

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes**



Tese

**Adubação fosfatada e características de sementes de amaranto produzidas no  
sul do Brasil**

**Thaís D'Avila Rosa**

Pelotas, 2018

**Thaís D'Avila Rosa**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E CARACTERÍSTICAS DE SEMENTES DE  
AMARANTO PRODUZIDAS NO SUL DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área de conhecimento: Ciência e Tecnologia de Sementes).

**Orientador:**

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela

**Co-Orientador:**

Dr<sup>a</sup>. Caroline Costa Jacome

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas

Catálogo na Publicação



Thaís D'Avila Rosa

**Adubação fosfatada e características de sementes de amaranto produzidas no sul do Brasil**

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências e Tecnologia de Sementes, Curso de Pós-Graduação em ciências e Tecnologia pela Universidade Federal de Pelotas.

Data de defesa: 03/10/018

Banca Examinadora:

.....  
Prof. Dr Francisco Amaral Villela (Orientador)  
Doutor em Fitotecnia pela Universidade de São Paulo

.....  
Dra. Caroline Jacome Costa  
Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Dr<sup>a</sup>. Elisa Lemes  
Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gizele Ingrid Gadotti  
Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Dr. Ivan Ricardo Carvalho  
Doutor em Fitomelhoramento pela Universidade Federal de Pelotas

Aos meus pais, Mario e Denise;  
Aos meus irmãos, Rodrigo, Thaiany e Thailon.

OFEREÇO E DEDICO

“Não importa o que você seja, quem você seja, ou que deseje na vida,  
a ousadia em ser diferente reflete na sua personalidade,  
no seu caráter,  
naquilo que você é.  
E é assim que as pessoas lembrarão de você um dia.”

(Ayrton Senna)

## **Agradecimentos**

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por guiar e iluminar meu caminho, fazendo acreditar que com a fé tudo é possível.

Aos meus pais, Mário e Denise, por todo amor e dedicação, sacrificando-se dos seus sonhos em favor dos meus. Dedico essa conquista a vocês.

Aos meus irmãos, Rodrigo, Thaiany e Thailon, pela amizade, companheirismo, amor e força, comemorando sempre minhas vitórias, EU AMO VOCÊS!

Ao meu parceiro, amigo e namorado Gabriel Valente por todo amor e carinho, por torcer por mim.

Ao Prof<sup>o</sup> Francisco Amaral Villela, acima de tudo pela amizade e orientação, por dividir comigo seu conhecimento e experiência, por acreditar e confiar em mim. Obrigada por toda dedicação, tendo extrema importância nesta conquista profissional e pessoal.

A pesquisadora Caroline Costa Jacome e a professora Gizele Ingrid Gadotti, pela receptividade, orientação, e profissionalismo. Obrigada por todo ensinamento e cooperação nesse trabalho.

Ao pós doutorando Ivan Ricardo Carvalho pela revisão e auxílio na elaboração da tese. Meu muito obrigada!

A todos meus colegas de pós graduação e em especial aos meus queridos amigos Vanessa Soares, Ariele Nadal, Henrique Maldaner, Filipe Mattos, Diego Medeiros, Jonas Gularte, pela parceria, cumplicidade e comprometimento! Essa conquista também é de vocês. Obrigada por tudo!

A equipe do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, pela cooperação e auxílio sempre que solicitados e, principalmente pela amizade.

Agradeço a todos que de alguma forma, fizeram parte da minha caminhada, torcendo pelo meu sucesso. Em especial aos que me brindaram com alegria, companheirismo e amizade sincera. Amigos são os irmãos que podemos escolher.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (Capes) – Projeto

CAPES/EMBRAPA e MEC/MCTI/CAPES/CNPq/FAPs Auxílio  
88881.030458/2013-01.

Obrigada!

## Resumo

Rosa, Thaís D'Avila. **Adubação fosfatada e características de sementes de amaranto produzidas no sul do Brasil**. 2018. 70f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

O *Amaranthus cruentus* é uma espécie considerada pseudocereal pertence à família Amaranthaceae, possuindo características agrônômicas desejáveis capazes de se tornar uma opção de cultivo da entressafra na região sul do país. Contudo, há ausência de informações na literatura sobre sua produção. Em vista do exposto, objetivou-se com este trabalho: avaliar os efeitos da adubação fosfatada e inter-relações dos caracteres agrônômicos e fisiológicos das sementes de amaranto (Capítulo I); avaliar a qualidade fisiológica de sementes de amaranto através da condutividade elétrica e envelhecimento acelerado (Capítulo II); e aferir as características físicas de sementes de pseudocereais (Capítulo III). Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que a espécie de *Amaranthus cruentus* expressa variabilidade aos atributos morfológicos, componentes do rendimento e qualidade de sementes produzidas frente ao uso de adubação fosfatada. Doses compreendendo de 100 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tendem a potencializar a altura das plantas, acúmulo de biomassa seca, rendimento, germinação e vigor das sementes produzidas. Plantas com maior estatura e acúmulo de biomassa incrementam a proporção de pigmentos fotossintetizantes, sendo estes determinantes para a produção e qualidade de sementes produzidas de amaranto no extremo sul do Brasil. Quanto à qualidade fisiológica das sementes o teste de envelhecimento acelerado a 41 °C no período de 72 h com uso de solução salina não saturada de NaCl é eficiente na classificação de lotes de sementes de amaranto, em níveis de vigor. O teste de condutividade elétrica conduzido no período de oito horas com 25 mL de água e 100 sementes possibilita a classificação de lotes de sementes de amaranto quanto ao potencial fisiológico. Quanto às características físicas os resultados para o teor de água de 13,1% de amaranto os resultados de porosidade foram, respectivamente, de 35,5% e o ângulo de talude de 25° amaranto. O comprimento, largura e espessura foram de 0,825mm, 1,287mm e 1,389mm para sementes de amaranto. A esfericidade foi de 93% para semente de amaranto. Quando avaliado a propriedade elétrica, os valores da permissividade foram de 3,26 em amaranto. A massa específica e peso de mil sementes para amaranto foram de 804,7 kg.m<sup>-3</sup> e 0,78g.

**Palavras-chave:** características agrônômicas, fósforo, qualidade fisiológica.

## Abstract

ROSA, Thaís D'Avila. **Phosphate fertilization and characteristics of amaranth seeds produced in southern Brazil**. 2018. 70f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

*Amaranthus cruentus* is a species considered pseudocereal belonging to the family Amaranthaceae, possessing desirable agronomic characteristics capable of becoming an option of cultivating the off season in the southern region of the country. However, there is no information in the literature about its production. In view of the above, the objective of this work was to evaluate the effects of phosphate fertilization and interrelations of the agronomic and physiological characteristics of amaranth seeds (Chapter I); to evaluate the physiological quality of amaranth seeds through electrical conductivity and accelerated aging (Chapter II); and to assess the physical characteristics of pseudocereal seeds (Chapter III). Based on the results obtained it is possible to conclude that the *Amaranthus cruentus* species expresses variability to the morphological attributes, yield components and seed quality produced in relation to the use of phosphate fertilization. Doses comprising 100 to 200 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tend to potentiate plant height, dry biomass accumulation, yield, germination and vigor of the seeds produced. Plants with greater stature and accumulation of biomass increase the proportion of photosynthetic pigments, being these determinants for the production and quality of seeds produced of amaranth in the extreme south of Brazil. Regarding the physiological quality of the seeds, the accelerated aging test at 41 ° C in the 72-h period with the use of unsaturated NaCl salt solution is efficient in the classification of amaranth seed lots at vigor levels. The electrical conductivity test conducted in the eight - hour period with 25 mL of water and 100 seeds allowed the classification of lots of amaranth seeds as to the physiological potential. Regarding the physical characteristics the results for the water content of 13.1% of amaranth the porosity results were, respectively, 35.5% and the slope angle of 25 ° amaranth. The length, width and thickness were 0.825mm, 1.287mm and 1.389mm for amaranth seeds. Sphericity was 93% for amaranth seed. When the electrical property was evaluated, the permittivity values were 3.26 in amaranth. The specific mass and weight of one thousand amaranth seeds were 804.7 kg.m<sup>-3</sup> and 0.78g.

**Keywords:** agronomic characteristics, phosphor, physiological quality

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Inflorescência do amaranto ( <i>Amaranthus cruentus</i> ). Embrapa, Pelotas, RS, 2015/16.....	16
<b>Figura 2.</b> Cultivar BRS Alegria ( <i>Amaranthus cruentus</i> ). Embrapa, Pelotas, RS, 2015/16. ....	17
<b>Figura 3.</b> Altura de plantas de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50,100, 200 e 400 Kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), cultivada no estado do Rio Grande do Sul .....	30
<b>Figura 4.</b> Massa da matéria seca de plantas de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 Kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), cultivado no estado do Rio Grande do Sul. ....	31
<b>Figura 5.</b> Rendimento de sementes em plantas de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50,100, 200 e 400 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), cultivado no estado do Rio Grande do Sul. ....	32
<b>Figura 6.</b> Percentual de germinação de sementes de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), produzidas no estado do Rio Grande do Sul.....	33
<b>Figura 7.</b> Germinação de sementes de amaranto, cultivar BRS Alegria, submetidas ao teste de envelhecimento acelerado, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), produzidas no estado do Rio Grande do Sul. ....	34
<b>Figura 8.</b> Cilindros metálicos concêntricos ligados ao medidor de capacitância ...	598
<b>Figura 9.</b> Sensor capacitivo cilíndrico para determinação da propriedade dielétrica das sementes. ....	59
<b>Figura 10.</b> Massa de sementes contida numa unidade de volume.....	59
<b>Figura 11.</b> Dimensões tridimensionais (largura, espessura e comprimento mm) de sementes de amaranto (BRS Alegria) .....	62

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1.</b> Análise de variância para os caracteres germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), altura das plantas (AP), massa seca da parte aérea das plantas (MS), rendimento de sementes (RS) e índice de clorofila (IC), referentes à cultivar de amaranto BRS Alegria, produzida em diferentes doses de $P_2O_5$ , no estado do Rio Grande do Sul. ....	29
<b>Tabela 2.</b> Correlação linear e canônica aplicada a caracteres morfológicos e fisiológicos da cultivar de amaranto BRS Alegria, cultivada com aplicação de diferentes doses de $P_2O_5$ , no estado do Rio Grande do Sul. ....	35
<b>Tabela 3.</b> Teor de água (TA) inicial e obtido após três períodos de envelhecimento acelerado, a 41 °C, em sementes de amaranto. ....	44
<b>Tabela 4.</b> Resultados dos testes de germinação, primeira contagem de germinação e emergência em canteiro de cinco lotes de sementes de amaranto. ....	45
<b>Tabela 5.</b> Resultados do teste de envelhecimento acelerado, utilizando diferentes soluções (método tradicional (água), solução salina (11% de NaCl), solução salina concentrada (40% de NaCl), e três períodos de exposição ao teste, para sementes de amaranto ....	46
<b>Tabela 6.</b> Condutividade elétrica ( $\mu S.cm^{-1}.g^{-1}$ ) em cinco lotes de sementes de amaranto em função do número de sementes, volume de água e períodos de hidratação. ....	48
<b>Tabela 7.</b> Coeficientes de correlação linear simples (r) entre os testes de envelhecimento acelerado e a emergência de plântulas originadas de sementes de cinco lotes de sementes de <i>Amaranthus cruentus</i> . ....	49
<b>Tabela 8.</b> Coeficientes de correlação linear simples (r) entre os testes de condutividade elétrica e a emergência em campo de cinco lotes de sementes de <i>Amaranthus cruentus</i> com diferentes níveis de qualidade fisiológica ....	50
<b>Tabela 9.</b> Medidas obtidas para esfericidade (%), porosidade (%) e ângulo de repouso (°) das sementes de amaranto. ....	61
<b>Tabela 10.</b> Valores observados das dimensões tridimensionais (largura, espessura e comprimento em mm) de sementes de amaranto ....	62
<b>Tabela 11.</b> Medidas obtidas para permissividade dielétrica relativa, massa específica ( $kg m^{-3}$ ) e massa de 1000 sementes (g) das sementes de amaranto. ....	63

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
2.1 Antecedentes gerais.....	12
2.2 Classificação Botânica .....	14
2.3 Características Gerais .....	14
2.4 Cultivar BRS Alegria .....	16
2.5 Época de semeadura.....	18
2.6 Densidade de semeadura.....	18
2.7 Adubação .....	19
2.8 Referências Bibliográficas .....	20
<b>3. CAPÍTULO I .....</b>	<b>24</b>
<b>ADUBAÇÃO FOSFATADA E INTER-RELAÇÕES DOS CARACTERES AGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS DAS SEMENTES DE AMARANTO</b>	
3.1 Introdução .....	24
3.2 Material e métodos .....	25
3.3 Resultados e discussão.....	28
3.4 Conclusão .....	36
3.5 Referências bibliográficas .....	36
<b>4. CAPÍTULO II .....</b>	<b>39</b>
<b>CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE AMARANTO</b>	
4.1 Introdução .....	39
4.2 Material e métodos .....	41
4.3 Resultados e discussão.....	43
4.4 Conclusões .....	51
4.5 Referências bibliográficas .....	51
<b>5. CAPÍTULO III .....</b>	<b>55</b>
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMENTES DE AMARANTO</b>	
5.1 Introdução .....	55
5.2 Material e métodos .....	57
5.3 Resultados e discussão.....	60
5.4 Conclusões .....	65
5.5 Referências bibliográficas .....	65
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>68</b>





## 1. INTRODUÇÃO

A diversificação do sistema produtivo de uma região é fator considerável, sendo sua principal vantagem a redução dos riscos e incertezas da exploração agrícola de um monocultivo. A sua adoção pode gerar ganhos econômicos diretos e indiretos vinculados, principalmente, à redução dos custos de produção, à obtenção de vantagens ambientais e à redução do impacto econômico oriundo de diversas crises no setor rural. Assim, a diversificação é a melhor forma de evitar as incertezas e vulnerabilidades referentes ao clima, mercado, pragas e doenças (PELINSKI, 2006).

Os pseudocereais são culturas que vem sendo estudadas nos últimos anos devido a sua versatilidade e adaptação aos mais variados ambientes em seus locais de origem, além de sua comprovada contribuição para a complementação da alimentação humana e animal e seu elevado valor de mercado. Devido a essas características os pseudocereais levantam a possibilidade de incorporação como diversificação no sistema produtivo de uma região.

Mesmo com diversos estudos, são poucas as informações disponíveis sobre a adaptação dessas culturas na região sul do Brasil, tampouco sobre práticas de manejo, incluindo época e densidade de semeadura, níveis de adubação, época e momento de colheita, manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, entre outras questões relevantes para o setor produtivo que possam orientar a incorporação das espécies em sistemas de produção que buscam a diversificação e a ampliação das fontes de renda, bem como a produção agrícola em bases sustentáveis.

Dentre os pseudocereais, uma das culturas que vem ganhando destaque é o amaranto (*Amaranthus* spp.), espécie promissora que podem ser utilizadas como alternativa para diversificação dos sistemas de produção agrícola, podendo ser empregadas na proteção do solo, como forragem e para produção de grãos de elevado valor nutritivo (SPEHAR, 2007).

O aumento da pressão pela diversificação dos sistemas de produção agrícola e a necessidade de adoção de práticas de produção mais sustentáveis do ponto de vista ambiental têm evidenciado a importância dessa espécie como opção

para incorporação no sistema de produção, seja como cultivos rotacionados ou sucessivos, contribuindo para a redução do uso de insumos, sobretudo em pequenas propriedades agrícolas, com impactos favoráveis ao ambiente e à saúde humana (SPEHAR, 2006).

Devido à crescente importância da cultura, equalizando a sua oferta e demanda e considerando os bons preços do mercado é necessário melhorar o desempenho e garantir a produção de boa qualidade. Atualmente não há referência quanto à época e densidade de semeadura, recomendação de adubação dessas culturas na região sul do país, sendo de grande relevância pesquisas frente a essa ausência de informações a fim de viabilizar e validar metodologias para conhecer a qualidade de sementes dessas espécies.

Portanto, os objetivos desse trabalho foram: uma revisão bibliográfica sobre a cultura do amaranto; Capítulo I, avaliar o efeito de diferentes doses de fósforo no crescimento e desenvolvimento das plantas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) e na qualidade fisiológica das sementes produzidas, bem como, identificar as inter-relações entre os atributos morfológicos e fisiológicos; Capítulo II, o objetivo deste trabalho foi determinar as condições adequadas para condução dos testes de condutividade elétrica, do teste de envelhecimento acelerado em sementes de amaranto e estabelecer a correlação com o teste de emergência em canteiro; e Capítulo III, avaliar as propriedades físicas de sementes de amaranto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Antecedentes gerais

O amaranto (*Amaranthus* ssp.) é um pseudocereal da classe das dicotiledôneas, pertencente à família Amaranthaceae (TEIXEIRA; SPEHAR; SOUZA, 2003), subfamília Amaranthoidae, o gênero *Amaranthus* contém cerca de 70 espécies, 40 das quais são nativas da América (PINTO, 2007). Originário dos Andes e do planalto mexicano, já era cultivado pelas civilizações Inca e Asteca há mais de 2.000 anos, porém, só foi disseminado pela Europa, África e Ásia após a chegada dos espanhóis no continente americano (TEIXEIRA; SPEHAR; SOUZA, 2003).

Este pseudocereal foi importante tanto na alimentação como em práticas religiosas para os Astecas. Tinha como sinônimos: grãos místicos dos astecas, super grão dos astecas, e grãos dourados dos Deuses descreviam seu aspecto nutritivo. Utilizados para nutrir os infantes e para prover energia e força aos soldados nas jornadas prolongadas (COSTA; BORGES, 2005).

Possui um elevado potencial de aumento da sua produção e consumo mundial, em especial nas regiões tropicais, onde pode ser cultivado em rotação com a cultura da soja (FERREIRA; ARÊAS, 2004). É uma planta de cultivo fácil, nutritiva e sabor agradável, ademais, apresenta elevado teor de proteínas, e excelente alternativa para nutrição humana (COSTA; BORGES, 2005).

Utilizada sob a forma de folhas, em regiões tropicais e subtropicais, o amaranto foi uma planta de grande importância principalmente para os povos astecas, maias e incas, onde era utilizada juntamente com o milho, feijão e abóbora. A coleta de suas folhas tem sido prática comum mesmo na atualidade, entre muitos povos (RIVERO, 1994, TAPIA 1997, MUJICA-SÁNCHEZ et al., 1997).

A utilização na China é como forrageira, já na África, Ásia e nas Américas como hortaliça. Nos Estados Unidos, seu grão é processado em forma de pães, biscoitos e alimentos especiais para pessoas celíacas (TEIXEIRA; SPEHAR; SOUZA, 2003).

Das várias espécies de amaranto, três foram selecionadas ao longo dos anos para o consumo humano e animal. *A. hypochondriacus* (pena do príncipe) e *A. cruentus* (amaranto roxo) são comumente cultivados para grãos, enquanto *A. tricolor* (tampala) é cultivado principalmente para as folhas. Um terceiro tipo de amaranto é *A. caudatus*, embora seja frequentemente cultivado mais como planta ornamental, também pode ser cultivado para grãos. Quando usado como tipo grão, variedades de *A. caudatus* são mais bem adaptados para as terras tropicais altas. Outros amarantos vegetais são representados por *A. dubius*, *A. blitum* e *A. cruentus* (amaranto roxo), as espécies daninhas são representadas por *A. retroflexus* (caruru), *A. albus* (cardo) e *A. spinosus* (espinhoso amaranto) (O'BRIEN; PRICE, 2008).

Atualmente, foi detectado a presença de *Amaranthus palmeri* em áreas agrícolas no estado do Mato Grosso, essa espécie é considerada principal planta

daninha das lavouras de algodão nos Estados Unidos, no Brasil essa espécie foi primeiramente encontrada em regiões cujo manejo é a rotação de cultura com algodão, soja e milho. A atenção para a presença dessa espécie em áreas de cultivo da região central do Brasil é devido à ausência de fitotoxicidade nas plantas após a aplicação do herbicida glifosato (JUNIOR et al. 2015).

A introdução dessa espécie no Brasil é relativamente recente. No caso de amaranto, ocorreu nos anos 1990, como alternativa para diversificação do sistema de produção agrícola do Cerrado (SPEHAR, 2007). Entretanto, os estudos com essa espécie sofreram descontinuidade, o que limitou a disponibilidade de informações importantes relativas ao seu manejo e incorporação em sistemas agrícolas produtivos, assim como o desenvolvimento e lançamento de cultivares adaptadas ao cultivo nas mais variadas regiões produtoras do País.

## 2.2 Classificação Botânica

O amaranto é uma planta que pertence à família das amarantáceas, dividida em 70 gêneros e mais de 850 espécies. O gênero *Amaranthus* com mais de 60 espécies, onde são descritas algumas das mais importantes e conhecidas como *A. caudatus*; *A. cruentus*, *A. blitum*; *A. viridis* (MUJICA- SÁNCHEZ et al., 1997).

Entre as espécies ocorrem discrepância e dificuldade em relação à definição, pois há semelhança entre elas. O gênero apresenta ampla dispersão, todavia em clima temperado extremo essa espécie não é encontrada. Na literatura há relatos em pesquisas com iso-enzimas e marcadores moleculares, que apontam origem comum entre as espécies da América sendo, o *Amaranthus hybridus* (CHAN E SUN, 1997).

## 2.3 Características Gerais

Considerada uma espécie anual herbácea ou arbustiva, o amaranto possui diversas cores da inflorescência variando desde o verde até roxa ou púrpura. A raiz é pivotante, com abundante ramificação e múltiplas radículas finas que se estende após a ramificação do caule, esse fator torna-se importante, pois favorece a cultura na eficiência de absorção de água e nutrientes (SPEHAR, 2007).

A raiz principal dá suporte à planta, o que permite sustentar o peso da panícula, principalmente quando os grãos estão cheios. Antes da maturação fisiológica, as raízes primárias apresentam consistência lenhosa, ancorando a planta quando ela cresce isolada.

O caule do amaranto, que também pode ser chamado de colmo, é cilíndrico e anguloso, com grossas estrias longitudinais, apresenta cores distintas, que na maioria das vezes podem coincidir com as folhas (SPEHAR, 2007). A sua ramificação ocorre na base, sendo o número de ramificações afetado pela densidade populacional da cultura, plantas mantidas isoladas, por exemplo, tendem a ramificar mais (SPEHAR, 2007).

As folhas são do tipo pecioladas, sem estípulas, ovais, elípticas, opostas ou alternadas, com nervura proeminente na face abaxial; lisas ou pouco pubescentes, sua cor pode variar do verde ou roxo, seu comprimento varia entre 6,5 e 15,0 cm (SUMAR, 1993; TAPIA, 1997).

A inflorescência é constituída por panículas amarantiformes ou glomeruladas, axilares ou terminais, podem ser eretas inclinadas ou decumbentes, com cores variando entre o vermelho, amarelo, roxo ou rosado (figura1). Dependendo do ambiente em que se encontra, sendo fatores como fertilidade do solo, estresse hídrico e época de sementeira o seu tamanho pode variar (SPEHAR, 2007).

A maior parte das plantas de amaranto são monóicas (BRENNER et al. 2000), autógamias, com algumas variações no percentual de polinização cruzada nas cultivares. As flores são unissexuais consideradas pequenas, no ápice são estaminadas e abaixo são pistiladas, completando o glomérulo (TAPIA, 1997).

O fruto é uma cápsula pequena que se denomina pixídio unilocular. Na maturação, a cápsula se abre de forma transversal, deixando cair à parte superior, o opérculo, descobrindo a parte inferior onde se encontra a semente. De modo geral, são deiscentes deixando cair às sementes (SÁNCHEZ, 1980).

A semente possui de 1 a 1,5mm de diâmetro, é lisa e brilhante, a cor pode variar entre bege, amarelada, vermelha, roxo, marrom ou preta. O número de sementes por grama pode variar 3000g em espécies silvestres e 1000g em espécies cultivadas (NIETO, 1990).

As características nutricionais dos grãos são bastante positivas, apresentando percentual proteico 12–17%, com perfil de aminoácidos balanceado com alta quantidade de lisina. Este aminoácido está presente nos grãos em uma faixa compreendida entre 0,73–0,84% do conteúdo total de proteína. Apresentando assim, valor nutricional equivalente ao leite, à carne e ao ovo. Os grãos são ricos em fibras e baixos níveis de gorduras saturadas. O teor de óleo varia de 6–10%, destes 76% são insaturados e ricos em ácido linoléico. Apresenta tocotrienóis, antioxidantes semelhantes à vitamina E e importantes na inibição da peroxidação lipídica e de toda a sua consequência. Além dessas principais características, contém nível elevado de cálcio, ferro e sódio. Não somente os grãos, mas suas folhas, os caules são ricos em proteínas, apresentando, em matéria seca, uma faixa de 15–24% e são fontes de betacaroteno (COSTA; BORGES, 2005).



**Figura 1.** Inflorescência do amaranto (*Amaranthus cruentus*). Embrapa, Pelotas, RS, 2015/16.

#### **2.4 Cultivar BRS Alegria**

O *A. cruentus* BRS Alegria é originado da linhagem de *A. cruentus* AM 5189, procedente dos Estados Unidos. A partir do ano 1998, após dois anos de pesquisa, realizou-se seleção massal em AM 5189 e uniformizou-se em relação às características agrônômicas (SPEHAR et al. 2013).

Essa cultivar apresenta características aceitáveis em relação à produção de grãos e biomassa, e período relativamente curto entre a emergência e maturidade. Esses fatores a tornam uma cultura com potencial produtivo satisfatório no sistema de semeadura.

A BRS Alegria possui hipocótilo e caule com coloração rósea, folhas verdes, grandes e alongadas, com nervuras de coloração rósea na face abaxial. A inflorescência diferenciada é terminal, compacta e apresenta coloração rósea, a qual permanece mesmo após a planta atingir a maturidade fisiológica. Os grãos estão contidos em frutos deiscentes do tipo pixídio, são arredondados, de coloração bege. As plantas demoram a secar após a maturação; quando a semeadura se dá no período da safrinha, as plantas amadurecem em pleno período de seca no Cerrado, o que permite a secagem e colheita dos grãos (SPEHAR et al., 2003).



**Figura 2.** Cultivar BRS Alegria (*Amaranthus cruentus*). Embrapa, Pelotas, RS, 2015/16.

A planta apresenta estatura média de 180 cm, da qual a inflorescência ocupa 48 cm. Os grãos prontos para o armazenamento, com umidade de 12%, apresentam peso médio de 0,68 g por 1.000 grãos e conteúdo de proteína de 15%; maturidade fisiológica aos 90 dias; resistência ao acamamento; com produção de 2,3 t.ha<sup>-1</sup> (sementes) e 5,6 t.ha<sup>-1</sup> (biomassa total) (FERREIRA, 2012).

O diâmetro máximo do caule da planta de amaranto se define aos 40 dias após a emergência, permitindo inferências sobre o crescimento e a reprodução. A

planta de amaranto representa porte reduzido até 30 dias após a emergência, quando se inicia a fase de crescimento rápido, atingindo o máximo aos 80 dias, enquanto a área foliar atinge seu valor máximo aos 60 dias, devido ao fluxo intenso de fotoassimilados, com translocação das folhas basais, em senescência, para as folhas superiores (TEIXEIRA, 2011).

O acúmulo da matéria seca se acelera aos 40 dias permanecendo linear até os 80 dias, após a emergência estando associado ao crescimento e à reprodução. Em 35 dias após o início da antese o comprimento e a largura da inflorescência atingem o valor máximo, enquanto o enchimento de grãos se completa em 20 dias. O peso dos grãos aumenta atingindo o máximo valor entre 60 e 70 dias após a emergência (TEIXEIRA, 2011).

## **2.5 Épocas de semeadura**

A produção de amaranto tem por objetivo a diversificação da produção de grãos, portanto é importante a definição da melhor época de semeadura para atingir altos rendimentos, com produto final com padrões aceitáveis de qualidade (SPEHAR, 1998).

Pesquisas com amaranto no Brasil Central, desenvolvidos utilizando 60 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 46 kg.ha<sup>-1</sup> de P e 60 kg.ha<sup>-1</sup> de K, onde foram avaliados fatores como altura de planta, produção de grãos, produção total de biomassa, diâmetro do caule. Nas épocas utilizadas, a avaliação do desempenho dos genótipos tem sido observada através dos componentes de rendimento (SPEHAR, 2007).

Na ausência de adversidades na condução do cultivo, como estresse hídrico, geadas, baixa fertilidade do solo é possível obter rendimentos consideráveis (SPEHAR, 2007).

## **2.6 Densidades de semeadura**

A densidade de semeadura tem papel importante na produção do cultivo. Variações na densidade podem exercer efeitos positivos ou negativos no rendimento de grãos e outros parâmetros agrônômicos (FERREIRA, 2012).

O espaçamento e a densidade de semeadura são componentes tecnológicos que definem a população e o arranjo de plantas, podendo interferir no

rendimento e nas operações a serem realizadas em uma lavoura (ANDRADE, 1999).

Na semeadura de amaranto, a alta densidade modifica a estrutura da planta (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984). Em estudos realizados, a variável resposta para diferentes densidades populacionais de amaranto foram: altura da planta, diâmetro do caule, comprimento da inflorescência, rendimento de grãos, e, adicionalmente, a produtividade de grãos por planta e massa de 1.000 grãos (APAZA-GUTIERREZ et al., 2002).

Segundo o estudo sobre o espaçamento entre linhas e seus efeitos sobre a população e o rendimento de grãos de amaranto, em Dakota do Norte (EUA), Henderson et al. (1993) relataram que os maiores rendimentos de grãos de amaranto foram obtidos no local que recebeu mais chuva durante a estação de crescimento. A menor população, 74.000 plantas por hectare, obteve a maior produção de grãos. O espaçamento entre linhas não teve nenhum efeito na menor população, enquanto nas populações mais altas, mais grão foi produzido com espaçamento maior (76,2 cm). Com as linhas mais amplas, dentro de cada linha as plantas foram espaçadas bem próximas, levando ao aumento da concorrência em populações elevadas (de maior densidade). Esta competição entre plantas causou perdas substanciais em número de plantas após o estabelecimento. O rendimento de grãos das plantas que sobreviveram foi maior como resultado da baixa população de plantas que sobreviveram nas linhas mais amplas.

Nos estudos de Ferreira (2012), em solos de Cerrado, para pesos de matéria seca, panícula e grãos, as maiores densidades de semeadura, em geral, apresentaram as mesmas tendências e ofereceram melhores respostas, enquanto para altura de planta, comprimento e largura de panícula e diâmetro de caule, quanto maior o número de plantas por área, menores foram os valores obtidos.

## **2.7 Adubação**

Ainda são necessários estudos acerca da melhor adubação da cultura do amaranto, visando o melhor aproveitamento de rendimento. Nos países dos Andes onde o amaranto é utilizado em rotação com outras culturas, a adubação não é realizada, já nos Estados Unidos em que a cultura é semeada em nível comercial a

adubação é realizada a fim de garantir as exigências mínimas para a cultura, através da análise de solo (SPEHAR, 2007).

Pode-se afirmar que a cultura do amaranto, é muito exigente em cálcio e magnésio, com base na análise foliar, porém deve-se evitar o excesso de calagem, ou níveis de pH com valores acima de 6,5, que pode gerar deficiências de micronutrientes.

Com relação ao nitrogênio, os altos conteúdos de proteína na semente e na folha, são referências para o suprimento do nitrogênio. O amaranto requer cerca de 25 kg.ha<sup>-1</sup> por tonelada de grão que se espera produzir (SPEHAR, 2007).

Para fósforo são requeridas doses de 60 a 80 kg.ha<sup>-1</sup> como manutenção, em condições ótimas de cultivo, quanto ao suprimento de potássio o amaranto é mais exigente que a cultura da soja, por exemplo, necessitando ser aplicados pelo menos 80 kg.ha<sup>-1</sup> (SPEHAR, 2007).

O suprimento de potássio na cultura do amaranto requer aplicações de 80 kg há<sup>-1</sup> para rendimentos superiores a 2,0 t.ha<sup>-1</sup>. Da mesma forma que, para os demais elementos, caso a safrinha seja uma atividade de risco, reduzem-se custos, e a lavoura é estabelecida sem adubo, aproveitando-se o resíduo do cultivo principal (SPEHAR, 2007).

Face a importância do estudo da resposta das sementes de amaranto durante seu cultivo em campo na região sul do país, além da escassez de estudos científicos sobre o tema, é relevante estudar a qualidade fisiológica e o potencial de produção da cultura do amaranto a fim de garantir bom desempenho e máxima qualidade fisiológica das sementes.

## **2.8 Referências Bibliográficas**

- ANDRADE, F. P.; FREIRE, E. C.; COSTA, J. N.; PEDROSA, M. B. **Melhoramento do algodoeiro de fibras longas para cultivo sob condições irrigadas no Nordeste do Brasil**. In: II Congresso Brasileiro de Algodão, 1999, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: EMBRAPA/CNPA, 566 -568 p. 1999.
- APAZA-GUTIERREZ, V.; ROMERO-SARAVIA, V.; GUILLÉN-PORTAL, F.R. and BALTENSBERGER, D.D. Response of grain amaranth production to density and

- fertilization in Tarija, Bolivia. **Trends in new crops and new uses**. Janick, J., Whipkey, A. (Eds.), ASHS Press, Alexandria, VA, 107 -109 p. 2002.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.
- BRENNER, D. M. et al. Genetic resources and breeding of *Amaranthus*. In: JANICK, J. (Ed.). **Plant Breed. Rev.** v. 19. p. 227-285, 2000.
- CHAN, K.M.; SUN, M. Genetic diversity and relationships detected by isozyme and RAPD analysis of crop and wild species of *Amaranthus*. **Theoretical and Applied Genetics**, v.95, p.865-873.1997.
- COSTA, D. M. A; BORGES, A. S. **Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*)**. Holos. Rio Grande do Norte: Instituto Federal do Rio Grande do Norte, ano 21, maio, 98 -111 p. 2005.
- COSTA, D.M.A. **Impactos do estresse salino e da cobertura morta nas características químicas do solo e no desenvolvimento do amaranto**. 124 f. (Tese Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2007.
- FERREIRA, T.A.P.C.; ARÊAS, J.A.G. Protein biological value of extruded, raw and toasted amaranth grain. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 1, p. 53-59, 2004.
- FERREIRA, C. C. **Efeito da densidade de plantas e doses de nitrogênio sobre a produtividade, fenologia e composição organomineral de amaranto em latossolo de cerrado**. 59 f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 2012.
- HENDERSON, T.L., SCHNEITER, A.A., RIVELAND, N. **Row spacing and population effects on yield of grain amaranth in North Dakota**. In: Janick, V., Simon, J.E. (Eds.), *New crops*. Wiley, New York, 219 -221 p. 1993.
- JUNIOR, E. R. A; CAVENAGHI, A.L; GUIMARÃES, S.C; CARVALHO, S.J.P; **Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no estado de Mato Grosso**. Circular Técnica, Instituto Mato-grossense do Algodão, 2015.

- MUJICA-SÁNCHEZ, A., BERTI-DÍAZ, M.; IZQUIERDO, J. El Cultivo del Amaranto (*Amaranthus* spp.): producción, mejoramiento genético y utilización. FAO – Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe: Santiago, Chile. 1997.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Amaranth: Modern Prospects for an Ancient Crop**. National Academy Press, Washington, D.C., 96 p. 1984.
- NIETO, C. El cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.): una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea nº52. Quito, Ecuador. 1990.
- O'BRIEN, K; PRICE, M. L. Amaranth – grains and vegetable types. **Echo Technical Note**, Flórida, USA, n. 33917, 15 p. 2008.
- PELINSKI, A., AHRENS, D. C., MILLÉO, R. D. S., ZEMKE, E., BENASSI, D. A., & RICHTER, A. S. A diversificação no incremento da renda da propriedade familiar agroecológica. In **Congresso Brasileiro de Agroecologia**, 2006.
- PINTO, W.C. Las especies del género *Amaranthus* (amaranthaceae) en Venezuela. **Rev. Fav. Agron.**, v. 24 (supl.), p. 190-195, 2007.
- RIVERO, J. L. L. **Genética y Mejoramiento de cultivos alto andinos**. Puno, Peru : PIWA, 1994. 459 p.
- SANCHES, M.A. **Potencial Agroindustrial del Amaranto**. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. México. 1980.
- SPEHAR, C. R. Production systems in the savannas of Brazil: Key factors to sustainability. In: LAL, R. (Ed.). **Soil quality and agricultural sustainability**. Chelsea: Ann Arbor Press, 1998. p. 301-318.
- SPEHAR, C. R., TEIXEIRA, D. L.; SANTOS, R. L.; LARA CABEZAS, W. A. R.; ERASMO, E. A. L. Amaranto BRS Alegria – alternativa para diversificar os sistemas de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, 85 -91p. 2003.
- SPEHAR, C.R. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.23, n.1, p.41-62, 2006.
- SPEHAR, C.R. (Ed.). **Amaranto: opção para diversificar a agricultura e os alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 136p.
- SUMAR, K.L. 1993. La kiwicha y su cultivo. Centro Bartolomé de las Casas. Cusco, Peru.

TAPIA, M. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Santiago, Chile: Oficina Regional de la FAO para la América Latina y Caribe, 1997. 217 p.

TEIXEIRA, D.L.; SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.C. Caracterização agrônômica de amaranto para cultivo na entressafra do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1, p.45-51, 2003.

TEIXEIRA, D. L. **Crescimento, reprodução e efeito da perda de área foliar em amaranto BRS Alegria**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011, 86 f. Dissertação de Mestrado.

### 3. CAPÍTULO I

#### **ADUBAÇÃO FOSFATADA E INTER-RELAÇÕES DOS CARACTERES AGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS DAS SEMENTES DE AMARANTO**

*Artigo submetido para a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*

##### **3.1 Introdução**

O amaranto é uma espécie pertencente à família das amarantáceas, tendo sido domesticado na América há mais de 6000 anos pelas civilizações, sendo, posteriormente, dispersado para outras regiões. Além da utilização de suas sementes na complementação nutricional humana e animal, as folhas do amaranto também podem ser consumidas *in natura*, relato esse evidenciado desde a Pré-História, antes e durante o processo de domesticação (RASTOGI e SHUKLA, 2013).

Esta cultura pode ser empregada como espécie forrageira, bem como, utilizada na proteção do solo (FERREIRA et al., 2014) devido à sua volumosa área foliar. Alguns genótipos de *Amaranthus cruentus* apresentam elevada estabilidade com relação à produtividade e adaptação a diversas condições do ambiente de cultivo (GARCIA-PEREYNA et al., 2011), o que torna a cultura bastante promissora neste aspecto. Pesquisas de Erasmo et al. (2004) evidenciaram que o amaranto apresentou facilidade no crescimento quando submetido às condições adversas de temperatura do ar e déficit hídrico, bem como, algumas variedades expressam tolerância a elevadas concentrações de sais e toxicidade de alumínio em solos ácidos.

Geralmente, o amaranto é utilizado em sucessão à soja ou ao milho, sendo excelente fonte de proteínas, fibras, minerais e vitaminas e utilizado tanto *in natura* ou após processamento, o que justifica sua crescente exploração no Brasil (BAMBRILLA et al., 2008). No Brasil, o amaranto já possui uma cultivar registrada pela Embrapa, disponível para comercialização, denominada de BRS Alegria. A cultura pode expressar produtividades superiores a duas toneladas de sementes por hectare, entretanto, elevados rendimentos dependem de alguns fatores como o manejo e adubações adequadas. Em países como os Estados Unidos da América, onde o cultivo do amaranto ocorre comercialmente, a adubação é realizada conforme as exigências nutricionais da planta, sendo baseada na análise de solo, ou

seja, a quantidade de fertilizante aplicado deve ser definida conforme os resultados e boletins de cada região agrícola onde a cultura será implantada (SPEHAR, 2007). Em contrapartida, no Brasil, não existem recomendações específicas para o amaranto.

O fósforo é um macronutriente essencial para as plantas, sendo que sua baixa disponibilidade pode comprometer a expansão foliar, acarretar em baixo acúmulo de matéria seca, crescimento, desenvolvimento e rendimento de sementes. Além disto, este nutriente é importante para a definição da produtividade das culturas, sendo integrante de membranas celulares, ácidos nucleicos, constituinte dos compostos de energia prontamente disponíveis, denominados de ATP (trifosfato de adenosina), vitais ao processo de germinação, emergência das plântulas e fotossíntese das plantas (GUERRA et al., 2006). Neste contexto, considerando que os grãos são a parte preferencialmente consumida do amaranto, o maior aporte de fertilizante fosfatado pode incrementar indiretamente o acúmulo de fósforo (P), magnésio (Mg) e zinco (Zn) contidos nos grãos e potencializar o valor nutricional desta cultura (SALUM et al., 2008).

As exigências para a cultura são de nitrogênio, potássio e fósforo de 25 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup> e 80 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (SPEHAR, 2007). Na literatura, as recomendações de adubação para a Região Sul do Brasil, especificamente para o Rio Grande do Sul, são escassas para a cultura do amaranto, portanto, como não há recomendação de adubação, são utilizadas as indicações técnicas para a Região do Cerrado brasileiro. Devido ao grande interesse nesta cultura, sendo para alternativa de cultivo, ou para utilização na entressafra, somado ao crescimento da produção do amaranto, estudos sobre este assunto são de fundamental importância. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de fósforo no crescimento e desenvolvimento das plantas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) e na qualidade fisiológica das sementes produzidas, bem como, identificar as inter-relações entre os atributos morfológicos e fisiológicos.

### **3.2 Material e métodos**

O experimento foi realizado na safra agrícola 2016/2017, no Campus da Universidade Federal de Pelotas, município Capão do Leão – RS, coordenadas 31° 52' 00" S e 52° 21' 24" O, altitude de 13 metros. O experimento foi conduzido em uma

estufa modelo "Arco Pampeana", disposta no sentido Norte-Sul, revestida com filme de polietileno de baixa densidade (150  $\mu\text{m}$  de espessura), compreendendo uma área de 210  $\text{m}^2$  (10 x 21 metros).

Foram utilizados recipientes com capacidade de oito litros, preenchidos com solo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico solódico, pertence à unidade de mapeamento Pelotas (EMBRAPA, 2012). Antes da semeadura, foram coletadas amostras de solo, que evidenciaram as seguintes características: pH (água): 5,43; H+Al: 5,1  $\text{cmol}^{\text{c}} \text{dm}^{-3}$ ; matéria orgânica: 3,4  $\text{g dm}^{-3}$ ; P: 28,66  $\text{mg dm}^{-3}$ ; K: 10,4  $\text{cmol}^{\text{c}} \text{dm}^{-3}$ ; Ca: 3,0  $\text{cmol}^{\text{c}} \text{dm}^{-3}$ ; Mg: 1,5  $\text{cmol}^{\text{c}} \text{dm}^{-3}$ ; micronutrientes ( $\text{mg dm}^{-3}$ ): Cu 1,5; Zn: 5,1. O teor de B, Fe, Mn e  $\text{Al}^{3+}$  foi zero.

Utilizaram-se sementes de amaranto da cultivar BRS Alegria, com germinação de 90%, determinada pelo teste de germinação estabelecido pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). A semeadura foi realizada na primeira quinzena do mês de outubro, utilizando-se 10 sementes por recipiente. Quinze dias após a emergência, realizou-se o desbaste das plântulas, deixando-se quatro plantas por recipiente, sendo os tratamentos dispostos em cinco repetições.

Os tratamentos corresponderam a cinco doses de fósforo na base, na forma de superfosfato triplo, sendo 0, 50, 100, 200 e 400  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Em todos os tratamentos, utilizou-se na base a dose padrão de 100  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrogênio na forma de sulfato de amônio (21% de nitrogênio e 23% de enxofre). Após incorporação dos fertilizantes, realizaram-se irrigações até a capacidade de campo, duas vezes ao dia, até o final do ciclo. O controle de insetos-praga e doenças foi desnecessário durante todo o período de realização deste estudo. A colheita foi realizada quando as inflorescências apresentavam uma cor avermelhada. Aos 120 dias após a emergência das plântulas, foram mensurados os seguintes caracteres:

**Altura das plantas:** aferida com auxílio de uma régua graduada, considerando a distância entre o nível do solo até a extremidade da panícula, sendo os resultados expressos em centímetros (cm).

**Matéria seca da parte aérea das plantas:** coletou-se a parte aérea das plantas, aos cinco centímetros acima da base do solo, que foram alocadas em embalagens de papel kraft e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada, a 60 ° C, até obtenção de massa constante. Após a secagem, aferiu-se a massa seca da parte aérea das plantas em balança digital, sendo os resultados expressos em gramas (g).

**Índice de clorofila:** mensurado através de um clorofilômetro (modelo SPAD-502), realizando-se três leituras em diferentes posições da folha basal sendo a terceira folha a partir da base para o ápice da planta, intermediária e selecionada aleatoriamente na parte média da planta e apical na segunda folha abaixo da panícula). As medições foram realizadas em três plantas de cada unidade experimental, sendo os resultados expressos em índice.

**Rendimento de sementes:** aos 120 dias após a emergência, realizou-se a colheita das sementes, quando as panículas apresentavam mais de 50% da inflorescência na coloração vermelha. Estas foram limpas e secas, a 25 °C, em estufa com ar aquecido. Mensurou-se a massa de sementes de cada panícula, sendo os resultados expressos em gramas (g) por planta.

Os atributos da qualidade fisiológica das sementes de amaranto foram determinados conforme os seguintes procedimentos:

**Grau de umidade:** determinado em duas repetições de cinco gramas de sementes, utilizando o método da estufa a 105 °C ± 3 °C durante 24 horas, sendo obtido pela diferença entre a massa úmida e seca das sementes, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

**Germinação:** foram empregadas quatro subamostras de 50 sementes por tratamento. As sementes foram distribuídas sobre duas folhas de papel mata-borrão, umedecidas com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco e colocadas para germinar, a temperatura constante de 25 °C, em câmara do tipo BOD (Biochemical Oxygen Demand). A avaliação foi realizada aos 14 dias após a semeadura (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais (%).

**Envelhecimento acelerado:** conduzido em caixas plásticas transparentes de dimensões de 11,5 x 11,5 x 3,5 cm e compartimentos individuais (minicâmaras), onde, em seu interior, fixaram-se suportes de tela metálica, recoberta com tecido *voil* devido ao tamanho das sementes utilizadas, para evitar que estas tivessem contato com a solução. Na superfície de cada tela metálica distribuíram-se, aproximadamente, 1,5 gramas de sementes em camada uniforme. As caixas continham 40 mL de solução diluída de NaCl (11 g de NaCl por 100 mL de água; envelhecimento com solução não saturada de NaCl - SSNS) e foram submetidas a uma temperatura do ar de 41 °C, durante 72 horas. Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente,

procedendo-se à contagem das plântulas normais, no quinto dia após a semeadura (Rosa, et al. 2018). Os resultados foram expressos em percentagem de plântulas normais.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, sendo os tratamentos dispostos em cinco repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade, onde verificaram-se as pressuposições do modelo estatístico. Os caracteres que revelaram significância foram submetidos à regressão linear, onde se testou o maior grau significativo do polinômio, a 5% de probabilidade, pelo teste *t*. Após, todos os caracteres estudados foram submetidos à análise de correlação linear, com o intuito de compreender as tendências de associação. Além disso, as variáveis avaliadas foram agrupadas, definindo-se o grupo de caracteres morfológicos (altura de planta – AP; massa seca – MS; índice de clorofila – IC; rendimento de sementes – RS), correspondente ao grupo II, e o grupo I, representado pelos caracteres fisiológicos (germinação – G e envelhecimento acelerado – EA). Estes dois grupos foram submetidos às correlações canônicas, com a finalidade de definir inter-relações multivariadas entre estes caracteres. A significância destas associações foi obtida através da razão entre a máxima verossimilhança restrita (*LRT*).

### **3.3 Resultados e discussão**

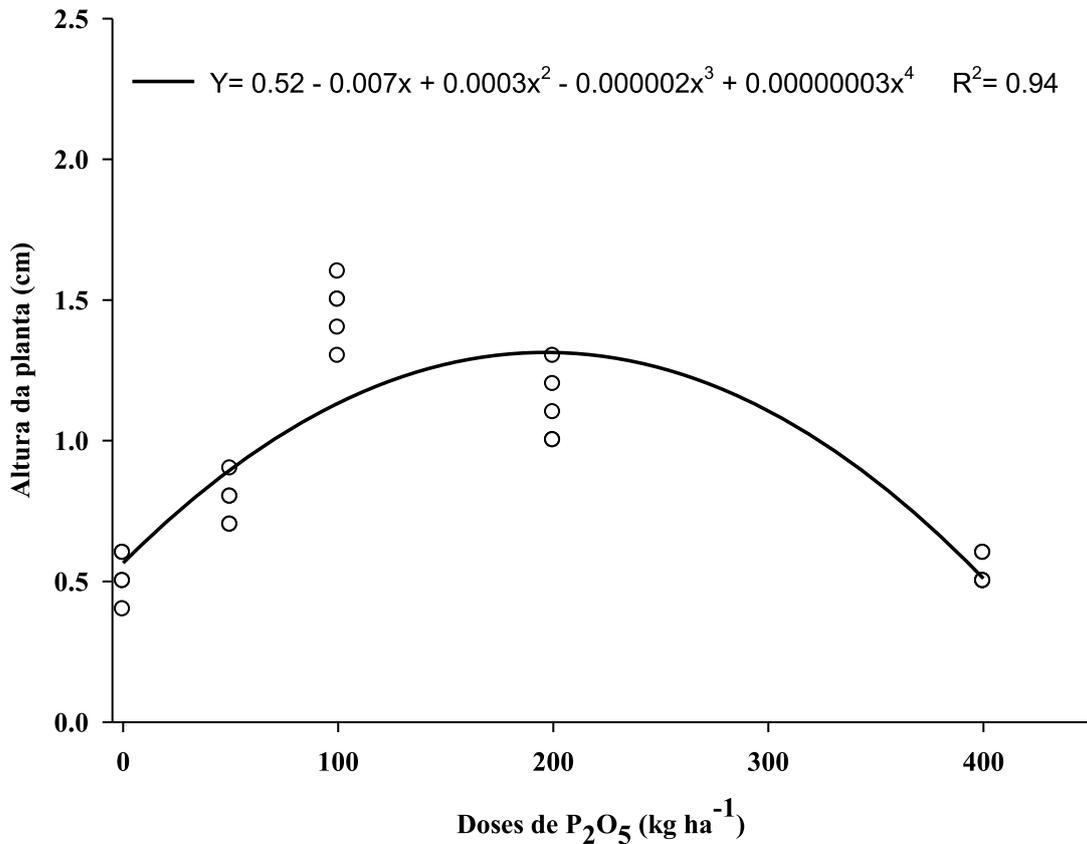
A análise de variância revelou significância, a 5% de probabilidade, para os caracteres altura da planta (AP), massa seca da parte aérea das plantas (MS), rendimento de sementes (RS), germinação (G) e envelhecimento acelerado (EA). Estes resultados demonstram que estes atributos são influenciados pelas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Em contrapartida, o índice de clorofila (IC) não revelou variabilidade frente aos níveis quantitativos empregados, muito pode ser explicado pela alta dose de nitrogênio aplicada (Tabela 1), pois Spehar (2007) indica 25 kg. Essa dose de nitrogênio foi utilizada para que não fosse limitante ou influência na dose de fosfato.

**Tabela 1.** Análise de variância para os caracteres germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), altura das plantas (AP), massa seca da parte aérea das plantas (MS), rendimento de sementes (RS) e índice de clorofila (IC), referentes a cultivar de amaranto BRS Alegria, produzida em diferentes doses de  $P_2O_5$ , no estado do Rio Grande do Sul.

FV	QM						
	GL	G	EA	AP	MS	RS	IC
Doses de $P_2O_5$	4	2003,26*	1165,70*	0,81*	1,18*	79,59*	219,43 <sup>ns</sup>
Repetições	4	3,56	1,00	0,00	0,05	0,05	2,53
Erro	16	17,73	13,07	0,01	0,03	0,32	1,84
CV (%)		7,83	7,99	11,81	11,03	12,30	2,90

\*Germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), altura de plantas (AP), massa seca (MS), rendimento de sementes (RS) e índice de clorofila (IC) da cultivar de amaranto BRS Alegria produzida em diferentes doses de  $P_2O_5$  no estado do Rio Grande do Sul.

O caráter altura da planta (AP) evidenciou variabilidade ao longo do incremento das doses de fósforo utilizadas, ajustando-se a um modelo estatístico de regressão, com 94% de confiabilidade ( $R^2$ : 0,94). Verificou-se que a dose de 200 kg  $ha^{-1}$  de fósforo resultou na maior magnitude para a altura das plantas (Figura 3). Definiu-se que, para este caráter, o platô ótimo está compreendido entre 100 kg  $ha^{-1}$  e 200 kg  $ha^{-1}$  de fósforo, que resulta em plantas com estatura média de 1,10 metros. Doses de fósforo de até 400 kg  $ha^{-1}$  resultam em decréscimos acentuados para este caráter, resultando em plantas com estatura 50% inferior às obtidas com a aplicação de fósforo na dose considerada ótima.

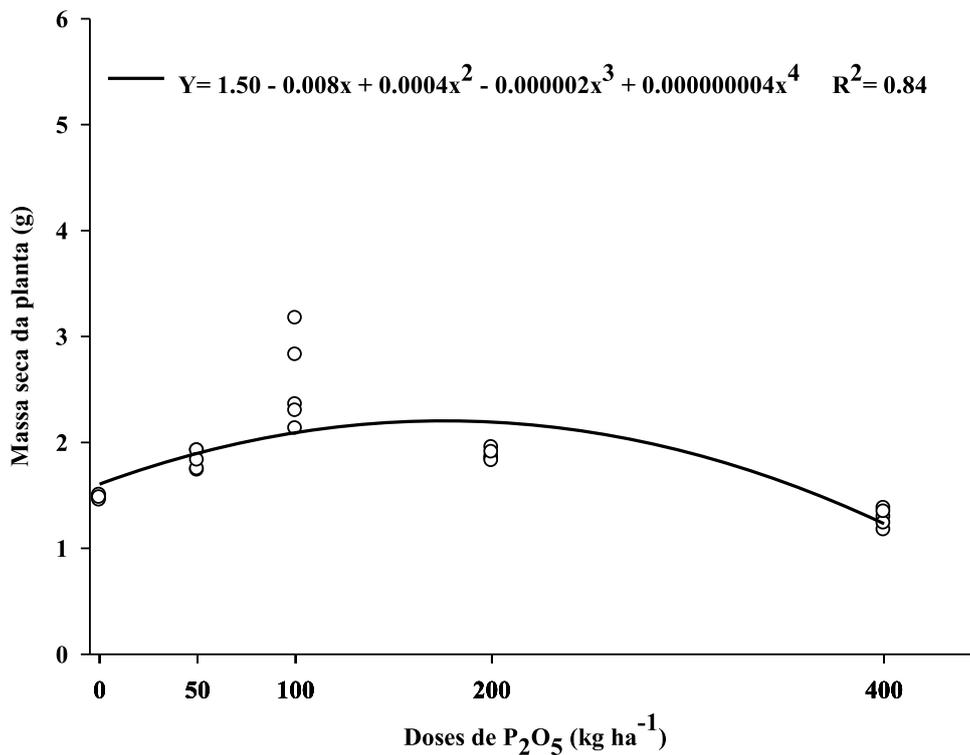


**Figura 3.** Altura de plantas de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50, 100, 200, 400 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cultivada no estado do Rio Grande do Sul.

O fósforo possui função essencial na transferência de energia da célula, bem como na fotossíntese e respiração das plantas, além de ser um elemento estrutural dos ácidos nucleicos, coenzimas, fosfolipídeos e fosfoproteínas. Dessa forma, a deficiência do fósforo no início do ciclo vegetativo de qualquer cultura pode dificultar o desenvolvimento da planta, sendo que o suprimento posterior de tal elemento, até mesmo em níveis adequados, não será suficiente para sua recuperação (GRANT et al., 2001). Diante da dose de 0 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo, observou-se altura das plantas de aproximadamente 0,3 metros (Figura 3). Domingos et al. (2005), ao analisarem a altura de plantas de amaranto em função da adubação de NPK com utilização da formulação de 05-25-15, observaram que a maior magnitude foi verificada quando se utilizou a dose da formulação concentrada na ordem de 400 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo.

O carácter massa seca da parte aérea das plantas (MS) revelou estimativa de produção de massa seca, ao nível de adubação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, de 2,5

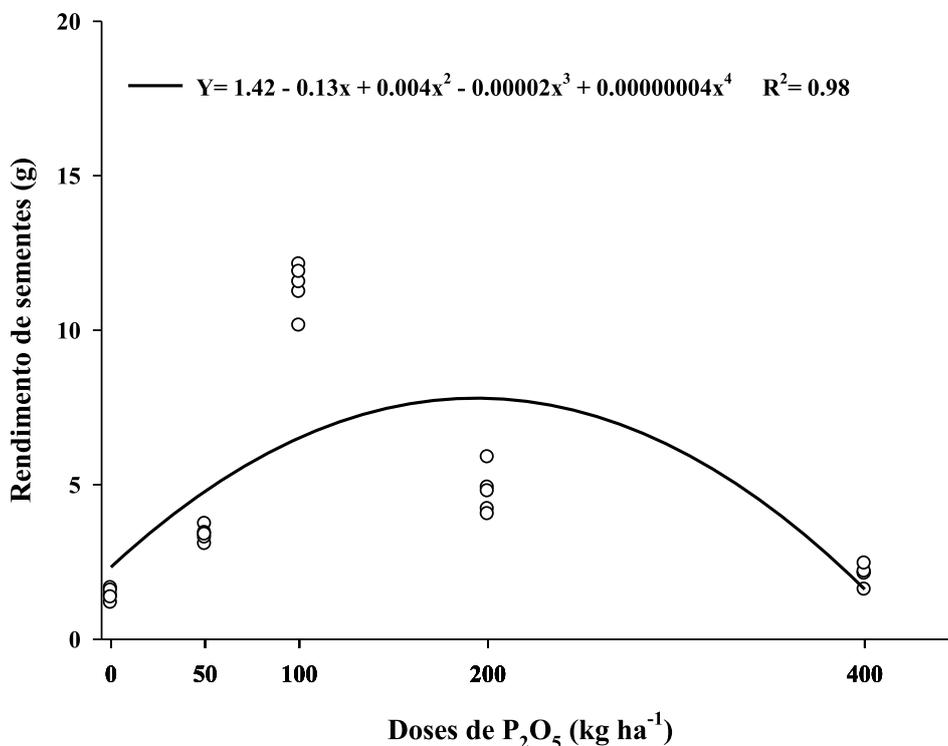
gramas por planta. O incremento da biomassa das plantas de amaranto foi verificado até a dose de fósforo de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . Com o aumento das doses de fósforo para 200 e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ , houve redução da massa seca das plantas, sendo de aproximadamente 1,8 e 1,3 gramas por planta, respectivamente. A diferença da massa da biomassa entre a maior ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e a menor magnitude ( $400 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi de 1,2g/planta (Figura 4).



**Figura 4.** Massa da matéria seca de plantas de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo ( $0, 50, 100, 200$  e  $400 \text{ Kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), cultivado no estado do Rio Grande do Sul.

Na literatura, são poucas as referências que tratam do excesso de fósforo nas plantas, embora alguns autores abordem que grandes quantidades de fósforo aplicado podem causar danos às plantas e devem estar compatíveis com a demanda da cultura (ROGÉRIO et al., 2012). Em mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), em doses de fósforo ( $300$  e  $450 \text{ mg dm}^{-3}$ ), as plantas exibiram sintomas visuais de injúrias nas folhas, caracterizados por estrias amarelo-avermelhadas ao longo das nervuras (NEVES et al., 2004; SAMPAIO, 1997).

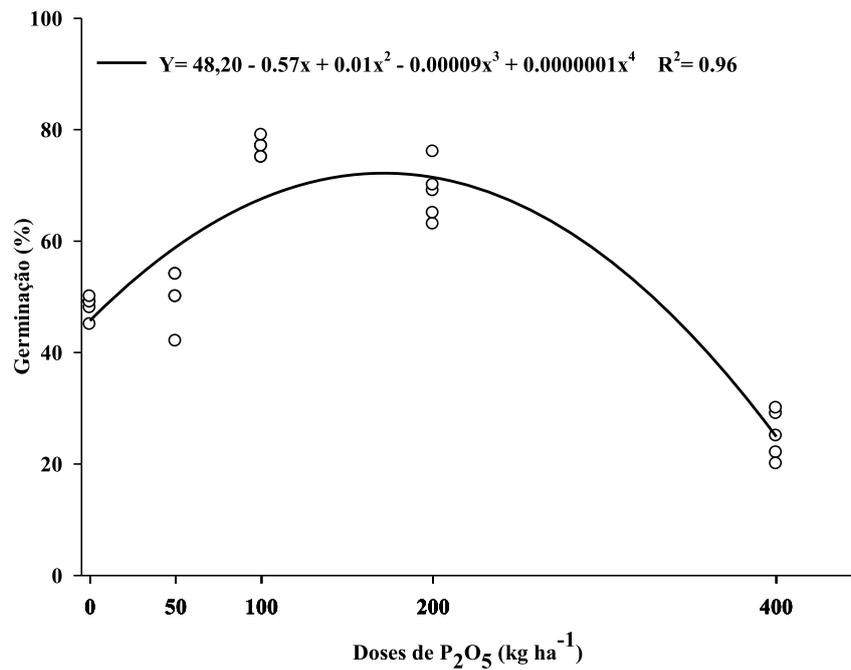
O rendimento de sementes (RS) revelou resposta quadrática, com aumento até 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Figura 5). Teixeira et al. (2003) identificaram que, para a cultivar de amaranto BRS Alegria cultivada no Cerrado brasileiro, é recomendada a adubação de manutenção com 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> quando se objetiva produção superior a duas toneladas por hectare. Em experimento realizado na Bolívia com amaranto, utilizando a adubação mineral através da formulação de NPK (80-80-40), verificou-se rendimento de grãos de 2,3 t ha<sup>-1</sup> (APAZA-GUTIERREZ et al., 2002).



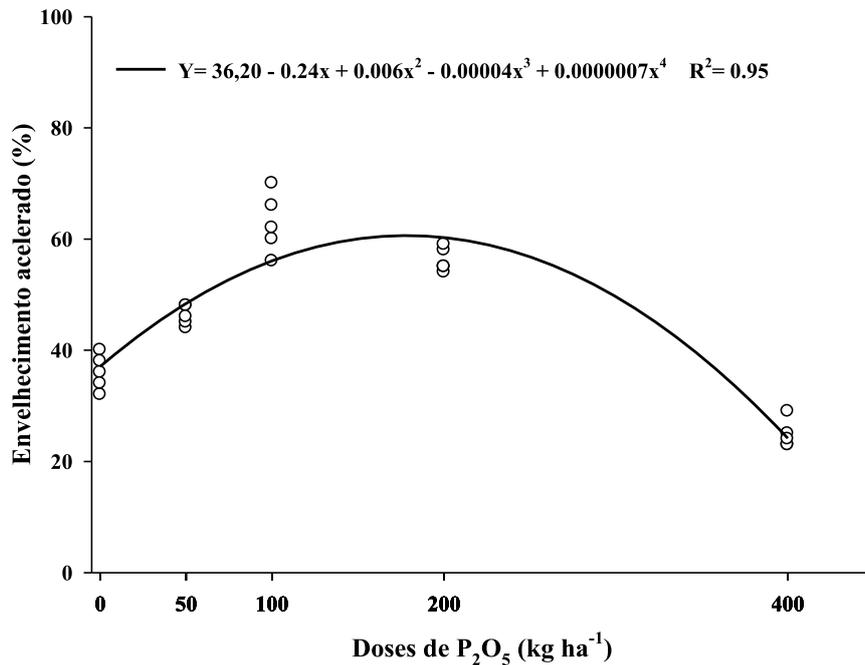
**Figura 5.** Rendimento de sementes em plantas de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cultivado no estado do Rio Grande do Sul.

Quanto à qualidade fisiológica das sementes, verificou-se, para o caráter germinação (G), diferenças entre as doses de fósforo aplicadas, ajustando-se ao modelo polinomial quadrático. Para a dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> e 50 kg ha<sup>-1</sup>, a germinação foi próxima a 50% (Figura 5). Quando a dose foi incrementada para 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, isto resultou em germinação das sementes próxima a 80%. Por outro lado, com doses de fósforo superiores a 200 kg ha<sup>-1</sup>, houve decréscimo da germinação para magnitudes inferiores a 50% (Figura 6). Para o teste de envelhecimento

acelerado (EA), a curva se ajustou ao modelo polinomial, em que se pode observar diferenças quanto ao vigor de sementes de amaranto em função das diferentes doses de fósforo aplicadas (Figura 6). Os valores obtidos no teste de envelhecimento acelerado foram inferiores aos obtidos no teste de germinação, devido às condições de estresse às quais as sementes foram submetidas.



**Figura 6.** Percentual de germinação de sementes de amaranto, cultivar BRS Alegria, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), produzidas no estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 7.** Germinação de sementes de amaranto, cultivar BRS Alegria, submetidas ao teste de envelhecimento acelerado, em função da aplicação de diferentes doses de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), produzidas no estado do Rio Grande do Sul.

Na ausência de aplicação de fósforo (0 kg ha<sup>-1</sup>), a germinação das sementes submetidas ao teste de envelhecimento acelerado foi de, aproximadamente, 35%. Ao se aplicar a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, houve o acréscimo deste atributo para 46%, ressaltando que a adubação fosfatada pode resultar em melhoria do vigor das sementes de amaranto. Pesquisadas com *Crotalaria juncea* definiram que o fósforo foi imprescindível para incrementar a germinação e o vigor das sementes desta espécie (DOURADO et al., 2001).

A análise da correlação linear (Tabela 2) foi realizada com o intuito de identificar a tendência de associação entre os cinco caracteres de interesse, sendo possível constatar significância para todas as associações, a 5% de probabilidade, pelo teste t. Plantas com estatura elevada tendem a incrementar o acúmulo de massa seca em seus tecidos, o que resulta em efeitos positivos no rendimento de sementes por planta e no índice de clorofila dos tecidos fotossintetizantes. Estes atributos morfológicos do rendimento de sementes, quando em sinergismo, resultam em incremento do potencial fisiológico das sementes desta espécie.

**Tabela 2.** Correlação linear e canônica aplicada a caracteres morfológicos e fisiológicos da cultivar de amaranto BRS Alegria, cultivada com aplicação de diferentes doses de  $P_2O_5$ , no estado do Rio Grande do Sul.

	EA	AP	MS	RS	IC
G	0,94	0,84	0,81	0,76	0,73
	*	*	*	*	*
EA		0,89	0,81	0,80	0,77
	*	*	*	*	*
AP			0,86	0,91	0,79
		*	*	*	*
MS				0,86	0,87
			*	*	*
RS					0,90
				*	*
Grupo I (Caracteres fisiológicos das sementes)					
G		0,86			
EA		0,92			
Grupo II (Caracteres morfológicos das plantas)					
AP		0,89			
MS		0,80			
RS		0,80			
IC		0,77			
r		0,92			
LRT		0,13*			

Germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), altura de plantas (AP), massa seca (MS), rendimento de sementes (RS) e índice de clorofila (IC) da cultivar de amaranto BRS Alegria produzida em diferentes doses de  $P_2O_5$  no estado do Rio Grande do Sul.

A análise das correlações canônicas tem como premissa identificar as associações entre grupos distintos de variáveis mensuradas e definir um perfil de inter-relações multivariadas determinantes para os grupos pré-determinados. Estes efeitos foram atribuídos para as plantas de amaranto, cultivar BRS Alegria, onde os caracteres do Grupo I corresponderam aos atributos fisiológicos das sementes produzidas, sendo composto pela germinação (G) e envelhecimento acelerado (EA), e o Grupo II correspondeu aos caracteres morfológicos e componentes do

rendimento das plantas, sendo composto pela altura de plantas (AP), massa seca das plantas (MS), rendimento de sementes (RS) e índice de clorofila (IC). Desta maneira, identificou-se significância para um par canônico, a 5% de probabilidade, pela razão da máxima verossimilhança. Da mesma forma, obteve-se alta correlação inter-grupos ( $r=0,92$ ), evidenciando a dependência inter-classe dos atributos mensurados (Tabela 2). Evidenciou-se, portanto, que o incremento do potencial fisiológico das sementes, representado tanto pela germinação (G) quanto pelo vigor das sementes estimado pelo teste de envelhecimento acelerado (EA) foi determinado pela identificação de plantas com maior estatura e acúmulo de tecidos em sua parte aérea. Plantas que apresentam essas características tendem a evidenciar altos índices de clorofila que beneficiam a atividade fotossintética, resultando em plantas com maior produtividade de sementes. Estas inter-relações definem que a adubação fosfatada, além de incrementar os atributos morfológicos das plantas de amaranto, beneficia quantitativa e qualitativamente a produção de sementes.

### 3.4 Conclusão

A espécie *Amaranthus cruentus* expressa variabilidade quanto aos atributos morfológicos, componentes do rendimento e qualidade de sementes produzidas, dêem resposta à adubação fosfatada.

Doses compreendendo de 100 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tendem a potencializar a altura das plantas, acúmulo de biomassa seca, rendimento, germinação e vigor das sementes produzidas.

### 3.5 Referências bibliográficas

- APAZA-GUTIERREZ, V.; ROMERO-SARAVIA, A.; GUILLÉN-PORTAL, F. R.; BALTERSPERGER, D. D. Response of Grain Amaranth Production to Density and Fertilization in Tarija, Bolivia. In: JANICK, J.; WHIPKEY, A. (Ed.) Trends in new crops and new uses. ASHS Press: Alexandria, p. 107-109, 2002.
- BRAMBILLA, T, R.; CONSTANTINO, A. P.; OLIVEIRA, P. S. Efeito da adubação nitrogenada na produção de amaranto. Semina: Ciências Agrárias, v. 29, n. 4, p. 761-768, 2008.

- DOMINGOS, V. D.; ERASMO, E. A. L.; SILVA, J. I. C.;CAVALCANTE, G. D.; SPEHAR, C. R. Crescimento, produção de grãos e biomassa de cultivares de amaranto (*Amaranthus cruentus*) em função de adubação com NPK. Bioscience Journal, v. 21, n. 3, p. 29- 39, 2005.
- DOURADO, MÁRCIO CARREIRA, SILVA, TIAGO ROQUE BENETOLI DA, & BOLONHEZI, ANTONIO CÉSAR. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. Scientia Agricola, v.58, n.2, p.287-293, 2001.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo. 2ª ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 306 p. 2012.
- ERASMO, E. A. L.; DOMINGOS, V. D.; SPEHAR, C. R.; DIDONET, J.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M. Avaliação de cultivares de amaranto (*Amaranthus* spp.) em sistema plantio direto no sul de Tocantins. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 171-176, 2004.
- FERREIRA, C.C.; RIBEIRO JÚNIOR, W.Q.; RAMOS, M.L.G.; SPEHAR, C.R.; FARIAS, T.R.R. Efeito da densidade de semeadura e doses de nitrogênio sobre a produtividade e biometria de amaranto, no Cerrado do Planalto Central. Bioscience Journal, v.30, p.534-546, 2014.
- FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilidade do solo. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 252 p.
- GARCIA-PEREYRA, J.; VALDÉS-LOZANO, C. G. S.; ALEJANDRE-ITURBIDSE, G.; FIERRO, I. V.; GÓMEZ, O. G. A. Interaction genótipo x ambiente y análisis de estabilidad em genótipos de amaranto (*Amaranthus* spp.). Oyton, v. 60, p. 167-173, 2011. Doi:
- GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.95, 2001
- GUERRA, C.A.; MARCHETTI, M.E.; ROBAINA, A.D.; SOUZA, C.F.; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. Acta Scientiarum Agronomy, v.28, n.1, p.91-97, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

- NEVES, O. S. C.; BENEDITO, D. S.; MACHADO, R. V.; CARVALHO, J. G. Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. *Revista Árvore*, v. 28, p.343-349, 2004.
- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M. AND CECON, P.R., Phytomass yield, nutrients accumulation and biological nitrogen fixation by single and associated green manures. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.35-40, 2004.
- RASTOGI A., SHUKLA S., Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. v. 53, n 3, p. 109-25, 2013.
- ROGÉRIO F, SANTOS JI, SILVA TRB, MIGLIAVACCA RA, GOUVEIA B, BARBOSA MC. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento da cultura do crambe. *Bioscience Journal*, v.28, n.1, p. 251-255, 2012.
- ROSA, T. D., NADAL, A. P., MALDANER, H. R., SOARES, V. N., GADOTTI, G. I., & VILLELA, F. A. Electrical conductivity and accelerated aging in amaranth (*Amaranthus crueentus* L.) seeds. *Journal of Seed Science*, v.40, n.1, p.44-51, 2018. <https://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n1183116>.
- SALUM, J.D. et al. Características químicas e fisiológicas de sementes de feijão em função do teor de fósforo na semente e doses de fósforo no solo. *Revista Brasileira de Sementes*, v.30, n.1,p.140-149, 2008.
- SAMPAIO, L. S. Resposta de plantas jovens de açaí à adubação fosfatada e à inundação em solos de várzea. 1997. 150 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- TEIXEIRA, D. L.; SPEHAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Caracterização agrônômica de amaranto para cultivo na entressafra no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n. 1, p. 45-51, 2003.

## 4.CAPÍTULO II

### CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE AMARANTO

*Artigo publicado na Journal of Seed Science*

*Março de 2018*

#### 4.1 Introdução

Os pseudocereais, cujas sementes são ricas em proteínas e carboidratos, constituem-se em fonte de alimento ao longo do tempo (Casini e La Rocca, 2014), especialmente da população de baixa renda, nos povos indígenas.

Dentre as espécies que compõem o grupo dos pseudocereais, destacam-se a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), o trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench.) e o amaranto (*Amaranthus* spp.), sendo que este último vem ganhando destaque devido à sua composição nutricional. Ainda que pouco explorado atualmente, o amaranto destaca-se por sua versatilidade e adaptação aos mais variados ambientes em relação ao seu local de origem, além de sua contribuição na suplementação alimentar, tanto humana quanto animal.

Levando em conta a expansão do cultivo e a escassez de informações quanto às metodologias de avaliação do potencial fisiológico de sementes de amaranto, o aprimoramento e a adequação de métodos de determinação do vigor tornam-se de fundamental importância.

A exploração de uma cultura ainda pouco difundida em um sistema de produção requer inúmeras avaliações com o intuito de fornecer o máximo de informações necessárias para seu cultivo. O teste de germinação, embora forneça subsídios para aferir as condições de um lote de sementes, torna-se limitante para mensurar a real capacidade de uma semente, expressar o seu máximo potencial. Para tanto, são necessários testes mais precisos, a fim de submeter às sementes a condições adversas, sendo os testes de vigor os mais

adequados para este fim, fornecendo informações complementares ao teste de germinação (Lopes e Franke, 2010).

Dada à importância do conhecimento do vigor de um lote de sementes, são cada vez mais estabelecidas exigências, tanto por parte das empresas como por parte do comprador, da confiabilidade dessas informações. Além da precisão dos dados, a requisição também está voltada ao tempo necessário para se obter essas informações, o menor prazo demanda, além de cuidados, a determinação do teste mais adequado a ser aplicado em questão. Dentre estes testes, pode ser referido o teste de condutividade elétrica recomendado para sementes de ervilha e sugerido para soja pela *Association of Official Seed Analysts* (AOSA, 2002) e o teste de envelhecimento acelerado.

Os testes de vigor embora sem padronização no Brasil, há padrões internacionais segundo a ISTA (2014) existem testes já padronizados, destacam-se o envelhecimento acelerado e a condutividade elétrica massal para a cultura do feijão, soja e ervilha; deterioração controlada para brássicas e comprimento da raiz primária para cultura do milho.

O teste de envelhecimento acelerado é um teste de vigor comumente utilizado para se obter informações da capacidade de armazenamento de um lote de sementes bem como a de emergência das plântulas em campo (TeKrony, 1995). Logo, esse teste pode ser considerado um dos mais adequados para estimar o vigor de sementes (Marcos-Filho, 1999). Esta premissa é sustentada por vários trabalhos relacionados como ocorre em sementes de rabanete (Avila et al., 2006), trigo (Ohlson et al., 2010), feijão (Bertolin et al., 2011), alface e almeirão (Santos et al., 2011).

O teste de condutividade elétrica foi estudado para diversas culturas como pimenta (Vidigal et al., 2008), pinhão manso (Araujo et al., 2012), feijão-mungo-verde (Araujo et al., 2011), berinjela (Alves et al., 2012), canola (Milani e Lopes, 2015). Nos estudos, além da avaliação do teste em questão, também foram testados o período de hidratação das sementes e a quantidade de água utilizada. Estes parâmetros são essenciais para a melhor adequação do teste para uma determinada cultura, principalmente se as informações são escassas, a exemplo da cultura do amaranto.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar as condições adequadas para condução dos testes de condutividade elétrica, do teste de

envelhecimento acelerado em sementes de amaranto e estabelecer a correlação com o teste de emergência em canteiro.

#### 4.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Pelotas. Foram utilizadas amostras de cinco lotes de sementes de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) com qualidade fisiológica distinta (L1, L2, L3, L4 e L5), submetidos aos seguintes testes:

**Grau de umidade:** foi determinado em duas repetições de 5 g, utilizando o método da estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, sendo calculada por diferença de massa, com base na massa úmida das sementes, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

**Germinação:** Foram empregadas quatro subamostras de 50 sementes por lote. As sementes foram distribuídas sobre duas folhas de papel mata-borrão, umedecidas com quantidade de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco e colocadas para germinar a temperatura constante de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , na presença de luz. A avaliação foi realizada 14 dias após a semeadura (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

**Primeira contagem de germinação:** Conduzido conjuntamente com o teste de germinação, com avaliação realizada no quinto dia após a semeadura.

**Emergência de plântulas:** Foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes, distribuídas em canteiros de 5,0 x 1,2 x 0,9 m de comprimento, largura e profundidade, respectivamente, preenchido com solo coletado do horizonte A1 de um Planossolo Háptico Eutrófico Solódico da região de Pelotas-RS. As sementes foram semeadas a 2 cm de profundidade e irrigadas manualmente até a umidade equivalente a 60% da capacidade de campo. A contagem única foi realizada após 14 dias, computando-se a porcentagem de plântulas emergidas.

**Condutividade elétrica:** Foi empregado o método de massa (AOSA, 2002), utilizando-se quatro subamostras de 100 e 150 sementes (sem danos, detectadas visualmente) previamente pesadas em balança analítica de

precisão (0,001 g) para cada lote. Em relação ao volume de água foram utilizados 25, 50 e 75 mL de água e diferentes períodos de hidratação 2, 4, 6, 8 e 24 horas. As sementes imersas em água permaneceram em incubadora BOD, a 20 °C durante todos os períodos. Após, realizou-se a leitura da condutividade elétrica em condutivímetro, sendo os resultados expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de semente.

**Envelhecimento acelerado:** foi conduzido utilizando-se caixas plásticas transparentes (11,5 x 11,5 x 3,5 cm) com compartimentos individuais (minicâmaras), possuindo em seu interior suportes para apoio de uma tela metálica, cobertas com tecido *voal*, devido ao tamanho das sementes, para evitar que a mesma entrasse em contato com a água. Na superfície de cada uma destas, após a pesagem (aproximadamente 1,5 g), as sementes foram distribuídas de maneira a formar uma camada uniforme. Para condução do teste de envelhecimento acelerado foram adicionados ao fundo de cada caixa plástica: a) 40 mL de água destilada (envelhecimento tradicional - TRAD); b) 40 mL de solução diluída de NaCl (11 g de NaCl por 100 mL de água) (envelhecimento com solução não saturada de NaCl - SSNS) e c) 40 mL de solução saturada de NaCl (40 g de NaCl por 100 mL de água) (envelhecimento com solução saturada de NaCl- SSS), Avila et al.(2006). As caixas foram mantidas a uma temperatura de 41 °C, durante 24, 48, e 72 horas e após montou-se o teste de germinação conforme descrito anteriormente e a contagem de plântulas foi realizada no quinto dia.

**Teor de água das sementes:** foi determinado de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Foi utilizado o método da estufa com regulagem da temperatura a  $105\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ . Para a realização do teste foram utilizadas duas subamostras de 5,0 g, que foram acondicionadas em recipientes de alumínio com tampa. Antes de receber as sementes, os recipientes foram secos durante uma hora em estufa a 130 °C e resfriados em dessecador contendo sílica gel. Após a secagem, os recipientes foram pesados com suas respectivas tampas. As sementes foram colocadas nesses recipientes para se obter o peso úmido (peso do recipiente + peso das sementes). Os recipientes foram colocados na estufa a  $105\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$  por 24 h, depois foram retirados da estufa, resfriados em dessecador e pesados novamente, para obter o peso seco das sementes. Os resultados foram

expressos em porcentagem, sendo o teor de água (%) calculado pelo resultado da multiplicação do peso úmido (peso do recipiente mais o peso da semente úmida) subtraído do peso seco (peso do recipiente mais o peso da semente seca), dividido pelo resultado da subtração do peso úmido (peso do recipiente mais o peso da semente úmida) pelo peso do recipiente com sua tampa. O resultado final foi multiplicado por 100.

**Delineamento experimental e análise estatística:** utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, e os dados obtidos em cada teste foram submetidas à análise de variância e diferença mínima significativa, e a comparação de médias entre lotes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e ao teste de correlação linear de Person simples, para as variáveis resposta. Os dados em porcentagem foram submetidos a transformação  $\text{arc sen } \sqrt{x/100}$ . O programa WinStat (Machado e Conceição, 2007) foi utilizado para a execução do procedimento estatístico.

### 4.3 Resultados e discussão

Os dados do teor de água de sementes de amaranto, inicial e após cada período de envelhecimento acelerado, nos métodos tradicional e modificados (uso de solução salina não saturada 11% de NaCl e solução saturada 40% de NaCl) podem ser observados na Tabela 3. Nota-se que os dados foram semelhantes para os cinco lotes de sementes utilizados, com reduzida variação, enquadrando-se na amplitude máxima aceitável para o teste que é de 1 a 2 pontos percentuais (Marcos-Filho, 1999). Diferenças acima do permitido poderiam provocar modificações na relação grau e período no processo de umedecimento das sementes. Essa alteração causaria também diferenças em relação à intensidade da deterioração durante o período de envelhecimento. Para tanto, analisar o teor de água de um lote de sementes, torna-se imprescindível para a melhor adequação de um teste.

O teor de água das sementes, após o período envelhecimento acelerado com solução saturada (11% NaCl) e solução salina saturada (40% NaCl), apresentou resultados inferiores, em comparação à metodologia tradicional. Esses resultados também foram observados em sementes de tamanhos similares Silva et al. (2010) em sementes de grama bermuda

(*Cynodon dactylon*) e por Radke et al. (2016) em sementes de coentro (*Coriandrum sativum*).

O emprego da solução salina restringiu a absorção de água pelas sementes. Após 72 h de envelhecimento, as sementes apresentaram em média 20,1%, 11,5% e 9,2%, no método tradicional, SSNS e SSS, respectivamente.

**Tabela 3.** Teor de água (TA) inicial e obtido após três períodos de envelhecimento acelerado, a 41 °C, em sementes de amaranto.

Lotes	TA (%)									
	Inicial	TRAD <sup>1</sup>			SSNS <sup>2</sup>			SSS <sup>3</sup>		
		24h	48h	72h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
1	13,1	18,7	19,0	20,2	10,2	10,1	11,3	8,2	8,4	9,1
2	13,5	18,9	19,1	20,1	10,5	10,2	11,4	8,8	8,1	9,2
3	13,0	18,5	18,8	20,0	10,5	10,4	11,4	8,3	8,2	9,2
4	13,1	18,6	18,8	20,1	10,9	10,4	11,4	8,3	8,3	9,4
5	13,2	18,7	18,9	20,1	10,7	10,3	11,7	8,5	8,4	9,3

<sup>1</sup>Teste de envelhecimento acelerado seguindo a metodologia tradicional, com água;

<sup>2</sup>Teste de envelhecimento acelerado utilizando solução não saturada de (11% NaCl);

<sup>3</sup> Teste de envelhecimento acelerado utilizando solução salina saturada (40% NaCl)

A diferença de qualidade fisiológica inicial das amostras de sementes de amaranto utilizadas pode ser observada na Tabela 4. Os lotes 1, 2, 3 e 4 apresentaram resultados de primeira contagem de germinação e germinação superiores a 90%. Contudo, o lote 5 apresentou comportamento diferente em relação aos mesmos testes (primeira contagem de germinação e germinação) inferiores a 80%.

**Tabela 4.** Resultados dos testes de germinação, primeira contagem de germinação e emergência em canteiro de cinco lotes de sementes de amaranto.

Lotes	PCG <sup>1</sup>		Germinação		Emergência	
		%		%		%
L1	97	a <sup>2</sup>	98	a	79	c
L2	91	b	93	b	73	d
L3	93	ab	94	ab	84	b
L4	98	a	99	a	88	a
L5	75	c	76	c	60	e
CV (%)	6,1		6,5		10,5	

<sup>1</sup> Primeira contagem de germinação de cinco lotes de sementes de amaranto;

<sup>2</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Pelos testes de primeira contagem de germinação e germinação pode-se observar que os lotes 1, 2, 3 e 4 apesar de haver diferença entre eles, apresentaram valores numéricos próximos, sendo porcentagens de germinação acima de 90%. Em contrapartida, o lote 5 com valores inferiores a 80%, foi o lote que apresentou desempenho inferior aos demais lotes utilizados. Se a diferença das características de lotes de sementes fosse observada já no teste de germinação, cujas condições de condução são ótimas, o próprio teste já desempenharia a função de distingui-los. Araujo et al. (2011) também observaram diferença nos lotes já no teste de germinação, na avaliação de seis lotes de sementes de feijão-mungo-verde, onde verificaram que dos seis lotes utilizados, um lote apresentava diferenças na porcentagem de germinação, diferindo dos demais lotes.

Os lotes de sementes de amaranto apresentaram resultados semelhantes com relação à diferenciação no teste de emergência, onde o lote cinco apresentou resultados inferiores aos demais lotes utilizados, pelos resultados do teste de germinação. Apesar da porcentagem de emergência não ser elevada, caracterizando lotes de baixo e médio vigor.

Examinando os resultados do teste de envelhecimento acelerado dos cinco lotes conforme apresentados na Tabela 5, verifica-se pelo método tradicional, no período de 24 e 48 horas, que os lotes 1, 3 e 4 foram semelhantes entre si, mas diferindo dos lotes 2 e 5. Com o aumento do período

de exposição para 72 horas, os lotes 1, 2, 3 e 4 não diferiram entre si, sendo que o lote 5 apresentou desempenho fisiológico inferior aos demais lotes.

**Tabela 5.** Resultados do teste de envelhecimento acelerado, utilizando diferentes soluções (método tradicional (água), solução salina (11% de NaCl), solução salina concentrada (40% de NaCl), e três períodos de exposição ao teste, para sementes de amaranto

Lotes	Vigor								
	TRAD <sup>1</sup>			SSNS <sup>2</sup>			SSS <sup>3</sup>		
	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h
L1	96 a <sup>4</sup>	97 a	96 a	97 a	96 a	95 ab	89 ab	99 a	95 a
L2	69 b	77 b	92 a	63 c	85 bc	87 b	78 bc	85 bc	91 a
L3	92 a	93 a	94 a	90 ab	94 ab	95 ab	84 abc	96 ab	97 a
L4	94 a	94 a	90 a	95 a	92 ab	98 a	96 a	96 ab	95 a
L5	69 b	74 b	74 b	78 bc	75 c	70 c	69 c	73 c	72 b
CV(%)	8,35	6,80	7,27	8,25	6,48	8,46	9,09	6,57	8,44

<sup>1</sup>Teste de envelhecimento acelerado seguindo a metodologia tradicional, com água;

<sup>2</sup>Teste de envelhecimento acelerado utilizando solução saturada não saturada (11% NaCl);

<sup>3</sup> Teste de envelhecimento acelerado utilizando solução salina saturada (40% NaCl);

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De modo geral, ao utilizar o método com solução não saturada (11% de NaCl), independentemente dos períodos utilizados, os lotes 1, 3 e 4 foram similares, sendo que o lote 2 não difere do lote 5 nos períodos 24 e 48 horas, sendo observado a diferença entre os lotes 2 e 5 no período do envelhecimento acelerado de 72 horas.

Observando os resultados ao empregar o método com solução salina saturada (40% de NaCl), o comportamento dos lotes se assemelham aos resultados encontrados ao utilizar solução salina não saturada (11% de NaCl), para os períodos de 24 e 48 horas. Porém, com 72 horas, os lotes 1, 2, 3 e 4 não diferem, tendo o lote 5 apresentado resultados inferiores.

O ranqueamento de lotes de sementes pelo teste de envelhecimento acelerado foi verificado para trigo (Ohlson et al., 2010), grama-bermuda (Silva et al., 2010), cenoura (Martins et al., 2014), ervilha, feijão e soja (ISTA, 2014).

O fato da porcentagem de germinação, após o período do teste de envelhecimento acelerado, aumentar com o aumento do tempo de exposição

das sementes (Tabela 4) à alta umidade e temperatura, como ocorre no teste de envelhecimento acelerado, e observado no método com solução salina saturada, pode ser explicado devido à ocorrência de dormência secundária induzida pelos períodos de 24 e 48 horas de alta temperatura e umidade relativa do ar.

A combinação de fatores como temperatura, disponibilidade de água, luz entre outros, estão diretamente relacionados ao potencial de germinação de uma semente ou lote de sementes (Guillemin et al., 2013). Neste sentido, a temperatura pode interferir na superação de dormência de algumas espécies como também induzir dormência secundária (Taab e Andersson, 2009). Avaliando a germinação de sementes de capim-arroz submetidas a condições de luz e temperatura, Bastiani et al., (2015), observaram que a germinação das sementes é influenciada tanto pela luz como pela temperatura. Sementes sob condições de altas ou baixas temperaturas podem sofrer alterações metabólicas, afetando a expressão enzimática responsável pelo processo germinativo (Mertz et al., 2009).

Outra possível explicação é em relação à presença ou ausência de certos microrganismos que, em ambiente com altas temperaturas e umidade, podem se desenvolver acarretando diferenças nos resultados, sendo muitas vezes superiores ao teste de germinação (Marcos-Filho, 1999).

Os resultados de condutividade elétrica dos cinco lotes de sementes de amaranto avaliados estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6.** Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) em cinco lotes de sementes de amaranto em função do número de sementes, volume de água e períodos de hidratação.

Lote	25 mL água																			
	100 sementes					150 sementes														
	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h										
L1	3,0	A	5,8	a	4,1	a	5,1	a	8,3	a	3,9	a	4,6	A	6,3	a	6,5	a	8,1	a
L2	7,4	B	10,4	c	10,3	b	13,0	b	12,8	b	2,8	a	8,0	C	99,5	b	15,3	c	14,8	b
L3	8,9	B	8,0	b	12,7	c	15,2	b	14,1	b	5,7	c	7,6	C	10,8	cb	10,9	b	14,4	b
L4	3,2	A	4,5	a	4,5	a	5,1	a	5,1	a	4,4	b	5,9	B	6,5	a	6,8	a	8,4	a
L5	22,2	C	14,7	d	16,6	d	30,2	c	24,3	c	15,1	cb	4,1	A	11,7	c	16,3	c	27,9	c
CV(%)	16,4		13,5		8,1		15,7		12,0		15,1		10,0		8,4		13,7		13,2	
Lote	50 mL água																			
	100 sementes					150 sementes														
	2h	4 h	6 h	8 h	24 h	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h										
L1	2,2	A	1,3	a	2,1	a	1,0	a	2,4	a	2,4	a	1,9	A	2,2	a	2,2	a	3,3	a
L2	3,3	Ab	3,9	b	3,8	ab	8,1	b	10,2	c	7,5	c	2,5	A	3,9	b	7,4	b	8,7	b
L3	5,5	C	5,0	b	5,4	b	7,1	b	5,9	b	5,4	b	4,2	B	5,1	b	4,9	a	7,6	b
L4	4,4	Bc	4,5	b	4,6	b	6,2	b	5,4	b	3,9	a	5,0	B	5,2	b	5,6	a	7,2	b
L5	7,9	D	10,3	c	11,1	c	13,8	c	15,9	d	10,5	d	8,9	C	10,2	c	13,6	c	13,4	c
CV(%)	20,0		15,0		22,2		13,9		19,0		10,1		44,9		14,3		13,4		18,8	
Lote	75 mL água																			
	100 sementes					150 sementes														
	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h										
L1	0,4	A	0,4	a	0,4	a	1,4	a	0,7	a	1,7	a	0,6	a	11,5	a	1,2	a	2,0	a
L2	3,5	Cd	2,7	cc	3,8	c	3,8	bc	5,0	bc	3,3	b	3,0	c	3,6	b	4,4	c	4,6	b
L3	2,8	Bc	3,3	c	3,7	c	4,3	cd	3,2	b	4,2	b	2,1	bc	3,6	b	3,1	bc	4,7	b
L4	1,7	B	2,3	c	1,7	b	2,2	ab	5,6	c	2,0	a	1,7	ab	1,5	a	2,7	b	4,0	b
L5	4,1	D	4,6	d	6,5	d	5,8	d	9,6	d	77,6	c	4,6	d	6,8	c	11,3	d	10,4	c
CV(%)	26,5		18,1		21,8		27,8		21,3		24,9		26,0		20,3		15,9		16,3	

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $\leq 5\%$ ).

De modo geral, pode ser observado que os resultados da condutividade elétrica de sementes de amaranto, no menor volume de água (25 mL) e na quantidade de sementes 100 sementes, mostraram dados que se assemelhassem à separação de lotes alcançadas no teste de emergência (Tabela 6). Ao aumentar o volume de água utilizado para o teste (50 mL) e empregando a menor quantidade de sementes (100 sementes), houve

semelhança com o ranqueamento de lotes obtido no teste de emergência no período de 4 horas. A mesma ocorrência foi observada com o mesmo volume de água, porém com quantidade maior de sementes (150 sementes), para os períodos de 6 e 24 horas.

No teste de condutividade elétrica, o lote 5 apresentou maiores teores de lixiviação de eletrólitos para o meio aquoso, fato esse que esclarece o baixo vigor, já identificado no teste de emergência. Esse fato permitiu o ranqueamento dos lotes, visto que os resultados podem ser comparados com a emergência. Tal similaridade foi encontrada no período de 6 horas, para volume de água e quantidade de sementes de 25 mL e 100 sementes, respectivamente. De modo similar, Vidigal et al., (2008) verificaram adequada estratificação de lotes de sementes de pimenta, empregando 25 mL, 50 sementes e período de hidratação de 1 h.

Um teste deve visar resultados no menor período de tempo, portanto é importante o uso de menor quantidade possível de material e menor tempo de condução do teste, porém não alterando a confiabilidade dos resultados. O teste de condutividade elétrica foi eficiente para separar lotes de sementes de aveia preta (Menezes et al., 2007), azevém (Lopes e Franke, 2010), feijão, soja e ervilha (ISTA, 2014).

Os valores de correlação entre a emergência de plântulas e os testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica estão apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

**Tabela 7.** Coeficientes de correlação linear simples ( $r$ ) entre os testes de envelhecimento acelerado e a emergência de plântulas originadas de sementes de cinco lotes de sementes de *Amaranthus cruentus*.

Envelhecimento Acelerado									
TRAD <sup>1</sup>			SSNS <sup>2</sup>			SSS <sup>3</sup>			
24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	24 h	48 h	72 h	
Valor r	0,62*	0,66*	0,75*	0,48**	0,65*	0,90*	0,67*	0,73*	0,75*

<sup>1</sup>Teste de envelhecimento acelerado seguindo a metodologia tradicional, com água;

<sup>2</sup>Teste de envelhecimento acelerado utilizando solução não saturada de (11% NaCl);

<sup>3</sup>Teste de envelhecimento acelerado utilizando solução salina saturada (40% NaCl).

\*Significativo pelo teste t, a 1%.

\*\*Significativo pelo teste t, a 5%.

**Tabela 8.** Coeficientes de correlação linear simples ( $r$ ) entre os testes de condutividade elétrica e a emergência em campo de cinco lotes de sementes de *Amaranthus cruentus* com diferentes níveis de qualidade fisiológica

25 mL água									
100 sementes					150 sementes				
2h	4h	6 h	8 h	24 h	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h
-0,53*	-0,32 <sup>ns</sup>	-0,52*	-0,87*	-0,45**	0,15 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,43**	-0,87*

50 mL água									
2 h	4 h	6 h	8 h	24 h	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h
-0,33 <sup>ns</sup>	-0,48**	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,61*	-0,55*	-0,41**	-0,58*	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,77*	-0,56*

75 mL água									
2 h	4 h	6 h	8 h	24 h	2 h	4 h	6 h	8 h	24 h
-0,55*	-0,78*	-0,58*	-0,77*	-0,65*	-0,80*	-0,75*	-0,81*	-0,81*	-0,77*

\*Significativo pelo teste t, a 1%.

\*\*Significativo pelo teste t, a 5%.

<sup>ns</sup>Não significativo.

Pode ser observado, que os dados apresentados da correlação da emergência com o teste de envelhecimento acelerado (Tabela 6), apresentou resultados positivos com significância de 1% para o teste t, com grau de associação de 0,90 para o teste de envelhecimento acelerado com solução não saturada (11% de NaCl) no período de 72 horas e coeficiente de correlação de  $r=0,75$  para o teste de envelhecimento acelerado tradicional e solução salina saturada (40% de NaCl), no mesmo período (72 horas), sendo classificado como correlação forte segundo Shimakura (2006), verificando-se raqueamento dos lotes de maneira similar à emergência.

Para a correlação da emergência de plântulas de amaranto com a condutividade elétrica (Tabela 6), pode-se observar que entre os períodos, quantidade de água e sementes, as correlações mais estreitas foram observadas em 8 horas, 25 mL de água e 100 sementes e para os períodos de 6 e 8 horas com 75 mL de água e 150 sementes, sendo  $r$  superiores a 0,80 a

1% de probabilidade, indicando que os resultados foram inversamente proporcionais aos do teste de emergência em campo (Tabela 3), ou seja, à medida que aumenta a condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) reduz o percentual de plântulas emergidas. Embora os períodos de 6 e 8 horas para quantidade de água de 75 mL e 150 sementes apresentaram correlação estreita, ambas com  $r=0,81$  a 1% de probabilidade, o teste de vigor deve estar atribuído a alguns preceitos como uniformidade, precisão e rapidez, neste caso, levando em consideração o custo das sementes de amaranto, o mais indicado é a utilização de menor quantidade de sementes, atrelado ao menor tempo possível, que justifica a velocidade dos resultados em um teste de vigor. Para tanto, o período de 8 horas de hidratação, 25 mL de água e 100 sementes, que também apresentou correlação estreita de  $r= 0,87$ , proporcionou coerente classificação dos lotes de sementes de amaranto.

A utilização de sementes que possuem alto potencial fisiológico está diretamente relacionada ao estabelecimento inicial, com a rapidez e uniformidade de um estande de plantas em diversas condições ambientais. Dependerá não somente do poder germinativo das sementes, mas também do seu vigor. A velocidade de estabelecimento e a uniformidade do estande garante a menor exposição das sementes aos fatores bióticos e abióticos, fator importante para o adequado desenvolvimento da cultura.

#### **4.4 Conclusões**

O teste de envelhecimento acelerado conduzido a 41 °C no período de 72 h com uso de solução salina não saturada de NaCl é eficiente na classificação de lotes de sementes de amaranto, em níveis de vigor.

O teste de condutividade elétrica realizado com período de hidratação de 8 horas, 25 mL de água e 100 sementes mostra eficiência relativa na classificação de lotes de sementes de amaranto quanto ao potencial fisiológico.

#### **4.5 Referências bibliográficas**

- ALVES, C.Z.; GODOY, A. R.; CANDIDO, A. C. S.; OLIVEIRA, N. C. Teste de condutividade elétrica na avaliação do potencial fisiológico de sementes de berinjela. **Ciência Rural**, v.42, n.6, p.975-980, 2012.
- ARAUJO, R.F.; ZONTA, J.B.; ARAÚJO, E.F.; DONZELES, S. M.; COSTA, G. M. Teste de condutividade elétrica para sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). *Idesia (Arica)*, v.29, n.2, p.79-86, 2012.
- ARAUJO, R. F.; ZONTA, J. B.; ARAUJO, E. F.; HEBERLE, E.; ZONTA, F. M. G. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.1, p.123-130, 2011.
- AOSA.ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. Seed vigor testing handbook. Lincoln: 2002. 105p. (Contribution, 32).
- AVILA, P.F.V.; VILLELA, F.A.; AVILA, M.S.V. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico de sementes de rabanete. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.3, p. 52-58, 2006.
- BASTIANI, M.O., LAMEGO, F.P.; NUNES, J. P.; MOURA, D. S.; WICKERT, R. J.; OLIVEIRA, J. I. Germinação de sementes de capim-arroz submetidas a condições de luz e temperatura. **Planta Daninha**, v.33, n3, p.395-404, 2015.
- BERTOLIN, D. C.; SÁ, M. E.; MOREIRA, E. R.. Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n.1,p.104-112, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA-ACS, 2009. 395p.
- CASINI, P.; LA ROCCA, F. *Amaranthus cruentus* L. is suitable for cultivation in Central Italy: field evaluation and response to plant densities. **Italian Journal of Agronomy**, v. 9, n. 4, p. 166-175, 2014.
- GUILLEMIN, J.P.; GAEDARIN, A.; GRANGER, S.; REIBEL, C.; MUNIER – JOLAIN, N.; COLBACH, N. Assessing potential germination period of weeds with base temperatures and base water potentials. **Weed Research**, v.53, n.1, p. 76-87, 2013.
- ISTA. INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING. Basseldorf, Switzerland, International **Seed Testing Association**, 303p.2014.

- LOPES, R.R.; FRANKE, L.B. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de azevém (*Lolium multiflorum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.1, p.123-130, 2010.
- MACHADO, A.A.; CONCEIÇÃO, A.R. WinStat: sistema de análise estatística para windows. Universidade Federal de Pelotas, 2007.
- 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, 1999. cap.3, p.1-24.
- MARTINS, C.C.; SILVA, N.; MACHADO, C.G. Testes para a seleção de populações de cenoura visando ao vigor e à longevidade das sementes. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 768-775, 2014.
- MENEZES, N.L.; GARCIA, D.C.; BAHRY, C.A.; MATTIONI, N.M. Teste de condutividade elétrica em aveia preta. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, n.2, p.138-142, 2007.
- MERTZ, L.C.; HENNING, F. A.; SOARES, R. C.; BALDIGA, R. F.; PESKE, F.; MORAES, D. M. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.254-262, 2009.
- MILANI, M.; LOPES, S. J. Teste de condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de canola. **Ceres**, v.59, n.3, p.374-379, 2015.
- OHLSON, O.C.; KRZYZANOWSKI, F.C.; CAIEIRO, J.T.; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.4, 118-124, 2010.
- RADKE, A.K.; REIS, B.B.; GEWEHR, E.; ALMEIDA, A.S.; TUNES, L.M.; VILLELA, F.A. Alternativas metodológicas do teste de envelhecimento acelerado em sementes de coentro. **Ciência Rural**, v.46, n.1, p.95-99, 2016.
- SANTOS, F.; TRANI, P. E.; MEDINA, P. F.; PARIS, J. J. D. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação da qualidade de sementes de alface e almeirão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 322-323, 2011.
- SHIMAKURA, S.E. **Interpretação do coeficiente de correlação**. 2006.
- SILVA, C. B.; PIVETTA, K. F. L.; OLIVEIRA, C. A. V. M.; RODRIGUES, M. A.; VIEIRA, R. D. Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico de sementes de grama-bermuda. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.2, p.102-107, 2010.

- TAAB, A.; ANDERSSON, L. Seed dormancy dynamics and germination characteristics of *Solanum nigrum*. **Weed Research**, v. 49, n. 5, p. 490-498, 2009.
- TEKRONY, D.M. **Accelerated aging**. In: VAN DE VENTER, H.A. (Ed.). Seed vigour testing seminar. Copenhagen: ISTA, 1995. p.53-72.
- VIDIGAL, D. S.; LIMA, J.S.; BHERING, M.C.; DIAS, D.C.S. Teste de condutividade elétrica em sementes de pimenta. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.1, p.168-174, 2008.

## 5. CAPÍTULO III

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SEMENTES DE AMARANTO

#### 5.1 INTRODUÇÃO

No sistema produtivo de uma região, a diversificação das culturas agrega inúmeros benefícios, dentre eles a diminuição dos riscos e incertezas da exploração agrícola de uma única cultura. Embora muito conhecidas e exploradas pelos povos indígenas da América do Sul, principalmente maias e astecas, os pseudocereais, perderam espaço como fonte de alimento ao longo do tempo (CASINI e ROCCA, 2014).

Dentre as espécies que compõem o grupo dos pseudocereais, está a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), o trigo-sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench.) e o amaranto (*Amaranthus* sp.), sendo que, todas essas culturas vem ganhando destaque devido a sua composição nutricional e funcionalidade nos sistemas produtivos.

Os pseudocereais, possuem características semelhantes aos cereais. São culturas que vem sendo estudadas nos últimos anos devido a sua versatilidade e adaptação aos mais variados ambientes em seus locais de origem, além de sua comprovada contribuição para a complementação da alimentação humana e animal e seu elevado valor de mercado (SPEHAR, 2007).

As culturas do amaranto e da quinoa são fonte de proteína de boa qualidade, que é comparável à caseína do leite e está presente no grão, folhas, bem como nas inflorescências das plantas. Outra característica relevante relacionado à sua utilização na alimentação humana é a ausência de glúten na sua composição, adequando-se perfeitamente a dieta de pessoas celíacas (FERREIRA, et al., 2004).

Além dos inúmeros benefícios dessas culturas, na alimentação humana e animal, os pseudocereais podem ser alternativas de cultivo, que podem agregar valor ao produto e promover o desenvolvimento produtivo de uma região, porém o sucesso da exploração e implantação dessas culturas só será efetivo se houver estudos acerca de suas propriedades, para tanto, faz-se necessário pesquisas voltadas para sua adaptação em campo e aceitação pelo mercado consumidor, bem

como trabalhos que certifiquem a qualidade física dessas sementes, de forma que possibilite a produção e comercialização de sementes e grãos destas espécies.

O conhecimento das propriedades físicas de qualquer material biológico como grãos e sementes é de fundamental importância no auxílio da execução de projetos de engenharia, onde está envolvido o dimensionamento de máquinas e equipamentos para a colheita, manejo, armazenamento, beneficiamento e secagem. Contudo esse conhecimento não se restringe apenas a engenharia, as informações servem também no auxílio de novas tecnologias relacionadas ao desempenho físico e processamento de frutos e vegetais de modo geral (RIBEIRO et al., 2005).

No Brasil, em que a produção agrícola é diversificada, ocorrem perdas das culturas por diversas razões, muitas delas relacionadas aos processos, por exemplo, perdas durante o armazenamento são frequentes. Considerando que os pseudocereais, estão se tornando culturas alternativas e sendo bastante explorado, o conhecimento das propriedades físicas se torna fundamental.

O conhecimento dessas características como tamanho, peso, forma, cor, volume serve como base no dimensionamento e desenho dos equipamentos transportadores, de limpeza e separação, no emprego de técnicas utilizadas no armazenamento e na construção de silos e outros dispositivos de armazenagem, fazem o conhecimento dessas propriedades, ferramentas relevantes para qualquer cultura.

O conhecimento das propriedades dielétricas de grãos e sementes é vital em várias áreas da ciência e engenharia, tanto na pesquisa básica, quanto na aplicada (BARTTLEY; NELSON, 2002). Na agricultura, as propriedades dielétricas de grãos têm sido amplamente utilizadas para determinar o teor de água devido à rápida detecção da umidade. O grau de umidade de detecção baseia-se na correlação entre as propriedades dielétricas dos grãos e a quantidade de água presente. A maioria dos produtos agrícolas e alimentares é higroscópica, e há grande diferença nas propriedades dielétricas da matéria seca e da água (NELSON; BARTTLEY, 2000).

Considerando a grande importância da exploração dessas culturas e variabilidade existente nas propriedades físicas, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas de sementes de amaranto.

## 5.2 Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório Didático de Sementes do Departamento de Fitotecnia em conjunto com o Laboratório de Agrotecnologia do Centro de Engenharias, ambos da Universidade Federal de Pelotas. Foram utilizadas sementes de amaranto (cultivar BRS Alegria).

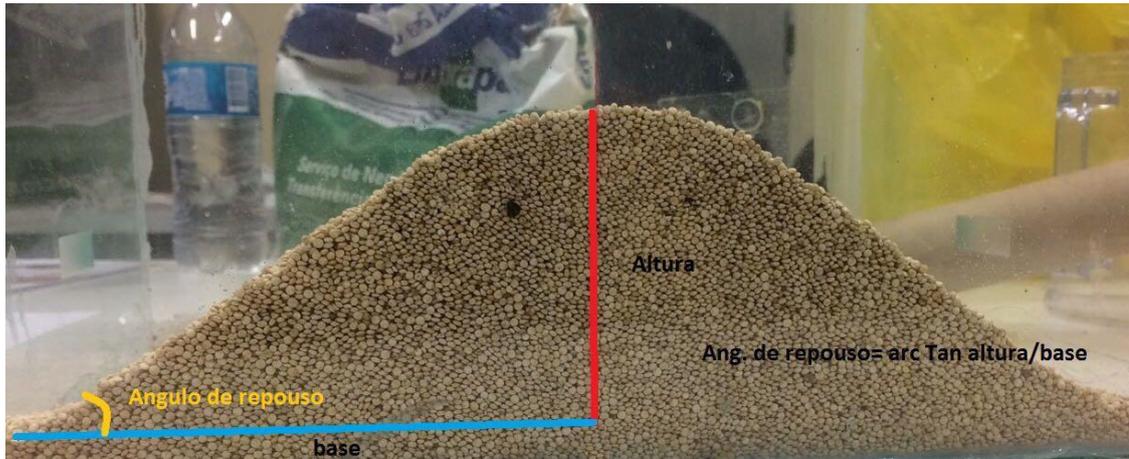
As características físicas analisadas:

**Porosidade:** para a avaliação de porosidade de massa granular foi determinada pela média de sete repetições, através do método com óleo vegetal de soja, para isso foram utilizadas duas provetas de 50 mL, onde o volume de líquido adicionado era conhecido (GUIMARÃES et al., 2015). O líquido foi adicionado na proveta onde estavam os grãos (quinoa e amaranto) para determinação. Os resultados foram obtidos em %.

(Equação 1)

$$P(\%) = \frac{V_{Vazio}}{V_{Total}}$$

**Ângulo de repouso:** para a determinação do ângulo de repouso, foi utilizado um dispositivo com funil acoplado e suspenso, por onde foi despejada a massa de grãos em uma superfície plana. Após foi calculado pelo arco-tangente do quociente da altura pelo raio da massa de grãos (GUIMARÃES et al., 2015). (figura 8).



**Figura 8 .** Representação esquemática do ângulo de repouso

(Equação 2)

$$\theta_{repouso} = \tan^{-1} \left( \frac{2h}{d} \right)$$

Onde,

*h*: altura do cone formado pela massa de sementes em repouso

*d*: diâmetro do cone formado pela massa de sementes

**Dimensão tridimensional:** foram avaliados o comprimento, largura e espessura dos grãos de amaranto e quinoa, através de um paquímetro analógico. Foram utilizadas 10 sementes tomadas aleatoriamente da massa e calculado a média das medidas, e a leitura em milímetros. Também foi determinada a esfericidade das sementes.

**Propriedade dielétrica:** para a determinação da propriedade dielétrica das sementes foi utilizado um sensor capacitivo cilíndrico (Figura 9). O sensor é constituído de dois cilindros metálicos concêntricos com diâmetros diferentes, onde a semente é armazenada entre os dois cilíndricos (Figura 10) ligado a um medidor de capacitância onde é realizado a medias de capacitância. Onde a relação entre a capacitância do sensor alimentado com as sementes e com a capacitância do sensor vazio (Equação 3) é diretamente o valor da propriedade dielétrica. As medidas de propriedade dielétrica foram repetidas por três vezes, obtendo-se o valor médio das medidas, conforme Araújo (2017), os resultados expressos são adimensionais.

(Equação 3)

$$\frac{C_{\text{cheio}} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot L \cdot \ln\left(\frac{D_B}{D_A}\right)}{C_{\text{vazio}} = \epsilon_0 \cdot L \cdot \ln\left(\frac{D_B}{D_A}\right)} = \epsilon_r$$

Onde,

$C_{\text{cheio}}$  – Capacitância do sensor com sementes no seu interior

$C_{\text{vazio}}$  – Capacitância do sensor vazio

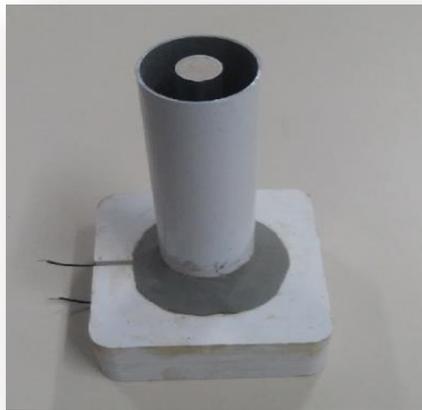
$\epsilon_r$  – Permissividade relativa do material em estudo

$\epsilon_0$  – Permissividade do vácuo  $\sim 8,54 \times 10^{-12} \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$

$L$  – Altura dos cilindros

$D_A$  – Diâmetro externo do cilindro interno (A)

$D_B$  – Diâmetro interno do cilindro interno (B)



**Figura 9.** Cilindros metálicos concêntricos ligados ao medidor de capacitância



**Figura 10** Sensor capacitivo cilíndrico para determinação da propriedade dielétrica das sementes.

**Massa específica:** utilizou-se uma balança eletrônica com resolução de 0,01 g e uma proveta graduada com capacidade de 0,25 L, (Figura 11), (SIQUEIRA et al., 2012). Para garantir a acomodação natural das sementes, além da homogeneidade entre repetições, foi utilizado um funil apoiado ao recipiente onde as mesmas foram despejadas. Para avaliação da massa específica ( $\rho$ ) foi dividida sua massa pelo seu volume, (GUIMARÃES et. al., 2015), ou seja, a massa de grãos contida numa unidade de volume (Figura 6).

$$\rho = \frac{M \text{ amostra}}{V \text{ proveta}}$$

Onde,

$\rho$ - peso aparente

M- massa da amostra

V- volume da proveta

**Massa de mil sementes:** foram utilizadas oito amostras compostas de 100 sementes (amaranto e quinoa), onde foram contadas manualmente e posteriormente pesadas (BRASIL, 2009).

**Análise estatística:** foi realizada estatística descritiva, analisando média, e coeficiente de variação. Após os dados foram tabelados ou representados em gráficos.

### 5.3 Resultados e discussão

Nos subitens abaixo são encontrados os valores encontrados para todas as variáveis estudadas nas duas culturas, amaranto cultivar BRS Alegria e quinoa BRS Piabiru, sendo que possuíam teores de água, respectivamente, de 13,1% e 12,5%.

Para a variável porosidade são apresentados os valores da massa dos grãos de amaranto e quinoa, na tabela 9.

**Tabela 9.** Medidas obtidas para esfericidade (%), porosidade (%) e ângulo de repouso (°) das sementes de amaranto.

Espécie	Esfericidade (%)	Porosidade (%)	Ângulo de Talude (°)
Amaranto	95,05	35,5	25,002
C.V. (%)	5,92	11,5	3,13

A porosidade é definida como sendo a relação entre o volume ocupado pelo ar existente na massa de sementes e o volume total ocupado por esta massa (DIAS, 2007). A avaliação e determinação dessa característica possui influência no dimensionamento de ventiladores e conseqüentemente na potência de motores, em um sistema de secagem. É através dessa determinação que se sabe a pressão de ar necessária para atravessar a massa do produto (SILVA et al., 2000).

Foi observada a porosidade nesse teor de água das culturas de 35,5 e 39,7% de amaranto e quinoa respectivamente. Abalone et al. (2004), avaliando as propriedades físicas de sementes de amaranto verificou que a porosidade, em aproximadamente 15% do teor de água, permaneceu entre 35 e 40%. À medida que aumentou o teor de água de sementes de amaranto, aumentou também sua porosidade, ou seja, sementes armazenadas com maior ou menor teor de água podem influenciar essa característica.

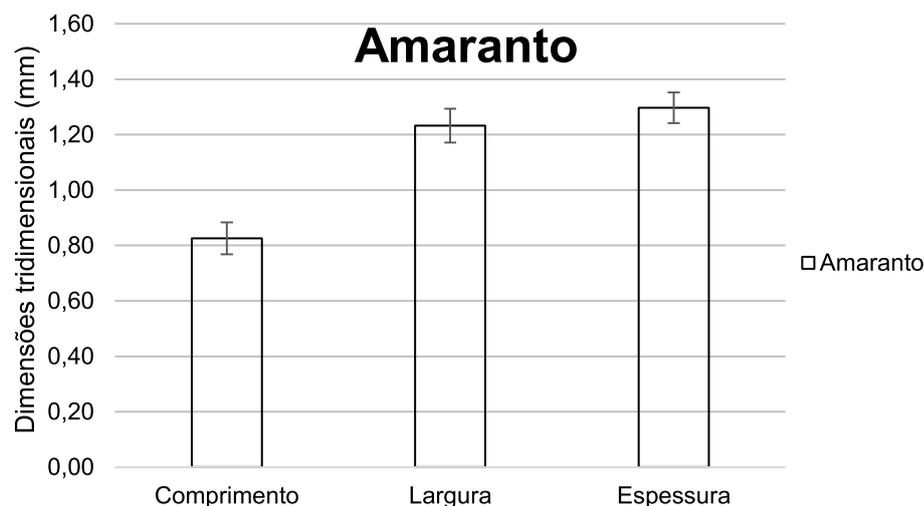
A relação do aumento do teor de água, também foi observado por Vilche et al. (2003) em sementes de quinoa. Essa relação, comparada com sementes de amaranto se tornou mais ampla. Moscon (2015) aferiu que a secagem de sementes de quinoa diminuiu a porosidade da massa de sementes da cultura, obedecendo a um comportamento linear da relação entre teor de água e porosidade.

Os resultados apresentados do ângulo de repouso (Tabela 9) são de 25,00° de ângulo de talude para amaranto. Moscon (2015) encontrou ângulos de 23,49° para amaranto e 37° para quinoa, para teores de água semelhantes ao do presente trabalho. Em sementes de chia, Ystaina et al. (2008), encontrou ângulos de talude entre 16° e 18°. Vilche et al. (2003) observou que há diferenças nos ângulos formados dependendo da superfície utilizada e também do teor de água das sementes.

Os resultados observados dos ângulos formados dos grãos de amaranto e quinoa são inferiores aos ângulos formados pelos grãos de linhaça  $33,4^\circ$  a  $16,81\%$  (COSKUNER e KARABABA, 2007) e ângulo superior ( $17,1^\circ$ ) às sementes de chia com  $7\%$  de teor de água (IXTAINA et al. (2008). As propriedades de fricção como o ângulo de talude ou ângulo de repouso, são propriedades importantes relacionadas a estruturas de armazenamento como, por exemplo, o comportamento do fluxo de materiais.

Para a esfericidade na cultura do amaranto foi de  $93\%$  (Tabela 9). Esse resultado aponta que grãos/sementes que se aproxime da unidade (1) de esfericidade, mais esférico é o grão (GUIMARÃES et al., 2015).

Na Tabela 10 e Figura 12, estão apresentadas as dimensões tridimensionais da cultura de amaranto.



**Figura 11.** Dimensões tridimensionais (largura, espessura e comprimento mm) de sementes de amaranto (BRS Alegria).

**Tabela 10.** Valores observados das dimensões tridimensionais (largura, espessura e comprimento em mm) de sementes de amaranto (BRS Alegria).

Dimensões tridimensionais (mm)					
Cultura	Média	Desvio Padrão	Curtose	Mediana	CV (%)
Amaranto *	0,825	0,037	0,512	0,840	4,44
**	1,287	0,084	-0,986	1,270	6,49
***	1,389	0,078	-0,338	1,370	5,62

\* comprimento

\*\*largura

\*\*\*espessura

Os valores observados foram de 0,82mm, 1,28mm e 1,38mm de comprimento, largura e espessura, respectivamente para amaranto. Esses parâmetros são utilizados para o dimensionamento e seleção do tamanho e forma das peneiras na separação e classificação dos grãos.

Penha et. al. (2007), observaram que para o teor de água de 11,9% em sementes de quinoa, obteve valores de 2,3mm comprimento, 2,1mm largura e 1,3mm de espessura. Para sementes de amaranto, Abalone et. al. (2004) destacou para as mesmas dimensões valores de 1,42 mm, 1,29 mm e 0,87 mm para comprimento, largura e espessura, respectivamente, porém em um intervalo de umidade 9,5 – 43,6%. Essas dimensões dependem de cada cultivar, ou seja, definidas geneticamente, que poderão ser determinadas durante o período da maturidade fisiológica das sementes, por exemplo. Alterações no ambiente também poderão influenciar as propriedades físicas da espécie.

Outra propriedade física importante no dimensionamento dos processos industriais em operações de colheita e pós-colheita, são as propriedades elétricas, visto que, determinam a umidade de grãos e sementes. Na Tabela 11 são apresentados os resultados da permissividade dielétrica, massa específica e massa de 1000 sementes das sementes de amaranto e quinoa.

**Tabela 11.** Medidas obtidas para permissividade dielétrica relativa, massa específica ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e massa de 1000 sementes (g) das sementes de amaranto.

Espécie	Permissividade dielétrica relativa	Massa específica ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Massa de mil (g)
Amaranto	3,268	804,779	0,078
C.V. (%)	1,69	1,28	2,74

A observação dos resultados de permissividade elétrica de um determinado material (semente ou grão) é utilizada para medidores de umidade em agroindústrias, na comercialização de sementes e também em colhedoras de grãos, medindo a umidade em tempo real. Pode-se observar que permissividade elétrica relativa nas sementes de amaranto foi de 3,26.

Em se tratando de sementes sabe-se que a umidade de um determinado lote, por exemplo, é de suma importância, pois essa característica pode descrever sua qualidade fisiológica, o conhecimento da umidade do grão ou da semente no momento da colheita, pode garantir produto final de melhor qualidade (MOSCON, 2015).

A capacidade de um material de armazenar ou dissipar energia elétrica é chamado de capacitância elétrica, que é fator de sua permissividade, essa propriedade serve, por exemplo, para elucidar as interações do material com o campo elétrico, essa consideração está relacionada com o grau de umidade de uma amostra (GUIMARÃES et al., 2015).

A massa específica para a cultura do amaranto foi de  $804 \text{ kg.m}^{-3}$  (Tabela 11). A massa específica é obtida da relação entre a massa do produto e o volume ocupado pela massa, isso inclui os espaços intergranulares (DIAS, 2007).

A massa específica, bem como, a massa de mil sementes são atributos básicos para o estudo de secagem e armazenamento de produtos agrícolas. A massa específica aparente é a razão entre a massa do sólido e o volume do sólido contendo poros. Quando há maior quantidade de espaços intergranulares (poros), menor massa de produto em dado volume constante, tem-se menores valores de massa específica aparente (OLIVEIRA et al., 2014).

Vilche et. al. (2003) observou que a massa específica aparente em sementes de amaranto, a massa específica também diminuiu de 840 para  $720 \text{ kg.m}^{-3}$  em uma variação do teor de água de 7,7 a 43,9% (ABALONE et al., 2004). Segundo Moscon (2015), a massa específica decresce com aumento do teor de água, em um processo de secagem a massa específica pode aumentar. Esse processo pode ser explicado devido à desidratação do material (grãos ou sementes), ocorrendo a redução dos espaços intercelulares, modificando assim as dimensões e o volume (AFONSO JUNIOR; CORRÊA, 2000).

Essa característica foi observada por Sharanagat e Goswami (2014) em sementes de coentro (*Coriandrum sativum*), Kingsly (2006) em sementes de romã e em linhaça Selvi et al. (2006).

Para avaliação da massa de mil sementes a média das sementes de amaranto foi de 0,78 g a teores de água de 13,1% (Tabela 2). Moscou (2015) destacou o peso de mil sementes para amaranto a um teor de água de 11,58% o peso

de mil sementes de 0,86g. Esses resultados dependem de diversos fatores como ambientes e genéticos.

Mais pesquisas acerca das propriedades físicas dos pseudocereais devem ser estudadas, visto que são culturas com amplo crescimento agrícola, devido aos seus inúmeros benefícios.

#### 5.4 Conclusões

Portanto, para sementes de amaranto: a porosidade foi de 35,5%, e seu ângulo de talude de 25°C. Os valores do comprimento, largura e espessura são de 0,825mm, 1,287mm e 1,389mm, já o resultado de esfericidade foi de 93%. A propriedade elétrica, através da permissividade dielétrica relativa foi de 3,26 em amaranto, e sua massa específica de 804,7 kg m<sup>-3</sup>. O peso de mil sementes do amaranto é 0,78g.

#### 5.5 Referências bibliográficas

- ABALONE, R.; CASSINERA, A.; GASTON, A.; LARA, M. A. Some Physical Properties of Amaranth Seeds. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, 89, p. 109– 117, 2004.
- AFONSO JUNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Cinética da contração volumétrica dos grãos de duas cultivares de milho-pipoca durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p.61-65, 2000.
- ARAÚJO, A.S., Desenvolvimento de um sensor capacitivo de medição da massa específica de sementes para automação da mesa de gravidade. 55f. (**Tese Doutorado**) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, 2017.
- BARTTLEY Jr., R.W NELSON, S.O.; McClendon, Dimensional analysis of a permittivity measurement probe, **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement** V. 51 n.6, p. 1312–1315p, 2002.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

- CASINI, Paolo; LA ROCCA, Felice. *Amaranthus cruentus* L. is suitable for cultivation in Central Italy: field evaluation and response to plant densities. **Italian Journal of Agronomy**, v. 9, n. 4, p. 166-175, 2014.
- COSKUNER, Y.; KARABABA, E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Engineering**, London, n. 78, p. 1067–1073, 2007.
- DIAS, L. F. L. Avaliação de algumas propriedades físicas de grãos de café (*Coffea arabica*) orgânico e convencional. 2007. 44f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) Unioeste, Marechal Cândido Rondon, 2007.
- FERREIRA, RENATO RODRIGUES ET AL. Isolation of enzymes involved in threonine biosynthesis from sorghum seeds. *Brazilian Journal Plant Physiology*, Londrina, v.16, n.2, 2004.
- GUIMARÃES, D.S.; LUZ, C.A.S.; PERES, W.B.; LUZ, M.L.G.S. GADOTTI, G.I. **Secagem de grãos e sementes**. Pelotas: Gráfica Santa Cruz, 2015. 314p.
- KINGSLEY, A. R. P.; SINGH, D. B.; MANIKANTAN, M. R.; JAIN, R. K. Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds (Anardana). **Journal of Food Engineering**, London, v. 75, n. 4, p. 492-496, 2006.
- IXTAINA, V.Y., NOLASCO, S.M., TOMÁS, M.C., Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n.3, p 286-293, 2008.
- MOSCON, E.S. Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa. 2015. 85f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.
- NELSON, R.W; BARTTLEY Jr., S.O. Measuring frequency-and temperature-dependent dielectric properties of food materials. **Transactions of the ASAE**, n. 43,v.6, p.1733–1736 , 2000.
- OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C SANTOS; F. L.; VASCONCELOS; W. L.; CALIL JÚNIOR; C.; BAPTESTINI; F. M.; ELÍAS G. A. V. Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1813- 1828, 2014.
- PENHA, F.W.; DEVILLA, I. A. ; BASSINELLO, P.Z. ; OLIVEIRA, M. G. C. . Propriedades físicas dos grãos de quinoa. **In: XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2007, Bonito-MS. XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Jaboticabal: Sbea, 2007. v. 1.

- RIBEIRO, D. M. Corrêa, P. C., Rodrigues, D. H., & Goneli, A. L. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.
- SELVI, K. Ç.; PINAR, Y.; YEŞİLOĞLU, E. Some physical properties of linseed. **Biosystem Engineering**, Amsterdam, v. 95, n. 4, p. 607-612, 2006.
- SHARANAGAT, V. S.; GOSWAMI, T. K. Effect of moisture content on physiomechanical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum*). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, Kyoto, v. 16, n. 3, p. 166-172, 2014.
- SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C., Estrutura, composição e propriedades dos grãos In: SILVA, J. S., **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa: UFV, 2000. p. 21-37.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 2705-2714, 2012.
- SPEHAR, C.R. (Ed.). *Amaranto: opção para diversificar a agricultura e os alimentos*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 136p
- VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E. Physical Properties of Quinoa Seeds. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, 86, p. 59–65, 2003.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A diversificação de culturas no meio produtivo é processo desejável, pois essa prática esta atrelada a inúmeros benefícios como a minimização da degradação do solo, quebra de ciclos de pragas e doenças, além de agregação de valor que não é possível com a monocultura.

Doses de fósforo entre 100 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> potencializam variáveis como a germinação e vigor das sementes de amaranto, por exemplo. A expressão em relação à variabilidade morfológica, componentes do rendimento e qualidade de sementes produzidas, também é decorrente da resposta a adubação fosfatada empregada na cultura. Plantas com maior estatura e acúmulo de biomassa desenvolvem a proporção de pigmentos fotossintetizantes, sendo estes determinantes para a produção e qualidade das sementes produzidas no extremo sul do Brasil.

Quanto à avaliação de vigor para sementes de amaranto, o teste de envelhecimento acelerado conduzido a 41 °C no período de 72 h com uso de solução salina não saturada de NaCl é eficiente na classificação de lotes de sementes de amaranto, em níveis de vigor. O teste de condutividade elétrica realizado com período de hidratação de 8 horas, 25 mL de água e 100 sementes mostra eficiência relativa na classificação de lotes de sementes de amaranto quanto ao potencial fisiológico.

Para as características físicas em sementes de amaranto: a porosidade foi de 35,5%, e seu ângulo de talude de 25°C. Os valores do comprimento, largura e espessura são de 0,825 mm, 1,287 mm e 1,389 mm, já o resultado de esfericidade foi de 93%. A propriedade elétrica, através da permissividade dielétrica relativa foi de 3,26 em amaranto, e sua massa específica de 804,7 kg m<sup>-3</sup>. O peso de mil sementes do amaranto é 0,78g, sendo que os resultados dessas características servem de embasamento no dimensionamento de equipamentos transportadores, de limpeza e separação, no emprego de técnicas utilizadas no armazenamento e na construção de silos e outros dispositivos, portanto se torna relevante o conhecimento das propriedades físicas dessas culturas.

Diante desses resultados, o presente trabalho demonstra a necessidade de estudos futuros a cerca da utilização de culturas alternativas no meio produtivo. Essa

prática pode trazer grandes benefícios, tanto no setor econômico como no segmento social, pois em fase mais avançada, devido ao grande potencial agrícola, o Brasil poderá ocupar lugar de destaque na oferta e aperfeiçoamento da dieta alimentar humana.

