

# Avaliação do conteúdo de potássio em grãos de soja em função dos níveis de água a potássio aplicados

Walmes Marques Zeviani\*

## 1 Material e métodos

O experimento foi instalado em casa de vegetação no Campus da Universidade Federal da Grande Dourados na safra agrícola de 2007. Foram preparados 75 vasos de plástico com 5 kg de solo. Os fatores experimentais foram: nível de água e nível de adubação com potássio. Os níveis de água consistiram da manutenção do nível de água dos vasos em 37.5%, 50% e 62.5% em relação a capacidade de campo obtido por meio de pesagens diárias. Os níveis de potássio consistiram da aplicação de 0, 30, 60, 120, e 180 mg de potássio por  $\text{dm}^3$  de solo, misturados ao solo antes da semeadura da cultura da soja. Foram semeadas quatro plantas por vaso e após uma semana foi feito o desbaste deixando duas plantas por vaso. Os vasos foram aleatorizados para o recebimento dos tratamentos dentro de cinco blocos na casa de vegetação organizados com a orientação de acordo com o gradiente de umidade. Ao final do ciclo da cultura, os grãos foram colhidos e determinou-se o conteúdo de potássio.

O modelo estatístico saturado associado ao experimento é representado pela equação abaixo

$$y_{ijk} = B_i + A_j + K_k + AK_{jk} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que  $y_{ijk}$  é a resposta observada na  $ijk$ -ésima parcela experimental,  $B$  indentifica o efeito do  $i$ -ésimo bloco ( $i = 1, \dots, 5$ ),  $A$  indentifica o efeito do  $j$ -ésimo nível de água ( $j = 1, \dots, 3$ ),  $K$  indentifica o efeito do  $k$ -ésimo nível de potássio ( $k = 1, \dots, 5$ ),  $AK$  indentifica o efeito do  $kj$ -ésimo nível da combinação de água com potássio e  $e_{ijk}$  indentifica o erro experimental associado, assumido ter distribuição gaussiana independente com variância constante ( $e_{ijk} \stackrel{iid}{\sim} N(0, \sigma^2)$ ). Os dados foram submetidos a análise de variância de acordo com o modelo saturado e as pressuposições da análise foram verificadas por meio do teste de normalidade de Shapiro-Wilk e teste de homogeneidade de variância de Bartlett, sujeitos à transformação Box-Cox no caso de não atendimento destes pressupostos. Quando significativo o fator potássio fez-se o estudo do seu efeito por meio do ajuste de modelos de regressão polinomial enquanto que para o fator água aplicou-se o teste de Tukey. Todas as inferências foram aplicadas ao nível nominal de significância de 5%.

## 2 Resultados comentados

Os dados experimentais estão em um arquivo chamado `soja.txt` dentro diretório de trabalho e foram importados com a função `read.table()`. Os dados importados foram atribuídos ao objeto

---

\*Análise feita em 8 de fevereiro de 2011 às 16:10:35 – Centro Politécnico – Universidade Federal do Paraná.

mydata. Pela função `str()` verificamos que os dados foram importados corretamente.

```
> #-----
> # entrada de dados
>
> mydata <- read.table("soja.txt", header=TRUE, sep="\t", dec=",")
> str(mydata)

'data.frame':      75 obs. of  7 variables:
 $ potassio: int  0 30 60 120 180 0 30 60 120 180 ...
 $ agua    : num  37.5 37.5 37.5 37.5 37.5 50 50 50 50 50 ...
 $ bloco   : Factor w/ 5 levels "I","II","III",...: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ reengrao : num  14.6 21.5 24.6 21.9 28.1 ...
 $ pesograo: num  10.7 13.5 15.8 12.8 14.8 ...
 $ kgrao   : num  15.1 17.1 19.1 18.1 19.1 ...
 $ pgrao   : num  1.18 0.99 0.82 0.85 0.88 1.05 1.08 0.74 1.01 1.01 ...

>
+ #-----
```

Para análise exploratória, fez-se os gráficos dos perfis do conteúdo de potássio no grão `kgrao` em função dos níveis de potássio separado pelos níveis de água. Nesses gráficos não se observou presença de valores atípicos.

```
> #-----
> # gráfico da análise exploratória
>
> pdf("graf/anaexpo.pdf", height=4)
> par(mfrow=c(1,3))
> xlab <- "Potássio no solo"; ylab <- "Potássio no grão"
> plot(reengrao~potassio, xlab=xlab, ylab=ylab, data=subset(mydata, agua==37.5), main="37.5% de água")
> plot(reengrao~potassio, xlab=xlab, ylab=ylab, data=subset(mydata, agua==50), main="50.0% de água")
> plot(reengrao~potassio, xlab=xlab, ylab=ylab, data=subset(mydata, agua==62.5), main="62.5% de água")
> layout(1)
> dev.off()

null device
  1

>
+ #-----
```

Ajustou-se o modelo saturados aos dados para verificar o efeito das fontes de variação conforme equação 1. Usou-se a função `aov()`. Em seguida fez-se a análise gráfica dos resíduos e os testes de hipótese associados as pressuposições da análise.

```
> #-----
> # criando os fatores água (A) e potássio (K)
>
> mydata <- transform(mydata, A=factor(agua), K=factor(potassio))
> str(mydata)
```

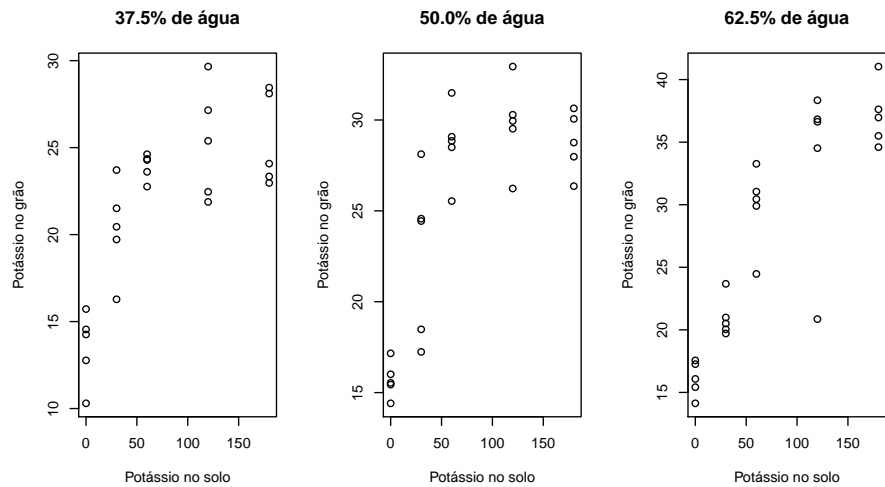


Figura 1: Diagrama de dispersão dos valores observados para a variável potássio no grão em função dos níveis de potássio separado pelos níveis de água.

```
'data.frame':      75 obs. of  9 variables:
 $ potassio: int  0 30 60 120 180 0 30 60 120 180 ...
 $ agua    : num  37.5 37.5 37.5 37.5 37.5 50 50 50 50 ...
 $ bloco   : Factor w/ 5 levels "I","II","III",...: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ reengrao: num  14.6 21.5 24.6 21.9 28.1 ...
 $ pesograo: num  10.7 13.5 15.8 12.8 14.8 ...
 $ kgrao   : num  15.1 17.1 19.1 18.1 19.1 ...
 $ pgrao   : num  1.18 0.99 0.82 0.85 0.88 1.05 1.08 0.74 1.01 1.01 ...
 $ A       : Factor w/ 3 levels "37.5","50","62.5": 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 ...
 $ K       : Factor w/ 5 levels "0","30","60",...: 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 ...
```

```
> #-----
> # ajustando modelo saturado
>
> m0 <- aov(kgrao~bloco+A*K, data=mydata)
> pdf("graf/check.pdf")
> par(mfrow=c(2,2))
> plot(m0)
> layout(1)
> dev.off()

null device
 1

>
+ #-----
```

+

Pela análise dos gráficos de resíduos, não há indicativos de fuga das pressuposições da análise. Os teste de normalidade de homogeneidade de variância foram aplicados e a conclusão foi a mesma.

```
> #-----
> # verificando a hipótese de normalidade dos resíduos
>
> shapiro.test(residuals(m0))

      Shapiro-Wilk normality test

data:  residuals(m0)
W = 0.9849, p-value = 0.5156

> #-----
> # verificando a hipótese de homogeneidade de variâncias
>
> bartlett.test(residuals(m0)~mydata$A)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  residuals(m0) by mydata$A
Bartlett's K-squared = 1.5073, df = 2, p-value = 0.4707

> bartlett.test(residuals(m0)~mydata$K)

      Bartlett test of homogeneity of variances

data:  residuals(m0) by mydata$K
Bartlett's K-squared = 13.43, df = 4, p-value = 0.009355

>
+ #-----
```

Uma vez que as pressuposições foram atendidas, iremos traçar inferências. A análise de variância correspondente ao modelo saturado está apresentada abaixo, pela qual se verifica apenas o efeito do fator potássio no solo. Assim sendo, fez-se o ajuste de modelos de regressão polinomial como função dos níveis de potássio. O teste da falta de ajuste apontou que o modelo polinomial não é menos explicativo que o modelo saturado. Os valores preditos foram obtidos e apresentados no gráfico.

```
> #-----
> # ajuste do modelo de regressão polinomial em função de potássio
>
> m1 <- lm(kgrao~-1+bloco+potassio+I(potassio^2)+I(potassio^3)+I(potassio^4), data=mydata)
> anova(m1)
```

Analysis of Variance Table

Response: kgrao

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloco	5	23753.7	4750.7	1463.5053	< 2.2e-16 ***
potassio	1	391.5	391.5	120.5998	< 2.2e-16 ***
I(potassio^2)	1	32.2	32.2	9.9247	0.002451 **
I(potassio^3)	1	28.7	28.7	8.8436	0.004104 **
I(potassio^4)	1	0.0	0.0	0.0020	0.964108
Residuals	66	214.2	3.2		

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> summary(m1)

Call:

lm(formula = kgrao ~ -1 + bloco + potassio + I(potassio^2) +  
I(potassio^3) + I(potassio^4), data = mydata)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5.1363	-0.7763	-0.0289	1.0177	4.6251

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
blocoI	1.293e+01	6.241e-01	20.719	<2e-16 ***
blocoII	1.379e+01	6.241e-01	22.102	<2e-16 ***
blocoIII	1.363e+01	6.241e-01	21.835	<2e-16 ***
blocoIV	1.360e+01	6.241e-01	21.783	<2e-16 ***
blocoV	1.439e+01	6.241e-01	23.058	<2e-16 ***
potassio	1.427e-01	6.247e-02	2.285	0.0255 *
I(potassio^2)	-1.362e-03	1.979e-03	-0.688	0.4937
I(potassio^3)	4.867e-06	1.905e-05	0.256	0.7991
I(potassio^4)	-2.493e-09	5.519e-08	-0.045	0.9641

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.802 on 66 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9912, Adjusted R-squared: 0.99

F-statistic: 828.5 on 9 and 66 DF, p-value: < 2.2e-16

```
> #-----  
> # teste da falta de ajuste em relação ao modelo saturado  
>  
> anova(m0, m1)
```

Analysis of Variance Table

```

Model 1: kgrao ~ bloco + A * K
Model 2: kgrao ~ -1 + bloco + potassio + I(potassio^2) + I(potassio^3) +
  I(potassio^4)
  Res.Df  RSS  Df Sum of Sq    F Pr(>F)
1     56 191.88
2     66 214.25 -10   -22.361 0.6526 0.7624

> #-----
> # valores ajustados e preditos
>
> pred <- expand.grid(bloco="IV", potassio=seq(0, 180, by=5))
> pred$kgrao <- predict(m1, newdata=pred, interval="confidence")
> str(pred)

'data.frame':      37 obs. of  3 variables:
 $ bloco   : Factor w/ 1 level "IV": 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ...
 $ potassio: num  0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 ...
 $ kgrao   : num [1:37, 1:3] 13.6 14.3 14.9 15.4 15.9 ...
 ..- attr(*, "dimnames")=List of 2
 .. ..$ : chr  "1" "2" "3" "4" ...
 .. ..$ : chr  "fit" "lwr" "upr"
- attr(*, "out.attrs")=List of 2
 ..$ dim      : Named int  1 37
 .. ..- attr(*, "names")= chr  "bloco" "potassio"
 ..$ dimnames:List of 2
 .. ..$ bloco   : chr  "bloco=IV"
 .. ..$ potassio: chr  "potassio= 0" "potassio= 5" "potassio= 10" "potassio= 15" ...

> pdf("graf/result.pdf")
> plot(kgrao~potassio, xlab=xlab, ylab=ylob, data=mydata)
> with(pred, lines(pred$kgrao[,1]~potassio, col=2))
> with(pred, lines(pred$kgrao[,2]~potassio, col=3))
> with(pred, lines(pred$kgrao[,3]~potassio, col=3))
> dev.off()

null device
      1

> #-----
> # estimativa dos parâmetros e R2 (deve se escolher um bloco para ser o intercepto)
>
> summary(m1)

Call:
lm(formula = kgrao ~ -1 + bloco + potassio + I(potassio^2) +
  I(potassio^3) + I(potassio^4), data = mydata)

Residuals:

```

Min 1Q Median 3Q Max  
-5.1363 -0.7763 -0.0289 1.0177 4.6251

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
blocoI	1.293e+01	6.241e-01	20.719	<2e-16	***
blocoII	1.379e+01	6.241e-01	22.102	<2e-16	***
blocoIII	1.363e+01	6.241e-01	21.835	<2e-16	***
blocoIV	1.360e+01	6.241e-01	21.783	<2e-16	***
blocoV	1.439e+01	6.241e-01	23.058	<2e-16	***
potassio	1.427e-01	6.247e-02	2.285	0.0255	*
I(potassio^2)	-1.362e-03	1.979e-03	-0.688	0.4937	
I(potassio^3)	4.867e-06	1.905e-05	0.256	0.7991	
I(potassio^4)	-2.493e-09	5.519e-08	-0.045	0.9641	

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.802 on 66 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.9912, Adjusted R-squared: 0.99  
F-statistic: 828.5 on 9 and 66 DF, p-value: < 2.2e-16

>

> #-----

> NA

> NA

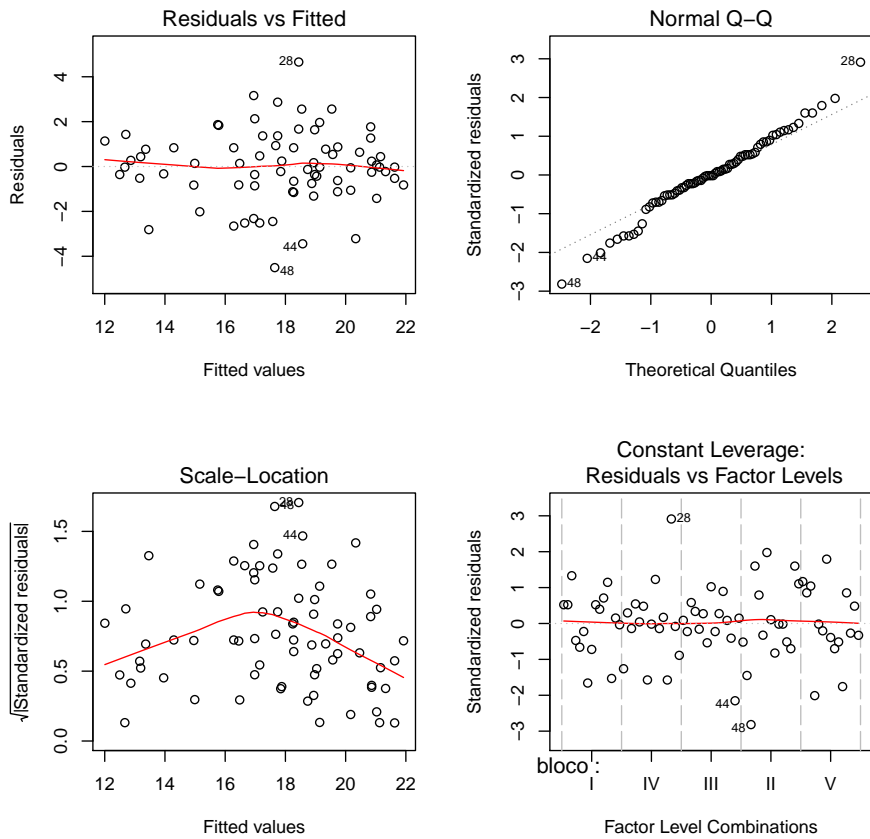


Figura 2: Diagramas para análise gráfica dos resíduos.



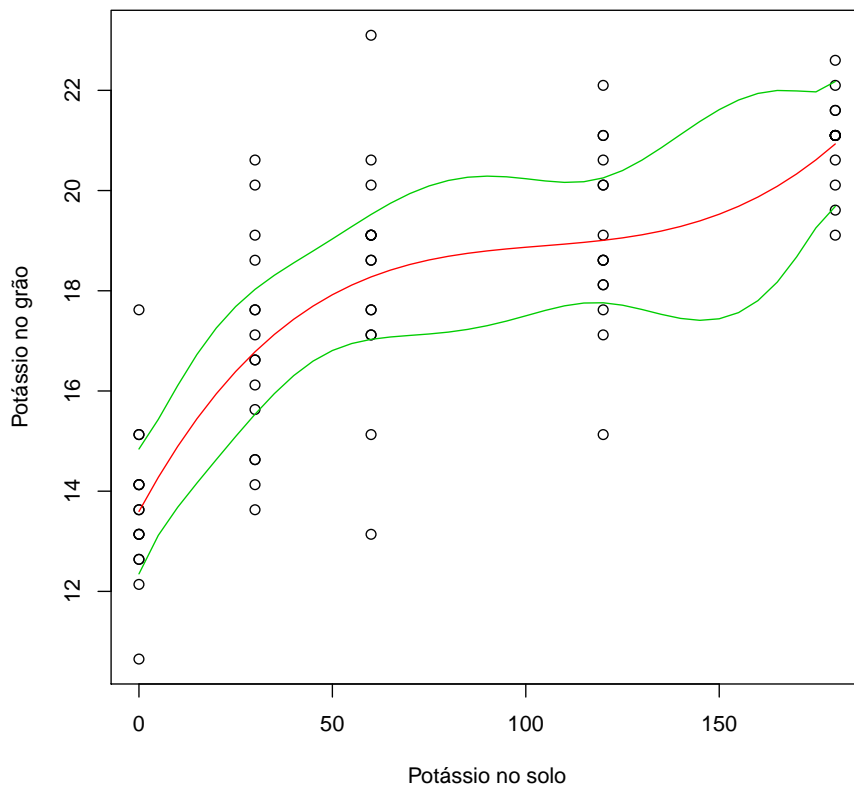


Figura 3: Diagrama de dispersão dos valores observados com as retas de regressão ajustada (linha vermelha) e intervalo de confiança de 95%.