

## 5

### Considerações finais e sugestões

Neste capítulo são apresentadas, a partir dos resultados encontrados no Capítulo 4, as conclusões quanto às questões levantadas nesta dissertação. O Capítulo está organizado em duas Seções: a Seção 5.1 apresenta as respostas às questões da dissertação. Já a Seção 5.2 fornece recomendações para futuras dissertações relacionadas ao assunto.

#### 5.1

##### Considerações Finais

No que concerne aos objetivos desta pesquisa, que tratou da questão da restrição na aleatorização em problemas de experimentos planejados, pôde-se chegar a alguns resultados, que serão apresentados a seguir, assim como um resumo sobre o que foi realizado neste estudo.

Essa dissertação, além de apresentar uma abordagem sobre um caso real, tratou de técnicas estatísticas utilizadas para melhoramento de processo. Inicialmente foi realizada uma revisão sobre a questão da restrição aleatorização em experimentos planejados, e o que isso acarreta. Além disso, foi realizada uma apresentação sobre modelos lineares mistos, os quais foram utilizados no tratamento dos dados provenientes do experimento realizado, estabelecendo a relação entre as variáveis utilizadas no estudo. Optou-se pela utilização de modelos lineares mistos, uma vez que tais modelos consideram a existência de efeitos fixos e aleatórios e permitem o uso de diferentes tipos de estrutura para a matriz de covariância, possibilitando-se trabalhar com dados onde as observações

são correlacionadas e onde há presença de heterocedasticidade, o que ocorre quando há medidas repetidas e quando há restrição na aleatorização.

Em seguida, foi apresentado o experimento realizado para este estudo. Tal experimento tratou da medição da espessura de um determinado material, utilizado na fabricação das latas de duas peças, a partir de algumas variáveis controláveis. O objetivo do experimento era a obtenção de dados para possibilitar a modelagem da média e da variância da espessura do material citado. O experimento foi elaborado por Gomes (2007) e executado no setor de laminação a frio, por funcionários da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em parceria com uma empresa de consultoria (SKF do Brasil Ltda), em 2007, utilizando-se para isso 64 bobinas do material estudado. Os dados deste experimento foram utilizados nesta dissertação e tratados com modelos lineares mistos. Para a modelagem da média, a finalidade era atingir o valor alvo (0,248mm), e para a variância o objetivo era que se atingisse o mínimo valor possível. Foi feita ainda uma breve descrição do processo produtivo do setor de laminação a frio para melhor compreensão das variáveis envolvidas no estudo.

No experimento realizado, quatro fatores foram utilizados (A, redução da cadeira 1; B, redução da cadeira 5; C, tensão de estiramento entre as cadeiras 4 e 5; D, diâmetro do cilindro de trabalho da cadeira 1; E, ganho do controlador) a dois níveis, utilizando-se um desenho fatorial. Como foram utilizados apenas dois diâmetros do cilindro no experimento, e cada bobina utilizou apenas um desses diâmetros, o fator D foi considerado fator aleatório.

Um modelo de segunda ordem foi ajustado aos dados, utilizando a abordagem de modelos mistos (REML). Foi selecionada a estrutura de correlação e a função de variância. Os resultados mostraram que os fatores C (tensão de estiramento entre as cadeiras 4 e 5) e D (diâmetro do cilindro de trabalho da cadeira 1) são aqueles que apresentam efeito significativo na determinação da média da espessura do material. Além disso, podemos dizer que quanto maior o nível desses fatores, maior é a espessura média do material. No caso da modelagem do logaritmo neperiano da variância da variável de estudo, o efeito do fator E (ganho do controlador) e das interações entre os fatores AD (redução da cadeira e diâmetro do cilindro de trabalho da cadeira) e BD (redução da cadeira 5 e diâmetro do cilindro de trabalho da cadeira 1) mostraram-se significativos,

ambos com coeficientes negativos e valor- $p < 5\%$ . A variância mínima ocorre quando todos os fatores apresentados na Tabela 19 estão no nível alto.

O modelo misto mostrou-se adequado no ajuste das variáveis dependentes consideradas. Sendo assim, é possível concluir que as dificuldades relacionadas à ausência de aleatorização foram superadas.

Ao comparar os modelos encontrados com os obtidos por Gomes (2007), observam-se algumas diferenças na estrutura. Gomes (2007) utilizou GLM na sua modelagem, tanto da média quanto da variância, uma vez que o diagrama de dispersão dos resíduos apontou a existência de heterocedasticidade. Sendo assim, foi modelada a variância da média para que assim fosse modelada a média da espessura. Como resultado da modelagem da média, apenas o fator D foi significativo. Na modelagem da variância, Gomes encontrou os fatores C, D e E, assim como a interação AD, significativos.

Nesta dissertação, foi mostrada a utilidade do uso de modelos lineares mistos em situações onde há heterocedasticidade, e quando há restrição na aleatorização, nos dados provenientes de experimentos planejados.

## 5.2

### Sugestões para Trabalhos Futuros

Esta dissertação abordou estritamente a questão relacionada à restrição na aleatorização e a utilização de modelos mistos para a modelagem de dados provenientes de experimentos com restrição na aleatorização. No entanto, por não fazer parte do seu escopo, não foi feito um estudo mais detalhado sobre as estruturas de correlação presentes nos modelos mistos, e a escolha da melhor estrutura de correlação a ser utilizada na modelagem. Um estudo detalhado pode ser realizado para os diferentes tipos de função de variância. Sugere-se assim estudos futuros que abordem essas questões.

Além disso, como uma continuidade deste estudo, seria interessante testar um modelo que não assumisse linearidade entre as variáveis, trabalhando-se assim com modelos mistos não-lineares.

Acredita-se que os resultados ora apresentados, bem como os estudos futuros aqui propostos, poderão contribuir, de alguma forma, para a busca da melhoria nos experimentos planejados e na modelagem dos dados deles provenientes.