PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS: UM EXEMPLO DIDÁTICO UTILIZANDO O PROGRAMA MINITAB®

Gabriela da Fonseca de Amorim – gabi@unifei.edu.br
Pedro Paulo Balestrassi – ppbalestrassi@gmail.com
Anderson Paulo de Paiva – andersonppaiva@unifei.edu.br
Universidade Federal de Itajubá, IEPG – Instituto de Produção e Gestão
Av. BPS, 1303, bairro Pinheirinho
37500-903 – Itajubá – Minas Gerais

Resumo: *A proposta deste trabalho é desenvolver um exemplo didático com o uso do software Minitab® para introduzir o ensino do Delineamento de Experimentos, do inglês, Design of Experiments (DoE). Partindo de um processo simples do cotidiano, a ideia é fazer com que os alunos interajam e percebam conceitos do Planejamento e da Otimização de experimentos de maneira natural e intuitiva seguindo sete etapas: "reconhecimento e declaração do problema", "escolha dos fatores e níveis", "seleção das variáveis de resposta", "escolha do tipo de delineamento do experimento", "realização dos experimentos", "análise estatística dos dados" e "conclusões e recomendações". Dando sequência ao processo de aprendizagem, ao final da aula alguns exercícios são propostos aos alunos a fim de fixar o conteúdo apresentado. Para garantir a eficácia do ensino a partir do exemplo proposto, os exercícios foram elaborados com base na Taxonomia dos Objetivos Educacionais, também denominada Taxonomia de Bloom, e abordam o conteúdo em todos os níveis do domínio cognitivo. A metodologia de Pesquisa usada neste estudo foi a Pesquisa-ação e o exemplo em questão foi aplicado tanto para turmas de graduação em Engenharia de Produção quanto para turmas de mestrado e mostrou um resultado significativo em ambos os casos, servindo de base para o aprofundamento do assunto nas aulas posteriores.*

Palavras-chave: *ensino, exemplo didático, Planejamento de Experimentos, Taxonomia de Bloom*

1. INTRODUÇÃO

Ensinar exige reflexão crítica sobre a prática docente. O professor deve estar atento ao fato de que ensinar não é apenas transferir conhecimento, mas criar possibilidades para produção e construção próprias (FREIRE, 1996). Partindo deste pressuposto, a ideia do trabalho é fazer com que os alunos interajam e percebam os conceitos introdutórios da disciplina de maneira natural e intuitiva, o que servirá de base para o aprofundamento do assunto nas aulas posteriores.

Realizar experimentos e analisar os dados é parte integrante do trabalho do engenheiro e, portanto, a estatística está presente no seu dia-a-dia. Embora o Delineamento de Experimentos, do inglês, Design of Experiments (DoE) seja ainda

insuficientemente utilizado no ambiente industrial, sabe-se que seu uso aumenta a eficácia dos engenheiros e a eficiência dos processos (TANCO *et al.*, 2009).

O uso da metodologia Seis Sigma tornou o DoE ainda mais necessário, pois este é uma ferramenta-chave que visa amenizar o desperdício de tempo e recurso ao mesmo tempo que promove um resultado mais confiável para a experimentação.

Em uma busca no banco de dados *ISI Web of Science* é possível observar que o termo "Design of experiments" aparece em aproximadamente seis mil artigos nas mais diversas áreas do conhecimento e tanto a quantidade de publicações quanto de citações a respeito deste assunto vêm crescendo desde 1994, conforme ilustrado na Figura 1.

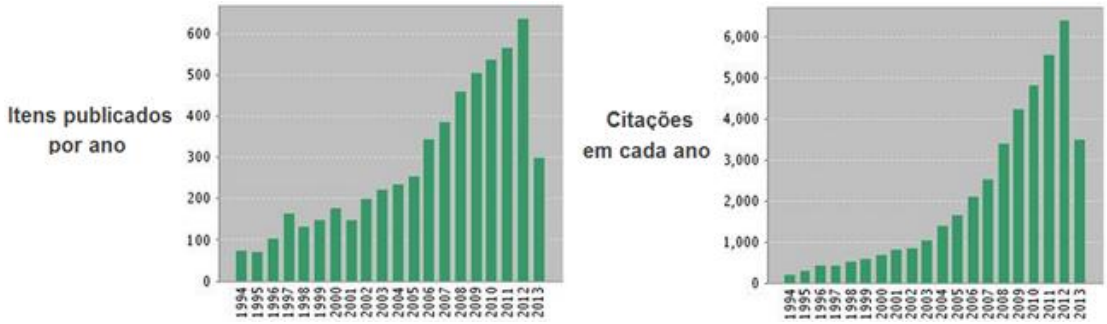


Figura 1 - Publicações e citações referentes ao termo "Design of experiments" na base de dados ISI Web of Science

Um processo simples do cotidiano como fazer pipocas no micro-ondas pode servir de exemplo para introduzir em sala de aula o ensino do Planejamento e da Otimização de Experimentos com o uso do *software Minitab*®.

Para isso, existem algumas diretrizes a serem seguidas que, apesar de serem focadas em experimentos industriais, também podem ser usadas em processos simulados. São elas: (a) Reconhecimento e declaração do problema; (b) Escolha dos fatores e níveis; (c) Seleção das variáveis de resposta; (d) Escolha do tipo de delineamento do experimento; (e) Realização dos experimentos; (f) Análise estatística dos dados; (g) Conclusões e recomendações (COLEMAN & MONTGOMERY, 1993).

Os passos (a), (b) e (c) são chamados de planejamento pré-experimental. Essas sete diretrizes são geralmente interativas e a estrutura não é rígida. Alguns passos podem, inclusive, ser realizados simultaneamente e em ordem trocada quando aplicados em experimentos reais e isto deve ser enfatizado pelo professor.

Para complementar o processo de aprendizagem, alguns exercícios são propostos a fim de fixar o conteúdo e direcionar o estudo. Os exercícios foram elaborados a partir da "Taxonomia dos Objetivos Educacionais" ou "Taxonomia de Bloom" e abordam o conteúdo em todos os níveis do domínio cognitivo para garantir a eficácia do ensino.

Esta taxonomia é uma estrutura para classificar o que se deve esperar do aprendizado dos alunos como resultado das aulas que foi originalmente publicada em 1956 e reescrita 45 anos depois, quando passou a ser chamada Taxonomia de Bloom revisada (KRATHWOHL, 2002).

Este trabalho é uma proposta didática para introduzir o ensino do DoE e é aplicado na Universidade Federal de Itajubá. A metodologia de pesquisa usada foi, portanto, a pesquisa-ação uma vez que o método foca na pesquisa em ação ao invés de ser uma pesquisa sobre a ação. A ideia central da pesquisa-ação é usar uma abordagem científica para estudar os problemas em conjunto com aqueles que estão diretamente ligados a ele (COUGHLAN & COGHLAN, 2002).

A fim de cumprir os objetivos propostos, este artigo foi escrito em oito seções sendo a primeira delas a Introdução e as quatro seguintes, etapas do planejamento de experimentos, a saber, seção 2: Planejamento pré-experimento, seção 3: Escolha do tipo de delineamento e inclusão dos dados no *Minitab*®, seção 4: Realização dos experimentos e seção 5: Análise dos resultados. A seção 6 aborda a otimização de experimentos, a seção 7 diz respeito aos exercícios baseados na Taxonomia de Bloom e a última seção apresenta as conclusões e propostas de trabalhos futuros para este estudo.

2. PLANEJAMENTO PRÉ-EXPERIMENTAL

2.1. Reconhecimento e Declaração do Problema

A primeira etapa do planejamento de experimentos consiste na introdução do processo cujo modelo geral é ilustrado na Figura 2 e o exemplo a ser abordado é "fazer pipoca no micro-ondas", um exemplo de processo simples que pode ser facilmente reproduzido pelo aluno em casa pois está relacionado a uma atividade do cotidiano.

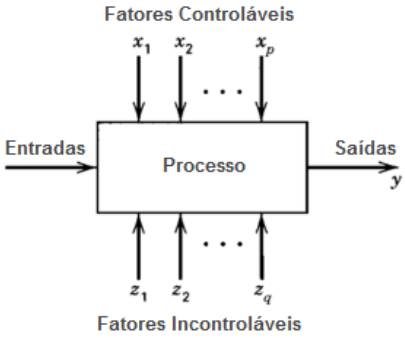


Figura 2 - Modelo geral de um processo ou sistema (MONTGOMERY, 2001)

Antes de iniciar a explicação de como deve ser realizado o processo de planejamento experimental, é necessário considerar três recomendações sobre o uso eficiente do DoE: usar também conhecimentos não-estatísticos sobre o problema, manter o planejamento e a análise o mais simples possível e reconhecer as diferenças entre o significado prático e estatístico (MONTGOMERY, 2001).

Os alunos devem ser indagados quanto às variáveis do processo para que participem ativamente da construção do DoE. Os dados deste artigo são resultantes da aplicação deste exemplo na turma de graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Itajubá.

2.2. Escolha dos fatores e níveis

- **Fatores controláveis**

São cinco os fatores controláveis do processo acordados entre os alunos:

Tempo: Conforme indicam as instruções nos pacotes de pipoca para micro-ondas, o tempo de preparo deve variar entre 3 e 5 minutos e é uma variável contínua.

Potência: Em geral, a potência do micro-ondas pode ser programável e neste caso vamos trabalhar com potências de 70% ou 100%, sendo também uma variável contínua.

Marca da pipoca: As marcas de pipoca para micro-ondas mais conhecidas são X e Y, os nomes devem variar de acordo com o local onde este exemplo for aplicado.

Marca do micro-ondas: As marcas mais populares no mercado brasileiro são A e B, esta variável deve ser nominada conforme sugestões dos alunos.

Lado do pacote: Os pacotes de pipoca vêm com indicações do lado que devem ser posicionados. A influência desta variável no resultado do processo também pode ser investigada.

- **Fatores incontroláveis**

Os fatores incontroláveis são aqueles que o experimentador não pode manipular e provavelmente seus efeitos podem ser desconsiderados no experimento, por exemplo, o tempo de uso do micro-ondas, a quantidade de milho na embalagem de pipoca, o tempo passado desde a colheita do milho até o seu uso no experimento, etc.

2.3. Seleção das variáveis de resposta

São duas as saídas do processo em questão acordadas entre os alunos:

Qualidade da pipoca: Os valores desta saída devem ser definidos através de uma pesquisa de opinião e podem ser representados com notas de 0 (zero) a 10 (dez) ou seguindo uma Escala de Likert do nível de concordância com "Esta pipoca está boa" cujas respostas variem de "Discordo Totalmente" até "Concordo Totalmente". Em ambos os casos, quanto mais aproximada do limite superior, melhor é o processo.

Quantidade de piruás: Esta saída está relacionada à produtividade e pode ser medida contando os milhos que não estouraram no processo. Considera-se que os valores desta saída estejam próximos de 0. Neste caso, quanto mais próximo do limite inferior, melhor é o processo.

2.4. Quadro de resumo

Um experimento busca manipular os fatores controláveis e analisar seus efeitos nas saídas do processo. Assim, as variáveis do processo que serão consideradas de fato no planejamento e na otimização do experimento são resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 - Resumo das variáveis de interesse no planejamento do experimento

Fatores controláveis	x_1 = tempo [3; 5] x_2 = potência [70; 100] x_3 = pipoca [X; Y] x_4 = micro-ondas [A;B] x_5 = lado [certo; errado]
Saídas	y_1 = quantidade de piruás [0-200] y_2 = qualidade da pipoca [0-10]

3. ESCOLHA DO TIPO DE DELINEAMENTO E INCLUSÃO DOS DADOS NO MINITAB®

O projeto experimental será desenvolvido com o auxilio do *software Minitab*® e todos os alunos devem acompanhar o procedimento em seus computadores e fazer as anotações necessárias a fim de reproduzi-lo ou replicá-lo posteriormente.

Para definir a quantidade de pacotes de pipoca (entrada) que devem ser comprados para a realização do experimento, deve-se iniciar o *Minitab*® e acessar no menu as opções *Stat / DOE / Factorial / Create a Factorial Design*.

Na caixa de diálogo aberta deve-se completar o "*Number of factors*" com a quantidade de fatores controláveis a serem considerados no experimento, ou seja, cinco. Em seguida é possível verificar a quantidade suficiente ou necessária de experimentos no botão "*Display Available Designs*". Como pode ser observado na Figura 3, para cinco fatores, oito experimentos são inconclusivos (vermelho) e 16 ou 32 experimentos são suficientes (verde). Assim, pensando na redução do custo operacional, 16 experimentos serão realizados, ou seja, serão necessários 16 pacotes de pipoca para realizar o procedimento experimental.

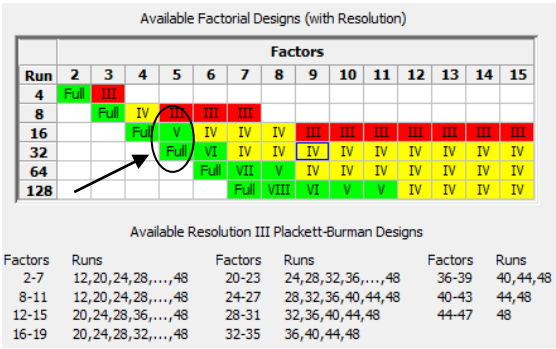


Figura 3 – Caixa de diálogo "*Display Available Designs*" para definir a quantidade de experimentos a serem realizados

Esta informação permite que no botão "*Design*" seja definida a quantidade de experimentos, conforme ilustração da Figura 4.

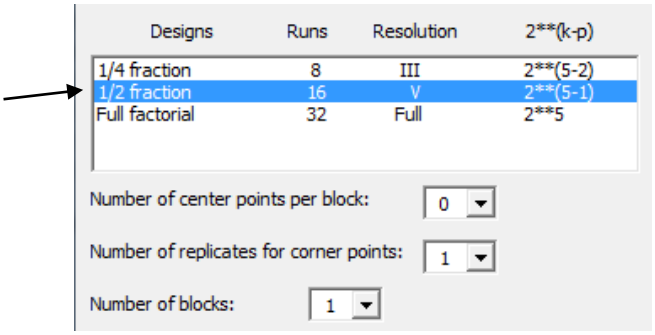


Figura 4 – Caixa de diálogo "*Designs"* para definir o estilo do experimento

No botão "*Factors*", os fatores controláveis devem ser preenchidos. A Figura 5 ilustra esta tabela. O *software Minitab*® permite, para cada processo, um máximo de cinco fatores controláveis com dois níveis, sendo eles valores numéricos, como no caso do tempo de preparo ou da potência do micro-ondas ou textos, como no caso da marca do micro-ondas ou da pipoca e do lado que será posicionado o pacote.

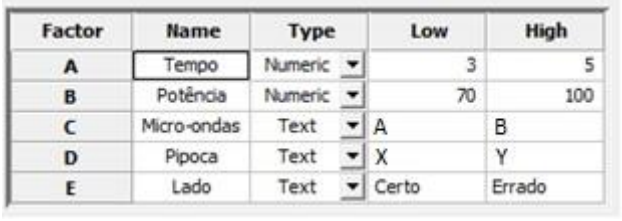


Figura 5 – Caixa de diálogo "*Factors"* para inserir os fatores controláveis

Os experimentos podem estar aleatorizados ou em sequência, esta escolha é realizada no botão "*Options*", marcando ou não a opção "*Randomize runs*". A Figura 6 mostra a caixa de diálogo com essa opção. Como, no caso deste artigo, o exemplo de processo no qual serão feitos experimentos é apenas didático e os resultados serão simulados, a ordem não interfere, mas no caso de experimentos reais, deixar os dados em sequência facilita o preenchimento da planilha com os dados.

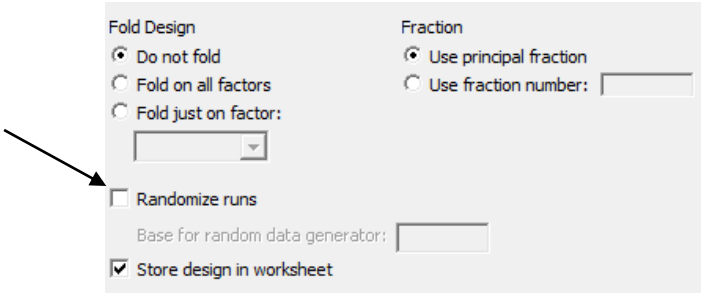


Figura 6 – Caixa de diálogo "*Options"* para definir ordem aleatória ou em sequência para os experimentos

Após seguir essas instruções, o *Minitab*® disponibilizará na aba "*Worksheet*" o delineamento do experimento para o processo em questão. Esta aba é mostrada na Figura 7. Assim, a quarta etapa do DoE é concluída.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Tempo	Potência	Micro-ondas	Pipoca	Lado
2	2	1	1	5	70	A	X	Certo
8	3	1	1	5	100	B	X	Certo
16	4	1	1	5	100	B	Y	Errado
7	5	1	1	3	100	B	X	Errado
1	6	1	1	3	70	A	X	Errado
5	7	1	1	3	70	B	X	Certo
12	8	1	1	5	100	A	Y	Certo
4	9	1	1	5	100	A	X	Errado
3	10	1	1	3	100	A	X	Certo
13	11	1	1	3	70	B	Y	Errado
6	12	1	1	5	70	B	X	Errado
11	13	1	1	3	100	A	Y	Errado
15	14	1	1	3	100	B	Y	Certo
10	15	1	1	5	70	A	Y	Errado
14	16	1	1	5	70	B	Y	Certo

Figura 7 - Delineamento do experimento "Pipoca no micro-ondas"

4. REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O foco deste estudo não é de fato o resultado da experimentação, mas sim o ensino dos procedimentos necessários ao realizar um DoE e a análise dos seus resultados, por isso, os alunos devem ser instruídos a atribuir valores simulados nas saídas do processo.

No caso deste experimento, duas saídas são esperadas para o processo: a qualidade da pipoca e a quantidade de piruás. Para que os resultados gerados em todos os computadores dos alunos sejam iguais, recomenda-se usar um *Set Base*.

Para a qualidade da pipoca foi usado um *Set Base* = 3. Neste caso é possível considerar para os valores simulados que o resultado da pesquisa de opinião seja uma distribuição uniforme entre 0 e 10. Estes valores podem ser gerados no *Minitab*® seguindo as opções *Calc / Set Base* e preenchendo com o valor 3, em seguida *Calc / Random Data / Uniform* e preenchendo a caixa de diálogo como na Figura 8.

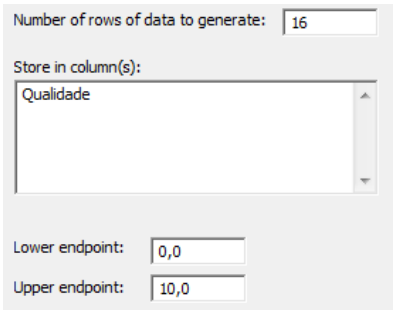


Figura 8 – Geração dos resultados da saída y_1: Qualidade da pipoca

No caso dos piruás, foi usado um *Set Base* = 4 e o resultado simulado pode ser um valor inteiro e aleatório entre 0 e 200, ou seja, 0 se todos os milhos estouraram e 200 caso nenhum tenha estourado. Esses valores também podem ser gerados no *Minitab*® seguindo as opções *Calc / Set Base* e preenchendo com o valor 4, em seguida *Calc / Random Data / Integer* e completando a caixa de diálogo como na Figura 9.

A nova tabela referente aos dados e resultados do experimento ficará disposta na aba "*worksheet*" do *Minitab*® como na Figura 10.

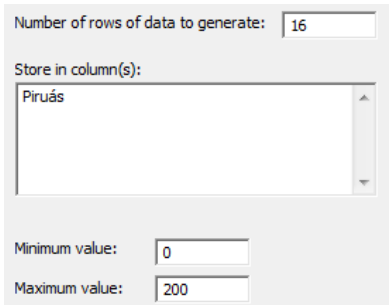


Figura 9 – Geração dos resultados da saída y_2: Quantidade de piruás

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Tempo	Potência	Micro-ondas	Pipoca	Lado	Qualidade	Piruás
2	2	1	1	5	70	A	X	Certo	9,81307	124
8	3	1	1	5	100	B	X	Certo	4,57711	181
16	4	1	1	5	100	B	Y	Errado	0,24829	106
7	5	1	1	3	100	B	X	Errado	1,97852	33
1	6	1	1	3	70	A	X	Errado	4,68172	74
5	7	1	1	3	70	B	X	Certo	7,53563	116
12	8	1	1	5	100	A	Y	Certo	9,33078	32
4	9	1	1	5	100	A	X	Errado	6,91885	88
3	10	1	1	3	100	A	X	Certo	9,87946	75
13	11	1	1	3	70	B	Y	Errado	7,63152	200
6	12	1	1	5	70	B	X	Errado	8,97583	66
11	13	1	1	3	100	A	Y	Errado	4,99539	141
15	14	1	1	3	100	B	Y	Certo	4,16059	126
10	15	1	1	5	70	A	Y	Errado	0,04112	95
14	16	1	1	5	70	B	Y	Certo	8,45650	133

Figura 10 - Aba "w*orksheet*" do *Minitab*® com os dados e resultados do experimento delineado previamente

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A partir dos dados experimentais simulados, é possível fazer conclusões a respeito da influência dos fatores controláveis nas saídas do processo. Esta análise é feita no *software Minitab*® seguindo as opções *Stat /DOE/ factorial / Analyse Factorial Design*.

As respostas a serem consideradas são as duas saídas do processo e para analisar os efeitos da interação dos fatores, no botão "*Graphs*" deve-se selecionar a opção "*Pareto*". A Figura 11Figura 1 mostra os gráficos de Pareto referentes a cada saída do processo.

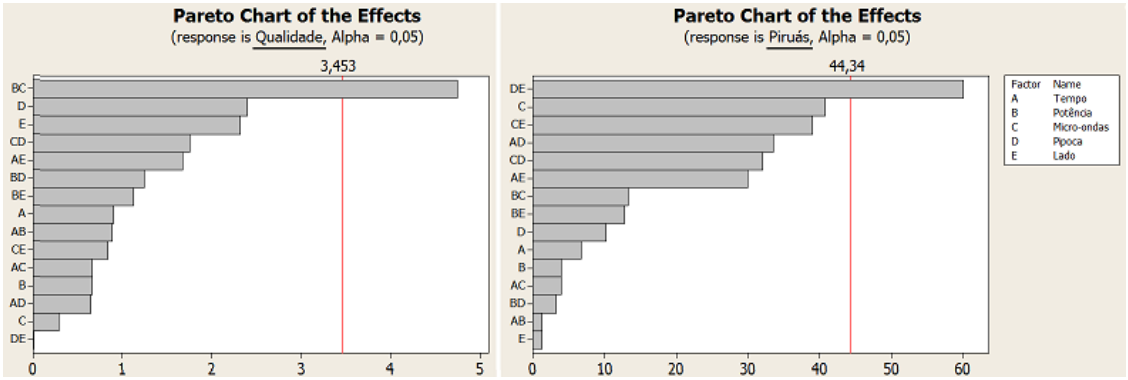


Figura 11 - Gráfico de Pareto do efeito dos fatores controláveis em cada saída

A Figura 11 permite concluir, com relação à saída y_1: qualidade da pipoca, que a interação entre os fatores potência e marca do micro-ondas influencia mais do que as outras interações e até mesmo os outros fatores individualmente. Quanto à saída y_2: quantidade de piruás, o que mais influencia é a interação entre a marca da pipoca e o lado que o pacote é posicionado, seguidos pela marca do micro-ondas e, com ainda menos influência, a interação entre a marca do micro-ondas e o lado do pacote.

Análises mais aprofundadas dos resultados podem ser feitas a partir dos gráficos gerados no *Minitab*® seguindo as opções *Stat / DOE / Factorial / Factorial Plots.* As duas primeiras opções de gráficos devem ser selecionadas, conforme mostra a Figura 12. No botão "*Setup*" é possível escolher para quais saídas os gráficos devem ser feitos e quais fatores controláveis devem ser considerados. A Figura 12 mostra também o preenchimento desta caixa de diálogo a fim de analisar todas as opções disponíveis.

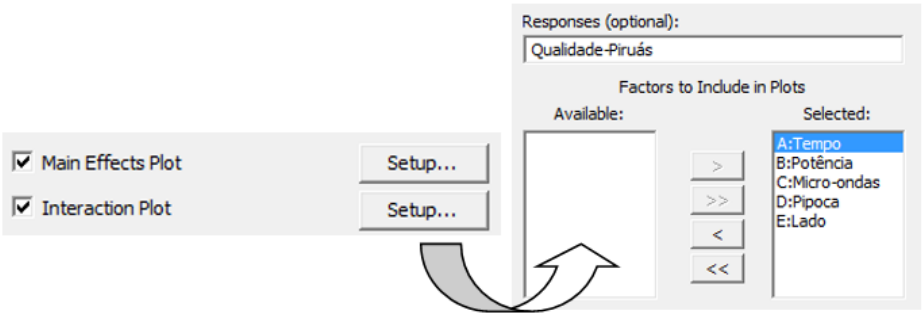


Figura 12 - Caixa de diálogo "*Factorial plots*" e opções disponíveis no "*Setup*"

A Figura 13 mostra o gráfico "*Main effects*" para as duas saídas do processo. A partir dele é possível afirmar quanto à qualidade que existe uma grande influência da marca da pipoca e do posicionamento do pacote; a X e o pacote do lado certo possuem resultados bem melhores do que o oposto. Esta saída também mostrou resultados um pouco melhores para o tempo de 5min, a potência de 70% e a marca A.

Com relação à quantidade de piruás, a análise deve ser feita para os pontos mais baixos pois quanto menor o valor, melhor o resultado. Assim, a marca de micro-ondas A apresentou um resultado muito melhor com relação à concorrente. Esta saída também mostrou resultados um pouco melhores para o tempo de 3min, a potência de 100% e a marca X, no entanto, o posicionamento do pacote parece não influenciar de maneira significativa nesta saída.

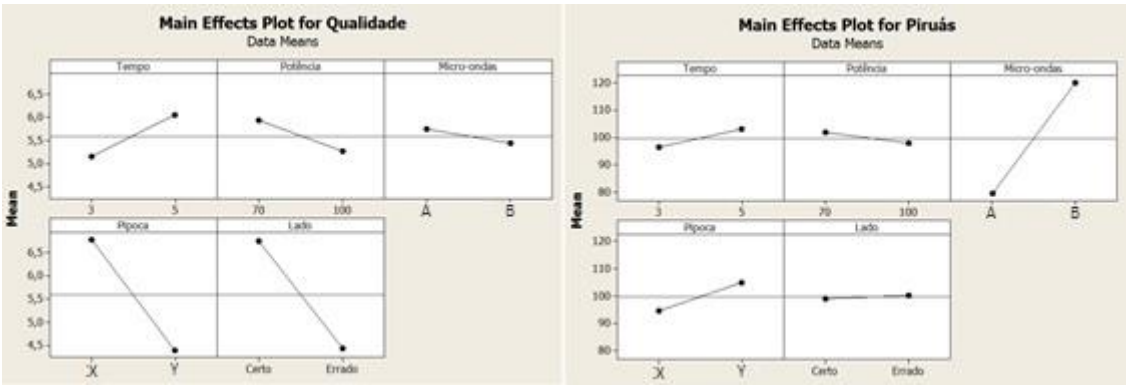


Figura 13 - Gráficos "*Main Effects*" para cada saída

O gráfico "*Interaction*" mostra o grau de interação entre os fatores. É possível observar na Figura 14 que para a qualidade não há interação entre o lado do pacote e a marca da pipoca, no entanto, todas as outras interações alteram o resultado final desta saída. A interação mais relevante é entre a marca e a potência do micro-ondas.

Quanto à quantidade de piruás, não há interação entre tempo e potência, tempo e marca do micro-ondas e potência e marca da pipoca. A interação mais significativa para o resultado desta saída é referente à marca da pipoca e o lado do pacote.

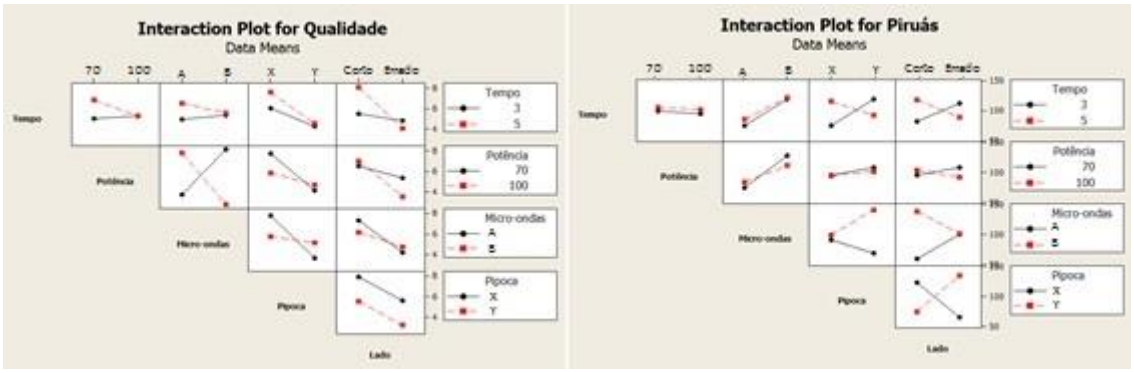


Figura 14 - Gráfico "*Interaction*" para cada saída

6. OTIMIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS

É possível otimizar as respostas do experimento através de uma ferramenta do *Minitab*® acessada nas opções *Stat / DOE / Factorial / Response Optimizer*. Todas as respostas devem ser selecionadas e na caixa de diálogo do botão *setup*, a tabela deve ser preenchida conforme a Figura 15. Para o campo "*weight*" deve-se colocar o valor relativo ao comportamento esperado da saída conforme instruções na própria caixa de diálogo e no campo "*importance*" atribui-se ponderações para as saídas.

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C10 Qualidade	Maximize	0	10		0,1	1
C11 Piruás	Minimize		0	200	10	1

Figura 15 - Caixa de diálogo "*Setup*" do "*Response Optimizer*"

A ferramenta "*Response Optimizer*", mostrada na Figura 16, permite identificar as melhores opções para o processo e também os resultados esperados ou as alterações que devem ser feitas no caso de mudança da condição de algum dos fatores ótimos.

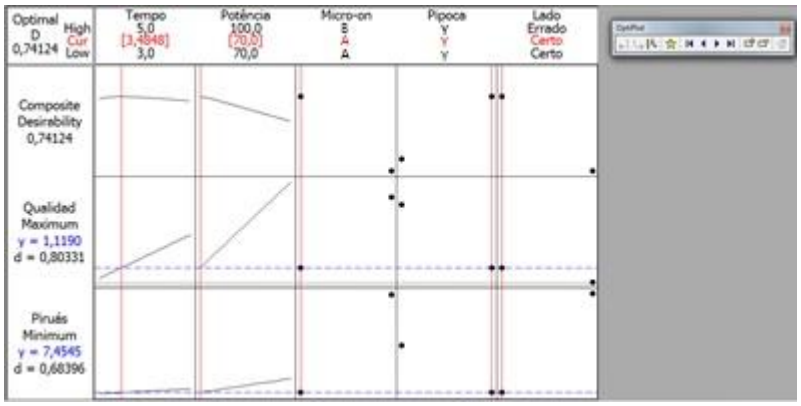


Figura 16 - Ferramenta "*Response Optimizer*"

7. EXERCÍCIOS USANDO A TAXONOMIA DE BLOOM

A ideia de criar um sistema de classificação para servir de referência em avaliações nasceu de reuniões informais no ano de 1948 (BLOOM et al., 1973). Este trabalho foi discutido anualmente até a sua publicação em 1956 intitulado "Taxonomia dos Objetivos Educacionais" mas também conhecido como "Taxonomia de Bloom" apesar de ter sido um trabalho em grupo.

No ano de 1999 pensou-se na alteração desta taxonomia a fim de incorporar as mudanças conceituais e contextuais que ocorreram desde sua publicação (ANDERSON, 1999). Esta nova versão foi publicada em 2001 e ficou conhecida como "Taxonomia de Bloom revisada". A principal diferença é mostrada na Figura **17**.

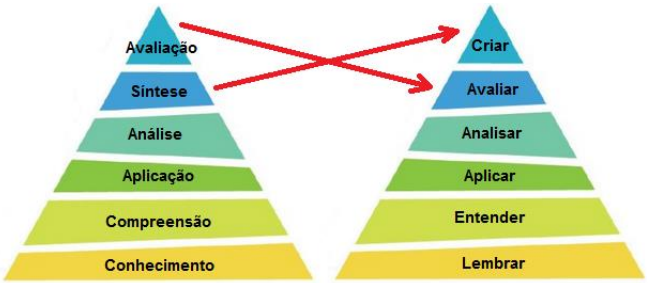


Figura 17 - Taxonomia de Bloom original e a Taxonomia de Bloom revisada

Nesta taxonomia, os objetivos educacionais foram divididos em três domínios: cognitivo, afetivo e psicomotor. No caso de avaliar o aprendizado, considera-se o domínio cognitivo. Alguns exemplos de questões sobre o DoE e a otimização de experimentos em cada nível deste domínio são descritas a seguir:

Lembrar: reconhecer e recordar ideias e conteúdos.

"Quais são as etapas recomendadas para o planejamento de um experimento?" O aluno deve recordar que este tema foi abordado no texto e reproduzir a informação.

Entender: reproduzir com suas próprias palavras.

"Por que os fatores incontroláveis não são considerados no experimento?" O aluno deve estabelecer uma conexão entre o conhecimento novo e o previamente adquirido para justificar sua resposta.

Aplicar: usar regras, métodos, modelos, conceitos, princípios, leis e teorias.

"Caso existissem 7 fatores controláveis no processo, quantas vezes o experimento deveria ser executado para obtenção de resultados suficientemente conclusivos? E completamente conclusivos?" O aluno deve executar o mesmo procedimento feito durante a aula para uma situação nova.

Analisar: concluir e fazer afirmações a partir de gráficos ou resultados numéricos.

*"*Qual é a situação de cada fator controlável no exemplo da aula para que as saídas estejam otimizadas?" O aluno precisa conhecer a ferramenta *Response optimizer* e verificar seus resultados.

Avaliar: verificar a coerência da produção de terceiros

"O lado que é posicionado o pacote não interfere no sabor da pipoca mas sim na quantidade de piruás. Comente a afirmação" O aluno deve julgar a afirmação baseado em critérios e padrões previamente estabelecidos para o gráfico em questão.

Criar: usar a interdisciplinaridade e a interdependência de conceitos.

*"*Descreva um processo diferente do exemplo da aula e siga os passos trabalhados para delinear e otimizar um novo experimento." O aluno deve desenvolver visões, ideias e métodos novos e originais.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O exemplo em questão foi aplicado tanto para turmas de graduação em Engenharia de Produção quanto para turmas de mestrado na Universidade Federal de Itajubá e mostrou um resultado significativo em ambos os casos, servindo de base para o aprofundamento do ensino e das ferramentas para o DoE nas aulas posteriores.

A licença do *software* Minitab® utilizado neste trabalho é de propriedade da Universidade Federal de Itajubá e foi usada a 16ª versão que está disponível para Windows XP, Vista, 7 ou 8 nas versões 32 bits e 64 bits.

Como projeto futuro pretende-se ampliar o banco de questões baseadas na Taxonomia de Bloom e criar novos guias didáticos seguindo este mesmo padrão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo suporte financeiro que possibilitou o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. W. **Rethinking Bloom's Taxonomy: Implications for Testing and Assessment.** Columbia, SC, 1999

BLOOM, B. S.; ENGELHART, M. D.; FURST, E. J.; HILL, W. H.; KRATHWOHL, D. R. **Taxonomia de Objetivos Educacionais - 1. Domínio Cognitivo**. 1a. edição ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1973. p. 179

COLEMAN, D. E.; MONTGOMERY, D. C. A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment: Response. **Technometrics**, v. 35, n. 1, p. 25, 1993.

COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia - Saberes necessários à prática educativa**. 25ª edição ed. São Paulo, SP: Paz e Terra (Coleção Leitura), 1996. p. 168

KRATHWOHL, D. R. A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. **Theory Into Practice**, v. 41, n. 4, p. 212-218, nov. 2002.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 5a. edição ed. Arizona State University: John Wiley & Sons, INC., 2001. p. 684

TANCO, M.; VILES, E.; ILZARBE, L.; ALVAREZ, M. J. Implementation of Design of Experiments projects in industry. **Wiley Online Library**, n. May, p. 478-505, 2009.

DESIGN AND OPTIMIZATION OF EXPERIMENTS: AN DIDACTIC EXAMPLE USING THE SOFTWARE MINITAB®

Abstract: *The purpose of this paper is to suggest a didactic example using the software Minitab® to introduce the subject Design of Experiments (DOE). Starting from a simple process of everyday life, the idea is to make students able to interact and understand the concepts of the planning and optimizing experiments in a natural and intuitive way following seven steps: "recognition of and statement of the problem", "choice of factors, levels, and ranges", "selection of the response variable", "choice of experimental design", "performing the experiment", "statistical analysis of the data" and "conclusions and recommendations". Continuing the learning process, in the end of class some exercises are offered to students in order to improve the learning of content taught. To ensure the effectiveness of learning from the example proposed, the exercises were designed based on the Taxonomy of Educational Objectives, also called Bloom's Taxonomy, and discuss the content at all levels of the cognitive domain. The action research methodology was used in this study and the example in question was applied to undergraduate classes in Industrial Engineering and to master classes and showed a significant result in both cases, providing the basis for the deepening of the subject in later lessons.*

Key-words: *teaching, didactic example, Design of Experiments, DOE, Bloom's Taxonomy.*