



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**GUSTAVO DUTRA ROESLER**

**REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE O USO DA ANÁLISE DE  
VARIÂNCIA E DE SOBREVIVÊNCIA EM ESTUDOS DE  
GERMINAÇÃO DE SEMENTES**

**ARARAS – 2021**



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Curso de Engenharia Agrônoma**



**GUSTAVO DUTRA ROESLER**

**REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE O USO DA ANÁLISE DE  
VARIÂNCIA E DE SOBREVIVÊNCIA EM ESTUDOS DE  
GERMINAÇÃO DE SEMENTES**

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para  
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Josiane Rodrigues  
Coorientador: Prof. Dr. Victor Augusto Forti

**ARARAS – 2021**

**A Deus, fonte de todas as graças, luz do meu caminho e detentor de todo amor e sabedoria.**

**À minha família, pelo amor imensurável, paciência duradoura e apoio incondicional. Dedico essa monografia.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar comigo durante essa trajetória, clareando e guiando meus passos com sua graça divina, me fortalecendo diante todas as batalhas e me ensinando ao transpassar das experiências, as quais convergem a mais uma etapa de muitas alegrias em minha vida.

À minha mãe Joseli, por todo o amor, cuidado e incentivo que sempre foram presentes em minha vida, por todos os sacrifícios enfrentados por mim, amiga para todas as horas, fonte de inspiração e meu maior exemplo.

Ao meu pai Denilson (*in memorian*), por todas as boas lembranças e provas de amor, espero que o senhor esteja orgulhoso com os caminhos que trilhei.

Aos meus avós Antônia (*in memorian*), Maria e José, pelo amor e pela presença em toda minha formação pessoal e profissional, pelo apoio em todas as minhas decisões e pelos inúmeros ensinamentos e exemplos de perseverança, humildade e honestidade, os quais carrego com imensurável estima em minha vida.

Aos meus queridos irmãos Lucas e Murilo, meus melhores amigos presentes em todos os momentos, pelo apoio incondicional na busca de todos os meus sonhos, pelo carinho, pelas risadas e todos os momentos magníficos que compartilhamos.

À Profa. Dra. Josiane Rodrigues, por toda a orientação, sabedoria, pelas conversas, paciência, incentivo e inúmeros ensinamentos transmitidos, e por sempre estar prontamente disponível para me atender e me auxiliar. Foi um privilégio ter sido seu aluno.

Ao Prof. Dr. Victor Augusto Forti, pela coorientação, pela paciência, troca de saberes e por todo o apoio técnico e conselhos, sem os quais este trabalho não seria possível.

À Profa. Dra. Patricia Andrea Monquero, pela orientação durante minha graduação, pelas oportunidades, pelos conhecimentos compartilhados e por ser o exemplo profissional e grande motivadora do apreço que possuo em relação as ciências agrárias e à pesquisa científica.

À minha amiga Luana C. G. Jonck, pelo companheirismo, incentivo, apoio, carinho e por todos os momentos compartilhados ao longo desses cinco anos. Sua presença foi fundamental para realização desse sonho e é um privilégio compartilhá-lo com você.

Aos meus amigos Raquel e Daniel, por tornarem essa trajetória mais leve e feliz.

A todos os integrantes do Grupo de Estudos em Ciências Agrárias (GECA/UFSCar) pelos ensinamentos compartilhados, ótimas experiências e pela convivência que, sem dúvida alguma, contribuíram para minha formação profissional e desenvolvimento pessoal.

Aos professores Dra. Cristiane de Carvalho e Dr. José Nilton da Cruz pelo tempo, atenção e ótimas sugestões que foram de grande contribuição para o presente trabalho.

A todas as pessoas que fizeram parte dessa trajetória e contribuíram para esta realização, sem cada um de vocês esse sonho não seria possível.

## **DAS UTOPIAS**

**“Se as coisas são inatingíveis ... ora**

**Não é motivo para não querê-las ...**

**Que tristes os caminhos, se não fora**

**A presença distante das estrelas”**

**Mario Quintana**

## RESUMO

Estudos científicos com sementes são desenvolvidos frente uma ampla gama de finalidades, sendo a análise estatística dos dados um componente imprescindível para confiabilidade e comprovação experimental. Entre os métodos estatísticos adotados, a análise de variância seguida da aplicação de testes de médias apresenta-se como a principal ferramenta, entretanto, devido às características dos dados de sementes, outros métodos podem ser aplicados, dentre os quais destaca-se a análise de sobrevivência. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo verificar, com base em uma análise bibliométrica, o uso da análise de variância e da análise de sobrevivência em estudos com germinação de sementes e examinar as aplicações da análise de sobrevivência em artigos originais da base de dados *Web of Science* para o período de 2000 a 2020. A estratégia de pesquisa consistiu na indexação de termos para cada tipo de análise estatística (análise de variância e análise de sobrevivência) por operadores booleanos e de truncagem, restringindo a busca à artigos originais. Avaliou-se, quantitativamente, as relações das publicações entre áreas de conhecimento, evolução anual da produção científica, países e revistas nas quais os artigos foram publicados e instituições de pesquisa responsáveis pela realização dos estudos e, qualitativamente, quanto a aplicação geral em estudos de germinação, emergência e/ou vigor. Ademais, as publicações também foram classificadas quanto às temáticas e potencialidades de aplicação da análise de sobrevivência em estudos em ciência de sementes: Estudos Fisiológicos, Ecologia Vegetal, Dispersão de Sementes, Manejo de Plantas Daninhas e Proposições Metodológicas. Observou-se que a aplicação da análise de variância foi 9 vezes maior em comparação a análise de sobrevivência para o período analisado, com destaque aos artigos vinculados a revistas ou pesquisadores do Brasil (46,70%). Já para a análise de sobrevivência, os EUA foi o país de maior produtividade em publicações (40,63%), com pesquisas relacionadas principalmente a estudos em Ecologia Vegetal e Fisiologia. Quanto a aplicabilidade da análise de sobrevivência, verificou-se com maior frequência ensaios envolvendo a avaliação de fatores influenciando sobre dormência, estresses fisiológicos, capacidade de dispersão, diferenças populacionais e habitats de desenvolvimento que afetaram em maior ou menor grau a germinação de sementes.

**Palavras-chave:** agricultura; ANOVA; bibliometria; dados censurados; tempo de falha.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Exemplificação de curvas de sobrevivência de duas cultivares quanto ao tempo até a maturação dos frutos. ....	<b>20</b>
<b>Figura 2.</b> Funções de taxa de falha.....	<b>21</b>
<b>Figura 3.</b> Exemplificação das curvas de sobrevivência obtidas pelo estimador de Kaplan-Meier para duas cultivares A e B.....	<b>25</b>
<b>Figura 4.</b> Número de artigos publicados, por área de pesquisa, que utilizaram da análise de variância (ANOVA) para interpretação de dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 .....	<b>36</b>
<b>Figura 5.</b> Frequência absoluta da evolução da produção científica referente à aplicação da análise de variância (ANOVA) em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 .....	<b>37</b>
<b>Figura 6.</b> Representação dos 10 países mais produtivos na publicação de artigos científicos que utilizaram a análise de variância (ANOVA) em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020.....	<b>38</b>
<b>Figura 7.</b> Principais revistas que publicaram artigos relacionados à análise de variância (ANOVA) em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020.....	<b>39</b>
<b>Figura 8.</b> Proporção de revistas responsáveis pela publicação dos 289 artigos com uso da análise de variância (ANOVA) em dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 .....	<b>40</b>
<b>Figura 9.</b> Número de artigos publicados, por área de pesquisa, que utilizaram da análise de sobrevivência para interpretação de dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 .....	<b>41</b>
<b>Figura 10.</b> Frequência absoluta da evolução da produção científica referente à aplicação da análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 .....	<b>42</b>
<b>Figura 11.</b> Representação dos países participantes na publicação de artigos que utilizaram a análise de sobrevivência para dados em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 .....	<b>43</b>



**Figura 12.** Principais revistas que publicaram artigos relacionados à análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020..... **44**

**Figura 13.** Proporção de revistas responsáveis pela publicação dos 32 artigos com uso da análise de sobrevivência em dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020..... **44**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Tabela de contingência gerada no tempo $t_j$ . .....	<b>29</b>
<b>Tabela 2.</b> Categorização dos 32 artigos que utilizaram da análise de sobrevivência para dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. ....	<b>45</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1. Análise de sobrevivência aplicada às ciências agrárias</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.1. Tempo de falha</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.2. Censura</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.3. Função de Sobrevivência</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.4. Função de Taxa de Falha e Função de Taxa de Falha Acumulada</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.5. Técnicas Não-Paramétricas</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.5.1. Estimador de Kaplan-Meier</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.5.2. Estimador de Nelson-Aalen</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.6. Modelo Semi-Paramétrico de Riscos Proporcionais de Cox</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1.7. Testes de comparação de curvas de sobrevivência</b> .....	<b>28</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>31</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
<b>4.1. Fonte de Dados</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2. Estratégia de Pesquisa</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3. Análise Bibliométrica</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4. Limitações do Estudo</b> .....	<b>34</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1. Panorama quantitativo da análise estatística tradicional em estudos de germinação</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2. Panorama quantitativo da análise estatística de sobrevivência em estudos de germinação</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3. Análise qualitativa: aplicações e tendências da análise de sobrevivência em estudos de germinação</b> .....	<b>45</b>
<b>5.3.1. Estudos Fisiológicos</b> .....	<b>46</b>
<b>5.3.2. Ecologia Vegetal</b> .....	<b>48</b>
<b>5.3.3. Proposições Metodológicas</b> .....	<b>51</b>
<b>5.3.4. Dispersão de Sementes</b> .....	<b>53</b>
<b>5.3.5. Manejo de plantas daninhas</b> .....	<b>54</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os métodos experimentais comumente aplicados em estudos com germinação de sementes, a análise de variância (ANOVA) é caracterizada como um dos modelos estatísticos mais adotados (CARVALHO et al., 2018), de modo que seu uso contínuo implica na consolidação do método à grande parte dos ensaios fitotécnicos envolvendo a análise de sementes. Dentre possíveis razões para o amplo uso da ANOVA, acredita-se que sua prevalência na ciência de sementes em grande parte é derivada, além das competências do método, da ortodoxia na escolha de métodos estatísticos (SILESHI, 2012).

A ANOVA é baseada em um modelo linear normal que enfatiza a fundamentalidade da repetição, randomização e controle local na eficiência experimental (FISHER, 1934). Dessa forma, para o uso adequado da ANOVA, faz-se necessário atender algumas suposições, sendo elas: as variâncias dos erros experimentais homogêneas, erros independentes e normalmente distribuídos, e efeito de aditividade entre tratamentos e blocos, esta última nos casos em que o uso do princípio da blocagem se faz necessário (SOKAL e ROHLF, 1995).

Estudos em ciência de sementes são desenvolvidos sob ampla variedade de objetivos que permeiam a ciência vegetal, à exemplo da fitotecnia, ecologia, genética e manejo de plantas daninhas, nos quais normalmente são consideradas variáveis como: tempo, uniformidade, velocidade e sincronia de germinação, além da germinação final (RANAL e SANTANA, 2006), e diversas são as metodologias que podem ser usadas em análise de dados de germinação, à exemplo de índices de germinação seguidos da ANOVA, métodos de regressão clássica, testes não paramétricos, modelos lineares generalizados, entre outros.

No entanto, observa-se que mesmo com um considerável acervo bibliográfico que aborda diferentes métodos de análise estatística voltados aos estudos de germinação (SCOTT et al., 1984; PYKE e THOMPSON, 1986; RANAL e SANTANA, 2006), ainda há um notável número de trabalhos em que o tratamento dos dados é realizado exclusivamente pelo uso da ANOVA, aspecto que em partes deriva da adoção do método como um “modelo padrão” para ensaios de germinação, desconsiderando outras técnicas convenientes aos estudos com sementes.

Apesar do grande uso da ANOVA, nem sempre os pesquisadores fazem a verificação das suposições necessárias associadas ao modelo adotado, o que pode

levar a conclusões equivocadas a respeito dos tratamentos investigados. Além disso, nos casos em que ao menos uma das suposições não é válida, faz-se necessária uma transformação no conjunto de dados, o que pode dificultar a interpretação dos resultados encontrados, além de ser um recurso matemático circundado por opiniões divergentes entre pesquisadores, seja por considerações de que é um procedimento necessário para atender pressuposições ou por descaracterizar o conjunto de dados (RIBEIRO-OLIVEIRA et al., 2018).

Diante esse aspecto, analisando a estrutura dos ensaios de germinação, esses normalmente são realizados em unidades de randomização replicadas, que por sua vez possuem várias unidades de observação. Sendo assim, estas podem apresentar algum nível de dependência, conseqüentemente, resultando em autocorrelação de erros experimentais (ONOFRI et al., 2010), violando uma das suposições do modelo da ANOVA. Além disso, mesmo sendo o valor percentual de germinação uma variável de natureza contínua, a germinação das sementes, ou seja, a variável original, é discreta e segue todos os critérios da distribuição binomial (NETER et al., 1996), sendo passível de ser trabalhada perante outros modelos estatísticos além da ANOVA.

Obviamente, é importante salientar que o modelo estatístico mais adequado ao estudo de um fenômeno remete muito aos objetivos da análise, os quais podem ser satisfatoriamente atendidos pela porcentagem geral de germinação. Entretanto, ressalta-se que, sendo a germinação um dos processos da agricultura que intrinsecamente está associado ao tempo, o uso de metodologias capazes de descrever melhor esse processo deve ser considerado.

Dentre elas, a análise de sobrevivência é um ramo da estatística que engloba técnicas e modelos caracterizados por apresentar como variável resposta o tempo até a ocorrência de um determinado evento (BOTELHO et al., 2009), apresentando como principal característica a alocação de dados censurados, isto é, observações parciais da resposta, na estimação das variáveis de interesse (COLOSIMO e GIOLO, 2006). As censuras são definidas como observações que não apresentaram o evento de interesse no período em estudo, de modo que mesmo caracterizadas como dados incompletos, fornecem informações relevantes quanto ao tempo de ocorrência do evento previamente fixado, uma vez que observações censuradas em determinado tempo são representativas de todas as observações que

estavam sujeitas ao evento de interesse (SZKLO e NIETO, 2000), reduzindo a determinação de conclusões viciadas.

Diante dessa organização, apesar de ser comparativamente modesta, a análise de sobrevivência tem sido proposta para estudos envolvendo a germinação de sementes, em virtude de os dados de germinação estarem sujeitos a diversas causas de censura, como sementes inviáveis e sementes dormentes, as quais levam a unidade de observação a não apresentar o evento de interesse no período estudado (censura intervalar), sementes não germinarem até o final do experimento (censura à direita) ou até, por diferentes razões, germinarem antes da primeira avaliação (censura à esquerda).

Ademais, a germinação pode ser caracterizada como um processo qualitativo de resultado binário, no qual 1 corresponde a ocorrência de processo de germinação e 0 à ausência do evento (CARDOSO, 2009), sendo bem conveniente aos métodos de análise de sobrevivência. A característica presença de censuras em dados de germinação faz com que a ANOVA possa ser pouco adequada em diversas situações, pois há possibilidade de subestimação das médias e variâncias pela falta de tempos de resposta resultantes dos dados censurados (SCOTT et al., 1984), o que leva muitos pesquisadores a adotarem procedimentos de transformação dos dados para ajuste do modelo.

Mediante o exposto, o presente estudo foi realizado com os objetivos de avaliar quantitativamente o uso de análises estatísticas tradicional (ANOVA) e de sobrevivência na produção científica envolvendo estudos com germinação de sementes, assim como examinar qualitativamente as aplicações da análise de sobrevivência nestes estudos através de uma análise bibliométrica para o período de 2000 a 2020.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Análise de sobrevivência aplicada às ciências agrárias

Nesta seção é desenvolvida uma revisão bibliográfica referente a conceituação teórica do método estatístico de análise de sobrevivência, abrangendo seu desenvolvimento como área de pesquisa, aplicações nas ciências agrárias e principais técnicas utilizadas. Diante essa estrutura, analisa-se a caracterização dos dados de sobrevida abordando os conceitos de tempos de falha e tipos de censura, os quais habitualmente estão presentes na análise de sobrevivência, explicitando suas inserções em áreas relativas às ciências agrárias. Em continuidade, apresenta-se o conceito e aplicação da função de sobrevivência como principal estratégia probabilística empregada na análise de sobrevivência, e a conceituação da função de risco (taxa de falha) e função de falha acumulada. Ademais, são apresentadas as principais técnicas não-paramétricas passíveis de serem utilizadas no contexto da análise de sobrevivência, destacando-se o estimador limite-produto de Kaplan-Meier, o modelo de regressão de COX e os principais testes de comparação de curvas de sobrevivência.

#### 2.1.1. Tempo de falha

Em termos de definição, a análise de sobrevivência é um ramo da estatística que engloba técnicas e modelos caracterizados por apresentar como variável resposta o tempo até a ocorrência de um evento de interesse, esse tempo em geral considerado uma variável aleatória  $T$  que assume valores reais e positivos e com distribuição absolutamente contínua, isto é, com função densidade  $f(t)$ ,  $t \geq 0$ , satisfazendo:

- i)  $f(t) > 0$ ,
- ii)  $\int_0^{\infty} f(t) dt = 1$ .

O tempo até a ocorrência do evento de interesse é denominado “tempo de falha” (BOTELHO et al., 2009) e, nas ciências clínicas, pode corresponder a morte ou cura de um paciente, assim como nas ciências agrárias pode ser caracterizado pela

germinação de uma semente, por exemplo.

Segundo Colosimo e Giolo (2006), o tempo de falha é constituído por três principais elementos: o tempo inicial, a escala de medida e o evento de interesse (falha). Nesse sentido, quando se analisa o tempo inicial, é de fundamental importância que este seja definido com precisão, ao modo de que as unidades de observação sejam comparáveis no início do estudo, diferenciando-se apenas nas medidas referentes as covariáveis (fatores que influenciam a ocorrência da falha). Por exemplo, em ensaios agrônômicos, a definição do tempo de início pode ser estabelecida pela aplicação de determinado tratamento em unidades experimentais, a partir do qual é possível analisar, ao longo do tempo, o evento de interesse, isto é, delimitando a origem do estudo.

No que se refere a escala de medida, esta usualmente corresponde ao tempo real, sejam dias, meses ou anos, contudo, em situações nas quais existe a conveniência em analisar ciclos específicos, outras escalas podem ser adotadas. Tal aspecto pode ser exemplificado pela adoção do número de ciclos biológicos de determinada praga em estudos entomológicos ou número de operações de um equipamento até a falha em tecnologia de aplicação, por exemplo.

Quanto ao evento de interesse, a principal pormenorização sobre esse elemento condiz com a importância em definir e explicitar de forma clara, antes do estudo de sobrevivência, o que vem a ser a falha, visando evitar ambiguidades. Por exemplo, a falha tratando-se de um estudo em melhoramento genético pode representar o tempo até o descarte de um animal após o primeiro parto, sendo fundamental definir qual o critério para esse descarte, à exemplo de parâmetros que indiquem baixa produção de leite, tais como idade do animal e número de parições. Sob outra perspectiva, em estudos de germinação, a falha pode ser definida pelo próprio fenômeno germinativo, este podendo ser caracterizado pela protusão da radícula a determinado comprimento, indicando a viabilidade das unidades de observação, representada, neste caso, pelas sementes.

### **2.1.2. Censura**

Como abordado anteriormente, durante a condução de um ensaio experimental de sobrevivência, busca-se verificar o tempo até a ocorrência do evento de interesse (tempo de falha) nas unidades de observação, entretanto, existem



inúmeros casos em que a falha não é observada em todas as parcelas do estudo. Desse modo, é possível verificar a principal característica dos dados de sobrevivência, que remete a presença de censura, a qual é definida como uma observação parcial da resposta, visto que, em decorrência de uma variedade de razões, a parcela experimental não apresentou o evento de interesse, impossibilitando assim a observação do tempo de falha (LARROQUE e DUCROCQ, 2001).

Por exemplo, em um estudo no qual a falha é definida pelo fenômeno de florescimento de uma determinada cultura, é possível que as plantas floresçam antes, durante ou após o período de avaliação estabelecido. Portanto, todas as plantas que não florescerem entre o início e o final do experimento, serão observações parciais do evento de interesse, isto é, serão definidas como censuras.

Nesse sentido, mesmo caracterizadas como dados incompletos, as censuras fornecem informações relevantes quanto ao tempo de falha das observações, assim como reduzem a determinação de conclusões viciadas, as quais podem ser provenientes da omissão desses dados no cálculo das estatísticas (COLOSIMO e GIOLO, 2006). Logo, sem a presença das censuras em estudos relacionados ao tempo de sobrevivência, não é possível encontrar as estimativas corretas dos parâmetros, originando, conseqüentemente, análises e interpretações inadequadas (PEREIRA e VIVANCO, 2003).

Não obstante, com a presença de censuras, o uso de análises descritivas que consistem em encontrar medidas de tendência central e de variabilidade, procedimento característico na estatística clássica, torna-se menos preciso em decorrência da não adequação dessas informações parciais, fato que ressalta a importância em considerar outros métodos pertinentes a descrição desses dados, à exemplo da análise de sobrevivência (GUEDES, 2014).

Especificando o conceito de censura como observações parciais da resposta, existem três diferentes mecanismos de censura (censura tipo I, censura tipo II e censura aleatória) e três tipos de censura (censura à direita, censura à esquerda e censura intervalar).

Analisando, então, os mecanismos de censura, examinados com maior profundidade por Lawless (1982), a censura do tipo I é originada de estudos que são finalizados após um período pré-estabelecido. Nesse contexto, após o período do estudo, todas as observações que não apresentaram falha são consideradas observações parciais da resposta. A censura do tipo II, é resultado de estudos

finalizados após ter ocorrido falha em um número pré-estabelecidos de observações. Com isso, após esse número de falhas ocorrer, as observações restantes caracterizam-se como censuras. E, a censura aleatória, é aquela que ocorre quando se retira uma observação do conjunto amostral, que não apresentou falha, por uma razão diferente do fenômeno estudado.

No que tange às especificações dos tipos de censuras, basicamente estas podem ser classificadas como: (I) censura à direita, quando as informações tornam-se inacessíveis após o tempo de observação, ou seja, após o final do estudo as observações não apresentaram falha; (II) censura à esquerda, quando o evento de interesse já ocorreu antes da observação; (III) censura intervalar, quando se sabe que houve falha dentro de um intervalo, mas não se conhece o momento exato dessa falha (BASTOS e ROCHA, 2006). Adotando-se como exemplo um estudo no qual a falha é definida como a germinação de sementes, é possível que algumas sementes germinem após o estudo ser finalizado (censura à direita, visto que o tempo de falha é maior do que o tempo de observação), que outras sementes germinem antes do início do estudo (censura à esquerda, tempo de falha é menor do que o tempo inicial do estudo), ou ainda que algumas sementes germinem entre duas avaliações (censura intervalar, na qual o tempo exato de falha se encontra entre duas datas de monitoramento).

Compreendendo a definição de tempo de falha e censura como aspectos característicos da análise de sobrevivência, é importante ressaltar que os dados desse ramo da estatística podem ser apresentados como um par ordenado  $(t_i, \delta_i)$ , em que  $t_i$  é o tempo de falha ou censura da  $i$ -ésima observação e  $\delta_i$  é o indicador de falha ou censura, tal que:

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{se } t_i \text{ é um tempo de falha,} \\ 0, & \text{se } t_i \text{ é um tempo de censura.} \end{cases}$$

### 2.1.3. Função de Sobrevivência

Em estudos de sobrevivência, a variável resposta consiste no tempo até a ocorrência de um evento de interesse, de tal modo que essa variável usualmente é descrita como uma variável aleatória não-negativa e contínua  $T$ , a qual representa o tempo de falha. Nessa perspectiva, uma das principais funções probabilísticas utilizadas para descrever a distribuição de  $T$  em estudos de sobrevivência diz respeito

a função de sobrevivência, denotada por  $S(t)$  (COLOSIMO e GIOLO, 2006).

A função de sobrevivência  $S(t)$  é definida como a probabilidade de uma observação não falhar até um certo tempo  $t$ , ou seja, pode ser representada da seguinte forma:

$$S(t) = P(T > t),$$

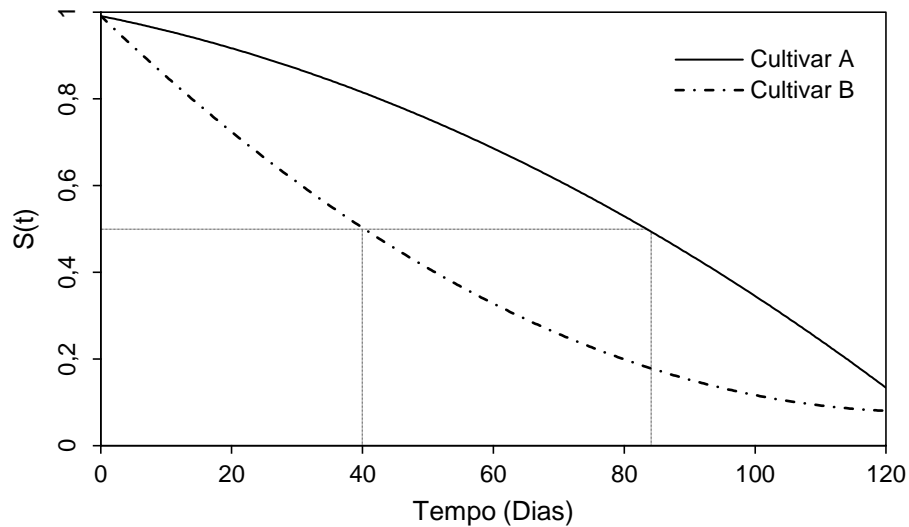
sendo  $S(t)$  uma função de sobrevivência própria monótona não crescente, tal que  $\lim_{t \rightarrow 0} S(t) = 1$  e  $\lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = 0$ .

Sendo assim, é possível denotar, a partir da função de sobrevivência, a função de distribuição acumulada  $F(t)$ , definida como a probabilidade de uma observação não sobreviver ao tempo  $t$ , do seguinte modo:

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - P(T > t) = 1 - S(t).$$

Graficamente, a forma típica de representar funções de sobrevivência é denominada como curvas de sobrevivência, a partir das quais é possível extrair informações interessantes acerca de um fenômeno estudado ao longo do tempo. Por exemplo, suponhamos que foram traçadas as curvas de sobrevivência de duas cultivares de uma cultura, adotando como falha o fenômeno da maturação dos frutos após o florescimento (Figura 1).

Nesse cenário, é possível observar que o tempo até a maturação da cultivar A é superior ao da cultivar B, podendo representar maior precocidade da segunda perante a primeira, dado que esta amadurece em menor tempo. Além disso, ao analisar o tempo mediano (tempo em que 50% das observações já falharam, isto é, neste caso, 50% das plantas apresentam frutos maduros), verifica-se que para a cultivar A este corresponde a pouco mais de 80 dias, enquanto para a cultivar B o tempo é de 40 dias, aspectos que em uma perspectiva ampla podem contribuir para planejamentos de safra, assim como podem ser aplicados a outras áreas das ciências agrárias nas quais a ocorrência de um evento de interesse ao longo do tempo é pertinente, tais como no manejo fitossanitário, fertilidade do solo, melhoramento genético, entre outros aspectos.



**Figura 1.** Exemplificação de curvas de sobrevivência de duas cultivares quanto ao tempo até a maturação dos frutos. Fonte: Adaptado de Colosimo e Giolo (2006).

#### 2.1.4. Função de Taxa de Falha e Função de Taxa de Falha Acumulada

Acrescenta-se ainda que, além da função de sobrevivência, existem, dentre as funções probabilísticas, outras duas constantemente aplicadas nos estudos com análise de sobrevivência, sendo elas a função de taxa de falha ou risco, e a função de taxa de falha acumulada.

A função de taxa de falha fornece a taxa instantânea de falha, isto é, a probabilidade de que a falha ocorra no intervalo  $[t; t + \Delta t]$ , dado que sobreviveu até o tempo  $t$ , e dividida pelo comprimento  $t + \Delta t$  (DUCROCQ et al., 1988). Desse modo, a função de risco  $\lambda(t)$  para a variável aleatória  $T$  é definida como:

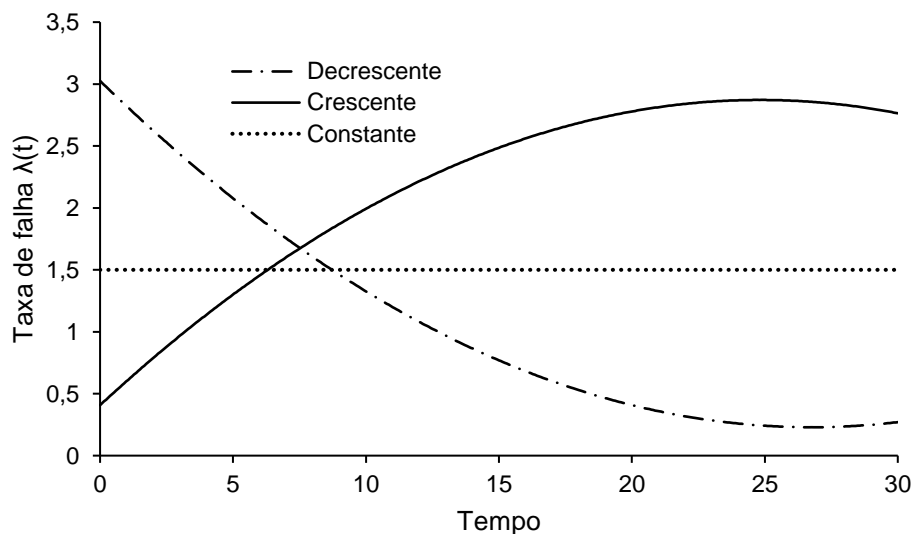
$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t \mid T \geq t)}{\Delta t}$$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t \cap T \geq t)}{P(T \geq t) \Delta t}$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{S(t)} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{\Delta t}$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{S(t)} f(t) = \frac{f(t)}{S(t)}.$$

Nota-se que a função de risco pode basicamente assumir um comportamento crescente (indica que a taxa de falha aumenta ao longo do tempo, à exemplo de um equipamento de pulverização que sofre desgaste), constante (taxa de falha não se altera ao longo do tempo) ou decrescente (taxa de falha diminui ao longo do tempo, como a viabilidade de sementes) (Figura 2). Assim, a função de risco representa uma estratégia muito informativa na análise de sobrevivência, dado que assume diferentes comportamentos de acordo com o fenômeno estudado, sendo um método de estudo dos dados de sobrevivência de grande relevância. Acrescenta-se, ainda, que a função de taxa de falha pode apresentar um comportamento representado pela combinação das curvas anteriormente analisadas, no qual a taxa de falha diminui inicialmente, passa a ser constante no período intermediário e cresce na porção final, à exemplo do que ocorre com o tempo de vida de seres humanos (mortalidade infantil, estabilidade e envelhecimento), sendo esta conhecida como “curva da banheira” (COLOSIMO e GIOLO, 2006).



**Figura 2.** Funções de taxa de falha. Fonte: Adaptado de Colosimo e Giolo (2006).

Por fim, a função de taxa de falha acumulada, denotada por  $\Lambda(t)$ , fornece justamente a taxa de falha acumulada da observação, ao modo que por si só  $\Lambda(t)$  não possui uma interpretação direta, entretanto, é bastante aplicada em situações nas quais  $\lambda(t)$  é de difícil determinação. A título de definição,  $\Lambda(t)$  é expressa como:

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(u) du.$$

### 2.1.5. Técnicas Não-Paramétricas

Partindo de uma das principais características da análise de sobrevivência abordada no tópico 2.1.2, a qual condiz com a alocação de censuras no cálculo das estatísticas, é importante explicitar que a presença de censuras no conjunto de observações inviabiliza o tratamento de dados por meio de análises descritivas voltadas a determinação de medidas de tendência central e variabilidade, ao passo que a principal ferramenta utilizada para dados de tempo de falha é caracterizada pela função de sobrevivência.

Diante este aspecto, trabalhando com dados censurados, o procedimento inicial para análise consiste em encontrar uma estimativa para a função de sobrevivência, a partir da qual é possível calcular estatísticas pertinentes ao estudo em questão, tais como tempo médio ou mediano, percentis ou frações de falhas em tempos fixos (COLOSIMO e GIOLO, 2006).

Visando trabalhar dados de estudos que envolvam a análise de sobrevivência, constata-se três principais estimadores não-paramétricos para função de sobrevivência passíveis de serem aplicados, sendo eles: o estimador de Kaplan-Meier, o estimador de Nelson Aalen e o método de Tabela de vida (ou modelo atuarial), este último apresentando importância histórica por ter sido proposto no século passado e usado em censos demográficos para estimar características de tempo de vida em grandes amostras. Além disso, modelos semi-paramétricos como o modelo de riscos proporcionais de Cox, e paramétricos, à exemplo dos modelos de tempo de vida acelerado, são amplamente utilizados para o tratamento de dados de sobrevivência (VELHO, 2015). Nesta revisão, abordaremos com maior enfoque os modelos não-paramétricos, sobretudo, o estimador de Kaplan-Meier (também conhecido como estimador produto-limite), uma vez que este destaca-se pela ampla gama de aplicações e simplicidade, sendo extensivamente utilizado (STEL et al., 2011).

Acrescenta-se, neste sentido, que na análise não-paramétrica não se assume uma distribuição de probabilidade para os dados como mecanismo gerador

de falha ou tempos de vida, evitando o potencial erro decorrente da suposição de uma distribuição inadequada, sendo essa uma explícita vantagem. Contudo, como aspecto desfavorável, ressalta-se que os intervalos de confiança obtidos nas análises não-paramétricas tendem a ser maiores quando comparadas àqueles calculados através de técnicas paramétricas (WIENKE, 2011).

### 2.1.5.1. Estimador de Kaplan-Meier

Proposto por Kaplan e Meier (1958) para estimar a função de sobrevivência, o estimador de Kaplan-Meier, denotado  $\hat{S}(t)$ , também chamado de estimador Produto-Limite, é uma técnica não-paramétrica baseada no pressuposto de que as observações analisadas consistem em tempos de sobrevivência independentes e distribuídos de forma idêntica, com intervalos de tempo que não são fixos, os quais são determinados pelo aparecimento de uma ou mais falhas.

Na ausência de censuras, este estimador corresponde a uma adaptação da função de sobrevivência empírica, sendo expresso por:

$$\hat{S}(t) = \frac{\text{n}^\circ \text{ de observações que não falharam até o tempo } t}{\text{n}^\circ \text{ total de observações sob risco no estudo}},$$

sendo  $\hat{S}(t)$  uma função escada com degraus nos tempos observados de falha de tamanho  $1/n$ , em que  $n$  é o tamanho da amostra. Caso existam empates (mais de uma falha) em um certo tempo  $t$ , o tamanho do degrau fica multiplicado pelo número de empates.

Nessa continuidade, no estimador de Kaplan-Meier, os limites dos intervalos de tempo são determinados pelos tempos de falha, de forma que os tempos de sobrevivência são ordenados de maneira crescente. Com isso, a probabilidade de se chegar a um determinado tempo  $t$ , caracteriza-se pelo produto das probabilidades de se chegar a cada um dos tempos anteriores. Portanto, o estimador de Kaplan-Meier pode ser expresso em termos de probabilidades condicionais, a partir do desenvolvimento representado a seguir:

Seja  $n$  o número de observações de uma amostra,  $k$  ( $\leq n$ ) falhas distintas nos tempos  $t_1 < t_2 < \dots < t_k$ , e  $\hat{S}(t)$  uma função discreta com probabilidade maior do que zero somente nos tempos de falha  $t_j$ ,  $j = 1, \dots, k$ , verifica-se:

$$\hat{S}(t_j) = (1 - q_1)(1 - q_2) \dots (1 - q_j),$$

sendo  $q_j$  a probabilidade de uma observação falhar no intervalo  $[t_{j-1}, t_j)$ , sabendo que ela não falhou até  $t_{j-1}$  e considerando  $t_0 = 0$ .

$$\therefore q_j = P(T \in [t_{j-1}, t_j) | T \geq t_{j-1}).$$

Desse modo, o estimador de Kaplan-Meier pode ser expresso pelo objetivo de estimar  $q_j$ , em que:

$$\hat{q}_j = \frac{\text{n}^\circ \text{ de falhas em } t_j}{\text{n}^\circ \text{ de observações sob risco em } t_{j-1}}, \text{ para } j = 1, \dots, k.$$

Assim, a expressão geral do estimador de Kaplan-Meier é apresentada diante as considerações gerais de que  $t_1 < t_2 < \dots < t_k$  são os  $k$  tempos distintos e ordenados de falha;  $d_j$  é o número de falhas em  $t_j$ ,  $j = 1, \dots, k$ ; e  $n_j$  é o número de observações sob risco em  $t_j$  (observações que não falharam e não foram censuradas até o instante anterior a  $t_j$ ). Isto posto, o estimador de Kaplan-Meier é definido como:

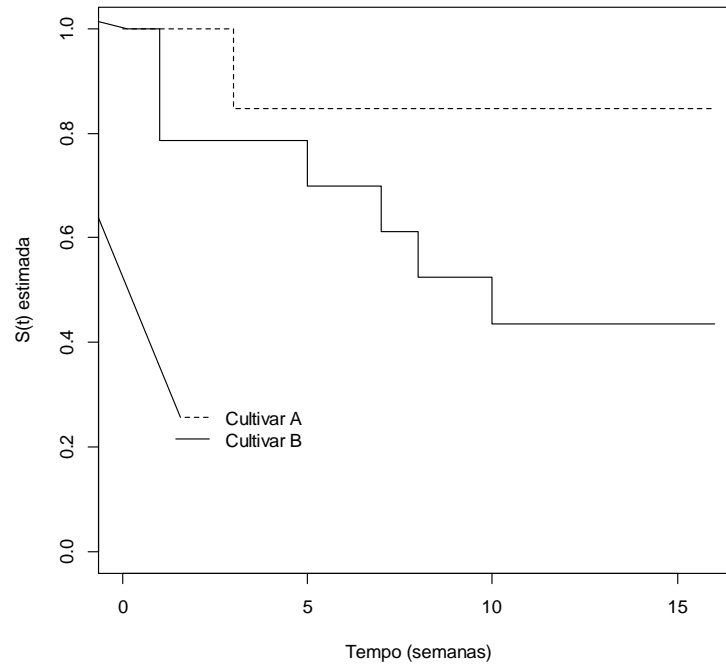
$$\hat{S}(t) = \prod_{j: t_j < t} \left( \frac{n_j - d_j}{n_j} \right) = \prod_{j: t_j < t} \left( 1 - \frac{d_j}{n_j} \right),$$

em que  $\hat{S}(t) = 1$  para  $0 \leq t \leq t_1$ .

Ademais, torna-se importante destacar que, dentre as propriedades do estimador de Kaplan-Meier, tem-se que ele não é viciado para amostras grandes e converge assintoticamente para um processo gaussiano, e sua aplicação como estimador consistente da função de sobrevivência ocorre sob condições gerais, ressaltando sua ampla aplicabilidade (SOUSA, 2010).

Diante o exposto, após a estimação da função de sobrevivência pelo estimador de Kaplan-Meier, usualmente faz-se a análise gráfica dos resultados, de tal maneira que as curvas de sobrevivência resultantes do estimador de Kaplan-Meier são caracterizadas por funções de escada (Figura 3).





**Figura 3.** Exemplificação das curvas de sobrevivência obtidas pelo estimador de Kaplan-Meier para duas cultivares A e B. Fonte: Adaptado de Colosimo e Giolo (2006).

### 2.1.5.2. Estimador de Nelson-Aalen

Também caracterizado como um dos estimadores mais utilizados em estudos de sobrevivência, e sendo mais recente em relação ao estimador de Kaplan-Meier, o estimador de Nelson-Aalen é uma ferramenta estatística inicialmente proposta por Nelson (1972) e alguns anos mais tarde trabalhada por Aalen (1978), baseada na interpretação da função de sobrevivência como a função exponencial negativa da função de risco acumulado  $\Lambda(t)$ , da seguinte forma:

$$S(t) = \exp\{-\Lambda(t)\}.$$

Desse modo, o estimador de Nelson-Aalen permite estimar a função de risco acumulado  $\Lambda(t)$ , sendo o estimador representado por:

$$\hat{\Lambda}(t) = \sum_{j: t_j < t} \left( \frac{d_j}{n_j} \right),$$

em que  $d_j$  é o número de falhas em  $t_j$ ,  $j = 1, \dots, k$ ; e  $n_j$  é o número de observações

sob risco em  $t_j$  (observações que não falharam e não foram censuradas até o instante anterior a  $t_j$ ).

Assim como o estimador de Kaplan-Meier, o estimador de Nelson-Aalen é baseado em um número de intervalos iguais ao número de tempos de falha distintos. Por outro lado, em termos de diferenciação dos estimadores incluindo o método de tabela de vida, este em que os tempos de falha são agrupados em intervalos de forma arbitrária, constata-se que o estimador de Kaplan-Meier apresenta evidências empíricas de superioridade para amostras de pequeno ou médio porte, aspecto que somado a sua propriedade assintótica de não ser viciado para grandes amostras, convergem a maior aplicabilidade do estimador de Kaplan-Meier quando se objetiva analisar informações obtidas a partir da função de sobrevivência (COLOSIMO e GIOLO, 2006).

### **2.1.6. Modelo Semi-Paramétrico de Riscos Proporcionais de Cox**

Em virtude de sua versatilidade, o modelo de regressão de Cox é o modelo mais utilizado em estudos de sobrevivência com intuito de avaliar o efeito de covariáveis no tempo até a ocorrência de um determinado evento e, sendo assim, é aqui sintetizado como uma ferramenta focal da análise de sobrevivência, segundo desenvolvimento apresentado por Colosimo e Giolo (2006).

Nesse sentido, tratando-se inicialmente da generalização do modelo de Cox para uma única covariável, a qual, por exemplo, corresponda a um indicador de grupos, fertilizante padrão (grupo 0) e novo fertilizante (grupo 1), é possível assumir a proporcionalidade entre a função de taxa de falha do primeiro grupo  $\lambda_0(t)$  e a do segundo grupo  $\lambda_1(t)$  da seguinte maneira:

$$\frac{\lambda_1(t)}{\lambda_0(t)} = K,$$

sendo  $K$  a razão das taxas de falhas ou risco relativo, constante para todo tempo  $t$  de acompanhamento do estudo.

Desse modo, se  $X$  é a variável indicadora de grupo assumindo valores 0 ou 1, para o grupo 0 ou grupo 1, respectivamente, a razão das taxas de falhas  $K$  pode ser expressa pela função exponencial do parâmetro a ser estimado de  $X$ , a partir da qual

denota-se a expressão do modelo de Cox para uma única variável:

$$K = \exp\{\beta_x\} \rightarrow \lambda(t) = \lambda_0(t) \cdot \exp\{\beta_x\}$$

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_1(t) = \lambda_0(t) \cdot \exp\{\beta_x\} & \text{se } x = 1 \\ \lambda_0(t) = \lambda_1(t) \cdot \exp\{\beta_x\} & \text{se } x = 0 \end{cases}$$

Com isso, considerando  $p$  covariáveis em que  $X$  corresponde a um vetor com componentes  $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ , a generalização da expressão geral do modelo de regressão de Cox corresponde a:

$$\lambda(t) = \lambda_0(t) \cdot g(\mathbf{x}'\boldsymbol{\beta}),$$

em que  $g$  é uma função que deve ser especificada, tal que  $g(0) = 1$ , e  $\lambda_0(t)$  é uma função não-negativa do tempo não especificada, sendo um modelo composto por um componente não-paramétrico  $\lambda_0(t)$  e um paramétrico  $g(\mathbf{x}'\boldsymbol{\beta})$ .

Usualmente, o componente não-paramétrico  $\lambda_0(t)$  é chamado de função de base, uma vez que  $\lambda(t) = \lambda_0(t)$  quando  $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ , e o componente paramétrico  $g(\mathbf{x}'\boldsymbol{\beta})$  é utilizado na forma multiplicativa:

$$g(\mathbf{x}'\boldsymbol{\beta}) = \exp(\mathbf{x}'\boldsymbol{\beta}) = \exp(\beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p),$$

sendo  $\boldsymbol{\beta}$  o vetor dos parâmetros associados às covariáveis e garantindo que  $\lambda(t)$  seja sempre positiva.

Nessa perspectiva, é possível observar o porquê do modelo de regressão de Cox ser extensivamente utilizado, uma vez que a presença do componente não-paramétrico torna o modelo bastante flexível.

Ademais, a suposição básica para o uso do modelo de regressão de Cox concerne que as taxas de falha sejam proporcionais, isto é, constantes ao longo do tempo. Sendo assim, a razão das funções de taxa de falha para dois indivíduos diferentes,  $i$  e  $j$ , é representada por:

$$\frac{\lambda_i(t)}{\lambda_j(t)} = \frac{\lambda_0(t) \exp\{\mathbf{x}'_i \boldsymbol{\beta}\}}{\lambda_0(t) \exp\{\mathbf{x}'_j \boldsymbol{\beta}\}} = \exp\{\mathbf{x}'_i \boldsymbol{\beta} - \mathbf{x}'_j \boldsymbol{\beta}\},$$

que não depende do tempo, isto é, a razão do risco de um indivíduo em relação ao outro no início do estudo permanece a mesma durante todo o período de observação.

### 2.1.7. Testes de comparação de curvas de sobrevivência

Ao utilizar um estimador para a função de sobrevivência e obter as curvas de sobrevivência relativas a determinado parâmetro, quando estas são provenientes de diferentes tratamentos, faz-se necessário compará-las por meio de testes de significância estatística, objetivando justamente compreender quais curvas apresentam comportamentos mais ou menos interessantes para o estudo em questão, sendo este um aspecto extremamente comum nos estudos agrônomicos. Nesse contexto, diversos testes podem ser aplicados para comparação de curvas de sobrevivência, tais como o teste de Mantel-Hanzel, teste de Peto-Peto, teste Prentice, teste de Wilcoxon, teste de Tarone-Ware, teste de log-rank, entre outros.

Dentre os testes, os mais utilizados são os não-paramétricos, em virtude da não necessidade de pressuposições (ALLISON, 2010), com destaque ao teste log-rank, proposto por Mantel (1966) e sendo particularmente apropriado para comparar grupos com funções de risco proporcionais e definidos por variáveis categóricas (KLEINBAUM e KLEIN, 2012).

Abordando, então, o teste log-rank, este é baseado na diferença entre o número observado de falhas em cada grupo e uma quantidade que corresponde ao número esperado de falhas sob a hipótese nula. Assim, as hipóteses estabelecidas no teste, nula ( $H_0$ ) e alternativa ( $H_1$ ), são representadas da seguinte maneira:

$$\begin{cases} H_0: \text{não há diferença entre as curvas} \\ H_1: \text{há diferença entre as curvas} \end{cases}$$

Com isso, ao rejeitar a hipótese nula, pelo menos uma curva de sobrevivência é significativamente diferente das demais em, no mínimo, um intervalo de tempo do estudo.

Desse modo, visando apresentar a estatística do teste log-rank para comparação de dois grupos, esta é claramente exemplificada a partir de uma tabela de contingência, assim como apresentado por Pereira e Vivanco (2003). Nessa ótica, o objetivo é comparar duas funções de sobrevivência, digamos  $S_1(t)$  e  $S_2(t)$ . Sejam  $t_1 < t_2 < \dots < t_k$  os tempos de falha distintos da amostra formada pela combinação das duas amostras individuais. Supondo que no tempo  $t_j$  ocorram  $d_j$  falhas,  $n_j$  indivíduos estejam sob risco em um tempo imediatamente anterior à  $t_j$  na amostra

combinada e, respectivamente, existam  $d_{ij}$  falhas e  $n_{ij}$  observações em risco em cada amostra  $i$ , sendo que  $i = 1, 2$  e  $j = 1, 2, \dots, k$ , observa-se a tabela de contingência no tempo  $t_j$  (Tabela 1).

**Tabela 1.** Tabela de contingência gerada no tempo  $t_j$ .

	Grupo 1	Grupo 2	Total
Falha	$d_{1j}$	$d_{2j}$	$d_j$
Não Falha	$n_{1j} - d_{1j}$	$n_{2j} - d_{2j}$	$n_j - d_j$
Total	$n_{1j}$	$n_{2j}$	$n_j$

Fonte: Pereira e Vivanco (2003).

A partir dessa construção, verifica-se que a distribuição de  $d_{2j}$  é hipergeométrica, uma vez que corresponde a distribuição de probabilidade que descreve um acontecimento (sucesso = falha; fracasso = censura) a partir de uma amostragem sem reposição.

A média de  $d_{2j}$  é  $e_{2j} = n_{2j}d_jn_j^{-1}$ , que na ausência de diferença entre grupos no tempo  $t_j$ , significa que  $d_j$  pode ser dividido entre duas amostras seguindo a razão entre o número de indivíduos sob risco de cada amostra e o número total de indivíduos sob risco. Além disso, seguindo a distribuição hipergeométrica, a variância de  $d_{2j}$  é definida como:

$$(V_j)_2 = n_{2j}(n_j - n_{2j}) d_j(n_j - d_j) n_j^{-2}(n_j - 1)^{-1}.$$

Sendo assim, a estatística de  $d_{2j} - e_{2j}$  tem média 0 e variância  $(V_j)_2$ . Portanto, se as  $k$  tabelas de contingência forem independentes, um teste aproximado para a igualdade entre duas funções de sobrevivência pode ser baseado na estatística:

$$T_{L-R} = \frac{[\sum_{j=1}^k (d_{2j} - e_{2j})]^2}{\sum_{j=1}^k (V_j)_2},$$

sendo que a estatística do teste log-rank tem uma distribuição qui-quadrado com 1 grau de liberdade para comparação de dois grupos, no caso de grandes amostras.

Para realização do teste, compara-se o valor da estatística com o valor tabelado de uma qui-quadrado, sendo  $H_0$  rejeitada se o valor calculado for superior ao tabelado (COLOSIMO e GIOLO, 2006).

### 3. OBJETIVOS

Considerando as características dos dados usualmente trabalhados em estudos com germinação, emergência e vigor de sementes e as hipóteses de que a análise de variância (ANOVA) constitui a metodologia estatística mais utilizada na ciência de sementes; e que a aplicação de técnicas capazes de descrever fenômenos intrinsecamente associados ao tempo constitui uma opção a ser considerada nessa área de pesquisa, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a produção científica em estudos envolvendo ciência de sementes quanto à aplicação das metodologias estatísticas tradicional (ANOVA) e de sobrevivência nas últimas duas décadas, através de um recorte bibliométrico dessa área de pesquisa.

Os objetivos específicos foram:

- i) Verificar quantitativamente a utilização de cada análise estatística no que concerne as áreas de conhecimento dos estudos, evolução anual das publicações científicas e países, revistas e instituições de pesquisa responsáveis pelas publicações;
- ii) Demonstrar por meio de uma descrição qualitativa que a análise de sobrevivência é uma ferramenta estatística a ser considerada para o tratamento de dados de germinação.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Fonte de Dados

A coleta de dados foi realizada com base na principal coleção do banco de dados da plataforma *Web of Science*, a qual engloba os principais periódicos acadêmicos, livros e anais referentes à produção científica mundial (oferecendo acesso a seis bancos de dados de citações: *Science Citation Index Expanded* – SCI-EXPANDED, *Social Sciences Citation Index* – SSCI, *Arts & Humanities Citation Index* – A&HCI, *Conference Proceedings Citation Index-Science* – CPCI-S, *Conference Proceedings Citation Index-Social Science & Humanities* – CPCI-SSH e *Emerging Sources Citation Index* – ESCI). O estudo foi realizado para o período de 2000 a 2020.

### 4.2. Estratégia de Pesquisa

Como critério para seleção dos conteúdos foram estabelecidos dois termos de busca, um voltado à análise estatística tradicional (ANOVA) e outro para análise de sobrevivência, ambos utilizados em estudos de germinação de sementes. Para análise tradicional foram selecionados todos os registros que continham os termos “*analysis\* of\* variance\**” and “*germination*” no título, resumo e/ou palavras-chave. O operador de truncagem “aspas” (“”) limita a busca para termos que estiverem adjacentes no texto, fixando a sequência, nesta ordem, e sem nenhuma outra palavra para a expressão de interesse, e o asterisco (\*) no final da palavra permite a fixação de um prefixo, potencializando os resultados encontrados. Além disso, aplicou-se na composição dos termos de pesquisa o operador lógico booleano “and”, que permite a combinação de dois termos, neste caso, “*analysis of variance*” e “*germination*”. No que se refere a seleção de registros para análise de sobrevivência, foram estabelecidos os termos de busca “*survival analysis*” and “*germination*”.

Diante essa estruturação, foram obtidos 377 e 45 publicações relativas à análise tradicional de dados e análise de sobrevivência, respectivamente. Seguindo a metodologia usualmente empregue em estudos bibliométricos, a busca foi restringida à artigos originais publicados em periódicos, excluindo artigos de revisão e de anais de reuniões científicas, uma vez que os critérios de revisão em pares adotados para publicação de artigos científicos originais resultam em grande confiabilidade referente



ao método experimental, reprodutibilidade e significância (OHLER, 2010). Desse modo, para análise estatística tradicional inicialmente foram selecionados 348 artigos e, para análise de sobrevivência, 41 trabalhos. Analisou-se individualmente cada um dos artigos, objetivando a triagem de publicações que de fato referiam-se à aplicação dos métodos estatísticos de interesse em estudos de germinação de sementes, alcançando um número final de 289 artigos para análise tradicional e 32 artigos para análise de sobrevivência. A busca foi realizada em janeiro de 2021.

### **4.3. Análise Bibliométrica**

Definidos os termos de busca para ambos os tipos de análises estatísticas, o estudo bibliométrico foi desenvolvido sob duas frentes: uma exclusivamente quantitativa para ambas as análises, isto é, tradicional e de sobrevivência, e outra qualitativa, com enfoque nos registros para análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes.

Para a análise quantitativa, foram consideradas as seguintes variáveis: relações das publicações entre áreas de conhecimento, evolução anual da produção científica, países e revistas nos quais os artigos foram publicados, e instituições de pesquisa responsáveis pela realização dos estudos.

Sob a ótica da análise qualitativa, cada um dos 32 artigos relacionados ao uso da análise de sobrevivência foi categorizado perante sua aplicação geral em estudos de fitotecnia de sementes em três grupos, sendo eles: germinação, emergência e/ou vigor. Sendo assim, por germinação considerou-se o conceito biológico que condiz à protusão da radícula a comprimento superior a 2 mm, e emergência como a identificação de plântulas com desenvolvimento suficiente para diferenciação e/ou identificação de espécies (HEERDT et al., 1996). No que se refere a definição adotada para vigor, apesar de sua definição ampla, seu entendimento como variável para aplicação das análises estatísticas foi embasado na presença e uso de testes característicos de vigor de sementes nos artigos analisados, tais como teste de envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, tetrazólio e teste a frio (MARCOS FILHO, 2015).

Ademais, as publicações também foram classificadas quanto às temáticas e potencialidades de aplicação da análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes, de modo que cada artigo foi categorizado em um dos cinco

conjuntos abrangentes, mas diferenciados entre si, aqui estabelecidos, sendo eles: Estudos Fisiológicos, Ecologia Vegetal, Dispersão de Sementes, Manejo de Plantas Daninhas e Proposições Metodológicas.

Nessa perspectiva, o conjunto de Estudos Fisiológicos engloba publicações voltadas à análise do fenômeno germinativo sob diferentes variáveis abióticas e bióticas que afetam o desempenho das sementes, tais como salinidade, umidade, temperatura, densidade e dormência. O conjunto Ecologia Vegetal abrange artigos desenvolvidos sob a ótica de avaliar a germinação com componente da sucessão, estabelecimento e manutenção de ecossistemas, assim como a viabilidade e planejamento de práticas de restauração e os efeitos de ações antrópicas e mudanças climáticas no processo germinativo. O grupo dispersão de Sementes refere-se às publicações que visaram avaliar o efeito da dinâmica e da estratégia de dispersão de sementes na germinação e viabilidade. Manejo de Plantas Daninhas integra as publicações que objetivaram compreender o comportamento de plantas consideradas como infestantes perante fatores ambientais. Por fim, no que diz respeito ao conjunto Proposições Metodológicas, este engloba artigos que possuem como principal objetivo propor métodos e ferramentas da análise de sobrevivência para estudos voltados à germinação de sementes.

#### **4.4. Limitações do Estudo**

Dentre as principais limitações do presente estudo reconhecemos que a fixação dos termos únicos “*analysis\* of\* variance\**” and “*germination*” e “*survival analysis*” and “*germination*” para a amostragem pode não refletir a totalidade do segmento de pesquisa analisado para o período, uma vez que artigos pertinentes ao tema que não se enquadram aos termos de indexação possam não ter sido selecionados. Acrescenta-se que o estudo foi desenvolvido somente pela base de dados *Web of Science*, a mais tradicional e consolidada em pesquisas bibliométricas, sendo válido destacar que nenhuma base de dados apresenta cobertura científica mundial em sua integralidade (FAPESP, 2011).

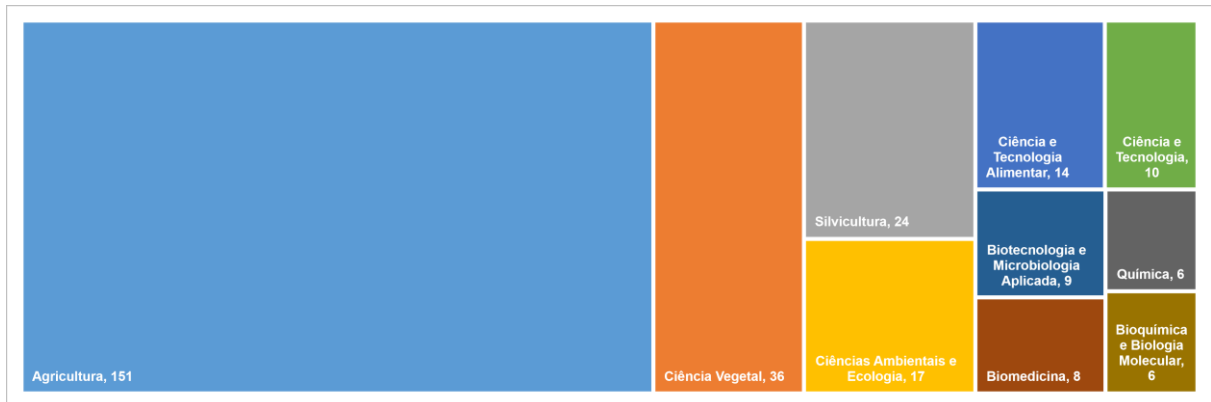
Ademais, ressaltamos que o intuito deste estudo não é direcionado a análise da qualidade experimental das pesquisas, perspectiva inviável por meio exclusivo de indicadores bibliométricos, mas sim, do entendimento da proporção de

uso e aplicabilidade dos métodos estatísticos em ciência de sementes, aspecto este compreendido pelo recorte aqui proposto.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Panorama quantitativo da análise estatística tradicional em estudos de germinação

Analisando a relação das áreas de pesquisa que englobam as publicações que utilizaram da ANOVA para interpretação dos dados de germinação de sementes, verificou-se que, dos 289 artigos selecionados, cerca de 52,2% foram caracterizados como estudos desenvolvidos sob eixo central na agricultura, seguido em ordem de número de publicações pelos tópicos: ciência vegetal (12,5%), silvicultura (8,3%), ciências ambientais e ecologia (5,9%), ciência e tecnologia alimentar (4,8%), ciência e tecnologia (3,5%), biotecnologia e microbiologia aplicada (3,1%), biomedicina (2,8%), química (2,1%) e bioquímica e biologia molecular (2,1%) (Figura 4). Nesse sentido, o conjunto das 10 áreas prioritárias de pesquisa abrange 97,3% das publicações, sendo o restante identificado nas áreas engenharia, medicina e energia e combustíveis (dados não apresentados).

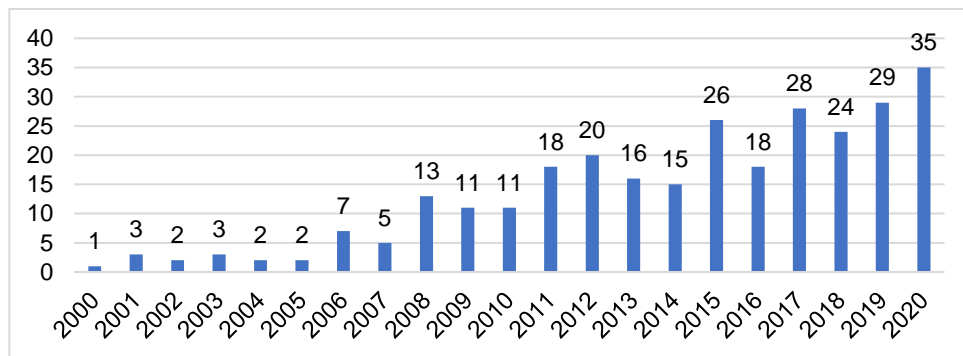


**Figura 4.** Número de artigos publicados, por área de pesquisa, que utilizaram da análise de variância (ANOVA) para interpretação de dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

Em relação às áreas de pesquisa que adotaram a ANOVA para estudos com germinação de sementes, observa-se que o grande emprego relacionado à área “agricultura” traduz a composição estatística comumente adotada nesses estudos, uma vez que nas ciências agrárias, assim como na ciência de sementes, o uso desta ferramenta e suas derivações como métodos estatísticos consolidados apresenta-se

como aspecto assíduo e extensivamente aplicado em experimentos científicos (NETTER et al., 1996; CARVALHO et al., 2018). Nessa perspectiva, é fundamental destacar que mesmo diante da indiscutível importância e aplicabilidade da ANOVA, sua reprodução como metodologia padrão, limita a sondagem e a aplicação de diversas outras ferramentas confiáveis para estudos envolvendo temáticas da biologia vegetal (COLOSIMO e GIOLO, 2006), dentre as quais é possível destacar a análise de sobrevivência.

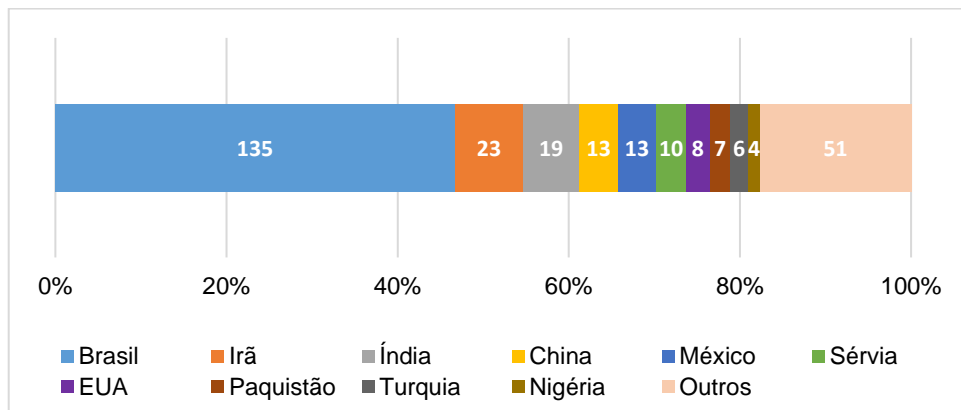
No que diz respeito a evolução da produção científica ao longo dos anos, constata-se que, a partir de 2008, houve aumento no número de publicações que se utilizaram da análise tradicional de dados em estudos com germinação de sementes, atingindo o maior índice no ano de 2020 (Figura 5).



**Figura 5.** Frequência absoluta da evolução da produção científica referente à aplicação da análise de variância (ANOVA) em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

Nesse sentido, considerando o período analisado da evolução da produção científica nas últimas duas décadas, é possível verificar que a adoção da ANOVA em estudos relacionados à germinação de sementes se apresentou como uma prática crescente, aspecto que corrobora com a afirmativa de que esta é a maneira usual de analisar dados em experimentos agrônômicos (GIRARD et al., 2009), assim como se observa uma baixa flexibilidade dos pesquisadores em explorar outras ferramentas estatísticas. Com isso, evidencia-se ainda que tal aspecto é reflexo da característica formação profissional dos pesquisadores, a qual inerentemente estimula a adoção da ANOVA para o entendimento dos fenômenos biológicos estudados, sendo essa uma perspectiva profundamente válida e respaldada pela estruturação da análise, desde que bem adequada.

Abordando a distribuição das publicações quanto aos países responsáveis pela produção dos artigos, constatou-se 46 países envolvidos no desenvolvimento dos 289 trabalhos, entretanto, é válido ressaltar que, destes, 24 correspondem a apenas uma publicação. Analisando os 10 principais países responsáveis pela produção científica de estudos de germinação envolvendo a aplicação da ANOVA, é notório o grande destaque atribuído ao Brasil, o qual compreende 46,7% do total de artigos publicados, 6 vezes mais publicações científicas que o Irã (7,9%), segundo país em número de publicações (Figura 6).



**Figura 6.** Representação dos 10 países mais produtivos na publicação de artigos científicos que utilizaram a análise de variância (ANOVA) em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

Tal fato demonstra a grande colaboração científica do Brasil para estudos relacionados a sementes, de modo que analisando sob uma perspectiva mais ampla, essa constatação está respaldada pelo característico perfil da produção científica brasileira em ciências agrárias, o qual figura entre os principais países com maior número de artigos nessa grande área de pesquisa (CAÑAS-GUERRERO et al., 2013). Além disso, os mesmos autores destacam o notável crescimento das pesquisas em agronomia em países como Índia e China, terceiro e quarto país que mais produziram entre 2000 e 2020 pelos termos estabelecidos, respectivamente.

Quanto às revistas que efetivaram as publicações dos artigos em análise, os 289 artigos foram publicados em 151 revistas diferentes, das quais 104 correspondem a publicação de um único artigo. Sendo assim, as revistas científicas que publicaram 3 ou mais artigos para o período são apresentadas na Figura 7. Estas

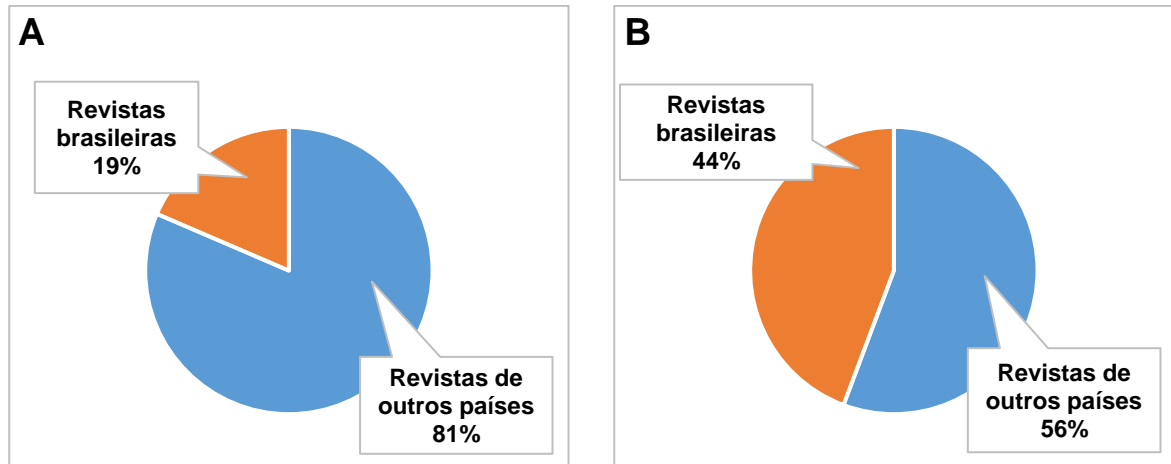
totalizam 135 dos 289 artigos considerados no presente estudo, sendo 80 publicações indexadas em revistas brasileiras, as quais ocupam 17 posições entre as 22 revistas com maior atividade.

Nesse quesito, é importante ressaltar que o baixo número de artigos atrelados a revistas de grande visibilidade na área de tecnologia de sementes, à exemplo da *Journal of Seed Science*, refere-se, além da definição dos termos, ao fato dessas revistas terem sido recentemente indexadas na base *Web of Science*. Nessa consideração, observa-se que as publicações referentes ao *Journal of Seed Science* são listadas na base *Web of Science* a partir de 2014, uma vez que a revista foi submetida à avaliação na plataforma em 2013 e de fato indexada na base de dados em 2016 (ABRATES, 2019), logo, para o período analisado (2000 – 2020), foram considerados apenas 7 anos (2014 – 2020) de atividade da revista.



**Figura 7.** Principais revistas que publicaram artigos relacionados à análise de variância (ANOVA) em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

Considerando todas as 151 revistas responsáveis pela publicação dos 289 artigos relacionados à análise tradicional dos dados de germinação, verificou-se que 28 são revistas brasileiras, mesmo que possuam caráter internacional, e 123 são referentes aos demais países (Figura 8A). Contudo, mesmo havendo um predomínio em números absolutos de revistas de outros países, considerando apenas os artigos publicados pelas revistas brasileiras, estes englobam 128 trabalhos, isto é, aproximadamente 44% das publicações, explicitando a forte participação da atividade científica do Brasil nessa área de pesquisa (Figura 8B).



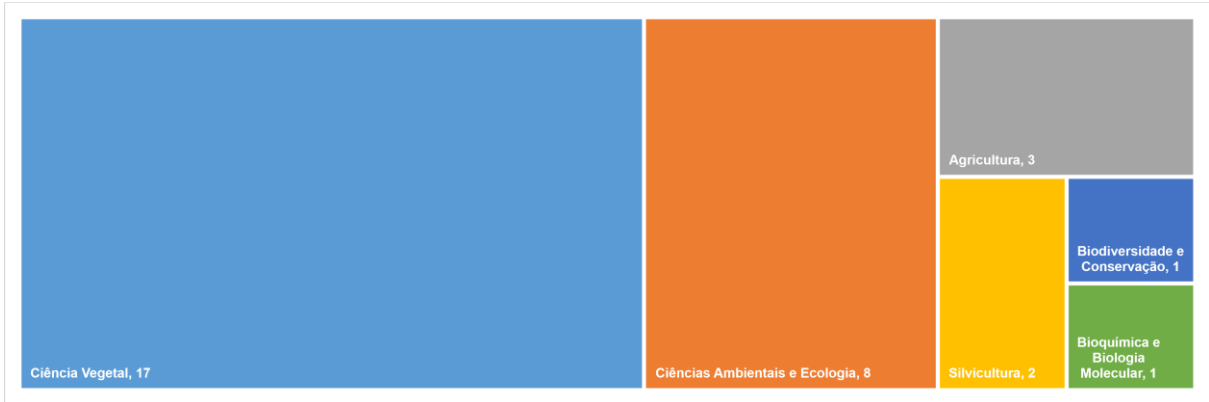
**Figura 8.** Proporção de revistas responsáveis pela publicação dos 289 artigos com uso da análise de variância (ANOVA) em dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 (A); Proporção de publicações vinculadas a revistas brasileiras ou de outros países do total de 289 artigos com uso da análise de variância (ANOVA) em dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 (B). Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

Ademais, analisando os dados bibliométricos sob perspectiva das organizações/instituições que desenvolveram os artigos publicados, novamente constatou-se grande participação brasileira, uma vez que, das 10 organizações que mais publicaram no período, 7 são universidades ou centros de pesquisa brasileiros, os quais totalizam 53 publicações (dados não apresentados).

## 5.2. Panorama quantitativo da análise estatística de sobrevivência em estudos de germinação

Para os estudos que abordaram o uso da análise de sobrevivência, observa-se maior frequência de utilização desta técnica em estudos relacionados à ciência vegetal, que abrange mais de 53% do total de artigos publicados entre 2000 e 2020, seguidos de aplicações em ciências ambientais e ecologia, agricultura, silvicultura, biodiversidade e conservação e bioquímica e biologia molecular (Figura 9).



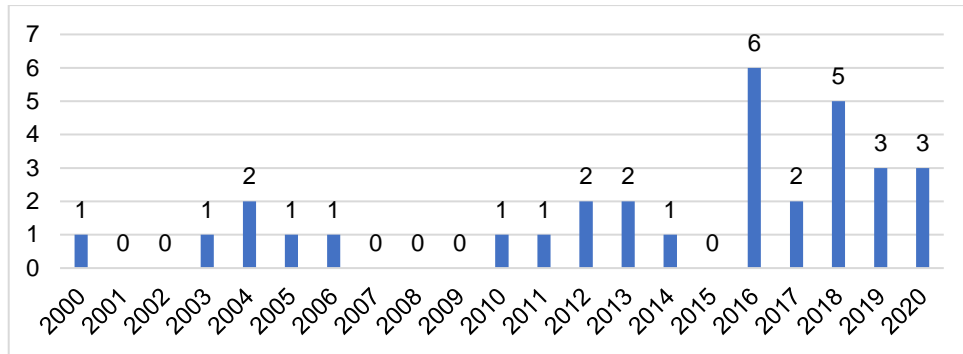


**Figura 9.** Número de artigos publicados, por área de pesquisa, que utilizaram da análise de sobrevivência para interpretação de dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

Diferentemente do que foi observado para análise tradicional, na análise de sobrevivência as duas principais áreas de pesquisa englobadas pelas publicações foram “ciência vegetal” e “ciências ambientais e ecologia”, de modo que apenas 3 artigos foram incluídos na área “agricultura”. Como já mencionado, os estudos envolvendo germinação de sementes com explícito viés agrônomo são pautados majoritariamente em modelos de ANOVA seguidos por testes estatísticos para comparação de médias de tratamentos (BEZERRA NETO et al., 2002), o que explica a baixa participação da área de pesquisa “agricultura” nas publicações relacionadas à análise de sobrevivência. Além disso, a designação de vários artigos da análise de sobrevivência incluídos em “ciência vegetal” acaba por compreender publicações que estudaram a germinação sob diversos focos, mas que convergem ao consenso de uma área abrangente. Nesse quesito, ressalta-se que essa composição é resultado da categoria que cada revista define como foco de suas publicações, estando o pesquisador sujeito a essa categoria pela base de dados que optou como fonte de dados, não cabendo pormenorizações do tópico.

Em relação à evolução das publicações que tratam da análise de sobrevivência aplicada aos estudos de germinação (Figura 10), nota-se clara inconstância no número de trabalhos publicados, sendo em 2000 a datação do primeiro trabalho, no qual avaliou-se a germinação e emergência de *Digitaria californica* sob diferentes teores de água (SMITH et al., 2000). A partir de 2016, observa-se maior número de publicações, contudo, com grande variação no ano seguinte e indícios de estabilidade até 2020, demonstrando que a técnica de fato é

pouco aplicada na ciência de sementes, ressaltando a relevância em expor as potencialidades do uso da análise de sobrevivência.



**Figura 10.** Frequência absoluta da evolução da produção científica referente à aplicação da análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

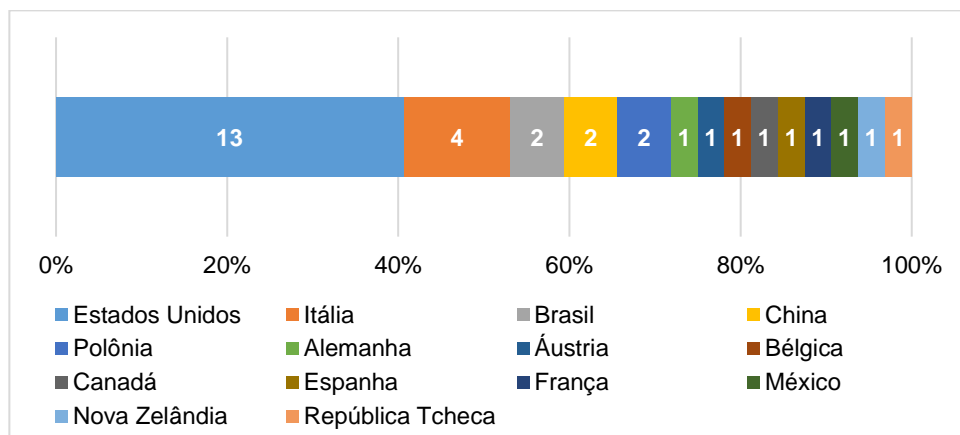
Desse modo, a inconstância na aplicação da análise de sobrevivência no decorrer dos anos, em um primeiro momento pode levar a interpretação de que o método estatístico de sobrevivência ainda é aplicado em vias de teste ou validação para ciência de sementes, no entanto, salienta-se que este vem sendo explorado desde 1982, quando Scott e Jones (1982) estudaram a influência de baixas temperaturas na germinação de espécies de tomateiro (*Lycopersicon* sp.), e que através dos dados qualitativos evidenciou-se a gama de aplicações e funcionalidades já estudadas.

Diante o exposto, tratando-se do fenômeno da germinação, há um extenso acervo e revisões bibliográficas que abordam métodos de análise estatística voltados ao seu estudo, incluindo a análise de sobrevivência (SCOTT et al., 1984; PYKE e THOMPSON, 1986; RANAL e DE SANTANA, 2006; ROMANO et al., 2018; ROMANO e STEVANATO, 2020), os quais expõe as vantagens e limitações de cada vertente para análise estatística dos dados. Contudo, muitos trabalhos ainda são direcionados a análise padrão da quantidade de sementes germinadas em porcentagem, desconsiderando o potencial de outras ferramentas e muitas vezes aplicando modelos inadequados para a situação/fenômeno estudado.

Destaca-se que a germinação é um dos processos da agricultura que está intrinsecamente associado ao tempo, aspecto que leva a necessidade da utilização de metodologias capazes de descrever melhor esse processo. Acrescenta-se, ainda, que

os dados de germinação estão sujeitos a diversas causas de censura, logo, a aplicação da ANOVA pode não ser ideal para análise estatística desses dados, uma vez que haverá uma subestimação das médias e variâncias pelo desconhecimento de alguns tempos de resposta (SCOTT et al., 1984). Nesse contexto, a análise de sobrevivência caracteriza-se como uma metodologia adequada para trabalhar com dados de germinação, uma vez que descreve o tempo até o evento como variável resposta e aloca com precisão dados censurados na análise.

Diferentemente do constatado para a análise tradicional, no qual o panorama brasileiro se mostrou fortemente presente na produção e participação científica, os países que mais contribuíram com estudos de germinação utilizando-se da análise de sobrevivência foram: Estados Unidos (40,63%), Itália (12,5%), Brasil, China e Polônia (6,25%), além de Alemanha, Áustria, Bélgica, Canadá, Espanha e França, com 1 publicação cada (Figura 11).

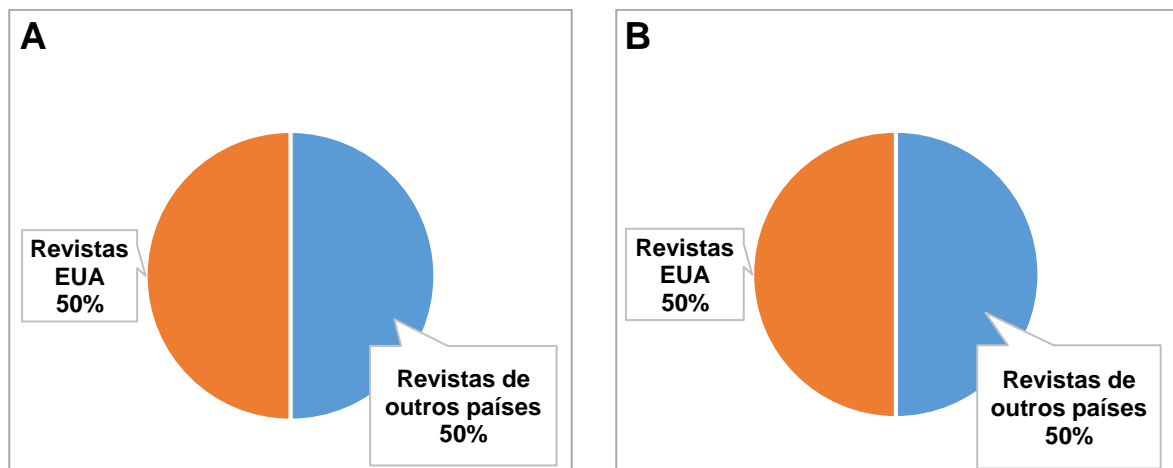


**Figura 11.** Representação dos países participantes na publicação de artigos que utilizaram a análise de sobrevivência para dados em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

Além disso, no que tange as revistas em que as publicações foram realizadas, têm-se 26 diferentes revistas, sendo apenas uma brasileira (Ciência Florestal) (Figura 12). Destas, 13 são revistas norte americanas (Figura 13A), as quais foram responsáveis por metade das publicações analisadas no período (Figura 13B), o que tende a demonstrar uma maior abertura ou familiaridade da produção científica no país para a análise de sobrevivência em estudos com sementes.



**Figura 12.** Principais revistas que publicaram artigos relacionados à análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020. Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).



**Figura 13.** Proporção de revistas responsáveis pela publicação dos 32 artigos com uso da análise de sobrevivência em dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 (A); Proporção de publicações vinculadas a revistas dos EUA ou de outros países do total de 32 artigos com uso da análise de variância (ANOVA) em dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020 (B). Fonte de Dados: *Web of Science* (2021).

### 5.3. Análise qualitativa: aplicações e tendências da análise de sobrevivência em estudos de germinação

Considerando a categorização dos artigos quanto à aplicação geral da análise de sobrevivência em estudos de fitotecnia de sementes (germinação, emergência e/ou vigor) e às temáticas das publicações quanto ao foco do estudo, observa-se maior ocorrência para estudos de germinação, independentemente da temática das publicações analisadas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Categorização dos 32 artigos que utilizaram da análise de sobrevivência para dados de germinação de sementes, no período de 2000 a 2020.

Categorias	Publicações Científicas				
	Estudos Fisiológicos	Ecologia Vegetal	Proposições Metodológicas	Dispersão de Sementes	Manejo de Plantas Daninhas
<b>Germinação</b>	Smith et al. (2000) Van Zandt e Mopper (2004) Berger et al. (2014) Genna e Pérez (2016) Pérez e Kane (2017) Messick e Hoagland (2018) Szymajda et al. (2019) Luo et al. (2019)	Winkler et al. (2005) Aerts et al. (2006) Reynolds et al. (2012) Solarik et al. (2016) Connolly et al. (2017) Rudak et al. (2018) Barak et al. (2018) Pillay et al. (2018) Oliveira et al. (2019)	Onofri et al. (2010) Onofri et al. (2011) Manso et al. (2013) Moltchanova et al. (2020) Romano e Stevanato (2020)	Tang et al. (2012) Harich et al. (2016) O-Flores et al. (2018)	Délye et al. (2013) Cristaudo et al. (2014)
<b>Emergência</b>	Smith et al. (2000) Van Zandt e Mopper (2004) Berger et al. (2014) Szymajda et al. (2019) Luo et al. (2019)	Forbis (2003) Forbis et al. (2004) Winkler et al. (2005) Aerts et al. (2006) Reynolds et al. (2012) Pillay et al. (2018)	Onofri et al. (2010) Onofri et al. (2011) Humplík et al. (2020)		Délye et al. (2013)
<b>Vigor</b>	Adegbola e Pérez (2016) Genna e Pérez (2016) Pérez e Kane (2017)				

Sendo assim, torna-se evidente que a análise de sobrevivência foi predominantemente direcionada ao estudo do fenômeno da germinação, com menores proporções aos estudos de emergência e vigor. Neste aspecto, um ponto importante a ser destacado remete ao fato de que a germinação como objeto de estudo pela análise de sobrevivência é definida como um fenômeno de particular ajuste, uma vez que sua resposta é caracterizada como uma variável binária, isto é, igual a 1 caso a semente germine ou 0 caso a semente não germine, possuindo estrutura conveniente aos métodos de sobrevivência, assim como exposto na definição metodológica de diversos trabalhos (ADEGBOLA e PÉREZ, 2016; SOLARIK

et al., 2016; GENNA e PÉREZ, 2016; PÉREZ e KANE, 2017; BARAK et al., 2018). Além disso, a análise de sobrevivência permite alocar dados censurados na estimação dos parâmetros, sendo este um aspecto característico dos dados de germinação, pois ao encerrar o período de análise normalmente existem sementes não germinadas, caracterizando censuras à direita (DÉLYE et al., 2013; BEGER et al., 2014; HARICH et al., 2016).

### 5.3.1. Estudos Fisiológicos

Partindo para o eixo temático voltado aos estudos fisiológicos, o ponto de partida referente a aplicação de técnicas da análise de sobrevivência em estudos de germinação condiz com o trabalho realizado por Smith et al. (2000), no qual avaliou-se o comportamento da germinação preditiva e, conseqüentemente, da emergência de duas populações de *Digitaria californica* submetidas a diferentes disponibilidades hídricas. Neste estudo, aplicou-se análise de probit (*Probit Analysis*) para compreender a quantidade necessária de um fator ambiental para alcançar determinado nível de resposta e a análise de sobrevivência como recurso para determinar o tempo necessário para atingir 50% de germinação/emergência. Sendo assim, em claro contexto de inovação metodológica para o período aqui considerado, ao adotarem tais análises os autores obtiveram determinações interessantes relativas ao processo germinativo da espécie, à exemplo da necessidade mínima de água no tempo para ocorrência de emergência significativa (mínimo de 50%), informação relevante na compreensão do comportamento fisiológico da espécie no que concerne a suas estratégias reprodutivas, obtida justamente por meio da análise de sobrevivência. Desse modo, evidencia-se a possibilidade de correlação da análise de sobrevivência com outras variáveis pertinentes ao fenômeno de germinação, a partir do desenvolvimento de modelos estatísticos.

Em estudo voltado à tolerância de mudas de *Iris hexagona* à salinidade (VAN ZANDT e MOPPER, 2004), a análise de sobrevivência foi aplicada para comparar diferenças no tempo de germinação de sementes submetidas a tratamentos sob três variáveis: índice salino, populações maternas e doadores de pólen. Com isso, foi determinado, entre outros aspectos, maior sucesso da germinação de *I. hexagona*, ou seja, maiores índices por tempo, para sementes derivadas de plantas maternas produzidas em ambientes de alta salinidade, o que remete ao conhecimento de uma

capacidade adaptativa fundamental para plantas normalmente sujeitas a este tipo de estresse ambiental. Além disso, no estudo é explicitado a alocação de dados censurados nas análises, sendo este um aspecto particularmente importante considerando as condições de salinidade envolvidas, as quais correspondem cenários adversos à germinação, atrasando ou inviabilizando determinado número de sementes.

Anos mais tarde, Adegbola e Pérez (2016) aplicaram a análise de sobrevivência para avaliação da dessecação e tolerância aos estresses de envelhecimento em sementes de *Gaillardia pulchella*. Os autores analisaram os dados obtidos por testes de envelhecimento acelerado com atmosfera saturada com sal através do método do produto-limite de Kaplan-Meier e compararam os tratamentos pela estatística de log-rank. Além disso, para avaliação dos padrões temporais de germinação, foram desenvolvidos modelos de riscos proporcionais de Cox. Em foco semelhante, Genna e Pérez (2016), ao investigarem a germinação de três classes de massa de sementes de *Rudbeckia mollis*, adotaram as mesmas técnicas de análise de sobrevivência para avaliar os padrões temporais da germinação mediante a simulação de temperaturas sazonais, temperaturas supra-ótimas e estresses de envelhecimento por saturação salina. Ademais, Pérez e Kane (2017), realizando ensaios com sementes de *Uniola paniculata* L., avaliaram a resposta da germinação de duas populações da espécie submetidas a tratamentos de dessecação e criopreservação, utilizando como metodologia de análise estatística ferramentas da análise de sobrevivência, tais como estimador de Kaplan-Meier, teste de log-rank e modelos de riscos proporcionais de Cox.

Em relação a mecanismos de repouso fisiológico, Berger et al. (2014) avaliaram o processo de germinação e emergência de plântulas provenientes de diásporos de *Lithraea molleoides* (Vell) Eng., com o objetivo de compreender a variabilidade de dormência na espécie, na qual utilizaram, entre outros métodos, a análise de sobrevivência para determinar a probabilidade de germinação e emergência dos indivíduos. Neste estudo, obteve-se constatações da capacidade de sobrevivência temporal dos diásporos de *L. molleoides* assim como a presença de dormência relativa na espécie. Assim, mediante essa análise, é possível realizar inferências sobre importantes aspectos da fisiologia vegetal, aqui exemplificados pela dormência de sementes, uma vez que a análise de sobrevivência permite o estudo do

processo germinativo de maneira contínua a longo do tempo, adequando-se ao comportamento característico de sementes com dormência.

Sendo assim, no que diz respeito aos estudos envolvendo dormência de sementes, Messick e Hoagland (2018) avaliaram diferentes tratamentos por escarificação a frio (sem escarificação, 30 dias e 60 dias) e tipos de solo (solo nativo e em casa de vegetação) em relação a produção de sementes e necessidades fisiológicas para germinação de *Penstemon oklahomensis*, na qual utilizou-se da análise de sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier e modelo de riscos proporcionais de Cox) para estimar a probabilidade de germinação das sementes de cada tratamento. Em perspectiva semelhante, Szymajda et al. (2019) desenvolveram ensaios experimentais pautados na metodologia estatística da análise de sobrevivência (modelo de riscos proporcionais de Cox, estimativas de Kaplan-Meier e teste de Peto-Peto) para avaliação do efeito de diferentes pré-tratamentos de sementes (combinações de tempos de estratificação com remoção mecânica do endocarpo, tegumento com endosperma e partes dos cotilédones) em três cultivares de pêssigo (*Prunus pérsica*) e três cultivares de damasco (*Prunus armeniaca*), objetivando aumentar o número de sementes germinadas dessas espécies de *Prunus*, reconhecidas pela dormência profunda. Os resultados demonstraram otimização do processo germinativo ao longo do tempo, possibilitando a obtenção de um maior número de mudas, as quais podem auxiliar nos programas de melhoramento para essas espécies.

Além disso, em aplicação geral da análise de sobrevivência como ferramenta para avaliar a germinação de sementes (estimador de Kaplan-Meier e teste log-rank), Luo et al. (2019) desenvolveram experimentos com intuito de comparar ensaios de germinação, no que tange ao número de unidades experimentais adotadas, isto é, nas dimensões do ensaio quando ao número de repetições e parcelas, avaliando o efeito da fitotoxicidade de tetracilina na germinação e alongamento da radícula em couve chinesa (*Brassica rapa* L.), alcançando boa adequação dos dados.

### **5.3.2. Ecologia Vegetal**

No eixo temático relativo a ecologia vegetal, em estudos com comunidades de plantas perenes de habitats alpinos (FORBIS, 2003; FORBIS et al., 2004), a aplicação de modelos de análise de sobrevivência vinculados a variáveis climáticas



para determinar taxas de sobrevivência dos organismos vegetais recém emergidos, possibilitou compreender o comportamento de diferentes comunidades de plantas quanto a característica sazonalidade desses ecossistemas e esta influência na mortalidade de mudas para cada estação. Dessa maneira, mesmo não sendo os objetivos primários dos trabalhos em questão, dado que estes estão direcionados a avaliação ecológica, evidencia-se que a aplicação da análise de sobrevivência viabiliza determinações apuradas relativas a aspectos indispensáveis ao desenvolvimento vegetal, à exemplo da sensibilidade do processo de desenvolvimento e estabelecimento de plantas à fatores como umidade, temperatura e distúrbios ambientais no habitat das espécies.

Winkler et al. (2005) utilizaram a análise de sobrevivência para estudar características de substratos florestais e da exposição à luminosidade na germinação e sobrevivência de bromélias epífitas em uma floresta mesófila. Sendo assim, avaliou-se diferenças no tempo de germinação e morte de plântulas mediante os fatores de estratos do dossel, inclinação dos ramos como substratos para as sementes, condições de luz, umidade e variações climáticas pelas estações, buscando compreender os cenários mais adequados à germinação das espécies estudadas e os fatores que influenciam o tamanho da população e as taxas de crescimento desse grupo de plantas. Em perspectiva análoga, Aerts et al. (2006) realizaram um estudo para avaliar a germinação, estabelecimento e sobrevivência de mudas de oliveira (*Olea europaea*) expostas a diferentes microhabitats fornecidos por espécies arbustivas pioneiras, no qual empregou-se a análise de sobrevivência para o tratamento dos dados. Nesse contexto, evidenciou-se que sob a ótica de estratégias de restauração florestal, a regeneração de *O. europaea* no ambiente tende a ser facilitada ao longo do tempo pela associação com determinadas espécies arbustivas que agem como provedoras de microhabitats mais adequados ao desenvolvimento da oliveira.

Além disso, Reynolds et al. (2012) realizaram ensaios voltados à avaliação de fatores bióticos (dispersão por animais granívoros) e abióticos (microhabitats, estações, umidade, temperatura) na dinâmica de germinação, emergência e sobrevivência de mudas de uma espécie perene de clima desértico, *Yucca brevifolia*, sob foco de melhor compreender o estabelecimento da planta perante ações que visem minimizar impactos ambientais e induzir processos regenerativos para perpetuação da espécie. Desse modo, os autores utilizaram-se da análise de

sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier e modelo de riscos proporcionais de Cox) como ferramenta para avaliação das diferenças na dinâmica de reprodução da espécie frente aos fatores que geram instabilidade ambiental.

Sendo assim, no que tange a fatores ambientais, Solarik et al. (2016), avaliando o impacto da adaptação local, temperatura e a influência da mudança de temperatura na germinação de sementes de *Acer saccharum* (bordo-açucareiro), demonstraram que o procedimento experimental pautado na estimação da germinação pelo método de Kaplan-Meier, além de adequado para quantificar a variável germinação perante diversos fatores de influência (temperaturas de incubação, acréscimo de temperatura e decréscimo de temperatura de germinação), foi capaz de avaliar consistentemente os impactos potenciais do aquecimento climático no sucesso reprodutivo da espécie.

Tratando-se de ecologia florestal, mudanças climáticas e manejo antrópico, Connolly et al. (2017) desenvolveram ensaios para examinar o efeito da aplicação de um fungicida de contato e de cinco tratamentos de estratificação a frio na germinação de cinco espécies arbóreas de grande ocorrência em florestas temperadas do hemisfério norte (*Abies balsamea*, *Acer saccharum*, *Picea glauca*, *Pinus resinosa* e *Pinus strobus*). Neste estudo, com a aplicação da análise de sobrevivência por meio de modelos de riscos proporcionais de Cox, concluiu-se, dentre outros pontos, que a taxa de germinação das sementes de certas espécies pode ser afetada pela ação do fungicida em períodos específicos de estratificação, reforçando a importância em analisar tais efeitos em escalas de longo prazo no vigor das mudas obtidas em projetos de conservação e restauração. Com objetivo similar em analisar efeitos de ações antrópicas na dinâmica florestal, Pillay et al. (2018) utilizaram modelos de sobrevivência de efeitos mistos para avaliar o impacto da exploração madeireira na germinação e sobrevivência de mudas de *Dryobalanops lanceolata*, espécie arbórea típica das florestas mistas de diptenocarpo.

No que se refere a ecologia da restauração, Barak et al. (2018) analisaram, através da adequação de um modelo de riscos proporcionais de Cox, o grau em que características da semente (massa, forma e proporção embrião:semente), aspectos filogenéticos e pré-tratamentos para dormência (estratificação a frio, ácido giberélico e controle) são preditivas no tempo de germinação de 32 espécies comumente utilizadas na restauração de pastagens no meio-oeste dos EUA.

Além disso, em estudo envolvendo aspectos de invasibilidade, Rudak et al. (2018) avaliaram se as características de uma população invasora de *Poa annua* na Antártica são restringidas por condições adversas polares e se há uma alta aptidão de germinação desta população em comparação com outras populações de diferentes zonas climáticas. Nesse contexto, os autores utilizaram a análise de sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier e teste de log-rank) para determinar tais características de germinação entre as populações estudadas, de tal modo que constatadas as diferenças na velocidade e capacidade de germinação, concluiu-se que as condições ambientais possuem papel restritivo no que se refere ao processo de perpetuação e desenvolvimento das sementes.

Oliveira et al. (2019) utilizaram a análise de sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier e teste log-rank) para avaliar a tolerância da germinação de 9 espécies arbóreas características do Pantanal e do Cerrado brasileiro mediante diferentes tratamentos de inundação, buscando compreender se essa característica está relacionada a distribuição das espécies pelo gradiente de inundação típico do bioma Pantanal e sua relação na dinâmica do nicho de regeneração. Nesse cenário, a análise de sobrevivência foi aplicada comparando os dados de germinação com a expectativa de encontrar pares de espécies do mesmo grupo de distribuição.

Com isso, tais estudos evidenciam que a melhor compreensão de fatores que são preditivos para germinação, emergência e estabelecimento de plantas, caracteriza uma vertente de fundamental importância ecológica para orientação e eficácia de práticas e pesquisas direcionadas ao entendimento, planejamento, conservação e restauração de ecossistemas.

### **5.3.3. Proposições Metodológicas**

Passando a abordar o tópico referente às proposições metodológicas, Onofri et al. (2010) desenvolveram a proposição da análise de sobrevivência como método de avaliação de dados de germinação e emergência para espécies de plantas daninhas, sendo este um referencial teórico de grande importância para aplicação da análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes. Neste estudo, os autores demonstram a flexibilidade e a adequação da análise de sobrevivência para os dados de germinação em comparação ao uso da ANOVA, uma vez que esses dados não são normalmente distribuídos, podem implicar em autocorrelação de erros

e caracteristicamente apresentam censuras. Desse modo, o artigo desenvolve tais argumentações através do tratamento de conjuntos de dados de quatro diferentes ensaios experimentais, os quais relacionam a variável resposta tempo de germinação, a fatores como tipos de solo, potenciais osmóticos, profundidades de plantio, regime de luz e tempo de armazenamento.

Nessa continuidade, a exposição do amplo potencial de utilização da análise de sobrevivência em estudos de germinação de sementes expostas por Onofri et al. (2010), levaram, um ano mais tarde, Onofri et al. (2011) a realizarem um trabalho propondo o uso de um modelo mais refinado (“*Cure model*” ou “Modelo de cura”) da análise de sobrevivência para estudos de germinação, dada a possibilidade de segmentar e analisar, ao longo do tempo, as características mais relevantes do processo germinativo, tais como velocidade, capacidade e uniformidade de germinação, representando um considerável acréscimo no tocante ao entendimento biológico da germinação e ao ajuste das metodologias aplicadas para análise desse fenômeno.

Além disso, Manso et al. (2013) propuseram um modelo de riscos proporcionais para germinação de sementes de espécies florestais arbóreas em condições naturais, correlacionando variáveis térmicas, de disponibilidade hídrica e de disseminação/povoamento de indivíduos. É válido ressaltar que os autores destacam a avaliação do processo germinativo pelo modelo proposto sem a necessidade de fortes suposições sobre a distribuição do tempo até o evento, sendo este um aspecto importante em termos de abrangência do modelo dada a constatação de elevada precisão e nenhum viés aparente em relação a análise dos dados de germinação.

Em artigo desenvolvido sob foco da proposição da abordagem bayesiana para análise de sobrevivência em método computacional, Humplík et al. (2020) desenvolveram ensaios, exclusivamente para obtenção de dados, com diferentes tratamentos de estresse salino e compostos estimuladores na emergência de mudas de milho (*Zea mays* L.), através dos quais foi constatado elevada solidez e confiabilidade do método proposto para análise de dados até o tempo de ocorrência do evento de interesse. Ademais, destaca-se que o método proposto por Humplík et al. (2020) apresenta ampla aplicabilidade para diversas variáveis pertinentes a investigação sobre sementes, tais como germinação, emergência, aparecimento da

primeira folha, floração, amadurecimento de frutos etc., sendo capaz de avaliar a incerteza intrínseca dos dados de tempo até o evento.

Moltchanova et al. (2020) realizaram a comparação de três diferentes abordagens estatísticas (regressão não linear de mínimos quadrados, análise de sobrevivência e métodos de análise Bayesianos) na germinação de sementes de duas espécies de trevo (*Trifolium subterraneum* L. e *Trifolium repens* L.) ao longo do tempo, sob foco de estimar modelos de tempo hidrotérmicos, os quais descrevem a germinação baseados em condições específicas de temperatura e potencial hídrico.

Por fim, Romano e Stevanato (2020) avaliaram a aplicação de três abordagens da análise de sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier, modelo de risco proporcional de Cox e modelo de tempo de falha acelerado) em dados de germinação de sementes de diferentes genótipos de *Beta vulgaris* L. submetidas a estresse osmótico. Nesse sentido, os resultados levaram a conclusão de que dentre as vantagens e desvantagens típicas de cada abordagem, a análise de sobrevivência compõe um conjunto de ferramentas importantes para dados de germinação, dada a alta confiabilidade e adequação, sendo a escolha do método realizada em virtude do propósito da análise.

#### **5.3.4. Dispersão de Sementes**

Outro segmento de interessante aplicação da análise de sobrevivência observado nas publicações científicas envolvendo estudos de germinação, diz respeito a dinâmica e estratégias de dispersão de sementes das espécies vegetais. Nesse sentido, estudando a influência da dispersão promovida por morcegos frugívoros na germinação de sementes de *Syzygium oblatum*, Tang et al. (2012) utilizaram da análise de sobrevivência como método estatístico para comparar três habitats de germinação que as sementes da espécie estudada podem ser direcionadas através da dispersão zoocórica promovida por esses mamíferos, sendo esses locais: sob a árvore-mãe, em clareiras da floresta ou em poleiros de alimentação dos animais. Com isso, objetivando determinar a viabilidade das sementes nas diferentes localidades, foram obtidas as probabilidades de germinação pelo estimador de Kaplan-Meier e realizada a comparação dos tratamentos por meio do teste log-rank.

Nessa lógica, estudando a dispersão de sementes por animais, Harich et al. (2016) empregaram técnicas de análise de sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier, teste de log-rank, Wilcoxon, Tarone-Ware, Pepe e Fleming-Harrington) na avaliação da taxa de germinação de sementes de *Dillenia indica* ingeridas por elefantes-asiáticos (*Elephans maximus*), como meio de compreensão da importância da frugivoria de grandes herbívoros na regeneração e perpetuação de espécies vegetais. Além disso, Ortega-Flores et al. (2018) aplicaram a análise de sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier e teste log-rank) em ensaios de germinação com aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius*), voltados a avaliar o efeito potencial da dispersão zoocórica desempenhada pela ave frugívora *Turdus rufopalliatus*. Sendo assim, os autores realizaram testes de germinação com sementes de quatro tratamentos distintos (frutos intactos, sementes descascadas, sementes escarificadas e sementes obtidas de amostras fecais das aves), nos quais apesar de não constatarem diferenças estatísticas nas probabilidades de germinação, observaram a existência de um padrão de menor probabilidade de germinação ao longo do tempo em sementes intactas, indicando que a espécie de ave frugívora pode atuar como agente dispersor de *S. terebinthifolius*, associação que pode se tornar um problema para conservação da biodiversidade nativa em países nos quais a aroeira-pimenteira é considerada uma espécie invasora.

### **5.3.5. Manejo de plantas daninhas**

Por fim, tratando-se do manejo de plantas daninhas, trabalhando com resistência induzida em plantas infestantes, Délye et al. (2013) utilizaram métodos de análise de sobrevivência (estimador de Kaplan-Meier e modelo de regressão de tempo de falha acelerado – AFT) para avaliar os efeitos pleiotrópicos de três alelos mutantes (Leu1781, Gly2078 e ASN 2041) que conferem resistência de plantas à herbicidas inibidores da ACCase na sobrevivência de sementes no solo. Desse modo, avaliou-se a germinação e emergência de plântulas de populações de *Alopecurus myosuroides* quanto ao efeito de cada alelo mutante. Nesse cenário, vale ressaltar que a abordagem metodológica adotada por Délye et al. (2013) deriva da proposição de Onofri et al. (2010), sendo importante salientar, no âmbito de ciências das plantas daninhas, que os dados de germinação trabalhados pela análise de sobrevivência

possibilitaram a demonstração de efeitos diretos da resistência a herbicidas sobre características importantes na dinâmica de desenvolvimento de *A. myosuroides* no ambiente produtivo, aspecto este que generalizado para o estudo de plantas infestantes caracteriza-se como fundamental para o ideal manejo agrícola.

Partindo para análises mais elaboradas, Cristaudo et al. (2014) aplicaram a análise paramétrica de sobrevivência de “Modelo de cura” ou “*Cure model*”, proposta por Onofri et al. (2011), para avaliar a resposta germinativa de *Amaranthus retroflexus* L. a dois fatores ambientais, sendo eles temperatura e luminosidade. Nesse contexto, denota-se a boa descrição e ajuste dos dados alcançada pelo modelo, no qual os autores ressaltam que a possibilidade de previsão da germinação e emergência relacionada às condições ambientais constitui uma importante ferramenta biológica para auxílio nas tomadas de decisão nos aspectos de manejo de plantas daninhas.

Para os trabalhos englobados nos eixos temáticos, é importante salientar que o emprego da análise de sobrevivência ocorre principalmente mediante a aplicação de modelos e adequações que permitem a correlação da variável resposta tempo com demais variáveis em estudo, ou seja, são trabalhos que majoritariamente são desenvolvidos sob uma combinação de abordagens não-paramétricas e paramétricas da análise de sobrevivência. Desse modo, observa-se o uso frequente do estimador de Kaplan-Meier para estimar a função de sobrevivência, assim como a aplicação de testes para comparação de curvas correspondentes a diferentes grupos, à exemplo do teste de log-rank, destacando a importância deste estimador como um recurso bastante útil na avaliação individualizada dos fatores de influência sobre o tempo de falha, isto é, o tempo até que ocorra o evento de interesse. Entretanto, quando os trabalhos buscam avaliar conjuntamente múltiplos fatores, utilizam técnicas mais sofisticadas de sobrevivência, como os modelos de riscos proporcionais de Cox, por exemplo.

## 6. CONCLUSÃO

- i) A perspectiva aqui apresentada pela análise quantitativa demonstra que, de fato, a ANOVA caracteriza o método estatístico mais empregado em estudos que concernem à ciência das sementes, apresentando valores explicitamente superiores de artigos para todas as variáveis analisadas, atributo este que deriva, além das competências do próprio modelo, da ortodoxia na escolha dos métodos estatísticos e do perfil de análise dos pesquisadores envolvidos nessa área de pesquisa;
- ii) Mesmo a presença da análise de sobrevivência em artigos sendo baixa para o período analisado no recorte aqui proposto, a avaliação qualitativa mostrou que a análise de sobrevivência é uma ferramenta estatística de notável estima e consideração em relação aos estudos em ciência de sementes, visto que a germinação é um processo intrinsecamente associado ao tempo e com dados sujeitos a censuras, o que justifica a multiplicidade de usos da análise de sobrevivência como uma opção para a análise de dados de germinação, emergência e/ou vigor.
- iii) Na análise de sobrevivência, a variável de interesse se refere ao tempo até a ocorrência do evento em estudo, por exemplo, o tempo até o evento em que as sementes germinam, enquanto, por outro lado, a aplicação da ANOVA em estudos de germinação muitas vezes está associada à porcentagem geral da germinação, após um dado tempo de germinação adequado;
- iv) As limitações resultantes da indexação de termos únicos para o levantamento dos dados, assim como o uso de uma única base de pesquisa, são aspectos que tornam o campo amostral da pesquisa restrito, sendo de grande importância a realização de trabalhos futuros com maior amplitude para avaliar com maior abrangência a análise de ferramentas estatísticas na produção científica relativa à ciência de sementes.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALEN, O. Nonparametric Inference for a Family of Counting Processes. **The Annals Of Statistics**, v. 6, n. 4, p. 701-726, 1 jul. 1978. Institute of Mathematical Statistics. <http://dx.doi.org/10.1214/aos/1176344247>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2958850>. Acesso em: 22 set. 2021.

ABRATES – Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes. **Journal of seed science completa 40 anos em 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.abrates.org.br/noticia/journal-of-seed-science-completa-40-anos-em-2019>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ADEGBOLA, Y. U.; PÉREZ, H. E. Extensive Desiccation and Aging Stress Tolerance Characterize *Gaillardia pulchella* (Asteraceae) Seeds. **Hortscience**, [Online], v. 51, n. 2, p. 159-163, fev. 2016. American Society for Horticultural Science. <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.51.2.159>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/51/2/article-p159.xml>. Acesso em: 30 mar. 2021.

AERTS, R.; NOVEMBER, E.; BORGHT, I.; BEHAILU, M.; HERMY, M.; MUYS, B. Effects of pioneer shrubs on the recruitment of the fleshy-fruited tree *Olea europaea* ssp. *cuspidata* in Afromontane savanna. **Applied Vegetation Science**, [Online], v. 9, n. 1, p. 117-126, 24 fev. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-109x.2006.tb00661.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1654-109X.2006.tb00661.x>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ALLISON, P. D. **Survival Analysis Using SAS®**: a practical guide. 2. ed. Cary, NC, USA: SAS Institute, 2010. 336 p.

BARAK, R. S.; LICHTENBERGER, T. M.; WELLMAN-HOUDE, A.; KRAMER, A. T.; LARKIN, D. J. Cracking the case: seed traits and phylogeny predict time to germination in prairie restoration species. **Ecology And Evolution**, [Online], v. 8, n. 11, p. 5551-5562, 8 mai. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.4083>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.4083>. Acesso em: 30 mar. 2021.

BERGER, A. P. A.; RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. Variabilidade na dormência relativa dos diásporos de *Lithraea molleoides* (Vell.) Eng. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 325-337, 27 jun. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509814570>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/cienciaflorestal/article/view/14570>. Acesso em: 30 mar. 2021.

BEZERRA NETO, F.; NUNES, G. H. S.; NEGREIROS, M. Z. de. Avaliação de procedimentos de comparações múltiplas em trabalhos publicados na revista Horticultura Brasileira de 1.983 a 2.000. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 5-9, mar. 2002. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362002000100001>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/hb/a/f76jMzW9pNmWwLfqmXMfcnx/?lang=pt>. Acesso em: 30 mar. 2021.

BOTELHO, F.; SILVA, C.; CRUZ, F. Epidemiologia explicada: análise de sobrevivência. **Acta Urológica**, Lisboa – PT, v. 26, n. 4, p. 33-38, 2009. Disponível em: <https://apurologia.pt/wp-content/uploads/2018/10/epidem-explic.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

CAÑAS-GUERRERO, I.; MAZARRÓN, F. R.; POU-MERINA, A.; CALLEJA-PERUCHO, C.; DÍAZ-RUBIO, G. Bibliometric analysis of research activity in the “Agronomy” category from the Web of Science, 1997–2011. **European Journal Of Agronomy**, v. 50, p. 19-28, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S116103011300066X?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mar. 2021.

CARDOSO, V. J. M. UMA ANÁLISE TERMOBIOLÓGICA DA GERMINAÇÃO. **Naturalia**, Rio Claro, v.32, p.35-52, 2009. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/naturalia/article/view/3421/2876>. Acesso em: 30 mar. 2021.

CARVALHO, F. J.; SANTANA, D. G. de; ARAÚJO, L. B. de. Why analyze germination experiments using Generalized Linear Models? **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 40, n. 3, p. 281-287, set. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v40n3185259>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/S6gfxBSqQ63D7mnKz66krtt/?lang=en>. Acesso em: 30 mar. 2021.

COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. **ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA APLICADA**. Blucher, 2006. 392 p.

CONNOLLY, B. M.; AGNEW, L. K.; ORROCK, J. L. Interactive Effects of Contact Fungicide and Cold Stratification on the Germination Rate for Five Dominant Temperate Tree Species. **Forest Science**, [Online], v. 63, n. 3, p. 303-309, 13 jun. 2017. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.5849/fs-2016-110r3>. Disponível em: <https://academic.oup.com/forestscience/article/63/3/303/4584079>. Acesso em: 30 mar. 2021.

CRISTAUDO, A.; GRESTA, F.; RESTUCCIA, A.; CATARA, S.; ONOFRI, A. Germinative response of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) to environmental conditions: is there a seasonal pattern? **Plant Biosystems - An International Journal Dealing With All Aspects Of Plant Biology**, [Online], v. 150, n. 3, p. 583-591, 16 dez. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2014.987845>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/11263504.2014.987845>. Acesso em: 30 mar. 2021.

DÉLYE, C.; MENCHARI, Y.; MICHEL, S.; CADET, É.; CORRE, V. Le. A new insight into arable weed adaptive evolution: mutations endowing herbicide resistance also affect germination dynamics and seedling emergence. **Annals Of Botany**, [Online], v. 111, n. 4, p. 681-691, 7 fev. 2013. Oxford University Press (OUP).

<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mct018>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/111/4/681/115893>. Acesso em: 30 mar. 2021.

DUCROCQ, V.; QUAAS, R.L.; POLLAK, E.J.; CASELLA, G. Length of Productive Life of Dairy Cows. 2. Variance Component Estimation and Sire Evaluation. **Journal Of Dairy Science**, v. 71, n. 11, p. 3071-3079, nov. 1988. American Dairy Science Association. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(88\)79907-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(88)79907-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030288799075>. Acesso em: 21 set. 2021.

FAPESP. Análise da produção científica a partir de indicadores de publicações em periódicos especializados. In: **Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo 2010**. São Paulo: FAPESP, v.1, cap. 4, 2011. Disponível em: <https://fapesp.br/indicadores/2010/volume1/cap4.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

FISHER, R. A. Two new properties of mathematical likelihood. **Proceedings Of The Royal Society Of London. Series A, Containing Papers Of A Mathematical And Physical Character**, v. 144, n. 852, p. 285-307, 29 mar. 1934. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.1934.0050>. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.1934.0050>. Acesso em: 30 mar. 2021.

FORBIS, T. A. Seedling demography in an alpine ecosystem. **American Journal Of Botany**, [Online], v. 90, n. 8, p. 1197-1206, 1 ago. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.90.8.1197>. Disponível em: <https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.3732/ajb.90.8.1197>. Acesso em: 30 mar. 2021.

FORBIS, T. A.; LARMORE, J.; ADDIS, E. Temporal patterns in seedling establishment on pocket gopher disturbances. **Oecologia**, [Online], v. 138, n. 1, p. 112-121, 1 jan. 2004. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-003-1404-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00442-003-1404-3>. Acesso em: 30 mar. 2021.

GENNA, N. G.; PÉREZ, H. E. Mass-based germination dynamics of *Rudbeckia mollis* (Asteraceae) seeds following thermal and ageing stress. **Seed Science Research**, [Online], v. 26, n. 3, p. 231-244, 15 ago. 2016. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0960258516000180>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/s0960258516000180>. Acesso em: 30 mar. 2021.

GIRARD, L. H.; CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. ERRO TIPO I E PODER DE CINCO TESTES DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DE MÉDIAS. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 23-36, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/270816681\\_Erro\\_tipo\\_I\\_e\\_poder\\_de\\_cinco\\_testes\\_de\\_comparacao\\_multipla\\_de\\_medias](https://www.researchgate.net/publication/270816681_Erro_tipo_I_e_poder_de_cinco_testes_de_comparacao_multipla_de_medias). Acesso em: 30 mar. 2021.

GUEDES, D. G. P. **Avaliação genética da eficiência reprodutiva em vacas pardosuínas por meio da análise de sobrevivência**. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Sistemas de Produção Sustentáveis no Semi-Árido; Caracterização, Conservação e Melhoramento Genético, Universidade Federal do Rio

Grande do Norte, Macaíba, RN, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/17188>. Acesso em: 21 set. 2021.

HARICH, F. K.; TREYDTE, A. C.; OGUTU, J. O.; ROBERTS, J. E.; SAVINI, C.; BAUER, J. M.; SAVINI, T. Seed dispersal potential of Asian elephants. **Acta Oecologica**, [Online], v. 77, p. 144-151, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2016.10.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1146609X16300650?via%3Di> hub. Acesso em: 30 mar. 2021.

HEERDT, G. N. J. Ter; VERWEIJ, G. L.; BEKKER, R. M.; BAKKER, J. P. An Improved Method for Seed-Bank Analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving. **Functional Ecology**, v. 10, n. 1, p. 144-151, fev. 1996. JSTOR. <http://dx.doi.org/10.2307/2390273>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2390273?origin=crossref>. Acesso em: 30 mar. 2021.

HUMPLÍK, J. F.; DOSTÁL, J.; UGENA, L.; SPÍCHAL, L.; DIEGO, N. de; VENCÁLEK, O.; FÜRST, T. Bayesian approach for analysis of time-to-event data in plant biology. **Plant Methods**, [Online], v. 16, n. 1, p. 1-7, 11 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13007-020-0554-1>. Disponível em: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-020-0554-1>. Acesso em: 30 mar. 2021.

KAPLAN, E. L.; MEIER, Paul. Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. **Journal Of The American Statistical Association**, v. 53, n. 282, p. 457-481, jun. 1958. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1958.10501452>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1958.10501452>. Acesso em: 22 set. 2021.

KLEINBAUM, D. G.; KLEIN, M. **Survival Analysis: a self-learning text**. 2. ed. Springer, 2005. 597 p.

LARROQUE, H.; DUCROCQ, V. Relationships between type and longevity in the Holstein breed. **Genetics Selection Evolution**, v. 33, n. 1, p. 39, 2001. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/1297-9686-33-1-39>. Disponível em: <https://gsejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1297-9686-33-1-39>. Acesso em: 20 set. 2021.

LAWLESS, J. F. **Statistical models and methods for lifetime data**. New York: John Wiley, 1982. 580 p.

LUO, Y.; LIANG, J.; ZENG, G.; LI, X.; CHEN, M.; JIANG, L.; XING, W.; TANG, N.; FANG, Y.; CHEN, X. Evaluation of tetracycline phytotoxicity by seed germination stage and radicle elongation stage tests: a comparison of two typical methods for analysis. **Environmental Pollution**, [Online], v. 251, p. 257-263, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026974911931293X?via%3Di> hub. Acesso em: 30 mar. 2021.

LYRA, T. M. de P.; GUIMARÃES, J. A. PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA EM COMPARAÇÃO COM O DESEMPENHO MUNDIAL EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS. **Planejamento de Políticas Públicas**, v. 1, n. 30, p. 141-162, 2007. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/issue/view/6>. Acesso em: 27 jan. 2021.

MANSO, R.; FORTIN, M.; CALAMA, R.; PARDOS, M. Modelling seed germination in forest tree species through survival analysis. The *Pinus pinea* L. case study. **Forest Ecology And Management**, [Online], v. 289, p. 515-524, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.028>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112712006251?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mar. 2021.

MANTEL, N. Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising in its consideration. **Cancer Chemotherapy Reports**, v. 50, p. 163-170, 1966.

MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 72, n. 4, p. 363-374, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/TCgVpMYmRWtGn6dQSSsQVbJ/?lang=en>. Acesso em: 30 mar. 2021.

MESSICK, J. A.; HOAGLAND, B. W. Seed Production and Germination of *Penstemon oklahomensis* Pennell (Plantaginaceae), a Southern Great Plains Endemic. **Castanea**, [Online], v. 83, n. 1, p. 91-103, 19 jan. 2018. *Castanea*. <http://dx.doi.org/10.2179/17-133>. Disponível em: <https://bioone.org/journals/castanea/volume-83/issue-1/17-133/Seed-Production-and-Germination-of-Penstemon-oklahomensis-Pennell-Plantaginaceae-a/10.2179/17-133.short>. Acesso em: 30 mar. 2021.

MOLTCHANOVA, E.; SHARIFIAMINA, S.; MOOT, D. J.; SHAYANFAR, A.; BLOOMBERG, M. Comparison of three different statistical approaches (non-linear least-squares regression, survival analysis and Bayesian inference) in their usefulness for estimating hydrothermal time models of seed germination. **Seed Science Research**, [Online], v. 30, n. 1, p. 64-72, mar. 2020. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0960258520000082>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/s0960258520000082>. Acesso em: 30 mar. 2021.

NELSON, W. Theory and Applications of Hazard Plotting for Censored Failure Data. **Technometrics**, v. 14, n. 4, p. 945-966, nov. 1972. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1972.10488991>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00401706.1972.10488991>. Acesso em: 22 set. 2021.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHSTEIN, C. J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. Boston: Richard Irwin, 1996. 1408 p.

OHLER, L. Escrevendo para publicação: questões éticas. **Texto & Contexto - Enfermagem**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 214-216, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-07072010000200001>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/tce/a/5pdSR9gmBPzKSdCFFFNddDF/?lang=pt#>. Acesso em: 23 set. 2021.

OLIVEIRA, P. C.; PAROLIN, P.; BORGHETTI, F. Can germination explain the distribution of tree species in a savanna wetland? **Austral Ecology**, [Online], v. 44, n. 8, p. 1373-1383, 3 set. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/aec.12811>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/aec.12811>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ONOFRI, A.; GRESTA, F.; TEI, F. A new method for the analysis of germination and emergence data of weed species. **Weed Research**, [Online], v. 50, n. 3, p. 187-198, 24 mar. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00776.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3180.2010.00776.x>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ONOFRI, A.; MESGARAN, M. B.; TEI, F.; COUSENS, R. D. The cure model: an improved way to describe seed germination?. **Weed Research**, [Online], v. 51, n. 5, p. 516-524, 20 jun. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00870.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3180.2011.00870.x>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ORTEGA-FLORES, M.; MAYA-ELIZARRARÁS, E.; SCHONDUBE, J. E. Effects of Rufous-Backed Robin (*Turdus rufopalliatus*) on Brazilian Pepper-Tree (*Schinus terebinthifolius*) Seed Germination and Dispersal in a Subtropical Peri-Urban Environment. **Tropical Conservation Science**, [Online], v. 11, p. 1-8, jan. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1940082918761022>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1940082918761022>. Acesso em: 30 mar. 2021.

PEREIRA, P. J.; VIVANCO, M. J. F. Viabilidade da aplicação de mecanismos de censura Tipo I e aleatória em dados entomológicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 438-442, abr. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542003000200026>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/fmcK5MwKNYQrvMMXJ59zXYZ/?lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2021.

PÉREZ, H. E.; KANE, M. E. Different plant provenance same seed tolerance to abiotic stress: implications for ex situ germplasm conservation of a widely distributed coastal dune grass (*Uniola paniculata* L.). **Plant Growth Regulation**, [Online], v. 82, n. 1, p. 123-137, 13 jan. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-016-0244-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10725-016-0244-1>. Acesso em: 30 mar. 2021.

PILLAY, R.; HUA, F.; LOISELLE, B. A.; BERNARD, H.; FLETCHER, R. J. Multiple stages of tree seedling recruitment are altered in tropical forests degraded by selective logging. **Ecology And Evolution**, [Online], v. 8, n. 16, p. 8231-8242, 22 jul. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.4352>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.4352>. Acesso em: 30 mar. 2021.

PYKE, D A.; THOMPSON, J. N. Statistical Analysis of Survival and Removal Rate Experiments. **Ecology**, [Online], v. 67, n. 1, p. 240-245, fev. 1986. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2307/1938523>. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1938523>. Acesso em: 30 mar. 2021.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. de. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**, [Online], v. 29, n. 1, p. 1-11, mar. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84042006000100002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/ZfHBJBGtpDcXzfkNwfmNM4G/?lang=en>. Acesso em: 30 mar. 2021.

REYNOLDS, M. B. J.; DEFALCO, L. A.; ESQUE, T. C. Short seed longevity, variable germination conditions, and infrequent establishment events provide a narrow window for *Yucca brevifolia* (Agavaceae) recruitment. **American Journal Of Botany**, [Online], v. 99, n. 10, p. 1647-1654, out. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.1200099>. Disponível em: <https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.3732/ajb.1200099>. Acesso em: 30 mar. 2021.

RIBEIRO-OLIVEIRA, J. P.; SANTANA, D. G. de; PEREIRA, V. J.; SANTOS, C. M. dos. Data transformation: an underestimated tool by inappropriate use. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [Online], v. 40, n. 1, p. 1-11, 1 mar. 2018. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35300>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/TTWw6DR9KnjqwG6K7vDNwFh/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ROMANO, A.; STEVANATO, P.; SORGONÀ, A.; CACCO, G.; ABENAVOLI, M. R. Dynamic Response of Key Germination Traits to NaCl Stress in Sugar Beet Seeds. **Sugar Tech**, [Online], v. 21, n. 4, p. 661-671, 25 ago. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12355-018-0660-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12355-018-0660-9>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ROMANO, A.; STEVANATO, P. Germination Data Analysis by Time-to-Event Approaches. **Plants-Basel**, [Online], v. 9, n. 5, p. 1-15, 12 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants9050617>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/5/617>. Acesso em: 30 mar. 2021.

RUDAK, A.; GALERA, H.; ZNÓJ, A.; CHWEDORZEWSKA, K. J.; WÓDKIEWICZ, M. Seed germination and invasion success of *Poa annua* L. in Antarctica. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, v. 87, n. 4, p. 1-11, 31 dez. 2018. Polish Botanical Society. <http://dx.doi.org/10.5586/asbp.3606>. Disponível em: <https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/asbp/article/view/asbp.3606>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SCOTT, S. J.; JONES, R. A. Low temperature seed germination of *Lycopersicon* species evaluated by survival analysis. **Euphytica**, [Online], v. 31, n. 3, p. 869-883, dez. 1982. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00039227>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fbf00039227>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SCOTT, S. J.; JONES, R. A.; WILLIAMS, W. A. Review of Data Analysis Methods for Seed Germination?. **Crop Science**, [Online], v. 24, n. 6, p. 1192-1199, nov. 1984. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183x002400060043x>. Disponível em:

<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SILESHI, G. W. A critique of current trends in the statistical analysis of seed germination and viability data. **Seed Science Research**, v. 22, n. 3, p. 145-159, 6 mar. 2012. Cambridge University Press (CUP).

<http://dx.doi.org/10.1017/s0960258512000025>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/abs/critique-of-current-trends-in-the-statistical-analysis-of-seed-germination-and-viability-data/0AA065450391D6FC8516A434E2EB06D4>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SMITH, S. E.; RILEY, E.; TISS, J. L.; FENDENHEIM, D. M. Geographical variation in predictive seedling emergence in a perennial desert grass. **Journal Of Ecology**, [Online], v. 88, n. 1, p. 139-149, fev. 2000. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00436.x>. Disponível em:

<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2745.2000.00436.x>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**: the principles and practice of statistics in biological research. New York: W.H. Freeman, 1995. 776p.

SOLARIK, K. A.; GRAVEL, D.; AMEZTEGUI, A.; BERGERON, Y.; MESSIER, C. Assessing tree germination resilience to global warming: a manipulative experiment using sugar maple (*Acer saccharum*). **Seed Science Research**, [Online], v. 26, n. 2, p. 153-164, 4 mar. 2016. Cambridge University Press (CUP).

<http://dx.doi.org/10.1017/s0960258516000040>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/s0960258516000040>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SOUSA, J. C. R. de. **Análise de sobrevivência não paramétrica aplicada à pós-colheita**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010. Disponível em: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=204159](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=204159). Acesso em: 22 set. 2021.

STEL, V. S.; DEKKER, F. W.; TRIPEPI, G.; ZOCCALI, C.; JAGER, K. J. Survival Analysis I: the kaplan-meier method. **Nephron Clinical Practice**, v. 119, n. 1, p. 83-88, 2011. S. Karger AG. <http://dx.doi.org/10.1159/000324758>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21677442/>. Acesso em: 22 set. 2021.

SZKLO, M.; NIETO, F. J., 2000. **Epidemiology**: Beyond the Basics. Annapolis: Aspen Publishers.

SZYMAJDA, M.; SURAWICZ, E.; MACIOROWSKI, R.; PRUSKI, K. Stratification period combined with mechanical treatments increase *Prunus persica* and *Prunus armeniaca* seed germination. **Dendrobiology**, [Online], v. 81, p. 47-57, 16 jul. 2019.



Bogucki Wydawnictwo Naukowe. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.081.006>. Disponível em: <http://www.idpan.poznan.pl/content-dendrobiology/v81/2176-81-47-57>. Acesso em: 30 mar. 2021.

TANG, Z-H.; XU, J-L.; FLANDERS, J.; DING, X-M.; MA, X-F.; SHENG, L-X.; CAO, M. Seed dispersal of *Syzygium oblatum* (Myrtaceae) by two species of fruit bat (*Cynopterus sphinx* and *Rousettus leschenaulti*) in South-West China. **Journal Of Tropical Ecology**, [Online], v. 28, n. 3, p. 255-261, 12 abr. 2012. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0266467412000156>. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/s0266467412000156>. Acesso em: 30 mar. 2021.

VAN ZANDT, P. A.; MOPPER, S. The effects of maternal salinity and seed environment on germination and growth in *Iris hexagona*. **Evolutionary Ecology Research**, v. 6, p. 813–832. 2004. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.598.2490&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

VELHO, S. D. F. **Modelos de sobrevivência para estudo do tempo até à ocorrência de excesso de peso em indivíduos adultos submetidos a Transplante Alogénico de Células Progenitoras Hematopoiéticas**. 2015. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Bioestatística, Universidade de Lisboa, Lisboa/PT, 2015. Disponível em: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/18004/1/ulfc113594\\_tm\\_S%c3%b3nia\\_Velho.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/18004/1/ulfc113594_tm_S%c3%b3nia_Velho.pdf). Acesso em: 22 set. 2021.

WIENKE, A. **Frailty models in survival analysis**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2011. 298 p. (Biostatistics Series).

WINKLER, M.; HÜLBER, K.; HIETZ, P. Effect of Canopy Position on Germination and Seedling Survival of Epiphytic Bromeliads in a Mexican Humid Montane Forest. **Annals Of Botany**, [Online], v. 95, n. 6, p. 1039-1047, 14 mar. 2005. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mci115>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/95/6/1039/189707>. Acesso em: 30 mar. 2021.