

Uma parametrização de um modelo não linear para inferência sobre o nível de dano econômico da desfolha no algodoeiro

Walmes Marques Zeviani*

Resumo

O efeito da desfolha sobre a qualidade e produtividade das culturas é informação fundamental para definir estratégias de manejo, como intensidade e frequência de pastejo e colheita até o estabelecimento de níveis de dano econômico de forma a auxiliar decisões sobre o controle de pragas desfolhadoras. Para a cultura do algodão, assim como para outras tantas, a redução da produção pela desfolha pode ser representada por uma função não linear monótona não crescente. Diversos modelos podem satisfazer essa restrição, no entanto, existe a preocupação de inferir sobre o nível de dano econômico, ϑ_q , pelo ajuste de um modelo. Dados de produção-desfolha do algodoeiro em função do estágio fenológico são considerados para inferir sobre o nível de dano econômico com os seguintes objetivos: 1) propor uma parametrização de modelo que representasse o parâmetro, 2) avaliar parametrizações alternativas por meio de medidas de não linearidade, 3) aplicar inferência baseada em verossimilhança, 4) selecionar um modelo para descrever a relação entre produção e desfolha do algodoeiro em função do estágio fenológico. O modelo reparametrizado apresentou menores medidas de não linearidade nos estágios fenológicos com pronunciada relação não linear. Nos restantes, as medidas de curvatura, as correlações dos estimadores e os gráficos de perfil de verossimilhança indicaram que um sub-modelo deveria ser considerado.

Palavras-chave: Interpretação de parâmetros. Verossimilhança. Método delta. Curvatura. *Gossypium hirsutum*.

1 INTRODUÇÃO

Em condições de campo, as culturas estão sujeitas à perdas de área foliar por diferentes causas, dentre elas o pastejo e a colheita periódica das folhas, o ataque de insetos desfolhadores e de doenças que causam sua queda ou necrose, as chuvas de granizo e a própria senescência natural são as mais frequentes. Uma desfolha significativa reduz o potencial fotossintético e, dependendo da intensidade e fase de crescimento da planta, ocasiona prejuízos à produção (????). Algumas

*Doutorando em Estatística e Experimentação Agropecuária, DEX/UFLA. Professor do Departamento de Estatística - UFPR. Contato: walmes@ufpr.br.

doenças e pragas, fitotoxicidade de pesticidas ou adubos, granizo e certas injúrias mecânicas são eventos comuns que causam desfolha em áreas de cultivo de algodão e que podem prejudicar a produção e qualidade do produto dessa cultura (??).

2 MODELO

A relação monótona não crescente entre produção e desfolha é a informação preliminar considerada para elaborar um modelo. Dentre as funções matemáticas que atendem à essa imposição, tem-se o modelo potência, chamado de modelo Herschel-Bulkley por ??), como opção,

$$f(x) = \theta_0 - \theta_1 x^{\theta_2}, \quad x \geq 0. \quad (1)$$

A desfolha, x (adimensional), assume valores entre 0 e 1. A produção normal, com unidade de medida representada por Y , prevista sem haver desfolha é representada pelo parâmetro θ_0 (Y), ou seja, $f(0) = \theta_0$. A redução na produção normal ao ocorrer uma desfolha total é $\theta_1 \geq 0$, ou seja, $f(0) - f(1) = \theta_1$. O parâmetro adimensional $\theta_2 > 0$ é um parâmetro de forma dessa relação, que é côncava se $\theta_2 > 1$, convexa se $0 < \theta_2 < 1$ e linear se $\theta_2 = 1$. É conveniente reescrever o modelo considerando a transformação $\theta_2 = \exp\{\theta_c\}$ uma vez que a função exponencial é positiva e que isso não compromete a interpretação do modelo em θ_2 que é apenas um parâmetro de forma. Dessa forma,

$$f(x) = \theta_0 - \theta_1 x^{\exp\{\theta_c\}}, \quad x \geq 0, \quad (2)$$

é uma função côncava para $\theta_c > 0$, convexa para $\theta_c < 0$ e linear quando $\theta_c = 0$ (Figura ??).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados considerados para ajuste do modelo são de um experimento, em casa de vegetação, com a cultura do algodão (*Gossypium hirsutum*). As unidades experimentais foram 2 plantas por vaso para registro da produção total de pluma com caroço (g). Os fatores estudados foram o nível de desfolha artificial (0, 25, 50, 75 e 100%), feita com tesoura em cada uma das folhas da planta conforme tais níveis, combinados com o estágio fenológico no qual a desfolha foi realizada (vegetativo, presença de botão floral, florescimento, presença de maçã e presença de capulho). O delineamento completamente ao acaso foi utilizado com cinco repetições, perfazendo $5 \times 5 \times 5 = 125$ unidades experimentais. O experimento foi realizado nas dependências da Universidade Federal de Grande Dourados no ano agrícola de 2007. Mais informações disponíveis em ??). Na Figura 1 tem-se o diagrama de dispersão dos valores observados de peso de capulhos produzidos (g) em cada estágio fenológico como função dos níveis de desfolha.

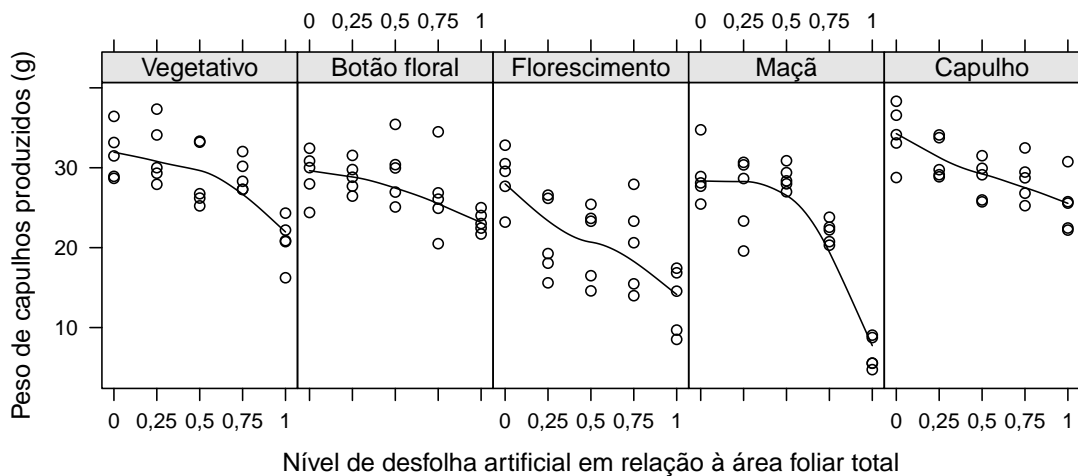


Figura 1: Peso de capulhos produzidos (g) em cada estágio fenológico como função dos níveis de desfolha artificial. Curvas suaves entre os pontos representam as tendências centrais

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ajustes dos modelos aos dados convergiram para os cinco estágios fenológicos, considerando o máximo de 50 interações. Valores iniciais baseados na inspeção do diagrama de dispersão foram considerados (Figura 1). As estimativas dos parâmetros comuns, θ_0 e θ_1 , foram idênticas, em termos pontuais e intervalares, nas duas parametrizações, como de fato devem ser pois ambas parametrizações descrevem o mesmo modelo (Tabela ??). Percebeu-se um resultado alarmante para o estágio de florescimento, no qual os intervalos de confiança para θ_0 e θ_1 foram demasiado amplos, superando inclusive a amplitude média de variação dos dados, de aproximadamente 5 g para cima e para baixo, ao redor da curva de tendência.

5 CONCLUSÕES

O propósito da reparametrização foi representar o nível de dano econômico no modelo. As parametrizações foram comparadas com relação aos métodos disponíveis para fazer inferência sobre o nível de dano econômico. A inferência baseada em verossimilhança foi mais adequada no sentido de auxiliar a seleção de modelos. Além do mais, verificou-se que as medidas de curvatura e inspeção da matriz de covariâncias das estimativas também são úteis no processo de seleção de modelos. Nos estágios com pronunciada relação linear para produção-desfolha, o modelo reparametrizado apresentou melhores propriedades inferenciais. O algodoeiro responde de forma diferenciada à desfolha em cada estágio fenológico.

REFERÊNCIAS

6 Anexos

ANEXO A: Código R reproduzível correspondente ao ajuste do modelo potência reparametrizado para inferência sobre o nível de dano econômico da desfolha no algodoeiro. Disponível online em: <http://www.leg.ufpr.br/~walmes /TESE/anexoDESF.R>

```
##=====
## Uma parametrização de um modelo não linear para inferência
## sobre o nível de dano econômico da desfolha no algodoeiro
##
##                               Walmes Marques Zeviani
##                               walmes@ufpr.br
##=====

##-----
## Definições da sessão.

require(lattice)
require(car)
require(bbmle)
require(plyr)
require(reshape)

##-----
## Carrega os dados.

url <- "http://www.leg.ufpr.br/~walmes/data/ZevianiTeseDESF.txt"
da <- read.table(url, header=TRUE, sep="\t")
da$estágio <- factor(da$estágio,
                    levels=c("Vegetativo", "Botão floral",
                             "Florescimento", "Maça", "Capulho"))

str(da)

##-----
## Visualiza os dados.

xyplot(peso~desfolha|estágio, data=da)

##-----
## Define funções que retornam F e H para obter medidas de
## curvatura.

## modelo potência original
m.0 <- deriv3(~theta0-theta1*x^exp(thetac),
              c("theta0", "theta1", "thetac"),
              function(x, theta0, theta1, thetac){ NULL })

## modelo potência reparametrizado para dano econômico
## valor de q=5, mudar se for o caso dentro da fórmula
m.DE <- deriv3(~theta0-theta1*x^((log(5)-log(theta1))/log(varthetaq)),
              c("theta0", "theta1", "varthetaq"),
```

```

function(x, theta0, theta1, varthetaq){ NULL })

##-----
## Ajusta as parametrizações separado por estágio fenológico.

da.e <- split(da, f=da$estágio)
str(da.e)

a0 <- lapply(da.e, nls,
             formula=peso~m.0(desfolha+0.02,
                               theta0, theta1, thetac),
             start=list(theta0=30, theta1=8, thetac=1))
lapply(a0, summary)

aDE <- lapply(da.e, nls,
             formula=peso~m.DE(desfolha+0.02,
                               theta0, theta1, varthetaq),
             start=list(theta0=30, theta1=8, varthetaq=0.7))
lapply(aDE, summary)

##-----
## Medidas de curvatura.

lapply(a0, MASS::rms.curv)
lapply(aDE, MASS::rms.curv)

##-----
## Matriz de correlação entre estimativas

lapply(a0, function(m) cov2cor(vcov(m)))
lapply(aDE, function(m) cov2cor(vcov(m)))

##-----
## Inferência sobre o dano econômico pelo método delta.

B <- coef(a0[[1]])
W <- vcov(a0[[1]])
g <- "(5/theta1)^exp(-thetac)"

deltaMethod(object=B, g=g, vcov=W)

dm <- function(nlsobj){
  B <- coef(nlsobj); W <- vcov(nlsobj)
  dm <- unlist(deltaMethod(object=B, g=g, vcov=W))
  dm <- c(dm, lwr=dm[1]-1.96*dm[2], upr=dm[1]+1.96*dm[2])
  names(dm) <- gsub("\\.*", "", names(dm))
  return(dm)
}

varthetaq <- lapply(a0, dm)
varthetaq <- ldply(varthetaq)
varthetaq

##-----
## Funções de verossimilhança.

ll0 <- function(theta0, theta1, thetac, desfolha, peso){
  x <- desfolha+0.02; y <- peso
  ex <- theta0-theta1*x^exp(thetac)
  sd <- sqrt(crossprod(y-ex)/(length(ex)))
  ll <- sum(dnorm(y, mean=ex, sd=sd, log=TRUE))
  -ll
}

llDE <- function(theta0, theta1, varthetaq, desfolha, peso){
  x <- desfolha+0.02; y <- peso
  ex <- theta0-theta1*x^((log(5)-log(theta1))/log(varthetaq))
  sd <- sqrt(crossprod(y-ex)/(length(ex)))
  ll <- sum(dnorm(y, mean=ex, sd=sd, log=TRUE))
  -ll
}

```



```

##-----
## Ajuste dos modelos.

al0 <- alDE <- da.e
for(i in names(al0)){
  al0[[i]] <- mle2(minuslogl=ll0,
                  start=as.list(coef(a0[[i]])),
                  data=c(as.list(subset(da, estágio==i))),
                  method="BFGS")
  alDE[[i]] <- mle2(minuslogl=llDE,
                   start=as.list(coef(aDE[[i]])),
                   data=c(as.list(subset(da, estágio==i))),
                   method="BFGS")
}

##-----
## Estimativas e medidas de ajuste.

cbind(t(sapply(al0, coef)), t(sapply(alDE, coef)))
cbind(sapply(al0, logLik), sapply(alDE, logLik))

##-----

par(mfrow=c(5,3), mar=c(2.2,2.2,1,1))
lapply(al0, function(m) plot(profile(m, maxsteps=20)))
layout(1)

par(mfrow=c(5,3), mar=c(2.2,2.2,1,1))
lapply(alDE, function(m) plot(profile(m, maxsteps=20)))
layout(1)

##-----

```

ANEXO B: Peso de capulhos produzido (g) ao final do ciclo a cada duas plantas de algodão em função do nível de desfolha artificial e estágio fenológico.

Estágio	Desfolha	Peso de capulhos produzido (g)				
Vegetativo	0,00	33,160	28,675	31,485	28,925	36,430
Vegetativo	0,25	34,105	30,010	37,338	27,930	29,320
Vegetativo	0,50	25,228	26,205	33,327	26,750	33,200
Vegetativo	0,75	30,180	27,306	27,277	28,305	32,030
Vegetativo	1,00	24,323	20,875	20,755	16,235	22,200
Botão floral	0,00	24,400	30,015	27,980	32,437	30,845
Botão floral	0,25	28,815	31,547	26,453	29,775	27,700
Botão floral	0,50	30,389	26,957	29,975	35,430	25,093
Botão floral	0,75	34,501	26,860	20,500	26,071	24,929
Botão floral	1,00	23,015	25,007	21,706	22,449	24,024
Florescimento	0,00	27,681	30,510	29,555	32,825	23,200
Florescimento	0,25	26,580	15,600	19,260	26,174	18,060
Florescimento	0,50	23,666	16,491	23,310	14,590	25,425
Florescimento	0,75	27,928	15,475	23,314	20,620	13,990
Florescimento	1,00	16,851	8,522	9,686	14,556	17,435
Maça	0,00	28,103	28,900	25,460	27,690	34,750
Maça	0,25	30,678	30,360	23,330	19,581	28,655
Maça	0,50	27,991	26,994	30,878	28,358	29,390
Maça	0,75	20,312	22,560	23,810	20,754	22,230
Maça	1,00	8,750	4,735	5,560	9,055	5,535
Capulho	0,00	34,140	28,777	36,580	38,320	33,100
Capulho	0,25	29,128	34,105	28,870	29,760	33,763
Capulho	0,50	29,122	25,970	25,735	29,930	31,510
Capulho	0,75	29,460	25,255	32,480	26,820	28,740
Capulho	1,00	22,460	25,750	30,760	22,200	25,575