



**ANÁLISE BAYESIANA DO MODELO DE  
ELLIS E ROBERTS PARA ESTIMAR A  
VIABILIDADE DE SEMENTES DE CAFÉ  
ARMAZENADAS**

**JOSIANE MAGALHÃES TEIXEIRA**

**2010**

**JOSIANE MAGALHÃES TEIXEIRA**

**ANÁLISE BAYESIANA DO MODELO DE ELLIS E ROBERTS PARA  
ESTIMAR A VIABILIDADE DE SEMENTES DE CAFÉ  
ARMAZENADAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientadora

Profa. Dra. Thelma Sáfydi

LAVRAS  
NAS GERAIS - BRASIL  
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Teixeira, Josiane Magalhães.

Análise Bayesiana do modelo de Ellis e Roberts para estimar a  
viabilidade de sementes de café armazenadas / Josiane Magalhães  
Teixeira. – Lavras : UFLA, 2010.

80 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Thelma Sáfyadi.

Bibliografia.

1. Longevidade de sementes. 2. Estimacão. 3. Metodologia  
bayesiana. 4. Umidade. 5. Temperatura de armazenamento. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 519.542

**JOSIANE MAGALHÃES TEIXEIRA**

**ANÁLISE BAYESIANA DO MODELO DE ELLIS E ROBERTS PARA  
ESTIMAR A VIABILIDADE DE SEMENTES DE CAFÉ  
ARMAZENADAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 31 de Março de 2010

Profa. Dra. Maria Laene Moreira de Carvalho

UFLA

Profa. Dra. Denise Cunha F. S. Dias

UFV

Prof. Dr. Fabyano Fonseca e Silva

UFV

Prof. Dr. Joel Augusto Muniz

UFLA

  
Profª. Dra. Thelma Sáfadi  
UFLA  
(Orientadora)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

*A Deus, por tudo o que me tem permitido  
viver até aqui!*

*A meus pais, Vanderley e Leuda  
A meu irmão Douglas e a Heli,*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido viver até aqui. Pela saúde, força e coragem necessárias para a realização de mais este trabalho.

A meus pais, por sempre terem sido meu apoio nos momentos difíceis, pelo amor e paciência e, principalmente, pelo exemplo de vida e de luta, o qual sempre levarei comigo. A meu irmão Douglas, pelo incentivo e amizade.

À A Heli Augusto, por ter feito destes tempos, tempos mais tranquilos. Por ter me apoiado e estado ao meu lado quando mais precisei. Pelo amor, pela compreensão, amizade e paciência.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Exatas, pela oportunidade de ter concluído meu Doutorado.

À Profa. Thelma Sáfy, pela orientação, dedicação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Profa. Maria Laene Moreira Carvalho, pelas valiosas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho e à obtenção dos dados aqui utilizados.

Às amigas construídas nos anos de doutorado, as quais sempre levarei comigo: Graziela, Paty, Natascha, Verônica, Patrícia Paranaíba, Eustáquio, Elias e inúmeros outros. O meu muito obrigada por terem feito parte desta fase.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, por ser bem mais que meu local de trabalho.

A meus amigos de Diamantina, pelo apoio e certeza de que não estarei sozinha quando sentir saudades de Lavras.

A meus amigos de Lavras, por, mesmo longe, sempre torcerem para que tudo desse certo e pela compreensão pelos momentos de ausência e distanciamento.

A todos, familiares, colegas e amigos que fizeram, de alguma forma, parte de todo este processo.

**Meu muito obrigada!**

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Longevidade da semente de café.....	4
2.2 Viabilidade e deterioração das sementes.....	5
2.3 Armazenamento das sementes de café.....	7
2.4 Avaliação da qualidade das sementes.....	10
2.4.1 Teste de Tetrazólio.....	11
2.5 Equações para previsão da longevidade das sementes.....	12
2.6 Inferência Bayesiana.....	15
2.6.1 Distribuições <i>a priori</i> .....	15
2.6.2 Teorema de Bayes.....	16
2.6.3 Distribuição <i>a posteriori</i> e estimação bayesiana.....	17
2.6.4 Intervalos de credibilidade e HPD.....	18

2.7 Métodos de Simulação.....	19
2.7.1 Métodos de Monte Carlo via cadeias de Markov (Algoritmos MCMC).....	19
2.7.2 Algoritmo de Metropolis – Hastings.....	20
2.8 Verificação de Convergência.....	22
2.8.1 Critério de Geweke.....	23
2.8.2 Critério de Gelman e Rubin.....	24
2.8.3 Critério de Heidelbergr e Welch.....	25
2.8.4 Critério de Raftery – Lewis.....	26
2.9 Comparação dos modelos.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 O experimento.....	28
3.2 Avaliação da qualidade das sementes.....	29
3.2.1 Teste de tetrazólio.....	30
3.2.2 Teste de Germinação.....	30
3.3 Critérios para verificação da convergência.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Obtenção da distribuição <i>a posteriori</i> conjunta para os parâmetros do modelo de Ellis e Roberts (1980), com Erros independentes.....	32
4.2 Distribuições condicionais completas <i>a posteriori</i> para o modelo de Ellis e Roberts (1980).....	35
4.3 Implementação dos algoritmos MCMC.....	38

4.4 Análise dos dados.....	38
4.4.1 Monitoramento da convergência.....	39
4.4.2 Intervalos HPD e estimativas da média <i>a posteriori</i> .....	45
4.4.3 Comparação dos modelos.....	48
4.4.4 Simulação da longevidade das sementes armazenadas.....	50
5 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS.....	61

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
TABELA 1 Interpretação do fator de Bayes (Jeffreys, 1961).....	27
TABELA 2 Descrição das condições de armazenamento e especificação dos modelos a serem considerados na análise.....	29
TABELA 3 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), <i>valor-p</i> do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro $K_e$ nos 6 modelos considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).....	40
TABELA 4 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), <i>valor-p</i> do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro $C_w$ nos 6 modelos considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).....	40
TABELA 5 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), <i>valor-p</i> do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro $C_H$ nos 6 modelos considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).....	41
TABELA 6 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), <i>valor-p</i> do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1992) para o parâmetro $C_Q$ nos 6 modelos considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).....	41
TABELA 7 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD)	42

(1992), *valor-p* do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $\tau$  nos 6 modelos considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).....

TABELA 8 Média e desvio padrão <i>a posteriori</i> para os parâmetros dos seis modelos considerados.....	45
TABELA 9 Limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos HPD 95% para os parâmetros dos seis modelos considerados.....	47
TABELA 10 Fator de Bayes (FB) das comparações consideradas.....	49

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
FIGURA 1 Traço das cadeias geradas pelo método MCMC para os parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ (teste de tetrazólio).....	43
FIGURA 2 Densidades dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ (teste de tetrazólio).....	44
FIGURA 3 Viabilidades simuladas (G) para 52 semanas considerando as 6 condições de armazenamento.....	51
FIGURA 4 Viabilidades simuladas (Tz) para 52 semanas considerando as 6 condições de armazenamento.....	52

## RESUMO

TEIXEIRA, Josiane Magalhães. **Análise bayesiana do modelo de Ellis e Roberts para estimar a viabilidade de sementes de café armazenadas.** 2010. 80 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. \*

Diversos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos e amplamente estudados no intuito de relacionar as condições de armazenamento com o período de viabilidade das sementes, de modo a permitir a previsão de sua sobrevivência, bem como sua sensibilidade ao grau de umidade e temperatura de armazenamento. Um desses modelos é o de Ellis & Roberts (1980), objeto de estudo deste trabalho. Para este modelo utilizou-se a metodologia bayesiana para a obtenção de estimativas de seus parâmetros, a construção de intervalos de credibilidade a 95% e a aplicação do Fator de Bayes para a comparação de modelos. Estes foram obtidos por meio de combinações de umidade da semente (13% e 30%), temperatura de armazenamento (10° e 25°C) e tratamento prévio com fungicida. De posse das estimativas das médias *a posteriori*, foram estimados os percentuais de viabilidade da semente de café por um período de 52 semanas e analisado o comportamento da viabilidade no decorrer deste tempo. Os resultados apontaram que as estimativas encontradas para os parâmetros do modelo de Ellis & Roberts (1980) estão dentro do intervalo de valores descritos na literatura para cada um deles. Em relação ao armazenamento de sementes de café úmidas (30% de umidade) em câmara fria, ele se mostrou mais eficiente na manutenção da viabilidade da semente quando estas não foram previamente tratadas com fungicida. Este armazenamento refrigerado de sementes úmidas é mais eficiente que o armazenamento nas mesmas condições de sementes secas, tratadas ou não com fungicida. Em relação à abordagem bayesiana, esta apresentou resultados satisfatórios, visto que os intervalos de credibilidade construídos não contêm o valor 0 e as conclusões obtidas por meio do fator de Bayes, na escolha de condições mais adequadas de armazenamento, estão em conformidade com o que é encontrado em situações práticas.

---

\*Comitê Orientador: Profa. Dra. Thelma Sáfydi – UFLA (Orientadora) e Profa. Dra. Maria Laene Moreira de Carvalho – UFLA.

## ABSTRACT

TEIXEIRA, Josiane Magalhães. **Bayesian analysis of the model by Ellis and Roberts to estimate the viability of coffee seeds stored.** 2010. 80 p. Thesis (Phd in Statistics and Agricultural Experimentation) – Federal University of Lavras, Lavras.\*

Several mathematical models have been developed and widely studied in order to relate the storage conditions with the period of seed viability, to allow the prediction of survival, as well as its sensitivity to moisture content and storage temperature. One such model is the Ellis & Roberts (1980), the object of this paper. For this model we used the Bayesian approach to obtain estimates of its parameters, construction of credibility intervals at 95% and application of Bayes factor for model comparison. These were obtained through combinations of seed moisture (13 and 30%), storage temperature (10 and 25 ° C) and treatment with fungicide. Armed with estimates of *a posteriori* means were estimated percentage of viability of coffee seed for a period of 52 weeks and analyzed the behavior of viability during this time. Results indicated that the estimates found for the parameters of the model of Ellis & Roberts (1980) are within the range of values reported in the literature for each of these. Regarding storage of coffee seeds moist (30% moisture) in cold, this is more efficient in maintaining the viability of the seed when they have not previously been treated with fungicide. And this cold storage of wet seed, it is more efficient than storing the same conditions of dried, treated or untreated with fungicide. Regarding the Bayesian approach, it presented satisfactory results because the credibility intervals constructed does not contain the value 0 and the conclusions reached through the Bayes factor in choosing the most appropriate storage conditions are in accordance with what is found in situations practices.

---

\*Guidance Committe: Profª. Dra. Thelma Sáfadi – UFLA (Master Professor) e Profª. Dra. Maria Laene Moreira Carvalho.

viabilidade das sementes, de modo a permitir a previsão de sua sobrevivência, bem como a sua sensibilidade à umidade e à temperatura (Roberts, 1973; Ellis & Roberts, 1980, 1981; Ellis et al., 1990; Andreoli et al., 1993).

Tais modelos têm sido amplamente estudados, principalmente no que se refere à estimação das constantes utilizadas na predição da viabilidade para espécies específicas. Para o modelo de Ellis & Roberts (1980), objeto de estudo deste trabalho, as constantes  $K_e$ ,  $C_w$ ,  $C_H$  e  $C_Q$  já foram determinadas, por diferentes pesquisadores, para sementes de mais de 77 cultivares (mais de 48 espécies) (Hong et al., 1996). Para a semente de café, pouco se sabe a respeito dos valores destas constantes e existe, portanto, a necessidade de estimá-las para estabelecer critérios a respeito das condições mais adequadas de armazenamento que permitam manter a viabilidade das sementes por um período maior de tempo.

Dentre os métodos utilizados por pesquisadores no intuito de estimar os parâmetros de um determinado modelo está o método bayesiano. Tal método consiste em utilizar informações referentes aos dados amostrais do experimento (função de verossimilhança) e do conhecimento prévio do pesquisador a respeito dos parâmetros do modelo (distribuição *a priori*) para o cálculo da densidade *a posteriori* dos parâmetros. Observações e parâmetros de um modelo são vistos como variáveis aleatórias, diferentemente do que ocorre na estatística clássica.

## 1.1 Objetivos

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de apresentar um procedimento bayesiano para a estimação das constantes da equação de viabilidade proposta por Ellis & Roberts (1980), especificamente para a semente de café, considerando-se diferentes condições de temperatura, umidade e tratamento dessas sementes com fungicida.

## 1 INTRODUÇÃO

As divisas geradas com a exportação e a mão-de-obra empregada nas diferentes etapas de produção tornam o café uma cultura de indiscutível importância sócio-econômica para o país.

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2010), a primeira estimativa de produção total de café, para a safra 2010, indica que o país deverá colher entre 45,89 e 48,66 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, o que representa um acréscimo entre 16,3% e 23,3%, quando comparada com a produção de 39,47 milhões de sacas obtida na temporada anterior. Para o estado de Minas Gerais, os levantamentos iniciais apontam para uma produção média de 23.964.549 sacas, na safra 2010, com variação percentual de 3,18%. Tal estimativa sinaliza um crescimento da produção cafeeira em 20,5% e 1,6%, quando comparada com as safras 2009 e 2008, respectivamente.

Como a implantação da cultura do cafeeiro é feita por mudas, em razão da facilidade de plantio e da redução do custo de formação do cafezal, torna-se necessária a utilização de sementes de alta qualidade fisiológica e, portanto, com elevado poder germinativo (Araújo et al., 2008). Segundo Vieira et al. (2007), a dificuldade com relação à germinação de sementes de cafeeiro armazenadas tem sido uma das maiores preocupações dos produtores de sementes, uma vez que estas não conservam seu poder germinativo em valores satisfatórios por períodos superiores a seis meses após a colheita. Entretanto, a possibilidade de obtenção de sementes de alta qualidade em qualquer época do ano, por meio do armazenamento destas em diferentes condições, oferece ao produtor a oportunidade de programar a instalação de sua lavoura na melhor época para a sua região. Em razão disso, diversos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para relacionar as condições de armazenamento com o período de

Além disso, com base nas estimativas obtidas, objetiva-se também estimar os percentuais de viabilidade em diferentes combinações de condições de armazenamento, para que se possa ter um melhor entendimento a respeito do tempo durante o qual a semente poderá ser armazenada até que se decida pela sua utilização ou venda.

É de interesse também a comparação entre essas combinações com o uso do fator de Bayes (FB), para verificar em quais delas é preferível manter a semente de café armazenada.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O fruto de cafeeiro é uma drupla elipsóide, normalmente contendo dois locus e duas sementes. O endocarpo do fruto, conhecido como pergaminho, quando maduro, é coriáceo e envolve cada semente. Estas, por sua vez, são plano-convexas, elípticas ou ovais, sulcadas longitudinalmente na face plana e constituem-se de embrião, endosperma e uma película prateada ou espermoderma (Rena & Maestri, 1986).

Em relação a capacidade de armazenamento, eram tidas como de vida curta, ao se considerar que perdiam rapidamente sua viabilidade (Bendaña, 1962), o que se torna um problema em razão da sua importância econômica. Atualmente, são classificadas como intermediárias.

### 2.1 Longevidade da semente de café

O termo longevidade está relacionado com o período de tempo durante o qual a semente se mantém viável, sendo característica de cada espécie. Enquanto algumas mantêm sua viabilidade por longo período de tempo, outras se deterioram rapidamente (Carneiro & Aguiar, 1993).

Para Roberts (1973), a longevidade das sementes está relacionada diretamente à tolerância à dessecação das mesmas. Com base nisso, elas foram classificadas em dois grupos: as sementes ortodoxas, que se mantêm com vida média de 3 a mais de 15 anos, quando armazenadas com grau de umidade (abaixo de 5%) e, sob temperatura baixas, e as sementes recalcitrantes, de vida curta, que, ao contrário, conservam-se melhor com grau de umidade e temperatura de armazenamento mais elevados. Inicialmente, as sementes de café foram classificadas como recalcitrantes.

Mais tarde, Roberts et al. (1984) verificaram que estas não eram verdadeiramente recalcitrantes e poderiam ser ortodoxas. Foi então observado

que estas sementes apresentavam características tanto do comportamento ortodoxo, no qual está incluída a maioria das espécies, como de recalcitrantes, sedo, então, sugerida sua inclusão numa nova categoria chamada de intermediária. As sementes classificadas como intermediárias são relativamente tolerantes à dessecação na fase pós-colheita, mas não resistirão à remoção de água para níveis tão baixos quanto as sementes ortodoxas, podendo, ainda, apresentar sensibilidade ao frio (Ellis et al., 1990).

Entre as duas espécies mais cultivadas do gênero *Coffea* são encontradas diferenças em relação à tolerância à dessecação. Hong & Ellis (1995) constataram essas variações quanto ao comportamento durante o armazenamento. Assim, o principal impedimento para o armazenamento de sementes de comportamento intermediário é o conhecimento limitado de como elas podem ser secas e a interação entre temperatura de secagem e conteúdo de umidade na manutenção de sua viabilidade e diminuição da velocidade do processo de deterioração da semente (Eira et al., 1999).

## **2.2 Viabilidade e deterioração das sementes**

As sementes são estruturas capazes de sobreviver e manter sua viabilidade até que as condições do clima e do local sejam favoráveis para o início de uma nova geração. No entanto, não conseguem preservar suas funções vitais indefinidamente. A deterioração é um processo determinado por uma série de alterações fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas, as quais se iniciam a partir da maturidade fisiológica das sementes, em processo progressivo, determinando a queda da qualidade fisiológica destas e culminando com sua morte (Marcos Filho, 2005).

Esta qualidade fisiológica, tratada agora simplesmente por qualidade, pode ser entendida como a capacidade da semente de desempenhar funções vitais, caracterizada pelo seu poder germinativo, seu vigor e longevidade.

Diversos fatores interferem na qualidade da semente e alguns deles propiciam a sua deterioração, contribuindo diretamente para a perda de sua qualidade e sua possível inviabilização (Popiningis, 1985).

Segundo Delouche (1963), a deterioração é inevitável, em razão do fato de os organismos vivos envelhecerem e, conseqüentemente, morrerem. Assim, após a maturidade, o potencial fisiológico das sementes pode permanecer relativamente inalterado durante certo período ou decrescer rapidamente, mas sua deterioração será sempre contínua e irreversível, não sendo possível recuperar a qualidade individual inicial. Ainda segundo este mesmo autor, as características da espécie, como longevidade natural (já que algumas espécies possuem uma maior longevidade), composição química e as diferenças genéticas, aliadas à qualidade inicial do lote, grau de umidade das sementes, condições ambientais ou de armazenamento, podem tanto facilitar como retardar a redução da velocidade e intensidade de deterioração. Dessa forma, sendo um processo inevitável, são necessárias providências para que seu início seja retardado ou que, pelo menos, se consiga impedir a redução rápida e acentuada da viabilidade e do vigor, até o momento da futura instalação da lavoura.

O período de conservação do potencial fisiológico das sementes depende, em grande parte, do seu grau de umidade e das condições do ambiente de armazenamento, sendo o grau de umidade a característica mais estreitamente associada à deterioração por estar relacionada com o metabolismo das sementes. A temperatura afeta, também, de forma direta, a velocidade das reações químicas, acelerando a respiração e o desenvolvimento de microrganismos. No mais, em estudos sobre os efeitos do ambiente sobre a intensidade de deterioração das sementes não se pode deixar de analisar conjuntamente os fatores temperatura e umidade, tendo essa combinação, inclusive, regras de manejo estabelecidas (Marcos Filho, 2005).

Segundo Ellis & Roberts (1980), a deterioração de sementes durante o armazenamento ocorre em consequência da combinação de três fatores principais: período de armazenamento, temperatura do ambiente e grau de umidade das sementes. A qualidade das sementes não é melhorada pelo armazenamento, mas a semente pode ser mantida com mínima deterioração, por meio de armazenamento adequado, obtendo-se, assim, máximos vigor e poder germinativo, durante o maior período de tempo possível (Mauri, 2004).

### **2.3 Armazenamento das sementes de café**

A manutenção da qualidade das sementes de cafeeiro, durante o armazenamento, constitui uma das maiores dificuldades encontradas pelos produtores de mudas. Isso decorre do fato de essas sementes, quando mantidas sob condições ambientais, perderem sua viabilidade rapidamente, o que dificulta sua utilização por um prazo mais prolongado. Dessa maneira, a semeadura fica limitada a um curto espaço de tempo pós-colheita, concentrando a obtenção de mudas em épocas nem sempre mais adequadas para o plantio (Miranda et al., 1993 e Araujo et al., 2008).

Várias tentativas têm sido realizadas no intuito de encontrar condições que permitam prolongar a viabilidade das sementes de café durante o armazenamento. No entanto, os resultados nem sempre são concordantes.

Em estudo realizado por Delouche et al. (1976), a umidade relativa e a temperatura no local de armazenamento foram os fatores mais importantes que afetaram a manutenção da qualidade das sementes, durante o período de armazenamento. Trabalhando com sementes de *Coffea arabica*, *Coffea canephora* e *Coffea stenophyela*, Couturon (1980) observou que as sementes com teor de água de 15%, armazenadas em condições ambientais (25°C), perdiam o poder germinativo em dois meses. E, quando as sementes eram submetidas à temperatura de 19°C, o período de conservação aumentava para 26

meses, para a *Coffea arabica* e 11 meses, para a *Coffea canephora*, com poder germinativo mantido em 90% em 80%-90%, respectivamente.

Em estudos realizados por Dias & Barros (1993) e Miranda et al. (1993), ficou evidenciado, de maneira geral, que, para a conservação de sementes de café, são necessários valores relativamente altos para o teor de água nas semente. Gentil et al. (2001) verificaram as influências do grau de umidade e da temperatura de armazenamento na manutenção da qualidade de sementes de *Coffea arabica* L. Utilizaram, para isso, sementes com 51%, 41%, 34%, 23%, 16% e 10% de água, acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas sob temperaturas de 30°, 20° e 10°C, durante 48 semanas de armazenamento. Essas sementes foram submetidas a avaliações periódicas do grau de umidade, da germinação, do vigor e da sanidade, tendo sido constatado que as reduções do grau de umidade até 10% e da temperatura até 10°C são condições favoráveis à manutenção da qualidade fisiológica das sementes.

Um dos desafios relativos ao armazenamento de sementes de comportamento intermediário em relação à tolerância à dessecação é a manutenção do teor de água mais elevado, o que se deve, principalmente, à ação de microrganismos no armazenamento, os quais têm seu desenvolvimento acelerado em condições de alta umidade. Em razão disso, os métodos de armazenamento indicados para a manutenção desse tipo de sementes têm sido de difícil utilização prática (Miranda et al., 1993).

Diversos autores, buscando definir o teor de água ideal para a conservação de sementes de café, têm encontrado resultados divergentes em suas pesquisas. De acordo com Guimarães (2000), nos anos 1970, esta comparação apresentava balanço positivo para o armazenamento em ambientes úmidos. Para Valio (1976), a viabilidade de sementes armazenadas com 13% de umidade foi completamente perdida após oito meses, embora somente uma pequena redução tenha sido detectada após doze meses de armazenamento, em

sementes com grau de umidade em torno de 40%, ambas consideradas sob temperatura ambiente. Vossen (1979) concluiu que a armazenagem a 15°C, para sementes com 41% de umidade, era preferível à armazenagem à mesma temperatura com 11% de umidade. Em ambiente sem controle da temperatura e umidade relativa do ar, as sementes de café poderiam ser armazenadas com 10% de água em embalagem herméticas (Araújo, 1988), com 10% e entre 30% a 40% em embalagem semipermeável (Miranda et al., 1993) e com 48% em embalagem permeável (Araújo, 1989), visando à manutenção da viabilidade durante nove meses. Contudo, sob temperatura de 13°-23°C e umidade relativa do ar de 50%-70%, sementes de café com 37% de água, acondicionadas em embalagem de polietileno, permaneceram viáveis por até 11 meses, quando apresentavam 22% de água (Dias & Barros, 1993).

Ellis et al. (1990 e 1991), estudaram sementes de treze lotes diferentes que, apesar de terem sobrevivido à dessecação quando apresentavam graus de umidade entre 7,2% e 11,3%, tiveram sua germinação reduzida. Tais resultados indicaram a possibilidade de haver um comportamento diferente entre os genótipos quanto à tolerância à dessecação com reflexos no comportamento durante o armazenamento. Ainda em relação ao grau de tolerância da semente à dessecação, este variou também entre os lotes, possivelmente como resultado de diferenças na colheita e nos métodos de processamento de sementes. Percebe-se, portanto, não haver um consenso a respeito do grau de umidade ideal para a semente de café.

Assim, de acordo com o exposto, os resultados obtidos com estudos relacionados com condições ideais de armazenamento para este tipo de semente não são concordantes entre si, o que expõe a necessidade de estudos na área, bem como também o controle da qualidade, não só no aspecto sanitário, como também no fisiológico.

## **2.4 Avaliação da qualidade das sementes**

À medida que o controle de qualidade de sementes evolui dentro das empresas produtoras, é crescente a necessidade de obtenção rápida de informações sobre a qualidade destas, gerando o desenvolvimento de testes promissores e a adequação de metodologias específicas para diferentes espécies, sem deixar de considerar a produtividade, a economicidade, a facilidade de execução e a interpretação mais simples e segura. O monitoramento da deterioração de sementes por ocasião do armazenamento vem sendo realizado por meio de testes fisiológicos (germinação e vigor) e por observação ou determinação de modificações bioquímicas ou metabólicas, tais como respiração, atividade enzimática, variações nas substâncias de reserva e nas organelas do sistema de membranas (Vieira et al., 1998).

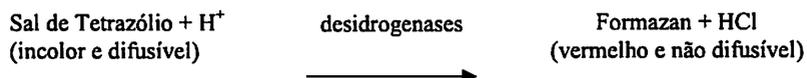
A viabilidade das sementes é avaliada, principalmente, pelo teste de germinação e tetrazólio. O primeiro avalia a germinação sob condições ideais de umidade e temperatura e o segundo, o potencial germinativo das sementes. Em razão de as condições de armazenamento serem controladas, estes testes, normalmente, não oferecem uma ideia quanto à emergência de plântulas em campo e, em determinadas situações, podem superestimá-las (Carvalho & Nakagawa, 1983).

Para sementes de café, a avaliação da qualidade, dentro dos programas de certificação de sementes, era realizada apenas com base no teste de germinação, o qual prevê a contagem de plântulas normais 30 dias após o início do teste (Brasil, 1992). Posteriormente, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) liberou a comercialização de sementes de café, com base nos resultados do teste de tetrazólio. Independente do tipo de teste utilizado, vale ressaltar que a possibilidade de armazenamento controlado das sementes, bem como a previsão do tempo de manutenção da qualidade destas (com o uso de equações para previsão da longevidade), visa proporcionar aos

produtores a alternativa de utilizar sementes de safras anteriores, de “alta qualidade”, para a produção de mudas em épocas adequadas.

#### 2.4.1 Teste de tetrazólio

O princípio de ação do teste de tetrazólio baseia-se na atividade das enzimas de-hidrogenases envolvidas na atividade respiratória de sistemas biológicos e que catalisam a redução do sal de tetrazólio (2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio) nas células vivas. Durante esse processo, as enzimas agem, inicialmente, como receptoras de  $H^+$ , transferindo estes íons liberados pela respiração dos tecidos vivos para o sal de tetrazólio. Em contato com as sementes, o sal é reduzido, formando um composto não difusível de coloração vermelha, conhecido por “formazan” (Delouche et al., 1976). A interpretação do teste baseia-se na coloração gradual do embrião, em áreas essenciais ao desenvolvimento (Roberts, 1972), e pode ser esquematizada da seguinte maneira:



De acordo com Silva & Dias (1998), embriões saudáveis absorvem o tetrazólio lentamente e tendem a desenvolver uma coloração mais leve que aqueles envelhecidos e/ou danificados. Os tecidos não-vermelhos, firmes e saudáveis, distribuídos uniformemente entre os tecidos coloridos, indicam mais a falta de penetração da solução do que a morte dos tecidos. Coloração vermelha muito intensa indica estado avançado de deterioração. Ainda segundo estes mesmos autores, tecidos mortos apresentam-se descoloridos e o padrão de coloração dos tecidos pode ser utilizado para identificar, dentre as sementes do

lote, quais são viáveis ou não e, dentro da categoria de viáveis, aquelas de baixo ou alto vigor.

Uma desvantagem deste teste, decorrente da avaliação da semente ser feita sem a germinação desta, está no fato de não serem identificados os possíveis microrganismos presentes, bem como os eventuais danos causados por produtos utilizados no tratamento das sementes. Ressalta-se, ainda, que a maior dificuldade na aplicação do teste de tetrazólio em sementes de café está na metodologia adotada na sua condução, uma vez que o embrião necessita de um íntimo contato com a solução de sal de tetrazólio e por se encontrar em região de difícil acesso para sua exposição, durante a avaliação (Silva & Dias, 1998).

## **2.5 Equações para previsão da longevidade das sementes**

As equações para estimar a longevidade das sementes começaram a serem desenvolvidas por Roberts (1973) e, posteriormente, com Ellis & Roberts (1980), Ellis & Roberts (1981), Nellist (1981) e outros. Esses autores estimaram a longevidade de sementes ortodoxas, utilizando equações logarítmicas as quais empregam valores de temperatura e teor de água das sementes.

Em estudos realizados, Robert (1973) percebeu que a morte das sementes poderia ser modelada por uma distribuição normal, ao longo do tempo de armazenamento. Verificou, ainda, que os valores de viabilidade das sementes, em porcentagem, poderiam ser transformados em valores de probit. A equação inicialmente proposta por Roberts (1973), para se estimar a longevidade, pode ser escrita como:

$$v = K_i - \frac{P}{\sigma} \quad (1)$$

na qual:

$v$  é a porcentagem de viabilidade das sementes, após um período de armazenamento de  $p$  dias;

$p$  é o tempo de armazenamento, em dias;

$K_i$  é a viabilidade inicial do lote de sementes, podendo ser entendida como o ponto de interceptação da curva de sobrevivência no eixo das ordenadas;

$1/\sigma$  é inclinação da curva de sobrevivência, sendo  $\sigma$  o desvio-padrão do número de sementes mortas em relação ao tempo;

A equação original (1) foi aperfeiçoada por Ellis & Roberts (1980), sendo, então, proposta uma nova equação, a qual quantifica a relação entre temperatura e grau de umidade, para descrever a viabilidade das sementes durante o armazenamento. Esta nova equação foi descrita como:

$$v = K_i - \frac{P}{10^{K_e - C_w \log m - C_H t - C_Q t^2}} \quad (2)$$

na qual:

$v$  é a porcentagem de viabilidade prevista;

$p$  é o período, em dias;

$m$  é o grau de umidade das sementes (b.u.);

$t$  é a temperatura de armazenamento;

$K_e$  constante relacionada com a espécie;

$K_i$  constante que quantifica a qualidade inicial de cada lote de sementes, antes do armazenamento;

$C_w$  constante que descreve o efeito relativo da umidade na longevidade, variando de espécie para espécie;

$C_H$  e  $C_Q$  são constantes que descrevem o efeito da temperatura de armazenamento sobre a longevidade das sementes.

O modelo (2) prevê a porcentagem de viabilidade esperada para qualquer lote de sementes durante o armazenamento, para diferentes valores de temperatura e grau de umidade das sementes, de maneira simples e relativamente precisa. Dickie et al. (1990) relataram que as temperaturas nas quais a equação proposta por Ellis & Roberts (1980) poderia ser aplicada variava de  $-13^\circ$  a  $90^\circ\text{C}$ . Segundo estes mesmos autores, os valores da constante  $C_w$  variavam consideravelmente conforme a espécie, sendo mais elevados em sementes não oleosas, como, por exemplo, a cevada (5,90) e mais baixos nas oleosas, como as de *Terminalia brassii* (2,15). Silva (1998) relata que, ao se compararem os valores de  $C_w$  existentes na literatura, verificou-se que as sementes de espécies arbóreas possuíam valores menores de  $C_w$ , quando comparados com os de espécies não-arbóreas (grãos).

De acordo com Ellis & Roberts (1980), as constantes de viabilidade  $C_H$  e  $C_Q$ , quando combinadas, refletem a sensibilidade da longevidade à temperatura. Dickie et al. (1990) concluíram que essa relação quantitativa entre a longevidade da semente e a temperatura não variou entre as espécies, o que significou que os valores de  $C_H = 0,0329$  e  $C_Q = 0,000478$  deveriam ser aceitos.

Medeiros (1997), estudando a previsão da longevidade de sementes de aroeira (*Astronium urundeuva*) estimou o valor de  $C_H = 0,0329$ ,  $C_Q = 0,000478$  e  $C_w = 3,76$  os coeficientes que descrevem os efeitos de temperatura e umidade na longevidade, assim como, também, o coeficiente  $K_e = 7,5498$  para esta espécie. Em estudo realizado por Francisco (2006), utilizando duas cultivares de feijão, Tibatã e Uma, com graus de umidade iniciais de 13,61% e 12,35%,

respectivamente e armazenadas a 40°, 50° e 65°C, foram observadas uma relação inversa entre o teor de água e a longevidade das sementes, e foram determinados os seguintes coeficientes para a previsão da longevidade:  $K_c = 5,759$  e  $4,556$ ,  $C_w = 4,598$  e  $5,209$ ,  $C_H = -0,0451$  e  $0,121$ ,  $C_Q = 0,0011$  e  $0,0017$ , para Tibatã e Uma, respectivamente.

Apesar de estes e diversos outros estudos terem sido realizados no intuito de determinar o valor dos coeficientes do modelo de Ellis & Roberts (1980), para sementes de café pouco ainda se conhece. Isto se deve, em parte, à razão da variação de comportamento em diferentes condições de temperatura e umidade, o que acaba por gerar a necessidade de maior precisão e diminuição da incerteza na estimação destes coeficientes e na previsão da longevidade.

## **2.6 Inferência Bayesiana**

Nas últimas décadas, avanços computacionais baseados em técnicas de simulação relativamente simples e poderosas promoveram maior utilização e melhor entendimento das características da inferência bayesiana. Em linhas gerais, a metodologia bayesiana pode ser definida como o processo de se ajustar um modelo estatístico a um grupo de dados, resumindo o resultado por uma distribuição de probabilidade nos parâmetros do modelo e em quantidades não observáveis, como predição para novas observações. Tal metodologia está baseada em informações referentes aos dados amostrais (função de verossimilhança), do conhecimento prévio que se tem a respeito dos parâmetros (distribuição *a priori*) e da obtenção da densidade *a posteriori* de cada um desses parâmetros por meio do Teorema de Bayes (Gelman et al., 2000).

### **2.6.1 Distribuições *a priori***

A característica essencial da inferência bayesiana está no uso explícito de probabilidade para quantificar as incertezas que se têm sobre o parâmetro.

Dessa maneira, a inferência bayesiana é baseada no conceito de probabilidade subjetiva, a qual mede o grau de confiança que alguém deposita no acontecimento de um determinado evento do espaço amostral (Gelman et al., 2000).

De acordo com Box & Tiao (1992), a informação inicial a respeito de  $\theta$  está relacionada a um grau de incerteza  $p$ , sendo um dos objetivos da inferência bayesiana permitir sua diminuição, reduzindo ao mínimo o seu valor a respeito de  $\theta$ . Este grau de incerteza pode assumir diversos valores, os quais podem ser representados por meio de modelos probabilísticos para  $\theta$ . Dessa forma, diferentes pesquisadores naturalmente podem apresentar modelos distintos para um mesmo parâmetro, assumindo diferentes graus de “incerteza”.

O grau de “incerteza”, que pode ser visto como a informação inicial que se tem a respeito de  $\theta$  (vetor de parâmetros do modelo), é representado por  $p(\theta)$  e denominado de distribuição *a priori*. De acordo com Box & Tiao (1992), essa distribuição tem importante papel na análise bayesiana, sendo utilizada para descrever uma informação a respeito dos parâmetros, antes que se possam avaliar os dados em questão.

### 2.6.2 Teorema de Bayes

A informação inicial que se tem a respeito de  $\theta$  pode se aumentada ao se observar a quantidade aleatória  $Y$  relacionada com  $\theta$ . A distribuição amostral, que define esta relação, é dada por  $p(Y|\theta)$  e fornece a verossimilhança de cada um dos possíveis valores de  $\theta$ . Ao ser observada a amostra  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ , a quantidade de informação sobre  $\theta$  aumenta e este aumento pode ser medido por meio do Teorema de Bayes, o qual pode ser visto como a regra de atualização utilizada para mensurar o aumento dessa informação (Gelman et al., 2000).

De acordo com Box & Tiao (1992), utilizando a distribuição *a priori*,  $p(\theta)$  e a função de verossimilhança  $p(Y|\theta) = L(Y|\theta)$ , na qual  $Y$  é o vetor de observações, é possível, por meio do Teorema de Bayes, obter a distribuição *a posteriori* de  $\theta$ ,  $p(\theta|Y)$ , de tal maneira que qualquer conclusão pode ser obtida desta distribuição.

A expressão matemática do Teorema de Bayes é dada por:

$$p(\theta|Y) = \frac{L(Y|\theta)p(\theta)}{\int L(Y|\theta)p(\theta)d\theta} \quad (3)$$

Pode-se observar que, em (3), o denominador não depende do parâmetro  $\theta$ , agindo, assim, como uma constante normalizadora de  $p(\theta|Y)$ . As duas informações, *priori* e verossimilhança, são combinadas, levando à distribuição *a posteriori* de  $\theta$ ,  $p(\theta|Y)$ . Dessa maneira, a expressão descrita anteriormente pode ser reescrita usualmente como:

$$p(\theta|Y) \propto L(Y|\theta)p(\theta) \quad (4)$$

a qual deve ser entendida como: *posteriori*  $\propto$  *verossimilhança* x *priori*. Ou seja, a *posteriori* é proporcional ao produto da verossimilhança pela *priori*.

### 2.6.3 Distribuição *a posteriori* e estimação bayesiana

Para se fazer inferência com relação a quaisquer elementos de  $\theta$ , sendo este um vetor de parâmetros, a distribuição *a posteriori* conjunta desses parâmetros, dada por  $p(\theta|Y)$ , deve ser integrada em relação a todos os outros elementos que a constituem, encontrando-se, dessa forma, uma distribuição para um parâmetro específico  $\theta_i$ . Esta distribuição, chamada de distribuição marginal de  $\theta_i$ , é obtida integrando-se a distribuição *a posteriori* conjunta em relação a todos os outros parâmetros do modelo, com exceção de  $\theta_i$ .

A distribuição marginal de  $\theta_i$  é expressa por:

$$p(\theta_i) = \int \dots \int p(\theta_i, \theta_{-i} | Y) d\theta_{-i} \quad (5)$$

na qual  $\theta_{-i} = \{\theta_1, \dots, \theta_{i-1}, \theta_{i+1}, \dots, \theta_j\}$  é o conjunto complementar de parâmetros para  $\theta_i$  (Paulino et al., 2003).

A distribuição marginal *a posteriori* de um parâmetro ( $\theta$ ) contém toda a informação probabilística a respeito desse parâmetro. No entanto, algumas vezes é necessário resumir a informação contida nesta distribuição por meio de alguns poucos valores numéricos. Um destes valores, e um dos mais simples, é a estimação pontual de  $\theta$ , na qual se resume a distribuição marginal *a posteriori* por meio de um único número,  $\hat{\theta}$ . É também importante associar alguma informação sobre a precisão da estimação pontual. Isso pode ser feito por meio da variância e coeficiente de variação para a média *a posteriori*, da medida de informação observada de Fisher para a moda *a posteriori* e a distância entre quartis para a mediana *a posteriori* (Box & Tiao, 1992).

#### 2.6.4 Intervalos de credibilidade e HPD

Para Paulino et al. (2003), um resumo da distribuição *a posteriori* mais informativo do que quaisquer uma das estimativas pontuais é obtido de uma região do espaço paramétrico  $\Theta$  que contenha uma parte substancial desta distribuição.

O intervalo  $C$  será um intervalo de credibilidade de  $100(1-\alpha)\%$  para  $\theta$ , se  $P(\theta \in C) \geq 1-\alpha$ . Dessa maneira, quanto menor for o tamanho do intervalo, mais concentrada é a distribuição do parâmetro, ou seja, o tamanho do intervalo informa a respeito da dispersão de  $\theta$ .

Infinitos intervalos podem ser construídos considerando-se a definição anterior, mas o de menor comprimento possível é o de maior interesse. Os intervalos de comprimento mínimo são obtidos quanto tomamos os valores de  $\theta$

com maior densidade *a posteriori*, sendo denominados intervalos de credibilidade de máxima densidade *a posteriori*, ou intervalos HPD.

Um intervalo de credibilidade  $C$  de  $100(1-\alpha)\%$  para  $\theta$  é de máxima densidade *a posteriori* se  $C = \{\theta \in \Theta : p(\theta|y) \geq k(\alpha)\}$ , na qual  $k(\alpha)$  é a maior constante, tal que  $P(\theta \in C) \geq 1-\alpha$  (Paulino et al., 2003).

## 2.7 Métodos de simulação

A obtenção da marginal de  $\theta_i$  (5) é, em geral, complexa e, até mesmo, impossível de ser calculada analiticamente, quando se utilizam modelos mais complexos, sendo necessários métodos numéricos. Em geral, utilizam-se algoritmos iterativos (simulação estocástica via cadeias de Markov) denominados de algoritmos MCMC (*Markov Chain Monte Carlo*). Para a utilização de tais algoritmos, é necessário que se obtenha, a partir da distribuição *a posteriori*, um conjunto de distribuições chamadas de distribuições condicionais completas (Geman, 1997).

### 2.7.1 Métodos de Monte Carlo Via cadeias de Markov (Algoritmos MCMC)

Os métodos de Monte Carlo via cadeias de Markov têm o intuito básico de transformar um problema estático num problema de natureza dinâmica, construindo, para tal fim, um processo estocástico temporal, artificial, de fácil simulação e de convergência para a distribuição marginal (Paulino et al., 2003).

Uma cadeia de Markov é um processo estocástico  $\{X_0, X_1, \dots\}$  tal que a distribuição de  $X_t$ , dados todos os outros valores anteriores ( $X_0, X_1, \dots, X_{t-1}$ ), depende apenas de  $X_{t-1}$ . Os valores iniciais influenciam de alguma forma o comportamento da cadeia. Assim, a ideia é a de que, conforme o número de

iterações aumenta, a cadeia gradualmente esquece os valores iniciais e, geralmente, converge para uma distribuição de equilíbrio.

Estas primeiras iterações, as quais dão origem a estes valores iniciais, são descartadas. Esse período é conhecido como aquecimento da cadeia, ou *burn-in*. Também são consideradas dependências entre as observações subsequentes da cadeia e, para se obter uma amostra independente, as observações finais devem ser obtidas a cada  $k$  iterações, sendo este valor conhecido como salto, *thin* ou intervalo de amostragem (Gamerman, 1997).

Os métodos Monte Carlo via cadeias de Markov (MCMC) são uma alternativa aos métodos não iterativos (Laplace, quadratura gaussiana e outros) em problemas mais complexos. Dentre os algoritmos MCMC, os mais utilizados são o amostrador de Gibbs e o Metropolis–Hastings, sendo este último utilizado neste trabalho.

### **2.7.2 Algoritmo de Metropolis – Hastings**

O algoritmo de Metropolis–Hastings, apresentado, inicialmente, por Metropolis et al. (1953) e generalizado por Hastings (1970), é utilizado para a obtenção da distribuição marginal *a posteriori* quando as distribuições condicionais *a posteriori* não são facilmente identificadas como uma distribuição de probabilidade conhecida, impossibilitando a geração direta de amostras a partir desta distribuição. Neste caso, geram-se valores do parâmetro a partir de uma distribuição proposta e esse é aceito ou não com determinada probabilidade de aceitação, o que garante a convergência da cadeia para a distribuição de equilíbrio (Chib & Greenberg, 1995). O conjunto final de valores assim obtidos irá representar uma amostra de observações da distribuição *a posteriori*.

Supondo que a distribuição de interesse é a distribuição *a posteriori*  $p(\theta | Y)$  e que a distribuição proposta é  $q(* | \theta)$ , o algoritmo pode ser descrito da seguinte forma:

**Passo 1:** inicializar o parâmetro  $\theta = \theta^0$ , com um valor inicial e o contador de iterações da cadeia em  $j = 0$ .

**Passo 2:** obter um novo valor de  $\theta^*$ , gerado a partir da função proposta  $q(* | \theta)$ .

**Passo 3:** calcular a probabilidade  $\alpha(\theta, \theta^*)$  de aceitação do novo valor, dada por:

$$\alpha(\theta, \theta^*) = \min \left\{ 1, \frac{p(\theta^* | Y)q(\theta | \theta^*)}{p(\theta | Y)q(\theta^* | \theta)} \right\}$$

**Passo 4:** gerar uma distribuição uniforme  $[0,1]$  e fazer  $\theta^j = \theta^*$ , caso  $u < \alpha$ , ou rejeitar e fazer  $\theta^j = \theta^{j-1}$ .

**Passo 5:** incrementar o contador  $j$  até atingir o número de iterações previamente estabelecido.

À medida que o número de iterações aumenta, para um  $j$  suficientemente grande, a sequência se aproxima de sua condição de equilíbrio, ou seja, ela atinge a característica de estacionaridade com um comportamento assintótico (Nogueira, 2004), sendo  $\theta^1, \theta^2, \dots, \theta^j$  uma amostra da distribuição *a posteriori*  $P(\theta | Y)$ . Esta condição de equilíbrio pode ser verificada por meio de diversos critérios de convergência, descritos a seguir.

## 2.8 Verificação de convergência

A simulação estocástica via cadeias de Markov é de grande utilidade na resolução de muitas dificuldades práticas na análise bayesiana, mas, mesmo assim, alguns problemas podem surgir quanto ao seu uso. A incerteza sobre qual o número de iterações necessárias para garantir a convergência da cadeia para o seu estado de equilíbrio, a possibilidade de as iterações iniciais da amostra serem influenciadas pelos valores iniciais dos parâmetros, bem como o fato das sequências geradas pelos métodos iterativos apresentarem correlações entre si são problemas a serem destacados (Cowles & Carlin, 1996).

Na análise da convergência de uma sequência gerada por meio de algoritmos MCMC, é comum descartar as primeiras iterações (40% a 50% do total), considerando que essa primeira parte esteja sob influência dos valores iniciais da cadeia. Segundo Gamerman (1997), este início de cadeia é chamado de período de aquecimento ou “burn-in”. Ainda segundo este mesmo autor, na avaliação da convergência, é importante considerar a dependência entre as observações subsequentes da cadeia. Dessa forma, no intuito de se obter uma amostra independente, tomam-se, para compor a amostra, observações espaçadas por um determinado número de iterações, considerando saltos (“thin”) de tamanho  $k$ .

A monitoração da convergência da cadeia pode ser feita de maneira informal, detectando problemas relacionados com a sua instabilidade. Estes problemas podem ser observados inicialmente analisando os gráficos ou medidas descritivas dos valores simulados dos parâmetros de interesse para cada tamanho de cadeia considerado, de forma a se obter um determinado tamanho de cadeia no qual não se nota mais diferença nos gráficos e nos valores das estatísticas descritivas. Os gráficos mais frequentes são o gráfico de  $\theta$  ao longo das iterações (traço) e o histograma ou densidade. As estatísticas descritivas usuais são a média, o desvio padrão e os quantis (Gelman et al., 2000).

Além do monitoramento informal da convergência da cadeia, critérios podem ser utilizados para este mesmo fim. De acordo com Gelman et al. (2000), para a avaliação da convergência dos algoritmos MCMC, vários testes foram propostos, dentre eles Geweke (1992), Gelman & Rubin (1992), Heidelberg & Welch (1993) e Raftery & Lewis (1992), os quais estão descritos de forma sucinta a seguir.

### 2.8.1 Critério de Geweke (1992)

O critério de Geweke (1992), ou diagnóstico de Geweke (1992), foi desenvolvido com o objetivo de indicar a convergência da média *a posteriori* da quantidade amostrada,  $g(\theta)$ , considerando uma única cadeia, sendo os valores de  $g(\theta^{(i)})$  calculados para cada uma das iterações da simulação, formando, assim, uma série temporal. A partir desta única cadeia, calcula-se a variância assintótica,  $S_g(\theta)$ , da medida de  $g(\theta)$ .

O critério pode ser resumido da seguinte forma: a cadeia gerada de tamanho  $N$  é dividida em duas sequências, sendo a primeira constituída das  $N_a$  primeiras iterações e a segunda, das  $N_b$  finais. Geweke (1992) sugere que algumas iterações iniciais sejam descartadas antes que as médias das sequências sejam construídas (passo posterior) e que sejam utilizados os valores de  $N_a = 0,1N$  e  $N_b = 0,5N$ . Estimam-se, então, as médias  $\hat{g}_a$  e  $\hat{g}_b$ , assim como também as variâncias assintóticas, indicadas por  $\hat{S}_a(0)$  e  $\hat{S}_b(0)$ , sendo estas determinadas pela estimação da densidade espectral.

Se as razões  $\frac{N_a}{N}$  e  $\frac{N_b}{N}$  são fixas e se  $N \rightarrow \infty$ , então:

$$\frac{\hat{g}_a - \hat{g}_b}{\sqrt{\left( \frac{\hat{S}_{g_a}^2(0)}{N_a} + \frac{\hat{S}_{g_b}^2(0)}{N_b} \right)}} \sim N(0,1)$$

Assim, um teste pode ser construído e, caso a diferença padronizada entre as médias for muito grande, há a indicação de ausência de convergência. A regra de decisão do critério de Geweke (1992) é baseada na estimativa do valor-p. Caso este seja menor que um nível de significância adotado, conclui-se que a cadeia não atingiu a convergência (Geweke, 1992).

### 2.8.2 Critério de Gelman & Rubin (1992)

Uma maneira simples de verificar a convergência é utilizar várias cadeias em paralelo, considerando diferentes pontos iniciais. Um indício forte de convergência seria, por inspeção visual, a similaridade entre as trajetórias dessas diversas cadeias após um determinado número de iterações, para cada parâmetro de interesse, bem como a variabilidade inter e entre cadeias amostradas. Após a estacionariedade ser atingida, digamos na  $i$ -ésima iteração, consideramos as realizações  $\theta_j, \theta_{j+1}, \dots, \theta_{j+N_i}, j \geq i$  como uma amostra aleatória da distribuição desejada. Tal ideia foi formalizada por Gelman & Rubin (1992).

De acordo com tal método, simulam-se, em paralelo,  $n \geq 2$  sequências, cada uma de comprimento  $N$ , descartando-se as primeiras  $n$  iterações, de cada cadeia, no intuito de evitar a influência dos valores iniciais. Essa convergência é monitorada por meio do fator  $\hat{R}$ , introduzido por Gelman & Rubin (1992), sendo calculado por

$$\sqrt{\hat{R}} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{W}}$$

Na expressão anterior,  $W$  indica a variabilidade dentro das cadeias, expressa por  $W = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_j^2$ , com  $s_j^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\theta_{ij} - \bar{\theta}_{..})^2$ .

Considerando a convergência das cadeias, todos os  $nN$  valores são gerados da *posteriori* e a variância da distribuição pode ser estimada, de forma não-viciada, por

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{N-1}{N} W + \frac{1}{N} B,$$

sendo  $B = \frac{N}{n-1} \sum_{i=1}^n (\theta_{.j} - \bar{\theta}_{..})^2$  a média das  $N$  variâncias entre as cadeias.

Quando o valor de  $\sqrt{\hat{R}}$  é próximo de 1, a convergência ocorre e a amostra selecionada das iterações é i.i.d. Caso este valor seja grande, há a necessidade de se considerarem mais iterações, a fim de se obter uma melhor estimativa dos parâmetros.

### 2.8.3 Critério de Heidelbergr & Welch (1993)

O critério de Heidelberger & Welch (1993) é baseado no uso de testes estatísticos para avaliar a hipótese de nulidade, a qual indica a estacionariedade da amostra gerada. Entre estes testes estatísticos estão o de Cramer-von Mises (Von Mises, 1931) e a estatística de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1933), que testam se os valores amostrados para cada variável provêm de uma distribuição estacionária. Se a hipótese nula é rejeitada para um dado valor, o teste é repetido após serem descartados os 10% dos valores iniciais da amostra. Caso haja, novamente, a rejeição da hipótese de nulidade, descartam-se mais 10% dos valores iniciais, e assim sucessivamente, até serem descartados 50%

dos valores iniciais. Se a hipótese nula for rejeitada novamente, ou se o teste não conseguir ser realizado, isso indica falha na estacionariedade, implicando que é necessário um número maior de iterações. Caso contrário, o número de iterações descartadas é indicado como o valor do *burn-in* (Nogueira, 2004).

#### 2.8.4 Critério de Raftery e Lewis (1992)

Raftery & Lewis (1992) propuseram um método que estima quantas iterações são necessárias para que o amostrador de Gibbs apresente convergência, propondo quantidades necessárias para isso. Fornece, para tanto, estimativas do “burn-in”, do número total de iterações (N) e do salto de uma iteração para a outra, “thin”, para retirar o efeito de dependência entre os valores amostrados. A regra de decisão de tal critério se baseia no fator de dependência, responsável pelo acréscimo multiplicativo ao número de iterações necessárias para se alcançar a convergência, em razão da autocorrelação dentro da sequência. Fator de dependência maior que 5, indica a não convergência da cadeia.

#### 2.9 Comparação dos modelos

Na comparação dos modelos, pode ser utilizado o Fator de Bayes (FB), o qual pode ser definido como um critério bayesiano utilizado na comparação e na seleção de modelos (Kass & Raftery, 1995), sendo calculado por:

$$FB_{(M_i, M_j)} = \frac{p(M_i | Y) / p(M_j | Y)}{p(M_i) / p(M_j)}$$

Na expressão anterior, consideram-se dois modelos  $M_i$  e  $M_j$ , suas respectivas probabilidades *a priori*  $p(M_i)$  e  $p(M_j)$  e as probabilidades *a posteriori*  $p(M_i | Y)$  e  $p(M_j | Y)$ . Dessa maneira, o Fator de Bayes pode ser entendido como sendo a razão a posteriori dividida pela razão a priori de dois modelos, podendo, ainda, ser simplificado para  $FB_{(M_i, M_j)} = \frac{p(Y | M_i)}{p(Y | M_j)}$ , sendo  $p(Y | M_i)$  e  $p(Y | M_j)$  as verossimilhanças marginais de cada modelo.

Uma interpretação para o fator de Bayes, dada por Jeffreys (1961), com as categorias de evidências em relação aos modelos  $M_i$  e  $M_j$ , é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 Interpretação do fator de Bayes. (Jeffreys, 1961).

Valores de $FB_{(M_i, M_j)}$	Conclusão
$FB_{(M_i, M_j)} < 1$	Evidências a favor de $M_j$
$1 \leq FB_{(M_i, M_j)} < 3,2$	Evidências muito fracas a favor de $M_i$
$3,2 \leq FB_{(M_i, M_j)} < 10$	Evidência fraca a favor de $M_i$
$10 \leq FB_{(M_i, M_j)} < 100$	Evidência forte a favor de $M_i$
$FB_{(M_i, M_j)} \geq 100$	Evidência muito forte a favor de $M_i$

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas: a primeira, relacionada ao experimento, foi desenvolvida no Laboratório Central de Sementes do Departamento de Agricultura, na Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG (UFLA), durante o período de julho a setembro de 2007 e segunda está relacionada com a análise bayesiana do modelo de Ellis & Roberts (1980) e simulação computacional para posterior comparação com os dados obtidos na primeira etapa.

#### 3.1 O experimento

Foram utilizadas sementes de café (*Coffea arabica* L.), cultivar Rubi MG, avaliadas semanalmente em relação à sua germinação e viabilidade, por um período de 16 semanas (épocas de armazenamento).

O teor de água das sementes foi determinado pelo método de estufa, a  $105\pm 3^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, em duas repetições para cada amostra, conforme prescrições das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). Os resultados foram expressos em porcentagem média por amostra. As sementes, com umidade de 13% ou 30%, foram, então, armazenadas em câmara fria (temperatura de  $10^{\circ}$ ) e armazém convencional, com média de temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  (variando de  $22^{\circ}$  a  $28^{\circ}\text{C}$ ). Parte das sementes úmidas (umidade de 30%) foi tratada com fungicida Moncerem PM 750g/kg.

As sementes eram provenientes de um único lote. Dessa forma, considerou-se não haver diferença em relação à qualidade inicial ( $K_i$ ) dessas sementes. Do lote inicial foram retiradas 4 repetições (amostras) de 50 sementes (para a condução do teste de germinação) e, também, 4 repetições (amostras) de 25 (para aplicação do teste de tetrazólio).

As combinações das condições nas quais foi realizado o armazenamento estão descritas na Tabela 2.

TABELA 2 Descrição das combinações das condições de armazenamento a serem consideradas na análise.

<b>Armazenamento</b>	<b>Umidade da semente</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tratamento com fungicida</b>
30%10°C	30%	10°C	Não
30%10°C <sup>F</sup>	30%	10°C	Sim
13%10°C	13%	10°C	Não
13%10°C	13%	25°C	Não
13%10°C <sup>F</sup>	13%	10°C	Sim
13%10°C <sup>F</sup>	13%	25°C	Sim

Armazenamento de 30%10°C faz referência a sementes úmidas (30% de umidade) não tratadas com fungicida que foram armazenadas à temperatura de 10°C (câmara fria). Estas condições serão referenciadas, a partir de então, como Modelo 1. Para 30%10°C<sup>F</sup>, consideram-se as mesmas condições de temperatura e umidade da semente, mas estas foram previamente tratadas com fungicida (indicado por F no modelo). Sob essas condições, tem-se o Modelo 2. As outras condições descritas se referem, respectivamente, aos Modelos 3, 4, 5 e 6.

As sementes foram avaliadas quanto à viabilidade (teste de tetrazólio – Tz) e germinação (teste de germinação – G), em cada uma das dezesseis épocas de armazenamento (durante quatro meses), para cada uma das combinações de condições descritas na Tabela 2.

### 3.2 Avaliação da qualidade das sementes

A avaliação da qualidade das sementes foi realizada com base nos dois testes considerados. Os resultados foram utilizados na aplicação da metodologia

bayesiana e posterior comparação do comportamento da viabilidade das sementes nas diferentes combinações de condições de armazenamento.

### **3.2.1 Teste de tetrazólio**

O teste foi realizado com 4 repetições (amostras) de 25 sementes para cada tratamento em cada uma das épocas de avaliação, para os 6 modelos (combinações de condições de armazenamento) considerados, durante as 16 semanas de armazenamento. Para a realização do teste, o pergaminho foi removido manualmente e, para a extração dos embriões, as sementes foram embebidas diretamente em água pelo período de 36 horas, à temperatura de 30°C.

Os embriões foram extraídos e mantidos em solução de antioxidante polivinilpirrolidona (PVP), desde o momento da extração de seus endospermas até serem colocados na solução de tetrazólio. Ao término da extração dos embriões, estes foram lavados em água corrente com auxílio de uma peneira e embebidos em solução a 0,5% de sal de tetrazólio (2,3,5 trifênil cloreto de tetrazólio) mantidos em frascos escuros, à temperatura de 30°C, por 2 horas. A análise da viabilidade dos embriões foi realizada com o auxílio de uma lupa estereoscópica com aumento de dez vezes, para melhor visualização das estruturas internas e externas dos mesmos. Para isso, foi realizado um corte longitudinal no meio dos embriões, os quais foram classificados em viáveis e inviáveis de acordo com a localização e a extensão dos danos, com base nos critérios já estabelecidos.

### **3.2.2 Teste de germinação**

A avaliação da germinação foi feita semanalmente (durante quatro semanas) para cada uma das dezesseis épocas de armazenamento. Foram utilizadas quatro repetições de cinquenta sementes sem pergaminhos (extraídos

manualmente) para cada uma das combinações das condições de armazenamento. As sementes foram semeadas em rolos de papel toalha tipo germitest umedecido com água destilada na quantidade de duas vezes e meia o peso do papel seco e colocadas para germinar à temperatura constante de 30°C, na presença de luz. A contagem final foi realizada no 30º dia após a semeadura, computando-se as plântulas normais em cada repetição, conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Assim, os dados obtidos nos testes para avaliação da qualidade de sementes (tetrazólio e germinação) foram, então, utilizados, no modelo proposto por Ellis & Roberts (1980), como a porcentagem de viabilidade da semente, para o desenvolvimento da metodologia bayesiana proposta neste trabalho e posterior verificação da convergência das cadeias dos parâmetros e análise destes.

### **3.3 Critérios para verificação da convergência**

Neste trabalho optou-se pelo monitoramento informal da convergência das cadeias por meio do traço de cada um dos parâmetros do modelo de Ellis & Roberts (1980) e da aplicação dos testes de convergência implementados por Smith (2007) no pacote *bayesian output analysis* (BOA) do software R ((R Development Core Team, 2010), conforme descrito na Seção 2.7.3.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, obteve-se a distribuição *a posteriori* conjunta para os parâmetros do modelo de Ellis & Roberts (1980) e as distribuições condicionais completas para cada um destes. Em seguida, foi realizada a implementação do algoritmo de Metropolis – Hastings e posterior análise de seus resultados.

### 4.1 Obtenção da distribuição *a posteriori* conjunta para os parâmetros do modelo de Ellis e Roberts (1980), com erros independentes

O modelo descrito por Ellis & Roberts (1980) é um modelo determinístico, não prevendo o efeito de um erro aleatório, como pode ser visto na equação (2). Dessa maneira, para que a metodologia bayesiana pudesse ser aplicada, inseriu-se uma componente aleatória neste modelo. Inseriu-se um erro  $e_j$  para cada um dos elementos do vetor de observações.

Assim, de acordo com o Teorema de Bayes, descrito na seção 2.6.2, na obtenção da distribuição *a posteriori* conjunta dos parâmetros do modelo de Ellis & Roberts (1980), dado agora por

$$v_j = K_j - \frac{P_j}{10^{K_e - C_w \log m - C_H t - C_Q t^2}} + e_j \quad (6)$$

no qual  $j = 1, \dots, n$ , sendo  $n$  é o número de observações (16 tempos de armazenamento), é necessário que se estabeleçam distribuições *a priori* para os parâmetros  $K_e, C_w, C_H$  e  $C_Q$ .

Assim, será considerada para o parâmetro  $C_w$  uma distribuição uniforme como *priori*, respeitando-se os valores mínimo e máximo encontrados na literatura e anteriormente citados. Dessa maneira,  $p(C_w) \propto U[a, b]$ . Para os parâmetros  $K_e, C_H$  e  $C_Q$ , serão consideradas como *prioris* três distribuições

Gama, com valores pequenos nos hiperparâmetros dados por  $\alpha_e, \beta_e, \alpha_H, \beta_H$  e  $\alpha_Q, \beta_Q$ , respectivamente. Portanto,

$$p(K_e | \alpha_e, \beta_e) \propto K_e^{\alpha_e - 1} \exp(-\beta_e K_e) \quad (7)$$

$$p(C_H | \alpha_H, \beta_H) \propto C_H^{\alpha_H - 1} \exp(-\beta_H C_H) \quad (8)$$

$$p(C_Q | \alpha_Q, \beta_Q) \propto C_Q^{\alpha_Q - 1} \exp(-\beta_Q C_Q) \quad (9)$$

Supondo que os erros, dados por  $e_j = v_j - K_i + \frac{P_j}{10^{K_e - C_w \log m - C_H t - C_Q t^2}}$ ,

sejam i.i.d., e que sigam uma distribuição normal,  $e_j \square N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ , será

assumida para a precisão  $\tau$ , dada por  $\tau = \frac{1}{\sigma_\varepsilon^2}$ , uma distribuição Gama com

parâmetros  $\alpha_\varepsilon$  e  $\beta_\varepsilon$ ,

$$p(\tau | \alpha_\varepsilon, \beta_\varepsilon) \propto \tau^{\alpha_\varepsilon - 1} \exp(-\beta_\varepsilon \tau) \quad (10).$$

A função de verossimilhança para o modelo de Ellis & Roberts (1980), considerando que as longevidades nos diferentes tempos de armazenagem são independentes e podem ser modeladas por uma distribuição normal (Roberts, 1973), pode ser escrita como:

$$L(v_j | K_e, C_w, C_H, C_Q, \tau, H) = \prod_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\varepsilon^2}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2} \left(v_j - K_i + \frac{P_j}{10^{K_e - C_w \log m - C_H t - C_Q t^2}}\right)^2\right]$$

$$L(v_j | K_e, C_w, C_H, C_Q, \tau, H) = \prod_{j=1}^n \sqrt{\frac{\tau}{2\pi}} \exp\left[-\frac{\tau}{2} \left(v_j - K_i + \frac{P_j}{10^{K_e - C_w \log m - C_H t - C_Q t^2}}\right)^2\right]$$

$$L(v_j | K_e, C_w, C_H, C_Q, \tau, H) \propto \tau^{n/2} \exp\left[-\frac{\tau}{2} \sum_{j=1}^n \left(v_j - K_i + \frac{P_j}{10^{K_e - C_w \log m - C_H t - C_Q t^2}}\right)^2\right] \quad (11)$$

na qual  $j=1, \dots, n$ ,  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  e  $H$  é o vetor de hiperparâmetros,  $H = [a, b, \alpha_\epsilon, \beta_\epsilon, \alpha_H, \beta_H, \alpha_Q, \beta_Q, \alpha_\tau, \beta_\tau]$ .

Dessa maneira, de acordo com as *prioris* assumidas (7), (8), (9) e (10) e a função de verossimilhança (11) e pela aplicação do teorema de Bayes (4), tem-se a seguinte distribuição *a posteriori* conjunta para o modelo (6):

$$p(C_W, K_\epsilon, C_H, C_Q, \tau | y, H) \propto L(v_j | K_\epsilon, C_W, C_H, C_Q, \tau, H) p(C_W, K_\epsilon, C_H, C_Q, \tau | H).$$

$$p(C_W, K_\epsilon, C_H, C_Q, \tau | y, H) \propto \tau^{\frac{n}{2}} \exp \left[ -\frac{\tau}{2} \sum_{j=1}^n \left( v_j - K_i + \frac{P_j}{10^{K_\epsilon - C_W \log m - C_H t - C_Q t^2}} \right)^2 \right] x$$

$$x \frac{1}{b-a} x K_\epsilon^{\alpha_\epsilon - 1} \exp(-\beta_\epsilon K_\epsilon) x C_H^{\alpha_H - 1} \exp(-\beta_H C_H) x C_Q^{\alpha_Q - 1} \exp(-\beta_Q C_Q) x \tau^{\alpha_\tau - 1} \exp(-\beta_\tau \tau).$$

$$p(C_W, K_\epsilon, C_H, C_Q, \tau | y, H) \propto \tau^{\frac{n}{2} + \alpha_\tau - 1} \left( K_\epsilon^{\alpha_\epsilon - 1} C_H^{\alpha_H - 1} C_Q^{\alpha_Q - 1} \right) x$$

$$x \exp \left[ -\frac{\tau}{2} \sum_{j=1}^n \left( v_j - K_i + \frac{P_j}{10^{K_\epsilon - C_W \log m - C_H t - C_Q t^2}} \right)^2 - \beta_\epsilon K_\epsilon - \beta_H C_H - \beta_Q C_Q - \beta_\tau \tau \right].$$

$$p(C_W, K_\epsilon, C_H, C_Q, \tau | y, H) \propto \tau^{\frac{n}{2} + \alpha_\tau - 1} \left( K_\epsilon^{\alpha_\epsilon - 1} C_H^{\alpha_H - 1} C_Q^{\alpha_Q - 1} \right) x$$

$$x \exp \left\{ -\frac{\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n \left( v_j - K_i + \frac{P_j}{10^{K_\epsilon - C_W \log m - C_H t - C_Q t^2}} \right)^2 + 2\beta_\epsilon \right] \right\} x$$

$$x \exp(-\beta_\epsilon K_\epsilon - \beta_H C_H - \beta_Q C_Q). \quad (12)$$

Com base na *posteriori* conjunta, descrita em (12), as condicionais completas *a posteriori* para cada um dos parâmetros dos modelos foram obtidas conforme descrito a seguir.

#### 4.2 Distribuições condicionais completas a *posteriori* para o modelo de Ellis e Roberts (1980)

Uma vez obtida a distribuição conjunta a *posteriori* para as *prioris* já descritas, as distribuições condicionais completas a *posteriori*, de cada um dos parâmetros do modelo de Ellis & Roberts (1980), precisam ser determinadas para a utilização dos algoritmos MCMC. Vale ressaltar que, apesar de serem consideradas condições diferentes de temperatura e umidade, as mesmas distribuições são válidas para as seis condições de armazenamento.

De posse da *posteriori* conjunta (12) obtida na seção anterior, e considerando nesta distribuição  $A_j = -K_i + \frac{P_j}{10^{K_e - C_w \log m - C_H t - C_Q t^2}}$ , a distribuição condicional completa a *posteriori* para o parâmetro  $K_e$  do modelo de Ellis e Roberts (1980) pode ser expressa por:

$$p(K_e | C_w, C_H, C_Q, \tau, y, H) = \frac{p(K_e, C_w, C_H, C_Q, \tau | y, H)}{\int p(K_e, C_w, C_H, C_Q, \tau | y, H) dK_e}$$

$$p(K_e | C_w, C_H, C_Q, \tau, y, H) \propto K_e^{\alpha_e - 1} \exp\left\{-\frac{\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j + A_j)^2 \right]\right\} \exp(-\beta_e K_e)$$

$$p(K_e | C_w, C_H, C_Q, \tau, y, H) \propto K_e^{\alpha_e - 1} \exp\left\{-\frac{\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j^2 + 2v_j A_j + A_j^2) \right]\right\} \exp(-\beta_e K_e)$$

$$p(K_e | C_w, C_H, C_Q, \tau, y, H) \propto K_e^{\alpha_e - 1} \exp\left\{-\frac{\tau}{2} \left[ 2 \sum_{j=1}^n v_j A_j + \sum_{j=1}^n A_j^2 \right]\right\} \exp(-\beta_e K_e). \quad (13)$$

Para o parâmetro  $C_W$ , teremos:

$$\begin{aligned}
 p(C_W | K_e, C_H, C_Q, \tau, y, H) &= \frac{p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H)}{\int p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H) dC_W} \\
 p(C_W | K_e, C_H, C_Q, \tau, y, H) &\propto \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j + A_j)^2 \right]\right\} \\
 p(C_W | K_e, C_H, C_Q, \tau, y, H) &\propto \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ 2 \sum_{j=1}^n v_j A_j + \sum_{j=1}^n A_j^2 \right]\right\}. \tag{14}
 \end{aligned}$$

Considerando o parâmetro  $C_Q$  deste mesmo modelo, sua distribuição condicional completa *a posteriori* é dada por:

$$\begin{aligned}
 p(C_Q | C_W, C_H, K_e, \tau, y, H) &= \frac{p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H)}{\int p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H) dC_Q} \\
 p(C_Q | C_W, C_H, K_e, \tau, y, H) &\propto C_Q^{\alpha_Q - 1} \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j + A_j)^2 \right]\right\} \exp(-\beta_Q C_Q) \\
 p(C_Q | C_W, C_H, K_e, \tau, y, H) &\propto C_Q^{\alpha_Q - 1} \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j^2 + 2v_j A_j + A_j^2) \right]\right\} \exp(-\beta_Q C_Q) \\
 p(C_Q | C_W, C_H, K_e, \tau, y, H) &\propto C_Q^{\alpha_Q - 1} \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ 2 \sum_{j=1}^n v_j A_j + \sum_{j=1}^n A_j^2 \right]\right\} \exp(-\beta_Q C_Q). \tag{15}
 \end{aligned}$$

Para  $C_H$ , sua condicional completa em muito se parece com as expressões definidas anteriormente:

$$\begin{aligned}
p(C_H | C_W, C_Q, K_e, \tau, y, H) &= \frac{p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H)}{\int p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H) dC_H} \\
p(C_H | C_W, C_Q, K_e, \tau, y, H) &\propto C_H^{\alpha_H - 1} \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j + A_j)^2 \right]\right\} \exp(-\beta_H C_H) \\
p(C_H | C_W, C_H, K_e, \tau, y, H) &\propto C_H^{\alpha_H - 1} \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j^2 + 2v_j A_j + A_j^2) \right]\right\} \exp(-\beta_H C_H) \\
p(C_H | C_W, C_H, K_e, \tau, y, H) &\propto C_H^{\alpha_H - 1} \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ 2 \sum_{j=1}^n v_j A_j + \sum_{j=1}^n A_j^2 \right]\right\} \exp(-\beta_H C_H). \quad (16)
\end{aligned}$$

Para os parâmetros  $K_e$ ,  $C_Q$ ,  $C_W$  e  $C_H$ , as distribuições condicionais completas a *posteriori* não têm uma forma conhecida, quando comparada com alguma distribuição padrão, gerando, assim, a necessidade de se utilizar o algoritmo de Metropolis-Hastings para realizar a análise destes parâmetros. Para  $\tau$  isso já não ocorre, conforme pode ser visto a seguir:

$$\begin{aligned}
p(\tau | C_W, C_Q, K_e, C_H, y, H) &= \frac{p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H)}{\int p(K_e, C_W, C_H, C_Q, \tau | y, H) d\tau} \\
p(\tau | C_W, C_Q, K_e, C_H, y, H) &\propto \tau^{\frac{n}{2} + \alpha_\tau - 1} \exp\left\{\frac{-\tau}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j + A_j)^2 + 2\beta_\tau \right]\right\} \quad (17)
\end{aligned}$$

A expressão (17) possui a forma de uma distribuição Gamma. Assim,  $\tau \sim \text{Gama}(\alpha, \beta)$ , com  $\alpha = \frac{n}{2} + \alpha_\tau$  e  $\beta = -\frac{1}{2} \left[ \sum_{j=1}^n (v_j + A_j)^2 + 2\beta_\tau \right]$  e, portanto, seria possível a utilização do Algoritmo de Gibbs neste caso.

### 4.3 Implementação dos algoritmos MCMC

Nota-se, nas expressões dadas por (13), (14), (15) e (16), que as distribuições condicionais completas dos referidos parâmetros não têm forma definida, devendo-se, então, utilizar, nesta situação, o algoritmo Metropolis-Hastings.

O algoritmo Metropolis-Hasting foi implementado no software livre R (R Development Core Team, 2010), considerando-se como candidatas as seguintes distribuições: para  $\tau$ , uma  $Gamma(0.2,4)$ ; para  $K_e$ ,  $Gamma(12,2)$ ;  $C_w$ , uma distribuição  $U[1,7]$ ; para  $C_H$ , uma  $Gamma(2,5)$  e, por fim, para o parâmetro  $C_q$ , uma  $Gamma(0.2,10)$ .

Foram simuladas cadeias de 10.000 iterações, das quais 40% foram eliminadas (“burn-in”) para se evitar os efeitos dos valores iniciais dos parâmetros adotados. Dessa forma, considerou-se uma cadeia final de 6.000 iterações para cada parâmetro, a qual está de acordo com o fornecido por meio do critério de Raftery e Lewis, o qual indicou uma cadeia de 3.760 iterações, assim como o “thin” (salto) de uma interação para outra (um para todos os parâmetros, indicando que as observações das cadeias são independentes). A constatação final da convergência foi avaliada pelos critérios implementados no pacote BOA do software R.

### 4.4 Análise dos dados

A análise dos dados, neste trabalho, consistiu na monitoração formal e informal das cadeias dos parâmetros, na análise das estimativas dos intervalos HPD e estimativas das médias *a posteriori* de cada parâmetro bem como de seu desvio padrão. Optou-se também por comparar os ajustes dos seis modelos considerados (nas seis combinações de armazenamento, descritas na Seção 3.1) no intuito de verificar para qual modelo foi obtido o melhor ajuste e, por

consequente, a melhor condição de armazenamento da semente. Para isso, utilizou-se o fator de Bayes. Posteriormente, de posse das estimativas dos parâmetros do modelo de Ellis & Roberts (1980), foram simulados, para um período de tempo de 52 semanas, os percentuais de viabilidade para cada uma das condições de armazenamento consideradas.

#### **4.4.1 Monitoramento da convergência**

De maneira sucinta, para o critério de Raftery & Lewis (1992), teremos caracterizada a não convergência da cadeia se o fator de dependência (FD) for maior que cinco. Para Geweke (1992), existirão evidências contra a convergência da cadeia se o p-valor estimado for menor que um nível de significância pré-fixado pelo pesquisador (neste trabalho, fixado sempre em 5%). A convergência será alcançada, de acordo com o critério de Gelman & Rubin (1992), se o fator de redução potencial de escala (R) for próximo de 1. O critério de convergência de Heidelberger & Welch (1993) consiste em um teste para verificar se a sequência gerada é estacionária, bem como para verificar se a média *a posteriori* foi estimada com uma acurácia pré-especificada (teste de Half-Width).

Os dados referentes à análise de convergência de todos os parâmetros dos seis modelos considerados, utilizando-se as porcentagens de viabilidades obtidas por meio do teste de tetrazólio, estão apresentados nas Tabelas a seguir. Os resultados de convergências, para estes mesmos parâmetros, considerando as viabilidades resultantes do teste de germinação, encontram-se no Anexo.

TABELA 3 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD)(1992), *valor-p* do critério de Geweke (199), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $K_e$  nos 6 modelos, considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).

Modelo	FD		p-valor		R		Estacionária	
	Tz	G	Tz	G	Tz	G	Tz	G
30%10°C	0,964	0,963	0,233	0,232	1,001	1,001	Sim	Sim
30%10°C°F	0,964	0,963	0,233	0,233	0,999	0,999	Sim	Sim
13%10°C°	0,963	0,963	0,233	0,232	0,998	0,998	Sim	Sim
13%25°C°	0,990	1,032	0,287	0,268	1,000	1,000	Sim	Sim
13%10°C°F	0,963	0,963	0,232	0,233	1,006	1,006	Sim	Sim
13%25°C°F	0,977	1,032	0,497	0,268	0,999	0,999	Sim	Sim

TABELA 4 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), *valor-p* do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $C_w$  nos 6 modelos, considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).

Modelo	FD		p-valor		R		Estacionária	
	Tz	G	Tz	G	Tz	G	Tz	G
30%10°C	1,018	1,032	0,590	0,578	1,000	1,000	Sim	Sim
30%10°C°F	1,018	1,046	0,591	0,585	0,998	0,998	Sim	Sim
13%10°C°	1,004	1,004	0,549	0,548	1,001	1,001	Sim	Sim
13%25°C°	0,951	0,990	0,275	0,317	1,001	1,001	Sim	Sim
13%10°C°F	0,990	0,990	0,538	0,548	0,998	0,998	Sim	Sim
13%25°C°F	0,990	0,990	0,733	0,316	0,999	0,999	Sim	Sim

TABELA 5 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $C_H$  nos 6 modelos, considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).

Modelo	FD		p-valor		R		Estacionária	
	Tz	G	Tz	G	Tz	G	Tz	G
30%10°C	0,977	0,977	0,209	0,209	1,000	1,000	Sim	Sim
30%10C°F	0,977	0,977	0,209	0,209	0,997	0,997	Sim	Sim
13%10C°	0,977	0,977	0,208	0,208	0,999	0,999	Sim	Sim
13%25C°	0,990	0,963	0,166	0,698	1,001	1,001	Sim	Sim
13%10C°F	0,977	0,977	0,209	0,209	1,001	1,001	Sim	Sim
13%25C°F	1,004	0,963	0,397	0,698	0,999	0,999	Sim	Sim

TABELA 6 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $C_Q$  nos 6 modelos, considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).

Modelo	FD		p-valor		R		Estacionária	
	Tz	G	Tz	G	Tz	G	Tz	G
30%10°C	0,990	0,990	0,758	0,758	0,999	0,999	Sim	Sim
30%10C°F	0,990	0,990	0,758	0,758	1,001	1,001	Sim	Sim
13%10C°	0,990	0,990	0,758	0,758	1,001	1,001	Sim	Sim
13%25C°	0,977	0,977	0,134	0,344	0,999	0,999	Sim	Sim
13%10C°F	0,990	0,990	0,758	0,758	0,999	0,999	Sim	Sim
13%25C°F	1,018	0,977	0,977	0,344	1,000	1,000	Sim	Sim

TABELA 7 Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $\tau$  nos 6 modelos, considerando o teste de tetrazólio (Tz) e germinação (G).

Modelo	FD		p-valor		R		Estacionária	
	Tz	G	Tz	G	Tz	G	Tz	G
30%10°C	1,018	1,018	0,440	0,478	1,001	1,032	Sim	Sim
30%10°C°F	1,018	1,018	0,465	0,464	1,001	1,000	Sim	Sim
13%10°C°	1,018	1,018	0,432	0,432	0,999	0,998	Sim	Sim
13%25°C°	1,004	1,032	0,383	0,764	1,000	1,002	Sim	Sim
13%10°C°F	1,017	1,018	0,438	0,432	0,999	0,998	Sim	Sim
13%25°C°F	0,977	1,032	0,432	0,766	0,998	1,002	Sim	Sim

Tendo como base os resultados obtidos pelos critérios de convergência utilizados, descritos na Tabelas 3 a 7, pode-se dizer que todas as cadeias geradas pelo método MCMC atingiram a convergência requerida, com as 10.000 iterações utilizadas, em quaisquer dos dois testes para estimação da viabilidade da semente.

A convergência foi constatada em razão de os valores obtidos para o fator de dependência (FD) do critério de Raftery & Lewis (1992) terem sido sempre menores que 5 e os valores-p obtidos por meio do critério de Geweke (1992). Além disso, os valores obtidos para o fator R, introduzido por Gelman e Rubin (1992), foram próximos de 1 e o critério de Heidelberger & Welch indicou a estacionariedade da cadeia.

Os traços das cadeias MCMC para os parâmetros do modelo de Ellis & Roberts, e suas respectivas densidades *a posteriori*, estão apresentados nas Figuras 1 e 2. Nestas figuras estão representados resultados obtidos utilizando-se

o teste de tetrazólio, considerando 30%10°C (Modelo 1). Para os demais modelos e teste de germinação, os resultados encontram-se no Anexo.

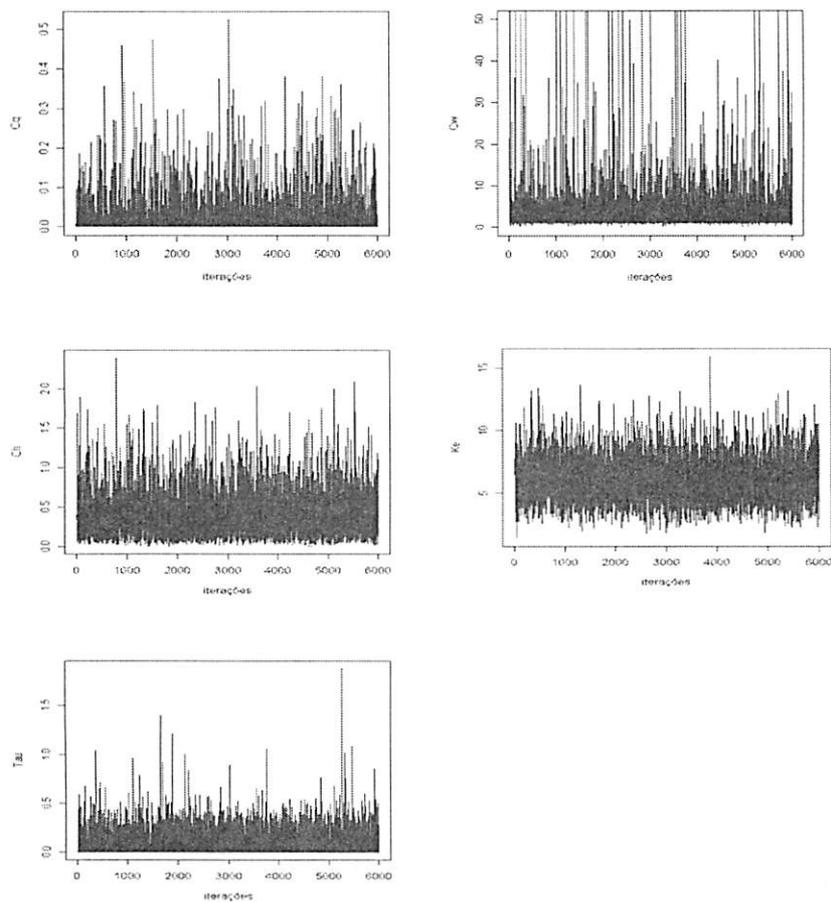


FIGURA 1 Traço das cadeias geradas pelo método MCMC para os parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  (teste de tetrazólio).

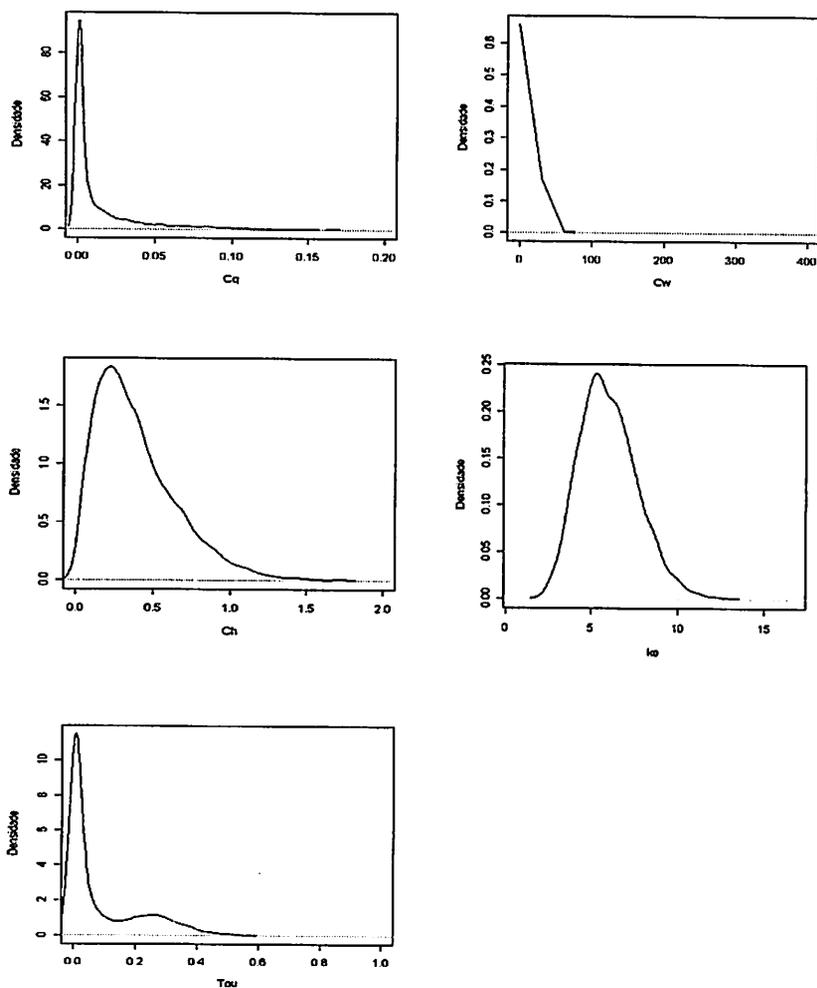


FIGURA 2 Densidades dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  (teste de tetrazólio).

Pode-se afirmar que a distribuição *a posteriori* do parâmetro  $K_e$  apresenta tendência à simetria, conforme se verifica na Figura 1. O mesmo não

se pode afirmar para o parâmetro  $C_h$ , para o qual se observou uma distribuição assimétrica à direita.

#### 4.4.2 Intervalos HPD e estimativas da média *a posteriori*

As estimativas das médias *a posteriori* obtidas para os parâmetros dos seis modelos, considerando os percentuais de viabilidade do teste de tetrazólio e germinação, bem como os respectivos desvios padrões, estão descritos na Tabela 8.

TABELA 8 Média e desvio padrão *a posteriori* para os parâmetros dos seis modelos considerados.

Modelo	Parâmetro	Média <i>a posteriori</i>		Desvio padrão	
		Tz	G	Tz	G
30%10°C	$K_e$	6,023	6,023	1,721	1,721
	$C_w$	5,593	4,962	84,651	86,471
	$C_H$	0,396	0,396	0,276	0,276
	$C_Q$	0,019	0,019	0,0436	0,044
	$\tau$	0,091	0,091	0,138	0,138
30%10°C <sub>F</sub>	$K_e$	6,023	6,023	1,721	1,721
	$C_w$	6,267	5,859	138,12	136,40
	$C_H$	0,396	0,396	0,276	0,276
	$C_Q$	0,019	0,019	0,044	0,044
	$\tau$	0,091	0,091	0,138	0,138
13%10°C	$K_e$	7,975	6,023	1,721	1,721
	$C_w$	6,789	6,172	134,42	138,42
	$C_H$	0,132	0,395	0,276	0,276

	$C_Q$	0,037	0,031	0,044	0,043
	$\tau$	0,096	0,096	0,140	0,140
13%25C°	$K_e$	8,275	5,983	1,725	1,728
	$C_W$	6,781	5,334	16,74	89,46
	$C_H$	0,135	0,401	0,284	0,279
	$C_Q$	0,013	0,020	0,043	0,043
	$\tau$	0,075	0,074	0,130	0,129
13%10C°F	$K_e$	6,022	6,022	1,719	1,721
	$C_W$	5,114	5,992	91,23	129,81
	$C_H$	0,395	0,395	0,276	0,276
	$C_Q$	0,028	0,041	0,043	0,043
	$\tau$	0,096	0,066	0,140	0,140
13%25C°F	$K_e$	7,999	7,983	1,715	1,728
	$C_W$	6,872	5,932	16,583	86,88
	$C_H$	0,193	0,283	0,276	0,279
	$C_Q$	0,010	0,011	0,042	0,043
	$\tau$	0,076	0,074	0,129	0,129

Tanto para o teste de tetrazólio quanto para o de germinação, os valores das estimativas das médias *a posteriori* são muito próximos entre si e de valores descritos na literatura. Os limites inferior e superior dos intervalos HPD estão descritos na Tabela 9.

TABELA 9 Limites inferior (LI) e superior (LS) dos intervalos HPD 95% para os parâmetros dos seis modelos considerados.

Modelo	Parâmetro	Limite Inferior (LI)		Limite superior (LS)	
		Tz	G	Tz	G
30%10°C	$K_e$	2,783e <sup>0</sup>	2,783e <sup>0</sup>	9,333	9,333
	$C_w$	3,963e <sup>-1</sup>	3,602e <sup>-1</sup>	11,176	8,899
	$C_H$	1,365e <sup>-2</sup>	1,365e <sup>-2</sup>	0,929	0,929
	$C_Q$	1,788e <sup>-20</sup>	1,788e <sup>-20</sup>	0,098	0,098
	$\tau$	3,669e <sup>-20</sup>	3,669e <sup>-20</sup>	0,364	0,364
30%10C°F	$K_e$	2,783e <sup>0</sup>	2,783e <sup>0</sup>	9,333	9,333
	$C_w$	3,569e <sup>-1</sup>	3,475e <sup>-1</sup>	12,409	9,931
	$C_H$	1,365e <sup>-2</sup>	1,365e <sup>-2</sup>	0,929	0,929
	$C_Q$	1,788e <sup>-20</sup>	1,788e <sup>-20</sup>	0,098	0,098
	$\tau$	3,669e <sup>-20</sup>	3,669e <sup>-20</sup>	0,364	0,364
13%10C°	$K_e$	2,783e <sup>0</sup>	2,783e <sup>0</sup>	9,333	9,333
	$C_w$	3,249e <sup>-1</sup>	3,267e <sup>-1</sup>	10,760	10,539
	$C_H$	1,365e <sup>-2</sup>	1,365e <sup>-2</sup>	0,939	0,929
	$C_Q$	1,788e <sup>-20</sup>	1,788e <sup>-20</sup>	0,098	0,098
	$\tau$	3,669e <sup>-20</sup>	3,669e <sup>-20</sup>	0,369	0,369
13%25C°	$K_e$	2,84e <sup>0</sup>	2,939e <sup>0</sup>	9,385	9,435
	$C_w$	8,443e <sup>-1</sup>	7,897e <sup>-1</sup>	6,999	7,148
	$C_H$	7,821e <sup>-3</sup>	1,439e <sup>-2</sup>	0,947	0,945
	$C_Q$	1,222e <sup>-22</sup>	5,808e <sup>-27</sup>	0,100	0,103
	$\tau$	1,173e <sup>-18</sup>	1,174e <sup>-18</sup>	0,335	0,335

13%10C°F	$K_e$	2,783e <sup>0</sup>	2,783e <sup>0</sup>	9,333	9,333
	$C_w$	4,920e <sup>-1</sup>	3,271e <sup>-1</sup>	9,449	10,369
	$C_H$	1,365e <sup>-2</sup>	1,36e <sup>-2</sup>	0,927	0,928
	$C_Q$	1,788e <sup>-20</sup>	1,788e <sup>-20</sup>	0,098	0,098
	$\tau$	3,669e <sup>-20</sup>	3,669e <sup>-20</sup>	0,369	0,369
13%25C°F	$K_e$	2,936e <sup>0</sup>	2,939e <sup>0</sup>	9,398	9,435
	$C_w$	9,419e <sup>-1</sup>	7,529e <sup>-1</sup>	6,996	7,066
	$C_H$	1,141e <sup>-2</sup>	1,439e <sup>-2</sup>	0,926	0,944
	$C_Q$	5,883e <sup>-21</sup>	5,883e <sup>-27</sup>	0,096	0,103
	$\tau$	4,233e <sup>-18</sup>	1,174e <sup>-18</sup>	0,335	0,335

Ainda em relação aos resultados apresentados na Tabela 9, pode-se afirmar que, de forma geral, a metodologia utilizada foi eficiente, pois os intervalos de credibilidade não contêm o valor zero e incluem valores dos parâmetros do modelo de Ellis e Roberts (1980) descritos na literatura, alguns deles citados na Seção 2.5.

#### 4.4.3 Comparação dos modelos

Ao comparar os modelos utilizando o fator de Bayes, o objetivo é verificar em quais condições de armazenamento obteve-se o melhor ajuste, o que significa que o comportamento da viabilidade da semente se mostrou mais adequado ao se armazenar a semente.

As seguintes comparações foram feitas:

. modelos 1 e 2: armazenamento de sementes úmidas em câmara fria, diferindo no fato de as sementes não terem recebido tratamento fungicida ou terem sido previamente tratadas;

. modelo 1 e 3: armazenamento, em câmara fria, de sementes não tratadas com fungicida, considerando sementes úmidas e secas;

. modelos 2 e 5: armazenamento em câmara fria de sementes tratadas com fungicida, considerando sementes úmidas e secas;

. modelos 4 e 3: sementes secas e não tratadas com fungicida, em armazém convencional e em ambiente refrigerado;

. modelos 6 e 7: sementes secas e tratadas com fungicida, em armazém convencional e em ambiente refrigerado.

Os resultados dessas comparações estão apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 Fator de Bayes (FB) das comparações consideradas.

Modelos confrontados	Teste de Tetrazólio	Teste de Germinação
	FB	FB
1 e 2	1,116	1,198
1 e 3	1,115	1,199
2 e 5	1,083	1,157
4 e 3	0	0
6 e 5	0	0

De acordo com o critério de decisão do fator de Bayes, apresentado na Tabela 2, em relação à comparação dos modelos 1 e 2, existe evidência muito fraca a favor do modelo 1 (30%10C). Dessa forma, conclui-se que o armazenamento de sementes úmidas em câmara fria é mais eficiente em relação à manutenção da viabilidade quando as sementes não foram tratadas com fungicida.

Comprando-se os modelos 1 e 3, conclui-se que o armazenamento refrigerado de sementes úmidas é mais eficiente que o armazenamento nas mesmas condições de sementes secas, quando estas não recebem tratamento fungicida. O mesmo ocorre quando as sementes são previamente tratadas (comparação dos modelos 2 e 5). Tal afirmação se baseia no fato de o FB, para ambos os testes, ser maior que 1.

O fator de Bayes (FB), para ambos os testes, comparando-se os modelos 4 e 3 permite concluir, já que este valor é 0, que o armazenamento de sementes secas não tratadas com fungicida em ambiente refrigerado é mais eficiente para a manutenção da viabilidade das sementes quando comparado com o armazenamento em armazém convencional.

Por fim, e pelo mesmo descrito acima, o armazenamento em ambiente refrigerado de sementes secas tratadas com fungicida é preferível ao armazenamento em armazém convencional.

#### **4.4.4 Simulação da longevidade das sementes armazenadas**

As estimativas das médias *a posteriori* de cada um dos parâmetros, para os seis modelos, considerando-se o teste de germinação (G) e de tetrazólio (Tz), foram utilizadas para gerar percentuais de viabilidade para um período de 52 semanas (aproximadamente 1 ano).

Para o teste de germinação, em três condições de armazenamento, as viabilidades, ao final de 52 semanas, foram maiores que 70% (valor aceito para

a comercialização dos lotes de sementes de café): 13%10°C<sub>CF</sub>, a qual apresentou 90,67% de viabilidade ao final do período considerado; 13%10°C, com viabilidade de 86,7% e 30%10°C<sub>CF</sub>, com 78,33%. Para as outras três condições, os resultados foram: 13%25°C, viabilidade ao final de 52 semanas de 58,6%, sendo o valor de 70,51% obtido após 38 semanas de armazenamento da semente; 13%25°C<sub>CF</sub>, viabilidade ao final de 54,92% e 70,48%, após 35 semanas de armazenamento e 30%10°C, com viabilidade, ao final do período considerado, de 36,2%, tendo o percentual de 79,46% sido obtido na 24ª semana. Os comportamentos das seis condições de armazenamentos podem ser vistos na Figura 3.

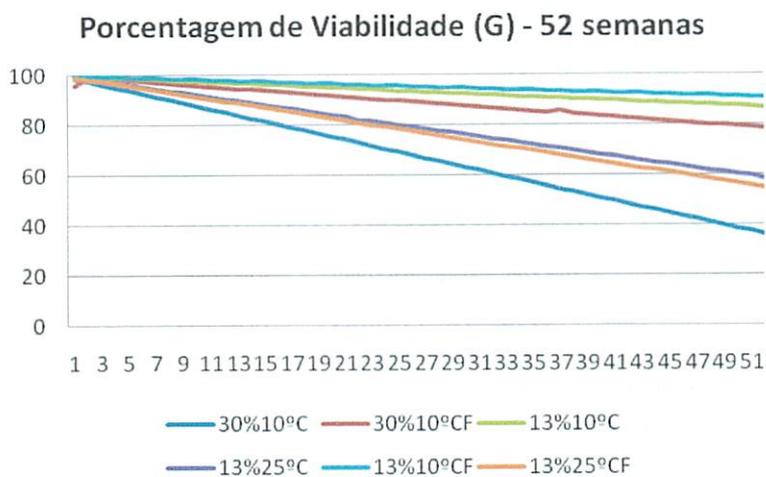


FIGURA 3 Viabilidades simuladas (G) para 52 semanas considerando as 6 condições de armazenamento.

Para o teste de tetrazólio, as viabilidades, ao final de 52 semanas, foram conforme descrito a seguir: considerando a condição de 30%10°C, 70,15% na

52ª semana; para 30%10°C, obteve-se, ao final, 86,21% de viabilidade da semente, 93,81% para a condição de 13%10°C e 78,05% para sementes armazenadas sob a condição de 13%25°C. Para o armazenamento a 13%10°C, a porcentagem de viabilidade final foi de 90,67% e, para 13%25°C, 64,57% ao final da 52ª semana, sendo a viabilidade, na 44ª semana, de 70%. Para as seis condições de armazenamento, os comportamentos estão descritos na Figura 4.

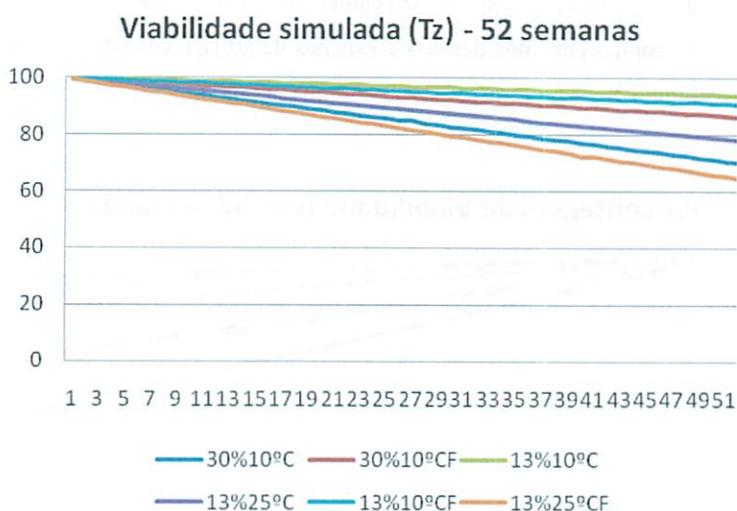


FIGURA 4 Viabilidades simuladas (Tz) para 52 semanas considerando as 6 condições de armazenamento.

As diferenças encontradas no comportamento da viabilidade em algumas das condições de armazenamento, considerando o teste de Tz e G, podem ser explicadas pelo número de plântulas anormais infeccionadas, as quais afetam os resultados do teste de tetrazólio, mas não a viabilidade de semente.

## 5 CONCLUSÕES

A abordagem bayesiana apresenta bons resultados ao ser aplicada na estimação dos parâmetros do modelo de longevidade, visto que os intervalos HPD construídos contêm as estimativas para os coeficientes do modelo de Ellis e Roberts (1980) descrito na literatura.

Os intervalos HPD (95%) construídos para os parâmetros do modelo de Ellis e Roberts (1980) contemplam os valores descritos para cada um destes na literatura.

Para sementes de café úmidas, tratadas e não tratadas com fungicida, os valores para os parâmetros foram:  $K_e = 6,023$ ,  $C_H = 0,396$  e  $C_q = 0,019$ . Para  $C_w$ , obtiveram-se dois valores: 7,593 e 9,767, respectivamente.

Para sementes de café secas, os valores dos parâmetros diferiram quando as temperaturas de armazenamento e o tratamento ou não com fungicida eram modificados, contudo, apresentam valores próximos e dentro dos intervalos HPD (95%).

O armazenamento de sementes úmidas em câmara fria é mais eficiente em relação à manutenção da viabilidade quando as sementes não foram tratadas com fungicida.

O armazenamento refrigerado de sementes úmidas é mais eficiente que o armazenamento nas mesmas condições de sementes secas, quando estas recebem ou não tratamento fungicida.

O armazenamento de sementes secas não tratadas com fungicida em ambiente refrigerado é mais eficiente para a manutenção da viabilidade das sementes, quando comparado com o armazenamento em armazém convencional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, D. M. C.; GROTH, D.; RAZERA, L. F. Armazenamento de sementes de café (*Coffea canephora*, L. cv. *Guarini*) acondicionadas em dois tipos de embalagens após secagem natural e artificial. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 15, n. 1, p. 87-95, jan./abr.1993.
- ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, P. C.; PEREIRA, O. A. Influência da temperatura de secagem na germinação de sementes de café. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 11, n. 1/3, p. 69-75, jan./dez. 1989.
- ARAUJO, R. F.; ARAUJO, E. F.; CECON, P. R.; SOFIATTI, V. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) despulpado e não despulpado. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 30, n. 3, p. 71-78, set./dez. 2008.
- BENDAÑA, F. E. Fisiologia de lãs semillas de café. I. Problemas relativos AL almacenamiento-café. **Turrialba**, San José, v. 15, n. 4, p. 93-96, out./dez. 1962.
- BOX, G. E. P.; TIAO, G. C. **Bayesian inference in statistical analysis**. New York: J. Wiley, 1992. 603 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 1992. 365 p.
- CARLIN, B. P.; LOUIS, T. A. **Bayes and empirical bayes methods for data analysis**. 2. ed. London: Champan and Hall, 2000. 419 p.
- CARNEIRO, J. G. A.; AGUIAR, I. B. Armazenamento de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, 1993. p. 333 -350.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência e tecnologia de produção**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 429 p.
- CHIB, S.; GREENBERG, E. Understanding the Metropolis-Hastings algorithm. **The American Statistician**, Salt Lake, v. 49, n. 4, p. 327-345, Nov. 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2009, primeira estimativa, Janeiro/2010.**

Brasília, 2010. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/5cafe\\_10.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/5cafe_10.pdf) >. Acesso em: 20 jan. 2010.

COUTURON, E. Mantenimiento de la viabilidad de las semillas de cafetos por el control de su contenido en agua y de la temperatura de almacenamiento. **Cafe Cacao**, Paris, v. 24, n. 1, p. 27-32, Jan./Mar. 1980.

COWLES, S. G.; CARLIN, B. P. Markov chain Monte Carlo convergence diagnostics: a comparative review. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 91, n. 434, p. 883-904, June 1996.

DELOUCHE, J. C.; STILL, T. W.; RASPET, M.; LIENHARD, M. **O teste de tetrazólio para viabilidade da semente.** Brasília: Agiplan, 1976. 103 p.

DIAS, M. C. L. L.; BARROS, A. S. R. Conservação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 15, n. 2, p. 197-202, jul./dez. 1993.

DICKIE, J. B.; ELLIS, R. H.; KRAAK, H. L.; RYDER, K.; TOMPSETT, P. B. Temperature and seed storage longevity. **Annals of Botany**, London, v. 65, n. 2, p. 197-204, Feb. 1990.

EIRA, M. T. S.; WALTERS, C.; CALDAS, L. S.; FAZUOLI, L. C.; SAMPAIO, J. B.; DIAS, M. C. L. L. Tolerance of *Coffea* spp. seeds to desiccation and low temperature. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 97-105, jul. 1999.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behavior? : (I) coffee. **Journal of Experimental Botany**, Ottawa, v. 41, n. 230, p. 1167-1174, Sept. 1990.

ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour?: (II) effects of provenance, immaturity, and imbibition on desiccation-tolerance in coffee. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 5, p. 653-657, May 1991.

ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. Improved equations for the prediction of seed longevity. **Annals of Botany**, London, v. 45, n. 1, p. 13-30, Jan. 1980.

- ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. The qualification of aging and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 9, n. 2, p. 373-409, July/Dec. 1981.
- FRANCISCO, F. G. **Constantes de viabilidade para sementes de feijoeiro dos cultivares Tibatã e Uma**. 2006. 51 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas.
- GAMERMAN, D. **Markov Chain Monte Carlo: stochastic simulation for bayesian inference**. Londres: Chapman e Hall, 1997. 245 p.
- GELMAN, A.; CARLIN, J. B.; STER, H. S.; RUBIN, D. B. **Bayesian data analysis**. Boca Raton: CRC, 2000. 526 p.
- GELMAN, A.; RUBIN, D. B. Inference from iterative simulation using multiple sequence. *Statistical Science*, Hayward, v. 7, n. 4, p. 457-511, Nov. 1992.
- GENTIL, D. F. O. de; SILVA, W. R. S. de; MIRANDA, D. M. de. Grau de umidade e temperatura na conservação de sementes de café. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 1, p. 53-64, jun. 2001.
- GEWEKE, J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to calculating posterior moments. In: BERNARDO, J. M.; BERGER, J. O.; DAWID, A. P.; SMITH, A. F. M. (Ed.). **Bayesian Statistics 4**. Oxford: University, 1992. p. 169-193.
- GUIMARAES, R. M. **Tolerância à dessecação e condicionamento fisiológico em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica*, L.)**. 2000. 180 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- HASTINGS, W. K. Monte Carlo sampling methods using Markov Chain and their applications. *Biometrika*, London, v. 57, n. 1, p. 97-109, Apr. 1970.
- HEIDELBERG, P.; WELCH, P. Simulation run length control in the presence of an initial transient. *Operations Research*, Landing, v. 31, n. 6, p. 1109-1144, Nov./Dec. 1993.
- HONG, T. D.; ELLIS, R. H. Interspecific variation in seed storage behaviour within two genera: coffee and citrus. *Seed Science and Technology*, Zurich, v. 23, n. 1, p. 165-181, Jan./June 1995.

HONG, T. D.; LININGTON, S.; ELLIS, R. H. **Seed storage behaviour: a compendium**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 120p.

JEFFREYS, H. **Theory of probability**. Oxford: Clarendon, 1961. 53 p.

KASS, R. E.; RAFTERY, A. E. Bayes factors. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 90, n. 430, p. 773-795, June 1995.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D. Deterioração controlada. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218 p.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MAURI, A. L. **Equacionamento da qualidade inicial de sementes de soja, utilização no modelo de probit e suas aplicações**. 2004. 44 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MEDEIROS, A. C. S. **Comportamento fisiológico, conservação de germoplasma a longo prazo e previsão de longevidade de sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. All) Engl.)**. 1996. 127 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal.

METROPOLIS, N.; ROSENBLUTH, A. W.; ROSENBLUTH, M. N.; TELLER, A. H.; TELLER, E. Equations of state calculations by fast computing machines. **Journal of Chemical Physics**, Chicago, v. 21, n. 6, p. 1087-1092, June 1953.

MIRANDA, J. M.; CARVALHO, M. M. de; CARVALHO, M. L. de; VIEIRA, M. das G. Estudos de alguns fatores que influenciam a duração da viabilidade de sementes de café. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 15, n. 2, p. 215-220, jul./dez. 1993.

NELLIST, M. E. Predicting the viability of seeds dried with heated air. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 9, n. 2, p. 439-455, July/Dec. 1981.

NOGUEIRA, D. A.; SÁFADI, T.; FERREIRA, D. T. Avaliação de critérios de convergência para o método de Monte Carlo via Cadeias de Markov. **Revista Brasileira de Estatística**, Rio de Janeiro, v. 65, n. 224, p. 59-88, mar. 2004.

PAULINO, C. D.; TURKMAN, M. A. A.; MURTEIRA, B. **Estatística Bayesiana**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2003. 444 p.

POPININGS, F. **Fisiologia de sementes**. Brasília: Agriplan, 1985. 285 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2009. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 24 fev. 2010.

RAFTERY, A. L.; LEWIS, S. How many iterations in the Gibbs sampler? In: BERNARDO, J. M.; BERGER, J. O.; DAWID, A. P.; SMITH, A. F. M. **Bayesian statistics**. Oxford: Oxford University, 1992. p. 763-774.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 13-85.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 1, n. 3, p. 499-514, July/Sept. 1973.

ROBERTS, E. H.; KING, M. W.; ELLIS, R. H. Recalcitrant seeds: their recognition and storage. In: HOLDEN, J. H. W.; WILLIAMS, J. T. (Ed.). **Crop genetic resources: conservation and evaluation**. London: Alien and Unwin, 1984. p. 38-52.

SILVA, F. A. P. **Efeito da temperatura, teor de umidade e embalagem no armazenamento de sementes de feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris L.*) e modelamento matemático da sua longevidade**. 1998. 82 p. Tese (Doutorado Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, F. F. de; SÁFADI, T. MUNIZ, J. A.; AQUINO, L. H. de; MOURÃO, G. B. Comparação bayesiana de modelos de previsão de diferenças esperadas nas progênies no melhoramento genético de gado Nelore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 37-45, jan. 2008.

SILVA, W. R.; DIAS, M. C. L. de L. Interferência do teor de umidade das sementes de café na manutenção de sua qualidade fisiológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 5, p. 551-560, maio 1985.

SMITH, B. J. **Bayesian output analysis program (BOA): version 1.1.5 for R**. Iowa: Convergence Diagnosis and Output Analysis Software for Gibbs, 2005. Disponível em: <<http://www.public-health.uiowa.edu/boa>>. Acesso em: 24 fev. 2010.

VALIO, I. F. M. Germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. Cv. Mundo Novo). **Journal of Experimental Botany**, London, v. 27, n. 100, p. 983-991, Sept. 1976.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, R. M.; PEREIRA, C. E.; CARVALHO, F. E. Armazenamento de sementes de cafeeiro: ambientes e métodos de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 29, n. 1, p. 76-82, jan./abr. 2007.

VIEIRA, M. G. G. C.; GUIMARÃES, R. M.; PINHO, E. V. R. V.; GUIMARÃES, R. J.; OLIVEIRA, J. A. **Testes rápidos para a determinação da viabilidade e da incidência de danos mecânicos em sementes de cafeeiro**. Lavras, 1998. (Boletim Agropecuário, 26).

VOSSSEN, H. A. M. Van Der. Methods of preserving the viability of coffee seed in storage. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 7, n. 1, p. 65-74, Jan./Mar. 1979.

## ANEXOS

ANEXO A		Página
FIGURA 1 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 30%10°C (Tz).....	64
FIGURA 2 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 13%10°C (Tz).	65
FIGURA 3 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 13%25°C (Tz).	66
FIGURA 4 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 13%10°C (Tz).	67
FIGURA 5 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 13%25°C (Tz).	68
FIGURA 6 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 30%10°C (G).	69
FIGURA 7 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 30%10°C (G).	70
FIGURA 8 A	Traços e densidades das distribuições marginais <i>a posteriori</i> dos parâmetros $C_Q$ , $C_W$ , $C_H$ , $K_e$ , e $\tau$ para 31%10°C (G).	71

- FIGURA 9 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%25°C (G). 72
- FIGURA 10 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%10°C (G). 73
- FIGURA 11 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%25°C (G). 74

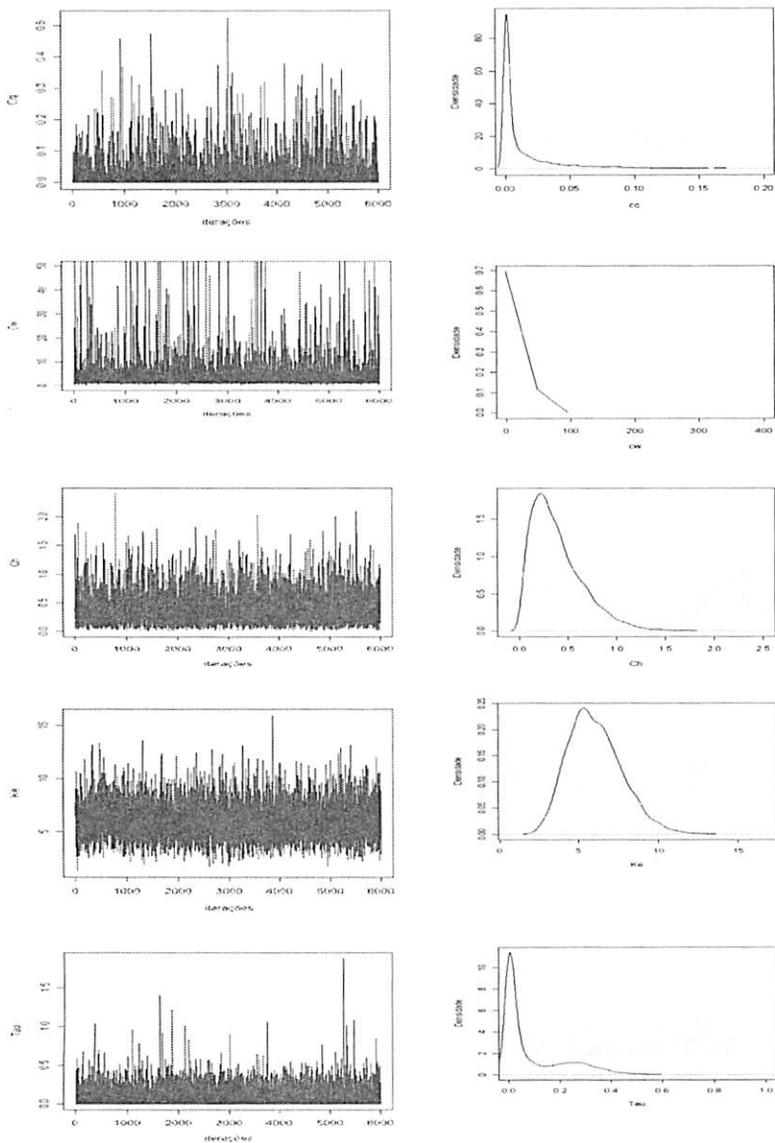


FIGURA 1 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 30%10°Cf (Tz).

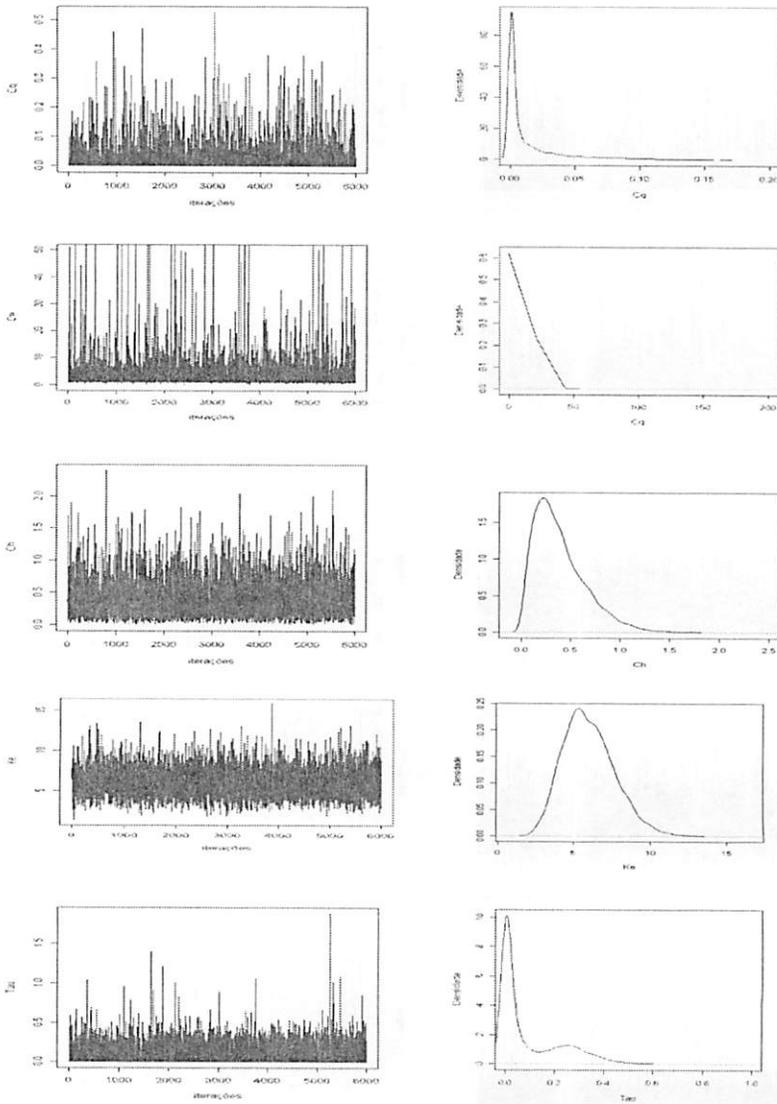


FIGURA 2 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%10°C (Tz).

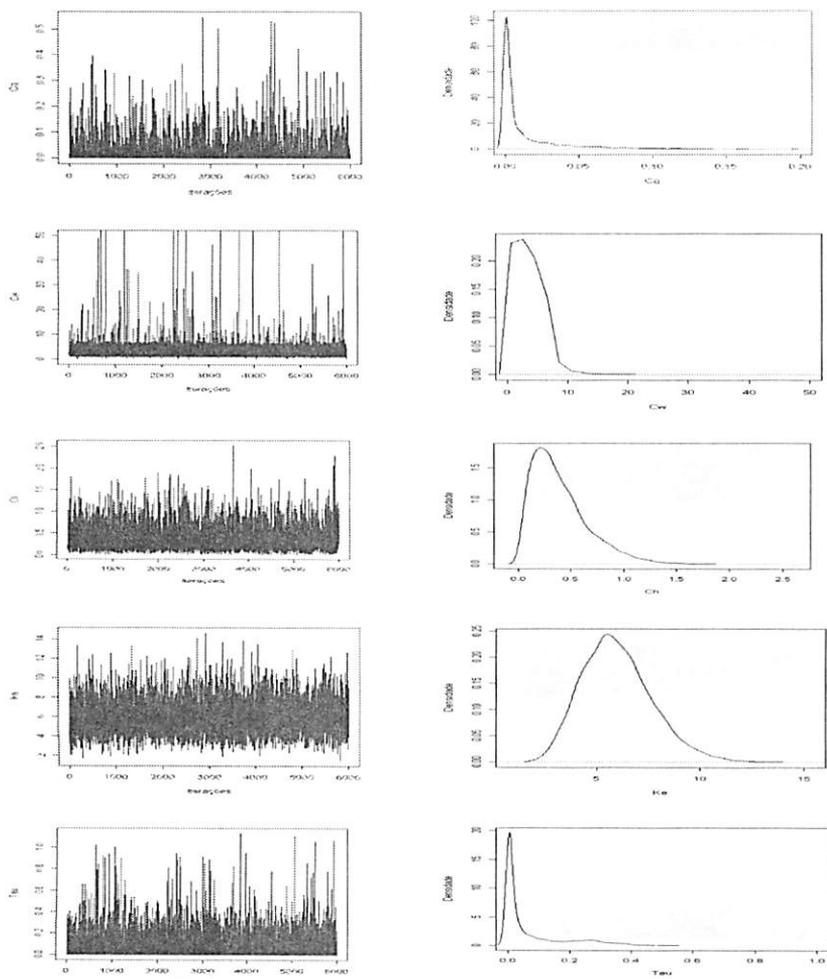


FIGURA 3 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%25°C (Tz).

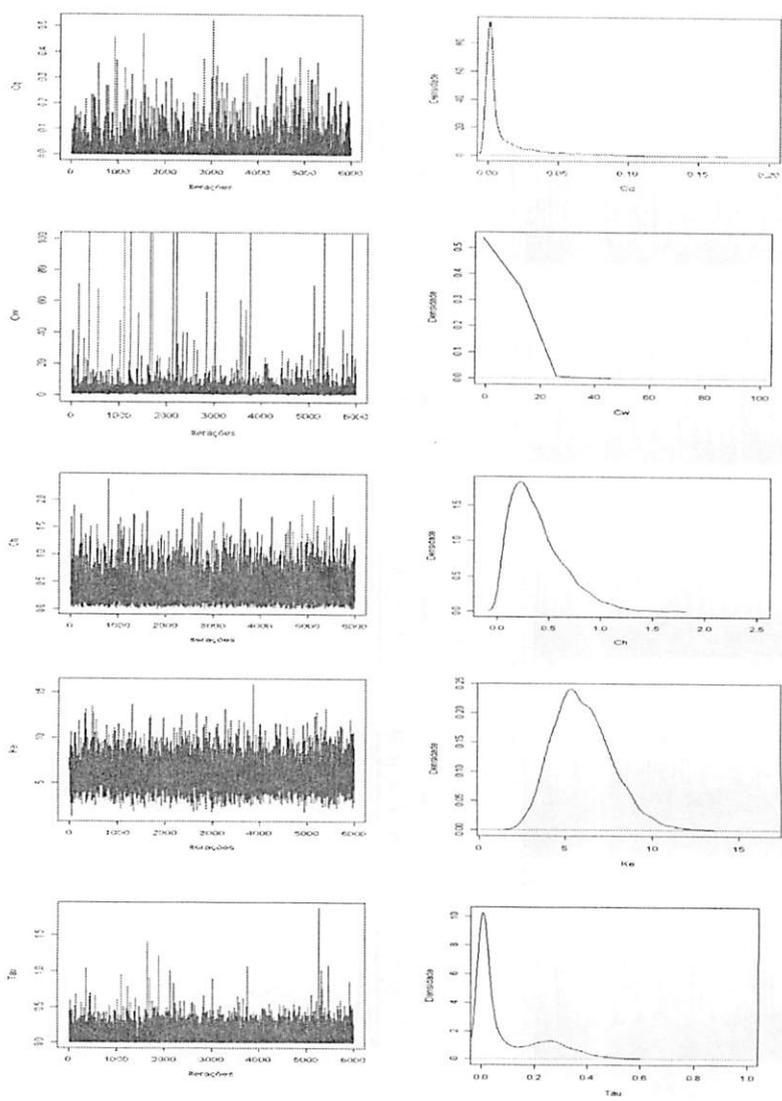


FIGURA 4 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%10°Cf (Tz).

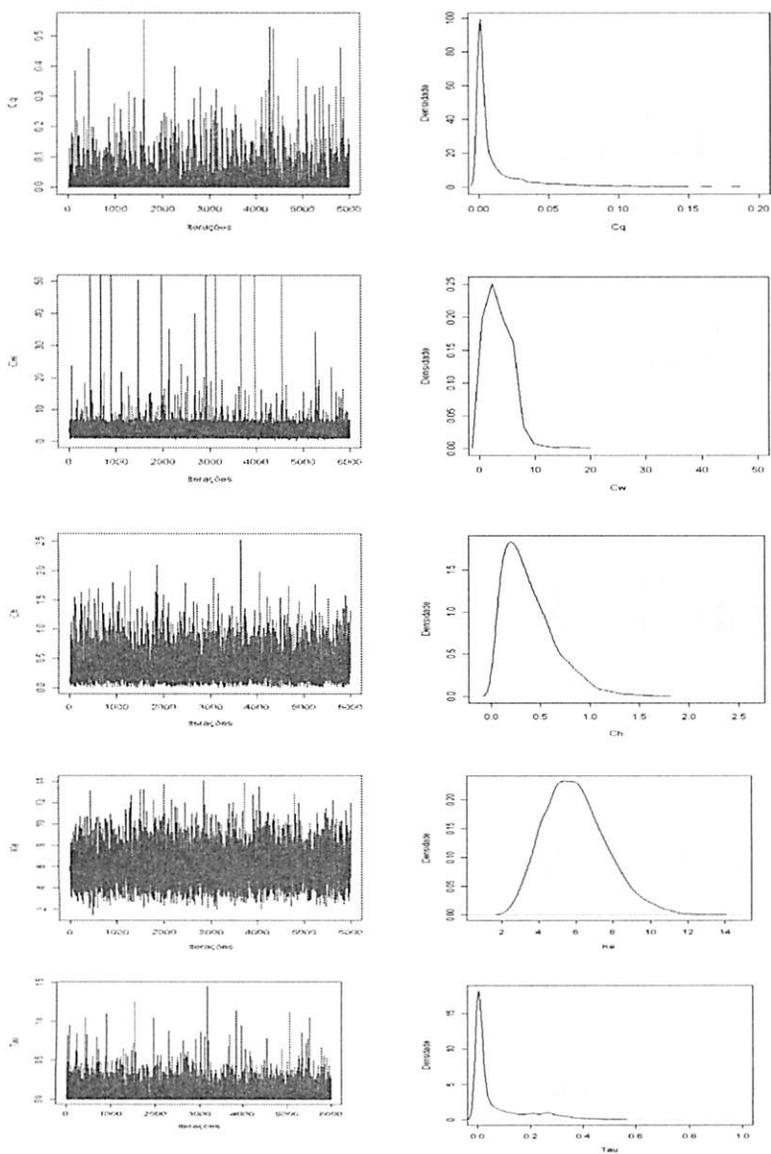


FIGURA 5 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%25°Cf (Tz).

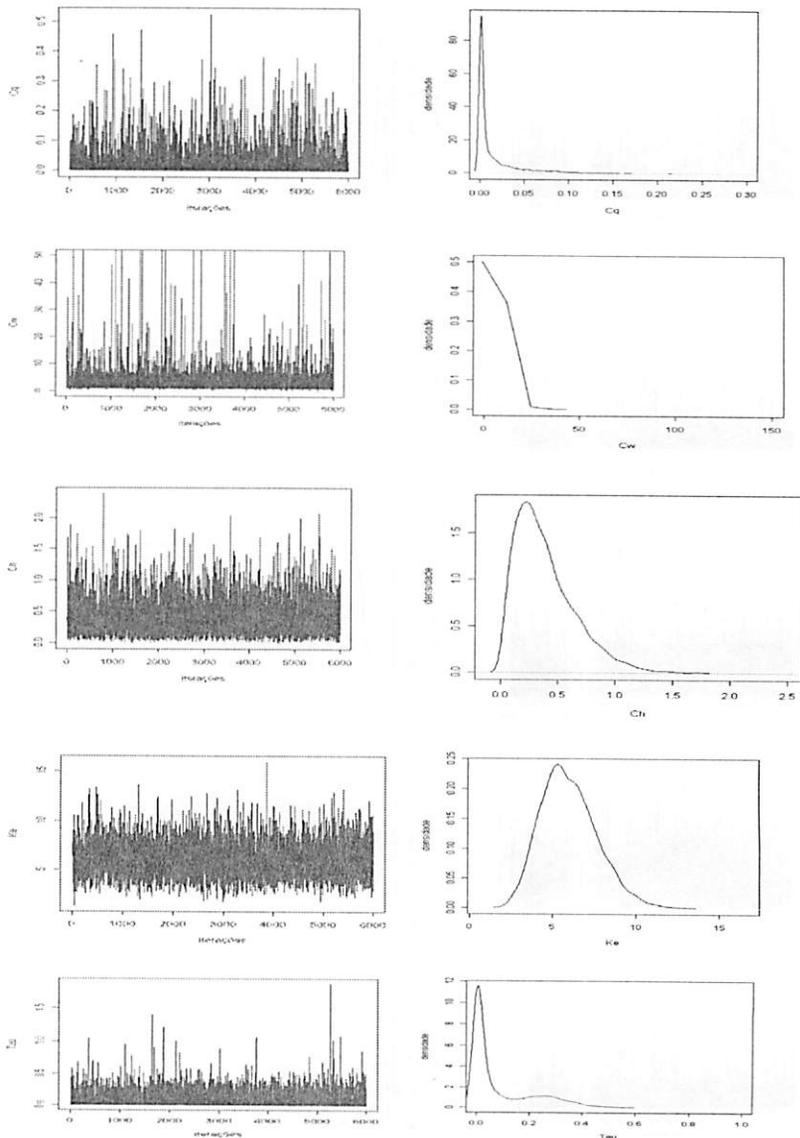


FIGURA 6 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 30%10°C (G).

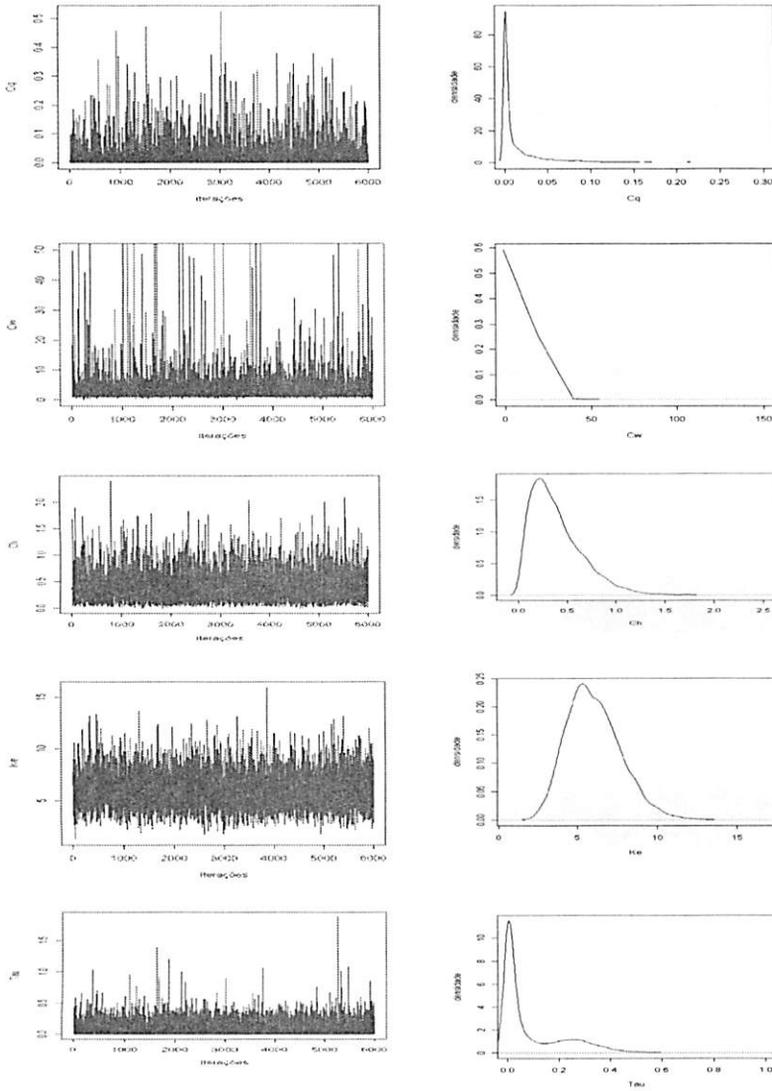


FIGURA 7 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 30%10<sup>o</sup>CF (G).

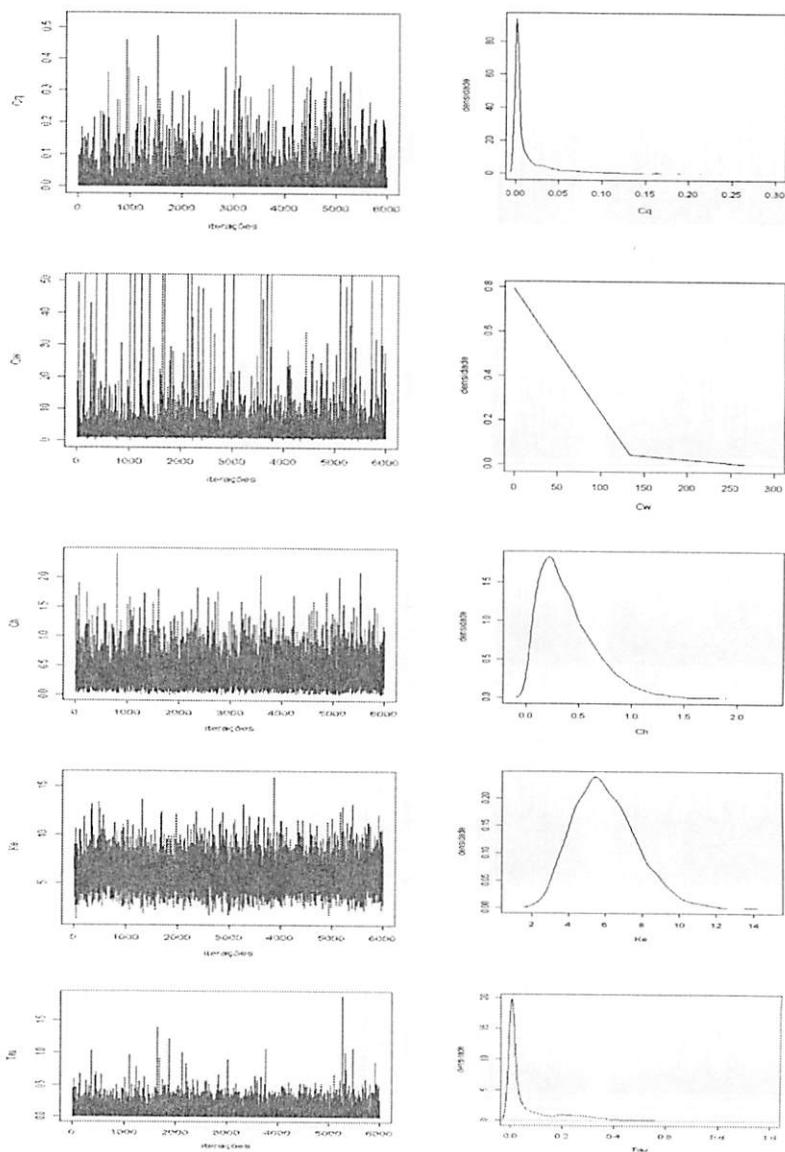


FIGURA 8 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 31%10°C (G).

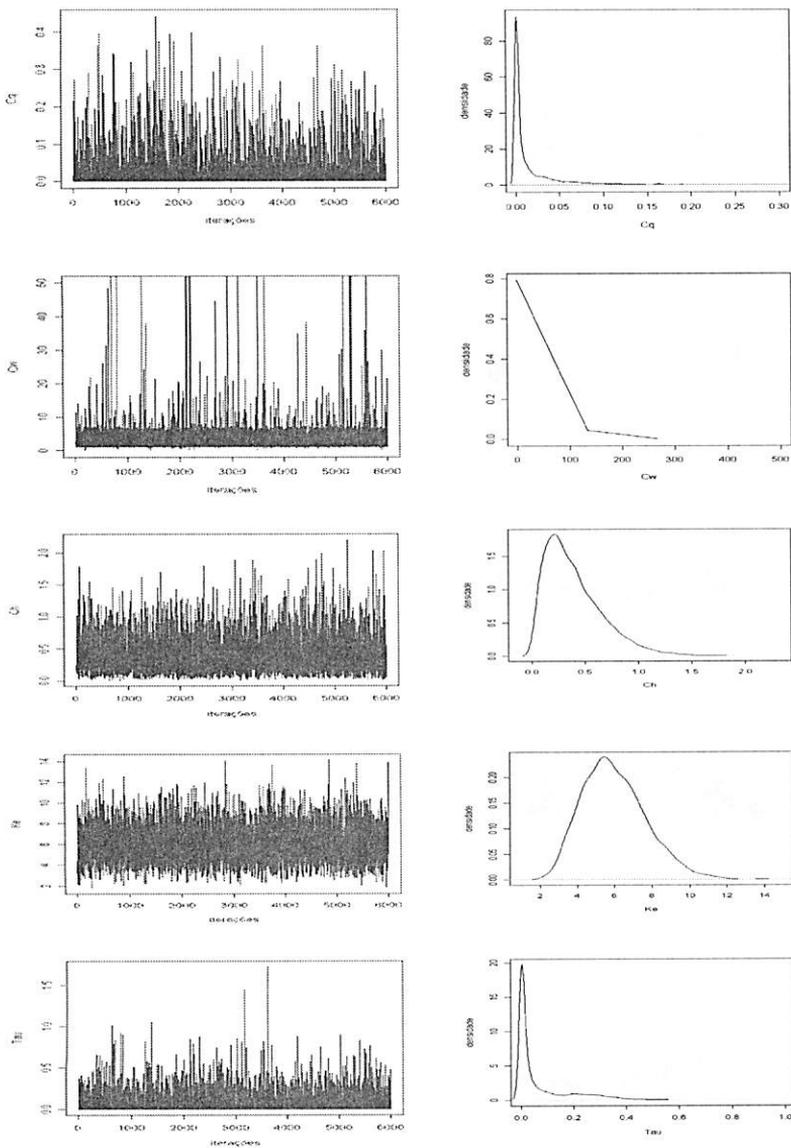


FIGURA 9 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%25°C (G).

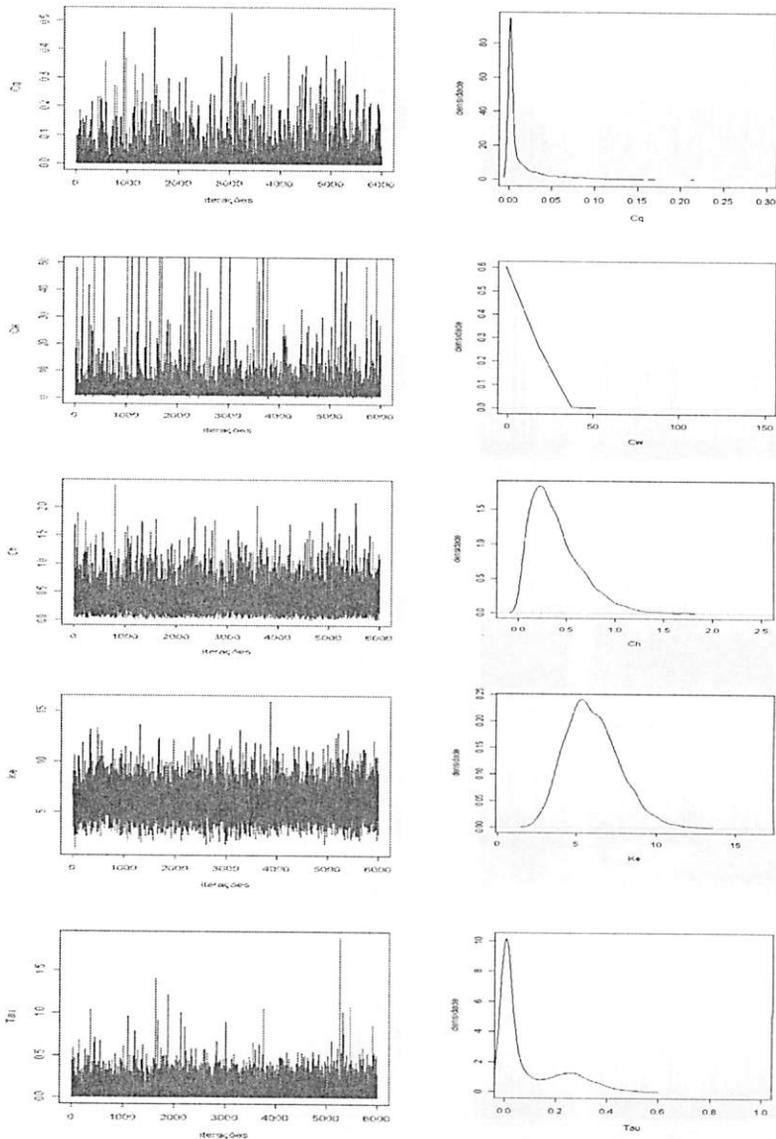


FIGURA 10 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%10°C(F) (G).

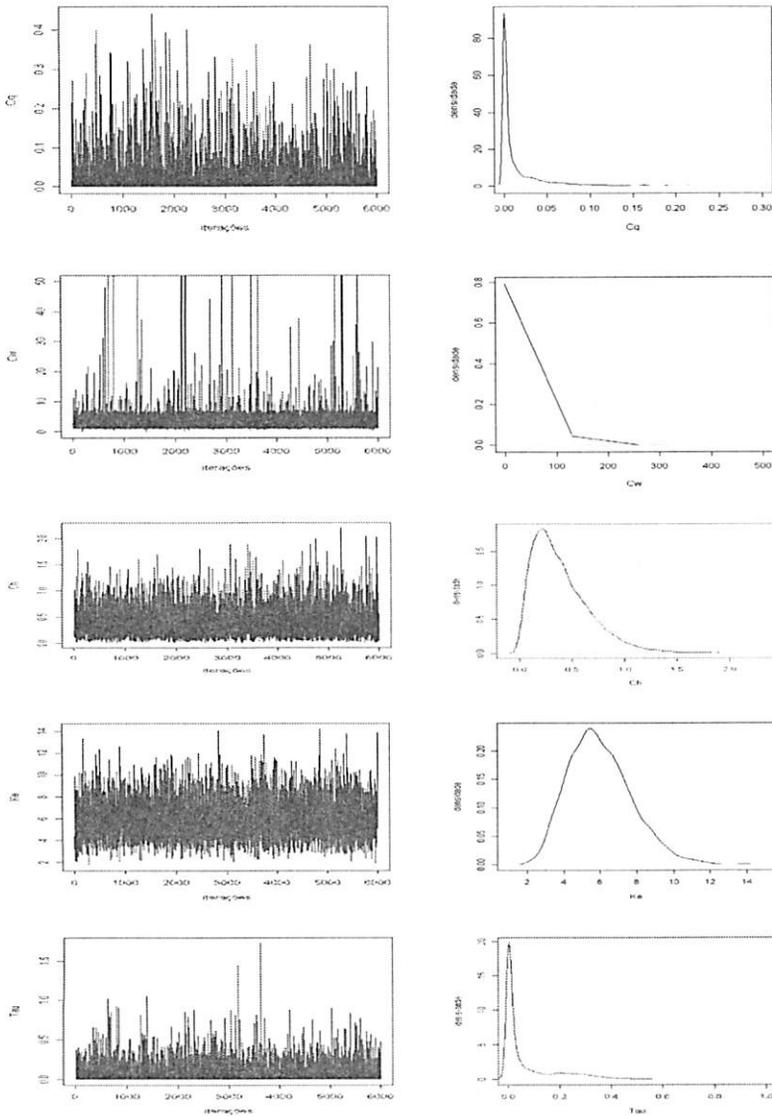


FIGURA 11 A Traços e densidades das distribuições marginais *a posteriori* dos parâmetros  $C_Q$ ,  $C_W$ ,  $C_H$ ,  $K_e$ , e  $\tau$  para 13%25°C F (G).

## ANEXOS

ANEXO B		Página
TABELA 1 B	Porcentagens de viabilidade obtidas experimentalmente pela aplicação do teste de tetrazólio para os seis modelos considerados.....	77
TABELA 2 B	Porcentagens de viabilidade obtidas experimentalmente pela aplicação do teste de viabilidade para os seis modelos considerados....	78
TABELA 3 B	Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD), p-valor do critério de Geweke, Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) e Teste de Heidelberg e Welch para o parâmetro $K_e$ nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação).....	79
TABELA 4 B	Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD), p-valor do critério de Geweke, Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) e Teste de Heidelberg e Welch para o parâmetro $C_W$ nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação).	79
TABELA 5 B	Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD), p-valor do critério de Geweke, Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) e Teste de Heidelberg e Welch para o parâmetro $C_H$ nos 6 modelos considerados(viabilidades resultantes do teste de germinação).....	80
TABELA 6 B	Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD), p-valor do critério de Geweke, Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) e Teste de Heidelberg e Welch para o	80

parâmetro  $C_0$  nos 6 modelos considerados  
(viabilidades resultantes do teste de  
germinação).....

**TABELA 7 B** Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD), p-valor do critério de Geweke, Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) e Teste de Heidelberger e Welch para o parâmetro  $\tau$  nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação)..... **81**

TABELA 1B Porcentagens de viabilidade obtidas experimentalmente pela aplicação do teste de tetrazólio para os seis modelos considerados.

Épocas \ Modelo	30%10°C	30%10°C CF	13%10°C	13%25°C	13%10°C CF	13%25°C CF
1	93%	96%	87%	89%	82%	85%
2	93%	97%	89%	87%	90%	91%
3	95%	97%	92%	94%	83%	83%
4	93%	97%	85%	86%	78%	86%
5	92%	96%	93%	94%	93%	92%
6	89%	95%	91%	92%	89%	95%
7	94%	92%	93%	94%	92%	89%
8	97%	97%	98%	92%	90%	92%
9	94%	95%	96%	89%	92%	94%
10	97%	93%	98%	96%	95%	95%
11	96%	96%	94%	87%	92%	95%
12	91%	97%	90%	92%	94%	96%
13	97%	95%	97%	94%	90%	90%
14	92%	94%	94%	95%	94%	95%
15	93%	92%	93%	95%	92%	96%
16	87%	95%	90%	92%	88%	97%

TABELA 2B Porcentagens de viabilidade obtidas experimentalmente pela aplicação do teste de germinação para os seis modelos considerados.

Épocas \ Modelo	30%10°C	30%10°C <sup>F</sup>	13%10°C	13%25°C	13%10°C <sup>F</sup>	13%25°C <sup>F</sup>
1	91,5	90,5	91,0	95,0	92,0	93,0
2	89,0	94,0	93,0	89,5	96,0	94,5
3	89,0	94,0	94,0	94,5	91,0	86,0
4	90,5	95,0	92,0	93,0	90,5	94,0
5	89,5	93,0	90,5	92,5	92,0	93,0
6	90,5	89,5	93,0	91,5	90,5	93,0
7	90,5	92,0	95,0	92,5	92,0	88,0
8	90,0	88,5	90,5	94,5	92,0	92,0
9	89,0	91,0	89,5	89,5	92,0	94,0
10	94,0	88,5	84,0	89,0	83,5	81,5
11	89,0	93,5	91,0	88,0	90,5	93,0
12	87,5	93,5	90,0	90,0	94,0	88,5
13	88,0	93,5	96,0	97,0	95,5	95,5
14	90,0	91,5	94,5	87,5	87,0	92,0
15	91,0	94,5	89,5	89,5	90,5	83,5
16	79,0	78,5	88,5	82,5	88,5	83,0

TABELA 3B Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $K_e$  nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação).

Modelo	FD	p-valor	R	Estacionária
30%10°C	0,963	0,232	1,001	Sim
30%10°C°F	0,963	0,233	0,999	Sim
13%10°C°	0,963	0,232	0,998	Sim
13%25°C°	1,032	0,268	1,000	Sim
13%10°C°F	0,963	0,233	1,006	Sim
13%25°C°F	1,032	0,268	0,999	Sim

TABELA 4B Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $C_W$  nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação).

Modelo	FD	p-valor	R	Estacionária
30%10°C	1,032	0,578	1,000	Sim
30%10°C°F	1,046	0,585	0,998	Sim
13%10°C°	1,004	0,548	1,001	Sim
13%25°C°	0,990	0,317	1,001	Sim
13%10°C°F	0,990	0,548	0,998	Sim
13%25°C°F	0,990	0,316	0,999	Sim

TABELA 5B Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $C_H$  nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação).

Modelo	FD	p-valor	R	Estacionária
U30T10FN	0,977	0,209	1,000	Sim
U30T10FS	0,977	0,209	0,997	Sim
U13T10FN	0,977	0,208	0,999	Sim
U13T25FN	0,963	0,698	1,001	Sim
U13T10FS	0,977	0,209	1,001	Sim
U13T25FS	0,963	0,698	0,999	Sim

TABELA 6B Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $C_Q$  nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação).

Modelo	FD	p-valor	R	Estacionária
U30T10FN	0,990	0,758	0,999	Sim
U30T10FS	0,990	0,758	1,001	Sim
U13T10FN	0,990	0,758	1,001	Sim
U13T25FN	0,977	0,344	0,999	<u>Sim</u>
U13T10FS	0,990	0,758	0,999	Sim
U13T25FS	0,977	0,344	1,000	Sim

TABELA 7B Fator de Dependência do critério de Raftery e Lewis (FD) (1992), p-valor do critério de Geweke (1992), Fator de Redução do critério de Gelman e Rubin (R) (1992) e Teste de Heidelberger e Welch (1993) para o parâmetro  $\tau$  nos 6 modelos considerados (viabilidades resultantes do teste de germinação).

Modelo	FD	p-valor	R	Estacionária
U30T10FN	1,018	0,478	1,032	Sim
U30T10FS	1,018	0,464	1,000	Sim
U13T10FN	1,018	0,432	0,998	Sim
U13T25FN	1,032	0,764	1,002	Sim
U13T10FS	1,018	0,432	0,998	Sim
U13T25FS	1,032	0,766	1,002	Sim