injeção de ar foi feita mediante um compressor de ar (Figura 1A) e de oxigênio por meio do aparelho EverFlo da *Philips Respironics* (Figura 1B) – concentrador de oxigênio estacionário a partir do ar ambiente. Este concentrador possui uma placa OPI (Indicador de Porcentagem de Oxigênio) que mede a concentração do índice de oxigênio e um indicador visual no display do concentrador. O fluxo de gás insuflado em cada recipiente foi de 3 L min^{-1} .

Após o hidrocondicionamento, as sementes dos diferentes tipos de milho foram secadas até o atingimento de massa constante, durante uma semana, em condições ambientais (aproximadamente $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e 60% de umidade relativa do ar) e em seguida foram armazenadas a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 dias até a realização dos testes de qualidade fisiológica.

2.2.3 Parâmetros avaliados

- **Teor de água:** foi determinado pelo método de estufa a $105 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas (BRASIL, 2009). Foram utilizadas duas repetições de 4,5 - 5,0 g de sementes, sendo a massa aferida em balança analítica e os resultados expressos em porcentagem em base úmida.

- **Germinação:** quatro repetições de 50 sementes foram colocadas para germinar em substrato papel germitest, na forma de rolo umedecido com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso da massa papel seco. As sementes foram germinadas a $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por sete dias (BRASIL, 2009), realizando-se avaliação única.

- **Comprimento de plântula e raiz primária:** A medição foi realizada nas plântulas normais provenientes do teste de germinação, após sete dias da instalação. O comprimento de raiz (CR) foi realizado na maior raiz da plântula e o comprimento de plântula (CP) foi medido da extremidade do coleóptilo até a extremidade da maior raiz (VIEIRA; CARVALHO, 1994).

- **Matéria seca de plântulas:** foi avaliada a partir das plântulas normais obtidas no teste de germinação, excluindo destas o endosperma restante. As repetições de cada tratamento foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas, e levadas à estufa com circulação de ar forçado a $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas (NAKAGAWA, 1994). A massa foi avaliada em balança com precisão de 0,001g.

- **Condutividade elétrica:** Duas repetições de 50 sementes por tratamento foram submetidas ao teste de condutividade elétrica, sendo previamente pesadas em balança de precisão (0,001 g) e colocadas para embeber em copos plásticos (200 mL) contendo 75 mL de água deionizada e mantidas a 25 °C por 24 horas (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Decorrido o período de embebição, foi realizada a leitura da condutividade elétrica, utilizando um condutivímetro DIGIMED, modelo CD 21, com eletrodo de constante 1.0, sendo os resultados finais expressos em $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1} / \text{g}$.

2.2.4 Análises estatísticas

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com esquema fatorial 2x3x5, sendo duas qualidades fisiológicas de sementes (alta e baixa), três técnicas de insuflação no hidrocondicionamento (ausência, ar e oxigênio concentrado) em cinco períodos (0, 30, 60, 90 e 120 minutos), totalizando 30 tratamentos, por tipo de milho avaliado, com quatro repetições.

Para avaliação de possíveis alterações na qualidade fisiológica dos diferentes tipos de milho submetidos ao hidrocondicionamento, foi realizada análise de variância a 5% de probabilidade e, posteriormente, análise de regressão. Na análise de variância, foi utilizado o Software Agroestat v.5 (BARBOSA; MALDONADO JUNIOR, 2015). Para a obtenção das equações de regressão e plotagem dos gráficos, foi utilizado o software SigmaPlot v.10 (Systat Software Inc, Germany).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As primeiras manifestações do processo de embebição das sementes dos diferentes tipos de milho ocorreram logo após 60 minutos do contato das sementes com água, caracterizado pelo entumescimento e aumento significativo do tamanho e massa. Portanto, é possível observar claramente a caracterização da fase I da curva de absorção, entre o intervalo de 0 a 60 minutos de todos os tipos de milho analisados (Figura 2). Bewley e Black (1994) caracterizam tal fase como sendo bastante rápida, responsabilizando a absorção de água nesta fase como consequência do potencial matricial dos vários tecidos da semente e, por isso, independe de a semente ser dormente ou não (a não ser, que se trate de dormência por impermeabilidade do tegumento à água) e de estar viva ou não. De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), a fase I dura de uma a duas horas.

Os diferentes tipos de milho, com alta qualidade, submetidos ao tratamento de hidrocondicionamento com ou sem insuflação de ar, apresentaram umidade inicial variando entre 10% a 13%, sendo que, após 60 minutos, a umidade passou para aproximadamente 20% nas sementes de milho dos tipo comum e pipoca, 25% para o milho doce e 30% para o milho super doce (Figura 2). O processo de embebição das sementes dos diferentes tipos de milho, com alta qualidade, não foi influenciado pelos tratamentos de insuflação de ar na solução, sendo que o comportamento das curvas de embebição com solução aerada e sem aeração foram semelhantes com relação à velocidade de absorção de água (Figura 2).

As sementes dos diferentes tipos de milho, com baixa qualidade, apresentaram diferenças na velocidade de embebição com solução aerada e sem aeração. Os diferentes tipos de milho apresentaram umidade inicial variando entre 10% a 13%, sendo que, após 60 minutos, as curvas de embebição das soluções aerada e não aerada variaram entre os diferentes tipos de milho (Figura 2). As curvas de embebição das soluções aerada e não aerada para as sementes de milho comum apresentaram oscilações de umidade, ficando próxima de 23%. No milho pipoca, as sementes embebidas em solução aerada atingiram umidade de aproximadamente 23% e a solução não aerada elevou a umidade para cerca de 20%. No milho doce, as sementes submetidas à embebição em solução aerada atingiram umidade de aproximadamente 35% e a solução não aerada elevou a umidade para valores próximos de 25%. No milho super doce, as sementes submetidas à embebição em solução aerada atingiram umidade de aproximadamente 30% e as sementes mantidas em solução não aerada apresentaram umidade próximo de 38% (Figura 2).

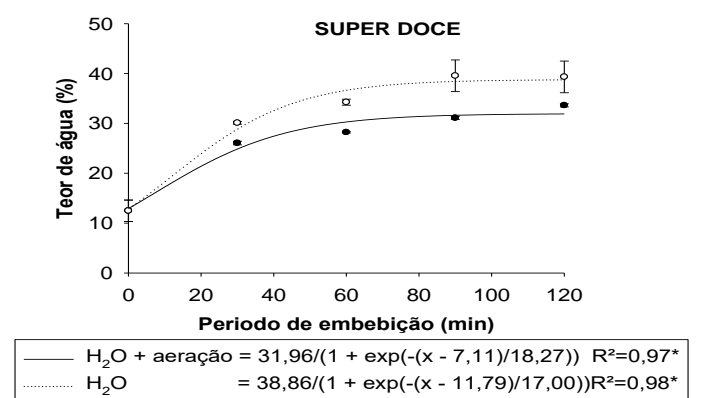
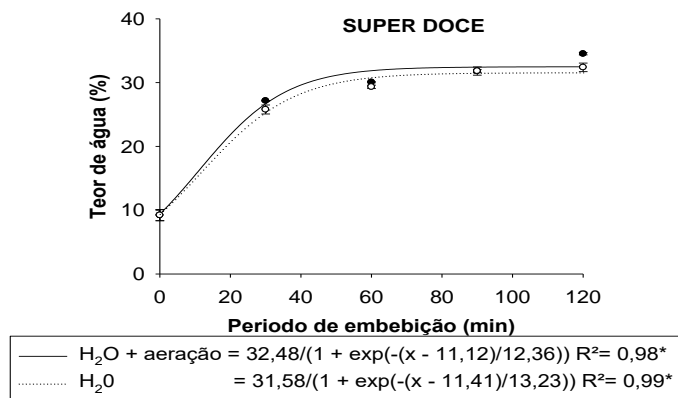
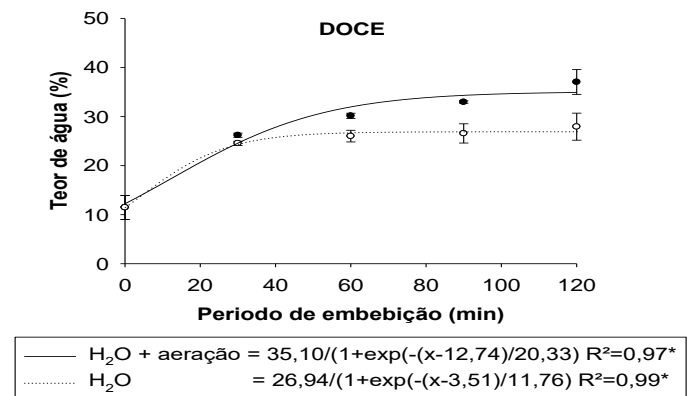
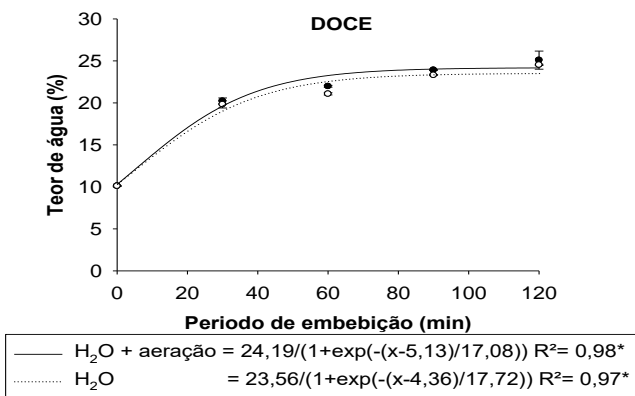
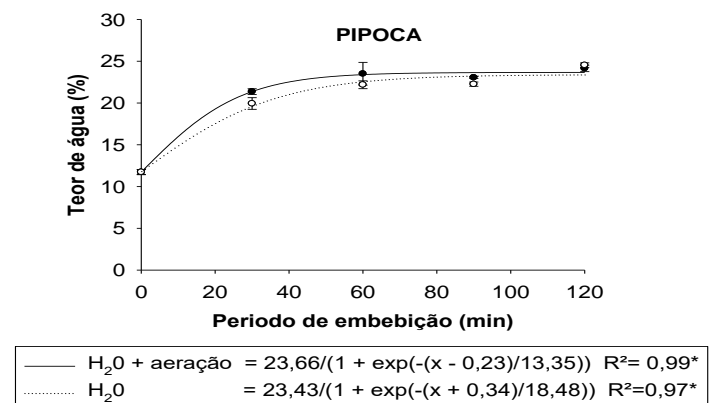
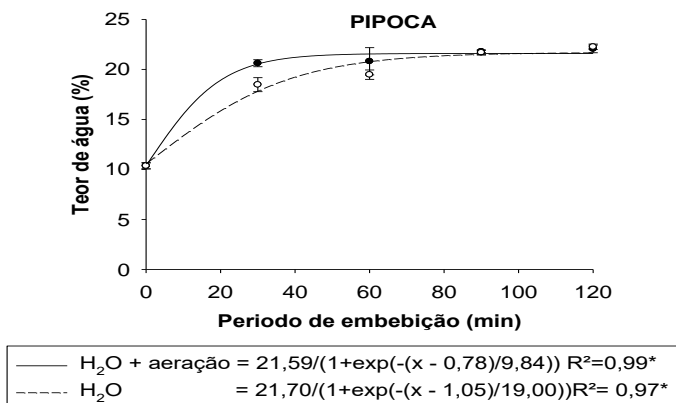
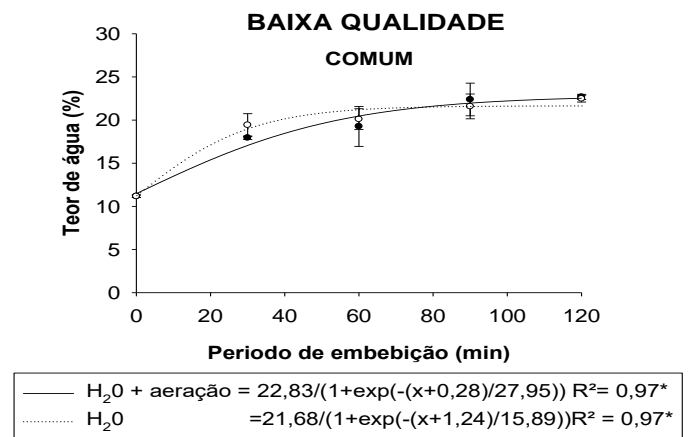
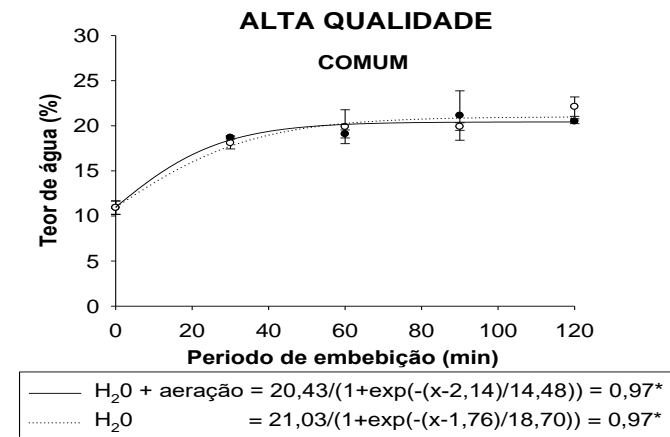


Figura 2. Curvas de embebição de sementes de milho de diferentes tipos e qualidades fisiológicas distintas, com e sem insuflação de ar. Brasília, DF, Brasil, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01, segundo o teste F.

A fase II, caracterizada pela redução drástica da velocidade de hidratação, começou após 60 minutos de embebição, em todos os tipos de milho, independente da qualidade do lote, prolongando-se até o período de 120 minutos de embebição (Figura 2). De acordo com Bewley e Black (1994), é necessária uma diminuição da absorção de água para a mobilização das substâncias que foram desdobradas na fase I da região de reserva para os tecidos meristemáticos.

As sementes de milho comum, pipoca, doce e super doce tratadas pela técnica de hidrocondicionamento, com diferentes períodos de pré-embebição, apresentaram comportamentos semelhantes com relação ao desenvolvimento inicial das plântulas, medido por meio da matéria seca de plântulas, comprimento de plântula e comprimento de raiz, quando comparados às sementes não submetidas tratamento de hidrocondicionamento (Figuras 3, 4, 5 e 6). Nos quatro diferentes tipos de milho, com distintas qualidades, o maior desenvolvimento inicial das plântulas ocorreu no intervalo entre 60 e 90 minutos de hidrocondicionamento (Figuras 3, 4, 5 e 6).

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com trabalhos de Trigo et al. (1999), em sementes de cebola. Segundo os autores, o maior acúmulo de matéria seca nas plântulas provenientes de sementes condicionadas pode ser devido aos processos metabólicos que ocorrem durante o condicionamento. Estes processos alcançam níveis que não permitem, para a maioria das espécies, o início da divisão e da expansão celular, mas induzem prolongada síntese de proteínas, o que proporciona um balanço metabólico mais favorável, gerando incrementos não na germinação, mas no crescimento das plântulas e no acúmulo de biomassa.

Em trabalhos de Rifna et al. (2019) e Farooq et al. (2019), observou-se que várias mudanças fisiológicas e bioquímicas ocorrem nas sementes durante o tratamento ou como consequência do condicionamento fisiológico das sementes. Estas mudanças incluem a síntese de macromoléculas, atividade de várias enzimas e início do crescimento e desenvolvimento do embrião da semente. Os autores referidos acima observaram que, quando as condições do tratamento são favoráveis, o processo de mobilização de reservas, a ativação e síntese de novo de algumas enzimas, a síntese de DNA e RNA são iniciados durante o condicionamento, sendo os obstáculos à germinação removidos, resultando em rápido crescimento do embrião, que irá acarretar aumento do poder germinativo, do vigor e superação da dormência das sementes.

O fator qualidade das sementes dos diferentes tipos de milho influenciou no tratamento de hidrocondicionamento das sementes. As sementes dos lotes de alta qualidade, referentes aos quatro tipos de milho, sofreram influência dos tratamentos de hidrocondicionamento, sendo

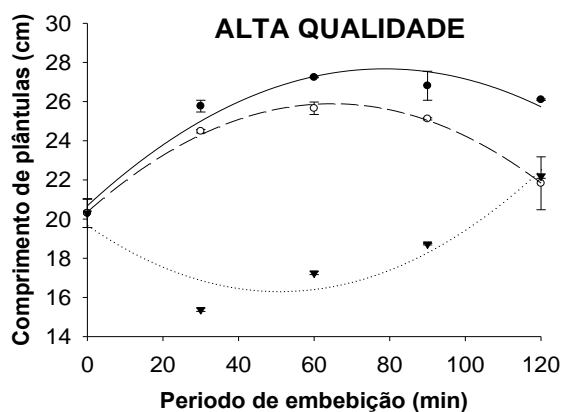
observado incremento no crescimento das plântulas e raízes, além do acúmulo de matéria seca das plântulas, no intervalo entre 60 e 90 minutos de pré – embebição em água (Figuras 3, 4, 5 e 6). Deste modo, pode-se afirmar que o hidrocondicionamento foi eficiente em acelerar o desenvolvimento inicial de plântulas provenientes de lotes com alta qualidade.

Os lotes de sementes de milho comum, pipoca, doce e super doce que apresentavam baixa qualidade, quando submetidos à técnica de hidrocondicionamento, tenderam a alcançar às de alto vigor, resultando em uma resposta positiva ao incremento no desenvolvimento inicial das plântulas, permitindo melhor aproveitamento dessas sementes. Os lotes de baixa qualidade fisiológica apresentaram maior crescimento de plântula, raiz e acúmulo de matéria seca, no intervalo entre 60 e 90 minutos de pré – embebição em água (Figuras 3, 4, 5 e 6). Segundo Lanteri et al. (1998), a melhoria no vigor após o condicionamento tem sido correlacionada com o balanço metabólico favorável das sementes pré-condicionadas no início da germinação.

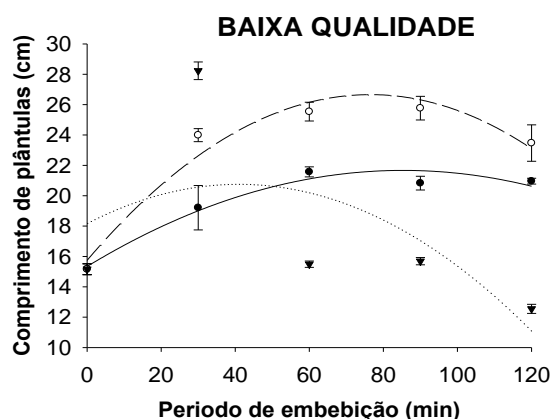
Oliveira e Gomes-Filho (2010) constataram que o envelhecimento artificial afetou negativamente o desempenho das sementes de sorgo, mas tais efeitos deletérios foram parcialmente revertidos pela técnica de condicionamento fisiológico, de modo que, apesar dessa técnica não ter influenciado os parâmetros que os autores usaram para avaliar a germinação, o *priming* (hidrocondicionamento) promoveu benefícios significativos no vigor das sementes previamente envelhecidas.

Segundo Farooq et al. (2009), na literatura existem diversos trabalhos que têm demonstrado que o vigor das sementes é o componente da qualidade fisiológica mais influenciado pelo condicionamento fisiológico, sendo utilizado para reduzir os danos do envelhecimento e favorecendo o desempenho de sementes de muitas culturas. Por essa razão, o tratamento tem sido comumente designado na literatura como um revigoramento de sementes.

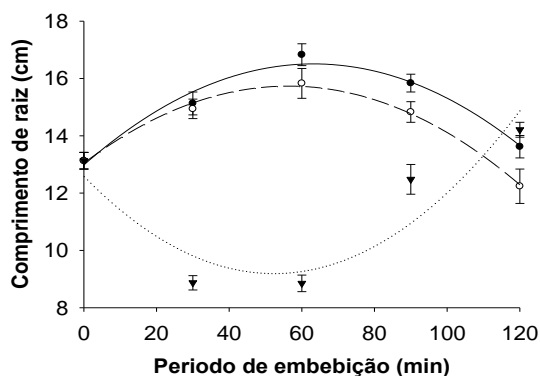
Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com a teoria da “memória do condicionamento” descrita em trabalhos de Chen e Arora (2013). Segundo estes autores, o hidrocondicionamento reinicia as atividades relacionadas à germinação, momentaneamente interrompidas quando as sementes hidrocondicionadas são secas. Neste caso, as sementes hidrocondicionadas, secas e reidratadas retomam as atividades do ponto de interrupção, com melhorias nos parâmetros germinativos e de vigor.



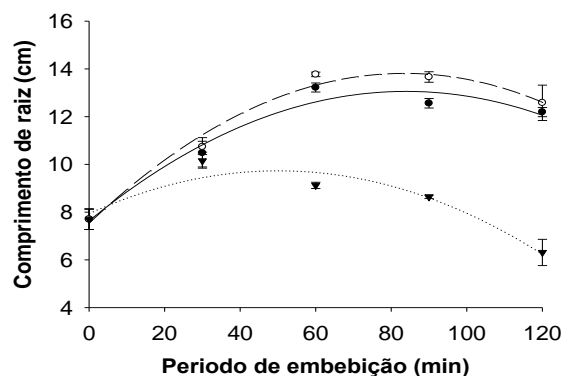
- — H2O + O2 = 20,6789 + 0,1779x - 0,0011x² R² = 0,96*
- - - - H2O + AR = 20,3603 + 0,1711x - 0,0013x² R² = 0,99*
- ▼ H2O = 19,6823 - 0,1325x + 0,0013 R² = 0,87ns



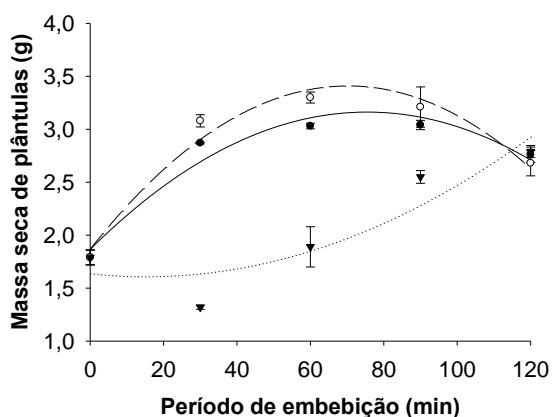
- — H2O + O2 = 15,3391 + 0,1483x - 0,0009x² R² = 0,96*
- - - - H2O + AR = 15,7374 + 0,2859x - 0,0019x² R² = 0,96*
- ▼ H2O = 18,1931 + 0,1263x - 0,0015x² R² = 0,38 ns



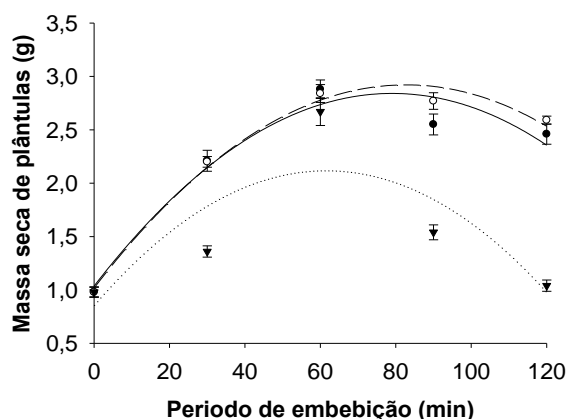
- — H2O + O2 = 12,9820 + 0,1116x - 0,0009x² R² = 0,97*
- - - - H2O + AR = 13,0449 + 0,0955x - 0,0008x² R² = 0,99*
- ▼ H2O = 12,5869 - 0,1296x + 0,0012 R² = 0,83ns



- — H2O + O2 = 7,6323 + 0,1292x - 0,0008x² R² = 0,96*
- - - - H2O + AR = 7,5283 + 0,1506x - 0,0009x² R² = 0,98*
- ▼ H2O = 7,9549 + 0,0715x - 0,0007x² R² = 0,89ns

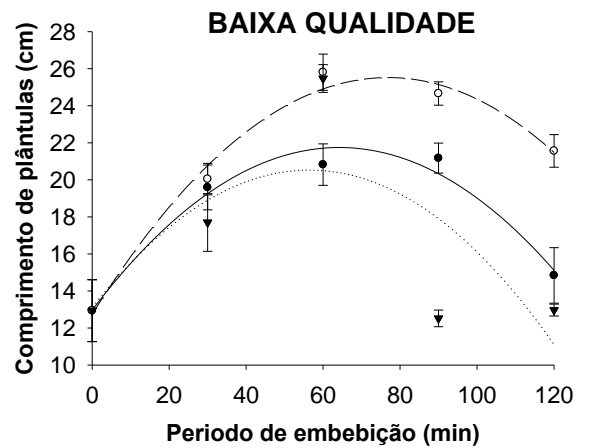
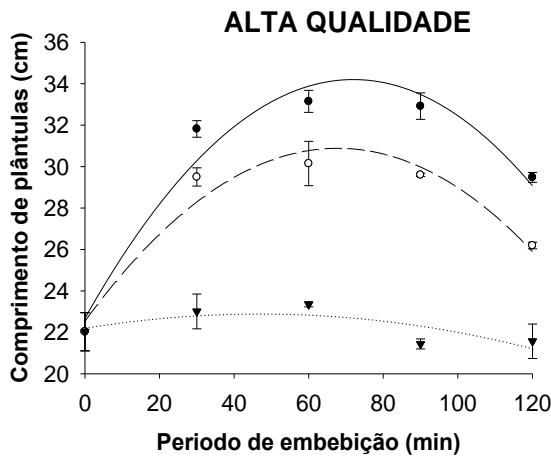


- — H2O + O2 = 1,8660 + 0,0344x - 0,0002x² R² = 0,95*
- - - - H2O + AR = 1,8657 + 0,0440x - 0,0003x² R² = 0,97*
- ▼ H2O = 1,6377 - 0,0036x + 0,0001x² R² = 0,85ns



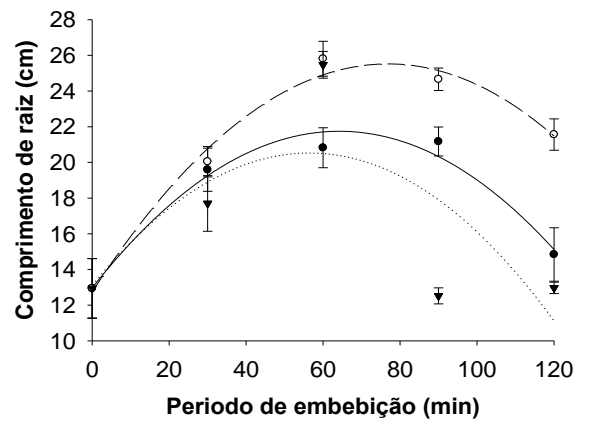
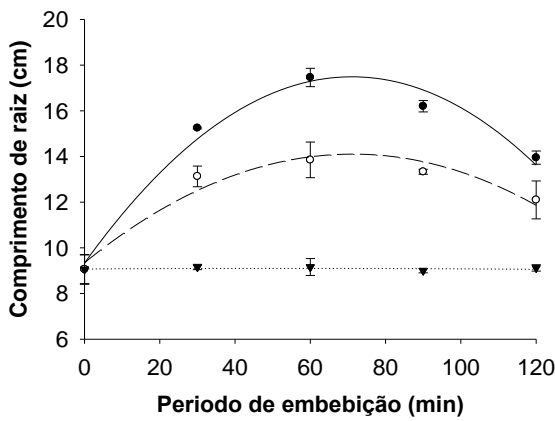
- — H2O + O2 = 1,0360 + 0,0457x - 0,0003x² R² = 0,95*
- - - - H2O + AR = 1,0166 + 0,0461x - 0,0003x² R² = 0,99*
- ▼ H2O = 0,8580 + 0,0410x - 0,0003x² R² = 0,68ns

Figura 3. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho comum BR 106, com distintas qualidades, no vigor das sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântula; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F.



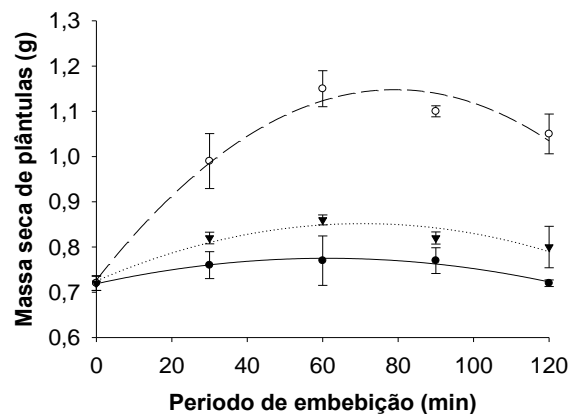
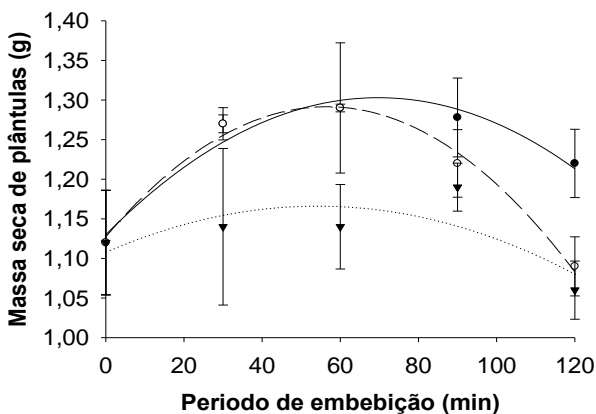
- — H2O + O2 = $22,6771 + 0,3221x - 0,0022x^2$ $R^2=0,96^*$
- - - - H2O + AR = $22,5300 + 0,2467x - 0,0018x^2$ $R^2=0,95^*$
- ▼ H2O = $22,2137 + 0,0293x - 0,0003x^2$ $R^2=0,59$ ns

- — H2O + O2 = $12,9617 + 0,2736x - 0,0021x^2$ $R^2=0,97^*$
- - - - H2O + AR = $12,7271 + 0,3331x - 0,0022x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ H2O = $13,1526 + 0,2624x - 0,0023x^2$ $R^2=0,52$ ns



- — H2O + O2 = $9,3309 + 0,2296x - 0,0016x^2$ $R^2=0,98^*$
- - - - H2O + AR = $9,3466 + 0,1337x - 0,0009x^2$ $R^2=0,95^*$
- ▼ H2O = $9,0909 + 0,0010x - 9,5223x^2$ $R^2=0,0061$ ns

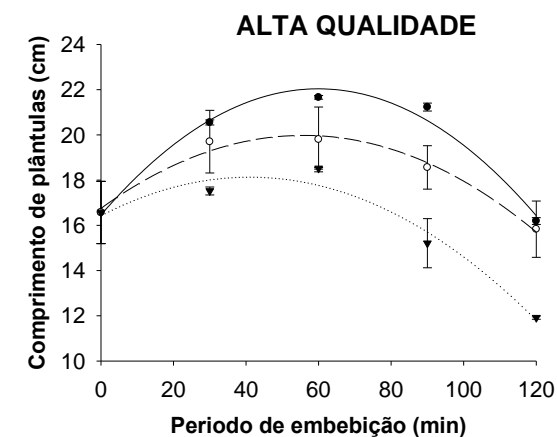
- — H2O + O2 = $12,9617 + 0,2736x - 0,0021x^2$ $R^2=0,97^*$
- - - - H2O + AR = $12,7271 + 0,3331x - 0,0022x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ H2O = $13,1526 + 0,2624x - 0,0023x^2$ $R^2=0,52$ ns



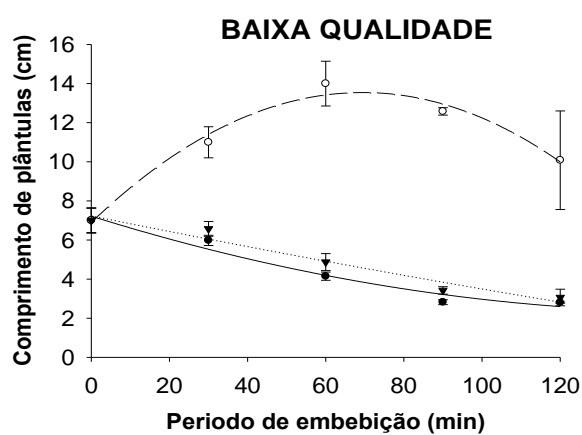
- — H2O + O2 = $1,1300 + 0,0050x - 3,5556x^2$ $R^2=0,95^*$
- - - - H2O + AR = $1,1271 + 0,0058x - 5,1587x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ H2O = $1,1083 + 0,0021x - 1,984$ $R^2=0,58$ ns

- — H2O + O2 = $0,7189 + 0,0018x - 1,5079x^2$ $R^2=0,97^*$
- - - - H2O + AR = $0,7323 + 0,0084x - 4,7619x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ H2O = $0,7263 + 0,0036x - 2,5397x^2$ $R^2=0,92$ ns

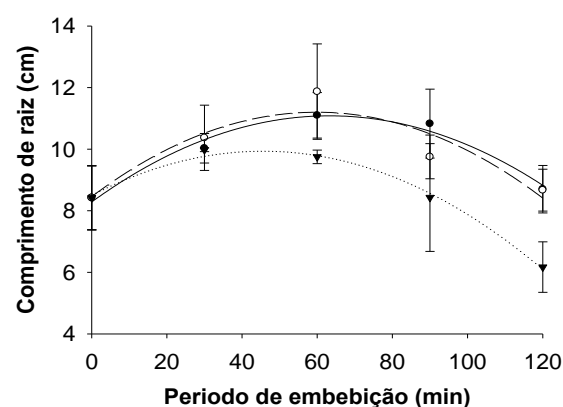
Figura 4. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho pipoca BRS Angela, com distintas qualidades, no vigor de sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântulas; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F



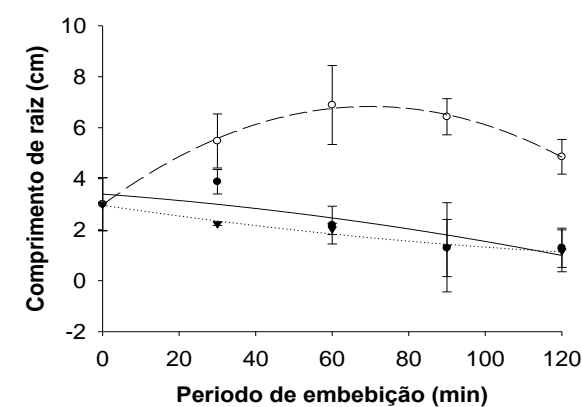
- — H2O + O2 = 16,4589 + 0,1862x - 0,0016x² R²=0,98*
- - - - H2O + AR = 16,7503 + 0,1156x - 0,0010x² R²= 0,98*
- ▼ H2O = 16,4429 + 0,0831x - 0,001x² R²=0,96*



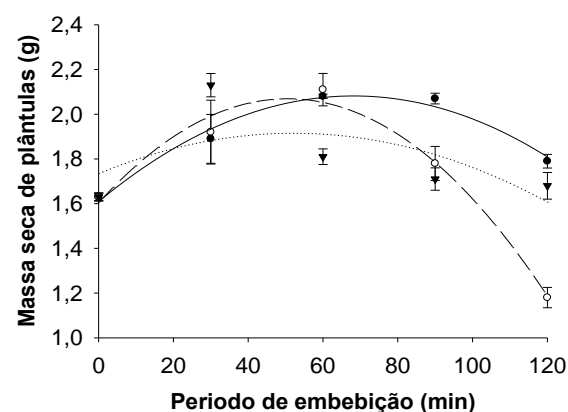
- — H2O + O2 = 7,2191 - 0,0623x + 0,0002x² R²=0,97*
- - - - H2O + AR = 6,8954 + 0,1917x - 0,0014x² R²=0,98*
- ▼ H2O = 7,2457 - 0,0405x + 3,0952x² R²=0,96*



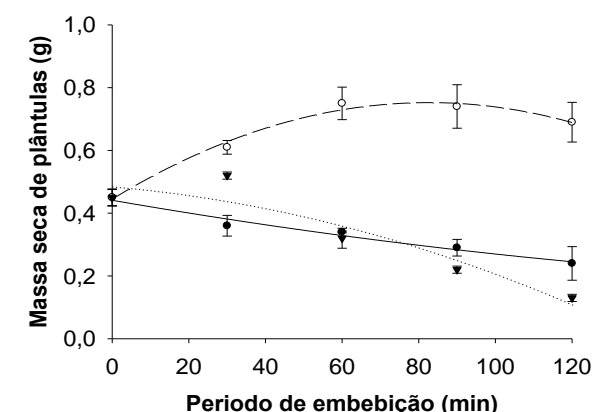
- — H2O + O2 = 8,2840 + 0,0885x - 0,0007x² R²=0,97*
- - - - H2O + AR = 8,4571 + 0,0918 - 0,0008x² R²=0,86ns
- ▼ H2O = 8,5129 + 0,0630 - 0,0007x² R²=0,99*



- — H2O + O2 = 3,3957 - 0,0111x - 7,4603x² R²=0,73ns
- - - - H2O + AR = 2,9737 + 0,1105x - 0,0008x² R²=0,99*
- ▼ H2O = 2,9697 - 0,0223x - 5,8739x² R²=0,97*

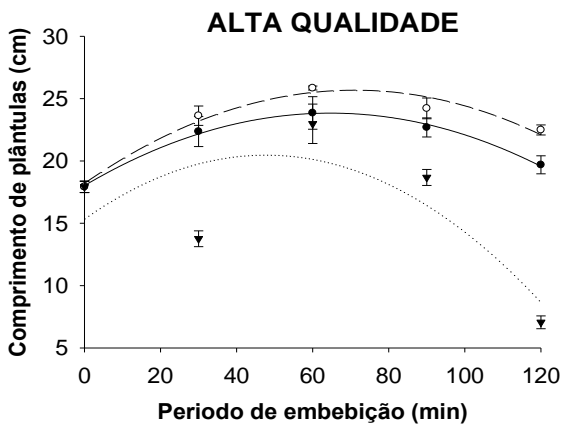


- — H2O + O2 = 1,6091 + 0,0139x - 0,0001x² R²=0,97*
- - - - H2O + AR = 1,6034 + 0,0184x - 0,0002x² R²=0,98*
- ▼ H2O = 1,7360 + 0,0069x - 6,6667x² R²=0,38ns

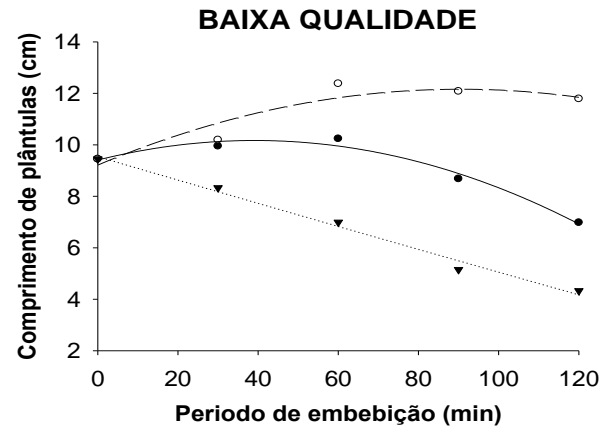


- — H2O + O2 = 0,4411 - 0,0021x - 3,9683x² R²=0,97*
- - - - H2O + AR = 0,4446 + 0,0075x - 4,5238x² R²=0,99*
- ▼ H2O = 0,4846 - 0,0010x - 1,7460x² R²=0,89ns

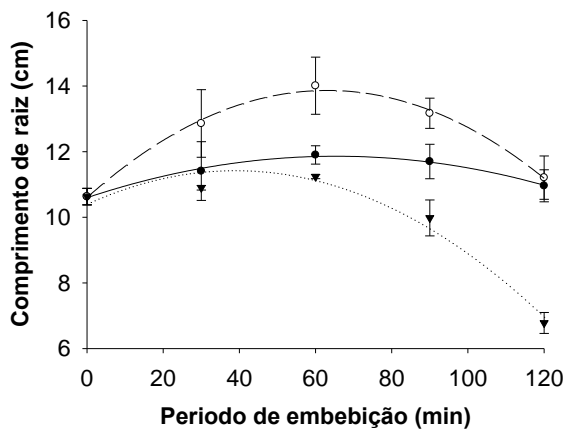
Figura 5. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho Doce Cristal BR 402, com distintas qualidades, no vigor de sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântulas; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F.



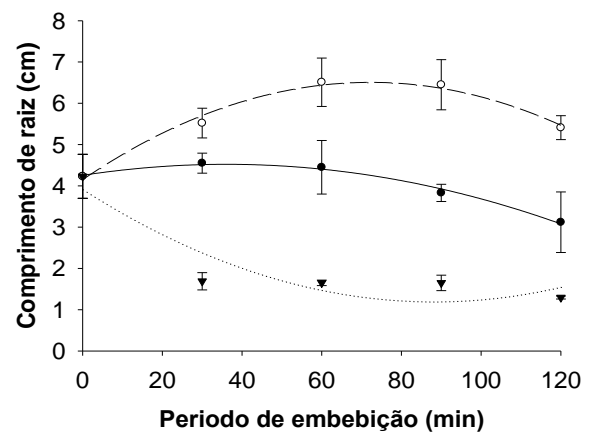
- $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 18,0237 + 0,1799x - 0,0014x^2$ $R^2=0,99^*$
- $\text{H}_2\text{O} + \text{AR} = 18,2003 + 0,2108x - 0,0015x^2$ $R^2=0,96^*$
- ▼ $\text{H}_2\text{O} = 15,3771 + 0,2149x - 0,0023x^2$ $R^2=0,60\text{ns}$



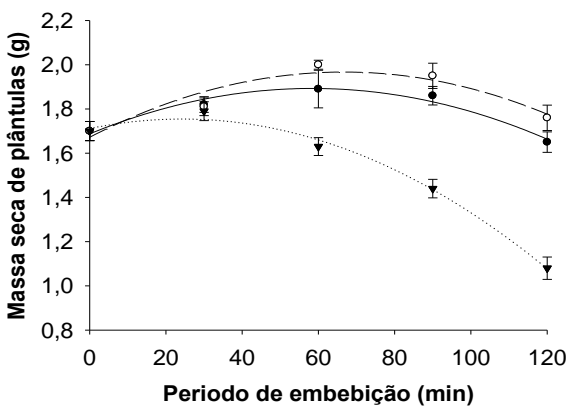
- $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 9,4091 + 0,0388x - 0,0005x^2$ $R^2=0,98^*$
- $\text{H}_2\text{O} + \text{AIR} = 9,2140 + 0,0652x - 0,0004x^2$ $R^2=0,88\text{ns}$
- ▼ $\text{H}_2\text{O} = 9,5483 - 0,0457x + 7,9365x^2$ $R^2=0,99^*$



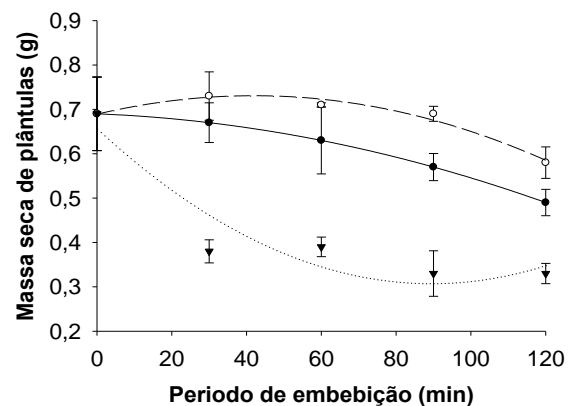
- $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 10,64 + 0,0348x - 0,0003x^2$ $R^2=0,99^*$
- $\text{H}_2\text{O} + \text{AR} = 10,6006 + 0,1037x - 0,0008x^2$ $R^2=0,99^*$
- ▼ $\text{H}_2\text{O} = 10,41 + 0,0526x - 0,0007x^2$ $R^2=0,97^*$



- $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 4,2554 + 0,0148x - 0,0002x^2$ $R^2=0,99^*$
- $\text{H}_2\text{O} + \text{AR} = 4,1503 + 0,0653x - 0,0005x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ $\text{H}_2\text{O} = 3,9150 - 0,0617x + 0,0003x^2$ $R^2=0,85\text{ns}$



- $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 1,6874 + 0,0070x - 6,0317x^2$ $R^2=0,96^*$
- $\text{H}_2\text{O} + \text{AR} = 1,6720 + 0,0089x - 6,6667x^2$ $R^2=0,89\text{ns}$
- ▼ $\text{H}_2\text{O} = 1,7131 + 0,0036x - 7,3810x^2$ $R^2=0,99^*$



- $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 0,6900 - 0,0003x - 1,1111x^2$ $R^2=0,99^*$
- $\text{H}_2\text{O} + \text{AR} = 0,6763 + 0,0017x - 1,9841x^2$ $R^2=0,97^*$
- ▼ $\text{H}_2\text{O} = 0,6566 + 0,0078x + 4,3651x^2$ $R^2=0,89\text{ns}$

Figura 6. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de milho Super Doce BR 400, com distintas qualidades, no vigor de sementes, avaliado por meio de: Comprimento de plântulas; Comprimento de raiz e Massa seca de plântulas. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F.

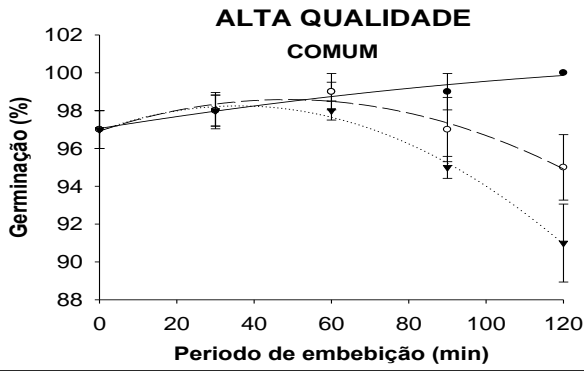
O aumento do vigor de sementes hidrocondicionadas tem sido observado em diversas espécies como, por exemplo, em tomate e repolho (BISOGNIN et al., 2016), alface (SANTOS; MENEZES, 2000), cebola (TRIGO et al., 1999a, b, c; LOPES et al., 2000; NUNES et al., 2000), cenoura (PELÚZIO et al., 1999) e soja (GIURIZZATO et al. 2008). Farooq et al. (2006) observaram que o hidrocondicionamento de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) promoveu redução no tempo médio de germinação, além de aumento na taxa germinativa e no vigor de plântula.

Segundo Ghassemi-Golezani et al. (2008) o hidrocondicionamento de sementes de lentilha (*Lens culinaris* Medik) promoveu aumento no vigor e no estabelecimento de plântulas em campo, demonstrando ser um método simples, que não requer equipamentos especiais devido ao uso somente de água como meio de condicionamento, constituindo um dos métodos mais baratos.

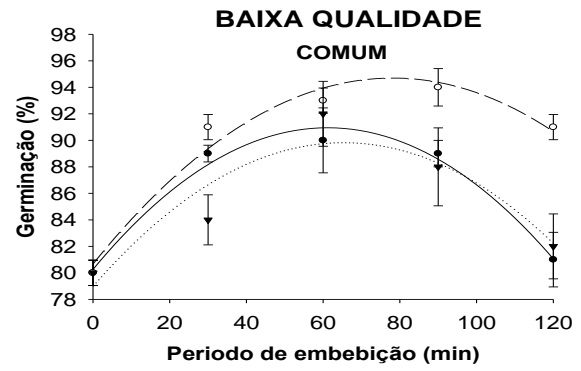
O percentual germinativo das semente de milho comum, pipoca, doce e super doce foi incrementado nas sementes submetidas ao hidrocondicionamento, com diferentes períodos de pré-embebição, tanto em lotes de alta e baixa qualidade, quando comparados ao tratamento com a ausência de hidrocondicionamento (Figura 7). Em ambos os lotes, com distintas qualidades, o maior percentual germinativo foi atingido no intervalo entre 60 e 90 minutos de pré-embebição em água (Figura 7). Segundo Bewley e Black (1994), a germinação compreende todos os eventos que se iniciam com a reativação do metabolismo, o qual é reduzido nas fases finais do desenvolvimento e maturação das sementes.

O hidrocondicionamento é uma técnica baseada na hidratação incompleta da semente, a qual permite certas atividades metabólicas e mecanismos de reparo (TOSELI; CASNAVE, 2003). Deste modo, considerando que cada período de condicionamento resulta em um nível de hidratação na semente, diferentes reações metabólicas são ativadas, visto que a atividade fisiológica da semente está diretamente relacionada ao seu teor de água (MARCOS FILHO, 2005).

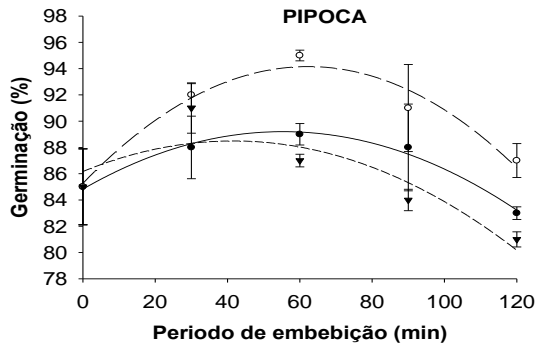
O condicionamento das sementes somente em água, denominado hidrocondicionamento, também tem sido empregado em larga escala por promover o aumento de índices germinativos, tais como porcentagem, velocidade e sincronização da germinação, em diversas espécies como, o trigo (*Triticum aestivum* L.), alfafa (*Mendicago sativa* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) (HAMIDI; PIRASTEH-ANOSHEH al., 2012).



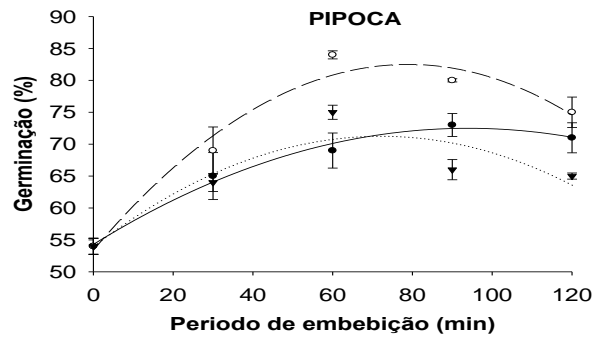
- $H_2O + O_2 = 97,0571 + 0,0329x^2 - 7,9365x^2$ $R^2=0,96^*$
- ◻ $H_2O + AR = 96,9143 + 0,0690x - 0,0007x^2$ $R^2=0,94^*$
- ▼ $H_2O = 96,9429 + 0,0738x - 0,0010x^2$ $R^2=0,99^*$



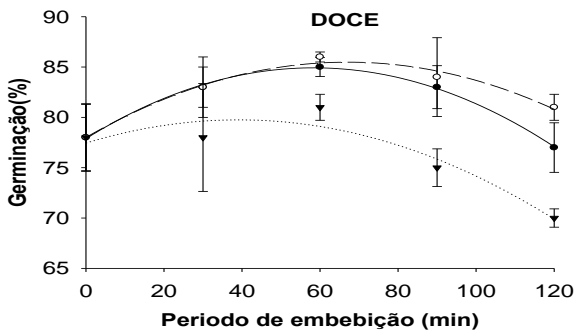
- $H_2O + O_2 = 80,2571 + 0,3496x - 0,0029x^2$ $R^2=0,98^*$
- ◻ $H_2O + AR = 80,6571 + 0,3595x - 0,0023x^2$ $R^2=0,97^*$
- ▼ $H_2O = 79,0286 - 0,3314x - 0,0025x^2$ $R^2=0,86ns$



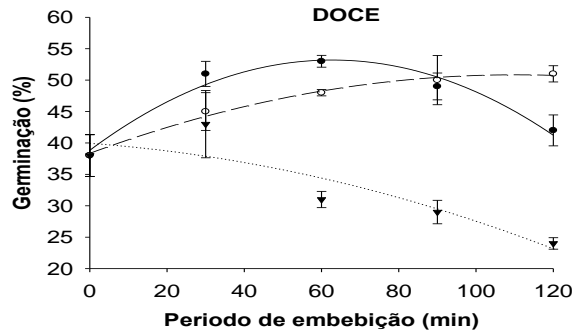
- $H_2O + O_2 = 84,8286 + 0,1581x - 0,0014x^2$ $R^2=0,98^*$
- ◻ $H_2O + AR = 85,2571 + 0,2862x - 0,0023x^2$ $R^2=0,95^*$
- ▼ $H_2O = 86,1714 + 0,1119x - 0,0013x^2$ $R^2=0,78ns$



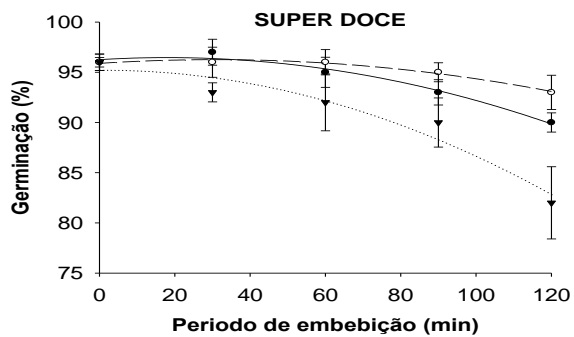
- $H_2O + O_2 = 54,2857 + 0,3876x - 0,0021x^2$ $R^2=0,99^*$
- ◻ $H_2O + AR = 53,3314 + 0,7386x - 0,0047x^2$ $R^2=0,96^*$
- ▼ $H_2O = 54,0000 + 0,4800x - 0,0033x^2$ $R^2=0,82ns$



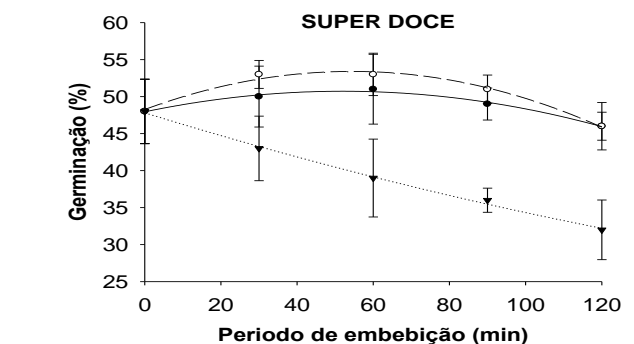
- $H_2O + O_2 = 77,8857 + 0,2410x - 0,0021x^2$ $R^2=0,99^*$
- ◻ $H_2O + AR = 78,0000 + 0,2233x - 0,0017x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ $H_2O = 77,4857 + 0,1176x - 0,0089x^2$ $R^2=0,89ns$



- $H_2O + O_2 = 38,8286 + 0,4581x - 0,0037x^2$ $R^2=0,96^*$
- ◻ $H_2O + AR = 38,3429 + 0,2271x - 0,0010x^2$ $R^2=0,99^*$
- ▼ $H_2O = 39,9714 - 0,0448x - 0,0008$ $R^2=0,81ns$



- $H_2O + O_2 = 96,2571 + 0,0229x - 0,0006x^2$ $R^2=0,98^*$
- ◻ $H_2O + AR = 95,8857 + 0,0243x - 0,0004x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ $H_2O = 95,2286 + 0,0014x - 0,0009x^2$ $R^2=0,94ns$



- $H_2O + O_2 = 47,9427 + 0,1071x - 0,0010x^2$ $R^2=0,98^*$
- ◻ $H_2O + AR = 48,2571 + 0,1895x - 0,0017x^2$ $R^2=0,98^*$
- ▼ $H_2O = 47,8286 - 0,1586x + 0,0002x^2$ $R^2=0,99^*$

Figura 7. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintas qualidades, no percentual geminativo de sementes. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F.

Os lotes de sementes de milho comum e super doce com alta qualidade não apresentaram incremento substancial no potencial germinativo, quando submetidos ao tratamento de hidrocondicionamento (Figura 7). Os lotes de milhos comum, pipoca, doce e super doce com baixa qualidade fisiológica tenderam a alcançar o percentual germinativo das sementes com alta qualidade, resultando em uma resposta positiva no incremento do percentual germinativo das sementes de baixo vigor, permitindo melhor aproveitamento dessas sementes. Os lotes de alta e baixa qualidade fisiológica dos diferentes tipos de milho apresentaram maior percentual germinativo no intervalo entre 60 e 90 minutos de pré – embebição em água (Figura 7).

Segundo Nascimento e Aragão (2004), os lotes que apresentam maior resposta ao condicionamento são aqueles que possuem baixa percentagem de germinação e germinação lenta, como resultado do envelhecimento. Segundo Heydecker e Higgins (1978), em uma população de sementes, existe variação quanto ao vigor das sementes, sendo que durante o processo de germinação, as sementes de alto vigor atingem um nível metabólico mais rápido e ordenado, enquanto as de baixo vigor apresentam nível metabólico mais lento. Quando os lotes de alto e baixo vigor são submetidos ao condicionamento, os que apresentam baixo vigor tendem a alcançar os de alto vigor e, conseqüentemente, obtém-se maior uniformidade na germinação e emergência.

Os tratamentos de aeração associados com o hidrocondicionamento proporcionaram desenvolvimento inicial mais acentuado das plântulas e incremento considerável no percentual germinativo das sementes dos milhos comum, pipoca, doce e super doce, independente da qualidade do lote, quando comparado ao tratamento de hidrocondicionamento sem insuflação de ar na solução condicionante (Figuras 3, 4, 5, 6 e 7). Os resultados apresentados nesta pesquisa corroboram com trabalhos de Trigo et al. (1999c), em que o condicionamento de sementes de cebola em soluções aeradas contribuiu significativamente para o aumento da massa seca da parte aérea e da raiz primária das plântulas.

Para Parera e Cantliffe (1994), a resposta à aeração durante o condicionamento varia conforme a espécie, sendo que o período ideal de duração do tratamento pode ser modificado quando se utiliza um sistema de aeração. Segundo Guedes e Cantliffe (1980), a aeração da solução reduziu o tempo necessário para o condicionamento de sementes de alface, sendo esse tratamento também recomendado por Bradford et al. (1986) e Nascimento (2003) para sementes de hortaliças. Lopes et al. (2000) trabalhando com condicionamento de sementes de cenoura, cultivar Brasília, observou que a imersão das sementes em soluções aeradas promoveu absorção

mais rápida em relação ao tratamento de sementes entre papel, proporcionando melhorias no potencial germinativo e no vigor das sementes de cenoura.

O tratamento de hidrocondicionamento sem insuflação de ar, quando comparado aos tratamentos com insuflação de ar atmosférico e com gás oxigênio, ocasionou queda expressiva no percentual germinativo e no vigor das sementes de milho comum, pipoca, doce e super doce, em lotes de diferentes qualidades (alto e baixo vigor) (Figuras 3, 4, 5, 6 e 7). Este fenômeno pode ser explicado com base em trabalhos de Alves et al. (2002), onde citam que a rota anaeróbica (fermentação) utilizada pelas sementes para suprir a falta de oxigênio, além de comprometer as células por compostos nocivos formados (etanol e acetaldeído), resultam em menor disponibilidade de energia para as células por comprometer o funcionamento das ATPases; o que prejudica não só o processo germinativo como também resulta em plantas mais fracas e suscetíveis a adversidades encontradas a campo. Gazola et al. (2014) afirmam que a hipóxia é um evento que resulta na diminuição da respiração dando início à fermentação, processo este que tem como resultado final a formação de substâncias tóxicas para as células; logo, nas sementes, este episódio pode resultar na perda do potencial germinativo.

A hipóxia provoca queda na respiração e início da fermentação, que, por fim, gera compostos prejudiciais às células das sementes, o que é comprovado em trabalhos de Ogawa et al. (2016), onde, em sementes de feijão preto, dependendo do lote, a imersão durante 4 horas, somente em água, já foi suficiente para provocar danos à germinação e ao desenvolvimento de plântulas. Deste modo, a hidratação deve ser feita de forma que supra a necessidade de água para a germinação, sem que interrompa o fluxo de oxigênio necessário.

Outro possível efeito relacionado à baixa disponibilidade de oxigênio, oferecido nos tratamentos sem insuflação de ar, pode estar relacionado com o balanço hormonal. Segundo Krochko et al. (1998), trabalhando com sementes de *Zea mays* L., observou-se que o processo de hipoxia interfere no catabolismo do ácido abscísico (ABA), por meio da redução da atividade da ABA 8'-hidroxilase, enzima responsável pela inativação do ABA.

Deste modo, visto que o oxigênio é o substrato da enzima ABA 8'-hidroxilase, sua baixa disponibilidade promove, indiretamente, o aumento nos níveis de ABA, sendo uma possível explicação para a redução na porcentagem de germinação e vigor das sementes dos diferentes tipos de milho, com distintas qualidades fisiológicas, submetidas ao tratamento de hidrocondicionamento sem insuflação de ar (Figuras 3, 4, 5, 6 e 7). Segundo Barduche et al. (1999), o hormônio ABA impede a germinação de sementes por meio da inibição da expressão de genes que codificam enzimas envolvidas na degradação de reservas, como amilases e

proteases. Benech-Arnold et al. (2006) observaram que em embriões de *Hordeum vulgare* L. há aumento na sensibilidade ao ABA quando as sementes são submetidas à hipoxia e relatam que este aumento na sensibilidade pode ser em razão da incapacidade imposta pela hipoxia de o embrião inativar o ABA.

Os tratamentos de hidrocondicionamento com diferentes períodos de pré – embebição em água reduziram a condutividade elétrica das sementes dos diferentes tipos de milho avaliados (comum, pipoca, doce e super doce), com distintas qualidades (alta e baixa), quando comparados ao tratamento sem hidrocondicionamento (Figura 8). Como o tratamento sem hidrocondicionamento apresentou valores mais elevados de condutividade elétrica, em todos os tipos de milho avaliados, independente da qualidade do lote, pode-se concluir que a hidratação pode ser benéfica para a integridade das membranas, pois, quanto menor o resultado da condutividade elétrica, mais organizadas encontram-se as membranas celulares, não permitindo a passagem de solutos do meio interno das sementes para o meio externo, onde se encontra a solução de embebição das sementes (Figura 8).

Estes resultados comprovam que o tratamento de hidrocondicionamento das sementes pelos diferentes períodos de tempo testados pode ocasionar um processo de revigoração das sementes dos diferentes tipos de milho avaliados. Giurizatto et al. (2008), trabalhando com hidrocondicionamento de sementes de soja, também observaram maiores valores de condutividade elétrica nas sementes não tratadas quando comparadas com as hidrocondicionadas, confirmando dados obtidos por Vasquez (1995) e Beckert et al. (2000).

Os tratamentos de insuflação de ar atmosférico ou gás oxigênio associados com o hidrocondicionamento proporcionaram maior redução na lixiviação de solutos em todos os tipos de milhos avaliados, sendo que os intervalos de 60 a 90 minutos apresentaram menores valores de condutividade elétrica, nos lotes de diferentes qualidades (alto e baixo vigor), quando comparados ao tratamento de hidrocondicionamento sem insuflação de ar (Figura 8).

Segundo Kodde et al. (2012), quando a entrada de oxigênio na semente é restringida, a atividade da mitocôndria torna-se reduzida e a via respiratória é alterada para fermentativa (anaeróbica), na qual é observada a produção de compostos parcialmente oxidados, como o etanol (NEUMANN et al., 1999; SOUSA; SODEK, 2002).

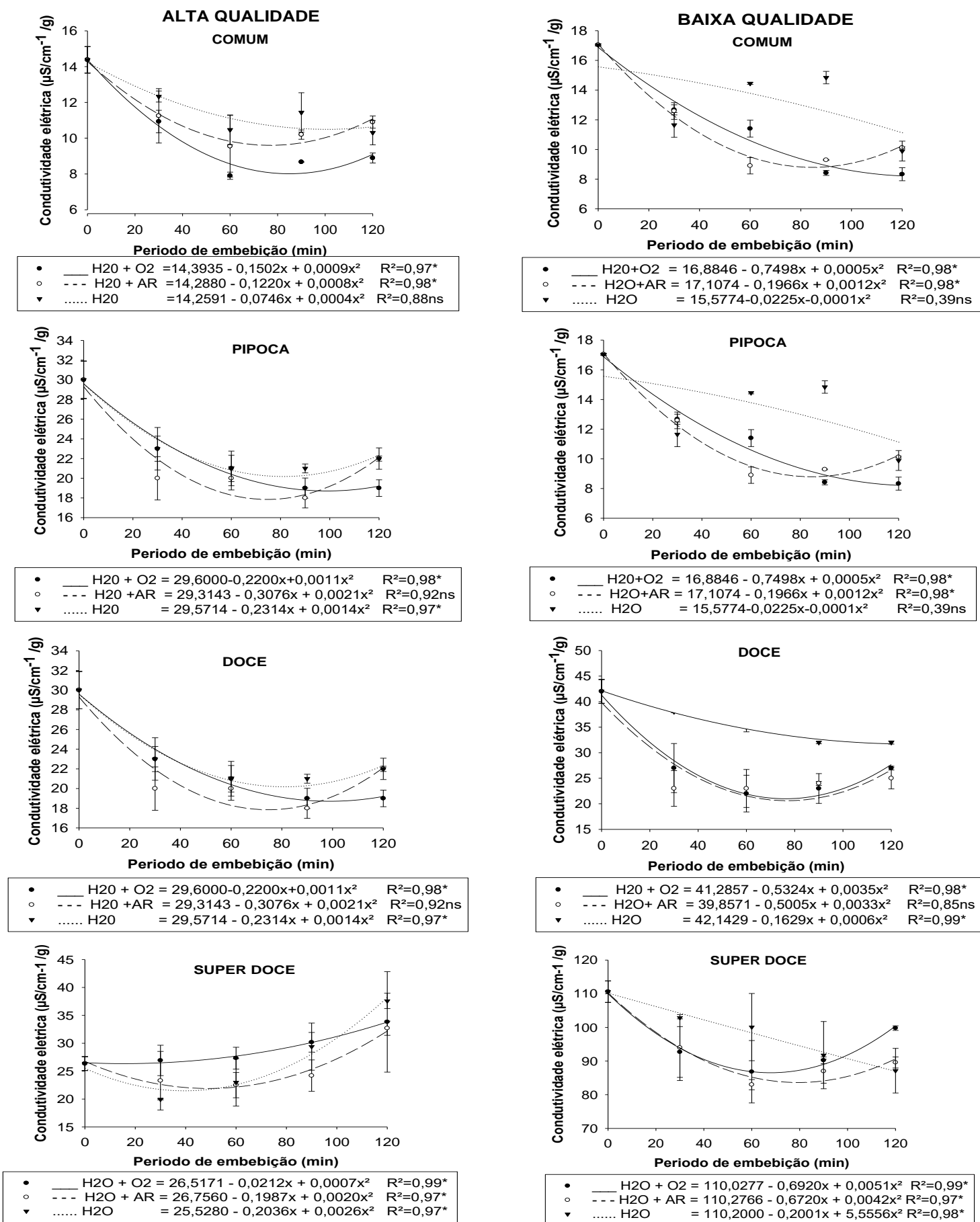


Figura 8. Efeito do tempo e de diferentes técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintas qualidades, na condutividade elétrica de sementes. Brasília, 2022. *significativo ao nível 0,05 e **significativo ao nível 0,01 segundo teste F.

O etanol, quando acumulado em altas concentrações, é tóxico às células, ocasionando danos ao sistema de membranas e deterioração das sementes, os quais comprometem a germinação (KODDE et al., 2012).

Deste modo, pode-se inferir que os períodos extensos de condicionamento sem aeração ocasionaram danos às sementes de milho de diferentes tipos, com possível deterioração destas, o que justifica as baixas porcentagens de germinação observadas nos tratamentos condicionados sem aeração.

2.4 CONCLUSÕES

O hidrocondicionamento com insuflação de ar ou oxigênio, durante 60 a 90 minutos, seguido de secagem natural, é eficiente para revigorar sementes de diferentes tipos de milho (comum, pipoca, doce e super doce), com distintas qualidades fisiológicas.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. D.; MAGALHÃES, M. M.; GOULART, P. F. P.; DANTAS, B. F.; GOUVÊA, J. A.; PURCINO, R. P.; MAGALHÃES, P. C.; FRIES, D. D.; LIVRAMENTO, D. E.; MEYER, L. E.; SEIFFERT, M.; SILVEIRA, T. Mecanismos de tolerância da variedade de milho “saracura” (brs 4154) ao alagamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas-MG, v.1, n.1, p.41-52, 2002.

BARBOSA, JC; MALDONADO, JUNIOR, W. 2015. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. p. 396, 2015.

BARDUCHE, D., PAIVA, R., LOPES, M.A. e PAIVA, E. Effect of ABA and GA3 on protein mobilization in embryos and cotyledons of angico [*Anadenanthera peregrine* (L.) spreg] seeds during germination. **Archives of Biology and Technology**, v.42, p. 135-144, 1999.

BECKERT, O.P. et al. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 671-675, 2000.

BENECH-ARNOLD, R.L., GUALANO, N., LEYMARIE, J., CÔME, D. e CORBINEAU, F. Hypoxia interferes with ABA metabolism and increases ABA sensitivity in embryos of dormant barley grains. **Journal of Experimental Botany**, v.57, 6, p. 1423-1430, 2006.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. Seeds, physiology of development and germination. 2ed. **New York**: Plenum Press, p.445, 1994.

BISOGNIN, M. B.; KULCZYNSKI, S. M.; FERRARI, M.; GAVIRAGHI, R.; PELEGRINI, A.J.; SOUSA, V. Q. Desempenho fisiológico de sementes olerícolas em diferentes tempos de hidrocondicionamento. **Revista de Ciências Agrárias, Lisboa**, v. 39, n. 3, p. 349-359, 2016.

BORDALLO, P.N.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JUNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Diallel analysis of sweet and common corn genotypes for agronomic characters and total protein. **Brazilian Horticulture**, v.23, p.123-127. 2005.

BRADFORD, K.J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **HorScience**, Alexandria, v.21, n.5, p.1105-1112, 1986.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, p.395, 2009.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, p.588, 2000.

CASEIRO R; BENNETT MA; MARCOS FILHO J. Comparison of three priming techniques for onion seed differing in initial seed quality. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.32, n.2, p.365-375, 2004.

CHEN, K.; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.94, n.1, p.33-45, 2013.

FAROOQ, M., BASRA, S.M.A., AFZAL, I. e KHALIQ, A. Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. **Seed Science and Technology** 34, p. 507-512, 2006.

FAROOQ, et al. Plant drought stress: Effectis, Mechanisms and management. **Sustainable Agriculture**. v. 29, p. 153- 188, 2009.

FAROOQ, M.A., NIAZI, A.K., AKHTAR, J., SAIFULLAH, FAROOQ, M., SOURI, Z., KARIMI, N., RENGEL, Z. Acquiring control: the evolution of ROS-Induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses. **Plant Physiol. Biochem. (Paris)** 141, p. 353–369, 2019.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; CAMARGO, M. C. Comportamento germinativo de sementes de cultivares de milho sob condições de hipóxia. **Científica**, Jaboticabal-SP, v.42, n.3, p.224-232, 2014.

GHASSEMI-GOLEZANI, K., ALILOO, A.A., VALIZADEH, M. e MOGHADDAM, M. Effects of different priming techniques on seed invigoration and seedling establishment of lentil (*Lens culinaris Medik*). **Journal of Food, Agriculture & Environment** 6, 2, p. 222-226, 2008.

GIURIZZATO, M.I.K.; ROBAINA, A.D.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas ao hidrocondicionamento. Maringá, **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.5, p.711-717, 2008.

GUEDES, A.C.; CANTLIFFE, D.J. Germination of lettuce seeds at high temperature after seed priming. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.105, n.6, p.777-781, 1980.

HADIMI R., PIRASTEH-ANOSHEH H. and IZADI M. Effect of Seed Halo-priming Compared with Hydro-priming on wheat Germination and Growth. **International Journal of Agronomy and Plant Production**. v.4, n.7, p. 1611-1615, 2013.

HEYDECKER, W.; HIGGINS, B. M. The priming of seeds. **Acta horticultural**. Wageningen, v. 83, p. 213- 223. 1978.

HILL, H.J.; CUNNINGHAM, J.D.; BRADFORD, K.J.; TAYLOR, A.G. Primed lettuce seeds exhibit increased sensitivity to moisture content during controlled deterioration. **Hort Science**, v.42, n.6, p.1436–1439. 2007.

KIKUTI, A.L.P.; MARCOS FILHO, J. Physiological conditioning of cauliflower seeds. **Brazilian Horticulture**, Vitória da Conquista, n.2, v. 27, p-240-245. 2009.

KODDE, J., BUCKLEY, W.T., GROOT, C.C., RETIERE, M., ZAMORA, A.M.V. e GROOT, S.P.C. A fast ethanol assay to detect seed deterioration. **Seed Science Research**, v.2, p. 55-62, 2012.

KROCHKO, J.E., ABRAMS, G.D., LOEWEN, M.K., ABRAMS, S.R. e CUTLER, A.J. (1998) (+) - Abscisic Acid 8'-Hydroxylase is a cytochrome P450 Monooxygenase. **Plant Physiology**, v. 118, p. 849-860, 1998.

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, v. 77, n. 66, p. 591-597, 1998.

LOPES, H. M.; ROSSETTO, C. A. V.; CARNEIRO, V. Embebição de sementes de cenoura (*Daucus carota* L.) em diferentes potenciais osmóticos por dois métodos. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.22, n.1, p.81-87, 2000.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MARCOS FILHO, J. Teste de vigor: importância e utilização. In: Krzyzanowski, F.C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. Vigor de sementes: conceitos e testes. **Londrina: ABRATES**, p.17-72, 2020.

MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O.; ALENCAR, E. R. D.; BLUM, L. E. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho pré-condicionadas em água ozonizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 360-365, 2018.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.49-85, 1994.

NASCIMENTO, W.M. Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.1, p.71-75, 2003.

NASCIMENTO WM; ARAGÃO FAS. 2004. Muskmelon seed priming in relation to seed vigor. **Scientia Agricola**, v.61, p.114-117, 2004.

NASCIMENTO, W.M, **Condicionamento osmótico de sementes de hortaliças**, Brasília, Embrapa Hortaliças, p,12, 2004. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 33).

NEUMANN, G., PREIBLER, M., AZAIZEH, H.A. e ROMHELD, V. Thiamine (vitamin B1) deficiency in germinating seeds of *Phaseolus vulgaris* L. exposed to soaking injury. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.162, n.3, p.295-300, 1999.

NUNES, U.R.; SANTOS, M.R.; ALVARENGA, E.M.; DIAS, D.C.F.S. Efeito do condicionamento osmótico e do tratamento com fungicida na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cebola (*Allium cepa* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.22, n.1, p.239-246, 2000.

OGAWA, N. S.; SENEME, A. M.; MENDONÇA, C. G.; FERRIANI, A. P. Submersão de sementes de feijão do grupo preto e desenvolvimento inicial de plântulas. **Revista Nucleus**, Ituverava-MG, v.13, n.2, p.283-290, 2016.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. Condicionamento osmótico e fatores que afetam esta técnica: envelhecimento das sementes e estresses abióticos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia-GO, v.6, n.11, p.1-18, 2010.

PARERA, C.A.; CANTLIFFE, D.J. Presowing seed priming. **Horticultural Reviews**, v. 16, n.1, p. 109-141, 1994.

PELUZIO, L.E.; SILVA, R.F.; REIS, M.S.; CECON, P.R.; DIAS, D.C.F.S.; PELUZIO, J.B.E. Efeito do condicionamento osmótico na embebição e na germinação de sementes de cenoura (*Daucus carota* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.21, n.2, p.161-169, 1999.

PEREIRA, M.D. et al. Processamento digital de imagens de plântulas na avaliação do vigor de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciência Florestal**, v.30, n.2, p.291-306, 2020.

RIBEIRO, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T. D.; PENA, G. F.; VIVAS, M.; KUROSAWA, R. N.; GONÇALVES, L. S. A. Effect of recurrent selection on the variability of the UENF14

popcorn population. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 123- 131, 2016.

RIFNA, E.J. et al. Emerging technology applications for improving seed germination. **Trends Food Sci Tech**, v.86, p.95-108, 2019.

ROCHA, A. P., MATOS, V. P., SENA, L. H. D. M., PACHECO, M. V., and FERREIRA, R. L. C. Methods to overcome dormancy in *Garcinia seeds gardneriana* (Planch. & Triana) Zappi. **Forest Science**, v.28, n.2, p.505-514. 2018.

SANTOS, C. M. R.; MENEZES, N. L. Tratamentos pré-germinativos em sementes de alface. **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, n.1, p.253-258, 2000.

SOUSA, C.A.F. e SODEK, L. The metabolic response of plants to oxygen deficiency. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 83-94, 2002.

TOSELLI, M.E.; CASENAVE, E.C. Water content and the effectiveness of hydro and osmotic priming of cotton seeds. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.31, n.1; p.727-735, 2003.

TRIGO, M.F.O.O.; NEDEL, J.L.; TRIGO, L.F.N. Condicionamento osmótico em sementes de cebola: I. efeitos sobre a germinação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n. 4, p.1059-1067, 1999 a.

TRIGO, M.F.O.O.; NEDEL, J.L.; GARCIA, A.; TRIGO, L.F.N. Efeitos do condicionamento osmótico com soluções aeradas de nitrato de potássio no desempenho de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.21, n.1, p.139-144, 1999b.

TRIGO, M.F.O.O.; NEDEL, J.L.; LOPES, N.L.; TRIGO, L.F.N. Osmocondicionamento de sementes de cebola (*Allium cepa* L.) com soluções aeradas de polietileno glicol. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.21, n.1, p.145-150, 1999c.

VASQUEZ, G.H. **Condicionamento fisiológico de sementes de soja; efeitos sobre a germinação, vigor e potencial de armazenamento.** 1995. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Sementes) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.

VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. de. **Testes de vigor em sementes.** Jaboticabal : FUNEP, p.103-132, 1994.

ZUCARELI, C.; et al. Qualidade fisiológica de sementes de milho doce classificadas pela espessura e largura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 71-78, jan./mar, 2014.

CAPÍTULO III

HIDROCONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE MILHO E SEU DESEMPENHO EM CAMPO

RESUMO

O hidrocondicionamento é uma técnica de condicionamento fisiológico que visa a embebição controlada das sementes, permitindo a ativação dos processos metabólicos da germinação, propiciando uniformização e estabelecimento das plântulas em campo. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes períodos e técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintas qualidades, nas características morfoagronômicas, em dois anos de plantio em campo. Foram utilizadas sementes de quatro tipos de milho (comum, pipoca, doce e super doce), com alta e baixa qualidade, submetidas ao tratamento de hidrocondicionamento, em três métodos de insuflação de gases (ausência, ar e oxigênio concentrado) e cinco períodos de embebição em água (0, 30, 60, 90 e 120 minutos), formando para cada tipo de milho um fatorial 2x3x5, com quatro repetições, totalizando 30 tratamentos. Após o hidrocondicionamento, as sementes foram secadas naturalmente, por 168 horas, a 25 °C, até 13% de teor de água. Após os tratamentos, as sementes foram semeadas em experimento em blocos ao acaso (DBC), para cada tipo de milho. Os parâmetros morfoagronômicos avaliados foram: índice de velocidade de emergência (IVE), emergência em campo (EC), altura de plantas aos 45 e 75 dias após a emergência (ALT), altura da inserção da primeira espiga (AIE), índice de colheita (IC) e produtividade (PROD). O hidrocondicionamento associado com insuflação de ar atmosférico ou oxigênio concentrado, em lotes com alta qualidade fisiológica, promoveu o desenvolvimento inicial, vegetativo e produtivo das plantas de todos os tipos de milho avaliados, especialmente durante o período de embebição de 60 minutos. Nos lotes de baixa qualidade fisiológica, o tratamento de hidrocondicionamento associado com insuflação de ar ou oxigênio foi benéfico somente nos lotes de milho comum e pipoca, acarretando melhoria do desempenho em campo, principalmente durante o período de embebição de 60 minutos. O hidrocondicionamento por diferentes períodos, com distintas técnicas de insuflação, prejudicou o desempenho agrônomo em campo das plantas de milho doce e super doce de baixa qualidade fisiológica.

Palavras-chave: tratamento de sementes, desempenho em campo, condicionamento fisiológico, período de embebição, aeração.

ABSTRACT

Hydropriming is a physiological conditioning technique that aims at the controlled imbibition of seeds, allowing the activation of the metabolic processes of germination, providing standardization and establishment of seedlings in the field. The objective was to evaluate the effect of different periods and hydropriming techniques on seeds of different types of corn, with different qualities, on morphoagronomic characteristics, in two years of planting in the field. Seeds of four types of corn were used (common, popcorn, sweet and super sweet), with high and low quality, subjected to hydroconditioning treatment, in three gas insufflation methods (absence, air, concentrated oxygen) and five periods of soaking in water (0, 30, 60, 90 and 120 minutes), forming a 2x3x5 factorial for each type of corn, with four replications, totaling 30 treatments. After hydropriming, the seeds were dried naturally, for 168 hours, at 25°C, until 13% water content. After treatment, the seeds were sown in a randomized block experiment (DBC), for each type of corn. The morphoagronomic parameters evaluated were: emergence speed index (IVE), field emergence (EC), plant height at 45 and 75 days after emergence (ALT), first ear insertion height (AIE), harvest index (IC) and productivity (PROD). Hydroconditioning associated with insufflation of atmospheric air or concentrated oxygen, in batches with high physiological quality, promoted the initial, vegetative and productive development of plants of all types of corn evaluated, especially during the 60-minute imbibition period. In batches of low physiological quality, the hydroconditioning treatment associated with air or oxygen insufflation was beneficial only in batches of common corn and popcorn, resulting in an increase in field performance, especially during the 60-minute soaking period. Hydropriming for different periods, with different inflation techniques, harmed the agronomic performance in the field of sweet and super sweet corn plants of low physiological quality.

Keywords: seed treatment, field performance, physiological conditioning, imbibition period, aeration.

3.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é classificado como uma cultura diversificada por sua ampla utilização nos tempos modernos, sendo um dos produtos agrícolas de grande distribuição nacional e mundial, por sua produção e consumo. Além do milho comum, existe um mercado em expansão no Brasil para os milhos considerados especiais (doce, super doce e pipoca), os quais podem ser consumidos *in natura* ou serem utilizados pela indústria, tornando-se mais uma alternativa para os produtores rurais agregarem valor a seus produtos e aumentarem sua renda (BORDALLO et al., 2005).

Em condições de campo os milhos chamados “especiais” (pipoca, doce e supe doce) caracterizam-se por apresentar uma baixa e irregular germinação, influenciando, dessa forma, o rendimento e a qualidade do produto final obtido, quando comparados ao milho comum. Desta maneira, em culturas como a do milho, cujas sementes possuem alto valor comercial, o uso de procedimentos especiais, como o condicionamento fisiológico, pode favorecer o desempenho das sementes (LIMA; MARCOS FILHO, 2010).

O hidrocondicionamento é uma técnica de condicionamento fisiológico que consiste na hidratação das sementes, suficiente para promover as atividades pré-metabólicas, tendo como objetivo reduzir o período de germinação, bem como sincronizar e melhorar a emergência das plântulas, submetendo as sementes a um controle da hidratação suficiente para permitir os processos respiratórios essenciais à germinação, porém insuficiente para propiciar a emissão da raiz primária (XAVIER, 2017).

Alguns estudos atestaram benefícios da utilização da técnica de hidrocondicionamento na germinabilidade, sincronia, redução do tempo médio de germinação, maior velocidade de germinação e também no vigor em diversas espécies como melão, couve-flor, maxixe, milho e soja (ARAUJO, 2011; GIURIZATTO, 2008; KIKUTI; MARCOS FILHO, 2009; MAXIMIANO et al., 2023; PAIVA et al., 2012). No entanto, na literatura são escassas as informações sobre os efeitos do condicionamento fisiológico nas características morfoagronômicas do milho, havendo carência de informações sobre as fases de desenvolvimento vegetativo e da produção final das plantas a partir de sementes hidrocondicionadas.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes períodos e técnicas de hidrocondicionamento em tipos variados de sementes de milho, com distintos níveis de qualidade, nas características morfoagronômicas da planta e no desempenho em campo.

3.2 MATERIAL E METODOS

3.2.1 Cultivares e Sementes

O experimento foi conduzido com sementes de quatro tipos de milho: comum BR 106 (safra 18/19), pipoca BRS Angela (safra 19/19), Doce Cristal BR 402 (safras 06/07 e 19/19) e Super Doce BR 400 (safras 06/07 e 19/19), fornecidas pela empresa pública Embrapa, sem tratamento químico.

As sementes de milho comum BR 106 e pipoca BRS Angela, previamente armazenadas a 5 °C, com teor de água variando entre 10% a 13%, foram separadas em dois lotes, sendo um de alta e outro de baixa qualidade fisiológica. Para obtenção dos lotes de baixa qualidade, as sementes de milho do tipo comum e pipoca, que inicialmente apresentavam percentual de germinação acima do padrão mínimo exigido para a comercialização, respectivamente, de 97% e 85%, foram submetidas a um estresse (envelhecimento acelerado). No envelhecimento, foram utilizadas caixas do tipo gerbox, com 40 mL de água destilada no fundo, sendo as sementes de milho comum e pipoca dispostas uniformemente sobre uma tela acima da água e incubadas a 42 °C. Testes preliminares de envelhecimento acelerado indicaram a necessidade de as sementes permanecerem por 96 h a 42 °C para atingirem percentual de germinação de aproximadamente 75% para o milho comum e de 55% para o milho pipoca. Em seguida, as sementes foram colocadas para secar em condição ambiente de laboratório (temperatura média de 25 °C, umidade relativa do ar média de 60%), por sete dias, até atingirem massa constante.

Testaram-se dois lotes de milho doce e dois de superdoce (safras 06/07 e 19/19), de baixa e de alta qualidade fisiológica, previamente armazenados a 5°C, com teor de água variando entre 10% a 13%.

Tabela 1. Germinação (%) prévia ao hidrocondicionamento das sementes de diferentes tipos de milho com alta e baixa qualidade fisiológica.

TIPO	QUALIDADE	
	ALTA	BAIXA
Comum	97	75
Pipoca	85	55
Doce	77	40
Super Doce	96	50

3.2.2 Hidrocondicionamento

Inicialmente, foi padronizada a quantidade de sementes a serem hidrocondicionadas, sendo a massa das sementes de cada tratamento determinada em função do número de sementes necessárias para a semeadura.

As sementes dos diferentes tipos de milho, com grau de umidade inicial variando entre 10% a 13% b.u., foram submersas em 400 mL de água em recipientes de vidro com capacidade de 800 mL, sendo as tampas adaptadas com uma mangueira para insuflação e outra para a exaustão dos gases (Figura 1A). O hidrocondicionamento foi testado empregando três técnicas de insuflação da água: ausência, ar atmosférico e oxigênio concentrado, durante: 0, 30, 60, 90 e 120 minutos (MAXIMIANO et al., 2018).

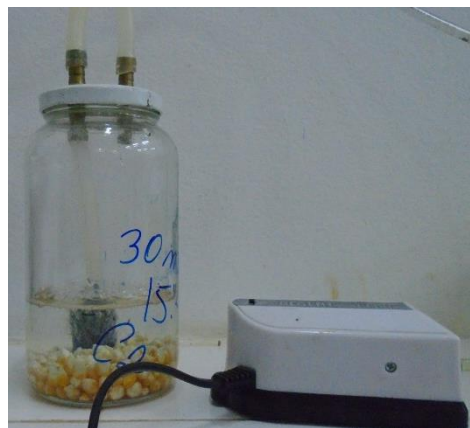


Figura 1A



Figura 1B

Figura 1. Processo de hidrocondicionamento das sementes de milho com insuflação de ar com compressor (A) e concentrador de oxigênio (B). **Fonte:** Christian Viterbo Maximiano.

A injeção de ar foi feita mediante um compressor de ar (Figura 1A) e de oxigênio por meio do aparelho EverFlo da *Philips Respironics* (Figura 1B) – concentrador de oxigênio estacionário a partir do ar ambiente. Este concentrador possui uma placa OPI (Indicador de Porcentagem de Oxigênio) que mede a concentração do índice de oxigênio e um indicador visual no display do concentrador. O fluxo de gás insuflado em cada recipiente foi de 3 L min^{-1} .

Após o hidrocondicionamento, as sementes dos diferentes tipos de milho foram secadas até o atingimento de massa constante, durante uma semana, em condições ambientais (aproximadamente $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e 60% de umidade relativa do ar) e em seguida foram armazenadas a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 dias até a semeadura em campo.

3.2.3 Experimentos em campo

Os experimentos de campo foram conduzidos na Fazenda Água Limpa (FAL), Universidade de Brasília, Distrito Federal, a uma altitude de 1.100 m, nas coordenadas $15^{\circ}56' \text{ S}$ e $47^{\circ}55' \text{ W}$, em dois anos (semeadura em fev/2021 e em jan/2022). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado por verão chuvoso, de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro (KOTTEK et al., 2006). Os dados pluviométricos e de temperatura no local dos experimentos foram coletados pela estação meteorológica da FAL (Figuras 2 e 3).

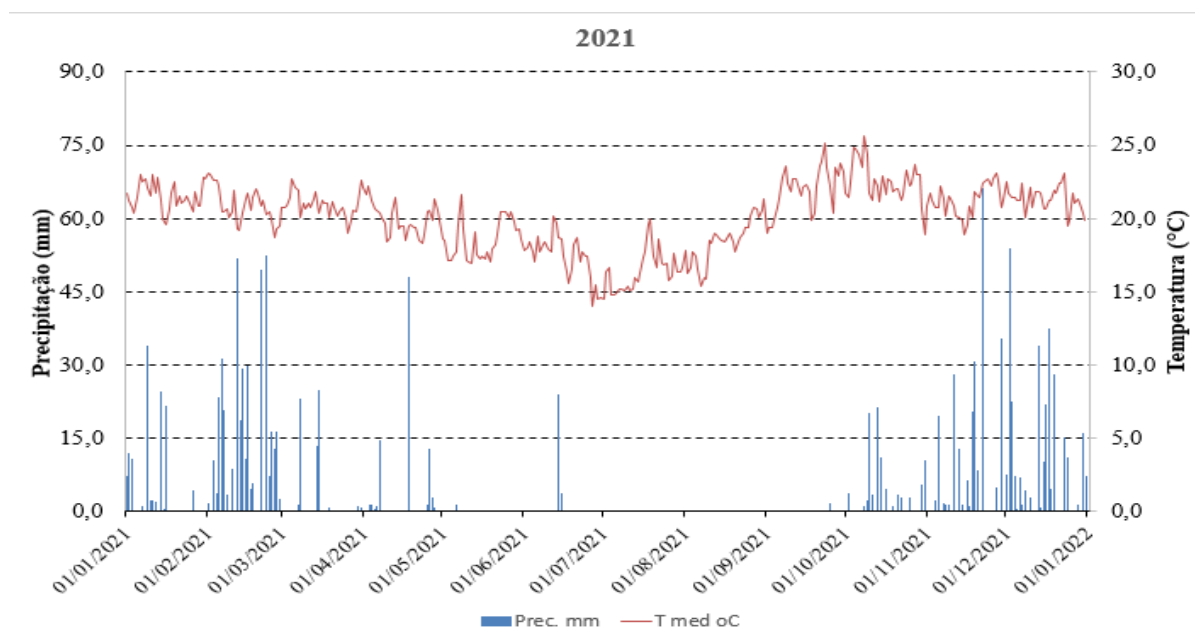


Figura 2. Precipitação e temperatura médias diárias na Fazenda Água Limpa no ano de 2021.

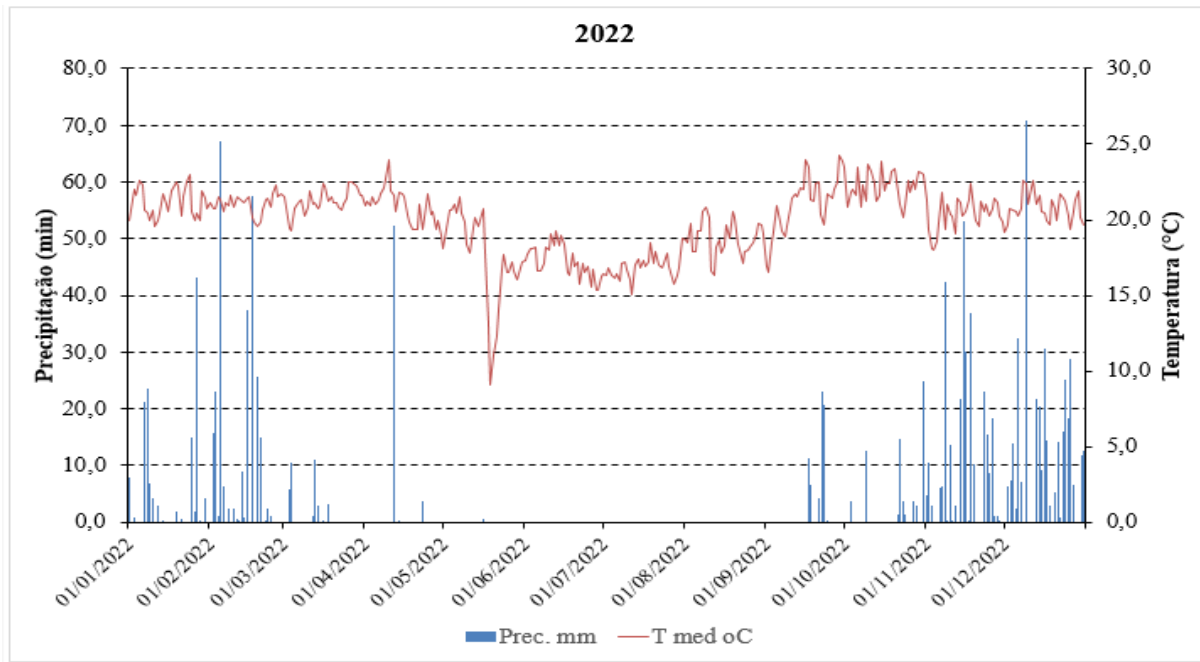


Figura 3. Precipitação e temperatura médias diárias na Fazenda Água Limpa no ano de 2022.

A área experimental do primeiro e segundo ano de semeadura para cada tipo de milho avaliado correspondeu, respectivamente, a 1000 m² e a 500 m². As parcelas experimentais do primeiro ano (2021) e segundo ano (2022) de semeadura foram constituídas, respectivamente, de quatro e duas linhas espaçadas por 50 cm, com 5,0 m de comprimento e 50 cm entre linhas, sendo o tamanho total da parcela correspondente a 10 m² e 5 m², respectivamente. O delineamento estatístico do experimento em campo foi em blocos casualizados, com quatro repetições.

Inicialmente, foi padronizada a quantidade de sementes a serem hidrocondicionadas, sendo a massa das sementes de cada tratamento determinada em função do número de sementes necessárias para a realização da semeadura em cada ano. O tratamento das sementes por hidrocondicionamento foi realizado anualmente.

Em ambos os anos, o solo foi preparado mediante aração, gradagem, nivelamento e sulcamento e a adubação foi realizada nos sulcos com 500 kg ha⁻¹ do formulado N-P-K 4-30-16. A semeadura nos sulcos foi manual, sendo realizada uma adubação aos 45 dias após semeadura com 300 kg ha⁻¹ do formulado N-P-K 20-05-20. O manejo de plantas daninhas foi realizado mediante duas aplicações de atrazina na dose de 5 L ha⁻¹ aos 20 e aos 45 DAE (dias após a emergência do milho), com volume de calda de 400 L ha⁻¹ e, quando necessário, foram realizadas capinas manuais adicionais. Infestações de lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foram controladas mediante aplicação do inseticida clorantraniliprole, na dose de

150 mL/ha. As aplicações foram realizadas com pulverizador costal comum com capacidade de 20 litros.

Os experimentos foram irrigados diariamente, por aspersão convencional. As espigas foram colhidas manualmente após o endurecimento do endosperma (14% de umidade) e trilhadas em trilhadeira estacionária de grãos.

3.2.4 Parâmetros avaliados

Os parâmetros avaliados incluíram o índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) (MAGUIRE, 1962); a porcentagem de emergência final (14 dias após semeadura); a altura das plantas aos 45 e aos 75 dias após semeadura, medida a partir do nível do solo até o colar da última folha totalmente aberta, em dez plantas aleatórias de cada parcela (VAZQUEZ, SARGI; PESSOA, 2012); altura de inserção da primeira espiga, avaliada nas mesmas dez plantas em que se mediu a altura; índice de colheita (relação entre a massa seca dos grãos e a massa seca total de 10 plantas aleatórias) (PEREIRA; MACHADO, 1987); e produtividade de espigas despalhadas.

3.2.5 Análises Estatísticas

Foi realizada análise de variância, a 5% de probabilidade, com o Software Agroestat v.5 (BARBOSA; MALDONADO JUNIOR, 2015) e, posteriormente, análise de regressão com o *software* SigmaPlot v.10 (Systat Software Inc, Germany) (Anexo A). Para a estatística multivariada, foram utilizadas as análises de agrupamento e de componentes principais. As médias dos resultados das variáveis avaliadas foram calculadas e transformadas para média zero e variância um. Essa transformação foi realizada para evitar superestimar ou subestimar o peso de uma variável estudada no resultado final devido às diferenças de escala de medida. Para os cálculos da análise multivariada foram considerados os seguintes resultados das variáveis de desempenho em campo: índice de velocidade de emergência, emergência em campo, altura de plantas (45 e 75 dias), altura da inserção da primeira espiga, índice de colheita e produtividade.

A análise de agrupamento foi conduzida pelo método hierárquico, considerando a distância Euclidiana entre os tratamentos para o conjunto de 7 variáveis ($d = \sqrt{\sum (p_i - q_i)^2}$), em que p_i e q_i são pontos de cada parâmetro analisado em um espaço euclidiano n-dimensional) pelo algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos dos tratamentos semelhantes. A partir dos resultados, foi criado um dendrograma e, a partir das ligações médias entre os

resultados das avaliações do desempenho em campo foi determinado um valor de distância que melhor explica o conjunto de dados.

A análise dos componentes principais foi calculada com os dados transformados em média zero e variância um para os resultados dos tratamentos e uma matriz $n \times p$ foi obtida, para as quais “n” é o número de tratamentos (n=13) e “p” o número de parâmetros avaliados: índice de velocidade de emergência, emergência em campo, altura de plantas aos 45 e 75 dias, altura da inserção da primeira espiga, índice de colheita e produtividade (p=7). A partir da matriz de covariância, foram calculados os autovalores (valores representativos da variabilidade retida por componente) e autovetores (valores representativos da localização dos pontos no gráfico), gerando o gráfico bidimensional (“biplot”). O número ideal de componentes que explica os resultados foi considerado quando a soma da representatividade dos autovalores superou 70% da variabilidade dos dados (KAISER, 1960). As análises multivariadas foram realizadas com o *software* STATISTIC versão 7.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Análise multivariada

A análise de componentes principais permitiu uma única distribuição dos acessos (componente principal 1 x componente principal 2). Os dois componentes principais juntos possibilitaram uma ordenação bidimensional dos acessos e das variáveis de campo, o que possibilitou a construção dos gráficos biplots (Figuras 5 e 6). Conforme critérios de seleção dos componentes, esta pesquisa adotou a retenção dos componentes que explicaram mais de 70% da variância (KAISER, 1960).

No presente trabalho, a distância euclidiana em 6 permitiu uma divisão exata dos acessos em dois e três grupos. Este salto foi adotado, admitindo-se a formação de dois ou três grupos: I, II e III, dependendo do tipo de milho avaliado (Figura 4). Essa divisão permitiu a ordenação dos acessos segundo a influência do hidrocondicionamento nas variáveis de campo. O grupo I (círculo verde) abrangeu os tratamentos benéficos de hidrocondicionamento, que contribuíram positivamente para o incremento das variáveis em campo, o grupo II (círculo amarelo) compreendeu os tratamentos intermediários e o grupo III (círculo vermelho), os tratamentos prejudiciais ao desempenho em campo (Figuras 5 e 6).

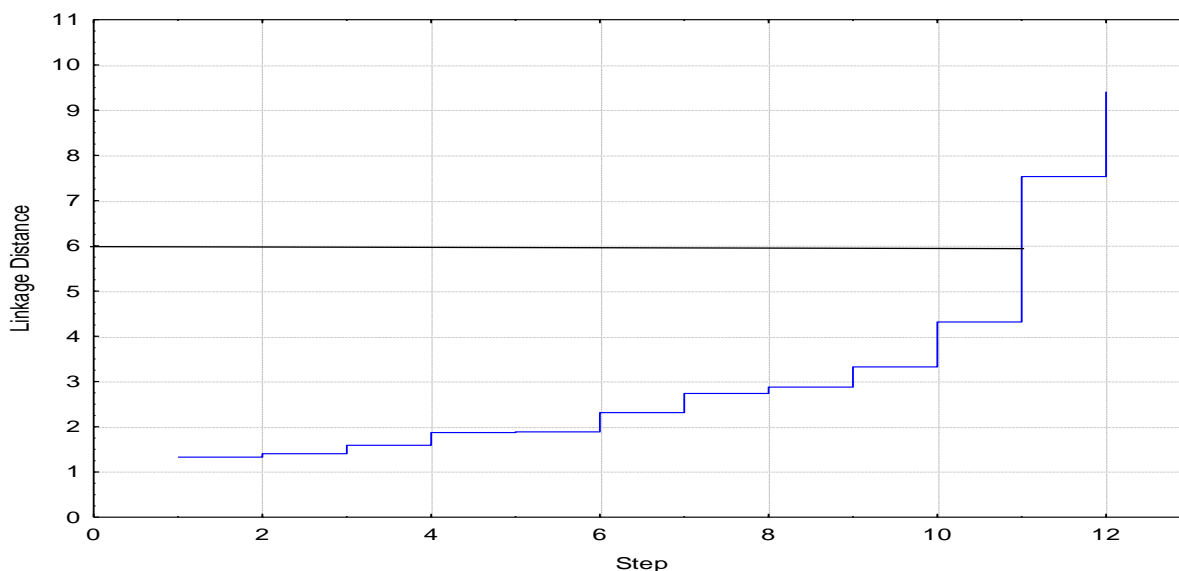


Figura 4. Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação dos grupos de diferentes tipos de milho, com distintos níveis de qualidade, tratados com diferentes técnicas e períodos de hidrocondicionamento.

A representação gráfica (Figuras 5 e 6) e a correlação das variáveis nos componentes principais (Tabelas 2 e 3) permitiram caracterizar as variáveis mais discriminantes na formação dos grupos dos diferentes tipos de milho. As variáveis índice de velocidade de emergência (IVE), emergência em campo (EC), altura das plantas aos 45 (ALT 45) e 75 (ALT 75) dias após a semeadura, altura de inserção da primeira espiga (AIE), índice de colheita (IC) e produtividade (PROD) foram responsáveis pela discriminação dos grupos I e II, sendo que a maioria das variáveis de campo ficaram dispostas à esquerda de CP1 (correlações negativas) (Tabelas 2 e 3). Esta tendência na separação e localização dos grupos se manteve em todos os tipos de milho avaliados, com distintas qualidades, durante os dois anos de semeadura (Figuras 5 e 6).

O grupo I (círculo verde) foi caracterizado pelos tratamentos de hidrocondicionamento com menores períodos de embebição, submetidos ou não à insuflação (Figuras 5 e 6). Nos lotes de alta qualidade fisiológica, os períodos de embebição entre 30 a 60 minutos proporcionaram o melhor desempenho das variáveis de campo, para todos os tipos de milho, sendo estes resultados expressos pelos parâmetros índice de velocidade de emergência (IVE), emergência em campo (EC), altura das plantas aos 45 (ALT 45) e 75 (ALT 75) dias após a semeadura, altura de inserção da primeira espiga (AIE), índice de colheita (IC) e produtividade (PROD). Esta tendência se manteve para todos os tipos de milho avaliados, durante os dois anos de cultivo (Figura 5).

O hidrocondicionamento melhorou o desempenho em campo das sementes de alta qualidade fisiológica nos quatro tipos de milho avaliados, ocasionando o aumento do vigor e, conseqüentemente, melhorando o desenvolvimento da cultura em campo. Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram resultados obtidos em sorgo (OLIVEIRA; GOMES-FILHO, 2011) em que a utilização da técnica de condicionamento fisiológico em sementes que já possuíam alta qualidade fisiológica foi capaz de incrementar a taxa de emergência e o estabelecimento da cultura em campo.

Os lotes de sementes de milho comum e pipoca, com baixa qualidade fisiológica, apresentaram o mesmo comportamento dos lotes de alta qualidade fisiológica, sendo que os períodos de embebição entre 30 e 60 minutos proporcionaram o melhor desempenho dos parâmetros em campo, nos dois anos (Figura 6).

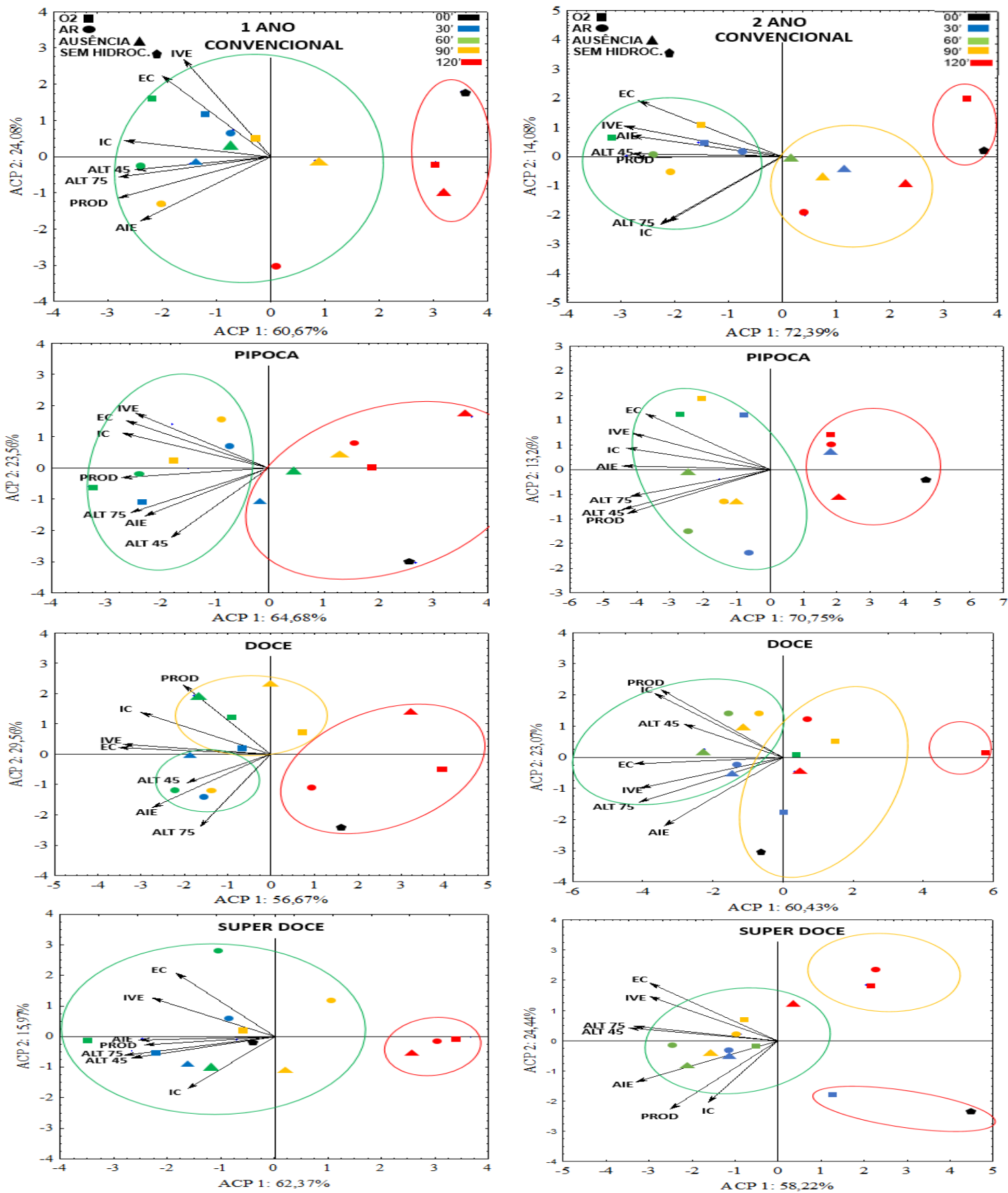


Figura 5. Análise de componentes principais (PCA) do desempenho em campo de sementes de diferentes tipos de milho de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos e tipos de insuflação (O2 concentrado, Ar atmosférico e Ausência de insuflação). Em que: IVE: índice de velocidade de emergência, EC: emergência em campo, ALT: altura de plantas aos 45 dias (ALT 45) e aos 75 dias (ALT 75), AIE: altura da inserção da espiga, IC: índice de colheita (IC) e PROD: produtividade.

Tabela 2. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de desempenho em campo de diferentes tipos de milho proveniente de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar.

TIPO	PARÂMETRO	2021		2022	
		CP1	CP2	CP1	CP2
COMUM	IVE	-0,51	0,84	0,95	0,28
	EC	-0,63	0,70	-0,85	0,47
	ALT 45	-0,80	-0,10	-0,90	0,01
	ALT 75	-0,90	-0,19	-0,71	-0,56
	AIE	-0,77	-0,54	-0,90	-0,58
	IC	-0,88	0,14	-0,74	-0,58
	PROD	-0,89	-0,37	-0,88	-0,01
PIPOCA	IVE	-0,80	0,58	-0,81	0,35
	EC	-0,86	0,50	-0,73	0,57
	ALT 45	-0,58	-0,70	-0,88	-0,42
	ALT 75	-0,81	-0,44	-0,83	-0,27
	AIE	-0,75	-0,49	-0,89	0,03
	IC	-0,89	0,36	-0,88	0,24
	PROD	-0,89	-0,10	-0,86	-0,42
DOCE	IVE	-0,95	0,11	-0,87	-0,29
	EC	-0,96	0,089	-0,91	-0,07
	ALT 45	-0,58	-0,33	-0,59	0,31
	ALT 75	-0,45	-0,86	-0,84	-0,43
	AIE	-0,77	-0,60	-0,71	-0,65
	IC	-0,83	0,49	-0,74	0,63
	PROD	-0,56	0,78	-0,73	0,65
SUPERDOCE	IVE	-0,77	0,44	-0,79	0,47
	EC	-0,62	0,72	-0,76	0,60
	ALT 45	-0,91	-0,21	-0,89	0,13
	ALT 75	-0,93	-0,19	-0,88	0,13
	AIE	-0,84	-0,040	-0,85	-0,41
	IC	-0,55	-0,57	-0,41	-0,66
	PROD	-0,83	-0,081	-0,63	-0,70

Legenda: IVE= índice de velocidade de emergência; EC =emergência em campo (%); ALT 45= altura da planta 45 dias após o plantio (m); ALT 75= altura da planta 75 dias após o plantio (m); AIE= altura da inserção da primeira espiga (m); IC= índice de colheita; PROD= produtividade (kg ha⁻¹). **Negrito** = variáveis com maior correlação que discriminam o primeiro componente principal (CP1) ou segundo componente principal (CP2).
Fonte: Próprio autor.

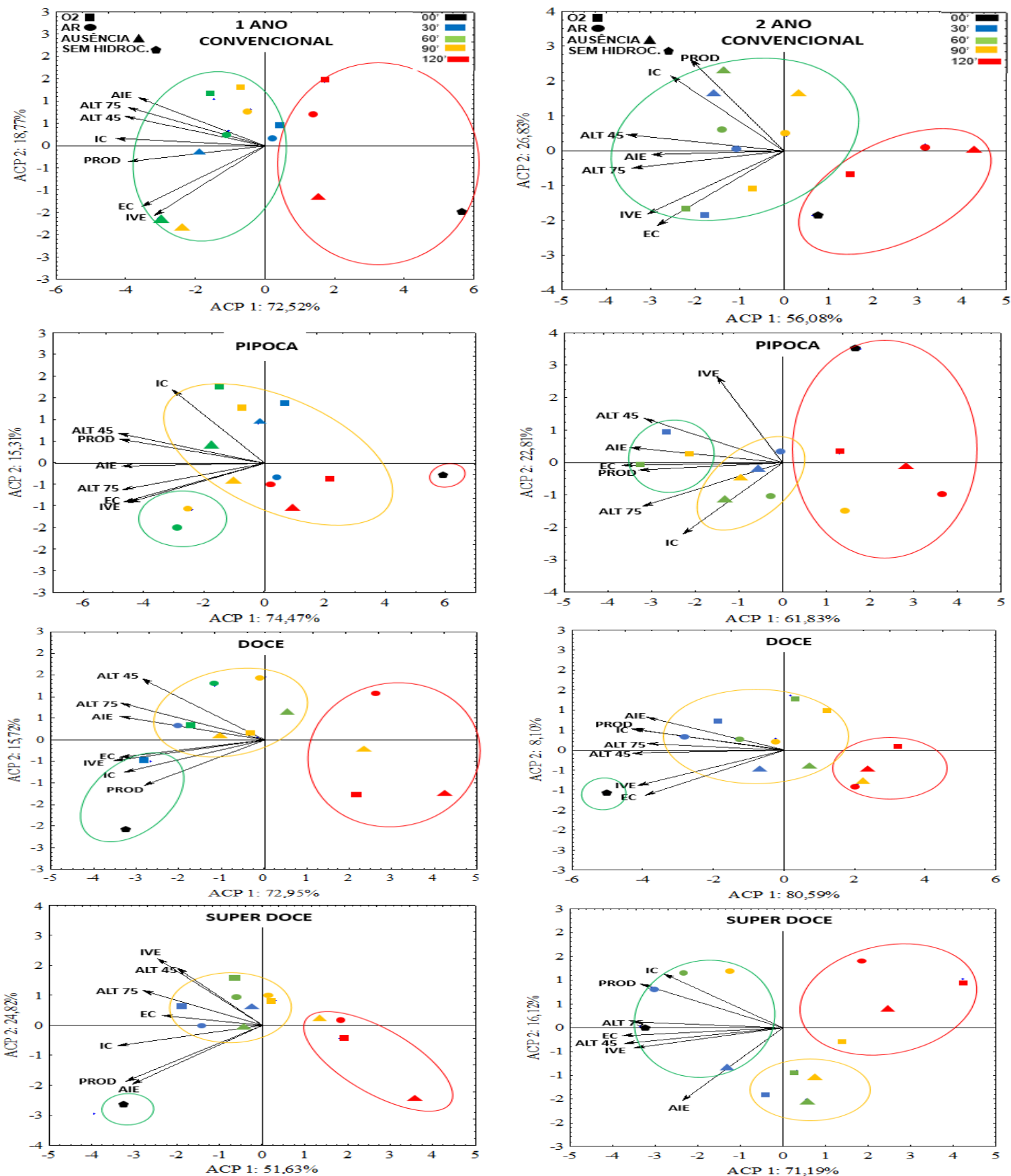


Figura 6. Análise de componentes principais (PCA) do desempenho em campo de semente de diferentes tipos de milho de baixa qualidade fisiológica hidrocondicionadas durante distintos períodos e tipos de insuflação (O2 concentrado, Ar atmosférico e Ausência de insuflação). Em que: IVE: índice de velocidade de emergência, EC: emergência em campo, ALT: altura de plantas aos 45 dias (ALT 45) e aos 75 dias (ALT 75), AIE: altura da inserção da primeira espiga, IC: índice de colheita (IC) e PROD: produtividade.

Tabela 3. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de desempenho em campo de diferentes tipos de milho proveniente de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar.

TIPO	PARÂMETRO	1 ANO		2 ANO	
		CP1	CP2	CP1	CP2
COMUM	IVE	-0,70	-0,68	-0,78	-0,54
	EC	-0,79	-0,60	-0,72	-0,63
	ALT 45	-0,90	0,39	-0,90	0,16
	ALT 75	-0,90	0,30	-0,87	-0,14
	AIE	-0,82	0,48	-0,74	-0,013
	IC	-0,96	0,07	-0,64	0,70
	PROD	-0,88	-0,15	-0,52	0,80
PIPOCA	IVE	-0,88	-0,38	-0,38	0,84
	EC	-0,86	-0,39	-0,95	-0,027
	ALT 45	-0,93	0,30	-0,84	0,45
	ALT 75	-0,91	-0,26	-0,83	-0,42
	AIE	-0,91	-0,03	-0,91	0,15
	IC	-0,58	0,74	-0,58	-0,69
	PROD	-0,91	0,25	-0,85	-0,064
DOCE	IVE	-0,94	-0,23	-0,90	-0,35
	EC	-0,92	-0,19	-0,86	-0,48
	ALT 45	-0,74	0,65	-0,95	-0,023
	ALT 75	-0,87	0,39	-0,83	0,06
	AIE	-0,88	0,27	-0,85	0,35
	IC	-0,87	-0,35	-0,93	0,21
	PROD	-0,73	-0,50	-0,95	0,21
SUPERDOCE	IVE	-0,63	0,72	-0,90	-0,19
	EC	-0,61	0,12	-0,94	-0,073
	ALT 45	-0,51	0,58	-0,94	-0,16
	ALT 75	-0,77	0,37	-0,91	0,056
	AIE	-0,79	-0,59	-0,59	-0,74
	IC	-0,85	-0,21	-0,71	0,56
	PROD	-0,80	-0,58	-0,84	0,45

Legenda: IVE= índice de velocidade de emergência; EC =emergência em campo (%); ALT 45= altura de planta 45 dias após o plantio (m); ALT 75= altura de planta 75 dias após o plantio (m); AIE= altura de inserção da primeira espiga (m); IC= índice de colheita; PROD= produtividade (kg ha). **Negrito** = variáveis com maior correlação que discriminam o primeiro componente principal (CP1) ou segundo componente principal (CP2).
Fonte: Próprio autor.

O desempenho em campo de sementes de milho comum e pipoca de baixa qualidade foi semelhante aos relatados por Silva et al. (2016) em soja, que verificaram que sementes de médio a baixo vigor submetidas ao hidrocondicionamento apresentaram maior emergência de plântulas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens/planta, número de sementes/planta, número de sementes/vagem e produtividade de grãos.

Nos lotes de sementes de milho doce e super doce de baixa qualidade fisiológica, os tratamentos de hidrocondicionamento prejudicaram o desempenho em campo nos dois anos de cultivo (Figura 6). As cultivares de milho dos tipos doce e super doce apresentam sementes com aspecto de tegumento enrugado e espessura do pericarpo mais fina, tornando-as mais susceptíveis a danos mecânicos quando submetidas a tratamentos de embebição (MARINHO et al., 2021). As características químicas e genéticas das sementes de milho doce e superdoce fazem com que estas sejam consideradas problemáticas, principalmente em relação à tolerância ao tempo de armazenamento (ARAUJO et al., 2006).

O grupo II (círculo amarelo) foi caracterizado pela ocorrência de tratamentos de hidrocondicionamento com períodos de embebição intermediários (30 a 90 minutos), sendo que neste grupo a técnica de hidrocondicionamento sem insuflação de gases foi a mais recorrente em todos tipos de milho, com distintas qualidades, sendo possível observar que o comportamento deste grupo se manteve nos dois anos (Figuras 5 e 6). Neste grupo, as sementes dos diferentes tipos de milho começaram a manifestar queda de desempenho em campo.

A pré-embebição das sementes apresenta efeito positivo apenas quando é realizada até a fase inicial da curva de embebição, ocorrendo redução significativa da capacidade de germinação e vigor em períodos prolongados de embebição em água, sem auxílio de aeração (BATISTA et al.; 2012). As sementes condicionadas por períodos prolongados acabam sendo privadas de oxigênio em uma etapa importante do processo de germinação, produzindo compostos tóxicos que prejudicam esse processo e, conseqüentemente, o desempenho em campo, sendo a oxigenação um fator determinante no processo germinativo que, embora apresentando um período anaeróbico, em sua maior porção é dependente de oxigênio (KERBAYU, 2008).

O grupo III (círculo vermelho) inclui os tratamentos sem hidrocondicionamento e com o maior período de embebição (120 minutos). Este grupo apresentou o pior desempenho em campo para todos os parâmetros avaliados, sendo este comportamento observado em lotes de sementes com alta e baixa qualidade fisiológica (comum e pipoca), submetidos ao

hidrocondicionamento na ausência ou presença de insuflação, na maioria dos tipos de milho avaliados, nos dois anos de cultivo (Figuras 5 e 6).

Os resultados obtidos neste experimento estão de acordo com os relatados por Oliveira e Gomes-Filho (2010), que ressaltaram os efeitos benéficos do condicionamento fisiológico em sementes de sorgo, sendo que a utilização desta técnica foi capaz de reverter parcialmente os efeitos da deterioração, isto é, as sementes condicionadas apresentaram maior vigor quando comparadas às não condicionadas e além disso, o condicionamento permitiu maior expressão do potencial fisiológico das sementes de distintos níveis de vigor. Em sementes de milho (RAMEZANI; SOKHT-ABANDANI, 2013) e arroz (SOKHT-ABANDANI; RAMEZANI, 2012), foram observadas elevações no índice de vigor de sementes condicionadas. O condicionamento fisiológico em sementes de soja foi capaz de aumentar a taxa de emergência e o estabelecimento do estande de plântulas, e conseqüentemente, acarretou melhor desenvolvimento vegetativo das plantas, com reflexos na produtividade da cultura (NUNES et al. 2002). Segundo os autores, a relação do condicionamento de sementes com a produtividade da cultura da soja está possivelmente relacionada com a boa formação do estande, permitindo a formação de plantas mais vigorosas, desde o início do processo de desenvolvimento da cultura.

No presente trabalho, o desempenho em campo dos diferentes tipos de milho quando as sementes foram submetidas ao tratamento com maior tempo de embebição (120 minutos), foi prejudicado (Figuras 5 e 6). Este resultado corrobora com os relatados por Ogawa et al. (2016), em que o processo de embebição das sementes por períodos prolongados provoca queda na respiração e início da fermentação, que gera compostos prejudiciais às células das sementes. Estes autores ressaltam que a imersão das sementes de feijão por quatro horas é suficiente para provocar danos à germinação e ao desenvolvimento das plântulas, sendo essencial que a hidratação seja associada à aeração, de forma que supra a necessidade de água para a germinação, sem que interrompa o fluxo de oxigênio necessário.

O sucesso do condicionamento fisiológico depende do período de tempo em que a semente fica imersa em água, pois à medida em que o tempo de embebição se prolonga, as sementes perdem mais solutos, podendo acarretar prejuízos à germinação e ao vigor (PESKE; PESKE, 2011). Na realização do condicionamento fisiológico, recomenda-se que o período de embebição das sementes seja o mais curto possível, dependendo da espécie, para que não ocorram possíveis danos às sementes que possam comprometer o seu processo germinativo, o vigor e, conseqüentemente, o seu desempenho em campo (MARCOS FILHO, 2015).

3.4 CONCLUSÕES

O hidrocondicionamento com insuflação de ar ou oxigênio concentrado, durante 30 a 60 minutos, seguido de secagem natural, melhora o desempenho agrônomo em campo e aumenta a produtividade de diferentes tipos de milho com alta qualidade fisiológica (comum, pipoca, doce e super doce) e com baixa qualidade fisiológica (convencional e pipoca).

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. F. Maturação de sementes de milhodoce: grupo superdoce. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 69-76, 2006.

ARAUJO, P. C.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P.; PAIVA, E. P. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de maxixe. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina – PR, vol. 33, nº 3 p. 482 - 489, 2011.

BARBOSA, JC; MALDONADO, JUNIOR, W. 2015. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. p. 396, 2015.

BATISTA, R. O.; SAPATINI, J. R.; CURIEL, A. C.; SOUZA-LEAL, T.; BERTIN, R. L.; PEDROSO-DE-MORAES, C. Morfometria carposeminal e germinação de *Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl. pré-embecida em diferentes períodos de exposição e concentração de GA3 . **Iheringia. Série Botânica**, v. 67, n. 2, p. 159-169, 2012.

BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.123-127, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, p.306, 2006.

GIURIZZATO, M.I.K.; ROBAINA, A.D.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas ao hidrocondicionamento. Maringá, **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.5, p.711-717, 2008.

KAISER, H.F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, Durham, v.20, p.141–151, 1960.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 452 p.

KIKUTI, A.L.P.; MARCOS FILHO, J. Condicionamento fisiológico de sementes de couveflor. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, n.2, v. 27, p-240-245. 2009.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the KöppenGeiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LIMA, L.B.; MARCOS FILHO, J. Condicionamento fisiológico de sementes de pepino e germinação sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.1, p.138-147, 2010.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MARINHO, J. de, L.; BAZZO, J. H.B, ZUCARELI, C.; FONSECA, I.C. de, B. Controlled deterioration test to evaluate the physiological potential of sweet corn seeds. **Semina: Ciência Agrária**. Londrina, v. 42, n. 3, p. 949-962, 2021.

MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O.; ALENCAR, E. R. D.; BLUM, L. E. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho pré-condicionadas em água ozonizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 360-365, 2018.

MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O.; ALENCAR, E. R. D.; CARVALHO, N. Reinvigoration of corn seeds (common, popcorn, sweet and super sweet) by hydroconditioning. **DELLOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v.16, n.44, p. 1434-1464, 2023.

NUNES, U. R.; SILVA, A. A.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T. efeito do condicionamento osmótico de sementes de soja sobre a habilidade competitiva da cultura com as plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 27-35, 2002.

OGAWA, N. S.; SENEME, A. M.; MENDONÇA, C. G.; FERRIANI, A. P. Submersão de sementes de feijão do grupo preto e desenvolvimento inicial de plântulas. **Revista Nucleus**, Ituverava-MG, v.13, n.2, p.283-290, 2016.

OLIVEIRA, A.B. de; GOMES FILHO, E. Estabelecimento de plântulas de sorgo oriundas de sementes osmocondicionadas de diferentes qualidades fisiológicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.2, p.223-229, 2011.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. Condicionamento osmótico e fatores que afetam esta técnica: envelhecimento das sementes e estresses abióticos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia-GO, v.6, n.11, p.1-18, 2010.

PAIVA, E.P.; TORRES, S.B.; BENEDITO, C.P. e ARAÚJO, P.C. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 55, n. 4, p. 332-337, 2012.

PEREIRA, A.R., MACHADO, E.C. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais Campinas: **Instituto Agrônomo**, p.33, 1987. (Boletim Técnico, 114).

PESKE, S. T., PESKE, F. B. Absorção de água sob estresse. **Seed News - Revista internacional de sementes**, n. 3. 2011.

RAMEZANI, M.; SOKHT-ABANDANI, R. R. Effects of various different priming techniques on germination traits and seedling of corn (*Zea mays* S.C. 704). **International Journal of AgriScience**, v.3, n.2, p.149-156, 2013.

SILVA, T. A.; DA SILVA, P. B.; DA SILVA, E. A. A.; NAKAGAWA, J; CAVARINI, C. Seed Priming, Yield Components and Yield of Soybean. **Ciência Rural**, v. 46, p. 227-232, 2016.

SOKHT-ABANDANI, R. R.; RAMEZANI, M. The physiological effects on some traits of osmopriming germination of maize (*Zea mays* L.), rice (*Oryza sativa* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). **International Journal of Biology**, v.4, n.2, p.132-147, 2012.

VAZQUEZ, G.H.; SARGI, B.A.; PESSOA, A.C.O. Influência do tamanho e da forma da semente de milho sobre o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 16-24, 2012.

XAVIER, F. M.; BRUNES, A. P.; CAVALCANTE, J. A.; MENEGHELLO, G. E.; RADKE, A. K.; MARTINS, A. B. N.; DIAS, L. W.; MENEGUZZO, M. R. R.; Germinação de sementes de *Allium cepa* L. submetidas a condicionamento fisiológico e secagem. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 693-702, 2017.

CAPÍTULO IV

HIDROCONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE MILHO NA ATIVIDADE DE ENZIMAS AMIOLÍTICAS E CORRELAÇÃO COM A QUALIDADE FISIOLÓGICA

RESUMO

As alterações enzimáticas vêm sendo estudadas com o objetivo de identificar indicadores confiáveis relacionados com a qualidade fisiológica das sementes e esclarecer os processos que acarretam a deterioração. As enzimas amilolíticas fornecem energia e esqueleto carbônico para o desenvolvimento do embrião, através da quebra do amido, desempenhando, entre as enzimas ativas presentes na germinação, um papel fundamental na hidrólise do amido, sendo responsável por 90% da atividade enzimática em sementes de milho. Desta forma, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes períodos e técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintos níveis de qualidade, na atividade das enzimas amilolíticas e sua correlação com a qualidade fisiológica das sementes. Foram utilizadas sementes de quatro tipos de milho (comum, pipoca, doce e super doce), com alta e baixa qualidade, submetidas ao tratamento de hidrocondicionamento, em três métodos de insuflação de gases (ausência, ar e oxigênio concentrado) e cinco períodos de embebição em água (0, 30, 60, 90 e 120 minutos), formando, para cada tipo de milho, um fatorial 2x3x5, com quatro repetições, totalizando 30 tratamentos. Após o hidrocondicionamento, as sementes foram secadas naturalmente, por 168 horas, a 25 °C, até 13% de teor de água. Para a extração das enzimas alfa-amilase e amilases totais, quinze sementes de cada tratamento dos diferentes tipos de milho foram colocadas para germinar por um período de 70 horas. Decorrido esse período, foi realizada a extração das enzimas, sendo a quantificação da atividade enzimática expressa pela técnica de espectrofotometria. As avaliações de qualidade fisiológica incluíram: germinação (G); comprimento de plântula (CP) e de raiz (CR); massa seca de plântulas (MS) e condutividade elétrica (CE). Os resultados demonstraram que o tratamento de hidrocondicionamento associado à insuflação com ar ou oxigênio concentrado intensificou a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, especialmente, no período de 30 a 60 minutos de embebição, em todos os tipos de milho, com distintos níveis de qualidade. O hidrocondicionamento sem insuflação reduziu drasticamente a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, em todos os tipos de milho, com distintas qualidades. Para sementes de alta qualidade, a correlação entre a atividade enzimática e a qualidade fisiológica das sementes foi alta em todos os tipos de milho. Entretanto, em sementes de baixa qualidade fisiológica, a correlação entre a atividade enzimática e a qualidade fisiológica foi baixa para os milhos doce e superdoce.

Palavras-chave: alfa-amilase, amilases totais, embebição, germinação, vigor

ABSTRACT

Enzymatic changes have been studied, with the aim of identifying reliable indicators related to the physiological quality of seeds and clarifying the processes that lead to deterioration. Amylolytic enzymes provide energy and carbon skeleton for the development of the embryo, through the breakdown of starch, playing a fundamental role among the active enzymes present in germination in the hydrolysis of starch, being responsible for 90% of the enzymatic activity in corn seeds. Therefore, the objective was to evaluate the effect of different periods and hydropriming techniques on seeds of different types of corn, with different qualities, on the activity of amylolytic enzymes and their correlation with the physiological quality of the seeds. Seeds of four types of corn were used (common, popcorn, sweet and super sweet), with high and low quality, subjected to hydroconditioning treatment, in three gas insufflation methods (absence, air, concentrated oxygen) and five periods of soaking in water (0, 30, 60, 90 and 120 minutes) forming, for each type of corn, a 2x3x5 factorial, with four replications, totaling 30 treatments. After hydropriming, the seeds were dried naturally, for 168 hours, at 25°C, until 13% water content. For the extraction of alpha-amylase enzymes and total amylases, fifteen seeds from each treatment of different types of corn were allowed to germinate for a period of 70 hours. After this period, the enzymes were extracted, and the enzymatic activity was quantified using the spectrophotometry technique. Physiological quality assessments included: germination (G); seedling length (CP) and root length (CR); seedling dry mass (DM) and electrical conductivity (EC). The results demonstrated that the hydroconditioning treatment associated with insufflation with air or concentrated oxygen intensified the enzymatic activity of alpha-amylase and total amylases, especially in the period of 30 to 60 minutes of soaking, in all types of corn, with different qualities. Hydroconditioning without inflation drastically reduced the enzymatic activity of alpha-amylase and total amylases, in all types of corn, with different qualities. For high-quality seeds, the correlation between enzyme activity and physiological seed quality was high across all maize types. However, in seeds of low physiological quality, the correlation between enzymatic activity and physiological quality was low for sweet and supersweet corn.

Keywords: alpha-amylase, total amylases, imbibition, germination, vigor.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho tem grande importância no cenário agrícola, por ser fonte de matéria-prima de muitos produtos utilizados para a alimentação humana e animal. Além do milho com a finalidade de produção de grãos (*commodity*) e de forragem, existem outros nichos de mercado que abrangem diferentes tipos como os chamados milhos especiais (pipoca, doce e super doce), sendo esta denominação dada a tipos de milho cultivados com finalidades especiais para a alimentação humana.

As sementes de milho dos tipos denominados especiais (pipoca, doce e super doce, entre outros), quando comparadas às sementes do milho comum, apresentam menor germinação e vigor, provavelmente, em função da menor quantidade de amido, da cristalização de açúcares no endosperma e da separação entre a aleurona e o pericarpo, durante a desidratação das sementes, criando espaços internos que acarretam aspecto enrugado e, em consequência, o pericarpo torna-se mais frágil, mais suscetível a danos e à entrada de patógenos (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007). Um dos principais problemas enfrentados na produção de milho pipoca, assim como em outras culturas, refere-se a não obtenção de estande adequado (CATÃO; CAIXETA, 2017).

Vários trabalhos de pesquisas têm mostrado os benefícios do condicionamento fisiológico, como germinação mais rápida e sincronizada, melhor germinação em condições adversas do meio, aumento do sistema radicular, dentre outros. Assim, a maioria dos estudos têm se concentrado em avaliar os efeitos do condicionamento na qualidade fisiológica das sementes, principalmente germinação e vigor.

Além das mudanças fisiológicas, as alterações bioquímicas/moleculares que ocorrem nas sementes de milho, decorrentes do condicionamento, ainda não estão totalmente elucidadas. De acordo com Farooq et al. (2019), quando as condições do tratamento são favoráveis, os processos de mobilização de reservas, ativação e síntese de algumas enzimas, síntese de DNA e RNA são iniciados durante o condicionamento fisiológico, refletindo em benefícios na germinação e no vigor de plântulas. Considerando que as enzimas participam em praticamente todas as reações do metabolismo e não são modificadas durante o processo (TAIZ; ZEIGER, 2004), podem servir como indicadoras de qualidade de sementes.

No milho, a alfa-amilase é considerada uma das enzimas mais importantes e ativas no processo metabólico, devido às sementes apresentarem 70% da própria massa em amido, sendo a sua principal substância de reserva (WU et al., 2009). Durante o processo de germinação das sementes, as reservas insolúveis com alto peso molecular são degradadas e convertidas em

formas solúveis, transportadas rapidamente para o tecido em crescimento e uso em reações de síntese ou produção de energia (OLIVEIRA et al., 2013).

A identificação dos picos da atividade da alfa-amilase durante a germinação é fundamental, visto que a atividade da amilase pode ser detectada durante o início da germinação das sementes e seu papel principal é fornecer substrato para as plântulas até que elas se tornem ativas fotossinteticamente (SANTOS et al., 2010).

Com o condicionamento fisiológico, a enzima alfa-amilase começa a atuar, iniciando a degradação e mobilização das reservas, como o amido, promovendo a produção de açúcares, que são transportados para o eixo embrionário. Desta forma, a atividade da alfa-amilase é indispensável como principal fornecedor de energia para o crescimento do embrião, o que culmina com a emissão da raiz primária (BEWLEY et al., 2013).

O hidrocondicionamento, portanto, ao fornecer água para as sementes, faz com que ocorra ativação de eventos metabólicos e bioquímicos, necessários para a germinação. Sendo assim, a avaliação da atividade da enzima alfa-amilase pode contribuir para a identificação de alterações ocorridas durante o tratamento (MARCOS FILHO, 2015).

Dessa forma, é de fundamental importância buscar elucidar as mudanças enzimáticas induzidas pelo condicionamento fisiológico das sementes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes períodos e técnicas de hidrocondicionamento em sementes de tipos variados de milho, com distintos níveis de qualidade, na atividade das enzimas alfa-amilase e amilases totais e sua correlação com a qualidade fisiológica das sementes.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Cultivares e Sementes

O experimento foi conduzido com sementes de quatro tipos de milho: comum BR 106 (safra 18/19), pipoca BRS Angela (safra 19/19), Doce Cristal BR 402 (safras 06/07 e 19/19) e Super Doce BR 400 (safras 06/07 e 19/19), fornecidas pela empresa pública Embrapa, sem tratamento químico.

As sementes de milho comum BR 106 e pipoca BRS Angela, previamente armazenadas a 5 °C, com teor de água variando entre 10% a 13%, foram separadas em dois lotes, sendo um de alta e outro de baixa qualidade fisiológica. Para obtenção dos lotes de baixa qualidade, as sementes de milho dos tipos comum e pipoca, que inicialmente apresentavam percentual de germinação acima do padrão mínimo exigido para a comercialização, respectivamente, de 97% e 85%, foram submetidas a um estresse (envelhecimento acelerado). No envelhecimento, foram utilizadas caixas do tipo gerbox, com 40 mL de água destilada no fundo, sendo as sementes de milho comum e pipoca dispostas uniformemente sobre uma tela acima da água e incubadas a 42 °C. Testes preliminares de envelhecimento acelerado indicaram a necessidade de as sementes permanecerem por 96 h a 42 °C para atingirem percentual de germinação de aproximadamente 75% para o milho comum e de 55% para o milho pipoca. Em seguida, as sementes foram colocadas para secar em condição ambiente de laboratório (temperatura média de 25 °C, umidade relativa do ar média de 60%), por sete dias, até atingirem massa constante.

Testaram-se dois lotes de sementes de milho doce e dois de superdoce (safras 06/07 e 19/19), de baixa e de alta qualidade fisiológica, previamente armazenados a 5 °C, com teor de água variando entre 10% a 13%.

Tabela 1. Germinação (%) prévia ao hidrocondicionamento das sementes de diferentes tipos de milho com alta e baixa qualidade fisiológica.

TIPO	QUALIDADE	
	ALTA	BAIXA
Comum	97	75
Pipoca	85	55
Doce	77	40
Super Doce	96	50

4.2.2 Hidrocondicionamento

Inicialmente, foi padronizada a quantidade de sementes a serem hidrocondicionadas, sendo a massa das sementes de cada tratamento determinada em função do número de sementes necessárias para a realização dos testes de qualidade fisiológica e atividade enzimática.

As sementes dos diferentes tipos de milho, com grau de umidade inicial variando entre 10% a 13% b.u, foram submersas em 400 mL de água em recipientes de vidro com capacidade de 800 mL, sendo as tampas adaptadas com uma mangueira para insuflação e outra para a exaustão dos gases (Figura 1A). O hidrocondicionamento foi testado empregando três técnicas de insuflação da água: ausência, ar atmosférico e oxigênio concentrado, durante 0, 30, 60, 90 e 120 minutos (MAXIMIANO et al., 2018).

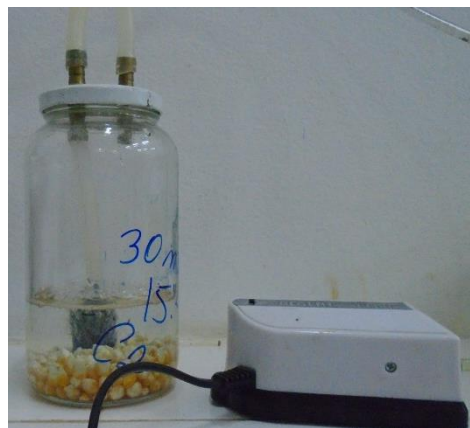


Figura 1A



Figura 1B

Figura 1. Processo de hidrocondicionamento das sementes de milho com insuflação de ar com compressor (A) e concentrador de oxigênio (B). **Fonte:** Christian Viterbo Maximiano.

A injeção de ar foi feita mediante um compressor de ar (Figura 1A) e de oxigênio por meio do aparelho EverFlo da *Philips Respironics* (Figura 1B) – concentrador de oxigênio estacionário a partir do ar ambiente. Este concentrador possui uma placa OPI (Indicador de Porcentagem de Oxigênio) que mede a concentração do índice de oxigênio e um indicador visual no display do concentrador. O fluxo de gás insuflado em cada recipiente foi de 3 L min^{-1} .

Após o hidrocondicionamento, as sementes dos diferentes tipos de milho foram secadas até o atingimento de massa constante, durante uma semana, em condições ambientais (aproximadamente $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e 60% de umidade relativa do ar) e em seguida foram armazenadas a $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 dias até a realização dos testes de qualidade fisiológica e atividade enzimática.

4.2.3 Análises isoenzimáticas

4.2.3.1 Extração enzimática

Para a extração das enzimas α -amilase e amilases totais, quinze sementes de cada tratamento dos diferentes tipos de milho foram semeadas em papel Germitest umedecido com água destilada na proporção de $2,5 \text{ mL g}^{-1}$ de papel. As sementes semeadas foram acondicionadas em germinador a $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, por um período de 70 horas. Decorrido esse período, a plúmula e as raízes das sementes foram descartadas e o restante foi triturado em mortar sobre gelo, na presença de N-líquido (ROVERI JOSÉ, 2003). Para a extração das enzimas, 2 g do pó das sementes germinadas foram ressuspensos em 10 mL do tampão de extração (fosfato de sódio 0,02 M, pH 7,0 + 0,006 M de NaCl) e estas amostras permaneceram em refrigerador ($\pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$), incubadas em gelo por um período de aproximadamente 12 horas. Após esse período, as amostras foram centrifugadas a 11000 x/g (10000 rpm) por 15 minutos a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. O sobrenadante foi utilizado para determinação da atividade enzimática (BRADFORD, 1976).

4.2.3.2 Atividade enzimática (método dextrinizante)

A atividade amilolítica foi determinada pelo método de atividade dextrinizante, utilizando o amido como substrato. O amido forma um complexo azul com o iodo e, com a hidrólise progressiva do amido, ele muda para a coloração vermelho - castanho (GUPTA et. al, 2003). Esse método baseia-se na variação da intensidade da cor do complexo iodo-amido (FUWA, 1954).

Para a determinação da atividade enzimática, o ensaio dos tratamentos dos tipos variados de milho foi realizado em triplicata, consistindo da mistura de 100 µL de solução de enzima pura ou sobrenadante e 100µL de uma solução de amido 0,5% (p/v). O controle 1 foi constituído de 100 µL de água destilada e 100 µL de solução de amido 0,5% (p/v). O controle 2 foi constituído de 100 µL de água destilada e 100 µL de solução de enzima pura ou sobrenadante. Os ensaios em triplicata e o controle 2 foram incubados a 30°C por 10 min em banho-maria. Após este período, a reação foi interrompida com a adição de 200 µL de ácido acético 1 M e corada com 200 µL de uma solução de iodo/iodeto (reagente Fuwa). A solução de iodo/iodeto (Fuwa) foi preparada misturando, na proporção de 1:1:3, iodo 1% (p/v), iodeto 10% (p/v) e água destilada, respectivamente. O volume da reação foi completado com 1 mL de água destilada, homogeneizado e a absorbância foi determinada a 660 nm. A quantidade de amido consumido foi calculada de acordo com uma curva padrão preparada com concentrações crescentes de amido solúvel de 0,5 mg/mL. A atividade amilolítica foi monitorada pela degradação do amido (MORAES et al., 1995). Uma unidade (1U) de atividade de amilase foi definida como a quantidade de enzima necessária para hidrolisar 0,1 mg de amido por minuto a 30 °C.

4.2.3.3 Atividade enzimática (método sacarificante)

Para a determinação da atividade enzimática em solução, o ensaio dos tratamentos dos tipos variados de milho foi realizado em triplicata, consistindo da mistura de 100 µL de solução de enzima pura ou sobrenadante e 100 µL de solução de amido 0,5% (p/v). O controle consistiu de 100 µL da amostra enzimática fervida em substituição à amostra enzimática não fervida. Os ensaios e o controle foram deixados reagindo em banho-maria, sendo incubados a 40 °C por 10 min. Posteriormente, foram adicionados 300 µL da solução de ácido dinítrosalicílico – 3,5 e os tubos de ensaios contendo as amostras foram fervidos durante 10 minutos. Após resfriados, em cada tubo de ensaio foi adicionado 1 mL de água deionizada. A determinação da atividade enzimática foi realizada em espectrofotômetro, observando-se a absorbância em comprimento de onda de 550 nm a 25 °C, e expressa em UA. min⁻¹. g⁻¹ de proteína (WORTHINGTON, 1947). A atividade das amilases totais e amilases foi expressa em mMol de açúcares redutores produzidos pela degradação de amido, por g de proteína, por minuto, e a determinação da quantidade de proteínas totais foi realizada de acordo com o método proposto por Lowry et al. (1951), a partir da curva padrão de BSA (albumina bovina sérica) com leitura em espectrofotômetro a 550nm.

4.2.4 Testes de qualidade fisiológica

- **Germinação:** quatro repetições de 50 sementes foram colocadas para germinar em substrato papel germitest, na forma de rolo umedecido com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso da massa do papel seco. As sementes foram germinadas a 25 °C, por sete dias (BRASIL, 2009), realizando-se avaliação única.

- **Comprimento de plântula e raiz:** A medição foi realizada nas plântulas normais provenientes do teste de germinação, após sete dias da instalação. O comprimento de raiz (CR) foi realizado na maior raiz primária da plântula e o comprimento de plântula (CP) foi medido da extremidade do coleótilo até a extremidade da maior raiz (VIEIRA; CARVALHO, 1994).

- **Matéria seca de plântulas:** foi avaliada a partir das plântulas normais obtidas no teste de germinação, excluindo destas o endosperma restante. As repetições de cada tratamento foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas à estufa com circulação de ar forçado a 80 °C, por 24 horas (NAKAGAWA, 1994). A massa foi avaliada em balança com precisão de 0,001g.

- **Condutividade elétrica:** Duas repetições de 50 sementes por tratamento foram submetidas ao teste de condutividade elétrica, sendo previamente pesadas em balança de precisão (0,001 g) e colocadas para embeber em copos plásticos (200 mL) contendo 75 mL de água deionizada e mantidas a 25 °C por 24 horas (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Decorrido o período de embebição, foi realizada a leitura da condutividade elétrica, utilizando um condutivímetro DIGIMED, modelo CD 21, com eletrodo de constante 1.0, sendo os resultados finais expressos em $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1} / \text{g}$.

4.2.5 Delineamento estatístico

Para avaliação de possíveis alterações na atividade enzimática nas sementes dos diferentes tipos de milho submetidas ao hidrocondicionamento, foi realizada análise de variância a 5% de probabilidade e, posteriormente, análise de regressão.

Os dados quantitativos foram analisados a partir de modelos de regressão escolhidos com base no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico descrito. Para a

obtenção das equações de regressão e plotagem dos gráficos, foi utilizado o *software* SigmaPlot v.10 (Systat Software Inc, Germany).

Para a estatística multivariada, foram utilizadas as análises de agrupamento e de componentes principais. As médias dos resultados das variáveis avaliadas foram calculadas e transformadas para média zero e variância um. Essa transformação foi realizada para evitar superestimar ou subestimar o peso de uma variável estudada no resultado final devido às diferenças de escala de medida. Para os cálculos da análise multivariada, foram considerados os seguintes resultados das variáveis enzimáticas e de vigor: alfa-amilase, amilases totais, germinação, comprimento de plântulas, comprimento de raiz, massa seca de plântulas e condutividade elétrica.

A análise de agrupamento foi conduzida pelo método hierárquico, considerando a distância Euclidiana entre os tratamentos de sementes de tipos variados de milho hidrocondicionadas com diferentes técnicas de insuflação, em distintos períodos de embebição, para o conjunto de 6 variáveis ($d = \sqrt{\sum (p_i - q_i)^2}$), em que p_i e q_i são pontos de cada parâmetro analisado em um espaço euclidiano n-dimensional pelo algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos dos tratamentos semelhantes. A partir dos resultados, foi criado um dendrograma e, a partir das ligações médias entre os resultados das avaliações das atividades amilolíticas e de vigor das sementes, foi determinado um valor de distância que melhor explicasse o conjunto de dados.

A análise dos componentes principais foi calculada com os dados transformados em média zero e variância um para o resultado das sementes de cada tratamento e uma matriz $n \times p$ foi obtida, para as quais “n” é o número de tratamentos ($n=13$) e “p” é o número de avaliações: alfa-amilase, amilases totais, germinação, comprimento de plântulas, comprimento de raiz, massa seca de plântulas e condutividade elétrica ($p=6$). A partir da matriz de covariância, foram calculados os autovalores (valores representativos da variabilidade retida por componente) e autovetores (valores representativos da localização dos pontos no gráfico), gerando o gráfico bidimensional (“biplot”). O número ideal de componentes que explica os resultados foi considerado quando a soma da representatividade dos autovalores superou 70% da variabilidade dos dados (KAISER, 1960). As análises multivariadas foram realizadas com o *software* STATISTIC versão 7.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Análise univariada

A atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais atingiu valores máximos após as sementes terem sido submetidas a períodos entre 30 a 60 minutos de hidrocondicionamento, sendo observado que, após este período, ocorreu queda acentuada da atividade dessas enzimas em todos os tipos de milho avaliados, com distintos níveis de qualidade (Figuras 2 e 3). Pelo método da análise de regressão, foi possível observar que a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, avaliada nas sementes dos diferentes tipos de milho, com distintos níveis de qualidade, apresentou r^2 superior a 95%, com significância de 5%, indicando alta correlação do tratamento de hidrocondicionamento com a atividade das enzimas amilolíticas nas sementes de milho (Anexo B1 e B2).

Há relatos de que o processo de embebição ocasiona a ativação da atividade das enzimas amilolíticas em sementes de milho, sendo a enzima alfa-amilase uma das principais enzimas amilolíticas (OLIVEIRA et al., 2013, VIEIRA et al., 2002). No entanto, o processo prolongando de embebição das sementes milho ocasiona redução drástica na atividade amilolítica das sementes (FRIES, 2007), corroborando com os resultados obtidos neste experimento em que períodos de embebição superiores a 60 minutos ocasionaram redução expressiva na atividade das enzimas amilolíticas (Figuras 2 e 3).

As técnicas de aeração artificial por insuflação de oxigênio concentrado ou ar atmosférico, em lotes de alta e baixa qualidade fisiológica, associadas ao hidrocondicionamento, proporcionaram maior padrão de resposta da atividade da alfa-amilase e de amilases totais em todos os tipos de milho avaliados, comparativamente ao tratamento de hidrocondicionamento sem insuflação (Figuras 2 e 3). Nakagawa e Carvalho (2012) mencionam que o processo de aeração da solução condicionante é essencial para o processo de germinação, visto que o oxigênio participa da degradação das substâncias de reserva da semente para o fornecimento de nutrientes e energia para o desenvolvimento do eixo embrionário.

No processo de embebição e germinação das sementes, a água estimula a produção de certas enzimas amilolíticas que participam da digestão e assimilação dos nutrientes presentes nos tecidos de reserva, os quais serão utilizados para a produção de novas estruturas, auxiliando no crescimento e desenvolvimento do embrião. No entanto, a ativação e o funcionamento enzimático só ocorrem na presença de oxigênio na solução, para que os materiais de reserva, presentes no endosperma da semente, possam ser convertidos em moléculas energéticas, que serão utilizadas em todos os processos metabólicos (GUIMARAES et al., 2008).

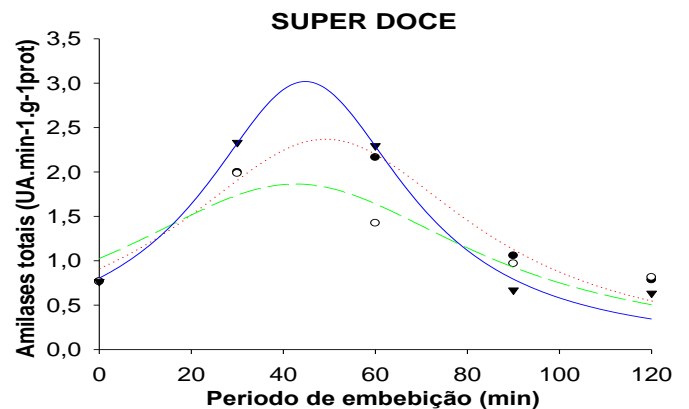
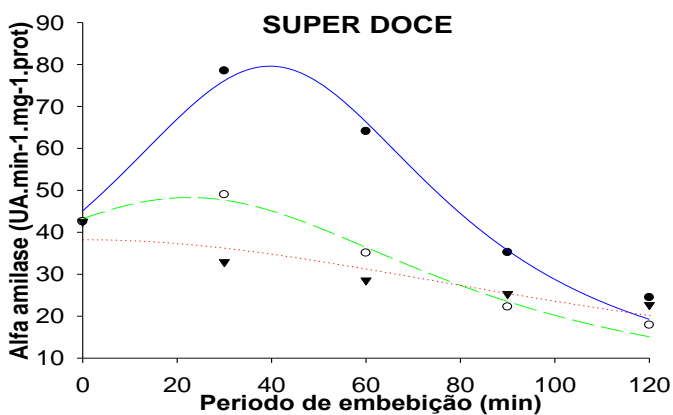
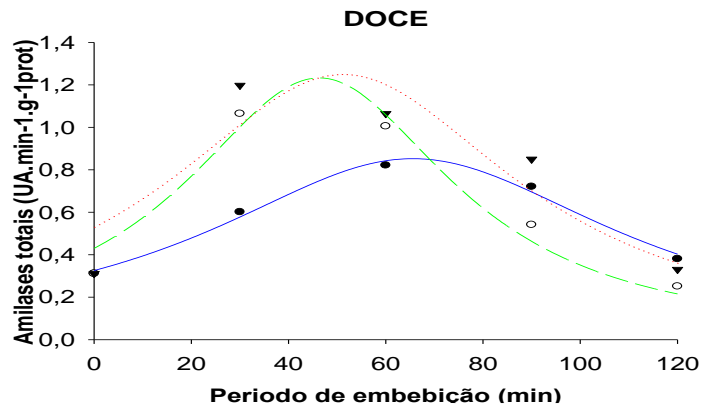
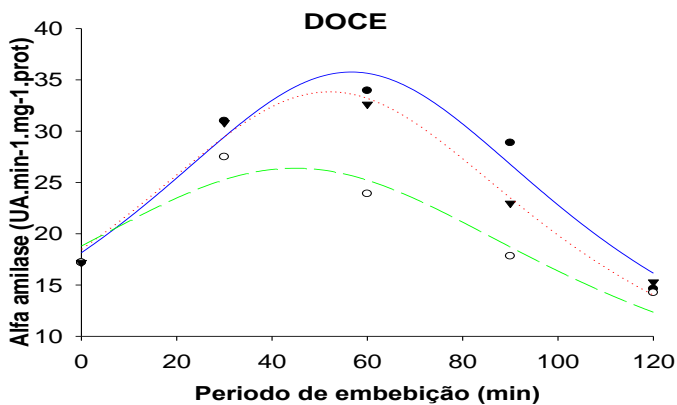
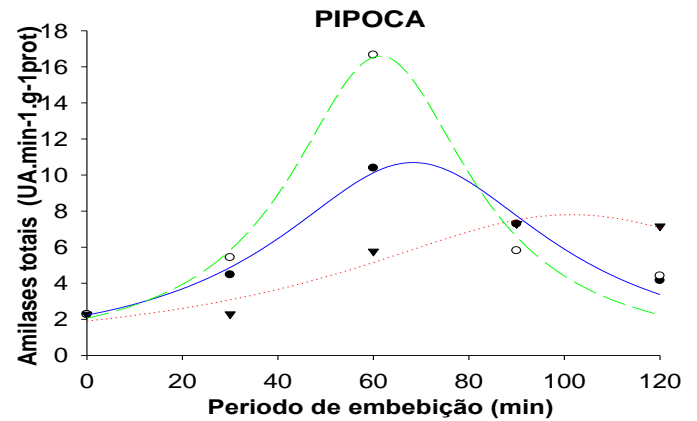
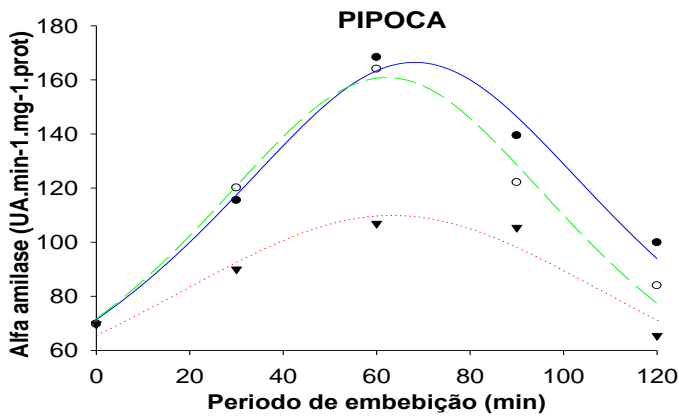
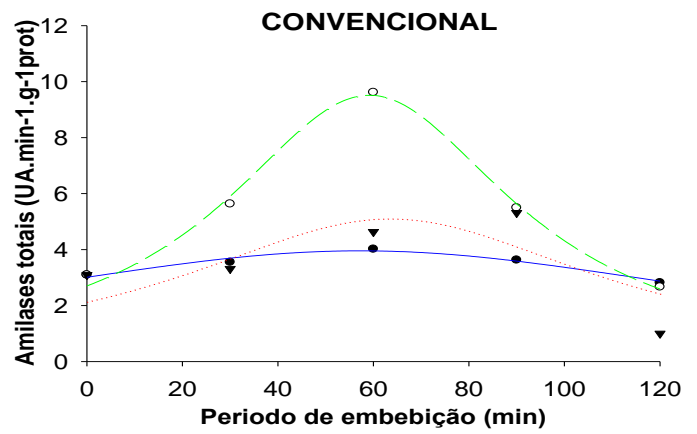
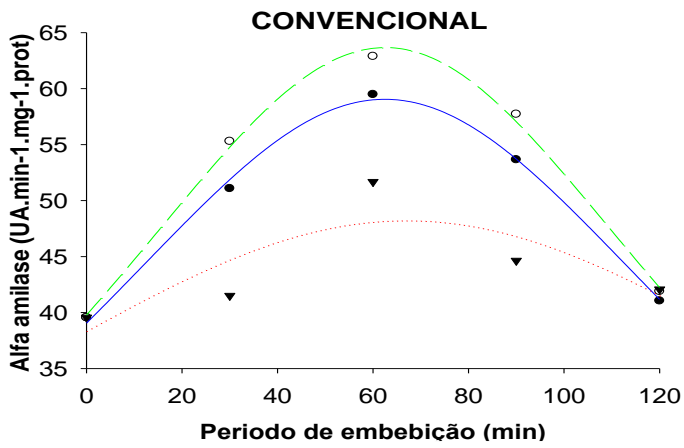


Figura 2. Atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais em sementes de alta qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (pontilhado - vermelho), insuflação com ar (tracejado - verde) e insuflação com oxigênio (contínua - azul).

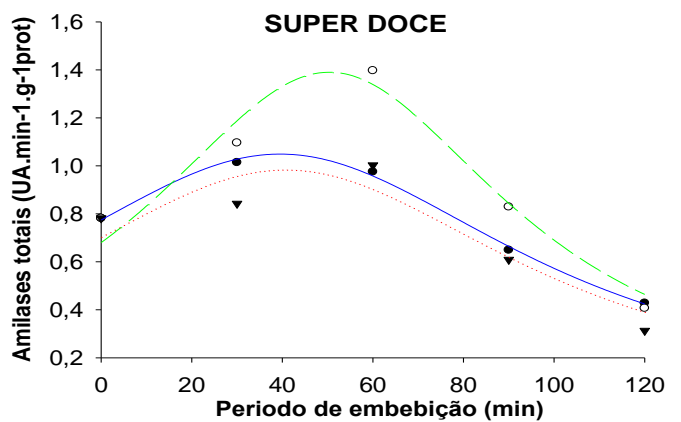
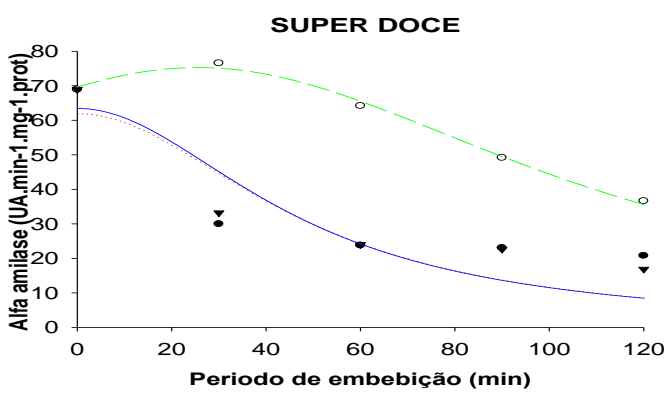
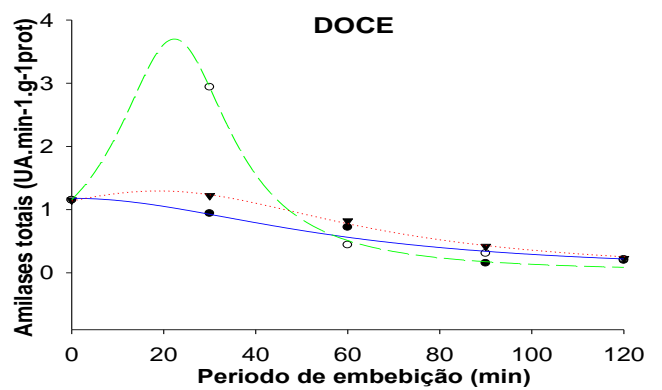
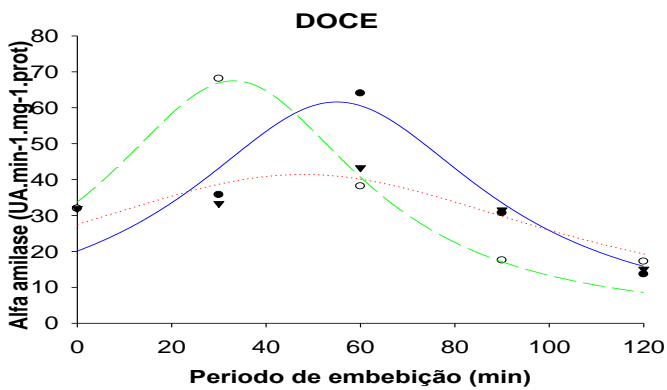
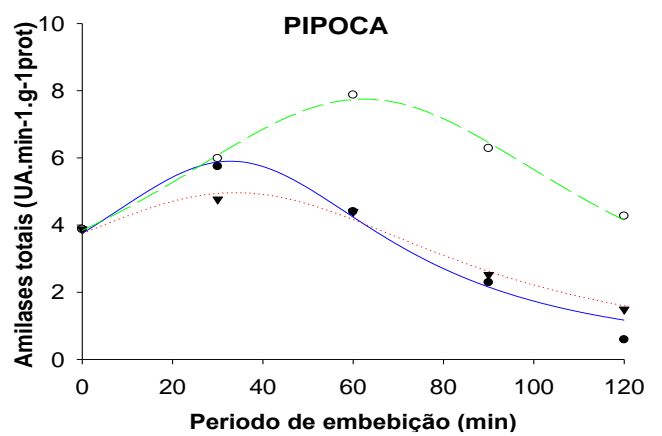
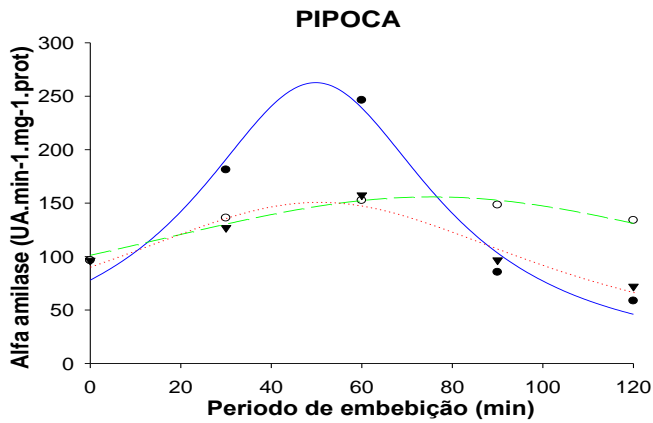
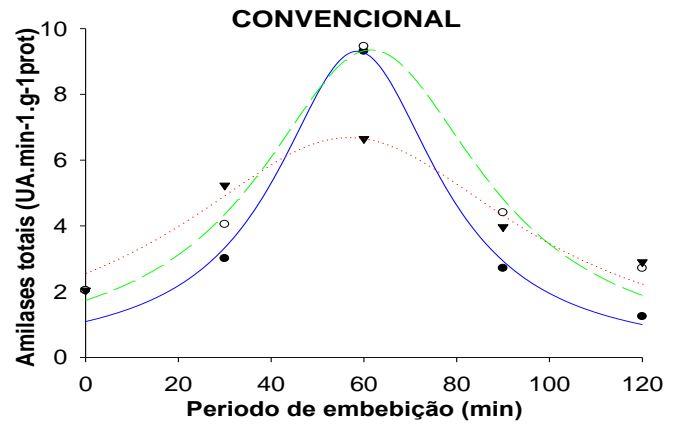
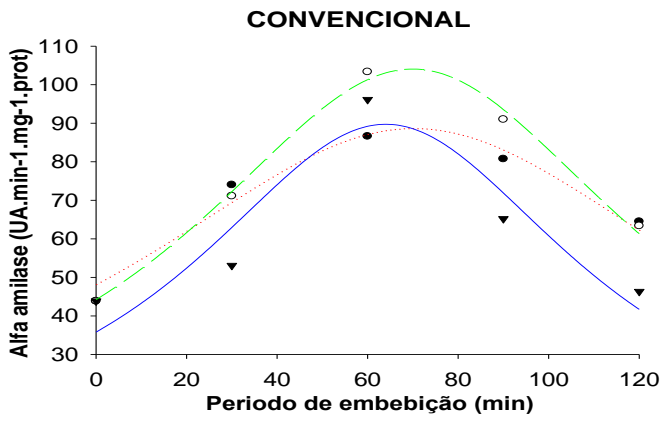


Figura 3. Atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais em sementes de baixa qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (pontilhado - vermelho), insuflação com ar (tracejado - verde) e insuflação com oxigênio (contínua - azul).

Os períodos prolongados de embebição associados à baixa disponibilidade de oxigênio acarretam menores taxas de eficiência de produção de energia, culminando em paralização e retardo do processo de germinação, ou, até mesmo, na morte do embrião, sendo que estes eventos refletem negativamente no vigor das sementes (BORGES et al., 2009).

O tratamento de hidrocondicionamento sem insuflação acarretou queda acentuada na atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, nas sementes de todos os tipos de milho, com distintos níveis de qualidade (Figuras 2 e 3). Este evento pode ter sido ocasionado pela inibição da transcrição dos genes de alfa-amilase e inibição da atividade das amilases preexistentes nas sementes de todos os tipos de milho avaliados, na ausência de oxigênio. Perata et al. (1993) observaram que o etanol liberado durante a fermentação alcoólica, em condições de deficiência de oxigênio no meio condicionante, é um grande inibidor da atividade de amilases. Verificaram, também, que sementes de outros cereais, como cevada e trigo, não acumulam mRNA para alfa-amilase quando em anaerobiose, devido à inibição da transcrição dos genes de alfa-amilase.

4.3.2 Análise multivariada

A análise de componentes principais foi executada neste experimento para se obter melhor compreensão da relação entre a atividade das enzimas alfa-amilase e amilases totais e a qualidade fisiológica das sementes e sua correlação com os tratamentos de hidrocondicionamento avaliados. Os dois componentes principais (CP1 e CP2), juntos possibilitaram uma ordenação bidimensional dos acessos e das variáveis de vigor e atividade enzimática, que permitiram a construção de gráficos biplots. Conforme critérios de seleção dos componentes, esta pesquisa adotou a retenção dos componentes que explicaram mais de 70% da variância (KAISER, 1960).

No presente trabalho, a distância euclidiana de 6 foi adotada por permitir uma divisão dos acessos em dois e três grupos (Figura 4), dependendo do tipo de milho avaliado. Essa divisão mostrou um resultado importante quanto à ordenação dos acessos segundo a influência do tratamento de hidrocondicionamento sobre as variáveis de vigor e da atividade enzimática da alfa-amilase e das amilases totais, nos diferentes tipos de milho com alta e baixa qualidade fisiológica. O grupo I (círculo verde) foi representado pelos tratamentos de hidrocondicionamento benéficos ao processo germinativo, vigor e atividade enzimática, o grupo II (círculo amarelo) foi representado pelos tratamentos de hidrocondicionamento com desempenho intermediário quanto ao processo germinativo, vigor e atividade enzimática e o

grupo III (círculo vermelho), pelos tratamentos de hidrocondicionamento prejudiciais ao processo germinativo, vigor de plântulas e atividade enzimática (Figuras 5 e 6).

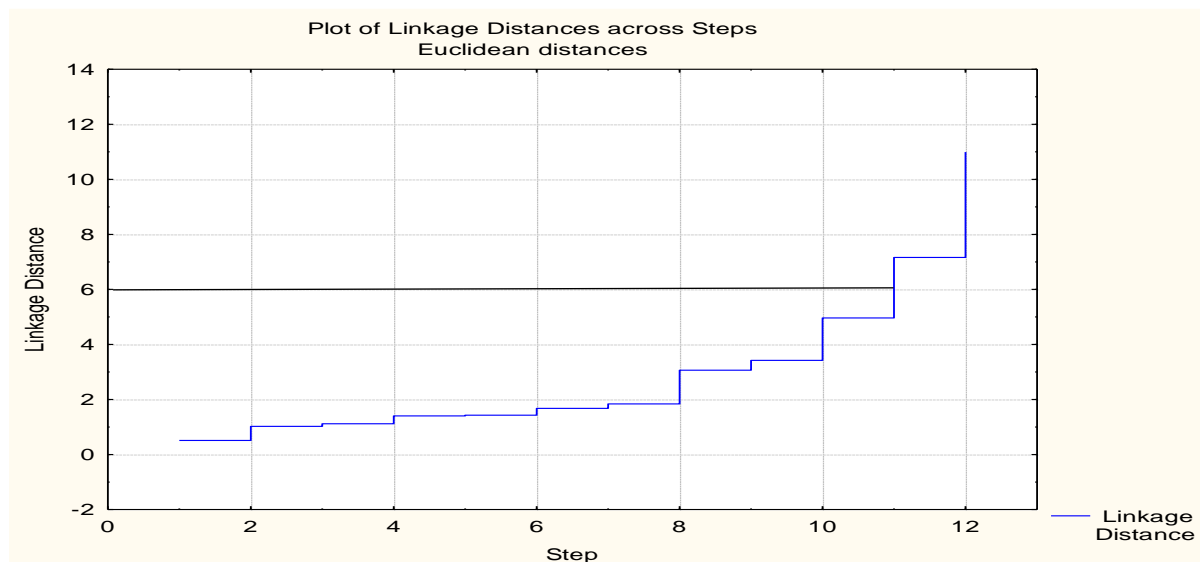


Figura 4. Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas, que permitiu a separação dos grupos de diferentes tipos de milho, com distintos níveis de qualidades, tratados com diferentes técnicas e períodos de hidrocondicionamento.

A representação gráfica (Figuras 5 e 6) e a correlação das variáveis nos componentes principais (Tabelas 2 e 3) permitiram caracterizar as variáveis de vigor e atividade enzimática que mais discriminaram na formação dos grupos dos diferentes tipos de milho, com alta e baixa qualidade fisiológica, submetidos a diferentes técnicas de hidrocondicionamento. As variáveis de vigor representadas pelo comprimento de plântulas (CP), comprimento de raiz (CR), matéria seca de plântulas (MS) e germinação (G) foram responsáveis pela discriminação do grupo I, localizado à direita e à esquerda do CP1 (correlações positivas e negativas), na maioria dos tipos de milho avaliados, com distintos níveis de qualidade (Figuras 5 e 6) (Tabelas 2 e 3).

A condutividade elétrica (CE) foi responsável pela discriminação do grupo III, localizado à direita e à esquerda de CP2 (correlações positivas e negativas), na maioria dos tipos de milho avaliados, com distintos níveis de qualidade (Figuras 5 e 6) (Tabelas 2 e 3). O vetor da condutividade elétrica ficou localizado do lado oposto aos vetores referentes à germinação e vigor de plântulas, devido ao fato de o aumento da condutividade estar relacionado aos danos nas membranas celulares das sementes, acarretando redução gradativa do vigor das sementes. Assim, o aumento da condutividade elétrica indica redução gradativa do vigor das sementes (CAVALCANTE et al., 2017).

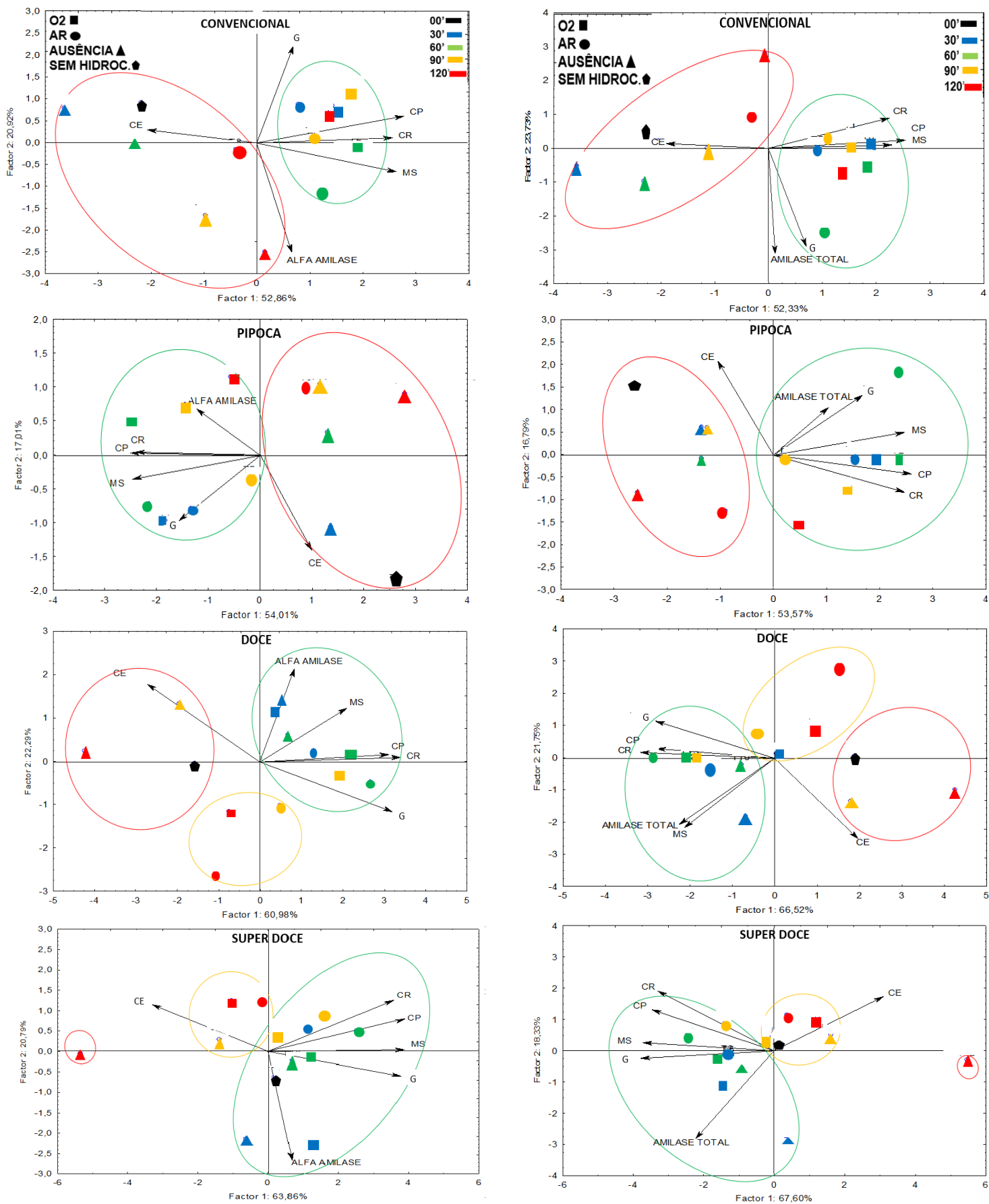


Figura 5. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros de qualidade fisiológica de sementes de alta qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho e atividade das enzimas amilolíticas, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação. Em que: germinação (G), comprimento de plântulas (CP), comprimento de raiz (CR), matéria seca de plântulas (MS) e condutividade elétrica (CE).

Tabela 2. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de atividade enzimática, germinação e vigor de plântulas proveniente de sementes de alta qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação.

TIPOS	ENZIMAS	PARÂMETROS	PC1	PC2	ENZIMAS	PARÂMETROS	PC1	PC2
COMUM	ALFA AMILASE	G	0,23	-0,80	AMILASES TOTAIS	G	0,26	-0,79
		CP	0,96	0,22		CP	0,97	0,039
		CR	0,88	0,044		CR	0,89	0,24
		MS	0,93	-0,20		MS	0,92	0,02
		CE	-0,72	0,075		CE	-0,71	0,022
		A.AMILASE	0,22	-0,80		A.TOTAIS	0,051	0,85
PIPOCA	ALFA AMILASE	G	-0,59	-0,53	AMILASES TOTAIS	G	0,61	0,48
		CP	-0,94	0,004		CP	0,94	-0,13
		CR	-0,90	0,01		CR	0,90	-0,25
		MS	-0,93	-0,17		MS	0,93	0,21
		CE	0,38	-0,74		CE	-0,38	0,73
		A.AMILASE	-0,43	0,40		A.TOTAIS	0,38	0,36
DOCE	ALFA AMILASE	G	0,93	-0,27	AMILASES TOTAIS	G	-0,90	0,35
		CP	0,96	0,079		CP	-0,94	0,049
		CR	0,99	0,066		CR	-0,98	0,038
		MS	0,63	0,49		MS	-0,69	-0,61
		CE	-0,65	0,65		CE	0,61	-0,69
		A.AMILASE	0,29	0,78		A.TOTAIS	-0,68	-0,57
SUPERDOCE	ALFA AMILASE	G	0,94	-0,18	AMILASES TOTAIS	G	-0,94	- 0,043
		CP	0,92	0,26		CP	-0,90	0,36
		CR	0,83	0,43		CR	-0,80	0,51
		MS	0,93	0,008		MS	-0,93	0,041
		CE	-0,73	0,39		CE	0,75	0,45
		A.AMILASE	0,17	-0,90		A.TOTAIS	-0,55	-0,71

Legenda: G= germinação (%); CP = comprimento de plântulas (cm); CR= comprimento de raiz (cm); MS= massa seca de plântulas (g); CE= condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$); A.AMILASE= alfa-amilase ($\text{mmol}/\text{glicose}.\text{mg}^{-1}/\text{proteína}.\text{min}^{-1}$) e A.TOTAIS= amilases totais ($\text{mmol}/\text{glicose}.\text{g}^{-1}/\text{proteína}.\text{min}^{-1}$). **Negrito** = variáveis com maior correlação que discriminam o primeiro componente principal (CP1) ou segundo componente principal (CP2).
Fonte: Próprio autor.

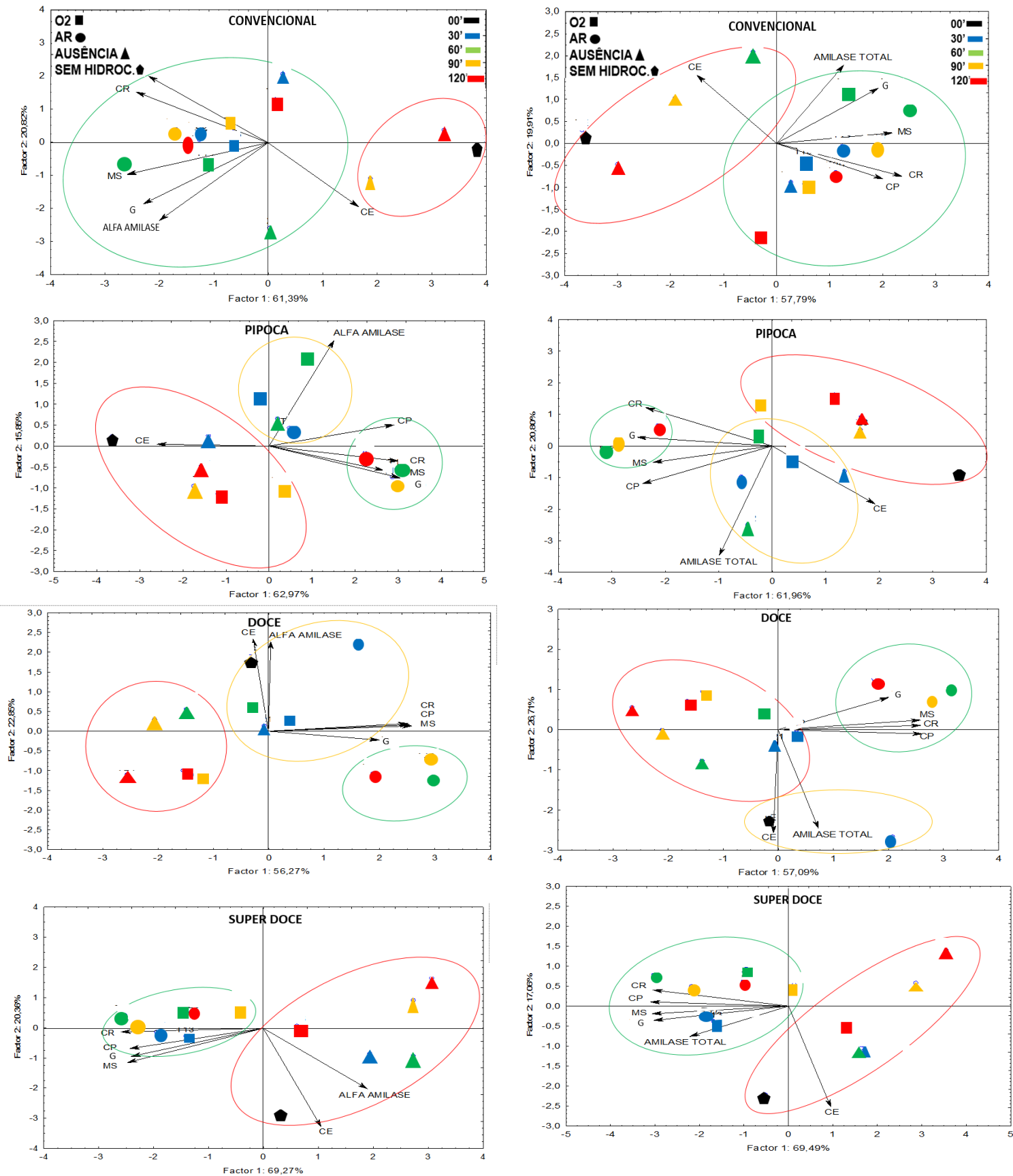


Figura 6. Análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros de qualidade fisiológica de sementes de baixa qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho e atividade das enzimas amilolíticas, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação. Em que: germinação (G), comprimento de plântulas (CP), comprimento de raiz (CR), matéria seca de plântulas (MS) e condutividade elétrica (CE).

Tabela 3. Correlação entre cada componente principal dos parâmetros de atividade enzimática, germinação e vigor de plântulas provenientes de sementes de baixa qualidade fisiológica de diferentes tipos de milho, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação.

TIPOS	ENZIMAS	PARÂMETROS	PC1	PC2	ENZIMA	PARÂMETROS	PC1	PC2
COMUM	ALFA AMILASE	G	-0,80	-0,46	AMILASES TOTAIS	G	0,78	0,48
		CP	-0,77	0,50		CP	0,83	-0,28
		CR	-0,88	0,39		CR	0,91	-0,27
		MS	-0,92	-0,23		MS	0,87	0,11
		CE	0,57	-0,49		CE	-0,58	0,58
		A.AMILASE	-0,71	-0,60		A.TOTAIS	0,51	0,68
PIPOCA	ALFA AMILASE	G	0,91	-0,27	AMILASES TOTAIS	G	-0,93	0,09
		CP	0,86	0,17		CP	-0,87	-0,31
		CR	0,91	-0,14		CR	-0,88	0,31
		MS	0,79	-0,20		MS	-0,82	-0,14
		CE	-0,75	0,014		CE	0,72	-0,47
		A.AMILASE	0,44	0,89		A.TOTAIS	-0,35	-0,90
DOCE	ALFA AMILASE	G	0,75	-0,08	AMILASES TOTAIS	G	0,73	0,26
		CP	0,96	0,05		CP	0,97	-0,02
		CR	0,97	0,04		CR	0,97	0,011
		MS	0,97	0,03		MS	0,97	0,02
		CE	-	0,83		CE	-0,03	-0,90
		A.AMILASE	0,016	0,82		A.TOTAIS	0,27	-0,85
SUPERDOCE	ALFA AMILASE	G	-0,92	-0,25	AMILASES TOTAIS	G	-0,93	-0,13
		CP	-0,92	-0,19		CP	-0,95	0,008
		CR	-0,97	-0,04		CR	-0,96	0,16
		MS	-0,93	-0,28		MS	-0,95	-0,09
		CE	0,39	-0,86		CE	0,27	-0,95
		A.AMILASE	0,70	-0,54		A.TOTAIS	-0,70	-0,28

Legenda: G= germinação (%); CP = comprimento de plântulas (cm); CR= comprimento de raiz (cm); MS= massa seca de plântulas (g); CE= condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$); A.AMILASE= alfa-amilase ($\text{mmol}/\text{glicose}.\text{mg}^{-1}/\text{proteína}.\text{min}^{-1}$) e A.TOTAIS= amilases totais ($\text{mmol}/\text{glicose}.\text{g}^{-1}/\text{proteína}.\text{min}^{-1}$). **Negrito** = variáveis com maior correlação que discriminam o primeiro componente principal (CP1) ou segundo componente principal (CP2).
Fonte: Próprio autor.

As variáveis enzimáticas alfa-amilase e amilases totais foram responsáveis por discriminar o grupo I e o segundo componente principal (CP2), na maioria dos tipos de milho avaliados, com distintos níveis de qualidade (Figuras 5 e 6) (Tabelas 2 e 3). Para as sementes de alta qualidade fisiológica dos tipos de milhos comum, pipoca, doce e super doce, foi possível observar que os vetores das variáveis referentes à germinação (G), comprimento de plântula (CP), comprimento de raiz (CR) e matéria seca de plântulas (MS) foram os que mais se aproximaram do vetor do parâmetro enzimático alfa-amilase, indicando correlação positiva entre essas variáveis (Figura 5). As amilases totais se correlacionaram positivamente com as variáveis germinação (G) e matéria seca de plântulas (MS), sendo possível observar esta correlação pela proximidade entre os vetores, em todos os tipos de milho com alta qualidade fisiológica (Figura 5).

As sementes de baixa qualidade fisiológica dos tipos de milhos comum e pipoca apresentaram comportamentos semelhantes, com relação à correlação entre as variáveis de qualidade fisiológica e as variáveis enzimáticas, sendo possível observar que os vetores da alfa-amilase e amilases totais ficaram mais próximos dos parâmetros de qualidade representados pela germinação (G), comprimento de plântula (CP) e matéria seca de plântulas (MS), demonstrando maior correlação com estas variáveis (Figura 6).

As sementes de milho apresentam 70% da própria massa em amido, principal substância de reserva prontamente disponível para o crescimento das plântulas. As enzimas amilolíticas são as principais responsáveis pela hidrólise do amido, sendo que a maior atividade destas enzimas ocasiona maior taxa de redução de amido e, conseqüentemente, maior taxa de redução de reservas (YU; HO; LO, 2015). Os resultados obtidos neste experimento corroboram com Delarmelino-Ferraresi et al. (2014), que relatam que a composição bioquímica das sementes pode afetar a atividade enzimática, podendo influenciar qualitativa e quantitativamente a disponibilidade de compostos passíveis de pronta utilização pelo embrião da semente.

As sementes de milho doce e super doce, com baixa qualidade fisiológica, apresentaram baixa correlação entre a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais e as variáveis de qualidade fisiológica das sementes, sendo possível observar que, para estes tipos de milho, os vetores das variáveis enzimáticas ficaram muito distantes dos vetores das variáveis de qualidade fisiológica (Figura 6). A atividade da alfa-amilase em sementes de milho doce shrunken-2 (sh2) é muito baixa, sendo um dos principais fatores que afeta negativamente a germinação e o vigor das sementes (SANWO; DEMANSON, 1993). Este desempenho inferior é atribuído, principalmente, a algumas características relacionadas a menor quantidade de amido, maior conteúdo de açúcares no endosperma e a formação de espaços internos entre a camada de

aleurona e o pericarpo das sementes que ocorrem durante a desidratação, fazendo com que estas apresentem aspecto enrugado (MONDO, CICERO, DOURADO, PUPIM; DIAS, 2012).

O grupo I (círculo verde) compreendeu o hidrocondicionamento durante menores períodos, com insuflação (Figuras 5 e 6). Nesse grupo, o hidrocondicionamento proporcionou o melhor desempenho das variáveis de qualidade fisiológica representadas pela germinação de plântulas (G), comprimento de plântulas (CP), comprimento de raiz (CR) e matéria seca (MS), para as sementes de todos os tipos de milho. Neste grupo, a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais foi intensificada em lotes de alta qualidade fisiológica, para todos os tipos de milho avaliados (Figura 5). Em lotes com baixa qualidade fisiológica, somente as sementes de milho dos tipos comum e super doce apresentaram as variáveis relacionadas à atividade de enzimas amilolíticas no grupo I (Figura 6).

Os resultados apresentados no grupo I indicam que as sementes hidrocondicionadas por curto período, associadas ao processo de insuflação, apresentaram maior atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, acarretando maior redução das reservas nas sementes de todos os tipos de milho, com posterior mobilização de açúcares solúveis para o eixo embrionário, favorecendo maior percentual germinativo e a formação de plântulas com maior massa seca e maior comprimento. Estes resultados corroboram com os estudos de Hajjhashemi et al. (2020), que relatam a importância das enzimas amilases no processo de germinação e vigor das sementes, devido à sua participação direta na mobilização de reservas armazenadas na semente, ocasionando a quebra do amido, que acarreta a liberação de açúcares solúveis necessários para a respiração e para o crescimento da plântula.

Em variedades de arroz, foi observado que nas primeiras 72 horas de embebição das sementes, a atividade de alfa-amilase foi máxima, apresentando valores na faixa de 25 a 30 U/mL, sendo que, após este período, houve decréscimo significativo da atividade enzimática, chegando a valores de 15 U/mL, após 192 h (ODO et al., 2016). Em sementes de arroz negro, foi observado que, durante o período de 24 horas de embebição, a atividade enzimática da alfa-amilase foi máxima, sendo que, após 48 horas de embebição, ocorreu redução da atividade dessa enzima (MENEZES, 2019).

Em sementes de *Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl. (Bignoniaceae), foram relatados efeitos positivos da pré-embebição apenas quando esta foi realizada até a fase inicial da embebição, por períodos de até 60 minutos, sendo observada redução significativa da capacidade de germinação e vigor das sementes por períodos de embebição prolongados (BATISTA et al. 2012).

O grupo II (círculo amarelo) abrangeu o hidrocondicionamento por períodos intermediários (de 90 a 120 minutos), associado à insuflação, em lotes de sementes de milho doce e super doce, com alta qualidade fisiológica (Figura 5). Nos lotes de baixa qualidade fisiológica, os milhos pipoca e doce foram os únicos que apresentaram este grupo intermediário, caracterizado por hidrocondicionamento por 30 a 60 minutos, com insuflação (Figura 6). Neste grupo, observou-se decaimento da qualidade fisiológica das sementes, aliados à redução expressiva da atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, em lotes com baixa qualidade fisiológica.

O grupo III (círculo vermelho) englobou a ausência de hidrocondicionamento e o hidrocondicionamento sem insuflação, que apresentaram o pior desempenho das sementes em relação à capacidade germinativa e vigor e também a menor atividade enzimática da alfa – amilase e amilases totais. Estes resultados foram observados em lotes de sementes com alta e baixa qualidade fisiológica, em todos os tipos de milho avaliados (Figuras 5 e 6).

O hidrocondicionamento das sementes sob condições controladas permite a ativação dos processos metabólicos essenciais para a germinação, como o aumento da biossíntese de proteínas no embrião, produção de ATP, ativação de reparos ao DNA e sistemas antioxidantes, restauração de macromoléculas ou de estruturas celulares danificadas, proporcionando a aceleração e uniformização da germinação e emergência, bem como promovendo maior vigor de plântulas (SISODIA et al., 2018). No entanto, o metabolismo de carboidratos é fortemente inibido quando o oxigênio é limitante, especialmente nas etapas envolvidas na degradação do amido em açúcares simples para uso na glicólise, principalmente porque a maioria das enzimas envolvidas neste processo são menos ativas sob baixas concentrações de oxigênio na solução (MIRO; ISMAIL, 2013).

Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho foram relatos por Dantas et al. (2002), em que o processo de embebição de sementes de milho por períodos prolongados prejudicou a germinação e o vigor das sementes, devido à redução da disponibilidade de oxigênio, fator primordial para a produção das enzimas responsáveis pela degradação do amido e mobilização das reservas até o eixo embrionário.

4.4. CONCLUSÕES

O hidrocondicionamento com insuflação de ar ou oxigênio concentrado, durante 30 a 60 minutos, seguido de secagem natural, intensificou a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, nas sementes de todos os tipos de milho, com distintos níveis de qualidade fisiológica.

Em sementes de alta qualidade, a correlação entre a atividade enzimática e a qualidade fisiológica das sementes foi alta em todos os tipos de milho, após o hidrocondicionamento. Entretanto, em sementes de baixa qualidade fisiológica, a correlação entre a atividade enzimática e a qualidade fisiológica foi baixa para as sementes de milho dos tipos doce e superdoce.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, R. O.; SAPATINI, J. R.; CURIEL, A. C.; SOUZA-LEAL, T.; BERTIN, R. L.; PEDROSO-DE-MORAES, C. Morfometria carposeminal e germinação de *Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl. pré-embebida em diferentes períodos de exposição e concentração de GA3. **Iheringia. Série Botânica**, v. 67, n. 2, p. 159-169, 2012.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD K. J.; HILHORST H. W. M.; NONOGAKI H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**, 3rd ed. New York: Springer. p 392, 2013.

BORGES, R.C.F.; COLLAÇO JÚNIOR, J.C.; SCARPARO, B.; NEVES, M.B.; CONEGLIAN, A. Caracterização da curva de embebição de sementes de pinhão-manso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.8, n.13, p.1-8, 2009.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, p.395, 2009.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588p.

CATÃO, H.C.R.M.; CAIXETA, F. Physiological, isozyme changes and image analysis of popcorn seeds submitted to low temperatures. **Journal of Seed Science**, v.39, n.3, p.234-243, 2017.

CAVALCANTE J. A.; TERNUS R. M.; ALMEIDA T. L. D.; REOLON F.; ARAÚJO A. D. S.; GADOTTI G. I.; MORAES D. M. D. Ethanol vigor test to assess physiological quality of annual ryegrass seeds. **Espacios**. v. 38, n. 47, p. 10-18, 2017.

DANTAS, B. F.; ARAGÃO, C. A.; ARAÚJO-JUNIOR, J. P.; RODRIGUES, J. D.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Padronização da metodologia do RT-PCR utilizado para identificação do mRNA da α -amilase em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 113-117, 2002.

DELARMELINO-FERRARESI, L. M.; VILLELA, F. A.; AUMONDE, T. Z. Desempenho fisiológico e composição química de sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 14-18, 2014.

FAROOQ, M.A., NIAZI, A.K., AKHTAR, J., SAIFULLAH, FAROOQ, M., SOURI, Z., KARIMI, N., RENGEL, Z. Acquiring control: the evolution of ROS-Induced oxidative stress and redox signaling pathways in plant stress responses. **Plant Physiol. Biochem. (Paris)** 141, p. 353–369, 2019.

FRIES, D. D.; ALVES, J. D.; DELÚ FILHO, N.; MAGALHÃES, P. C.; GOULART, P. F. P.; MAGALHÃES, M. M. Crescimento de plântulas do milho "Saracura" e atividade de α -amilase e invertases associados ao aumento da tolerância ao alagamento exercido pelo cálcio exógeno. **Bragantia, Campinas**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

FUWA, H. A new method for microdetermination of amylase activity by the use of amylose as the substrate. **Journal of Biochemistry**. v. 41, p. 583-603, 1954.

GUIMARÃES, M. A. DIAS, D. C. F. S., LOUREIRO, M. E. Hidratação de Sementes, **Revista Tropica – Ciências Agrarias e Biológicas**, v. 2, n. 1, p. 31, 2008.

GUPTA, R. Microbial α -Amylases: Biotechnological Perspective. **Process Biochemistry**, v. 38, n. 11, p.1-18, 2003.

HAIJHASHEMI, S., SKALICKY, M., BRESTIC, M., PAVLA, V. Cross-talk between nitric oxide, hydrogen peroxide and calcium in salt-stressed *Chenopodium quinoa* Willd. at seed germination stage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.154, p.657-664, 2020.

KAISER, H.F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, Durham, v.20, p.141–151, 1960.

KWIATKOWSKI, A; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays* L.) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p. 93-103, 2007.

LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N.J.; FARR, A.L.; RANDAL, R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda. v.193, p.265-275, 1951.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O.; ALENCAR, E. R. D.; BLUM, L. E. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho pré-condicionadas em água ozonizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 360-365, 2018.

MENEZES, João Paulo de. **Efeito da germinação e alta pressão nas propriedades físicoquímicas, funcionais e na atividade enzimática em sementes de arroz negro**. 2019. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2019.

MIRO, B.; ISMAIL, A. M. Tolerance of anaerobic conditions caused by flooding during germination and early growth in rice (*Oryza sativa* L.). **Frontiers in Plant Science**, v.4, n.269, p. 1-18, 2013.

MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T.L.; DIAS, M.A.N. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 143-155, 2012.

MORAIS, P.B.; ROSA, C.A.; MEYER, S.A.; MENDONÇA HAGLER, L.C.; HAGLER, A.N. Candida Amapae, A New Amino Acid-Requiring Yeast From The Amazonian Fruit *Parahancornia amapa*. **Journal of Industrial Microbiology**, v.14, n.6, p.531-535, 1995.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.49-85, 1994.

ODO, M. O.; OKORIE, P. A.; IKEGWU, O. J.; KALU, M. A. Malting potencial of hybrid and local varieties of rice. **Asian Journal of Agriculture and Food Sciences**. v. 4, p. 146-151, 2016.

OLIVEIRA, G. E.; VON PINHO, R. G.; ANDRADE, T.; VON PINHO, E. V. R.; SANTOS, C. D.; VEIGA, A. D. Physiological quality and amylase enzyme expression in maize seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 40-48, 2013.

PERATA P.; GESHI, N.; YAMAGUCHI, J.; AKAZAWA, T. Effect of anoxia in the induction of α -amilase of cereal seeds. **Planta**, v.191, p.402-408, 1993.

ROVERI JOSÉ, S. C. B. **Tolerância a alta temperatura de secagem de sementes de milho**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, p.149, 2003.

SANTOS, I. J.; SANTOS, Y. L.; OLIVEIRA, M. G. A.; SILVA, P. H. A. Expressão da alfa e beta amilase durante a germinação de cevada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 67-73, 2010.

SANWO, M. M.; DEMASON, D. A. Characteristics of α -amilase during germination of two high-sugar sweet corn cultivars of *Zea mays* L. **Plant Physiology**, Rockville, v. 99, n. 7, p. 1184-1192, 1993.

SISODIA, A.; et al. Seed priming on germination, growth and flowering in flowers and ornamental trees. In: **Advances in Seed Priming**. Springer, Singapore, p. 263-288, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, p.719, 2004.

VIEIRA, A. R.; VIEIRA, M. G. G. C.; FRAGA, A. C.; OLIVEIRA, J. A.; SANTOS, C. D. Action of gibberellic acid (GA3) on dormancy and activity of α -amilase in rice seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 43-48, 2002.

VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica. In : VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. de. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal : FUNEP, p.103-132, 1994.

WORTHINGTON, V. **Worthington enzyme manual**. Worthington Biochemical Corp, New Jersey, p.401, 1947.

WU, Y. Genetic analysis of high amylose content in maize (*Zea mays* L.) using a triploid endosperm model. **Euphytica**, Wageningen, v. 166, p. 155-164, 2009.

YU, S. M; LO, S. F; HO, T.H. D. Source–sink communication: regulated by hormone, nutrient, and stress cross-signaling. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 12, p. 844-857, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrocondicionamento é um tipo de técnica de condicionamento fisiológico que se dirige às fases I e II do processo de embebição das sementes, durante as quais ocorre a ação de mecanismos de reparo de macromoléculas danificadas e de estruturas celulares. Durante essas fases de hidratação, os processos metabólicos das sementes necessários para a germinação são ativados, sem permitir a protusão da raiz primária, ou seja, as sementes não atingem a fase III de embebição. Desta forma, após o hidrocondicionamento, as sementes tratadas estarão praticamente no mesmo estágio metabólico e, conseqüentemente, a germinação ocorrerá de forma mais rápida e sincronizada, acarretando melhorias no desempenho em campo das sementes tratadas com esta técnica de condicionamento.

Com relação às diferentes técnicas de condicionamento fisiológico, o hidrocondicionamento é o único tipo que utiliza somente água como meio condicionante, tendo-se revelado uma opção interessante, favorecendo o desempenho das sementes sem a interferência de produtos químicos empregados em outras técnicas de condicionamento, como o osmocondicionamento. Além do fornecimento de água às sementes, o suprimento adequado de oxigênio é um dos aspectos fundamentais que devem ser controlados durante o processo de hidrocondicionamento.

Nesta tese, se destacaram a importância de fatores como o período de embebição e a presença de aeração no meio condicionante; sendo que os resultados demonstraram que a técnica de hidrocondicionamento associado com a insuflação de gás oxigênio ou ar atmosférico, em diferentes tipos de milho, com distintas qualidades, proporcionaram aumento da porcentagem de germinação, reduzindo a perda de solutos celulares e acarretando desenvolvimento inicial mais rápido das plântulas, ocasionando maior crescimento, inclusive do sistema radicular, maior acúmulo de matéria seca e melhorias no desenvolvimento das plantas em campo, para a maioria dos diferentes tipos de milho. A germinação, o desenvolvimento inicial das plântulas e o desempenho em campo na maioria dos tipos de milho avaliados, com alta e baixa qualidade, foi intensificado mediante a exposição das sementes à insuflação de gás (insuflação de oxigênio ou ar atmosférico), especialmente durante os períodos de embebição de 30 a 60 minutos, seguido de secagem natural das sementes. Logo, estes períodos de embebição associados à insuflação da água com ar ou oxigênio concentrado podem ser utilizados como referência na aplicação do tratamento de hidrocondicionamento para diferentes tipos de milho com alta e baixa qualidade (convencional e pipoca).

Esta tese também buscou elucidar as alterações enzimáticas que ocorrem nas sementes de diferentes tipos de milho, decorrentes do condicionamento, que ainda não estão totalmente esclarecidas. A identificação dos picos da atividade das enzimas amilolíticas durante a germinação e desenvolvimento inicial das plântulas foi fundamental, visto que a atividade das amilases possuem grande importância no fornecimento de substrato para as plântulas. A técnica de hidrocondicionamento, portanto, ao fornecer água para as sementes, ocasionou a ativação de eventos metabólicos e bioquímicos, necessários para que ocorra a germinação, sendo que os resultados obtidos nesta tese demonstraram que o hidrocondicionamento associado à insuflação de gás oxigênio concentrado ou ar atmosférico intensificou a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, especialmente, no período de 30 a 60 minutos de embebição, em todos os tipos de milho, com distintas qualidades, acarretando melhorias no processo germinativo e no vigor das plântulas. O hidrocondicionamento com ausência de insuflação reduziu drasticamente a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais, acarretando queda no percentual germinativo e no vigor das plântulas, em todos os tipos de milho, com distintas qualidades.

Nesta pesquisa, o hidrocondicionamento de diferentes tipos de milho associado à insuflação de gases (oxigênio concentrado ou ar atmosférico), seguido de secagem natural, foi uma ferramenta eficiente para a melhoria do desenvolvimento inicial das plântulas, desempenho em campo e intensificação da atividade das enzimas amilolíticas, mas, ainda faltam estudos que elucidem se os benefícios adquiridos pelo hidrocondicionamento podem ser perdidos rapidamente dependendo do tipo de secagem e armazenamento utilizados.

Entretanto, para sementes de milho, há poucas informações relacionadas à secagem e ao armazenamento após o hidrocondicionamento das sementes. Portanto, é interessante que sejam estudadas metodologias de secagem após o hidrocondicionamento de sementes de milho, em função dos efeitos benéficos permitidos por esta técnica, e da essencialidade da secagem após o hidrocondicionamento para cultivos comerciais.

ANEXOS

ANEXO A. Figuras e Tabelas estatísticas do **CAPÍTULO III** – “Hidrocondicionamento de sementes de milho no desempenho em campo.”

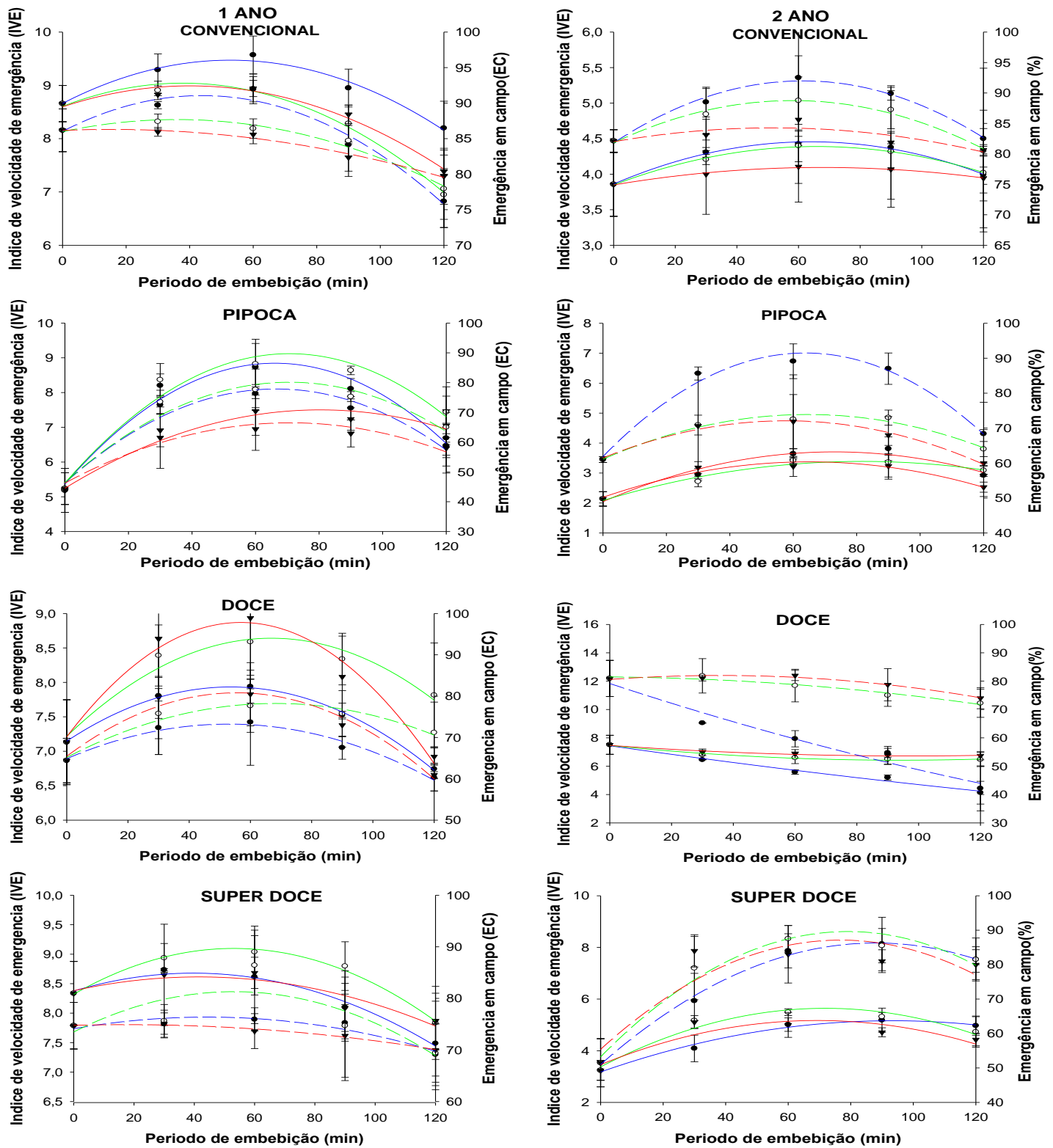


Figura A1. Índice de velocidade de emergência (IVE) (linhas cheias) e emergência em campo (EC) (linhas tracejadas) de tipos de milho resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (vermelho), insuflação com ar (verde) e insuflação com oxigênio (azul).

Tabela A1. Equações de regressão referentes ao índice de velocidade de emergência (IVE) e emergência em campo (EC) de tipos de milho resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

TIPOS	VARIAVEIS	INSUFLAÇÃO	PRIMEIRO ANO	R ²	SEGUNDO ANO	R ²
MC	IVE	O ₂	$8,66 + 0,031x - 0,0003x^2$	0,97*	$3,86 + 0,0186x - 0,0001x^2$	0,99*
		Ar atm	$8,60 + 0,023x - 0,0003x^2$	0,99*	$3,85 + 0,0164x - 0,0001x^2$	0,99*
		-----	$8,59 + 0,0196x - 0,0002x^2$	0,98*	$3,85 + 0,0073x - 5,3937E$	0,98*
	EC	O ₂	$86,02 + 0,2301x - 0,0026x^2$	0,96*	$81,80 + 0,332x - 0,0027x^2$	0,99*
		Ar atm	$85,98 + 0,0952x - 0,0013x^2$	0,98*	$81,81 + 0,239x - 0,0021x^2$	0,98*
		-----	$86,16 + 0,0184x - 0,0006x^2$	0,98*	$81,98 + 0,088x - 0,0009x^2$	0,72 ^{ns}
MP	IVE	O ₂	$5,37 + 0,1052x - 0,0008x^2$	0,96*	$2,05 + 0,0455x - 0,0003x^2$	0,95*
		Ar atm	$5,39 + 0,1055x - 0,0007x^2$	0,96*	$2,08 + 0,0319x - 0,0002x^2$	0,96*
		-----	$5,25 + 0,0562x - 0,0003x^2$	0,97*	$2,19 + 0,0364x - 0,0003x^2$	0,95*
	EC	O ₂	$46,29 + 0,9501x - 0,0071x^2$	0,96*	$61,84 + 0,931x - 0,0073x^2$	0,98*
		Ar atm	$46,40 + 0,9555x - 0,0068x^2$	0,95*	$61,10 + 0,397x - 0,0031x^2$	0,97*
		-----	$46,25 + 0,5722x - 0,0040x^2$	0,90 ^{ns}	$61,46 + 0,369x - 0,0032x^2$	0,98*
MD	IVE	O ₂	$7,15 + 0,0294x - 0,0003x^2$	0,99*	$7,44 - 0,0031x - 3,6032Ex^2$	0,98*
		Ar atm	$7,22 + 0,0426x - 0,0003x^2$	0,95*	$7,46 - 0,0221x - 0,0001x^2$	0,97*
		-----	$7,20 + 0,0584x - 0,0005x^2$	0,97*	$7,47 - 0,0154x - 8E-005x^2$	0,96*
	EC	O ₂	$64,86 + 0,3173x - 0,0030x^2$	0,97*	$79,14 - 0,359x + 0,0005x^2$	0,96*
		Ar atm	$65,15 + 0,3846x - 0,0028x^2$	0,96*	$81,49 - 0,0098x - 0,0006x^2$	0,96*
		-----	$65,44 + 0,5539x - 0,0050x^2$	0,97*	$80,60 + 0,079x - 0,0011x^2$	0,97*
MSD	IVE	O ₂	$8,36 + 0,0153x - 0,0002x^2$	0,98*	$3,18 + 0,0425x - 0,0002x^2$	0,99*
		Ar atm	$8,32 + 0,0293x - 0,0003x^2$	0,99*	$3,37 + 0,0632x - 0,0004x^2$	0,95*
		-----	$8,38 + 0,0113x - 0,0001x^2$	0,86*	$3,46 + 0,0493x - 0,0004x^2$	0,81 ^{ns}
	EC	O ₂	$74,13 + 0,1018x - 0,0012x^2$	0,88 ^{ns}	$50,99 + 0,803x - 0,0046x^2$	0,99*
		Ar atm	$73,49 + 0,2943x - 0,0028x^2$	0,65 ^{ns}	$53,20 + 0,922x - 0,0058x^2$	0,97*
		-----	$74,77 + 0,0157x - 0,0005x^2$	0,97*	$55,39 + 0,828x - 0,0054x^2$	0,82 ^{ns}

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

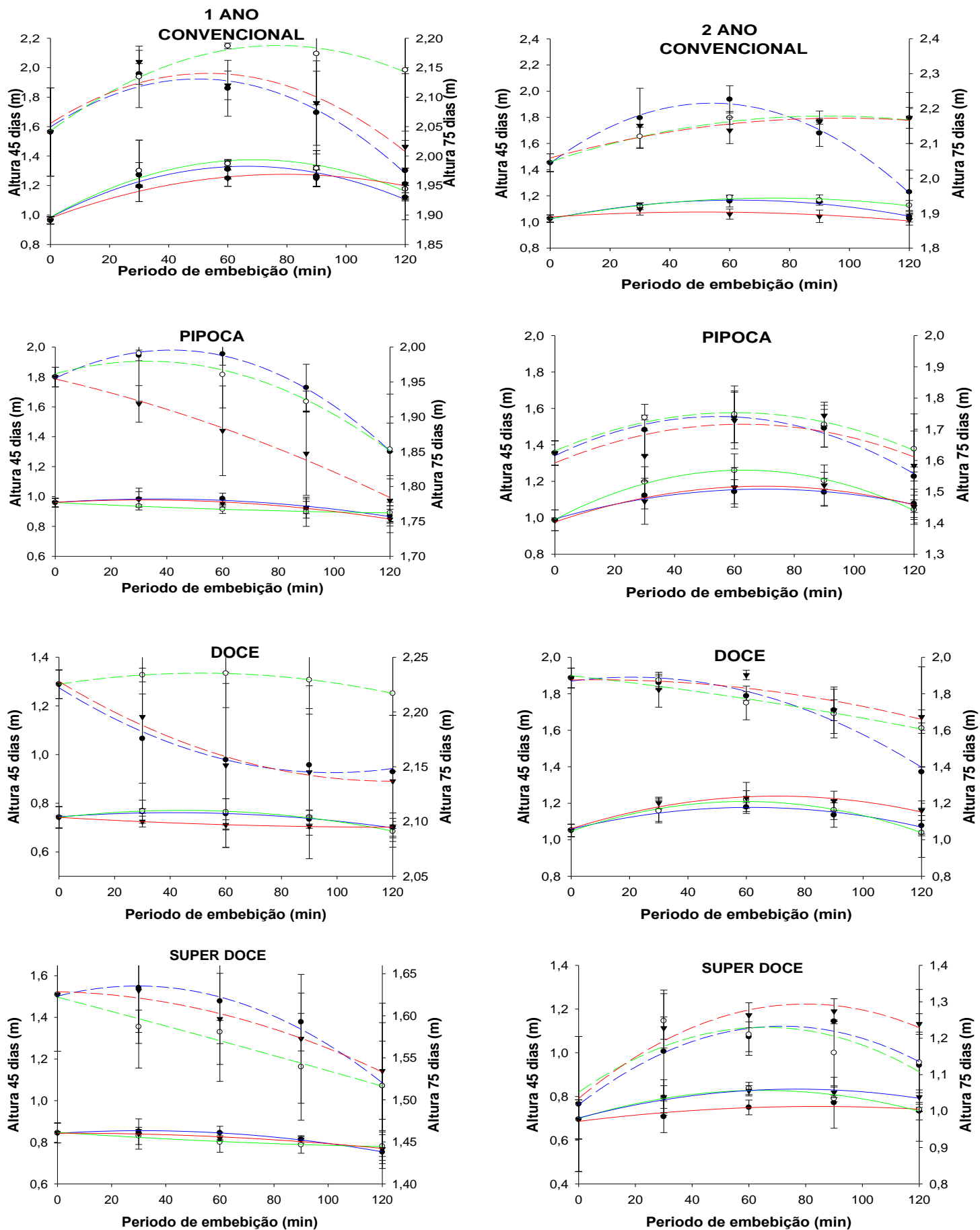


Figura A2. Altura das plantas de tipos de milho aos 45 dias (linhas cheias) e aos 75 dias (linhas tracejadas), resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (vermelho), insuflação com ar (verde) e insuflação com oxigênio (azul).

Tabela A2. Equações de regressão referentes a altura das plantas de tipos de milho aos 45 dias e aos 75 dias resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

TIPOS	ALTURA DE PLANTAS	INSUFLAÇÃO	PRIMEIRO ANO	R ²	SEGUNDO ANO	R ²
MC	45 DIAS	O ₂	$0,98 + 0,01x - 7,8627E-005x^2$	0,96*	$1,02 + 0,0046x - 3,7024E-005x^2$	0,99*
		Ar atm	$0,99 + 0,011x - 8,191E-005x^2$	0,96*	$1,02 + 0,0043x - 2,8484E-005x^2$	0,98*
		-----	$0,98 + 0,008x - 4,716E-005x^2$	0,96*	$1,04 + 0,0015x - 1,4333E-005x^2$	0,67 ^{ns}
	75 DIAS	O ₂	$2,05 + 0,003x - 3,261E-005x^2$	0,96*	$2,04 + 0,0064x - 5,9095E-005x^2$	0,99*
		Ar atm	$2,04 + 0,004x - 2,450E-005x^2$	0,99*	$2,05 + 0,0028x - 1,5429E-005x^2$	0,96*
		-----	$2,06 + 0,003x - 2,988E-005x^2$	0,85 ^{ns}	$2,06 + 0,0024x - 1,2151E-005x^2$	0,84 ^{ns}
MP	45 DIAS	O ₂	$0,96 + 0,001x - 1,704E-005x^2$	0,96*	$0,99 + 0,0047x - 3,3508E-005x^2$	0,97*
		Ar atm	$0,96 - 0,001x + 2,873E-006x^2$	0,99*	$0,99 + 0,0086x - 6,8159E-005x^2$	0,99*
		-----	$0,96 + 0,001x - 1,637E-005x^2$	0,99*	$0,98 + 0,0057x - 4,0571E-005x^2$	0,96*
	75 DIAS	O ₂	$1,96 + 0,002x - 2,348E-005x^2$	0,99*	$1,62 + 0,0046x - 4,2540E-005x^2$	0,97*
		Ar atm	$1,96 + 0,001x - 1,689E-005x^2$	0,98*	$1,63 + 0,0041x - 3,3849E-005x^2$	0,97*
		-----	$1,95 - 0,001x - 4,111E-006x^2$	0,99*	$1,59 + 0,0040x - 3,1714E-005x^2$	0,56 ^{ns}
MD	45 DIAS	O ₂	$0,74 + 0,001x - 1,002E-005x^2$	0,98*	$0,98 + 0,0039x - 3,1556E-005x^2$	0,95*
		Ar atm	$0,74 + 0,001x - 1,483E-005x^2$	0,99*	$1,05 + 0,0055x - 4,6254E-005x^2$	0,99*
		-----	$0,74 - 0,001x + 2,794E-006x^2$	0,99*	$1,06 + 0,0051x - 3,5754E-005x^2$	0,96*
	75 DIAS	O ₂	$2,22 - 0,002x + 8,048E-006x^2$	0,98*	$1,87 + 0,0021x - 5,0048E-005x^2$	0,97*
		Ar atm	$2,23 - 0,0004x + 8,0E-006x^2$	0,99*	$1,90 - 0,0018x - 5,4921E-006x^2$	0,97*
		-----	$2,23 - 0,0015x + 6,0E-006x^2$	0,98*	$1,88 - 0,0003x - 1,7429E-005x^2$	0,76 ^{ns}
MSD	45 DIAS	O ₂	$0,84 + 0,001x - 1,29E-005x^2$	0,99*	$0,67 + 0,0016x - 9,6905E-006x^2$	0,79 ^{ns}
		Ar atm	$0,85 - 0,001x + 2,67E-006x^2$	0,97*	$0,70 + 0,0040x - 3,0833E-005x^2$	0,96*
		-----	$0,84 + 2,8E-005 - 5,3E-006x^2$	0,96*	$0,70 + 0,0034x - 2,2437E-005x^2$	0,97*
	75 DIAS	O ₂	$1,62 + 0,001x - 1,4E-005x^2$	0,99*	$1,02 + 0,0060x - 4,1921E-005x^2$	0,95*
		Ar atm	$1,62 - 0,001x - 3,1E-007x^2$	0,97*	$1,05 + 0,0054x - 4,1437E-005x^2$	0,70 ^{ns}
		-----	$1,63 - 7,3E-005x - 6,0E-006x^2$	0,98*	$1,03 + 0,0065x - 4,0563E-005x^2$	0,95*

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

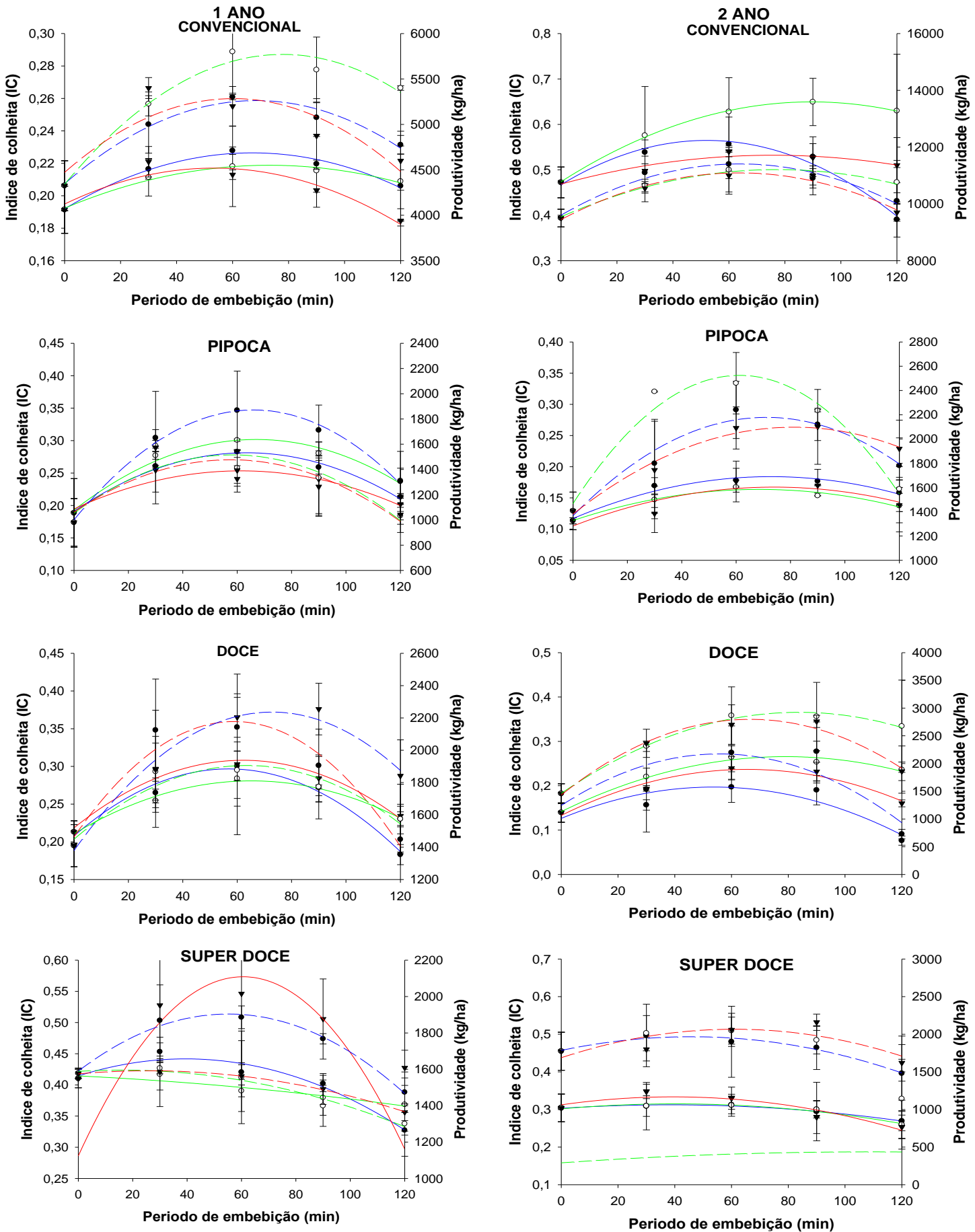


Figura A3. Índice de colheita (IC) (linhas cheias) e produtividade (linhas tracejadas) de tipos de milho resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (vermelho), insuflação com ar (verde) e insuflação com oxigênio (azul).

Tabela A3. Equações de regressão referentes ao índice de colheita (IC) e produtividade (PROD) de tipos de milho resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

TIPOS	VARIAVEIS	INSUFLAÇÃO	PRIMEIRO ANO	R ²	SEGUNDO ANO	R ²
MC	IC	O ₂	0,19 + 0,001x - 7,683E-006x ²	0,98*	0,47 + 0,0038x - 3,6103E-005x ²	0,98*
		Ar atm	0,19 + 0,001x - 4,952E-006x ²	0,98*	0,47 + 0,0039x - 2,1929E-005x ²	0,99*
		-----	0,19 - 0,001x - 7,802E-006x ²	0,88 ^{ns}	0,47 + 0,0017x - 1,1103E-005x ²	0,90 ^{ns}
	PROD	O ₂	4346,43 + 26,82x - 0,20x ²	0,97*	9600 + 56,67x - 0,44x ²	0,96*
		Ar atm	4340 + 36,75x - 0,24x ²	0,98*	9544 + 43,19x - 0,28x ²	0,98*
		-----	4471,43 + 26,99x - 0,22x ²	0,75 ^{ns}	9444 + 51,88x - 0,41x ²	0,97*
MP	IC	O ₂	0,19 + 0,003x - 2,2341E-005	0,99*	0,12 + 0,0018x - 1,2667E-005x ²	0,96*
		Ar atm	0,19 + 0,003x - 2,4238E-005	0,98*	0,11 + 0,0015x - 1,0643E-005x ²	0,97*
		-----	0,19 + 0,002x - 1,5563E-005	0,86 ^{ns}	0,11 + 0,0017x - 1,1405E-005x ²	0,78 ^{ns}
	PROD	O ₂	1000 + 26,44x - 0,20x ²	0,99*	1366 + 22,84x - 0,16x ²	0,95*
		Ar atm	1053,51 + 15,87x - 0,14x ²	0,80 ^{ns}	1467 + 34,55x - 0,28x ²	0,97*
		-----	1062,30 + 14,41x - 0,13x ²	0,75 ^{ns}	1380 + 17,68x - 0,11x ²	0,98*
MD	IC	O ₂	0,21 + 0,003x - 2,752E-005x ²	0,97*	0,12 + 0,0026x - 2,4532E-005x ²	0,82 ^{ns}
		Ar atm	0,21 + 0,002x - 1,648E-005x ²	0,98*	0,14 + 0,0031x - 1,9833E-005x ²	0,98*
		-----	0,22 + 0,003x - 2,318E-005x ²	0,96*	0,13 + 0,0032x - 2,4095E-005x ²	0,95*
	PROD	O ₂	1462,87 + 24,29x - 0,21x ²	0,95*	1243 + 33,39x - 0,30x ²	0,71 ^{ns}
		Ar atm	1449,33 + 14,38x - 0,11x ²	0,91 ^{ns}	1462 + 34,93x - 0,21x ²	0,99*
		-----	1378,53 + 23,58x - 0,16x ²	0,98*	1433 + 41,05x - 0,31x ²	0,98*
MSD	IC	O ₂	0,41 + 0,001x - 1,757E-005x ²	0,95*	0,30 + 0,0005x - 6,4444E-006x ²	0,98*
		Ar atm	0,41 - 0,0002x - 1,58E-006x ²	0,90 ^{ns}	0,30 + 0,0007x - 8,2540E-006x ²	0,96*
		-----	0,42 + 0,004x - 3,580E-005x ²	0,97*	0,31 + 0,0011x - 1,3667E-005x ²	0,87 ^{ns}
	PROD	O ₂	1590 + 11,40x - 0,10x ²	0,99*	1785 + 7,96x - 0,087x ²	0,97*
		Ar atm	1589 + 0,89x - 0,029x ²	0,97*	291 + 2,67x - 0,012x ²	0,31 ^{ns}
		-----	1575 + 1,31x - 0,025x ²	0,99*	1688 + 12,44x - 0,10x ²	0,61 ^{ns}

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

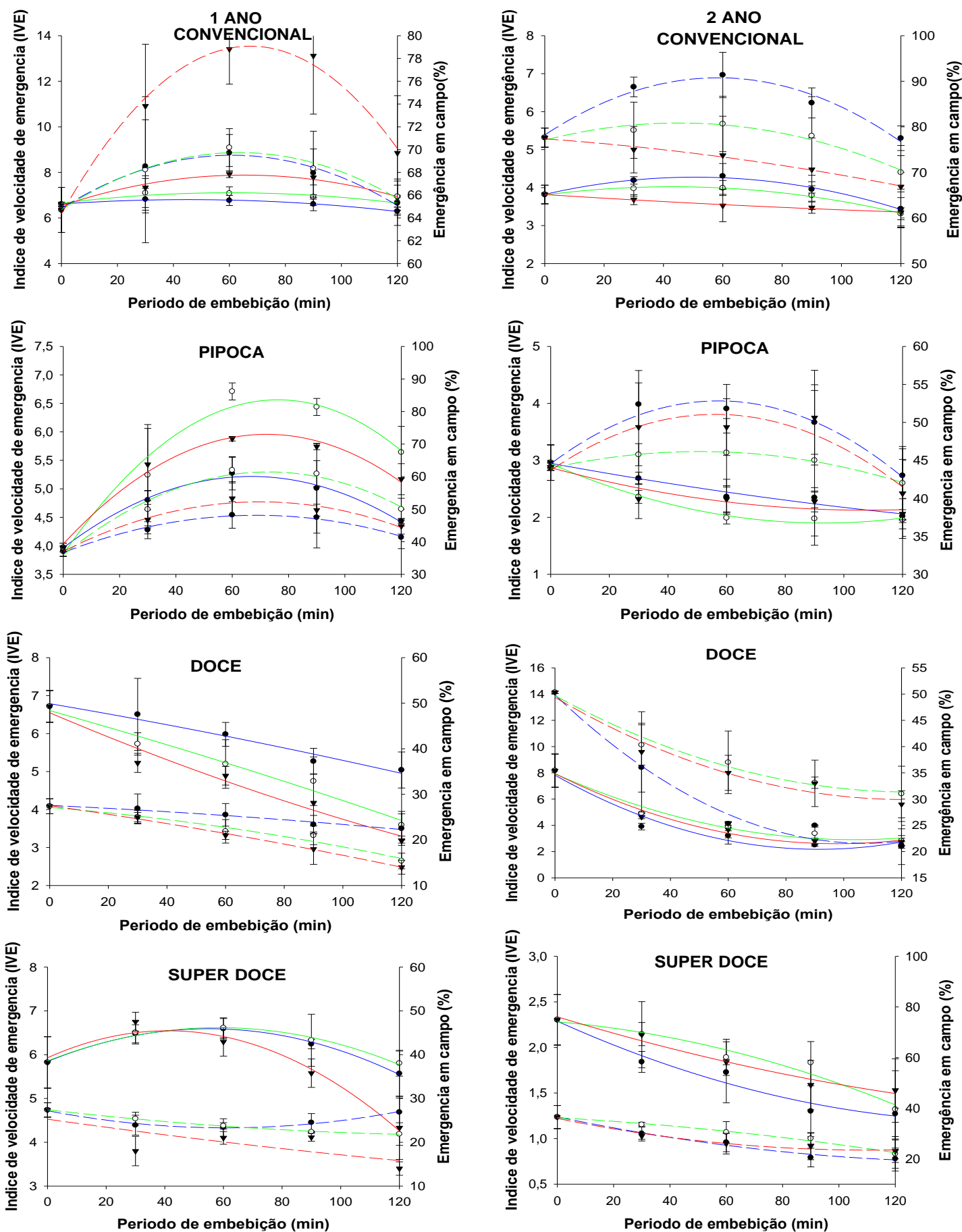


Figura A4. Índice de velocidade de emergência (IVE) (linhas cheias) e emergência em campo (EC) (linhas tracejadas) de tipos de milho resultantes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (vermelho), insuflação com ar (verde) e insuflação com oxigênio (azul).

Tabela A4. Equações de regressão referentes ao índice de velocidade de emergência (IVE) e emergência em campo (EC) de tipos de milho resultantes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

TIPOS	VARIAVEIS	INSUFLAÇÃO	PRIMEIRO ANO	R ²	SEGUNDO ANO	R ²
MC	IVE	O ₂	$6,61 + 0,0084x - 9,3056E-005x^2$	0,99*	$3,82 - 0,0179x - 0,0002x^2$	0,99*
		Ar atm	$6,65 + 0,0152x - 0,0001x^2$	0,90 _s ⁿ	$3,80 - 0,0101x - 0,0001x^2$	0,99*
		-----	$6,53 + 0,0413x - 0,0003x^2$	0,97*	$3,82 - 0,0050x + 9,8730E-006x^2$	0,99*
	EC	O ₂	$64,85 + 0,1532x - 0,0013x^2$	0,98*	$78,21 + 0,4304x - 0,0037x^2$	0,97*
		Ar atm	$64,72 + 0,1584x - 0,0013x^2$	0,97*	$77,08 + 0,1663x - 0,0018x^2$	0,96*
		-----	$64,34 + 0,4374x - 0,0032x^2$	0,99*	$77,36 - 0,047x - 0,0003x^2$	0,99*
MP	IVE	O ₂	$3,96 + 0,0376x - 0,0003x^2$	0,99*	$2,98 - 0,0094x + 1,7008E-005$	0,96*
		Ar atm	$3,85 + 0,0711x - 0,0005x^2$	0,96*	$2,94 - 0,0244x + 0,0001x^2$	0,99*
		-----	$4,03 + 0,0533x - 0,0004x^2$	0,99*	$2,87 - 0,0139x + 6,4500E-005x^2$	0,85 _s ⁿ
	EC	O ₂	$36,68 + 0,3344x - 0,0024x^2$	0,98*	$44,54 + 0,2899x - 0,0025x^2$	0,96*
		Ar atm	$35,94 + 0,7009x - 0,0048x^2$	0,97*	$43,96 + 0,0865x - 0,0009x^2$	0,99*
		-----	$37,02 + 0,4365x - 0,0031x^2$	0,97*	$43,69 + 0,2626x - 0,0023x^2$	0,88 _s ⁿ
MD	IVE	O ₂	$6,79 - 0,0132x - 1,7748E-005x^2$	0,97*	$7,83 - 0,1236x + 0,0007x^2$	0,95*
		Ar atm	$6,60 - 0,0217x - 2,0289E-005x^2$	0,97*	$7,93 - 0,0969x + 0,0005x^2$	0,97*
		-----	$6,55 - 0,0329x + 4,8260E-005x^2$	0,96*	$7,95 - 0,1094x + 0,0006x^2$	0,98*
	EC	O ₂	$27,56 - 0,0299x - 0,0001x^2$	0,97*	$49,89 - 0,5271x + 0,0025x^2$	0,98*
		Ar atm	$27,12 - 0,0529x - 0,0003x^2$	0,96*	$49,70 - 0,2979x + 0,0012x^2$	0,98*
		-----	$27,50 - 0,0911x - 0,0002x^2$	0,99*	$49,38 - 0,3210x + 0,0013x^2$	0,97*
MSD	IVE	O ₂	$5,84 + 0,0272x - 0,0002x^2$	0,99*	$2,29 - 0,0140x + 4,3952E-005x^2$	0,96*
		Ar atm	$5,86 + 0,0260x - 0,0002x^2$	0,98*	$2,28 - 0,0027x - 4,0929E-005x^2$	0,95*
		-----	$5,93 + 0,0301x - 0,0004x^2$	0,97*	$2,34 - 0,0094x + 2,0063E-005$	0,98*
	EC	O ₂	$27,19 - 0,1295x + 0,0011x^2$	0,98*	$33,56 - 0,2321x + 0,0008x^2$	0,98*
		Ar atm	$27,41 - 0,0776x + 0,0003x^2$	0,99*	$36,21 - 0,0626x - 0,0004x^2$	0,99*
		-----	$25,26 - 0,0942x + 0,0001x^2$	0,58 _s ⁿ	$35,96 - 0,2271x + 0,001x^2$	0,97*

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

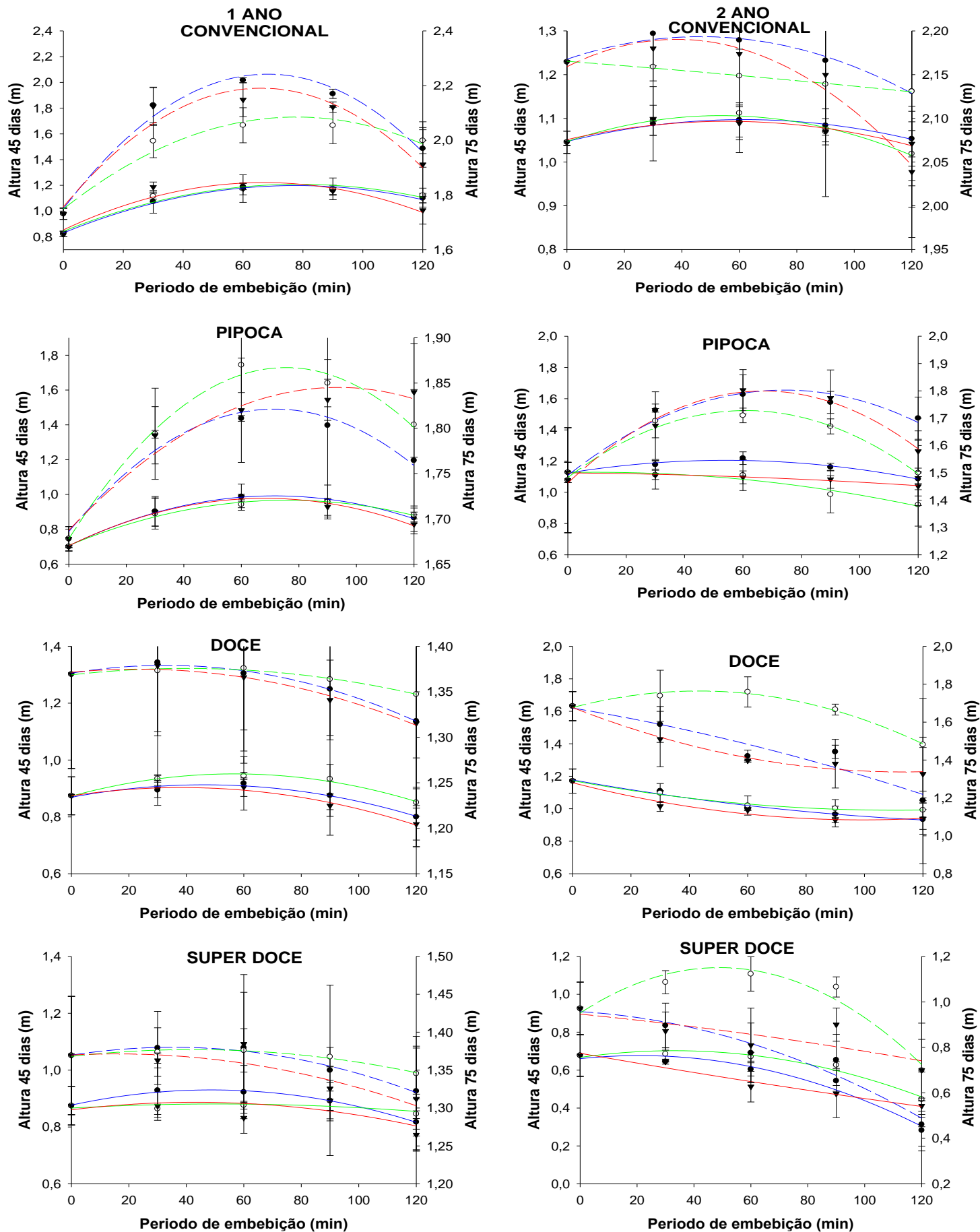


Figura A5. Altura das plantas de tipos de milho aos 45 dias (linhas cheias) e aos 75 dias (linhas tracejadas), resultantes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (vermelho), insuflação com ar (verde) e insuflação com oxigênio (azul).

Tabela A5. Equações de regressão referentes a altura das plantas de tipos de milho aos 45 dias e aos 75 dias resultantes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

TIPOS	ALTURA	INSUFLAÇÃO	PRIMEIRO ANO	R ²	SEGUNDO ANO	R ²
MC	45 DIAS	O ₂	$0,83 + 0,0095x - 6,1135E-005x^2$	0,99*	$1,05 + 0,0016x - 1,3254E-005x^2$	0,99*
		Ar atm	$0,84 + 0,0093x - 5,9357E-005x^2$	0,96*	$1,05 + 0,0022x - 2,0659E-005x^2$	0,97*
		-----	$0,85 + 0,0110x - 8,2246E-005x^2$	0,90 ^{ns}	$1,05 + 0,0015x - 1,3508E-005x^2$	0,87 ^{ns}
	75 DIAS	O ₂	$1,75 + 0,0145x - 0,0001x^2$	0,98*	$2,17 + 0,0011x - 1,2000E-005x^2$	0,97*
		Ar atm	$1,75 + 0,0087x - 5,5651E-005x^2$	0,96*	$2,17 - 0,0002x - 3,4921E-007x^2$	0,99*
		-----	$1,76 + 0,0132x - 9,9730E-005x^2$	0,95*	$2,16 + 0,0016x - 2,1508E-005x^2$	0,96*
MP	45 DIAS	O ₂	$0,70 + 0,0080x - 5,6048E-005x^2$	0,99*	$1,12 + 0,003x - 2,7794E-005x^2$	0,96*
		Ar atm	$0,71 + 0,0068x - 4,5056E-005x^2$	0,99*	$1,13 + 0,0003x - 1,7794E-005x^2$	0,95*
		-----	$0,71 + 0,0080x - 5,8746E-005x^2$	0,99*	$1,12 - 0,0002x - 4,2619E-006x^2$	0,97*
	75 DIAS	O ₂	$1,69 + 0,0038x - 2,6492E-005x^2$	0,95*	$1,49 + 0,0084x - 5,6714E-005x^2$	0,95*
		Ar atm	$1,68 + 0,0050x - 3,3333E-005x^2$	0,99*	$1,48 + 0,0081x - 6,6190E-005x^2$	0,98*
		-----	$1,69 + 0,0034x - 1,8079E-005x^2$	0,96*	$1,46 + 0,0101x - 7,5254E-005x^2$	0,99*
MD	45 DIAS	O ₂	$0,87 + 0,0019x - 2,0413E-005x^2$	0,96*	$1,18 - 0,0032x + 9,5952E-006x^2$	0,98*
		Ar atm	$0,87 + 0,0028x - 2,4325E-005x^2$	0,98*	$1,17 - 0,0033x + 1,4857E-005x^2$	0,99*
		-----	$0,87 + 0,0015x - 1,9810E-005x^2$	0,98*	$1,16 - 0,0046x + 2,3167E-005x^2$	0,96*
	75 DIAS	O ₂	$1,37 + 0,0005x - 8,0714E-006x^2$	0,99*	$1,67 - 0,0026x - 1,0278E-005$	0,92 ^{ns}
		Ar atm	$1,37 + 0,0004x - 4,4365E-006x^2$	0,98*	$1,68 + 0,0041x - 4,7103E-005x^2$	0,98*
		-----	$1,37 + 0,0003x - 6,5556E-006x^2$	0,98*	$1,68 - 0,006x + 2,6643E-005x^2$	0,98*
MSD	45 DIAS	O ₂	$0,88 + 0,0022x - 2,2476E-005x^2$	0,99*	$0,66 - 0,0016x - 3,7905E-005x^2$	0,96*
		Ar atm	$0,87 + 0,0006x - 5,5159E-006x^2$	0,36 ^{ns}	$0,67 + 0,0021x - 3,2302E-005x^2$	0,96*
		-----	$0,86 + 0,0012x - 1,4151E-005x^2$	0,30 ^{ns}	$0,69 - 0,0026x + 2,4841E-006x^2$	0,96*
	75 DIAS	O ₂	$1,37 + 0,0006x - 8,3254E-006x^2$	0,98*	$0,96 - 0,0008x - 2,6183E-005x^2$	0,95*
		Ar atm	$1,37 + 0,0004x - 5,0556E-006x^2$	0,98*	$0,95 + 0,0082x - 8,3976E-005x^2$	0,95*
		-----	$1,37 + 0,0002x - 6,2698E-006x^2$	0,68 ^{ns}	$0,95 - 0,0012x - 3,9048E-006x^2$	0,64 ^{ns}

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

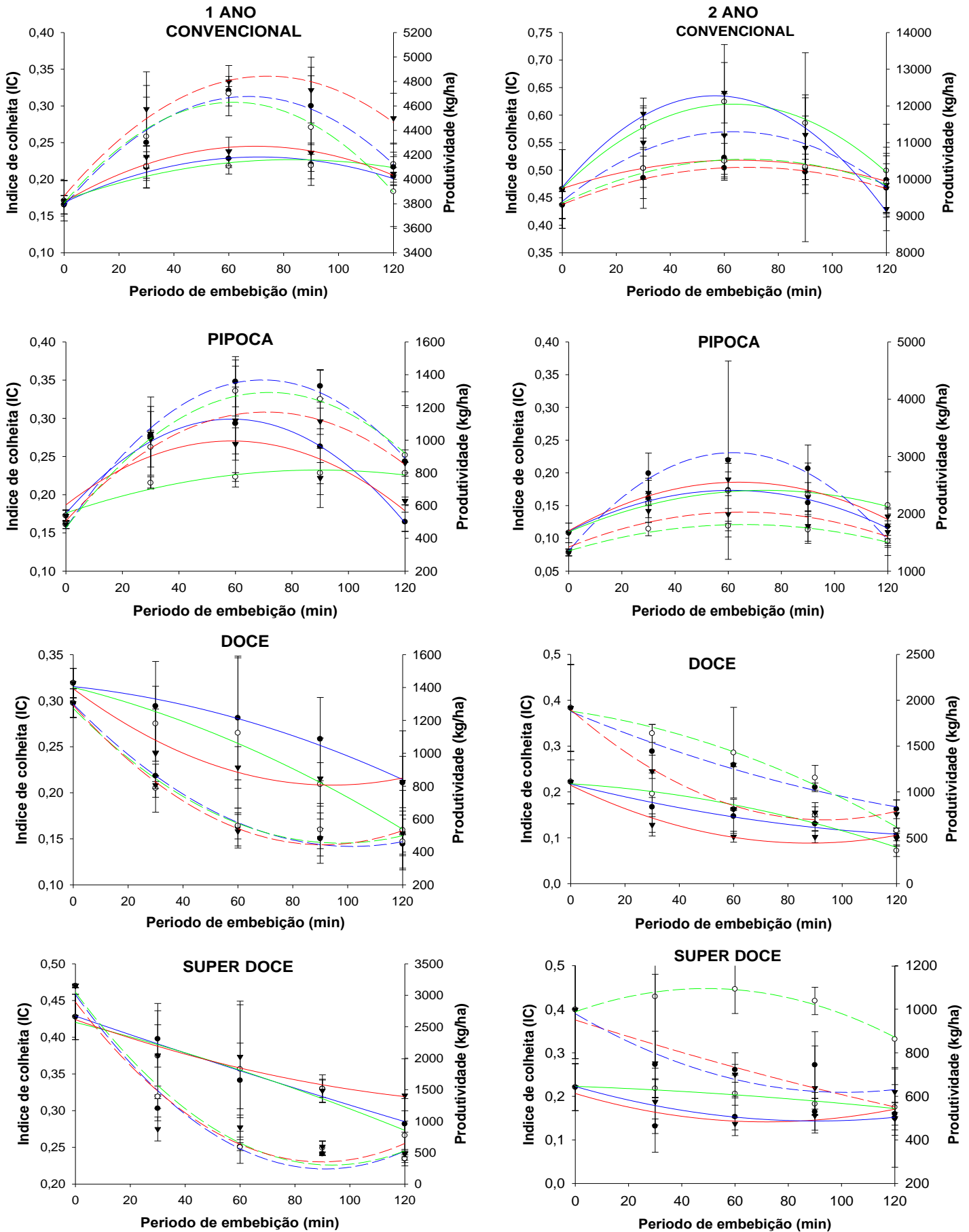


Figura A6. Índice de colheita (IC) (linhas cheias) e produtividade (linhas tracejadas) de tipos de milho resultantes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (vermelho), insuflação com ar (verde) e insuflação com oxigênio (azul).

Tabela A6. Equações de regressão referentes ao índice de colheita (IC) e produtividade (PROD) de tipos de milho resultantes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

TIPOS	VARIAVEIS	INSUFLAÇÃO	PRIMEIRO ANO	R ²	SEGUNDO ANO	R ²
MC	IVE	O ₂	$0,17 + 0,0017x - 1,2310E-005x^2$	0,96*	$0,47 + 0,0016x - 1,2397E-005x^2$	0,96*
		Ar atm	$0,17 + 0,0013x - 8,0159E-006x^2$	0,86 _s ⁿ	$0,47 + 0,0048x - 3,8317E-005x^2$	0,99*
		-----	$0,17 + 0,0022x - 1,5619E-005x^2$	0,96*	$0,47 + 0,0059x - 5,2151E-005x^2$	0,99*
	EC	O ₂	$3783 + 26,64x - 0,20x^2$	0,97*	$9315 + 29,70x - 0,22x^2$	0,99*
		Ar atm	$3806 + 26,70x - 0,22x^2$	0,98*	$9357 + 34,99x - 0,26x^2$	0,97*
		-----	$3863 + 26,49x - 0,18x^2$	0,98*	$9399 + 59,96x - 0,47x^2$	0,97*
MP	IVE	O ₂	$0,18 + 0,0042x - 3,5992E-005x^2$	0,99*	$0,11 + 0,002x - 1,6730E-005x^2$	0,98*
		Ar atm	$0,18 + 0,0013x - 7,0317E-006x^2$	0,95*	$0,11 + 0,0017x - 1,1635E-005x^2$	0,99*
		-----	$0,19 + 0,0029x - 2,4317E-005x^2$	0,78 _s ⁿ	$0,11 + 0,0023x - 1,8167E-005$	0,96*
	EC	O ₂	$461 + 26,06x - 0,1873x^2$	0,99*	$1350 + 55,57x - 0,45x^2$	0,99*
		Ar atm	$463 + 23,06x - 0,1605x^2$	0,99*	$1351 + 14,00x - 0,11x^2$	0,96*
		-----	$506 + 18,79x - 0,1327x^2$	0,98*	$1418 + 18,75x - 0,14x^2$	0,76 ^{ns}
MD	IVE	O ₂	$0,32 - 0,0003x - 4,3571E-006x^2$	0,98*	$0,22 - 0,0015x + 4,7381E-006x^2$	0,97*
		Ar atm	$0,31 - 0,0007x - 4,5000E-006x^2$	0,98*	$0,22 - 0,0004x - 6,5556E-006x^2$	0,96*
		-----	$0,31 - 0,0022x - 1,1754E-005x^2$	0,96*	$0,21 - 0,0029x + 1,6365E-005x^2$	0,95*
	EC	O ₂	$1300 - 17,05x + 0,084x^2$	0,99*	$1877 - 12,25x + 0,0298x^2$	0,98*
		Ar atm	$1274 - 16,87x + 0,0868x^2$	0,98*	$1881 - 4,25x - 0,0524x^2$	0,99*
		-----	$1293 - 18,66x + 0,1025x^2$	0,99*	$1897 - 25,66x + 0,137x^2$	0,97*
MSD	IVE	O ₂	$0,43 - 0,0013x + 7,1429E-007x^2$	0,97*	$0,21 - 0,0018x + 1,2603E-005x^2$	0,59 ^{ns}
		Ar atm	$0,42 - 0,0009x - 2,3571E-006x^2$	0,96*	$0,22 - 0,0002x - 1,6667E-006x^2$	0,96*
		-----	$0,42 - 0,0013x + 3,7619E-006x^2$	0,94 _s ⁿ	$0,22 - 0,0018x + 9,6905E-006x^2$	0,90 ^{ns}
	EC	O ₂	$3013 - 61,04x + 0,34x^2$	0,97 _s [*]	$950,46 - 3,92x + 0,0049x^2$	0,80 ^{ns}
		Ar atm	$3050 - 58,91x + 0,32x^2$	0,97 _s [*]	$979,31 - 7,15x + 0,0354x^2$	0,97*
		-----	$2894 - 56,72x + 0,32x^2$	0,88 _s ⁿ	$988 + 4,36x - 0,0444x^2$	0,97*

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

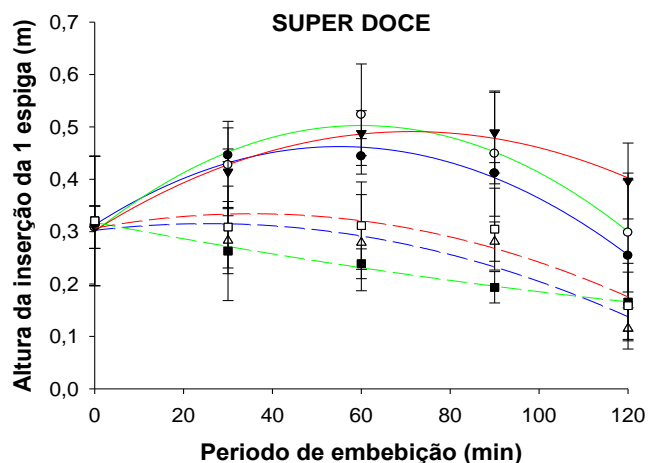
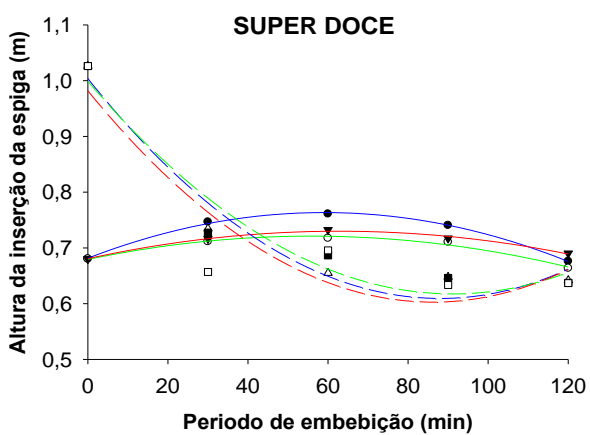
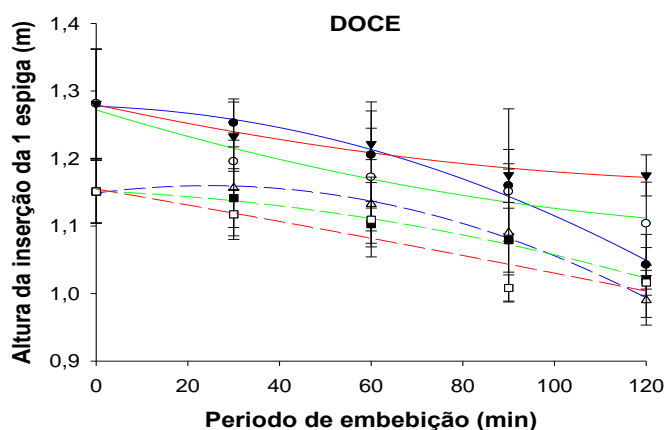
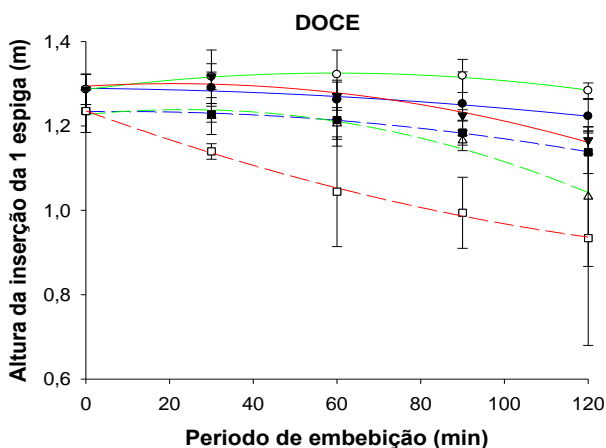
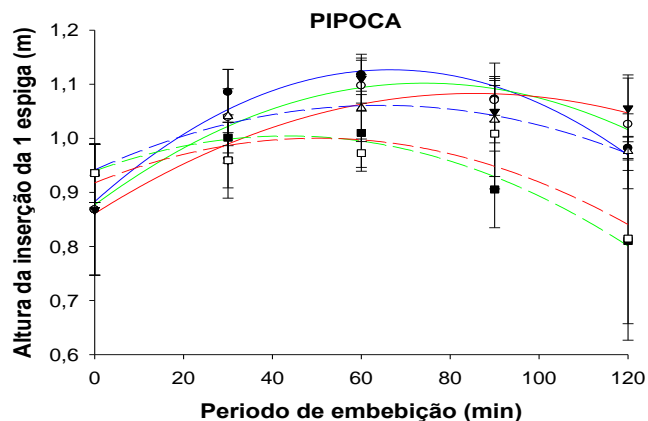
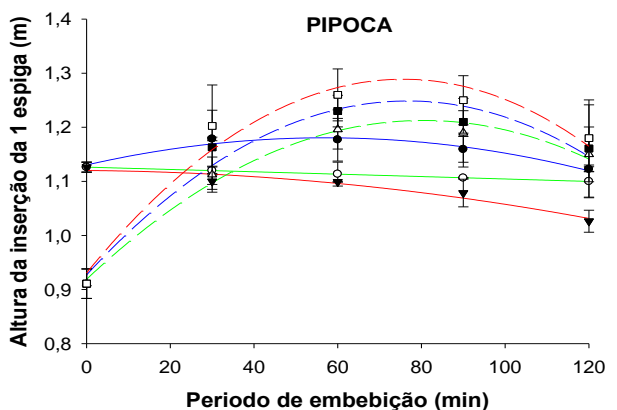
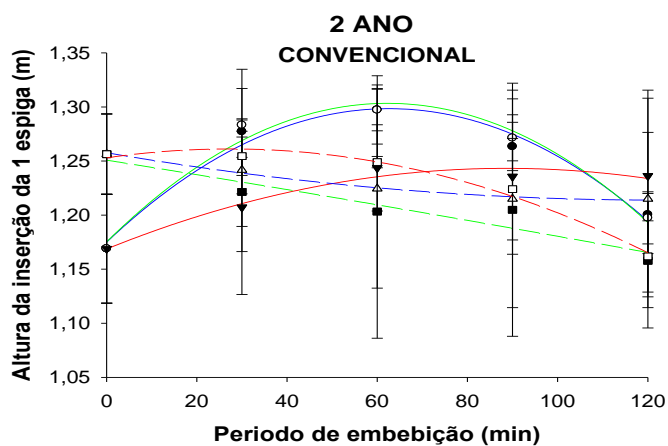
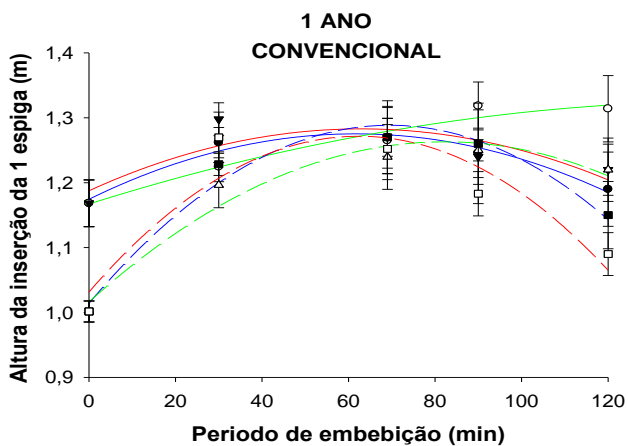


Figura A7. Altura da inserção da primeira espiga resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica (linhas cheias) e de baixa qualidade (linhas tracejadas), hidrocondicionadas durante distintos períodos na ausência de insuflação (vermelho), insuflação com ar (verde) e insuflação com oxigênio (azul).

Tabela A7. Equações de regressão referentes a altura da inserção da espiga de tipos de milho resultantes de sementes de alta e baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

TIPOS	QUALIDADE	INSUFLAÇÃO	PRIMEIRO ANO	R ²	SEGUNDO ANO	R ²
MC	ALTA	O ₂	$1,17 + 0,033x - 2,6520E-005x^2$	0,96*	$1,18 + 0,0039x - 3,1492E-005x^2$	0,97*
		Ar atm	$1,17 + 0,0021x - 6,9647E-006x^2$	0,96*	$1,18 + 0,0041x - 3,3048E-005x^2$	0,97*
		-----	$1,19 + 0,0030x - 2,4101E-005x^2$	0,69 ^{ns}	$1,17 + 0,0017x - 9,5079E-006x^2$	0,96*
	BAIXA	O ₂	$1,01 + 0,0079x - 5,6888E-005x^2$	0,97*	$1,26 - 0,0007x + 2,9286E-006x^2$	0,99*
		Ar atm	$1,02 + 0,006x - 3,6589E-005x^2$	0,96*	$1,25 - 0,0007x - 3,8889E-007x^2$	0,90 ^{ns}
		-----	$1,03 + 0,0077x - 6,1923E-005x^2$	0,86 ^{ns}	$1,25 + 0,0006x - 1,1135E-005x^2$	0,98*
MP	ALTA	O ₂	$1,13 + 0,0018x - 1,5421E-005x^2$	0,95*	$0,88 + 0,0073x - 5,5135E-005x^2$	0,95*
		Ar atm	$1,13 - 0,0002x - 7,1429E-008x^2$	0,99*	$0,88 + 0,0061x - 4,0968E-005x^2$	0,97*
		-----	$1,12 - 5,9E-005x - 5,6587E-006x^2$	0,94 ^{ns}	$0,86 + 0,0052x - 3,0381E-005x^2$	0,88 ^{ns}
	BAIXA	O ₂	$0,93 + 0,0084x - 5,4746E-005x^2$	0,96*	$0,94 + 0,0037x - 2,8857E-005x^2$	0,97*
		Ar atm	$0,92 + 0,0073x - 4,5468E-005x^2$	0,99*	$0,94 + 0,003x - 3,4587E-005x^2$	0,97*
		-----	$0,93 + 0,0095x - 6,2770E-005x^2$	0,96*	$0,92 + 0,003x - 3,2762E-005x^2$	0,73 ^{ns}
MD	ALTA	O ₂	$1,29 - 9,3E-005x - 3,8095E-006x^2$	0,96*	$1,28 - 0,0002x - 1,3937E-005x^2$	0,99*
		Ar atm	$1,29 + 0,0013x - 1,1032E-005x^2$	0,98*	$1,27 - 0,0021x + 6,1905E-006x^2$	0,95*
		-----	$1,29 + 0,0006x - 1,4127E-005x^2$	0,96*	$1,28 - 0,0015x + 4,8492E-006x^2$	0,96*
	BAIXA	O ₂	$1,23 + 0,0001x - 7,4841E-006x^2$	0,99*	$1,15 + 0,0009x - 1,8222E-005x^2$	0,99*
		Ar atm	$1,23 + 0,001x - 2,1127E-005x^2$	0,97*	$1,15 - 0,0003x - 6,5952E-006x^2$	0,99*
		-----	$1,24 - 0,0036x + 9,2063E-006x^2$	0,99*	$1,15 - 0,0012x - 7,3810E-007x^2$	0,87 ^{ns}
MSD	ALTA	O ₂	$0,68 + 0,0028x - 2,3548E-005x^2$	0,99*	$0,31 + 0,0054x - 4,9167E-005x^2$	0,98*
		Ar atm	$0,67 + 0,0015x - 1,3429E-005x^2$	0,98*	$0,30 + 0,0068x - 5,6294E-005x^2$	0,97*
		-----	$0,68 + 0,0016x - 1,2492E-005x^2$	0,99*	$0,30 + 0,0053x - 3,7198E-005x^2$	0,98*
	BAIXA	O ₂	$1,00 - 0,009x + 5,1087E-005x^2$	0,96*	$0,30 + 0,001x - 1,9873E-005x^2$	0,83 ^{ns}
		Ar atm	$1,00 - 0,0084x + 4,6048E-005x^2$	0,94 ^{ns}	$0,32 - 0,0016x + 2,9841E-006x^2$	0,99*
		-----	$0,98 - 0,0088x + 5,1151E-005x^2$	0,84 ^{ns}	$0,31 - 0,0016x - 2,2111E-005x^2$	0,87 ^{ns}

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

ANEXO B. Figuras e Tabelas estatísticas do **CAPÍTULO IV** – “Hidrocondicionamento de sementes de milho na atividade de enzimas amilolíticas e correlação com a qualidade fisiológica.”

TABELA B1. Equações de regressão referentes a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais dos tipos de milho resultantes de sementes de alta qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

MILHO	ENZIMAS	INSUFLAÇÃO	EQUAÇÕES	R ²
MC	ALFA -AMILASE	O ₂	$59,04/(1 + ((x-62,48)/87,31)^2)$	0,99*
		AR ATM	$63,66/(1 + ((x-62,54)/80,70)^2)$	0,99*
		-----	$48,22/(1 + ((x-69,98)/131,93)^2)$	0,67 ^{ns}
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$3,96/(1+((x-57,27)/102,27)^2)$	0,96*
		AR ATM	$9,51/(1+((x-59,13)/37,24)^2)$	0,99*
		-----	$5,10/(1+((x-63,42)/53,69)^2)$	0,59 ^{ns}
MP	ALFA -AMILASE	O ₂	$166,47(1 + ((x-68,12)/59,02)^2)$	0,98*
		AR ATM	$160,84(1 + ((x-62,12)/55,72)^2)$	0,98*
		-----	$109,99(1 + ((x-63,21)/76,93)^2)$	0,92 ^{ns}
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$10,69/(1+((x-68,32)/35,10)^2)$	0,97*
		AR ATM	$16,60/(1+((x-61,46)/23,15)^2)$	0,96*
		-----	$7,82/(1+((x-101,30)/57,87)^2)$	0,95*
MD	ALFA -AMILASE	O ₂	$35,76(1 + ((x-56,64)/57,49)^2)$	0,96*
		AR ATM	$26,38(1 + ((x-44,79)/70,51)^2)$	0,88 ^{ns}
		-----	$33,86(1 + ((x-51,98)/57,18)^2)$	0,98*
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$0,85/(1+((x-65,54)/51,53)^2)$	0,99*
		AR ATM	$1,23/(1+((x-46,30)/33,89)^2)$	0,95*
		-----	$1,25/(1+((x-51,14)/43,90)^2)$	0,82 ^{ns}
MSD	ALFA -AMILASE	O ₂	$79,54/(1+((x-39,68)/45,38)^2)$	0,98*
		AR ATM	$48,27/(1+((x-22,49)/65,72)^2)$	0,98*
		-----	$38,31/(1+((x-0,00)/126,87)^2)$	0,82 ^{ns}
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$2,37/(1+((x-49,06)/38,94)^2)$	0,95*
		AR ATM	$1,86/(1+((x-42,61)/47,13)^2)$	0,74 ^{ns}
		-----	$3,02/(1+((x-44,76)/27,00)^2)$	0,97*

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.

TABELA B2. Equações de regressão referentes a atividade enzimática da alfa-amilase e amilases totais dos tipos de milho resultantes de sementes de baixa qualidade fisiológica, hidrocondicionadas durante distintos períodos, na ausência ou presença de insuflação de ar. Brasília, DF, 2024.

MILHO	ENZIMAS	INSUFLAÇÃO	EQUAÇÕES	R ²
MC	ALFA -AMILASE	O ₂	$88,69/(1+((x-70,12)/76,51)^2)$	0,96*
		AR ATM	$104/(1+((x-69,88)/60,06)^2)$	0,99*
		-----	$89,74/(1+((x-62,02)/52,15)^2)$	0,85 ^{ns}
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$9,31/(1+((x-58,54)/21,33)^2)$	0,97*
		AR ATM	$9,35/(1+((x-61,52)/29,4)^2)$	0,97*
		-----	$6,7/(1+((x-56,74)/44,79)^2)$	0,93 ^{ns}
MP	ALFA -AMILASE	O ₂	$262,69/(1+((x-49,82)/32,36)^2)$	0,96*
		AR ATM	$155,80/(1+((x-75,33)/102,56)^2)$	0,96*
		-----	$151,02/(1+((x-50,48)/61,78)^2)$	0,92 ^{ns}
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$5,9/(1+((x-32,84)/43,38)^2)$	0,97*
		AR ATM	$7,75/(1+((x-62,33)/61,79)^2)$	0,99*
		-----	$4,98/(1+((x-59,48)/33,79)^2)$	0,98*
MD	ALFA -AMILASE	O ₂	$65,71/(1+((x-51,72)/44,72)^2)$	0,96*
		AR ATM	$67,50/(1+((x-33,12)/33,13)^2)$	0,95*
		-----	$41,5/(1+((x-47,74)/67,56)^2)$	0,81 ^{ns}
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$1,17/(1+((x-0,00)/57,32)^2)$	0,92 ^{ns}
		AR ATM	$3,7/(1+((x-22,33)/15,05)^2)$	0,99*
		-----	$1,3/(1+((x-18,75)/50,55)^2)$	0,99*
MSD	ALFA -AMILASE	O ₂	$68,45/(1+((x-0,00)/65,39)^2)$	0,98*
		AR ATM	$75,28/(1+((x-25,49)/89,43)^2)$	0,99*
		-----	$63,45/(1+((x-0,00)/47,08)^2)$	0,81 ^{ns}
	AMILASES TOTAIS	O ₂	$1,05/(1+((x-39,51)/66,34)^2)$	0,99*
		AR ATM	$1,39/(1+((x-50,36)/49,29)^2)$	0,95*
		-----	$0,98/(1+((x-64,33)/40,64)^2)$	0,87 ^{ns}

Legenda: *significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t. ns: não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2023. MC = milho convencional, MP= milho pipoca, MD= milho doce, MSD = milho super doce.