



RSTUDIO COMO SUPORTE NO ENSINO DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Elisa Henning – elisa.henning@udesc.br

Universidade do Estado de Santa Catarina, Departamento de Matemática
Rua Paulo Malschitzki, s/n. Campus Universitário Prof. Avelino Marcante. Zona Industrial. CEP 89219-710 - Joinville, SC, Brasil.
CEP 88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil.

Andréa Cristina Konrath – andreack@inf.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Informática e Estatística
Campus Universitário Trindade. Caixa Postal 476
CEP 88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil.

Olga Maria Formigoni Carvalho Walter – olgaformigoni@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas
Campus Universitário Trindade. Caixa Postal 476

Robert Wayne Samohyl – samohyl@yahoo.com

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas
Campus Universitário Trindade. Caixa Postal 476
CEP 88040-900 - Florianópolis, SC, Brasil.

***Resumo:** A proposta do planejamento de experimentos – Design of Experiments (DOE) é determinar a função responsável por apresentar o problema e aperfeiçoá-lo utilizando-se de métodos estatísticos. Conhecendo-se as variáveis chaves que afetam as características de interesse, consegue-se controlar os fatores que possuem maior influência sobre o processo. A evolução da qualidade dos métodos estatísticos e o desenvolvimento computacional de software têm contribuído para a crescente aplicação do DOE em diversas áreas, sobretudo na engenharia. Considerando o ensino, há um consenso, de que disciplinas de estatística devem ser acompanhadas por algum tipo de software e uma possibilidade é o uso de software livres, como por exemplo, o RStudio. Neste sentido, este artigo tem como objetivo explorar a ferramenta RStudio, como apoio no ensino de DOE para os cursos de engenharia, apresentando aplicações da área. Os resultados demonstram que o RStudio é uma boa opção de software para ensino de DOE. Todavia, dentre a variedade de pacotes disponíveis não há um específico que supra completamente todas as necessidades, ou seja, cada um possui características específicas que auxiliam na resolução das aplicações analisadas.*

***Palavras-chave:** Planejamento de Experimentos, ambiente R; RStudio; Ensino*



1. INTRODUÇÃO

O planejamento de experimentos - Design of Experiments (DOE) - é uma técnica que pode ser aplicada em praticamente em todas as áreas da ciência. Um experimento é um teste ou uma série de testes nos quais as variáveis de entrada de um sistema (variáveis independentes ou fatores) são manipuladas para serem identificadas as razões das mudanças nas variáveis de saída que são observadas (variáveis dependentes ou resposta). Assim, o planejamento de experimentos desenvolve um papel primordial na solução (futura) do problema que inicialmente motivou a investigação (MONTGOMERY & RUNGER, 2012).

A evolução dos métodos estatísticos e o desenvolvimento computacional de *software* têm contribuído para a crescente aplicação do DOE em diversas áreas, incluindo a engenharia. Considerando o ensino de engenharia, há um consenso, de que disciplinas de estatística devem ser acompanhadas por algum tipo de *software* para diminuir a necessidade de cálculos manuais e facilitar o acesso a conjuntos de dados de situações reais (SCHUYTEN & THAS, 2007; VERZANI, 2008; GOULD, 2010). Porém, ainda não há consenso sobre o *software* estatístico apropriado para este fim (VERZANI, 2008). Uma possibilidade é o uso de *software* livres, como por exemplo, o RStudio (RSTUDIO TEAM, 2012). O RStudio é um projeto *open source*, pode ser usado sem custos de licença e têm uma extensa coleção de pacotes adicionais.

Neste sentido, este artigo tem como objetivo explorar a ferramenta RStudio, como apoio no ensino de DOE apresentando aplicações na área de engenharia da Qualidade, caracterizando-se assim como uma pesquisa exploratória descritiva. É fundamental que os acadêmicos, dos cursos de engenharia, tenham um contato mais efetivo com o DOE durante a graduação, sobretudo utilizando *software* para resolução e análise dos experimentos, o que leva a executá-los na vida profissional de modo eficiente, aplicando uma abordagem científica no planejamento. Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 traz uma breve visão sobre as principais técnicas de planejamento de experimentos; na seção 3 estão aspectos gerais do R, RStudio, acompanhada de uma visão geral dos principais pacotes do R para planejamento de experimentos e na seção 4 são apresentadas e discutidas algumas aplicações. Finalizando, na seção 5 estão as conclusões e considerações finais.

2. PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Um experimento planejado é definido como um teste ou uma série de testes nos quais são feitas mudanças propositais nas variáveis de entrada de um processo de modo que possam ser observadas e identificadas as razões para mudanças na resposta de saída (CALEGARE, 2001; MONTGOMERY, 2008). Para Werkema (2003) há dois aspectos no estudo experimental que requerem atenção: o planejamento do experimento e a análise estatística dos dados, já que a técnica de análise depende diretamente do planejamento utilizado. O planejamento de experimentos é uma excelente ferramenta para a melhoria de processo ou de produto. Contudo para que seja eficiente, todos os envolvidos no experimento devem ter uma ideia clara do problema que se quer solucionar. Para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos as seguintes etapas devem ser seguidas (MONTGOMERY, 2008; LIMA & ABREU, 2004): i) reconhecer e relatar o problema; ii) selecionar as variáveis de resposta (variáveis dependentes) que sofreram algum efeito; iii) escolher fatores e níveis, com objetivo

principal de introduzir estímulos nos fatores de controle e avaliar o efeito produzido nas variáveis de resposta; iv) descreveras situações experimentais que serão comparadas, os tratamentos, que são a combinação dos níveis de fatores de controle; escolha das unidades experimentais e planos experimentais; v) conclusão e recomendações.

Existem várias formas de se conduzir uma pesquisa experimental. Os planos experimentais podem ser classificados de acordo com a aleatoriedade de alocação entre as unidades experimentais e os tratamentos: alocação completamente aleatória ou com restrição de alocação (MIGUEL & HOO, 2010). No primeiro caso estão os experimentos completamente aleatorizados e no segundo os experimentos com blocos. Mas também podem ser classificados pelo número de fatores a serem estudados; pela estrutura do planejamento experimental (em blocos, fatoriais, hierárquicos ou superfícies de resposta) e também pelo tipo de informação que o experimento pode oferecer (WERKEMA & AGUIAR, 1996). Os planejamentos experimentais mais comuns em engenharia estão sumarizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos planejamentos experimentais.

Planejamento	Aplicação
Completamente aleatorizado com um fator	Quando somente um fator experimental está sendo estudado
Fatorial completo	Apropriado quando vários fatores devem ser estudados em dois ou mais níveis e as interações podem ser importantes.
Fatorial 2^k em blocos	Recomendado quando o número de ensaios necessários no planejamento com k fatores em 2 níveis é muito grande para que seja realizados sob condições homogêneas.
Fatorial 2^k fracionado	Indicado quando existem muitos fatores e não é possível coletar observações em todos os tratamentos.
Blocos aleatorizados	Aplicado quando se estuda o efeito de um fator e necessita-se controlar a variabilidade por fatores perturbadores conhecidos. Estes são divididos em blocos.
Blocos incompletos balanceados	Quando todos os tratamentos não podem ser acomodados num bloco.
Blocos incompletos parcialmente balanceados	Apropriados quando um planejamento de blocos incompletos balanceados necessita de um número de blocos excessivamente grande.
Quadrados latinos	Indicados quando um fator de interesse está sendo estudado e os resultados podem ser afetados por duas outras variáveis experimentais ou por duas fontes de heterogeneidade. Supõe-se a ausência de interações.
Hierárquico	Experimentos com vários fatores onde os níveis de um fator são similares mas não idênticos para diferentes níveis de outro fator, estando “aninhados” sob estes os níveis.
Superfícies de resposta	Fornece mapas empíricos ou gráficos de contorno que ilustram um modo pelo qual os fatores influenciam a variável resposta.

Fonte: Adaptado de Werkema e Aguiar (1996).

Detalhes específicos sobre o planejamento e a análise estatística subjacente podem ser encontrados na literatura da área, como Montgomery (2008) e Werkema e Aguiar (1996).

3. VISÃO GERAL DO RSTUDIO E DOS PRINCIPAIS PACOTES DE PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS NO AMBIENTE R

O RStudio foi lançado publicamente em 28 de fevereiro de 2011 e no entanto, é bastante estável e atualmente adequado para uso em várias áreas (RACINE, 2012). O RStudio exige a versão 2.11.0 ou superior previamente instalada. A instalação do R está disponível em <http://cran.r-project.org/>. O download do RStudio está disponível em <http://rstudio.org/> para vários sistemas operacionais dentre eles Windows, Mac OS X, Debian 6+, Fedora 13+ e Linux. Com relação a *download* e instalação de pacotes adicionais, o procedimento para obtê-los é o mesmo realizado no R, que no RStudio encontra-se em *Tools/InstallPackages* ou diretamente pela aba *Packages*, na qual é possível instalar, carregar e desinstalar pacotes. A apresentação padrão da tela principal do RStudio é a da Figura 1, disposta em 4 janelas.

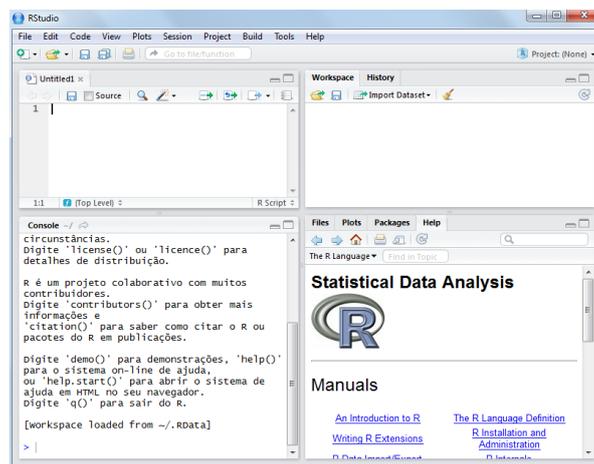


Figura 1- *Interface* RStudio (esquerda superior: visualização de *scripts*; direita superior: gerenciamento da área de trabalho e histórico das ações executadas; esquerda inferior: digitação de comandos; direita inferior: Ajuda).

No canto superior a esquerda é apresentada a janela *Source*, na qual são disponibilizados os *scripts* (códigos de programação previamente redigidos e salvos em arquivo com extensão *.R*), arquivos de texto, documentos *Sweave*, documentação do R, HTML e documentos TeX. Na janela superior à direita, a primeira aba é disponibilizada para gerenciar diferentes áreas de trabalho. Já na segunda aba desta janela fica registrado o histórico de todos os *scripts*, funções e ações executadas.

O *software* R apresenta diversos pacotes para fins gerais na área de planejamento de experimentos, os quais permitem criar e analisar projetos experimentais, que podem ser consultado sem página do R específica. Existem situações onde as funções do modelo linear padrão, que estão no pacote básico são suficientes e obviamente muito importantes para analisar dados no planejamento de experimentos. Assim, nos pacotes adicionais destacam-se funções específicas para DOE como contrastes, algumas comparações múltiplas, replicações, além da geração de tabelas e gráficos especiais.

O pacote AlgDesign (WHEELER,2011) cria projetos fatoriais completos com ou sem variáveis quantitativas adicionais além de experimentos fatoriais mistos. O pacote conf.design (VENABLES, 2012) permite criar um projetos fatoriais com blocagem, incluindo confundimento e permite combinar projetos existentes de várias maneiras.

O pacote DoE.base (GROEMPING,2013a) fornece projetos fatoriais completos com ou blocagem, além de desenhos ortogonais. Forma a base de uma série de pacotes relacionados, como FrF2 (GROEMPING,2013b), rsm (LENTH,2013), lhs (CARNELL,2012), DiceDesign (FRANCO *et al.*, 2013), D-optimal e DoE.wrapper (GROEMPING,2012).

O pacote DAE fornece várias funções de utilidade para projetos experimentais. O pacote, fornecendo recursos para objetos de pós-processamentos após a Anova. Há também o pacote *blockTools*, que atribui unidades a blocos para resultar em conjuntos homogêneos de blocos, no caso de blocos muito pequenos.

No planejamento experimental para experimentos industriais, existem pacotes voltados para este fim. Pode-se destacar o pacote FrF2, o pacote adicional FrF2.catlg128, para planejamentos fatoriais fracionados. O pacote BHH2 (BARRIOS, 2012) permite gerar projetos de dois níveis fatoriais fracionários ou completos.

O pacote rsm (LENTH, 2013) é voltado para a metodologia de superfície de resposta, suporta a otimização sequencial com modelos de superfície de resposta de primeira ordem e segunda ordem, oferecendo abordagens de otimização como ascendente de maior inclinação e visualização da função de resposta para objetos de modelo linear.

O pacote *qualityTools* (ROTH,2012) contém métodos associados com o ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), para resolução de problemas da metodologia Seis Sigma. Neste sentido disponibiliza funções para experimentos fatoriais completos e fracionados, superfície de resposta, experimentos mistos e de Taguchi, além de gráficos de efeitos e interações.

Na seção seguinte são descritas brevemente aplicações voltadas à engenharia da qualidade menos complexas dos pacotes *qualityTools*, Doe.Base, FrF2 e rsm. Estes pacotes foram escolhidos, em virtude da possibilidade de aplicação no ensino de graduação em engenharia. A análise foca principalmente nas funções para gerar os desenhos e análise dos efeitos.

4. APLICAÇÕES NO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

Nesta seção serão apresentados algumas aplicações de planejamento no RStudio, com origem na literatura de estatística aplicada à engenharia da qualidade.

Para acessar os pacotes utiliza-se uma das janelas da direita da tela principal. Nesta mesma janela está a ajuda das funções do pacote. Para carregar o pacote basta apenas selecioná-lo (Figura 2). Para demonstrar isso escolheu-se o pacote *qualityTools*.

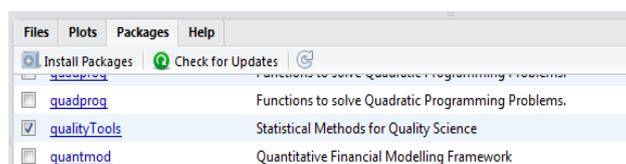


Figura 2 - Carregando pacotes adicionais - pacote *qualityTools* selecionado.

O carregamento de dados externos nos formatos txt e csv é simples (Figura 3). É possível, a partir da linha de comandos importar dados em diversos outros formatos.

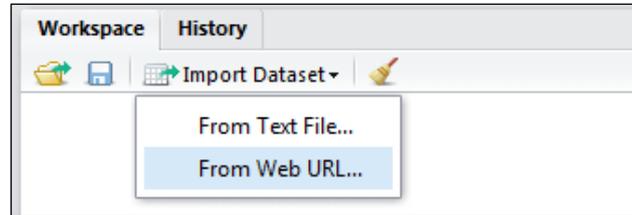


Figura 3 - Acessando dados externos da Web.

Em seguida apresenta-se um exemplo de experimento fatorial completo, com dados de Montgomery e Runger (2012). Primeiro mostra-se como gerar o delineamento experimental e análise a partir do pacote *qualityTools*. Em sequência são exibidos os comandos para resolução do mesmo problema com o pacote *Doe.Base*. Neste problema um engenheiro está estudando a rugosidade da superfície de uma peça usinada. Três fatores são de interesse: taxa de alimentação (A); profundidade do corte (B) e ângulo da ferramenta (C). Todos os três fatores tem dois níveis, e um planejamento fatorial foi feito com duas réplicas. Os dados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados da rugosidade (variável resposta) em peça usinada

Taxa de Alimentação poleg/min (A)	Profundidade de Corte – em polegada (B)			
	0,025 pol		0,040 pol	
	Ângulo da Ferramenta (C)		Ângulo da Ferramenta (C)	
	15°	25°	15°	25°
20 pol/min	9	11	9	10
	7	10	11	8
30 pol/min	10	10	12	16
	12	13	15	14

Fonte: Montgomery & Runger (p. 375, 2012).

Para gerar o desenho, podem ser aplicadas as funções `FacDesign ()` e `FracDesign ()`, sendo que a segunda permite o delineamento tanto de desenhos fatoriais completos quanto fracionados. Optou-se por utilizar a função `FracDesign ()` e a sintaxe pode ser vista na Figura 4. O planejamento foi armazenado como um objeto de nome “meu.desenho.1” e os argumentos de entrada do exemplo são o número de fatores ($k=3$) e o número de réplicas ($replicates=2$), conforme Figura 4. Elementos adicionais referentes à blocagem, nome de fatores, entre outros, podem ser adicionados.

Os níveis aparecem como -1 para o mais baixo e +1 para o mais alto (Figura 4). Os valores correspondentes às respostas foram adicionados a partir de um vetor (rugosidade) previamente definido. Um das limitações desta função é que o experimento sempre terá as rodadas aleatorizadas.

```

Console ~/
> meu.desenho.1<-fracDesign(k=3,replicates=2)
> response(meu.desenho.1)<-rugosidade
> meu.desenho.1

```

	Standorder	RunOrder	Block	A	B	C	rugosidade
4	4	1	1	1	1	-1	12
9	9	2	1	-1	-1	-1	9
3	3	3	1	-1	1	-1	9
14	14	4	1	1	-1	1	10
10	10	5	1	1	-1	-1	10
2	2	6	1	1	-1	-1	12
12	12	7	1	1	1	-1	15
11	11	8	1	-1	1	-1	11
15	15	9	1	-1	1	1	10
5	5	10	1	-1	-1	1	11
16	16	11	1	1	1	1	16
8	8	12	1	1	1	1	14
13	13	13	1	-1	-1	1	10
6	6	14	1	1	-1	1	13
1	1	15	1	-1	-1	-1	7
7	7	16	1	-1	1	1	8

Figura 4 – Delineamento de um experimento fatorial completo 2^3 (duas replicações) com o pacote *qualityTools* nos níveis baixo (-1) e alto (+1).

Em seguida apresenta-se a sintaxe do gráfico dos efeitos (Figura 5). É também possível construir um gráfico das interações entre os fatores, a partir da função *interaction Plot*, não mostrada neste trabalho.

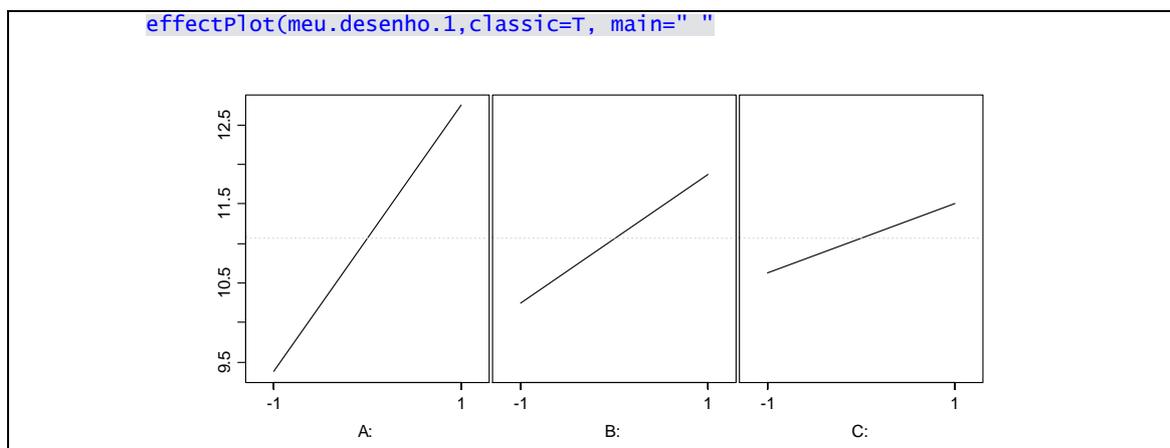


Figura 5 - Gráfico dos efeitos dos fatores A (taxa de alimentação), B (profundidade de corte) e C (ângulo da ferramenta).

A análise da variância é feita utilizando-se a função *lm ()* para modelos lineares da instalação básica do R, de acordo com a Figura 6. O modelo foi armazenado como um objeto como um objeto – “meu.modelo.1”. A função *summary ()* retorna informações sobre o modelo. Verifica-se que o fatores A (taxa de alimentação), B (profundidade de corte) e a interação (A*B) são os fatores mais influentes (Figura 6). O fator A é significativo ao nível de 1%; o fator B ao nível de 10% e a interação A*B embora não seja significativa nestes níveis, apresenta probabilidade de significância um pouco maior que 0,11, devendo ser considerada na análise.

```

Console ~/
> meu.modelo.1<-lm(rugosidade~A*B*C,data=meu.desenho.1)
> summary(meu.modelo.1)

Call:
lm.default(formula = rugosidade ~ A * B * C, data = meu.desenho.1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
   -1.5   -1.0    0.0    1.0    1.5

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  11.0625    0.3903   28.343  2.6e-09 ***
A              1.6875    0.3903    4.323  0.00253 **
B              0.8125    0.3903    2.082  0.07093 .
C              0.4375    0.3903    1.121  0.29485
A:B           0.6875    0.3903    1.761  0.11620
A:C           0.0625    0.3903    0.160  0.87675
B:C          -0.3125    0.3903   -0.801  0.44646
A:B:C         0.5625    0.3903    1.441  0.18751
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.561 on 8 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7902, Adjusted R-squared:  0.6066
F-statistic: 4.304 on 7 and 8 DF,  p-value: 0.02881
  
```

Figura 6 – Análise da Variância do experimento com fatores mais influentes A (taxa de alimentação), B (profundidade de corte) e a interação (A*B).

Os gráficos de Pareto e de probabilidade normal para os efeitos também podem ser plotados. Os resultados estão nas Figuras 7a e 7b.

```
>paretoPlot(meu.desenho.1,main=" ")>normalPlot(meu.desenho.1)
```

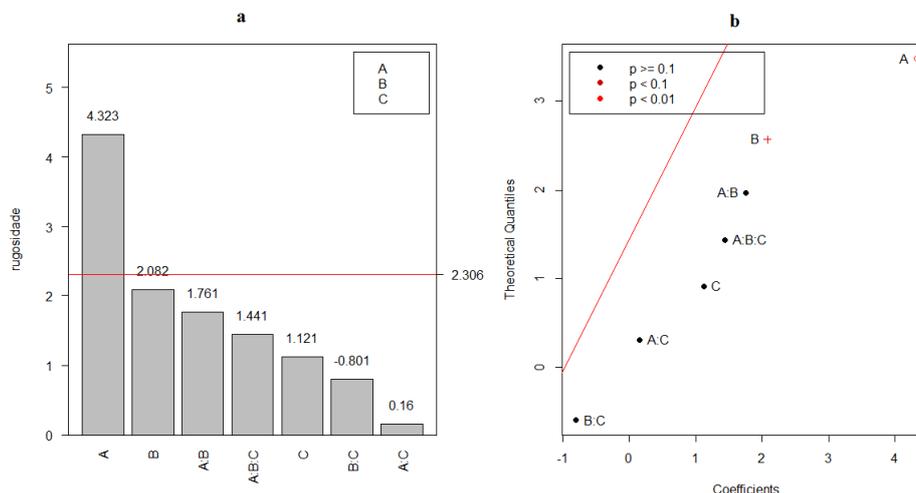


Figura 7 - Gráficos de Pareto (a) e de probabilidade normal (b) para os efeitos A (taxa de alimentação), B (profundidade de corte), C (ângulo da ferramenta) e suas interações.

O resultado visualizado nestes gráficos (Figura 7) reforça a influência dos fatores principais A (p-valor < 0,01) e B (p-valor < 0,10) com seus respectivos níveis de confiança, demonstrando também demais fatores e interações com diferentes níveis de significância ($p \geq 0,10$). Pode-se concluir que a taxa de alimentação (A) e a profundidade de corte (B) são significativas na rugosidade da peça usinada.

O pacote *qualityTools* também tem funções para construção de superfícies de resposta e as curvas de contorno. Além disso, apresenta algumas facilidades adicionais, como escolher o desenho a partir de um quadro originado a partir de funções. O quadro aparece na janela dos gráficos e escolhe-se o desenho, neste caso um delineamento fatorial fracionado $2^{(4-1)}$ clicando com o *mouse* (Figura 8).

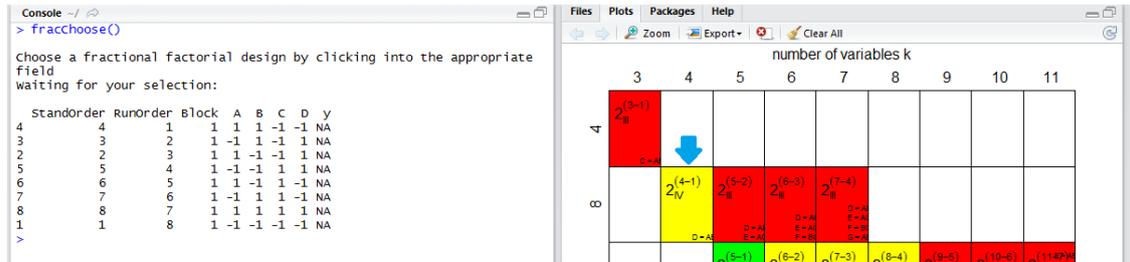


Figura 8 -Escolha de delineamento fatorial fracionado $2^{(4-1)}$ no pacote *qualityTools*.

Em sequência, estão as funções para gerar o mesmo desenho com o pacote *Doe.Base*(Figura 9). A função é *fac.design()* e os argumentos são similares aos da função do pacote *qualityTools*, com mudanças na nomenclatura. É possível aqui não aleatorizar as replicações. Note que os níveis são codificados por 1 (o mais baixo) e 2 (o mais alto). A análise da variância é feita também com a função *lm()*.

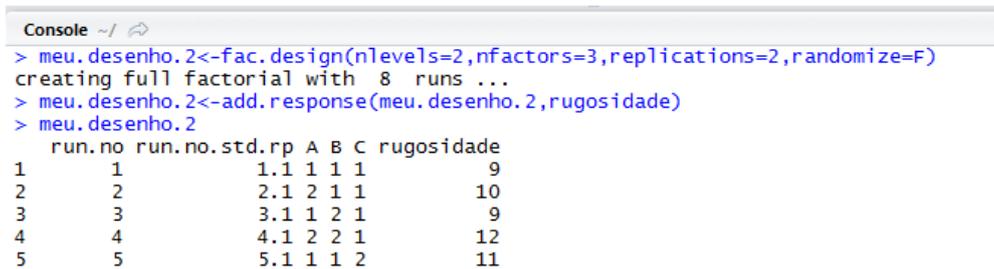


Figura 9 - Planejamento fatorial completo 2^3 com pacote *Doe.Base*.

A função *FrF2()* do pacote *FrF2* permite criar desenhos fatoriais fracionados. A sintaxe é simples, e neste desenho fracionado com 4 fatores e 8 rodadas (Figura 10), as variáveis resposta são geradas de um distribuição normal padrão.

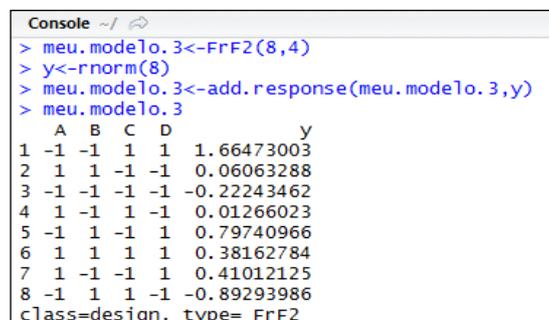


Figura 10 - Planejamento fatorial fracionado 2^{4-1} com o pacote *FrF2*.

O pacote rsm foi elaborado especificamente com o propósito de construção e análise da metodologia de superfície de resposta. Na Figura 11 está um exemplo de aplicação do pacote rsm, a partir de um exemplo de Montgomery (2001, p. 429) no qual se analisa o rendimento de um processo químico utilizando os fatores: tempo de reação e temperatura. Um modelo de segunda ordem ($y = 79,94 + 0,995x_1 + 0,5152x_2 + 0,25x_1x_2 - 1,376x_1^2 - 1,00x_2^2$) foi ajustado a partir de um delineamento de composição central (*Central Composite Design – CCD*). A Figura 11a mostra o gráfico da superfície de resposta e na Figura 11b estão as curvas de contorno para o rendimento. Pode-se visualizar que os valores ótimos para o rendimento estão próximos a 175 graus e 85 minutos de reação. E, examinando as curvas de contorno (Figura 11b) pode-se notar que o processo é ligeiramente mais sensível às mudanças no tempo da reação do que na temperatura.

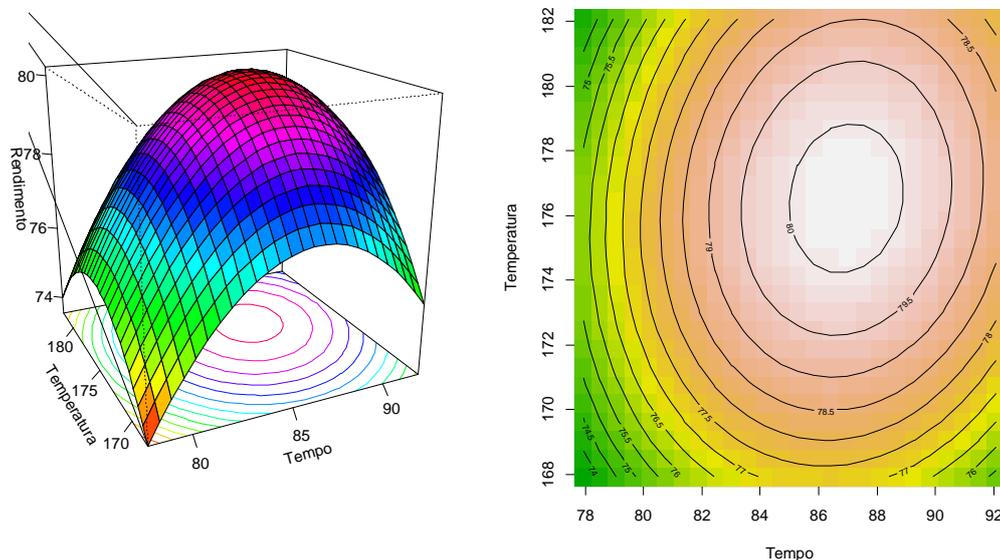


Figura 11 - Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) gerado pelo pacote rsm do rendimento de um processo químico com os fatores tempo de reação e temperatura.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em atividades industriais muitas vezes é necessário obter informações empíricas sobre produtos e processos. Neste caso há a necessidade de projetar experimentos, coletar dados e analisá-los. Experimentos são empregados para resolver problemas de fabricação, decidir entre diferentes processos e conceitos de produto, além de entender a influência de determinados fatores. O presente artigo procurou explorar algumas das características do RStudio aplicadas ao DOE e que podem ser utilizadas no ensino. Vale ressaltar que no que RStudio existem vários pacotes aplicados ao DOE de diversas áreas, conforme a necessidade do pesquisador.

O RStudio tem funcionalidades que permitem resolver os problemas menos complexos. Além disso, é possível, pelo fato de ter o código aberto, escrever novas funções, ou adaptar as existentes, de acordo com as especificidades do problema, sendo assim uma vantagem para o usuário. Espera-se que este trabalho auxilie na divulgação desta ferramenta e incentive na investigação e desenvolvimento de materiais com objetivo de tornar mais dinâmico e efetivo o processo de ensino-aprendizagem.



Ressalta-se que pelo fato de ser um *software* livre é um candidato natural a inclusão de atividades *on-line* no ensino de engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALEGARE, A. J. A. **Introdução ao Planejamento de Experimentos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

FRANCO, J.; DUPUY, D.; ROUSTANT, O.; DAMBLIN, G.; IOOSS, B.; 2013. DiceDesign: Designs of Computer Experiments packages. R package version 1.2. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=DiceDesign> Acesso em: 15 fev. 2013.

GOULD, R. Statistics and the Modern Student. **International Statistical Review**, v. 78, n. 2, p. 297–315, 2010.

GROEMPING U., 2013 DoE.base: Full factorials, orthogonal arrays and base utilities for DoE packages. R package version 0.23-3. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=DoE.base>. Acesso em: 15 fev. 2013a.

GROEMPING U., 2013 FrF2: Fractional Factorial designs with 2-level factors packages. R package version 1.6-4. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=FrF2>. Acesso em: 15 fev. 2013b.

GROEMPING U., 2012 DoE.wrapper: Wrapper package for design of experiments functionality packages. R package version 0.8-7. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=DoE.wrapper>. Acesso em: 15 fev. 2013.

LENTH R. V., 2009. rsm: Response-surface analysis. R package version 2.02. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=rsm>. Acesso em: 15 fev. 2013.

LIMA, P. C.; ABREU, A. R. Delineamento e Análise de Experimentos. UFLA (Universidade Federal de Lavras), FAEPE, Gráfica Universitária – UFLA, 75p., 2000

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. 4^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MONTGOMERY, D. C; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

RACINE, J. S. Rstudio: A Platform-Independent IDE for R and Sweave. **Journal of Applied Econometrics**, v. 27, p. 167-172, 2012.

ROTH T., 2012. qualityTools: Statistical Methods for Quality Science. R package version 1.53. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=qualityTools>. Acesso em: 15 fev. 2013.

RSTUDIO TEAM (2012). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 14 ago. 2013.

SCHUYTEN, G.; THAS, O. Statistical thinking in computer-based learning environments. **International Statistical Review**, v. 75, n. 3, p. 365-371, 2007.

VENABLES B., 2012. Conf.design: Construction of factorial designs. R package version 1.01. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=conf.design>. Acesso em: 15 fev. 2013.

VERZANI, J. Using R in Introductory Statistics Courses with the pmg Graphical User Interface. **Journal of Statistics Education**, v. 16, n. 1, p. 01-17, 2008.

WHEELER B., 2011. AlgDesign: Algorithmic Experimental Design. R package version 1.1-7. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=AlgDesign>. Acesso em: 15 fev. 2013.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e Análise de experimentos: Como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1996.

RSTUDIO AS A SUPPORT TOOL FOR TEACHING DESIGN OF EXPERIMENTS

***Abstract:** The purpose of the design of experiments (DOE) is to define a function between quality characteristics and factors and to perfect it by utilizing statistical methods. Being familiar with the variables which may affect target characteristics makes it possible to reveal and control the factors which exert the greatest influence on the process. The development of statistical methods and computational software have contributed to the growth of DOE in diverse fields, including engineering. There is a consensus that statistics courses must be supported by software to eliminate the need for tedious manual calculations and facilitate access to data sets in actual situations. However, there is still no consensus on the appropriate software for this purpose. One possibility is utilizing free software programs like the R interface RStudio. This is an open-source project based on the free software concept and it can be used without licensing fees. There is an extensive collection of thousands of additional packages. This article seeks to explore the RStudio interface as a support for teaching DOE in engineering courses, presenting applications to this field. The results demonstrate that RStudio is a powerful option for the classroom. However, among the variety of available packages, there is no specific one which completely resolves all teaching needs, that is, each one has specific characteristics to aid in solving specific applications.*

***Key-Words:** Design of experiments, R Environment, RStudio, Education.*