

## 6 Conclusões

Esta tese reuniu as técnicas estatísticas indicadas para a modelagem da média e da variância das características de qualidade de processos e produtos, em experimentos fatoriais não replicados, na definição de um roteiro integrado e detalhado para a análise.

A importância e a utilidade de tal roteiro vem do fato de que a melhoria da qualidade na indústria passa pela redução da dispersão de características de qualidade de produtos e processos, o que faz com que para a otimização da qualidade de produtos e processos seja necessária a modelagem da dispersão conjuntamente à modelagem da média. As técnicas tradicionais (modelos lineares ordinários) não se prestam a essa análise, especialmente no contexto industrial, onde frequentemente as características de qualidade possuem distribuições diferentes da normal, variância não constante ou os efeitos dos diversos fatores sobre a resposta se combinam de forma não-aditiva, violando portanto as condições de validade para aplicação daquelas técnicas. Além disso, um elemento que aumenta a dificuldade da análise é o elevado custo dos experimentos na indústria, que inviabiliza a execução de um grande número de repetições dos experimentos (que permitiriam a estimação da variância da resposta a partir das replicações).

Existem técnicas que permitem resolver esse problema de modelagem conjunta de média e dispersão nessas situações, mas além de serem menos conhecidas, sua descrição na literatura não é exaustiva, muitos dos resultados estando dispersos em diferentes artigos; mesmo os livros existentes por vezes fornecem os modelos mas não detalham aspectos importantes da análise tais como a aplicação dos testes de significância dos coeficientes, as estatísticas e gráficos indicados para verificar a adequação do modelo, e mesmo a identificação de modelos para a média em experimentos fatoriais. Todos esses aspectos são detalhados nesta tese.

Descrevemos detalhadamente as técnicas de modelagem que vão além dos métodos tradicionais de análise baseados no modelo linear com resposta normal e com a resposta transformada com distribuição normal. Os modelos lineares generalizados (MLG) e os critérios de quase-verossimilhança e quase-verossimilhança estendida oferecem uma ampla base de opções de modelos para situações onde a inobservância dos pressupostos do modelo linear clássico não recomenda seu uso.

Descrevemos, para os MLG, quais os métodos de estimativa dos coeficientes dos modelos, como são aplicados os testes de significância dos coeficientes, e quais são as estatísticas e os gráficos indicados para verificar a adequação do modelo. Em particular, descrevemos como realizar os testes de significância das estimativas dos coeficientes dos modelos, através da análise de *deviance* (ANODE).

Vários exemplos foram apresentados para descrever a aplicação dessas técnicas. Nesses exemplos foram usados experimentos fatoriais não replicados em dois níveis, completos ( $2^k$ ) e fracionados ( $2^{k-p}$ ), e experimentos compostos centrados.

Uma vez construído o modelo, foi mostrado como usá-lo para obter as condições ótimas de operação dos processos e produtos. Em particular, foi mostrado como identificar os fatores de controle que afetam a dispersão da resposta — através das interações com os fatores de ruído — e, como o nível do fator de controle deve ser ajustado de modo que resulte em produtos e processos robustos às variações dos fatores de ruído.

Além do cumprimento desse objetivo principal, a tese traz algumas contribuições adicionais; a saber:

- a) Apontamos limitações em todos quatro métodos da literatura que se propõem a escolher a transformação mais adequada para a resposta. Esses métodos não produziram resultados satisfatórios quando houve interações significativas entre os fatores;
- b) Propomos a utilização de métodos de transformação da resposta como fonte de indicação da função de ligação a ser usada nos modelos lineares generalizados;

- c) Propomos a utilização da função de log-verossimilhança para uma escolha da distribuição de probabilidade e da função de ligação, nos modelos lineares generalizados.

A utilização da função de log-verossimilhança para uma escolha da distribuição e da função de ligação produziu resultados satisfatórios quando: i) não houve interações significativas entre os fatores, ii) quando a interação entre os fatores, embora significativa, era fraca ou iii) sabia-se quais eram as interações significativas, de modo a incluí-las de antemão no modelo. No entanto, não produziu resultados satisfatórios quando houve interações significativas que não se conheciam de antemão. Conquanto se possa procurar aventar explicações conceituais para essas constatações, isso poderia ser prematuro, e tal investigação fica como indicação para pesquisa futura.

Outras indicações para pesquisa futura são:

- a) Realizar um estudo para apontar conclusivamente as limitações dos quatro métodos que se propõem a escolher a transformação mais adequada para a resposta.
- b) Investigar, para os modelos lineares generalizados, um método similar ao de Box e Meyer, que se propõe a identificar fatores que afetam a dispersão em experimentos fatoriais com dois níveis. Tal método consistiria em comparar a variabilidade do resíduo *deviance* quando o nível do fator é -1, com a variabilidade do resíduo *deviance* quando o nível do fator é +1.
- c) Realizar um estudo para apontar a eficácia do método iterativo de Lee e Nelder quando a média é representada por uma variável contínua e sua distribuição é outra que não a distribuição normal. Nos poucos exemplos encontrados na literatura, nenhum se enquadra nessa situação.