



## Uso de sílica no processo de secagem de sementes de aveia

### *Use of silica in the drying process of oat seeds*

Andrigo Farias Xavier<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0009-0002-6228-2966>  <http://lattes.cnpq.br/9022747931693714>

Ruan Bernardy<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-9285-1993>  <http://lattes.cnpq.br/4011160563175226>

Rita de Cassia Mota Monteiro<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-9342-2779>  <http://lattes.cnpq.br/2857338284308524>

Karine Von Ahn Pinto<sup>4</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-6987-3702>  <http://lattes.cnpq.br/9108136213078834>

Gizele Ingrid Gadotti<sup>5</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-9545-6577>  <http://lattes.cnpq.br/4110765012494684>

### RESUMO

Diante dos desafios com o armazenamento e secagem de sementes no Brasil, é fundamental desenvolver alternativas para aprimorar esses processos. Este trabalho avalia a eficácia da sílica-gel na secagem de sementes de aveia. O estudo, realizado na Universidade Federal de Pelotas, analisou a secagem de sementes de aveia branca com umidade inicial de 15% e 17%. Foram distribuídas 15 g de sementes em estações experimentais com diferentes quantidades de sílica-gel (6 g, 12 g, 18 g) e um controle, em esquema fatorial 2 x 3. As sementes foram colocadas sobre uma tela de alumínio adaptada em gerbox com sílica, e amostras foram coletadas durante 24 h, com leituras a cada 6 h. Com 15% de umidade, recipientes com 6 e 18 g de sílica apresentaram uma perda de água de 0,4581 e 0,8012 g. Com 17% de umidade, as sementes perderam 0,8339 e 1,2016 g. O estudo indica que a sílica-gel é eficaz na secagem de sementes de aveia, sendo uma alternativa viável para minimizar perdas e manter a qualidade.

**Palavras-chave:** Avena; sílica-gel; tecnologia de pós-colheita; tecnologia de sementes.

### ABSTRACT

*Given the challenges faced in seed storage and drying in Brazil, it is essential to develop alternatives to improve these processes. This study evaluates the effectiveness of silica gel in*

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas/RS – Brasil. E-mail: [andrigoxavier@gmail.com](mailto:andrigoxavier@gmail.com)

<sup>2</sup> E-mail: [ruanbernardy@yahoo.com.br](mailto:ruanbernardy@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> E-mail: [ritamonteiro@gmail.com](mailto:ritamonteiro@gmail.com)

<sup>4</sup> E-mail: [kaarine.pinto@hotmail.com](mailto:kaarine.pinto@hotmail.com)

<sup>5</sup> E-mail: [gizeleingrid@gmail.com](mailto:gizeleingrid@gmail.com)



drying oat seeds. The study, conducted at the Federal University of Pelotas, analyzed the drying of white oat seeds with an initial moisture content of 15% and 17%. Seeds (15 g) were distributed in experimental stations with different amounts of silica gel (6 g, 12 g, 18 g) and a control, in a 2 x 3 factorial design. The seeds were placed on an aluminum screen adapted to a gerbox with silica, and samples were collected over 24 h, with readings every 6 h. At 15% moisture content, containers with 6 and 18 g of silica showed a water loss of 0.4581 and 0.8012 g. At 17% moisture content, the seeds lost 0.8339 and 1.2016 g of water. The study indicates that silica gel is effective in drying oat seeds, providing a viable alternative to minimize losses and maintain seed quality.

**Keywords:** Avena; silica gel; post-harvest technology; seed technology.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa, 2022), o Brasil ocupou a quarta posição entre os maiores produtores de grãos do mundo no período de 2000 a 2020, representando 7,8% da produção global. O país ficou atrás apenas da China, dos Estados Unidos e da Índia. Tal fenômeno deve-se ao amplo e heterogêneo espaço territorial brasileiro, que amplia as possibilidades de cultivo ao abranger tipos de solos e clima diversificado. Além disso, o desenvolvimento tecnológico possibilitou a implementação de novos métodos de trabalho, com amplo investimento no campo.

Contudo, esse aumento significativo da produção agrícola, ao longo dos anos, acentuou o problema histórico de armazenagem de grãos no Brasil, em relação à capacidade e qualidade de armazenamento. Além disso, insetos-praga, fungos e microtoxinas, somados aos ataques de roedores, são problemas que têm imposto perdas consideráveis ao produtor de grãos, sendo em torno de 15%, estando relacionadas ao armazenamento inadequado da produção (Menten; Moraes 2006, p. 1; Ognakossan *et al.*, 2016, p. 1169; Baqua *et al.*, 2015, p. 11).

Segundo Coradi *et al.* (2020, p. 2), a armazenagem de grãos não agrega valor ao produto, podendo em alguns casos aumentar significativamente os custos dela. Porém, se for utilizada de forma adequada, pode contribuir para uma importante vantagem competitiva.

Entretanto, os danos devido a uma secagem ineficiente fazem com que esta etapa do processo de beneficiamento seja considerada um ponto crítico, podendo causar danos irreversíveis no produto (Asemu *et al.*, 2020, p. 4). O processo de secagem diminui a quantidade de água presente nas sementes, o que aumenta o tempo em que elas conseguem sobreviver. Embora existam recomendações para limitar a temperatura máxima durante a secagem, para evitar danos às sementes, em alguns casos, a secagem com elevação da temperatura pode resultar em uma melhoria nesse processo, mantendo a qualidade das sementes e tornando a secagem mais rápida, com menor custo (Vitis *et al.*, 2020, p. 250).

Todavia, conhecer esse limite demanda várias análises. Desta forma, realizar secagem em altas temperaturas (acima do limite) pode causar danos como fissuras por estresse, desregulação da atividade enzimática e perda do vigor das sementes (Carvalho *et al.*, 2023, p. 338). Assim, a secagem com temperatura muito elevada



pode afetar negativamente o vigor das sementes, ao inibir o catabolismo da substância de armazenamento no endosperma da semente.

Nesse contexto, a utilização de ar desumidificado por adsorventes pode ser uma opção interessante ao mecanismo de secagem, pois as condições fornecidas ao produto desempenham um papel importante na cinética de secagem e o uso apropriado dessas condições reduz significativamente o tempo para realização desse processo, conferindo ou mantendo maior qualidade final do produto (Freire *et al.*, 2021, p. 465). O adsorvato mais usado é a sílica-gel, pois essa possui estrutura microporosa com grande área superficial, alcançando alta capacidade de remoção do vapor de água presente no ar (Luthra; Sadaka, 2021, p. 1060).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia da sílica-gel na secagem de sementes de aveia, visando reduzir significativamente o tempo de exposição dessas sementes ao processo. Essa redução pode minimizar perdas por deterioração e excesso de calor, contribuindo para a preservação da qualidade das sementes.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1. Aveia

A aveia é uma gramínea anual que pertence à família Poaceae, subfamília *Pooideae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*. O gênero é composto por aproximadamente 450 espécies. A aveia teve origem na Ásia Menor e foi inicialmente cultivada em regiões frias. Com o passar dos anos, a planta foi condicionada pelo homem para demais climas e tipos de solos (Mori *et al.*, 2012, p. 1).

As principais espécies cultivadas foram a aveia branca (*Avena sativa*) e a aveia amarela (*Avena byzantina*). Ambas apresentam folhas largas e colmos grossos, enquanto a aveia preta (*Avena strigosa*) possui folhas estreitas e colmos finos (Mori *et al.*, 2012, p. 1). Sua constituição é rica em cálcio, ferro, proteínas, além de vitaminas e carboidratos.

As beta-glicanas, uma das frações da fibra alimentar presente na aveia, são de grande importância para a saúde humana e têm gerado grande interesse em razão das respostas fisiológicas que produz (Hassan, 2022, p. 313). Atualmente, a aveia é vista como elemento benéfico à alimentação saudável, devido ao alto poder nutritivo da sua fibra solúvel, que está relacionada a um bom funcionamento intestinal, a redução dos níveis de colesterol total e LDL (colesterol ruim) e sua manutenção de níveis adequados. Além disso, vem ocupando espaço na alimentação animal, em produção de pastagens de inverno, feno e silagem.

#### 2.1.2. Secagem e armazenamento de sementes

A secagem é um processo de transferência simultânea de calor e massa, na qual o calor é fornecido pelo ar de secagem e a água é removida do produto a partir da absorção desta pelo ar, pela diferença de pressão de vapor. A finalidade é reduzir o



grau de umidade inicial da semente após a colheita, de modo a preservar os atributos físicos, fisiológicos e sanitários no processamento e armazenamento (Coradi *et al.*, 2020, p. 2). Segundo Peske *et al.* (2019, p. 443), na própria planta a semente sofre o processo de secagem natural cronologicamente, subentendido entre a maturidade fisiológica e o momento de colheita. Devido a isso, alguns autores colocam como este sendo o ponto de início do armazenamento.

É um processo fundamental para manter a qualidade do produto, mesmo após um longo período de armazenamento. Na indústria, é mais comumente empregado o aquecimento do ar, para aumentar sua capacidade de retirar água, através do contato com os grãos e sementes. Porém, a literatura relata vários problemas com a imposição de altas temperaturas, principalmente em sementes, sendo difícil conhecer o nível ótimo de aquecimento, para não ocorrer danos ao material, dependendo da espécie e genótipo, além de outras características físico-químicas (Coradi *et al.*, 2020, p. 2).

As sementes colhidas no campo geralmente não apresentam um teor de água para o armazenamento seguro, sendo que o elevado grau de umidade, no período entre a colheita e a secagem, acelera a deterioração do produto devido à alta atividade metabólica da semente. De acordo com Luz *et al.* (2015):

Existem vários fatores que propiciam a deterioração dos grãos e sementes, físicos e biológicos. Os principais são: teor de água nos grãos e sementes; a temperatura; umidade relativa do ar; micro-organismos (fungos, bactérias e ácaros); danos mecânicos (Luz *et al.*, 2015, p. 15).

Para a produção de sementes, é de extrema importância que o processo de secagem e armazenamento não cause danos, mantendo sua qualidade fisiológica, sem ocasionar perdas de valor econômico ao produto.

### **2.1.3. Fenômenos de adsorção e aplicações**

A adsorção é um fenômeno de superfície onde um soluto é removido de uma fase fluída e acumulado na superfície de uma fase sólida. O nome dado ao material adsorvido é adsorvato, e o soluto é depositado sobre o material é denominado adsorvente.

Segundo Nascimento (2022, p. 18), existem basicamente dois tipos de adsorção: a física ou fisiosorção e a química ou quimiosorção. No entanto, em certas ocasiões, os dois tipos podem ocorrer simultaneamente.

São inúmeras aplicações envolvendo adsorção física. As mais comuns envolvem separação de misturas, purificação de gases e líquidos e desumidificação do ar. O carvão ativado é um exemplo de substância adsorvente mais conhecida. Em sua estrutura existem numerosos poros que intensificam a retenção de substâncias, aumentando sua capacidade de adsorção. Desta forma, o carvão ativado é usado para remoção de substâncias orgânicas, óleos, cores e odores. Pode ser utilizado também para o tratamento de água e fabricação de cosméticos e remédios. Tendo em vista que, o assunto de desumidificação química do ar está em processo inicial de exploração do seu potencial, encontram-se poucos textos científicos que dissertem sobre o assunto.



#### 2.1.4. Sílica-gel

Segundo Chun e Lee (2020, p. 2), a obtenção da sílica advém da combustão direta da casca de arroz, resultando na produção de cinza, que possui cerca de 90% de sílica. A mudança de fase da sílica depende da temperatura de combustão, pois na casca essa está em uma fase não cristalina (Chun; Lee, 2020, p. 2). Desta forma, enquanto a temperatura de combustão é elevada para acima de 600 °C, é iniciada a transformação de fase em tridimita e cristobalite (Chun; Lee, 2020, p. 2). Entretanto, essa temperatura pode variar de acordo com a composição química da casca de arroz utilizada (Dizaji *et al.*, 2019, p. 2).

A microporosidade obtida é essencialmente dependente das dimensões originais das micropartículas. A forma esférica garante uma alta densidade aparente e facilita a passagem do gás, sem a formação de volumes mortos. Sua forma sem arestas e a superfície dura e lisa tornam-na resistente à abrasão. A forma esférica também reduz a perda de carga em leitos, e se mantém na linearidade com o uso, mesmo quando sujeito a sucessivas regenerações.

Assim, a sílica-gel é uma alternativa para a secagem rápida de sementes, em bancos de germoplasma. Ela retira a umidade por meio da adsorção física da água, que tem suas moléculas retidas à superfície dos poros do dessecante (José *et al.*, 2009, p. 17). Porém, a sílica-gel possui capacidade de retenção máxima de água em 33% de seu próprio peso, podendo ter sua capacidade de adsorção regenerada através da secagem (Vitis *et al.*, 2020, p. 251).

#### 2.1.5. Secagem com sílica-gel

A sílica-gel é o dessecante mais utilizado para a secagem de pequenas amostras de sementes mantidas em recipientes herméticos (Probert; Hay, 2001, p. 375). Alguns estudos já relatam o uso da sílica-gel para analisar a eficiência desta operação em grãos.

Em pesquisa realizada por Coelho *et al.* (2015, p. 484), os autores avaliaram as alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de café, quando submetidas à secagem rápida, em sílica-gel. Os resultados mostraram que as sementes com umidade inicial de 42% BU, requereram 577 horas para alcançar 4,2% de umidade, com velocidade média de secagem de 0,062% por hora, mais rápido quando comparado com uma metodologia de secagem lenta, não alterando de forma significativa as características fisiológicas e bioquímicas.

José *et al.* (2009), avaliaram a relação entre a umidificação prévia das sementes de girassol, após serem submetidas a ultra secagem rápida, por sílica-gel, e a qualidade fisiológica. Os autores analisaram que a secagem rápida não afetou a germinação das sementes, sendo que, quando submetidas à um método de secagem lenta, proporcionou redução.

Marques (2007, p. 83) também avaliou o comportamento fisiológico de sementes de angico-do-cerrado e angico-vermelho, quanto à secagem com sílica-gel, para diminuir seguramente o teor de água. Nesse estudo, o autor concluiu que o método foi eficiente, elevando o teor de germinação das suas espécies após o processo.



Em outro estudo, Fernandes *et al.* (2020, p. 8) avaliaram a eficiência do uso da sílica-gel em um secador solar, para secagem de banana. Nos resultados, os autores verificaram que o dessecante obteve as melhores respostas, porém, estando próximo ao sistema sem a sílica-gel, devido à quantidade de adsorvato, que deveria ser maior, segundo os autores.

Desta forma, o avanço da pesquisa em encontrar novas alternativas, que consigam efetuar a secagem, sem acarretar danos térmicos, é primordial. Em relação ao uso da sílica-gel, é difícil encontrar trabalhos na literatura que avaliam seu potencial, dificultando a comparação de resultados ou até mesmo construir equipamentos com base nestes. Alguns destes avaliaram o uso desse adsorvente, mostrando resultados positivos. Porém, ainda são necessárias mais análises para conseguir afirmar seu potencial e diminuir os custos dessa técnica, nas diversas metodologias aplicadas.

Assim, é importante analisar o potencial dessecante da sílica-gel em sementes de aveia, pois nenhum trabalho foi relatado nesse contexto.

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1. Procedimentos experimentais

O estudo foi conduzido no laboratório de Agrotecnologia da Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão - RS, utilizando duas amostras de 480 g de sementes de aveia branca provenientes de produtores da região sul do estado. Uma amostra foi utilizada para avaliar a secagem das sementes com umidade inicial de 15% e a outra com umidade de 17%. Cada amostra foi subdividida em porções de 15 g, que foram distribuídas em estações experimentais (gerbox). O experimento seguiu um esquema fatorial 2 x 3, envolvendo duas condições de umidade e três proporções de sílica-gel (6 g, 12 g, 18 g), além de um controle (0 g). As estações experimentais foram configuradas em duplicata para cada combinação de sílica e umidade, visando investigar a eficiência da sílica-gel na secagem das sementes e seu impacto na manutenção da qualidade delas.

A Figura 1 ilustra a estação experimental, na qual a sílica-gel foi posicionada abaixo das sementes de aveia. Esta configuração foi escolhida para simular condições reais de secagem, onde o ar proveniente de ventiladores, será previamente desumidificado ao passar pela sílica-gel, entrando em contato com as sementes para promover a remoção das moléculas de água, efetivando o processo de secagem.

As amostras, cada uma com 480 g de sementes, foram avaliadas inicialmente para determinar os teores de umidade, que deveriam estar em 15% e 17% respectivamente. Essa determinação foi realizada de acordo com a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009, p. 308). As sementes foram submetidas à secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, e a umidade (bulbo úmido) foi calculada utilizando a Equação (1), conforme orientado pela RAS (Brasil, 2009):



$$\text{Umidade do gr\~{a}o} = (P_i - P_f)/(P_f - \text{tara}) \times 100$$

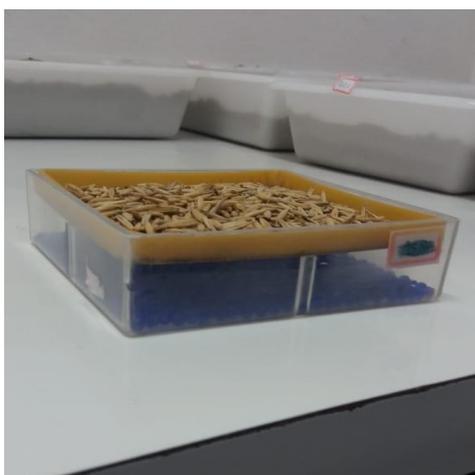
(1)

Onde:

- $P_i$  = Peso Inicial;
- $P_f$  = Peso Final; e
- Tara = Peso do Recipiente.

**Figura 1** - Materiais utilizados na metodologia.

A) Gerbox com aveia e sílica; e B) Sílica-Gel.



(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a análise inicial da umidade, cada amostra de sementes foi previamente pesada e colocada em caixas gerbox, sobre uma tela adaptada. Durante 24 horas, as amostras foram pesadas a cada 6 horas para medir o Peso Final ( $P_f$ ) e determinar a quantidade de água retirada pela sílica-gel. A massa de água removida foi calculada pela diferença entre o peso inicial ( $P_i$ ) e o peso final ( $P_f$ ) das amostras. Ao longo do estudo, após a realização das leituras, as amostras eram pesadas e, em seguida, descartadas para evitar qualquer influência nos resultados do estudo.

Neste estudo, foi investigada a quantidade de água removida das sementes de aveia por meio da exposição a sílica-gel, fornecendo uma medida quantitativa da eficácia do adsorvente na remoção de umidade.

### 2.2.2. Umidade inicial das sementes

Inicialmente, as sementes apresentaram 15% de teor de umidade, portanto, para iniciar as avaliações não foi necessário elevar o percentual de água delas. Para a condução do trabalho com as sementes em 17% de umidade, foi necessário realizar o umedecimento destas. Assim, essa etapa do estudo foi preparada 30 dias após a realização da primeira parte, com as sementes em 15% de umidade, a partir de uma nova avaliação. As bandejas com as sementes foram acondicionadas em câmaras tipo BOD, à temperatura constante de 25 °C.

Para o cálculo da quantidade de água a ser adicionada na massa de sementes (480g), utilizou-se a Equação (2):



$$\text{Massa de Água} = (\text{m.sementes} * (\text{Uf} - \text{Ui})) / (100 - \text{Uf}) \quad (2)$$

Onde:

- $U_i$  = Umidade Inicial (15%);
- $U_f$  = Umidade Final (17%); e
- m.sementes = Massa de Sementes - 480 g.

Para umedecer as sementes, foi utilizado uma bandeja plástica com papel Germitest dobrado ao meio, colocado no fundo dessa (Figura 2). As sementes foram dispostas sobre o papel, de forma que todas estivessem em contato com ele, sendo subdivididas em 10 amostras, para uma umidificação uniforme, conforme Figura 2.

**Figura 2** - Umedecimento das amostras para 17%.

A) Papel Germitest e bandeja; e B) Sementes acondicionadas na bandeja.



(A)



(B)

Fonte: Elaborada pelos autores.

### 2.2.3. Taxa de secagem

Para identificar qual a velocidade em que as sementes sofreram perda de água, e desta forma, conseguir comparar as quantidades de sílica-gel empregadas, bem como as diferentes umidades impostas nas amostras, foi utilizada a equação (3):

$$T.S = (\text{massa de água perdida(g)} / (\text{tempo (h)})) \quad (3)$$

### 2.2.4. Análise estatística

Na etapa de análise estatística, foram considerados três fatores principais: o tempo de secagem, a quantidade de sílica-gel utilizada e a quantidade de água removida das sementes de aveia. O tempo de secagem foi analisado para entender como diferentes durações influenciam a eficiência da remoção de umidade. A quantidade de sílica-gel variou para avaliar seu impacto na adsorção de água. Por fim, a quantidade de água removida foi mensurada para determinar a eficácia do processo de secagem. A interação entre esses fatores foi examinada para identificar suas influências individuais e combinadas sobre a eficiência da secagem.



Para isso, através dos dados coletados em cada etapa do estudo, foi empregada à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ), através do RStudio. Quando ocorreu significância, estes foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1. Secagem de sementes com 15% de umidade

Através da aplicação da Equação 1, que considera a diferença entre o Peso Inicial (Pi) e o Peso Final (Pf) das amostras, foi possível quantificar a massa de água removida pela sílica-gel ao longo do tempo de exposição. A Tabela 1 apresenta a análise estatística das variações na quantidade de água removida, tanto em função do tempo de exposição quanto entre os diferentes tratamentos aplicados.

**Tabela 1** - Quantidade de água removida após a análise de secagem, com sementes em 15% de umidade inicial.

Sílica-gel (g)	Tempo de secagem			
	6h	12h	18h	24h
0 - Testemunha	0,060dC	0,117dA	0,067dB	0,038dD
6	0,484cC	0,496cB	0,531cA	0,458cD
12	0,561bD	0,584bC	0,691bB	0,720bA
18	0,597aD	0,718aC	0,762aB	0,801aA

\*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Observa-se que os valores diferem em todas as leituras, mesmo após 24h de contato da sílica com as sementes. Na medida que a quantidade de adsorvato aumenta, a massa de água retirada também é amplificada, ao ponto que aumenta a diferença em relação à amostra controle. Vitis *et al.* (2020, p. 251) afirmam que a sílica-gel normalmente retém água em até 33% de seu peso, por meio de adsorção física.

Contudo, nesse estudo, os resultados demonstraram que o material ainda poderia continuar retendo água por mais tempo, antes de ser submetido a secagem. É necessário implantar um sistema de secagem para o dessecante, com monitoramento de sua condição, durante a operação, visto que sua capacidade de adsorção de água será reduzida conforme o tempo de operação aumenta. Esse processo irá permitir a regeneração de sua capacidade de adsorção, concomitante a operação realizada nos grãos e sementes.

Conforme a Tabela 1, ao analisar cada linha de tratamento das amostras, nota-se que há diferença estatística. Isso está relacionado com o tempo de exposição e a maior capacidade de absorção que, nesse momento, é a maior quantidade de material.

Entretanto, ao analisar os resultados das amostras com sílica, estas obtiveram diferenças significativas também, com valores elevados em relação a controle,

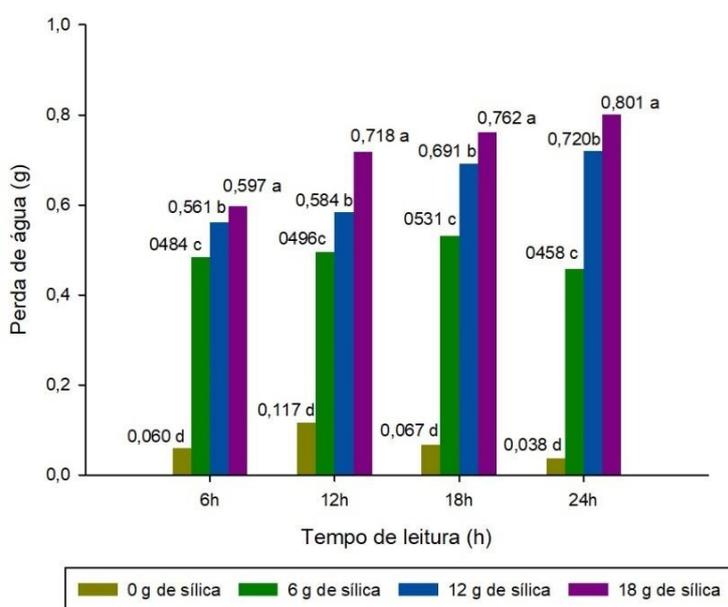


demonstrando uma proporcionalidade na quantidade de adsorvato e a capacidade de adsorção, no decorrer do tempo.

A Figura 3 permite entender melhor a diferença encontrada já nas primeiras leituras, em relação ao final do experimento. Fica visível a variação na massa de água retirada em relação a amostra controle, evidenciando que a sílica-gel pode ser utilizada para absorção de água em sementes e grãos, mesmo utilizada em quantidades menores.

Quando comparado o tratamento controle (sem o uso da sílica) com os demais, é perceptível a diferença de massa de água retirada das sementes, demonstrando elevação proporcional ao aumento de sílica nas amostras. A sílica-gel, através de sua capacidade de adsorção física da água, bem como a capacidade higroscópica que a semente possui (Lima *et al.*, 2021, p. 19), permitiu a secagem das sementes de forma natural, sem utilizar um sistema artificial, seja por ar aquecido ou forçado, por exemplo.

**Figura 3** - Perda de água e quantidade de sílica, para sementes com umidade inicial de 15%.



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 2.3.2. Secagem de sementes com 17% de umidade

A Tabela 2 apresenta a massa de água retirada, conforme o tempo de exposição das sementes ao adsorvente, permitindo verificar a diferença estatística entre as leituras e em cada tratamento, de forma individual, mantendo a análise realizada anteriormente.

Novamente encontra-se diferença significativa entre as amostras, no decorrer das leituras. Após 6 horas, as primeiras amostras já destacavam a alta capacidade de adsorção da água através da exposição das sementes de aveia com a sílica, apresentando valores elevados quando comparado com a amostra controle. Como neste caso as sementes possuíam 2% a mais de água, os primeiros valores se mostraram superiores quando comparados com a análise anterior.



**Tabela 2** – Massa de água após a análise de secagem, com sementes com umidade inicial de 17%.

Sílica-gel (g)	Tempo de secagem			
	6h	12h	18h	24h
0 - Testemunha	0,024dD	0,034dC	0,034dB	0,057dA
6	0,673cD	0,795cB	0,789cC	0,834cA
12	0,816bD	0,983bB	0,930bC	1,027bA
18	0,892aD	1,215aA	1,145aC	1,202aB

\*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Fonte: Elaborada pelos autores.

No decorrer do tempo de secagem, a quantidade de água retirada também aumentou de forma proporcional, sendo encontradas diferenças significativas nas últimas leituras, demonstrando que a sílica ainda não havia encontrado seu ponto máximo de absorção de água, em relação ao seu peso.

Da mesma forma que antes, foram encontradas variações significativas dentro de cada tratamento. A amostra controle comprova que as sementes realizaram naturalmente seu equilíbrio higroscópico com o ambiente da sala, pois não se encontravam em um ambiente hermético, ponto que deve ser revisto em trabalhos futuros. Porém, mesmo assim, a sílica conseguiu, com sucesso, absorver a água contida nos grãos, mesmo com 24h de exposição, demonstrando que mesmo em grãos mais úmidos, esse adsorvente químico ainda possui capacidade de retenção de água.

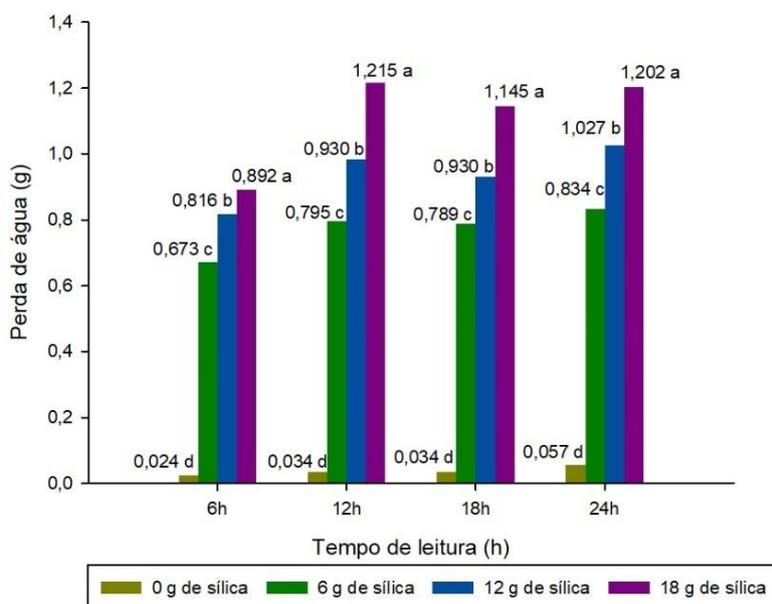
Na Figura 4, é apresentado graficamente essa diferença entre as amostras, destacando o aumento nos valores proporcionais ao acréscimo de sílica-gel nas estações experimentais. Todavia, mesmo proporções menores, os valores já se mostraram elevados, quando comparados à amostra controle.

A Figura 5 apresenta as diferenças dos tratamentos individualmente, demonstrando as variações encontradas na análise estatística. A disparidade dos valores entre cada leitura dentro de cada tratamento da amostra controle comprova a interferência do ambiente externo. Mesmo assim, os resultados foram satisfatórios, identificando a capacidade da sílica-gel desde o primeiro ensaio, com 6 gramas de adsorvente. Esse resultado permite afirmar que, apesar do alto custo da sílica-gel, quantidades menores são suficientes para efetuar a secagem em volumes pequenos.

Em trabalho realizado por Figueiredo (2016, p. 53), os autores encontraram resultados semelhantes, utilizando sementes de café como material, corroborando com os resultados encontrados nesse estudo. Todavia, é importante ressaltar a ausência de pesquisas nessa área, não permitindo a validação dos resultados descritos.



**Figura 4** – Perda de água e quantidade de sílica, para sementes com umidade inicial de 15%.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A água presente nas sementes pode estar tanto na forma absorvida como adsorvida (Almeida *et al.*, 2013, p. 131). Na forma absorvida, as forças atuantes são do tipo capilar, essencialmente físicas e de pequena intensidade. Por outro lado, na forma adsorvida, as forças que agem são de atração molecular, de maior intensidade e de natureza física e química. A água adsorvida corresponde à água presa, representando um grau mais profundo de união, de modo que as propriedades das moléculas do produto absorvente (macromoléculas do sistema coloidal) interagem com a água, diferindo de seu estado original. Essa interação recebe a denominação geral de sorção e resulta tanto da entrada (adsorção) como da saída (desorção) de água das sementes (Alves, 2021, p. 18).

Assim, através dos resultados apresentados, é possível identificar que houve perda de água da semente pela absorção da sílica ao longo do tempo. Com o decréscimo do teor de água nas sementes, a água liga-se mais fortemente às superfícies coloidais das macromoléculas, o que torna mais difícil a secagem (Marcos-Filho, 2015). Desta forma, pode ser necessário a utilização de um método concomitante para retirar mais pontos percentuais de água. Um estudo mais aprofundado poderá responder esse questionamento.

### 2.3.3. Análise da taxa de secagem

A taxa de secagem é a razão entre a massa de água eliminada e o intervalo de tempo necessário para tal, influenciada por: umidade inicial do produto; capacidade e a vazão do ar de secagem; método de secagem (se for artificial), tipo de secador; as características físico-químicas do produto; massa e a espessura do produto que o ar deve percorrer (Jia *et al.*, 2020, p. 623). Essa informação é importante para não acarretar danos aos grãos, como desenvolvimento de microrganismos, tensões



excessivas por fissura, gradientes de umidade e/ou térmico (Peske *et al.*, 2019, p. 352).

Quando se utiliza de métodos de secagem com aquecimento do ar, o aumento nesta velocidade causa maior influência sobre os grãos do que a movimentação mecânica destes. Portanto, neste caso, se recomenda períodos de repouso ou operações mais prolongadas, o que ocasiona em maior consumo de energia.

Em arroz parboilizado, por exemplo, é recomendado empregar uma taxa de secagem de 1,5 pontos percentuais por hora, quando o objetivo é reduzir de 20 para 13,5%, para que o efeito sobre as fissuras seja reduzido (Guimarães *et al.*, 2015). Em faixas menores de redução, pode ser aplicado velocidades maiores. Entretanto isso atrasa e encarece muito a operação.

Desta forma, utilizar a sílica-gel poderá reduzir riscos com altas velocidades de secagem, já que não é empregado ar aquecido. Outrossim, esse adsorvente possui alta capacidade de redução rápida da umidade das sementes. A Tabela 3 apresenta a taxa de secagem dos grãos com 15% de umidade, mostrando a diferença estatística entre as leituras e quantidades de sílica-gel das estações experimentais, bem como a variação das leituras dentro de cada ensaio.

**Tabela 3** – Taxa de secagem das sementes com 15% de umidade inicial.

Sílica-gel (g)	Tempo de secagem			
	6h	12h	18h	24h
0 - Testemunha	0,010dA	0,010dA	0,004dC	0,002dD
6	0,081cA	0,041cB	0,030cC	0,019cD
12	0,094bA	0,049bB	0,038bC	0,030bD
18	0,096aA	0,060aB	0,042aC	0,033aD

\*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

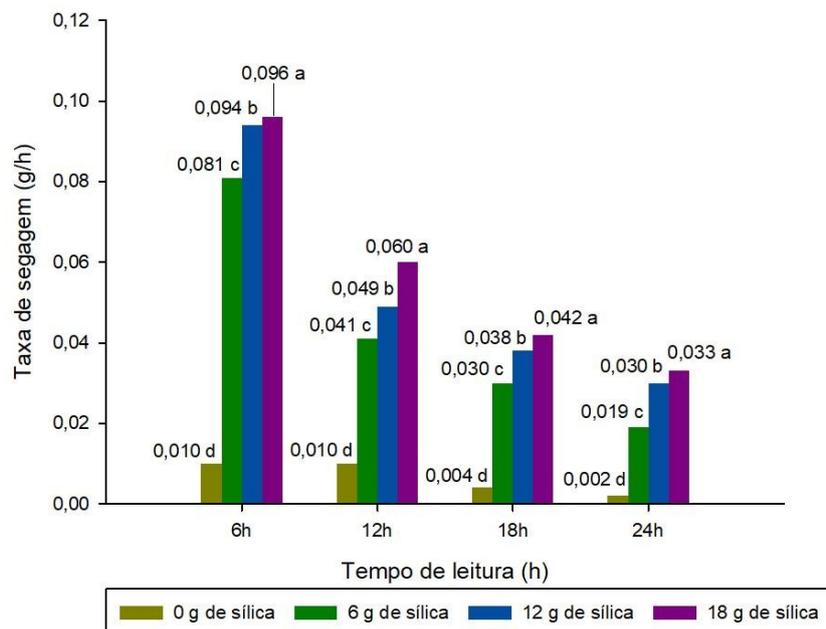
Fonte: Elaborada pelos autores.

É possível identificar diferença significativa em ambas as análises, demonstrando que a velocidade de secagem irá depender da proporção de sílica-gel em relação à semente, bem como o tempo de operação. Desta forma, para uma secagem mais rápida, poderá empregar maior quantidade do adsorvente, agilizando o processo. Todavia, será necessário avaliar em estudos posteriores se a maior taxa de secagem, neste caso, ocasionará danos as sementes, pois é importante preservar a qualidade e a viabilidade destas para um bom estande de plantas.

É possível observar, a partir da Figura 5, que a velocidade de secagem é maior nas primeiras leituras, com 6 e 12 horas, possuindo valores mais elevados. Como citado anteriormente, a sílica possui um limite de absorção de água, em relação ao seu peso. Por isso, ao término do experimento, a taxa de secagem foi menor, demonstrando estar próximo desse ponto máximo. Neste caso, a partir de 24h, pode ser necessário realizar a secagem do adsorvente para retomar sua capacidade secante.



**Figura 5** – Perda de Água x Tempo de Secagem, na amostra com 15% de umidade inicial.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 4 apresenta a taxa de secagem para as sementes com 17% de umidade, é possível identificar que ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, assim como no tempo de leitura. Em 6h, a taxa de secagem das sementes apresentou resultados superiores aos demais.

**Tabela 4** – Taxa de secagem das sementes com 17% de umidade inicial.

Sílica-gel (g)	Tempo de secagem			
	6h	12h	18h	24h
0 - Testemunha	0,004dA	0,003dB	0,002dC	0,002dD
6	0,112cA	0,066cB	0,044cC	0,035cD
12	0,136bA	0,082bB	0,052bC	0,043bD
18	0,149aA	0,101aB	0,064aC	0,050aD

\*Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Fonte: Elaborada pelos autores.

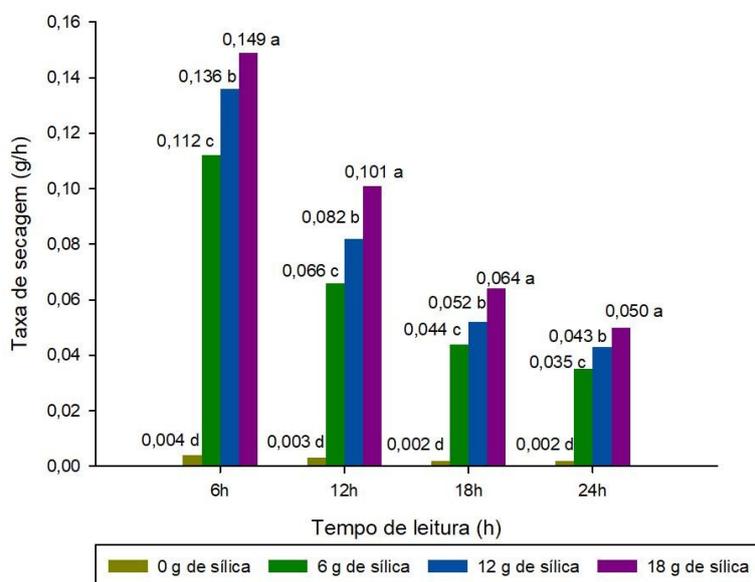
É possível observar, a partir da Figura 6, que a velocidade de secagem é maior nas primeiras leituras, com 6 e 12 horas possuindo valores mais elevados, assim como os resultados encontrados para a umidade de 15%.

Ponderando sobre as taxas de secagem mostradas na tabela 3 e 4, é possível observar que a taxa de secagem é maior nas sementes com umidade inicial de 17%, e em ambos os casos a taxa decai ao longo do tempo, até que toda a água livre seja removida, tendendo a estabilizar-se. Desta forma, visto a partir da Figura 6, o



resultado é semelhante ao encontrado nas amostras com 15%, com a velocidade de secagem sendo maior no início.

**Figura 6** – Perda de Água x Tempo de Secagem, na amostra com 17% de umidade inicial.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Contudo, como nesse caso a umidade inicial das sementes é maior, os valores iniciais de secagem são mais elevados, visto que a quantidade de água livre nas sementes é maior. Todavia, ao longo do processo, os valores decaem a uma proporção maior devido ao limite de absorção da sílica-gel ser alcançado mais rapidamente, exemplificado pela diferença entre a primeira leitura e a última, onde a diferença é de 0,099 g (nas amostras com 15%, essa variação foi de 0,063 g).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo indicam que a sílica-gel é eficaz na secagem de sementes de aveia, demonstrando eficiência mesmo em condições de menor umidade, pois a água está mais ligada a semente. A utilização de diferentes proporções de sílica-gel mostrou variações na quantidade de água removida, mas, em todas as condições, o adsorvente contribuiu para a secagem rápida das sementes. Assim, o objetivo do trabalho foi alcançado, mostrando que a sílica-gel pode ser uma alternativa viável para otimizar o processo de secagem de sementes, minimizando perdas e preservando a qualidade.

Espera-se que esse trabalho seja apenas o início de um abrangente tópico que vem se mostrando apto a ser introduzido aos métodos de secagem, principalmente de sementes, onde o aquecimento do ar pode gerar danos térmicos se for mal projetado.



#### 4. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P. *et al.* Adzuki bean seeds hygroscopicity. **Científica**, v. 41, n. 2, p. 130-137, 2013.
- ALVES, J. C. R. **Isotermas de desorção e cinética de secagem das sementes de pimenta dedo de moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*)**. 2021. 81 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação no Cerrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Ceres, 2021.
- ASEMU, A. M. *et al.* Effects of grain drying methods on postharvest insect infestation and physicochemical characteristics of maize grain. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, e13423, 2020.
- BAOUA, I. B. *et al.* Grain storage and insect pests of stored grain in rural Niger. **Journal of Stored Products Research**, v. 64, Part A, p. 8-12, 2015.
- BERNARDY, R. *et al.* Fitting data mining settings for ranking seed lots. **Engenharia Agrícola**, v. 43, n. 2, e20220193, 2023.
- BRASIL. **Regras para análise de Sementes**. Brasília: Mapa, 2009.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Temperatures and periods of drying delay and quality of corn seeds harvested on the ears. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 3, p. 336-343, 2019.
- CHUN, J.; LEE, J. H. recent progress on the development of engineered silica particles derived from rice husk. **Sustainability**, v. 12, n. 24, p. 1-19, 2020.
- COELHO, S. V. B. *et al.* Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de café secas em sílica gel e soluções salinas saturadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 6, p. 483-491, 2015.
- CORADI, P. C. *et al.* Technological and sustainable strategies for reducing losses and maintaining the quality of soybean grains in real production scale storage units. **Journal of Stored Products Research**, v. 87, n. 101624, p. 1-12, 2020.
- CORADI, P. C. *et al.* Influences of drying temperature and storage conditions for preserving the quality of maize postharvest on laboratory and field scales. **Scientific Reports**, v. 1 n. 22006, p. 1-15, 2020.
- DIZAJI, H. B. *et al.* Generation of high-quality biogenic silica by combustion of rice husk and rice straw combined with pre- and post-treatment strategies: a review. **Applied Sciences**, v. 9, n. 1083, p. 1-27.
- FERNANDES, J. F. de S. *et al.* Estudos para otimização de um secador solar na UFCG utilizando sílica gel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8., 2020, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Energia Solar, 2020. p. 1-10.
- FIGUEIREDO, M. A. de. **Secagem e resfriamento de sementes de *Coffea arabica* L. visando à criopreservação**. 2016. 199 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- FREIRE, J. M. *et al.* Drying and storage of Melanoxylon brauna Schott. Seeds. **Brazilian Journal of Biology**, v. 81, n. 2, p. 464-473, 2021.



- GUIMARÃES, D. S. *et al.* **Secagem de grãos e sementes**. Pelotas: Santa Cruz, 2015.
- HASSAN, G. Study of the effect of Beta glycan supplemented diet on vascular functions in male rats. **Bulletin of Egyptian Society for Physiological Sciences**, v. 42, n. 4, p. 303-317.
- JIA, T. *et al.* Integrating a genome-wide association study with transcriptomic analysis to detect genes controlling grain drying rate in maize (*Zea may*, L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 133, p. 623-634, 2020.
- JOSÉ, S. C. B. R. *et al.* Umidificação de sementes de girassol após ultrassecação em sílica gel e câmara de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 16-26, 2009.
- LIMA, B. F. S. *et al.* Qualpoidade fisiológica de sementes de gergelim em função do equilíbrio higroscópico em diferentes saís. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 17, n. 1, p. 18-22, 2021.
- LUTHRA, K.; SADAKA, S. Investigation of rough rice drying in fixed and fluidized bed dryers utilizing dehumidified air as a drying agent. **Drying Technology**, v. 39, n. 8, p. 1059-1073, 2021.
- LUZ, C. A. S. da *et al.* **Armazenamento de grãos e sementes**. Pelotas: Santa Cruz, 2015.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Abrates, 2015.
- MARQUES, M. A. **Secagem e armazenamento de sementes de *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* (Benth.) Altschul e *A. colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* (Griseb.) Altschul**. 2007. 139 f. Tese (Programa de Pós-Graduação Agronomia, Produção e Tecnologia de Sementes) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.
- MENTEN, J. O. M.; MORAES, M. H. D. Sanidade das sementes previne doenças. **Revista Visão Agrícola**, São Paulo, v. 3, n. 6, p. 40-41, 2006.
- MORI, C. de.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da aveia. **Embrapa Trigo**, n. 136, p. 1-2, 2012.
- NASCIMENTO, J. M. da S. **Uso de ferramentas de qualidade para análise de obstrução em sistema de secagem e desumidificação de ar**. 2022. 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.
- OGNAKOSSAN, E. *et al.* On-farm maize storage systems and rodent postharvest losses in six maize growing agro-ecological zones of Kenya. **Food Security**, v. 8, p. 1169-1189, 2016.
- PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; GADOTTI, G. I. Secagem de Sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. (Org.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 4. ed. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2019. p.355-405.



PROBERT, R. J.; HAY, F. R. Keeping seeds alive. In: BLACK, M.; BEWLEY, D. (Eds.). **Seed technology and its biological basis**. Nova York: Sheffield Academic Press, 2001. p. 375-410.

VITIS, M. de. *et al.* Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 3, p. 249-255, 2020.

Submetido em: **09/04/2024**

Aceito em: **27/08/2024**