

ENSAIOS PLACKETT-BURMAN PARA IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS DE CUSTO TARIFÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA

Hugo J. Ribeiro Junior (TR Soluções)

hugojrr@gmail.com

Rodrigo Luiz Mendes Mota (Unifei)

rodrigolmmota@gmail.com

Rafael Coradi Leme (Unifei)

leme@unifei.edu.br

Paulo Eduardo Steele Santos (TR Soluções)

paulo.steele@trsolucoes.com



O objetivo deste artigo é avaliar os métodos de cálculo de tarifas de maneira a identificar os principais elementos de custo tarifário e seu respectivo impacto, visando uma futura melhoria no processo de análise e previsão. Para tanto, foi utilizada a técnica de Delineamento de Experimentos, em especial os ensaios de Plackett-Burman, que permitiram identificar as variáveis que impactam significativamente neste processo. Como principais resultados verificou-se que dentre os oito elementos de custo analisados, apenas o Mercado consumidor de energia, o IPCA e o IGPM possuem influência significativa na formação da tarifa.

Palavras-chaves: Delineamento de Experimentos, Ensaios Plackett-Burman, Tarifas de Energia Elétrica.

1. Introdução

O histórico do setor elétrico mostra que apenas recentemente houve um verdadeiro interesse em avaliar o quanto as tarifas de energia elétrica são ou podem ser eficazes como instrumentos de uso eficiente das redes. Dessa forma, com a abertura do mercado brasileiro de energia elétrica e a competitividade deste setor fazem com que a busca por informações úteis e ferramentas que venham a auxiliar na tomada de decisões, aumente por parte das concessionárias (GOHR e SANTOS, 2012; SOUZA, 2012).

O aperfeiçoamento da estrutura tarifária no Brasil visa, principalmente, a estabilidade, eficiência com equidade e simplificação do cálculo da tarifa. Além disso, a implementação de tarifas horossazonais no ano de 2011 gerou oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos (ANEEL, 2011).

Em consequência destas mudanças, questões como a qualidade diferenciada, eficiência do uso da rede, energia pré-paga, energia verde são exemplos de novos produtos que naturalmente se desenvolvem com a melhoria da capacidade de comunicação entre os agentes do setor elétrico (STEELE, 2011).

Neste cenário a TR Soluções desenvolveu o Sistema Integrado de Tarifas – SIT, este sistema foca-se na obtenção de informações tarifárias para gerar análises e projeções contribuindo para o processo de tomada de decisões. Neste sentido, o objetivo deste artigo é avaliar os métodos de cálculo de tarifas de maneira a identificar os principais elementos de custo tarifário e seu respectivo impacto, visando uma futura melhoria no processo de análise e previsão.

Para tanto, foi utilizada a técnica de Delineamento de Experimentos, que permite identificar as variáveis que impactam significativamente no processo. Esta técnica é útil para se obter informações sobre produtos e processos (evolução dos preços, índices, mercados, cargas, etc.) baseados em dados observados.

Também foi desenvolvido um algoritmo em linguagem Java que permitiu a operacionalização da coleta de dados históricos dentro da base de dados do SIT, bem como a execução dos experimentos.

Este artigo está organizado em cinco tópicos, sendo o primeiro destinado a uma breve introdução, o segundo apresenta a fundamentação teórica acerca dos estudos sobre delineamento de experimentos, o terceiro e quarto tópicos tratam respectivamente da descrição do método de pesquisa e seus principais resultados. Por fim, o quinto tópico conclui o artigo apresentando suas principais contribuições.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Delineamento de Experimento

Delineamento de experimentos, ou DOE (do inglês, *Design of Experiments*), é uma ferramenta usada para avaliar a relação de causa e efeito de um determinado processo ou sistema por meio de uma série de testes nos quais mudanças intencionais são realizadas nas variáveis de entrada, refletindo em alterações identificáveis na variável de resposta deste mesmo o processo ou sistema; e dentro de seus objetivos incluem-se (MONTGOMERY, 2009, BELL *et al.*, 2009).

Determinar quais das variáveis do processo são mais influentes na variável de resposta (y);

- Determinar os níveis de ajuste dos fatores controláveis x 's, para que a resposta tenha um valor próximo do valor nominal desejado;
- Determinar os níveis de ajuste dos fatores controláveis x 's, para que a variabilidade no valor da variável de resposta seja o menor possível;
- Determinar os níveis de ajuste dos fatores controláveis x 's, para que os efeitos das variáveis incontroláveis (z_1, z_2, \dots, z_q) sejam minimizados.

Dentre as opções de delineamento de experimentos existentes o arranjo Fatorial Completo permite estudar todos os possíveis ensaios, pois, o número de ensaios é igual ao número de níveis, normalmente dois, elevado ao número de fatores, dessa forma, todas as combinações, inclusive as interações de todas as ordens, são testadas e avaliadas.

Entretanto, Montgomery (2009) enfatiza que à medida que o número de fatores cresce linearmente, a quantidade de experimentos cresce geometricamente, fato este que pode inviabilizar a utilização deste tipo de arranjo.

Dessa forma, uma alternativa viável é a utilização de um delineamento de seleção. Este tipo de planejamento geralmente é realizado em estágios iniciais onde é provável que certos fatores considerados possuam pouco ou nenhum efeito sobre a variável de resposta, podendo, dessa forma, ser desconsiderados do planejamento. Um dos principais delineamentos de seleção utilizados como alternativa para reduzir o número de experimentos é o arranjo Plackett-Burman a ser tratado no tópico seguinte (KLEIJEN *et al.*,2011).

2.2 Delineamento Plackett-Burman

O delineamento Plackett-Burman é classificado como delineamento fatorial fracionado de dois níveis, seus arranjos são criados em tamanhos múltiplos de quatro, compostos de sinais positivos para os níveis superiores, e sinais negativos para os níveis inferiores.

Como regra os projetos devem ser construídos com k parâmetros, onde $k = (N - 1)$, sendo N o total de ensaios realizados. O Quadro 1 apresenta uma matriz Plackett-Burman de com oito ensaios, $N = 8$ e $k = 7$ fatores (MONTGOMERY, 2009; PLACKETT e BURMAN, 1946).

Quadro 1 – Arranjo Plackett-Burman padrão para oito ensaios

+	+	+	-	+	-	-
-	+	+	+	-	+	-
-	-	+	+	+	-	+
+	-	-	+	+	+	-
-	+	-	-	+	+	+
+	-	+	-	-	+	+
+	+	-	+	-	-	+
-	-	-	-	-	-	-

Fonte: COUTO (2012)

A primeira linha do Quadro 1 é definida o padrão para o delineamento Plackett-Burman, a segunda linha é formada a partir da primeira, por meio de um deslocamento de coluna, onde o sinal da última coluna descola-se para a primeira coluna, o sinal da primeira coluna desloca-se para a segunda coluna, assim por diante até que todos os sinais da segunda linha estejam deslocados (DEHAEGHER, HEYDEN, 2011).

Quadro 2 – Técnica de Espelhamento (continuação)

		-	-	-	+	-	+	+
		+	-	-	-	+	-	+
Plackett-Burman		+	+	-	-	-	+	-
coma técnica de	Espelhamento	-	+	+	-	-	-	+
Espelhamento		+	-	+	+	-	-	-
Resolução IV		-	+	-	+	+	-	-
		-	-	+	-	+	+	-
		+	+	+	+	+	+	+

Fonte: COUTO (2012)

Como ilustração, a parte superior do Quadro 2 apresenta uma matriz Plackett-Burman de resolução III com oito ensaios, $N = 8$ e $k = 7$, e a parte inferior do Quadro 2 apresenta o resultado da aplicação da técnica de espelhamento na parte superior da tabela. A junção da parte superior com a da parte inferior, ambos do Quadro 2, modifica a classificação do arranjo Plackett-Burman de resolução III para resolução IV.

Miller e Sitter (2001, 2005) e Jacroux (2009) enfatizam que três princípios empíricos justificam o uso de pequenas frações do delineamento fatorial:

- Esparcidade (*Effect sparsity*): Somente pequenas porções dos efeitos candidatos serão significativas;
- Hierarquia (*Effect hierarchy*): Os efeitos principais são mais susceptíveis de serem significativos do que os efeitos de interações de segunda ordem, as quais, por sua vez, são mais susceptíveis de serem significativas do que os efeitos das interações de terceira ordem, e assim por diante;
- Hereditariedade (*Effect heredity*): É incomum uma interação ser significativa a menos que pelo menos um fator envolvido possua um efeito principal significativo, e quando isso ocorre, a interação é classificada como *weak heredity*. Quando os fatores envolvidos em uma interação são significativos, a interação é classificada como *strong heredity*.

3. Método

No cumprimento do objetivo geral desta pesquisa foi adotada a abordagem quantitativa, nela capturam-se evidências de pesquisa por meio da mensuração de variáveis, a partir de informações subjetivas, traduzindo-as em números para classificá-las, analisá-las e testá-las (MARTINS, 2010; CRESWELL e CLARK, 2007; SAMPIERI, 2006).

Dentre os métodos de pesquisa existentes, foi adotado o método modelagem e simulação, que permite representar um sistema real por meio de um modelo, propiciando análises de seu comportamento, programação e controle de mudanças (BERTRAND e FRANSOO, 2002).

O processo de modelagem, segundo Morabito e Pureza (2010), permite a construção do modelo a ser simulado a partir da abstração de um modelo conceitual, uma descrição verbal do comportamento do sistema considerado. Em seguida, descreve-se o sistema de maneira mais refinada, por meio de um modelo experimental de simulação, que representará o funcionamento deste sistema por meio de relações lógicas em quatro etapas.

A primeira etapa é a Modelagem, responsável por definir as variáveis de interesse e as relações matemáticas que descrevem o comportamento relevante do sistema. A segunda etapa denominada Análise irá aplicar as técnicas matemáticas, por meio do uso de tecnologias (computadores, *softwares*, etc.), de maneira a resolver o modelo matemático e visualizar possíveis conclusões.

A Inferência, terceira etapa, discutirá se as conclusões para o problema têm significado suficiente para o problema real. E por fim, a quarta etapa denominada Avaliação revelará se a modelagem e as conclusões obtidas são adequadas ao problema real, caso contrário, a modelagem pode sofrer revisões (MORABITO e PUREZA, 2010).

3.1. Objeto de Estudo

A TR Soluções atua na área de consultoria, pesquisa e desenvolvimento de sistemas de informação para o setor de energia elétrica. Em vista das necessidades detectadas no mercado, foi desenvolvido o Sistema Integrado de Tarifas (SIT), subdividido em quatro módulos, contemplando a estimativa de reajustes, revisões tarifárias, previsões de fatura e cálculo das tarifas de energia elétrica.

O módulo de reajuste fornece o suporte ao usuário no acompanhamento de projeções de reajustes tarifários da atividade de distribuição de energia elétrica. O módulo de tarifas fornece o impacto do efeito do reajuste em cada tarifa de energia elétrica aplicada pelas distribuidoras de energia elétrica.

Já o módulo de revisão tarifária estima a descontinuidade das tarifas ocasionadas pelas revisões tarifárias periódicas, visando a gestão eficiente das distribuidoras de energia elétrica. Por fim, o módulo de faturas estima a conta de energia elétrica de cada consumidor de acordo com o seu comportamento.

Todos os produtos da TR Soluções são oferecidos via *web* com o intuito de manter as aderências dos valores tarifários identificados, este sistema é atualizado continuamente de forma a garantir sua aderência tanto à dinâmica do mercado quanto ao corpo regulatório do setor.

3.2. Procedimentos metodológicos

Neste tópico serão apresentados os procedimentos desenvolvidos, divididos em três etapas, Levantamento de dados, Experimentações preliminares e Realização do Experimento junto ao SIT.

O levantamento de dados foi iniciado por meio de um estudo bibliográfico de maneira a identificar os principais conceitos relacionados ao mercado de energia, principais reguladores, elementos de custo e formação de preço.

Assim, foram identificados oito elementos de custo representativos, são eles: o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA; o Índice Geral de Preços do Mercado – IGPM, a cotação do Dólar, os Preço Liquidação da Diferença das regiões Centro Oeste/Sudeste, Nordeste, Norte, Sul e Mercado consumidor de energia elétrica.

Assim, foi definido o desenho experimental como um arranjo de Plackett-Burman com $N = 12$, $k = 11$ fatores, aplicando também a técnica de espelhamento, assumindo assim 24 ensaios, em resolução do tipo IV.

Para a coleta de dados dos elementos supracitados foi selecionada a distribuidora de energia elétrica AES Eletropaulo, por ser a maior distribuidora com aproximadamente 12% do mercado nacional em distribuição de energia e aproximadamente 11% em receita no ano de 2012 (ANEEL, 2013).

Dessa forma, identificados os elementos de custo e selecionada a empresa distribuidora de energia elétrica, a coleta de dados se deu por meio de dados históricos coletados dentro do SIT. Contudo, devido ao grande volume de dados necessários para o delineamento dos experimentos foi desenvolvida um algoritmo computacional para o SIT de forma que as informações fossem coletadas mais rapidamente.

O algoritmo computacional foi desenvolvido em Java, criado em 1991 pela Sun Microsystems e atualmente sua aplicação é voltada para a Internet (LUCKOW, 2010). Sua principal função destinou-se a coletar o último valor vigente para cada elemento de custo e conforme os níveis experimentais de cada ensaio, reajustar os valores de cada elemento em $\pm 1\%$, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Fatores e níveis experimentais

Fatores	Nível +	Nível -
IPCA	3.517,547	3.447,893
IGPM	493,225	483,459
Dólar	2,002	1,964
PLD CO/Sd	343,150	336,350
PLD Nordeste	343,240	336,440
PLD Norte	343,79	336,010
PLD Sul	342,790	336,350
Mercado	46.002,135	45.091,201

Em seguida, o algoritmo inseriu no SIT os valores de cada elemento de custo correspondente a cada ensaio na forma de projeção, obtendo-se a resposta dos ensaios em termos de receita requerida da distribuidora para o período projetado de 07/2014 a 06/2015, conforme a Tabela 2. Vale ressaltar que devido ao número de fatores utilizados efetivamente, no caso 8, a referida tabela possui apenas as colunas as quais representam estes fatores.

Tabela 2 – Arranjo experimental e respostas

EXP	IPCA	IGPM	Dólar	CO/Sd	Nord	Norte	Sul	Mercado	Respostas
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	R\$8.155.126.363,76
2	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	R\$8.115.926.003,41
3	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	R\$8.272.377.637,62
4	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	R\$8.154.948.224,26
5	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	R\$8.342.038.865,24
6	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	R\$8.301.630.581,04
7	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	R\$8.048.393.789,41
8	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	R\$8.231.972.994,87
9	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	R\$8.272.572.967,10
10	1	-1	1	1	-1	1	1	1	R\$8.301.438.496,22
11	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	R\$8.087.240.591,26
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	R\$8.048.395.999,95
13	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	R\$8.231.974.675,65
14	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	R\$8.272.577.198,75
15	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	R\$8.116.102.415,34
16	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	R\$8.232.164.522,34
17	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	R\$8.048.215.674,39
18	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	R\$8.087.242.346,54
19	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	R\$8.341.837.377,52
20	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	R\$8.155.127.940,91
21	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	R\$8.115.929.744,20
22	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	R\$8.087.422.586,16
23	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	R\$8.301.632.451,68

24 1 1 1 1 1 1 1 1 R\$8.289.798.156,00

4. Análise dos Resultados

Continuamente, de posse dos resultados dos experimentos, foram calculados os efeitos principais para cada um dos fatores experimentais. Nota-se que os principais efeitos encontram-se nos elementos Mercado consumidor de energia, IPCA e IGPM. Assim, para cada alteração percentual nestes elementos a receita requerida é impactada conforme as respectivas grandezas observadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Efeitos principais para os fatores experimentais

Efeitos	
IPCA	R\$34.292.598,19
IGPM	R\$19.857.067,81
Dólar	R\$(93.626,62)
PLD CO/Sd	R\$(757,66)
PLD Nordeste	R\$(1.267,35)
PLD Norte	R\$3,55
PLD Sul	R\$(394,25)
Mercado	R\$92.665.873,56

Também foi calculada a representatividade de cada fator, conforme os critérios de esparcidade e hierarquia, os quais são indicados pela Tabela 4. Confirma-se a representatividade dos elementos supracitados. Além disso, observa-se que a cotação do Dólar e as PLDs apresentaram efeitos pouco representativos.

Tabela 4 – Representatividade de cada fator

Fator	Efeito	Representatividade	Representatividade (ac.)
Mercado	R\$92.665.873,56	63,076%	63,076%
IPCA	R\$34.292.598,19	23,342%	86,418%
IGPM	R\$19.857.067,81	13,516%	99,935%
Dólar	R\$93.626,62	0,064%	99,998%
PLD Nordeste	R\$1.267,35	0,001%	99,999%
PLD CO/Sd	R\$757,66	0,001%	100,000%
PLD Sul	R\$394,25	0,000%	100,000%
PLD Norte	R\$3,55	0,000%	100,000%

De forma a analisar os efeitos e as interações de maneira mais criteriosa, foram calculadas as interações de segunda ordem, os valores estão expressos no anexo I. Também foi realizada uma análise de variância, ANOVA, para avaliar a significância estatística dos efeitos, os resultados são expressos na Tabela 6.

Tabela 5 – Resultados da Anova

	<i>F</i>	<i>p-value</i>
IPCA	0,2295	0,0000
IGPM	0,0696	0,0000
PLD Norte	0,0011	0,3030
PLD CO/Sd	0,0010	0,3226
Mercado	0,0010	0,3225
PLD Nordeste	0,0010	0,3228
Dólar	0,0010	0,3227
PLD Sul	18,211	0,0000

Pode-se observar que os efeitos de IPCA (A), IGPM (B) e Mercado consumidor de energia (H), são os efeitos estatisticamente significantes e exercem uma influência significativa na variável de resposta, dessa forma, estes três fatores devem ser analisados em experimentos subsequentes, ou ainda em experimentos de aprimoramento, talvez um fatorial completo 2^3 .

5. Considerações Finais

Nesta pesquisa pode-se perceber que em virtude da competitividade do mercado brasileiro de energia elétrica, há uma busca por informações úteis e ferramentas que auxiliem o processo de tomada de decisões. O que gerou diversas oportunidades para o desenvolvimento de novos produtos.

Neste sentido, objetivo deste artigo foi avaliar os métodos de cálculo de tarifas de maneira a identificar os principais elementos de custo tarifário e seu respectivo impacto, visando uma futura melhoria no processo de análise destas informações por parte da empresa objeto de estudo.

Dessa forma, verificou-se que dentre os oito elementos de custo analisados, apenas o Mercado consumidor de energia, o IPCA e o IGPM possuem influência significativa na formação da tarifa, para a referida distribuidora.

Logo, a contribuição dessa pesquisa se encontra na utilização de DOE para proporcionar informações relevantes à tomada de decisões com relação aos elementos de custo significativos na formação das tarifas de energia elétrica.

Contudo, este é um estudo inicial e não plenamente explorado. Acredita-se que como propostas para trabalhos futuros, a modelagem destes elementos em séries temporais possam complementar os estudos e fornecer melhores informações para uma melhoria no processo de previsão e tomada de decisão estratégica.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Por dentro da conta de energia: informação de utilidade pública.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 4. ed., p. 24. Brasília. 2011.

ANEEL. **Relatórios do Sistema de Apoio a Decisão.** Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idarea=550>> Acesso em: 21 de abr. 2013.

- BELL, G. H.; LEDOLTER, J.; SWERSEY, A. A Plackett-Burman Experiment to Increase Supermarket Sales of a National Magazine. **Interfaces**. v. 39, n. 2, p. 145–158. 2009.
- BERES, D. L.; HAWKINS, D. M. Plackett-Burman Technique for Sensitivity Analysis of Many-Parametered Models. **Ecological Modeling**, v. 141, p. 171-183. 2001.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations e Production Management**. v. 22, n. 2, p. 241-264. 2002.
- COUTO, A. F. **Análise de Correlação no Reconhecimento de Interações em Arranjos Plackett-Burman**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Itajubá, Minas Gerais. 2012.
- CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. **Designing and conducting mixed methods research**. California, Sage Publications. 2007.
- DEJAEGHER, B.; HEYDEN Y. V. Experimental designs and their recent advances in set-up, data interpretation, and analytical applications. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**. v. 56, p. 141–158. 2011.
- GOHR, C. F.; SANTOS, L. C. Aspectos Institucionais e Escolha Estratégica no Processo de Mudança do Setor Elétrico Brasileiro no Período 1990-2004: O Caso da Eletrosul Centrais Elétricas S.A. **Revista Gestão Organizacional**. Vol. 5, n. 1, p. 4-27. 2012.
- JACROUX, J. Blocking in Two-Level Non-Regular Fractional Factorial Designs. **Journal of Statistical Planning and Inference**. v. 139, p. 1215-1220. 2009.
- KLEIJNEN, J. P.C.; SANCHEZ, S. M.; LUCAS, T. W.; CIOPPA T. M. State-of-the-art review: a user's guide to the brave new world of designing simulation experiments. **INFORMS J. Comput.** p. 263-289. 2005.
- LEY, Y. J.; OU Z. J.; QIN, H.; ZOU, N. A Note on Lower Bound of Centered L2-discrepancy on Combined **Desing**. **Acta Mathematica Sinica**, v. 28, n. 4, p. 793-800. 2012.
- LUCKOW, D. H.; MELO, A. A. **Programação Java para a WEB**. Editora Novatec. São Paulo. 2010.
- MAGALLANES, J. F.; OLIVIERI, A. C. The effect of factor interactions in Plackett–Burman experimental designs Comparison of Bayesian-Gibbs analysis and genetic algorithms. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 102, n. 1, p. 8-14. 2010.
- MARTINS, R. A. **Princípios da pesquisa científica**. In: MIGUEL, P. A. C. (org.) Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 5-29. 2010.

MILLER, A.; SITTER R. R. Using the Folded-Over 12-Run Plackett-Burman Design to Consider Interactions. **Technometrics**, v. 43, n. 1, p. 44-55. 2001.

MILLER, A.; SITTER, R. R. Using Folded-Over Nonorthogonal Designs. **Technometrics**, v. 47, n. 4, p. 502-513. 2005.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 7th Edition. John Wiley & Sons, Inc, 2009.

MORABITO, R.; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação**. In: MIGUEL, P. A. C. (org.) Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 73-123. 2010.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; ANDERSON-COOK, C. M. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009.

PLACKETT, R. L.; BURMAN, J. P. The design of optimum multifactorial experiments. **Biometrika**, v. 33, n. 4, p. 305-325. 1946.

SAMPIERI, R. A.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 3ª edição. São Paulo: McGraw-Hill. 2006.

SOUZA, H. P. D. **Comercialização de Energia Elétrica na Visão do Consumidor Potencialmente Livre: Uma Abordagem Baseada em Dinâmica de Sistemas** (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

STEELE, P. E. S. **Tarifas de Energia Elétrica: Estrutura Tarifária**. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 2011.

Anexo I

Interações de segunda ordem

	IGPM	Dólar	PLD CO/Sd	PLD Nordeste	PLD Norte	
IPCA	R\$261.376,00	R\$268.961,58	R\$(397.700,67)	R\$(255.651,50)	R\$269.414,83	R
IGPM	-	R\$(927.522,58)	R\$(253.623,83)	R\$(400.887,67)	R\$(926.152,83)	R
Dólar	-	-	R\$(264.926,25)	R\$(394.958,25)	R\$(933.201,08)	R
PLD CO/Sd	-	-	-	R\$278.037,50	R\$(278.894,50)	R
PLD Nordeste	-	-	-	-	R\$(389.994,50)	R
PLD Norte	-	-	-	-	-	R
PLD Sul	-	-	-	-	-	R