

**Propriedades fisiológicas e físico-químicas de semente de soja com tecnologia IPRO  
durante o armazenamento com e sem controle ambiental**  
**Physiological and physical-chemical properties of soybean seed with IPRO technology  
during storage with and without environmental control**  
**Propiedades fisiológicas y físico-químicas de la semilla de soja con tecnología IPRO  
durante el almacenamiento con y sin control ambiental**

Recebido: 23/04/2020 | Revisado: 24/04/2020 | Aceito: 26/04/2020 | Publicado: 28/04/2020

**Priscylla Martins Carrijo Prado**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3174-8292>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [priscyllamartins@hotmail.com](mailto:priscyllamartins@hotmail.com)

**Alline Emannuele Chaves Ribeiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6048-0235>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [allineribeiroqi@gmail.com](mailto:allineribeiroqi@gmail.com)

**Gabriela Silva Mendes Coutinho**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2469-5698>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [gabrielamendescoutinho@gmail.com](mailto:gabrielamendescoutinho@gmail.com)

**Érica Resende de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4022-129X>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [erica\\_le@hotmail.com](mailto:erica_le@hotmail.com)

**Márcio Caliar**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0877-8250>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [macaliari@ufg.com](mailto:macaliari@ufg.com)

**Marivone Moreira dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4421-7917>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [marivone.santos@uol.com.br](mailto:marivone.santos@uol.com.br)

**Manoel Soares Soares Júnior**

## Resumo

As sementes de soja com tecnologia IPRO possuem resistência ao herbicida glifosato e as principais lagartas da cultura, e tem se destacado na cadeia produtiva da soja, ocupando áreas de plantio cada vez maiores no Brasil e no mundo. Devido à existência de poucos estudos relacionados à pós-colheita de sementes da soja com tecnologia IPRO, esta pesquisa objetivou avaliar se o tempo de armazenamento e as condições de armazenamento afetam as propriedades físico-químicas e fisiológicas de sementes de soja da cultivar NS 7780 IPRO. Delineamento inteiramente casualizado foi utilizado, com esquema fatorial 2 x 5, sendo duas condições de armazenamento (com controle: 12 °C ± 2 e 70% ± 5 de UR, e sem controle ambiental) e cinco períodos de avaliações, a cada 90 dias por 360 dias. O tempo e a condição de armazenamento provocam alteração na maioria das características físico-químicas e em todas as propriedades fisiológicas avaliadas das sementes de soja da cultivar NS 7780 IPRO. O tempo de armazenagem influencia as propriedades fisiológicas, assim como no teor de cinzas, pH e luminosidade. A condição de armazenamento sem controle reduz o vigor, a viabilidade, a germinação, a umidade, a atividade de água e afeta a cor das sementes. As condições ambientais da região de Goiânia não conservam as propriedades fisiológicas da semente de soja do cultivar NS 7780 IPRO por um período maior que 90 dias. A germinação permaneceu adequada até o final do armazenamento com controle ambiental e o vigor ficou dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para comercialização apenas até 180 dias de armazenamento.

**Palavras-chave:** composição centesimal; *Glycine max* (L.Merr.); NS 7780 IPRO; pós-colheita; vigor.

## Abstract

Soybean seeds with IPRO technology have resistance to the herbicide glyphosate and the main caterpillars of the crop, and have stood out in the soybean production chain, occupying increasingly larger planting areas in Brazil and worldwide. Due to the existence of few studies related to post-harvest soybean seeds with IPRO technology, this research aimed to evaluate whether the storage time (360 days, with evaluations every 90 days) and the storage conditions (with control: 12 °C ± 2 and 70% ± 5 RH, and without environmental control)

affect the physical, chemical and physiological properties of soybean seeds of cultivar NS 7780 IPRO. A completely randomized design was used, with a 2 x 5 factorial scheme. The storage time and condition caused changes in most of the physicochemical characteristics and in all the physiological properties evaluated of soybean seeds of cultivar NS 7780 IPRO. Storage time negatively influences physiological properties, as well as ash content, pH and luminosity. The condition of uncontrolled storage, in addition to negatively influencing vigor, viability and germination, also influences moisture, water activity and seed color, demonstrating that uncontrolled storage provides faster change of these parameters. The environmental conditions in the region of Goiânia do not preserve the physiological properties of the soybean seed of the cultivar NS 7780 IPRO for a period longer than 90 days. Germination remained adequate until the end of storage with environmental control and the vigor was within the standards established by Brazilian legislation for commercialization only up to 180 days of storage.

**Keywords:** proximate composition; *Glycine max* (L.Merr.); NS 7780 IPRO; postharvest; vigor.

### **Resumen**

Las semillas de soja con tecnología IPRO son resistentes al herbicida glifosato y las orugas principales del cultivo, y se han destacado en la cadena de producción de soja, ocupando áreas de plantación cada vez más grandes en Brasil y en todo el mundo. Debido a la existencia de pocos estudios relacionados con las semillas de soja poscosecha con tecnología IPRO, esta investigación tuvo como objetivo evaluar si el tiempo de almacenamiento y las condiciones de almacenamiento afectan las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de las semillas de soja del cultivar NS 7780 IPRO. Se utilizó un diseño completamente al azar, con un esquema factorial 2 x 5, con dos condiciones de almacenamiento (con control: 12 °C ± 2 y 70% ± 5 HR, y sin control ambiental) y cinco períodos de evaluación, cada 90 días por 360 días. El tiempo y la condición de almacenamiento provocan cambios en la mayoría de las características fisicoquímicas y en todas las propiedades fisiológicas evaluadas de las semillas de soja del cultivar NS 7780 IPRO. El tiempo de almacenamiento influye en las propiedades fisiológicas, así como en el contenido de cenizas, el pH y la luminosidad. La condición de almacenamiento incontrolado reduce el vigor, la viabilidad, la germinación, la humedad, la actividad del agua y afecta el color de las semillas. Las condiciones ambientales en la región de Goiânia no preservan las propiedades fisiológicas de la semilla de soja del cultivar NS 7780 IPRO por un período de más de 90 días. La germinación permaneció adecuada hasta el

final del almacenamiento con control ambiental y el vigor estuvo dentro de los estándares establecidos por la legislación brasileña para la comercialización de hasta 180 días de almacenamiento.

**Palabras clave:** composición próxima; *Glycine max* (L.Merr.); NS 7780 IPRO; post cosecha; vigor.

## 1. Introdução

A soja (*Glycine max* (L.Merr.)) é a leguminosa mais importante para o agronegócio brasileiro, sendo destaque entre as principais plantas oleaginosas do mundo. O Brasil é o segundo maior produtor mundial, atingindo cerca de 115 milhões de toneladas na safra 2018/19, sendo o primeiro os Estados Unidos e em terceiro a China (Conab, 2020).

A soja tem usos variados para o consumo humano e animal, o que a tornou o alvo principal para manipulação genética. Tais procedimentos têm sido mais proeminentes desde o início das sequências do genoma em 2010, e as manipulações de genes para a composição do óleo e proteína foram intensamente investigadas (Roesler et al., 2016). Na safra 2017/18 cerca de 50% da área de soja no Brasil foi ocupada pelo cultivar Intacta (IPRO), 45% com a tecnologia resistente ao herbicida Roundup Ready (RR) e 5% de soja convencional (Conab, 2019).

A tecnologia Intacta RR2 PRO foi lançada pela empresa Monsanto nos mercados da América do Sul, em que há maior incidência de lagarta. Essa biotecnologia combina três soluções em um produto: controlar as principais lagartas da soja e suprimir outras lagartas, como *Helicoverpa zea* e *Helicoverpa armigera*; tolerância ao glifosato (tecnologia RR) e alta produtividade (Uarrota et al., 2019). Apesar das vantagens desta tecnologia, estudos relacionados às cultivares recém-lançadas ainda são escassos.

Além do uso de novas tecnologias, outro fator importante para o sucesso do cultivo da soja é o uso de sementes de alta qualidade, que geram plantas de alto vigor, permitindo acesso aos avanços genéticos, com garantias de tecnologias de qualidade e adaptação nas diversas regiões, assegurando maior produtividade. Portanto, a qualidade da semente é um fator essencial para o estabelecimento de culturas com alto potencial produtivo. Porém condições adversas durante a pós-colheita podem reduzir a qualidade fisiológica das sementes (França Neto et al., 2016).

A degradação das propriedades fisiológicas da semente depende das condições de temperatura e umidade de armazenamento, podendo levar a alterações enzimáticas e/ou

processos oxidativos, capazes de inviabilizá-la (Ziegler et al., 2016). O teste de tetrazólio é mais preciso para determinar o vigor e a viabilidade das sementes, por ser menos influenciado pela umidade das sementes e por patógenos, como fungos contaminantes, que podem mascarar resultados em outros tipos de teste. O teste de tetrazólio ainda fornece dados das causas que reduziram a qualidade da semente, como danos por umidade, danos mecânicos e danos causados por percevejos. A condutividade elétrica dos exsudados das sementes demonstra a permeabilidade das membranas; quanto maior o resultado, mais nutrientes são lixiviados e menor a qualidade fisiológica das sementes (Coradi et al., 2015).

Além disso, a composição físico-química da semente está diretamente relacionada com a sua capacidade de mobilização de reservas durante a germinação. Desta forma, sementes com altos teores de nutrientes indicam maior qualidade fisiológica (Henning et al., 2010).

Devido à existência de poucos estudos relacionados à pós-colheita de sementes da soja com tecnologia IPRO e, com intuito de verificar a viabilidade do armazenamento deste material por pequenos produtores, que poderiam guardar parte da sua produção para próxima safra em condições ambientais, e comparar a qualidade destas com as de sementes armazenadas por empresas do ramo, que mantêm em câmaras frias, com controle da temperatura e umidade relativa do ar, esta pesquisa objetivou avaliar se o tempo e as condições de armazenamento (com e sem controle ambiental) afetam as propriedades fisiológicas e físico-químicas de sementes da cultivar NS 7780 IPRO.

## **2. Metodologia**

### **2.1. Material**

As sementes de soja cultivar NS 7780 IPRO foram produzidas no município de Formoso, Tocantins, Brasil, colhidas em 01/08/2018, e beneficiadas em Vianópolis, Goiás, Brasil.

### **2.2. Métodos**

#### *2.2.1. Ensaio de armazenamento*

Inicialmente, as sementes foram homogeneizadas e divididas em duas partes que

foram colocadas em sacos de polipropileno trançado. Em seguida, foram submetidas a análises iniciais das propriedades físico-químicas e fisiológicas, e armazenadas em duas condições: ambiente controlado em câmara fria, sob temperatura de  $12\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$  e umidade relativa do ar (UR) de  $70\% \pm 5$ ; e ambiente sem controle, dentro da sala de arquivo do laboratório de sementes, um local sem climatização, com condições ambientais monitoradas pela estação meteorológica localizada na Escola de Agronomia (UFG, 2019).

As amostras foram monitoradas por 360 dias, com avaliações periódicas a cada 90 dias. A primeira, denominada de tempo zero, indicou a qualidade das sementes antes de serem submetidas às condições do experimento. Delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial  $2 \times 5$  foi utilizado, sendo duas condições de armazenamento e cinco tempos de avaliação, entre 08 de outubro de 2018 a 06 de outubro de 2019.

### 2.2.2. *Propriedades fisiológicas das sementes*

Os testes fisiológicos tiveram a finalidade de verificar o vigor, a viabilidade e a germinação das sementes para a semeadura, e também foi verificada a condutividade elétrica dos exsudados das sementes.

#### a) Vigor e viabilidade das sementes

A avaliação da viabilidade foi realizada de acordo com a Regra de Análise de Sementes (Brasil, 2009), enquanto o vigor e a identificação dos danos nas sementes pela metodologia de França Neto, Krzyzanowski & Costa (1998), sendo os resultados expressos em porcentagem (%).

Para o teste de tetrazólio foram utilizadas 100 sementes, divididas em duas sub-amostras de 50 sementes, em triplicata. As sementes passaram pelo processo de pré-condicionamento, sendo envolvidas em papel Germitest umedecido e mantidas em  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 16 h. Em seguida, as sementes foram colocadas em recipientes de plásticos e submersas na solução de trabalho de tetrazólio (0,075%), sendo 75 mL da solução estoque (10 g de sal de tetrazólio em 1L de água destilada) em 925 mL de água destilada. Após a coloração, as sementes foram lavadas com água comum e mantidas submersas por até 12 h no refrigerador ( $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ ). Durante a leitura, as sementes foram cortadas transversalmente e foram avaliadas as superfícies externa e interna dos cotilédones.

As sementes foram separadas por classes, de 1 a 8, sendo as classes 1, 2 e 3 as

vigorosas, e a somatória das três classes, multiplicada por dois resultou no percentual de vigor; as classes 4 e 5 possuem baixo vigor, porém ainda apresentam potencial de germinação, a somatória dos seus resultados multiplicada por dois, determinou o percentual de viabilidade do lote; e as classes 6, 7 e 8 são as sementes mortas, duras ou dormentes. A coloração do tecido varia de vermelho carmim, que indica tecido vivo e vigoroso; vermelho carmim forte é o tecido em deterioração; e branco leitoso indicando tecido morto. A variação da coloração também está associada as lesões características por danos que afetam a qualidade da soja, como: i) danos mecânicos: resultam de impactos físicos durante as operações de colheita, trilha, secagem, beneficiamento, transporte e semeadura formando rachaduras, amassamento e abrasões de coloração vermelho escura; ii) deterioração por umidade: resultante da exposição das sementes a ciclos alternados de condições ambientais úmidas e secas na pré-colheita, apresentam coloração vermelho intenso ou branca e rugas; iii) danos de percevejos, que ao se alimentarem das sementes, inoculam a levedura *Nematospora coryli*, que coloniza os tecidos das semente causando lesões circulares de coloração esbranquiçada, amarelada ou as vezes esverdeada.

#### b) Germinação das sementes

O teste de germinação padrão, com resultados expressos em porcentagem (%), foi realizado com 8 repetições de 50 sementes, distribuídas uniformemente em folhas de papel Germitest, umedecidas com água destilada. O volume de água aplicado foi calculado pelo peso das folhas utilizadas por amostra, multiplicado por 2,5. Em seguida, as sementes foram cobertas com mais uma folha e enroladas, permanecendo em formato cilíndrico. As amostras envoltas no papel foram mantidas em câmara de germinação a 25 °C por 8 dias.

Na leitura foram separadas as plântulas normais, aquelas que demonstraram potencial para continuar o desenvolvimento e dar origem a uma planta normal, as anormais, e as mortas ou dormentes. As plântulas normais foram classificadas em: i) intactas, com todas as estruturas essenciais bem desenvolvidas, completas e saudáveis; ii) com pequenos defeitos, apresentados em suas estruturas essenciais, que não impedem seu desenvolvimento normal; iii) com infecção secundária, deterioradas, mas não sendo a própria semente a fonte de infecção e contendo todas as estruturas essenciais. Enquanto, as sementes anormais foram aquelas que não demonstraram potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem a uma planta normal, sendo classificadas em: i) deformadas, com qualquer uma das estruturas essenciais ausentes ou danificadas, impedindo seu desenvolvimento; ii) infeccionadas,

deterioradas ou doentes, com qualquer uma das estruturas essenciais deterioradas por fungos ou bactérias, resultando em infecção primária. Além das normais e anormais foram quantificadas as sementes duras, que não absorveram água, apresentando aspecto de recém-colocadas; as dormentes, que absorveram água, mas não germinam nem deterioraram nas condições do teste; e as mortas, que não germinaram, nem estavam duras ou dormentes, e normalmente apresentaram ataque de microrganismos. O percentual de germinação foi calculado como a somatória das plântulas normais e anormais e o resultado multiplicado por dois (Brasil, 2009).

### c) Condutividade elétrica dos exsudados das sementes

Quatro repetições com 50 sementes foram realizadas. As sementes foram pesadas e colocadas para embeber em copos de plástico (200 mL) com 75 mL de água destilada ( $<2,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Em seguida, foram mantidas em câmara de germinação a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  por 16 h. Após o período de condicionamento, a condutividade elétrica da solução ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ) foi medida em condutivímetro (ION, DDS-12DW, Jundiaí, Brasil), de acordo com a metodologia descrita por Brandão Júnior et al. (1997).

### 2.2.3. *Características físico-químicas das sementes*

A composição centesimal das sementes foi determinada de acordo com as metodologias recomendadas pela Association of Official Agricultural Chemistry (AOAC, 2016), em triplicata: a umidade pelo método de secagem em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  até peso constante (método 925.45b); o teor de lipídios com éter de petróleo em extrator Soxhlet (método 920.39); o teor de nitrogênio total pelo Método de Kjeldahl, que multiplicado por 6,25 resultou na estimativa do teor de proteína bruta (método 960.52); o teor de cinzas por incineração da amostra em forno mufla a  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  até completa carbonização (método 923.03); e o teor de carboidratos totais foi obtido pela diferença entre 100 e a somatória dos demais componentes, seguindo metodologia da FAO (2003).

Também foram determinados: a atividade de água, pelo equipamento digital Aqualab (Decagon Devices, Series 3TE, São José dos Campos, Brasil); a cor instrumental, com colorímetro portátil (Konica Minolta, CR-10, Osaka, Japão), utilizando espaço de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (luminosidade, coordenada vermelho+/verde-, coordenada amarelo+/azul-, respectivamente), a partir dos parâmetros calculou-se os valores do ângulo Hue (Equação 1);

o pH, misturando-se 2,5 g de amostra em 25 mL de água destilada e fazendo medição em potenciômetro digital (método 981.12 da AOAC, 2016); e a acidez total titulável, acrescentando-se duas gotas de fenolftaleína na mistura, após medição do pH, para titulação com hidróxido de sódio (NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>) até coloração rósea persistente (método 947.05 da AOAC, 2016). O índice de acidez foi calculado pela equação 2.

$$\hat{\text{Ângulo Hue}} = (\text{ATAN}(b^*/a^*)/(6,2832) \times 360) \quad (1)$$

$$\text{Acidez (\%)} = ((V_{\text{NaOH}} \times f_c \times 0,1)/M) \times 100 \quad (2)$$

Em que: V<sub>NaOH</sub> é o volume (mL) de NaOH gasto na titulação; f<sub>c</sub> é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio; 0,1 é a molaridade do hidróxido de sódio; e M é a massa da amostra (g); a\* e b\* são as coordenadas de cor.

#### 2.2.4. *Análise estatística*

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e de correlação de Pearson, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Análise de regressão foi realizada para construção de modelos ajustados e de cada propriedade fisiológica e físico-química avaliada das sementes. Também foi realizada análise de componentes principais (ACP).

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados das características físico-químicas e fisiológicas das sementes de soja da cultivar NS 7780 IPRO armazenadas durante 360 dias sob condições com controle (UR de 70 % ± 5 e temperatura de 12 °C ± 2), e sem controle, estão apresentados na Tabela 1. Os efeitos lineares do tempo e da condição de armazenamento e a interação tempo\*condição foram significativos (p≤0,01) para umidade, acidez total, atividade de água, luminosidade, ângulo Hue, vigor, viabilidade e germinação das sementes. Para o teor de cinzas, pH e condutividade elétrica, somente o efeito linear do tempo e a interação tempo\*condição de armazenamento foram significativos (p≤0,01). Para as variáveis respostas carboidratos totais e proteína, somente o efeito linear do tempo de armazenagem foi significativo (p≤0,01), enquanto que o teor de lipídios não foi afetado por nenhuma variável ou interação entre as mesmas (Tabelas Suplementares 1, 2 e 3).

**Tabela 1.** Propriedades físico-químicas e fisiológicas (média ± desvio-padrão) das sementes de soja do cultivar NS 7780 IPRO armazenada sob condições com controle (umidade relativa do ar de 70 % ± 5 e temperatura de 12 °C ± 2) e sem controle, durante 360 dias.

Tempo <sup>1</sup> *Controle	Umidade <sup>2</sup>	Cinzas <sup>3</sup>	Lipídios <sup>3</sup>	Proteína <sup>3</sup>	Carboidratos <sup>3</sup>	pH <sup>4</sup>	Acidez total <sup>3</sup>	
0	Com	9,23 ± 0,21 <sup>bA</sup>	5,39 ± 0,06 <sup>aA</sup>	23,78 ± 0,20 <sup>aA</sup>	36,22 ± 0,07 <sup>aA</sup>	34,63 ± 0,17 <sup>aA</sup>	7,06 ± 0,06 <sup>aA</sup>	12,10 ± 0,10 <sup>cA</sup>
	Sem	9,23 ± 0,21 <sup>aA</sup>	5,39 ± 0,06 <sup>aA</sup>	23,78 ± 0,20 <sup>aA</sup>	36,22 ± 0,07 <sup>aA</sup>	34,63 ± 0,17 <sup>aA</sup>	7,06 ± 0,06 <sup>aA</sup>	12,10 ± 0,10 <sup>cA</sup>
90	Com	9,57 ± 0,08 <sup>bA</sup>	5,11 ± 0,02 <sup>cB</sup>	24,03 ± 0,29 <sup>aA</sup>	34,17 ± 0,42 <sup>cA</sup>	36,69 ± 0,48 <sup>aA</sup>	6,53 ± 0,03 <sup>cB</sup>	13,19 ± 0,21 <sup>bB</sup>
	Sem	9,65 ± 0,15 <sup>aA</sup>	5,29 ± 0,02 <sup>abA</sup>	24,40 ± 0,54 <sup>aA</sup>	33,26 ± 0,37 <sup>cA</sup>	37,05 ± 0,53 <sup>aA</sup>	6,70 ± 0,04 <sup>bA</sup>	13,72 ± 0,28 <sup>bA</sup>
180	Com	10,47 ± 0,05 <sup>aA</sup>	5,25 ± 0,02 <sup>bA</sup>	23,90 ± 0,14 <sup>aA</sup>	34,07 ± 0,79 <sup>cA</sup>	36,79 ± 0,80 <sup>aA</sup>	6,55 ± 0,03 <sup>cA</sup>	11,97 ± 0,38 <sup>cA</sup>
	Sem	9,37 ± 0,08 <sup>ab</sup>	5,21 ± 0,03 <sup>bcA</sup>	23,55 ± 0,31 <sup>aA</sup>	34,39 ± 0,15 <sup>bcA</sup>	36,86 ± 0,19 <sup>aA</sup>	6,52 ± 0,01 <sup>cA</sup>	11,61 ± 0,11 <sup>cA</sup>
270	Com	10,54 ± 0,15 <sup>aA</sup>	5,22 ± 0,05 <sup>bcA</sup>	24,96 ± 0,05 <sup>aA</sup>	35,21 ± 0,69 <sup>abA</sup>	34,62 ± 0,32 <sup>aA</sup>	6,70 ± 0,01 <sup>bA</sup>	12,27 ± 0,01 <sup>cA</sup>
	Sem	9,28 ± 0,04 <sup>ab</sup>	5,17 ± 0,05 <sup>cA</sup>	24,03 ± 0,22 <sup>aA</sup>	35,60 ± 0,40 <sup>abA</sup>	35,19 ± 1,18 <sup>aA</sup>	6,64 ± 0,01 <sup>bcA</sup>	11,66 ± 0,10 <sup>cB</sup>
360	Com	9,07 ± 0,04 <sup>cA</sup>	5,26 ± 0,04 <sup>bA</sup>	23,41 ± 1,68 <sup>aA</sup>	35,64 ± 0,44 <sup>abA</sup>	35,68 ± 1,66 <sup>aA</sup>	6,76 ± 0,03 <sup>bA</sup>	15,22 ± 0,71 <sup>ab</sup>
	Sem	7,03 ± 0,25 <sup>bB</sup>	5,21 ± 0,05 <sup>bcA</sup>	23,51 ± 0,60 <sup>aA</sup>	35,06 ± 1,01 <sup>abA</sup>	36,20 ± 1,63 <sup>aA</sup>	6,74 ± 0,09 <sup>bA</sup>	17,76 ± 0,21 <sup>aA</sup>
		Atividade de água <sup>2</sup>	Luminosidade <sup>2</sup>	Ângulo Hue <sup>3</sup>	Vigor <sup>4</sup>	Viabilidade <sup>4</sup>	Germinação <sup>4</sup>	Condutividade elétrica <sup>5</sup>
0	Com	0,605 ± 0,00 <sup>dA</sup>	84,09 ± 0,15 <sup>aA</sup>	84,67 ± 0,21 <sup>cA</sup>	80,00 ± 0,00 <sup>bcA</sup>	96,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>	98,00 ± 1,41 <sup>aA</sup>	264,15 ± 6,23 <sup>aA</sup>
	Sem	0,605 ± 0,00 <sup>bA</sup>	84,09 ± 0,15 <sup>aA</sup>	84,67 ± 0,21 <sup>aA</sup>	80,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>	96,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>	98,00 ± 1,41 <sup>aA</sup>	264,15 ± 6,23 <sup>aA</sup>
90	Com	0,622 ± 0,00 <sup>cA</sup>	83,64 ± 0,17 <sup>abA</sup>	85,30 ± 0,04 <sup>bA</sup>	83,00 ± 5,00 <sup>bA</sup>	97,00 ± 2,45 <sup>aA</sup>	98,25 ± 2,54 <sup>aA</sup>	261,98 ± 18,48 <sup>aA</sup>
	Sem	0,613 ± 0,00 <sup>bB</sup>	83,29 ± 0,11 <sup>bA</sup>	84,58 ± 0,14 <sup>ab</sup>	83,00 ± 5,00 <sup>aA</sup>	93,00 ± 0,82 <sup>bB</sup>	95,25 ± 0,15 <sup>aA</sup>	143,05 ± 1,87 <sup>cdB</sup>
180	Com	0,672 ± 0,01 <sup>aA</sup>	82,56 ± 0,34 <sup>cA</sup>	84,51 ± 0,11 <sup>cA</sup>	94,00 ± 4,00 <sup>aA</sup>	100,00 ± 0,00 <sup>aA</sup>	83,00 ± 7,68 <sup>bA</sup>	107,09 ± 3,08 <sup>bB</sup>
	Sem	0,624 ± 0,01 <sup>ab</sup>	81,47 ± 0,20 <sup>cB</sup>	83,49 ± 0,18 <sup>bB</sup>	64,00 ± 2,00 <sup>bB</sup>	92,00 ± 2,00 <sup>ab</sup>	45,75 ± 5,78 <sup>bB</sup>	165,74 ± 5,21 <sup>bcA</sup>
270	Com	0,642 ± 0,00 <sup>bA</sup>	82,37 ± 0,09 <sup>cA</sup>	85,71 ± 0,17 <sup>abA</sup>	70,00 ± 10,00 <sup>cA</sup>	88,00 ± 1,63 <sup>bA</sup>	95,25 ± 1,98 <sup>aA</sup>	117,32 ± 16,76 <sup>bA</sup>
	Sem	0,589 ± 0,00 <sup>cB</sup>	81,52 ± 0,24 <sup>cB</sup>	83,68 ± 0,25 <sup>bB</sup>	23,00 ± 3,00 <sup>cB</sup>	52,00 ± 3,27 <sup>bB</sup>	34,00 ± 5,29 <sup>cB</sup>	130,71 ± 10,57 <sup>dA</sup>
360	Com	0,638 ± 0,00 <sup>bA</sup>	83,48 ± 0,15 <sup>bA</sup>	86,19 ± 0,18 <sup>aA</sup>	71,00 ± 0,82 <sup>cA</sup>	89,00 ± 0,82 <sup>bA</sup>	98,00 ± 1,41 <sup>aA</sup>	91,15 ± 3,98 <sup>bB</sup>
	Sem	0,508 ± 0,00 <sup>dB</sup>	83,68 ± 0,09 <sup>abA</sup>	84,22 ± 0,12 <sup>ab</sup>	3,00 ± 0,81 <sup>dB</sup>	26,00 ± 3,27 <sup>cB</sup>	14,00 ± 1,41 <sup>dB</sup>	177,12 ± 3,04 <sup>bA</sup>

<sup>1</sup>dias; <sup>2</sup> % (base úmida); <sup>3</sup> % (base seca); <sup>4</sup> adimensional <sup>1</sup>dias; <sup>2</sup> adimensional; <sup>3</sup> graus (°); <sup>4</sup> %; <sup>5</sup> μS cm<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>; \*Diferentes letras minúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa entre as médias nos diferentes tempos em cada condição, e maiúsculas em cada coluna entre as condições de armazenagem em cada tempo, pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Umidade, cinzas, pH, acidez total, luminosidade, ângulo Hue, vigor, viabilidade, germinação e condutividade elétrica das sementes de soja armazenadas com e sem controle (c/c e s/c, respectivamente) apresentaram modelos ajustados significativos ( $p \leq 0,01$ ), enquanto carboidratos não ( $p > 0,05$ ) (Tabela 2). O tipo de modelo mais ajustado, considerando o maior coeficiente de correlação ajustado ( $R_{aj}$ ), foi quadrático para cinzas (s/c), atividade de água (c/c), ângulo Hue (c/c), vigor (c/c), germinação (c/c); e cúbico para os demais, que explicaram de 41 a 99% das respostas.

A umidade das sementes do cultivar NS 7780 IPRO armazenadas sob condição controlada ( $12 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2$  e  $70\% \pm 5$  UR) aumentou significativamente ( $p \leq 0,01$ ) após 90 dias e reduziu após 270 dias, permanecendo abaixo dos valores encontrados anteriormente (0 a 270 dias). Entretanto, a umidade das sementes armazenadas sem controle ambiental se manteve até 270 dias, diminuindo significativamente ( $p \leq 0,01$ ) em seguida (Figura 1). A partir dos 180 dias, as sementes sob diferentes condições de armazenagem diferiram entre si em relação ao teor de água. No final do armazenamento as sementes armazenadas sem controle apresentaram redução no teor de umidade de quase 2% em relação às sementes armazenadas em ambiente controlado, que apesar da oscilação entre os meses, quase mantiveram a umidade inicial.

A queda da umidade na condição sem controle se deve provavelmente ao período de seca da região (UFG, 2019), em que as sementes buscaram estabelecer equilíbrio com a umidade relativa do ar. Wang et al. (2010) observaram que sementes de soja tendem a perder água para o meio quando apresentam alto teor de umidade inicial e estão expostas ao ar seco, com maiores perdas em URs abaixo 18,78%, e indicaram que as condições ótimas para um armazenamento seguro de sementes de soja são teor de umidade inicial menor que 12%, umidade relativa do ar maior que 60% e temperatura do ar menor que  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , condições verificadas nesta pesquisa em ambiente controlado.

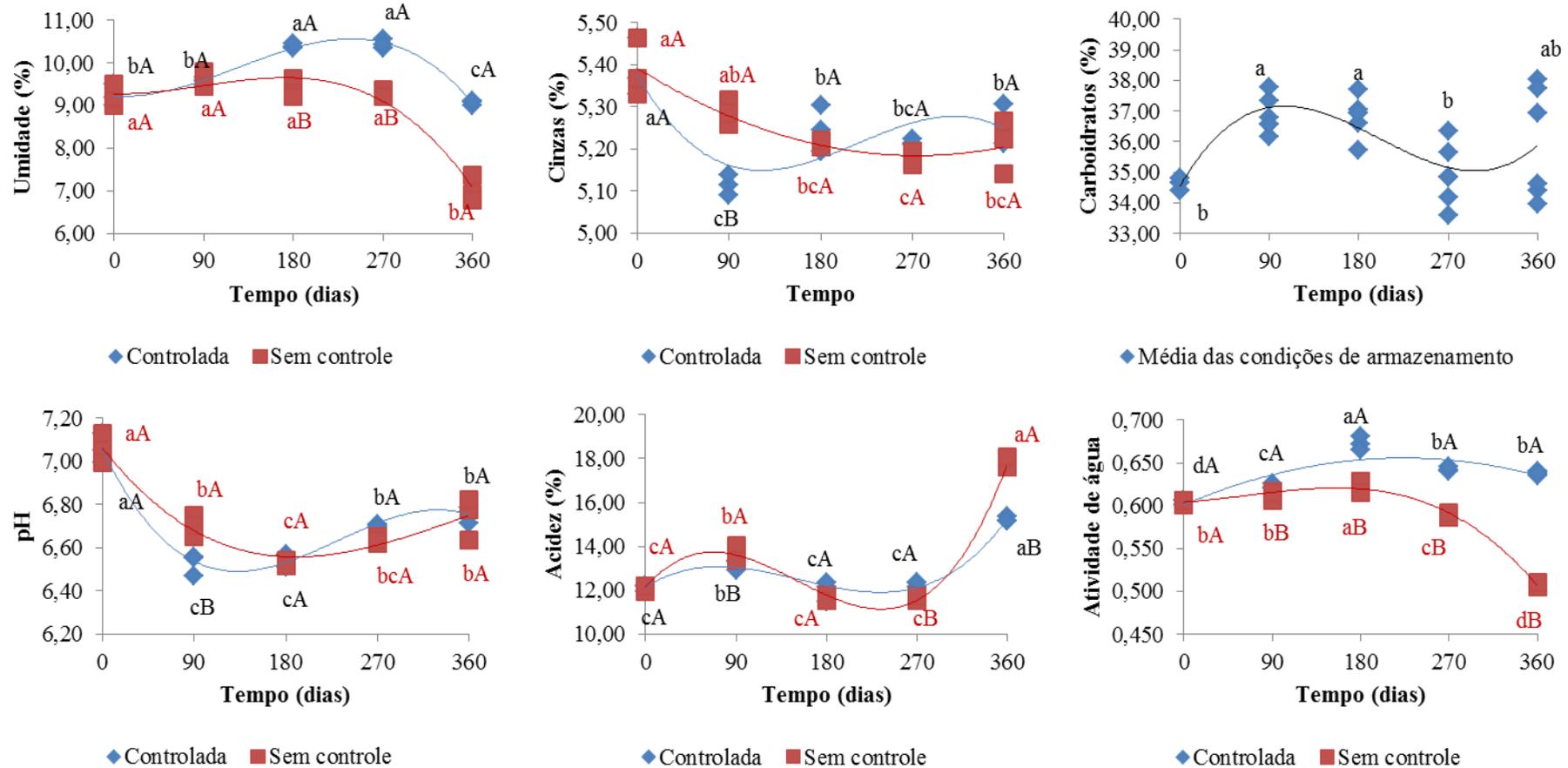
O aumento no teor de umidade durante o armazenamento pode ser devido tanto à respiração dos grãos, quanto a microflora associada a eles, embora a taxa respiratória dos grãos geralmente não seja tão intensa quanto o desenvolvimento dos microrganismos. A transpiração do grão é maior devido ao seu maior teor de umidade, embora a temperatura, a UR e as condições de armazenamento também possam influenciar o metabolismo do grão (Pomeranz & Zeleny, 2009; Muir & White, 2000). De acordo com Weber (2005), a UR afetou mais o teor de umidade das sementes do que a temperatura, o que demonstra a importância da UR na manutenção da umidade das sementes durante o armazenamento, conforme observado neste estudo.

**Tabela 2.** Modelos matemáticos ajustados para as propriedades físico-químicas e fisiológicas das sementes de soja do cultivar NS 7780 IPRO armazenadas durante 360 dias sob condições com controle (umidade relativa do ar de 70% ± 5 e temperatura de 12°C ± 2) e sem controle ambiental.

Variável	Controle	Modelo	R <sup>2</sup>	R <sub>aj</sub> <sup>2</sup>	P
Umidade <sup>1</sup>	Com	$y = -2E^{-7}x^3 + 8E^{-05}x^2 - 0,0014x + 9,22$	0,96	0,95	0,00
Umidade <sup>1</sup>	Sem	$y = -2E^{-7}x^3 + 4E^{-05}x^2 - 0,0006x + 9,28$	0,93	0,92	0,00
Cinzas <sup>2</sup>	Com	$y = -4E^{-8}x^3 + 2E^{-05}x^2 - 0,0043x + 5,38$	0,64	0,54	0,00
Cinzas <sup>2</sup>	Sem	$y = 3E^{-6}x^2 - 0,0015x + 5,39$	0,81	0,77	0,00
Carboidratos <sup>2</sup>	-	$y = 6E^{-7}x^3 - 0,0004x^2 + 0,0561x + 34,56$	0,47	0,41	0,00
pH <sup>3</sup>	Com	$y = -8E^{-8}x^3 + 5E^{-05}x^2 - 0,0098x + 7,06$	0,96	0,95	0,00
pH <sup>3</sup>	Sem	$y = -2E^{-8}x^3 + 2E^{-05}x^2 - 0,0061x + 7,06$	0,92	0,90	0,00
Acidez Total <sup>4</sup>	Com	$y = 6E^{-7}x^3 - 0,0003x^2 + 0,0287x + 12,14$	0,96	0,95	0,00
Acidez Total <sup>4</sup>	Sem	$y = 1E^{-6}x^3 - 0,0005x^2 + 0,0528x + 12,13$	0,99	0,99	0,00
Ativ. de água <sup>3</sup>	Com	$y = -1E^{-6}x^2 + 0,0005x + 0,60$	0,71	0,66	0,00
Ativ. de água <sup>3</sup>	Sem	$y = -6E^{-9}x^3 + 1E^{-06}x^2 + 8E^{-05}x + 0,60$	0,99	0,98	0,00
Luminosidade <sup>3</sup>	Com	$y = 2E^{-7}x^3 - 8E^{-05}x^2 - 0,0004x + 84,11$	0,91	0,88	0,00
Luminosidade <sup>3</sup>	Sem	$y = 4E^{-7}x^3 - 0,0001x^2 - 0,0027x + 84,13$	0,96	0,95	0,00
Ângulo Hue <sup>5</sup>	Com	$y = 1E^{-5}x^2 - 0,0015x + 84,82$	0,99	0,98	0,00
Ângulo Hue <sup>5</sup>	Sem	$y = 2E^{-7}x^3 - 6E^{-05}x^2 + 0,0008x + 84,71$	0,93	0,92	0,00
Vigor <sup>4</sup>	Com	$y = -0,0003x^2 + 0,0894x + 80,23$	0,43	0,33	0,03
Vigor <sup>4</sup>	Sem	$y = 5E^{-6}x^3 - 0,0032x^2 + 0,3167x + 79,40$	0,99	0,99	0,00
Viabilidade <sup>4</sup>	Com	$y = 1E^{-6}x^3 - 0,0008x^2 + 0,1097x + 95,36$	0,68	0,60	0,00
Viabilidade <sup>4</sup>	Sem	$y = 1E^{-6}x^3 - 0,0015x^2 + 0,1643x + 94,66$	0,96	0,95	0,00
Germinação <sup>4</sup>	Com	$y = 0,0003x^2 - 0,106x + 99,708$	0,41	0,31	0,04
Germinação <sup>4</sup>	Sem	$y = 4E^{-6}x^3 - 0,0023x^2 + 0,0336x + 99,95$	0,95	0,94	0,00
Cond. Elétrica <sup>6</sup>	Com	$y = 1E^{-5}x^3 - 0,0061x^2 + 0,0093x + 271,57$	0,85	0,81	0,00
Cond. Elétrica <sup>6</sup>	Sem	$y = -7E^{-6}x^3 + 0,0063x^2 - 1,5839x + 259,28$	0,84	0,79	0,00

<sup>1</sup> % (base úmida); <sup>2</sup> % (base seca); <sup>3</sup> adimensional; <sup>4</sup>%; <sup>5</sup>grau (°); <sup>6</sup>μScm<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup>; R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação); R<sup>2</sup>aj: coeficiente de determinação ajustado; p: nível de significância.

**Figura 1.** Umidade, cinzas, carboidratos, pH, acidez e atividade de água das sementes de soja, cultivar NS 7780 IPRO, armazenadas sob condições controladas (umidade relativa do ar de 70 % ± 5 e temperatura de 12 °C ± 2) e sem controle, durante 360 dias.



Letras maiúsculas diferentes representam que as médias nas duas condições de armazenamento diferiram ( $p \leq 0,05$ ) no mesmo tempo de armazenamento, enquanto as letras minúsculas diferentes indicam que as médias nos tempos de armazenamento diferiram ( $p \leq 0,05$ ) na mesma condição de armazenamento de acordo com o teste Tukey.

O teor de cinzas das sementes de soja variou entre  $5,11\% \pm 0,02$  e  $5,39\% \pm 0,06$ , sendo até 0,18% menor no final do ensaio de armazenamento em relação à condição inicial (Tabela 1). Kibar & Kibar (2019) observaram redução no teor de cinzas em sementes de feijão armazenadas a  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5$  e  $65\% \pm 5$  de UR por 12 meses. Na condição ambiental controlada houve redução significativa ( $p \leq 0,01$ ) do teor de cinzas das sementes aos 90 dias de armazenagem, quando diferiu significativamente da condição sem controle ( $p \leq 0,01$ ), e após este período aumentou, permanecendo com médias estatisticamente iguais ( $p > 0,05$ ) as sementes sem controle até os 360 dias de armazenamento. Para a condição sem controle de temperatura e de UR, o teor de cinzas reduziu até o fim do armazenamento (Figura 1).

Segundo Muir & White (2000), o teor de cinzas aumenta na mesma proporção que a matéria orgânica é consumida através da atividade metabólica e por microrganismos associados. Neste estudo, a redução do teor de cinzas indicou reduzida atividade metabólica e conservação da qualidade durante o armazenamento, ao contrário do que foi reportado para grãos de milho por Tiecker Junior et al. (2014). O que provavelmente possa ser explicado pelos baixos teores de umidade nas sementes de soja durante o presente ensaio de armazenamento.

O teor de lipídios apresentou pouca variação, de  $23,41\% \pm 1,68$  a  $24,96\% \pm 0,05$ , não diferindo significativamente ( $p > 0,05$ ) entre as sementes armazenadas sob diferentes condições e tempos de armazenamento (Tabela 1). Tiecker Junior et al. (2014) também não observaram tendência definida no teor de lipídios ao longo do armazenamento de grãos de milho, conforme observado neste trabalho com sementes de soja. Os autores indicam que o aumento do teor de lipídios pode ocorrer devido à destruição de componentes, como fosfolipídios, durante o armazenamento dos grãos, que levam a formação de compostos solúveis em solventes apolares, enquanto Rupollo (2004), reportaram que processos bioquímicos (oxidação ou respiração) podem promover a redução desses compostos. Portanto, a estimativa do aumento ou diminuição do teor de lipídios durante o armazenamento de grãos também depende do método de determinação de lipídios utilizado.

O teor de proteína das sementes de soja variou entre  $32,71\% \pm 0,15$  e  $37,55\% \pm 0,27$ , reduziu aos 90 dias, em seguida aumentou ( $p \leq 0,01$ ) até 270 dias, e permaneceu constante até o fim do armazenamento, não diferindo do teor apresentado no início do ensaio (Tabela 1). A tendência de redução do teor de proteína em soja durante o armazenamento apresenta relatos na literatura. Liu et al., (2008), Lee & Cho (2012) e Khan, Kumar, & Bala (2016) observaram redução significativa no teor de proteína em grãos de soja armazenados de 120 dias a um ano,

em diferentes condições de armazenamento. Rani et al. (2013) também observaram a mesma tendência para grãos de feijão, em diferentes condições de armazenamento, em discordância com os resultados obtidos nesta pesquisa, provavelmente devido aos valores altos dos desvios-padrões verificados principalmente aos 360 dias de armazenamento neste estudo.

Os carboidratos das sementes de soja apresentaram médias de  $34,62\% \pm 0,32$  a  $37,05\% \pm 0,53$  durante o armazenamento. Houve aumento significativo do teor de carboidratos aos 90 e 180 dias de estocagem (Tabela 1 e Figura 1). Variação do teor de carboidratos também foi observada por Thiecker Júnior et al. (2014) em grãos de milho, que relataram uma redução de 83% para 81% após 6 meses de armazenamento e até o oitavo mês.

A variação no teor de carboidratos está relacionada à variação dos demais compostos químicos existentes nas sementes (Elias, Oliveira & Paraginski, 2013). O aumento no teor de carboidratos pode ter se dado devido à redução dos demais compostos, pois pela análise de correlação de Pearson (Tabela 3) foi possível observar que o teor de carboidratos tem uma associação negativa alta com o teor de proteína (-0,78) e mais baixa com cinzas (-0,44) e lipídios (-0,54), ou seja, à medida que o teor de carboidratos aumenta o teor de proteína, cinzas e lipídios reduzem, em concordância com Wang et al. (2019), que também observaram que os carboidratos nas sementes estão correlacionados negativamente com o teor de proteína.

Independente da condição de armazenamento, o pH das sementes de soja reduziu durante o armazenamento, variando entre  $6,52 \pm 0,01$  e  $7,06 \pm 0,06$  (Tabela 1). Para ambas as condições de armazenamento houve redução significativa até 180 dias e em seguida as médias aumentaram, porém continuaram estatisticamente inferiores ao pH inicial, demonstrando que as sementes tenderam à se acidificar durante os 360 dias de armazenamento. Apesar da oscilação ao longo do tempo, o pH das sementes, em ambas condições de armazenagem, somente diferiu aos 90 dias, em que a condição com controle de temperatura e umidade relativa apresentou pH inferior, quando comparada a condição sem controle (Figura 1).

O pH se correlacionou positivamente com o teor de cinzas (0,78) e de proteína (0,64), e negativamente com o teor de carboidratos disponíveis (-0,55) (Tabela 3). A diminuição do valor do pH foi resultado de um aumento notável na acidez total, e pode ter ocorrido devido à hidrólise de lipídios neutros em ácidos graxos ou devido a oxidação dos ácidos graxos durante o armazenamento. Além disso, a presença de subprodutos ácidos de reações avançadas de Maillard e a hidrólise de fitatos presentes no grão de soja armazenados em

condições adversas de armazenamento, podem favorecer o aumento da acidez total (Hou & Chang, 2004; Strelec et al., 2010).

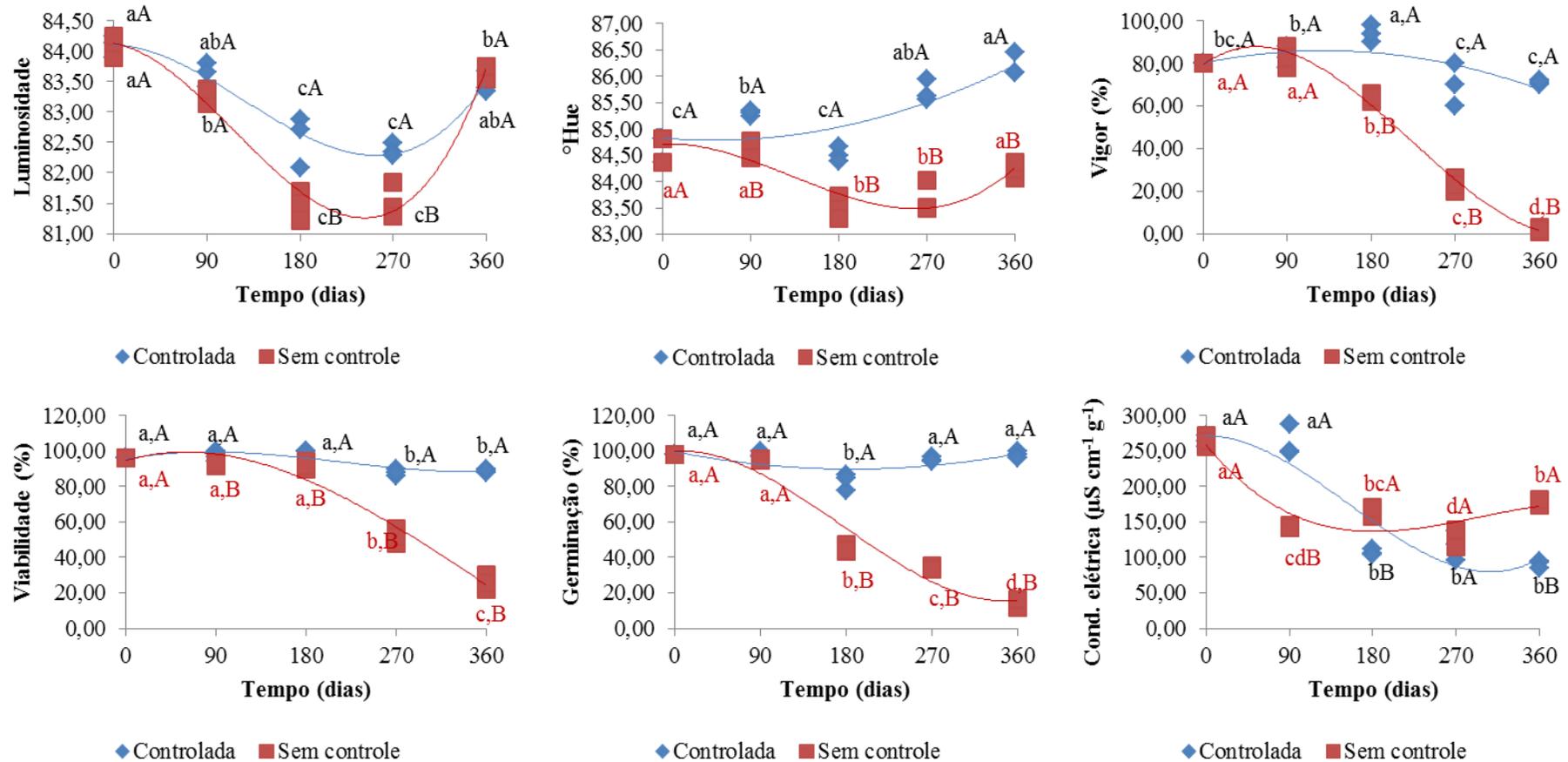
A avaliação da acidez total titulável confirmou a acidificação das sementes, pelo seu aumento significativo ao longo do armazenamento (Figura 1). As médias de acidez total variaram de  $11,61\% \pm 0,11$  a  $17,76\% \pm 0,21$  com as duas condições de armazenagem apresentando o mesmo comportamento (Tabela 1). Houve aumento significativo da acidez aos 90 dias e em seguida retomou-se a médias estatisticamente iguais a inicial, até 270 dias. No último tempo de avaliação (360 dias) as médias aumentaram significativamente para as duas condições. Porém o armazenamento sem controle apresentou acidez total cerca de 2% maior que a condição com controle. Esses resultados corroboram com os encontrados por Alencar et al. (2006) que observando os valores de acidez total nas temperaturas de armazenamento de 30 e 40 °C constatou que, independentemente, do teor de água dos grãos de soja, ocorreu aumento do percentual de ácidos graxos livres do óleo extraído desses grãos, ao longo de 180 dias de armazenamento.

A acidez total titulável das sementes apresentou forte correlação negativa com o teor de água (-0,76), em que a acidez aumenta quando há uma redução na umidade, sendo possível observar claramente neste ensaio esta correlação na fase final do armazenamento (Tabela 3). O alto teor de água dos grãos, a alta temperatura e a elevada atividade de fungos podem ter influenciado no aumento significativo do teor de acidez nos grãos de soja armazenados, pelo aumento de ácidos graxos livres (Pohndorf et al., 2018).

A atividade de água variou de  $0,508 \pm 0,00$  a  $0,672 \pm 0,01$  e apresentou comportamento semelhante à umidade ao longo do armazenamento, demonstrando correlação positiva alta (0,90) (Tabelas 1 e 3). Para a condição de armazenamento com controle, a atividade de água aumentou gradualmente até 180 dias ( $p \leq 0,01$ ), em seguida reduziu significativamente até 270 dias e manteve a média aos 360 dias, mas permanecendo acima das médias iniciais. Na condição sem controle ambiental a média da atividade de água foi constante nos primeiros 90 dias, aumentou estatisticamente aos 180 e em seguida reduziu significativamente até o fim do armazenamento, acompanhando o teor de água das sementes e a umidade relativa do ar nos últimos meses de avaliação (Figura 1).

Quanto à cor instrumental, as sementes armazenadas apresentaram oscilações que indicam perda da cor. A luminosidade das sementes de soja variou de  $81,47 \pm 0,20$  a  $84,09 \pm 0,15$ , com o mesmo comportamento para as duas condições de armazenamento, reduzindo estatisticamente ( $p \leq 0,00$ ) até 180 dias e mantendo a média aos 270 dias, o que indicou escurecimento (Tabela 1).

**Figura 2.** Luminosidade, ângulo Hue, vigor, viabilidade, germinação e condutividade elétrica das sementes de soja, cultivar NS 7780 IPRO, armazenadas sob condições controladas (umidade relativa do ar de 70% ± 5 e temperatura de 12 °C ± 2) e sem controle, durante 360 dias.



\*Letras maiúsculas diferentes representam que as médias nas duas condições de armazenamento diferiram ( $p \leq 0,05$ ) no mesmo tempo de armazenamento, enquanto as letras minúsculas diferentes indicam que as médias nos tempos de armazenamento diferiram ( $p \leq 0,05$ ) na mesma condição de armazenamento de acordo com o teste Tukey.

**Tabela 3** Análise de correlação de Pearson das propriedades físicas, químicas e fisiológicas da cultivar NS 7780 IPRO, armazenada sob condições controladas (umidade relativa do ar de 70 % ± 5 e temperatura de 12 °C ± 2) e sem controle, durante 360 dias.

Parâmetros	Tempo	Condição	Umidade	Cinzas	Lipídio	Proteína	Carboid.	pH	Acidez	Aa	L*	°Hue	Vigor	Viab.	Germ.	C.elé
Tempo	1,00	0,00	-0,33	<b>-0,49</b>	-0,06	0,00	0,07	<b>-0,42</b>	<b>0,55</b>	-0,23	<b>-0,38</b>	0,14	<b>-0,62</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,74</b>
Condição		1,00	<b>-0,46</b>	0,05	-0,10	-0,07	0,12	0,04	0,11	<b>-0,58</b>	-0,22	<b>-0,70</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,61</b>	0,06
Umidade			1,00	0,00	0,30	-0,23	0,00	-0,25	<b>-0,76</b>	<b>0,90</b>	-0,32	0,25	<b>0,75</b>	<b>0,76</b>	<b>0,63</b>	-0,21
Cinzas				1,00	0,03	<b>0,43</b>	<b>-0,44</b>	<b>0,78</b>	-0,12	0,03	<b>0,47</b>	0,03	0,31	0,29	<b>0,37</b>	0,27
Lipídio					1,00	-0,10	<b>-0,54</b>	-0,05	-0,21	0,17	-0,07	0,17	0,10	0,10	0,17	-0,13
Proteína						1,00	<b>-0,78</b>	<b>0,64</b>	-0,04	-0,20	0,28	0,14	-0,21	-0,17	0,01	0,27
Carboidratos							1,00	<b>-0,55</b>	0,17	0,05	-0,21	-0,23	0,08	0,06	-0,14	-0,16
pH								1,00	0,02	-0,25	<b>0,64</b>	0,14	0,07	0,06	0,30	<b>0,48</b>
Acidez									1,00	<b>-0,63</b>	<b>0,44</b>	0,24	<b>-0,52</b>	<b>-0,61</b>	-0,33	-0,12
Ativ. de água										1,00	-0,24	<b>0,37</b>	<b>0,82</b>	<b>0,85</b>	<b>0,68</b>	-0,29
Luminosidade											1,00	<b>0,48</b>	0,21	0,11	<b>0,45</b>	<b>0,57</b>
Ângulo Hue												1,00	<b>0,40</b>	0,34	<b>0,68</b>	-0,11
Vigor													1,00	<b>0,98</b>	<b>0,88</b>	0,14
Viabilidade														1,00	<b>0,85</b>	0,16
Germinação															1,00	0,19
Con. elétrica																1,00

Valores em vermelho representam correlação significativa ( $p \leq 0,05$ ).

Na última avaliação, aos 360 dias, a luminosidade das sementes voltou a aumentar, permanecendo com média estatisticamente igual aos dois primeiros tempos (0 e 90 dias) para a condição sem controle ambiental, enquanto para a condição controlada houve escurecimento em relação as sementes no início do ensaio e não diferiu da luminosidade verificada aos 90 dias (Figura 2).

Para o ângulo Hue, que indica a coloração entre vermelho ( $0^\circ$ ), amarelo ( $90^\circ$ ), verde ( $180^\circ$ ) e azul ( $270^\circ$ ), a variação foi de  $83,49^\circ \pm 0,18$  a  $86,19^\circ \pm 0,18$ , indicando que as sementes são amareladas (Tabela 1). Ao longo do armazenamento e na condição com controle de temperatura e umidade, o ângulo Hue das sementes aumentou significativamente ( $p \leq 0,00$ ) até os 360 dias, se aproximando mais da coloração amarela pura. No entanto, para a condição sem controle o ângulo Hue reduziu estatisticamente aos 180 dias, mantendo a média aos 270 dias, indicando uma tendência a um tom de amarelo mais alaranjado, e aos 360 dias não diferiu do valor inicial (Figura 2).

A mudança na cor da soja armazenada pode ser atribuída a reações não enzimáticas. O escurecimento não enzimático é resultado da reação de Maillard, que envolve as interações entre proteínas e açúcares redutores, e alteram sabor, odor e cheiro dos alimentos, que pode ter sido o fator contribuinte para a reação de escurecimento da soja (Bazoni et al., 2017). Kong et al. (2008) também observaram alterações similares, como o declínio do  $L^*$ , para grãos de soja armazenados ( $50^\circ\text{C}$  e 70% UR). Eles também observaram que a UR de 70% favorece maior alteração na coloração do que a 65%, sendo que nesse estudo utilizou-se 70%, o que pode ter favorecido a mudança dos parâmetros de cor. Além disso, relataram que apenas a  $4^\circ\text{C}$  aos 360 dias não se observou alteração em nenhum parâmetro de cor do grão. A luminosidade das sementes de soja durante o armazenamento se associou positivamente com o teor de cinzas (0,47), pH (0,64) e acidez (0,44) (Tabela 3). Apesar de não serem correlações altas, foi possível observar que estas características das sementes apresentaram comportamento semelhante ao longo do tempo de armazenamento. O ângulo Hue apresentou correlação positiva com atividade de água (0,37) e luminosidade (0,37).

O vigor e a viabilidade das sementes de soja armazenadas, determinados pelo teste de tetrazólio, variaram de  $94,00\% \pm 4,00$  a  $3,00\% \pm 0,81$  e de  $100,00\% \pm 0,00$  a  $26,00\% \pm 3,27$ , respectivamente, diminuindo durante o armazenamento (Tabela 1 e Figura 2). O maior percentual de danos observados nas sementes foi por umidade, aumentando de 97% no início do armazenamento a 100% no final, enquanto que os danos mecânicos reduziram de 1% a 0% e não foi observado dano por percevejo ao longo do experimento. Para o ambiente controlado, o vigor das sementes de soja aumentou gradualmente até 180 dias, diminuindo

em seguida, voltando a ficar estatisticamente semelhante à condição inicial, enquanto que para a condição sem controle ocorreu uma diminuição gradual do vigor a partir dos 180 dias. A viabilidade se manteve até 180 dias de armazenamento, caindo em seguida, independentemente da condição de armazenamento.

O valor mínimo de vigor exigido para certificação de sementes de soja no Brasil é de 80% (Brasil, 2013). O vigor das sementes permaneceu acima de 80% até 180 dias de armazenamento, e após este tempo de armazenamento, apesar das médias de vigor não diferirem estatisticamente em relação à condição inicial das sementes, as sementes apresentaram valores abaixo de 80%. Já para a condição sem controle ambiental as de soja mantiveram o vigor mínimo para comercialização somente até 90 dias de armazenamento.

O teste de germinação padrão apresentou resultados que variaram de  $98,25\% \pm 2,54$  a  $14,00\% \pm 1,41$  para as sementes de soja armazenadas em condições com e sem controle ambiental (Tabela 1). Para a condição controlada as sementes tiveram sua germinação preservada até o final do armazenamento, apesar de que no tempo de 180 dias houve uma queda estatisticamente significativa ( $p \leq 0,01$ ), contudo permaneceu dentro dos padrões exigidos para comercialização, que também é de 80% (Brasil, 2013). No armazenamento sem controle, assim como para o vigor, a germinação reduziu significativamente após 90 dias, até o fim do experimento, demonstrando que as condições ambientais da região não foram apropriadas para manter as propriedades fisiológicas da semente de soja do cultivar NS 7780 IPRO por um período maior que 90 dias.

Os resultados corroboraram com os de Balesevic-Tubic et al. (2010) que observaram que a germinação da soja, na Sérvia, declinou mais em sementes armazenadas em armazéns convencionais, permanecendo abaixo de 80%, devido à variabilidade de temperatura e de UR, do que em ambiente controlado, após 180 dias de armazenamento. Por outro lado, Schons et al., (2018) no Piauí, encontraram maior porcentagem de sementes normais (% de viabilidade), cerca de 70%, em condição de armazenamento de armazém (ambiente), quando comparado com ambientes de câmara fria (10 °C e 70% UR) e silo bolsa (hermético), que obtiveram médias variando em torno de 55% após 180 dias. Contudo explicaram que o menor teor de água das sementes na condição ambiente pode ter proporcionado a melhor conservação da qualidade.

A condutividade elétrica variou de  $264,15 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1} \pm 6,23$  a  $91,15 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1} \pm 3,98$  (Tabela 1). No armazenamento das sementes de soja com controle das condições ambientais, a condutividade se manteve estável até os 90 dias, em seguida, reduzindo significativamente, apresentando médias que não diferiram até o fim do armazenamento. Para

a condição sem controle houve redução significativa nos primeiros 90 dias, e depois as médias oscilaram, porém permaneceram inferiores à inicial.

A condutividade elétrica quantifica a lixiviação de substâncias ionizantes, que ocorre nos grãos em função dos danos mecânicos e, ou térmicos causados na estrutura celular. Quanto maior a quantidade de nutrientes lixiviados, maior a deterioração das estruturas externas, conseqüentemente, menor a qualidade fisiológica (Coradi et al., 2015). Observou-se, que houve aumento da deterioração dos grãos, pelo teste de condutividade elétrica, a partir de 180 dias para a condição controlada e de 90 dias para a condição sem controle.

Smaniotta et al., (2014) avaliaram a qualidade fisiológica de soja durante o armazenamento e descobriram que na temperatura de 20 °C, os grãos se mantiveram com melhor qualidade, em função do teste de condutividade elétrica, comparado com o grão armazenado em temperaturas mais altas. Segundo Alencar et al. (2006), o aumento da condutividade elétrica é mais expressivo à medida que se aumenta a temperatura e o teor de água dos grãos, para temperaturas acima de 30 °C, pela desorganização de membranas, que, possivelmente, foi causada por oxidação dos lipídios de membrana. No presente estudo, também foi possível observar que em temperaturas do ar mais elevadas (outubro de 2020), determinaram-se valores mais altos de condutividade elétrica no ambiente sem controle, e que no armazenamento em temperaturas mais baixas houve redução dos valores. Esta redução indica que as sementes melhoraram a qualidade fisiológica com o tempo de armazenamento, no ambiente controlado, porém Szemruch et al. (2015) explicaram que o armazenamento em baixas temperaturas pode influenciar na capacidade do teste, devido a uma reorganização das estruturas externas das membranas das sementes, resultando em menor vazamento de exsudatos.

Todos os testes indicam a qualidade fisiológica das sementes, contudo Michelon & Bonetti (2019) compararam quatro cultivares transgênicas, sendo duas RR e duas IPRO, durante 150 dias, e observaram melhores resultados pelo teste de tetrazólio seguido pelo teste oficial (germinação padrão), demonstrando que outros testes, como o de condutividade elétrica, podem apresentar mais erros pela influência de condições externas.

Pela análise de correlação de Pearson (Tabela 3) observou-se que, dentre os parâmetros avaliados, a umidade apresentou destaque, com correlação positiva alta com três das quatro propriedades fisiológicas, sendo o vigor (0,75), a viabilidade (0,76) e a germinação (0,63). O pH se correlacionou positivamente com a condutividade elétrica (0,48); a acidez apresentou correlação negativa com vigor (-0,52) e viabilidade (-0,61); a atividade de água obteve alta associação positiva com vigor (0,82), viabilidade (0,85) e germinação

(0,65); a luminosidade se correlacionou positivamente com germinação (0,45) e condutividade elétrica (0,57); e ângulo Hue apresentou correlação positiva com vigor (0,40) e germinação (0,68). Além disso, as propriedades fisiológicas se correlacionam entre si, o vigor com a viabilidade (0,98), ambos pela análise de tetrazólio, e com a germinação (0,88) e a viabilidade com a germinação (0,85).

A análise de componentes principais (ACP) (Figura 3) demonstrou que o primeiro componente (CP<sub>1</sub>) correspondeu com 36,86% das variações, o segundo componente (CP<sub>2</sub>) com 28,56% e o terceiro com 13,07%, juntos foram responsáveis por 78,49% das variáveis totais. Os vetores próximos apresentaram correlação positiva, como a umidade com a atividade de água e o vigor com a viabilidade. Os vetores opostos demonstraram correlação negativa, como carboidratos com proteína e umidade com acidez.

Os pontos da CP<sub>1</sub> foram obtidos pela Equação (3) e CP<sub>2</sub> pela Equação (4), nas quais as variáveis X<sub>1</sub>-X<sub>16</sub> foram respectivamente: umidade, cinzas, lipídio, proteína, carboidratos totais, pH, acidez total titulável, atividade de água, luminosidade, ângulo hue, vigor, viabilidade, germinação, condutividade elétrica, tempo de armazenagem e condição de armazenamento. De acordo com a ACP (Figura 3A), o tempo de armazenagem apresentou influência inversamente proporcional (vetores opostos e correlação negativa) com o vigor, a viabilidade e a germinação, assim como no teor de cinzas, pH e luminosidade, demonstrando que ao longo do tempo esses parâmetros reduziram.

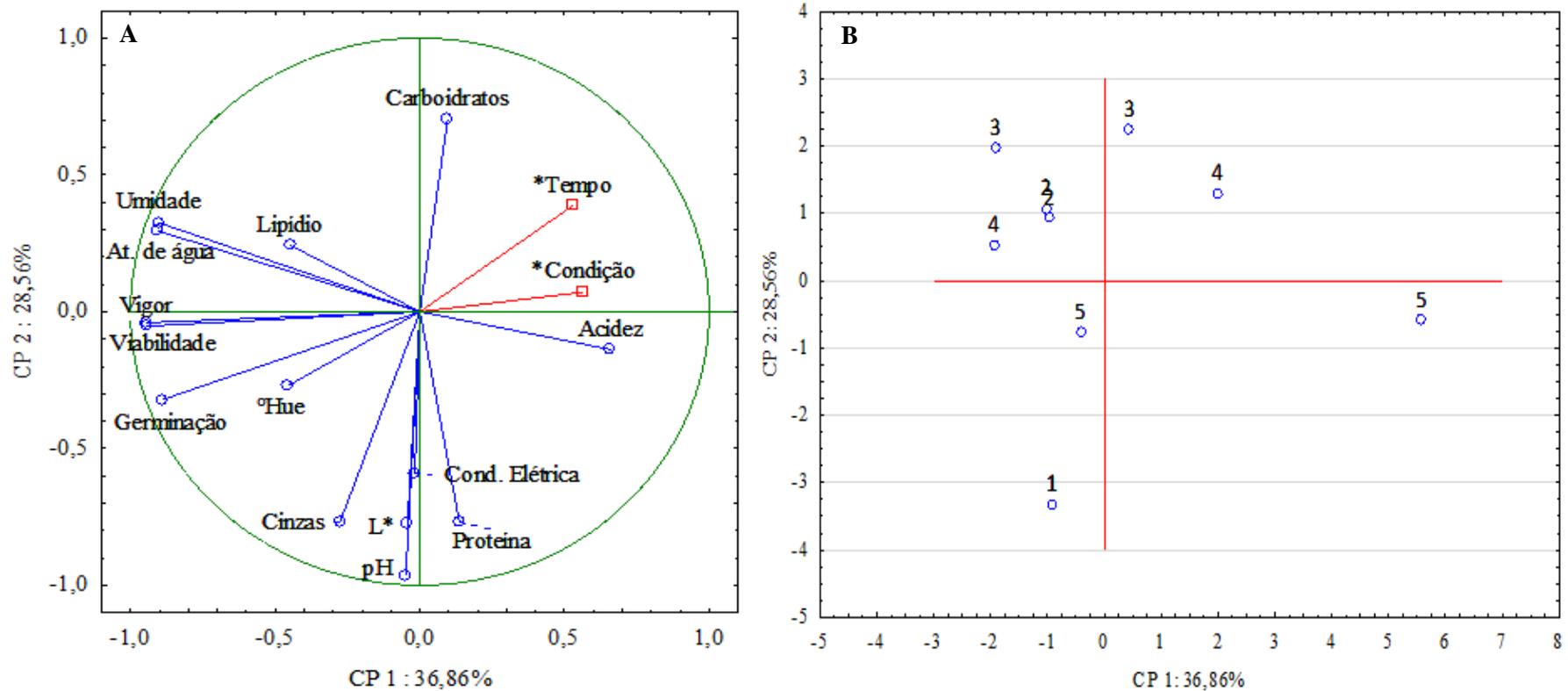
$$CP_1 = -0,904X_1 - 0,275X_2 - 0,447X_3 + 0,136X_4 + 0,096X_5 - 0,0487X_6 + 0,659X_7 - 0,905X_8 - 0,043X_9 - 0,455X_{10} - 0,945X_{11} - 0,946X_{12} - 0,889X_{13} - 0,017X_{14} + 0,528X_{15} + 0,566X_{16} \quad (3)$$

$$CP_2 = 0,326X_1 - 0,765X_2 + 0,242X_3 - 0,766X_4 + 0,703X_5 - 0,964X_6 - 0,138X_7 + 0,295X_8 - 0,774X_9 - 0,270X_{10} - 0,053X_{11} - 0,040X_{12} - 0,321X_{13} - 0,593X_{14} + 0,387X_{15} + 0,072X_{16} \quad (4)$$

A condição de armazenamento além de reduzir o vigor, viabilidade e germinação, também influenciou na umidade, atividade de água e ângulo Hue, demonstrando que o armazenamento sem controle proporcionou redução desses parâmetros.

Dos tempos de avaliação na ACP (Figura 3B) observa-se que o 2 (90 dias), 3 (180 dias) e 4 (270 dias) se concentraram no primeiro e segundo quadrantes, influenciando mais nas respostas das propriedades químicas, como carboidratos, umidade e lipídios, enquanto que o tempo 1 (0 dias) se manteve no terceiro quadrante, tendo maior influência em propriedades físico-químicas como pH, luminosidade e ângulo Hue. O tempo 5 (360 dias)

**Figura 3** Análise de componentes principais das propriedades físico-químicas e fisiológicas (A) de sementes de soja da cultivar NS 7780 IPRO, armazenadas sob condições controladas (umidade relativa do ar de 70%  $\pm$  5 e temperatura de 12 °C  $\pm$  2) e sem controle, durante 360 dias, com cinco tempos de avaliação (B).



como ficou mais próximo do eixo x, pode ter pouca influencia nas respostas, ou apresentou influência nas propriedades com vetores próximos ao eixo, como as propriedades fisiológicas e a acidez.

#### **4. Considerações Finais**

O tempo e a condição de armazenamento provocam alteração na maioria das características físico-químicas e em todas as propriedades fisiológicas avaliadas das sementes de soja da cultivar NS 7780 IPRO. O tempo de armazenagem influencia as propriedades fisiológicas, assim como no teor de cinzas, pH e luminosidade. A condição de armazenamento sem controle reduz o vigor, a viabilidade, a germinação, a umidade, a atividade de água e afeta a cor das sementes. As condições ambientais da região de Goiânia não conservam as propriedades fisiológicas da semente de soja do cultivar NS 7780 IPRO por um período maior que 90 dias, e apesar da germinação permanecer adequada até o final do armazenamento com controle ambiental, o vigor fica dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para comercialização apenas até 180 dias de armazenamento.

#### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), além da empresa Sementes Brasília, que colaborou com a doação do material.

#### **Referências**

Alencar, E. R., Faroni, L. R. DA, Lacerda Filho, A. F., Ferreira, L. G., & Meneghitti, M. R. (2006). Influence of different storage conditions on soybean grain quality. *9th International Working Conference on Stored Product Protection*, 30–37. Campinas, São Paulo, Brazil.

AOAC –Association of Official Analytical Chemistry. (2016). *Official methods of analysis*, ed. 19. Gaithersburg.

Balešević-Tubic, S., Tatic, M., Dordevic, V., Nikolic, Z., & Dukic, V. (2010). Seed viability of oil crops depending on storage conditions. *Helia*, 33(52), 153–160.

Bazoni, C. H. V.; Ida, E. I.; Barbin, D.; Kurozawa, L. E. (2017). Near-infrared spectroscopy as a rapid method for evaluation physicochemical changes of stored soybeans. *Journal of Stored Products Research*, 73, p. 1-6.

Brandão Junior, D. S.; Ribeiro, D. C. A.; Bernardino Filho, J. R.; Vieira, M. G. G. C. (1997). Adequação do teste de condutividade elétrica para determinar a qualidade fisiológica de sementes. *Informativo ABRATES*, 7(1/2), 184.

Brasil. (2013). *Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013: Padrão para Produção e Comercialização de Sementes de Soja*. Brasília: D.O.U., p.38.

Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília: Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária.

Conab. Companhia Nacional de abastecimento. (2019). *Acompanhamento de safra brasileira de grãos*, safra 2018/19, v. 6, n. 11 – Décimo primeiro levantamento, Brasília. Acesso em: 07 dez. 2019 em: <<http://www.conab.gov.br>>

Conab. Companhia Nacional de abastecimento. (2020). *Acompanhamento de safra brasileira de grãos*, safra 2019/20, v. 7, n. 4 – Quarto levantamento, Brasília. Acesso em: 10 jan. 2020 em: <<http://www.conab.gov.br>>

Coradi, P. C., Milane, L. V., Camilo, L. J., Prado, R. L. F., & Fernandes, T. C. (2015). Qualidade de grãos de soja armazenados em baixas temperaturas. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 9(3), 197–208.

Elias, M. C.; Oliveira, M de; Paraginski, R. T. (2013). *Certificação de unidades armazenadoras de grãos e fibras no Brasil*. Pelotas: Santa Cruz.

FAO. Food and Agriculture Organization. (2003). *Food Energy – Methods of analysis and conversion factors*. FAO: Food and Nutrition, Roma.

França Neto, J. B.; Krzyzanowski, F. C.; Costa, N. P. (1998). *O teste de tetrazólio em sementes de soja*. Documento 116. Londrina: Embrapa-CNPSo.

França Neto, J. de B.; Krzyzanowski, F. C.; Henning, A. A.; Pádua, G. P.; Lorini, I.; Henning, F. A. (2016). *High quality soybean production technology*. Acesso em: 12 jan. 2020 em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151223/1/Documentos-380-OL1.pdf>>.

Henning, F. A., Mertz, L. M., Jacob Junior, E. A., Dorneles Machado, R., Fiss, G., & Dejalma Zimmer, P. (2010). Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. *Bragantia*, 69(3), 727–734.

Hou, H. J., & Chang, K. C. (2004). Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(6), 473–488.

Khan, M. M. A., Kumar, A., & Bala, K. L. (2016). Effect of storage conditions on physio-chemical characteristics of tray and solar dehydrated health functionality indigenous fermented soybean hawaijar. *Intl. J. Food. Ferment. Technol*, 6(1), 137–142.

Kibar, H., & Kibar, B. (2019). Changes in some nutritional, bioactive and morpho-physiological properties of common bean depending on cold storage and seed moisture contents. *Journal of Stored Products Research*, 84.

Kong, F., Chang, S. K. C., Liu, Z., & Wilson, L. A. (2008). Changes of soybean quality during storage as related to soymilk and tofu making. *Journal of Food Science*, 73(3), S134–44.

Lee, J. H., & Cho, K. M. (2012). Changes occurring in compositional components of black soybeans maintained at room temperature for different storage periods. *Food Chemistry*, 131(1).

Liu, C., Wang, X., Ma, H., Zhang, Z., Gao, W., & Xiao, L. (2008). Funcnal properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. *Food Chemistry*, 111(1), 29–

37.

Michelon, C., & Bonetti, L. P. (2019). Variação da qualidade fisiológica de sementes de cultivares transgênicas de soja em decorrência do tempo de armazenamento. *Ciência & tecnologia*, 3(1), 8–12.

Muir, W. E., White, N. D. G. (2000). *Microorganisms in stored grain*. In: Muir, W.E. (Ed.), Grain Preservation Biosystems: Manitoba, 1-17.

Pohndorf, R., Meneghetti, V., & Paiva, F., Oliveira, M., Elias, M. (2018). Kinetic evaluation of oxidative stability and physical degradation of soybean grains stored at different conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(10), 1-8.

Pomeranz, Y.; Zeleny, L. (2009). Biochemical and functional changes in stored cereal grains. *Critical Reviews in Food Technology*, 2(1), 45-80.

Rani, P. R., Chelladurai, V., Jayas, D. S., White, N. D. G., & Kavitha-Abirami, C. V. (2013). Storage studies on pinto beans under different moisture contents and temperature regimes. *Journal of Stored Products Research*, 52, 78–85.

Roesler, K., Shen, B., Bermudez, E., Li, C., Hunt, J., Damude, H. G., ... Meyer, K. (2016). An improved variant of soybean type 1 diacylglycerol acyltransferase increases the oil content and decreases the soluble carbohydrate content of soybeans. *Plant Physiology*, 171(2), 878–893.

Rupollo, G., Gutkoski, L. C., Marini, L. J., & Elias, M. C. (2004). Sistemas de armazenamentos hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. *Ciência Rural*, 34(6), 1715–1722.

Schons, A., Silva, C. M. da, Pavan, B. E., Silva, A. V. da, & Mielezrski, F. (2018). Respostas do genótipo, tratamento de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(1), 109–121.

Smaniotto, T. A. de S., Resende, O., Marçal, K. A. F., Oliveira, D. E. C. de, & Simon, G. A.

(2014). Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(4), 446–453.

Strelec, I., Koceva Komlenic, D., Jurkovic, V., Jurkovic, Z. & Ugarcic-Hardi, Z. (2010). Quality parameter changes in wheat varieties during storage at four different storage conditions. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 75(3), 105-111.

Szemruch, C., Del Longo, O., Ferrari, L., Renteria, S., Murcia, M., Cantamutto, M., & Rondanini, D. (2015). Ranges of Vigor Based on the Electrical Conductivity Test in Dehulled Sunflower Seeds. *Research Journal of Seed Science*, 8(1), 12–21.

Tiecker Junior, A., Guimarães, L. E., Ferrari Filho, E., Castro, B. DE, Del Ponte, E. M., & Dionello, R. G. (2014). Qualidade físico-química de grãos de milho armazenados com diferentes umidades em ambientes hermético e não hermético. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 13(2), 174–186.

Uarrota, V. G.; Segatto, C.; Voytena, A. P. L.; Maraschin, M.; Avila, L. V.; Kazama, D. C. S.; Coelho, C. M. M.; Souza, C. A. (2019). Metabolic fingerprinting of water- stressed soybean cultivars by gas chromatography, near- infrared and UV- visible spectroscopy combined with chemometrics. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205, 141–156.

UFG/EA. Universidade Federal de Goiás/Escola de Agronomia. (2019). *Dados meteorológicos*: Estação Convencional da Escola de Agronomia. Acesso em: 08 dez. 2019 em: <https://www.agro.ufg.br/p/7944-estacao-agrometeorologica>.

Wang, Jie, Zhou, P., Shi, X., Yang, N., Yan, L., Zhao, Q., Yang, C., Guan, Y. (2019). Primary metabolite contents are correlated with seed protein and oil traits in near-isogenic lines of soybean. *Crop Journal*, 7(5), 651–659.

Wang, Jing, Jiang, P., Li, D., Ma, Q., Tai, S. J., Zuo, Z. P., Sun, P. P., Dong, L. H. (2010). Moisture variation and modeling of cotton and soybean seeds under different storage conditions. *Acta Agronomica Sinica*, 36(7), 1161–1168.

Weber, E. A. (2005). *Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos*. Canoas: Salles.

Ziegler, V., Marini, L. J., Dietrich Ferreira, C., Aldrighi Bertinetti, I., Vieira da Silva, Wagner Schellin; Schwanz Goebel, J. T., de Oliveira, M., & Cardoso Elias, M. (2016). Effects of temperature and moisture during semi-hermetic storage on the quality evaluation parameters of soybean grain and oil. *Semina: Ciências Agrárias*, 37, 131–144.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Priscylla Martins C. Prado – 20%

Alline Emannuele Chaves Ribeiro – 15%

Gabriela Silva Mendes Coutinho – 15%

Érica Resende de Oliveira – 10%

Márcio Caliari – 10%

Marivone Moreira dos Santos – 10%

Manoel Soares Soares Júnior – 20%