

4 Análise dos Resultados

4.1. Estimativa da incerteza da Firmeza medida (%)

Utilizando o critério de eliminação de pontos de Chauvenet, foi feita a avaliação dos resultados individuais, eliminando aqueles que se apresentaram como *outliers*, e daí, foram calculados os resultados médios e desvio padrão por nível de umidade no fumo.

Na primeira etapa da análise, foi estimada a incerteza padronizada de cada um dos parâmetros dos quais depende o valor de firmeza medida, ou seja, leitura de firmeza e circunferência. O valor de incerteza foi estimado como o desvio padrão das observações, por nível de umidade no fumo, para cada marca.

A amostra E foi avaliada para 6 (seis) níveis de umidade no fumo, visto que os resultados referentes a 19% foram invalidados, devido a problemas durante a execução do ensaio.

A especificação de umidade do fumo no produto acabado é $(13,5 \pm 0,5)\%$, e este valor é considerado como condição de referência para a qual a firmeza é corrigida. Sendo assim, foi feita a avaliação das incertezas dos resultados medidos nesta faixa, onde não haveria necessidade de correção. Nesta avaliação foi avaliada a contribuição de cada incerteza padronizada de cada parâmetro sobre o resultado final de firmeza (%). Os resultados são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Resultados de Firmeza medida em cigarros a (13,5±0,5)% de Umidade no fumo

| Descrição do Produto | $\frac{\partial F_{med}}{\partial L} \cdot u_L$ | $\frac{\partial F_{med}}{\partial C} \cdot u_C$ | Firmeza Medida (F_{med}) | Incerteza padronizada da Firmeza Medida (u_{Fmed}) |
|----------------------|---|---|------------------------------|--|
| Referência | | | (53) | (61) |
| A | 1,304 | 0,194 | 74,6 | 1,3 |
| B | 1,265 | 0,265 | 63,4 | 1,3 |
| C | 1,069 | 0,136 | 74,1 | 1,1 |
| D | 1,139 | 0,164 | 74,8 | 1,2 |
| D – Encarteirado | 0,706 | 0,160 | 74,4 | 0,7 |
| E | 1,570 | 0,195 | 74,9 | 1,6 |
| F | 1,001 | 0,233 | 72,0 | 1,0 |
| G | 0,940 | 0,110 | 73,4 | 0,9 |
| H | 1,055 | 0,089 | 72,2 | 1,1 |
| I | 0,967 | 0,230 | 72,9 | 1,0 |
| J | 0,780 | 0,218 | 76,6 | 0,8 |

O que se observa é a confirmação de observações anteriores, feitas durante o estudo de análise metrológica da firmeza¹⁰, ou seja, a leitura de firmeza é o parâmetro que mais contribui para a incerteza da firmeza medida a 13,5% de umidade.

Os resultados das Tabelas 30 e 31 foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados, de acordo com uma série de modelos matemáticos. Esta análise teve por finalidade avaliar qual o melhor ajuste dos dados a ser utilizado para determinação da firmeza corrigida para o valor de referência, capaz de estimar resultados com as menores incertezas. Essa avaliação considerou a utilização de um modelo por marca contra a utilização de um modelo único para todas as marcas.

4.2.Comparação com modelo BAT

Primeiramente, foi realizada a comparação entre os resultados obtidos utilizando o modelo BAT e o modelo exponencial ajustado, para avaliar a existência de possíveis diferenças entre os resultados obtidos. Analisando os resultados das Tabelas 25 e 26, foi possível fazer algumas observações:

- Não se observa, a priori, diferença significativa entre os resultados de firmeza corrigida obtidos para o modelo ajustado por marca e para o modelo único para todas as marcas. As variações observadas estão em torno de 0,1% em valor absoluto de Firmeza;
- Comparando os resultados obtidos pelos dois modelos de ajuste com aqueles obtidos pelo modelo BAT, a variação observada fica em torno de 0,2% em valor absoluto de Firmeza;
- A incerteza de medição do modelo ajustado é maior do que a do modelo BAT, o que é esperado, uma vez que neste último caso, não é contemplada a incerteza do ajuste como contribuição na incerteza de medição;
- Comparando-se os resultados das duas tabelas, verificou-se que a incerteza de medição de Firmeza é bem maior quando se utiliza um modelo único para ajuste dos dados. Esse fato também é esperado, uma vez que há combinação das variações dos diversos produtos.

Tabela 25 – Comparação entre os resultados obtidos utilizando o modelo BAT e utilizando o modelo ajustado, por marca, para cigarros com fumo a (13,5±0,5)% de umidade (condição de referência)

| Modelo ajustado por marca | Modelo BAT, n = 1,6 | | | Modelo não linear $y = x^n$ | | |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| | n (modelo BAT) | F _{corr} pelo modelo BAT | U _{Fcorr} | n (modelo ajustado) | F _{corr,aj} | U _{Fcorr} |
| | | % | % | | % | % |
| Referência | | (35) | | | (115) | (111) |
| Identificação do Produto | | | | | | |
| A | 1,6 | 74,4 | 3,5 | 1,5 | 74,5 | 5,3 |
| B | 1,6 | 64,3 | 3,4 | 1,3 | 64,1 | 5,0 |
| C | 1,6 | 73,9 | 2,9 | 1,5 | 73,9 | 4,8 |
| D | 1,6 | 73,7 | 3,0 | 1,4 | 73,9 | 5,2 |
| D - Encarteirado | 1,6 | 73,8 | 1,9 | 1,3 | 74,0 | 4,8 |
| E | 1,6 | 74,4 | 4,2 | 1,6 | 74,4 | 6,7 |
| F | 1,6 | 72,0 | 2,7 | 1,4 | 72,0 | 6,2 |
| G | 1,6 | 72,5 | 2,5 | 1,4 | 72,6 | 4,0 |
| H | 1,6 | 72,2 | 2,8 | 1,5 | 72,2 | 5,0 |
| I | 1,6 | 73,1 | 2,6 | 1,4 | 73,1 | 4,1 |
| J | 1,6 | 75,1 | 2,1 | 1,5 | 75,2 | 4,6 |

Tabela 26 – Comparação entre os resultados obtidos utilizando o modelo BAT e utilizando o modelo ajustado, para todas as marcas, para cigarros com fumo a (13,5±0,5)% de umidade (condição de referência)

| Modelo ajustado para todas as marcas | Modelo BAT, n = 1,6 | | | Modelo não linear $y = x^n$ | | |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| | n (modelo BAT) | F _{corr} pelo modelo BAT | U _{Fcorr} | n (modelo ajustado) | F _{corr,aj} | U _{Fcorr} |
| | | % | % | | % | % |
| Referência | | (35) | | | (115) | (111) |
| Identificação do Produto | | | | | | |
| A | 1,6 | 74,4 | 3,5 | 1,4 | 74,5 | 18,7 |
| B | 1,6 | 64,3 | 3,4 | 1,4 | 64,2 | 18,7 |
| C | 1,6 | 73,9 | 2,9 | 1,4 | 73,9 | 18,6 |
| D | 1,6 | 73,7 | 3,0 | 1,4 | 73,9 | 18,6 |
| D - Encarteirado | 1,6 | 73,8 | 1,9 | 1,4 | 73,9 | 18,5 |
| E | 1,6 | 74,4 | 4,2 | 1,4 | 74,5 | 18,9 |
| F | 1,6 | 72,0 | 2,7 | 1,4 | 72,0 | 18,6 |
| G | 1,6 | 72,5 | 2,5 | 1,4 | 72,7 | 18,5 |
| H | 1,6 | 72,2 | 2,8 | 1,4 | 72,2 | 18,6 |
| I | 1,6 | 73,1 | 2,6 | 1,4 | 73,1 | 18,6 |
| J | 1,6 | 75,1 | 2,1 | 1,4 | 75,3 | 18,5 |

4.3. Avaliação da contribuição da incerteza do ajuste sobre a incerteza de medição da Firmeza corrigida

Utilizando a expressão (111) para determinar a incerteza combinada da firmeza corrigida ($U_{F_{corr}}$), foi possível obter os resultados apresentados na Tabela 27. A tabela compara as incertezas de medição utilizando o modelo BAT, com e sem a contribuição do ajuste, com as incertezas dos modelos ajustados.

Analisando os resultados, é possível concluir que a incerteza do ajuste é uma contribuição importante na incerteza de medição da Firmeza corrigida, e não deve ser desconsiderada.

Avaliando primeiramente o modelo BAT, que hoje é adotado como modelo único para todas as marcas, sem considerar a incerteza do ajuste, podemos observar que a incerteza de medição tem menores valores do que os demais modelos avaliados. Entretanto, se utilizarmos os valores estimados de incertezas dos ajustes, é possível obter incertezas em duas faixas distintas: em torno de $\pm 19,5\%$, se utilizarmos a incerteza do ajuste do modelo único para todas as marcas, ou então, na faixa de $\pm 6\%$, para modelos ajustados por marca.

Tabela 27 – Contribuição da Incerteza do ajuste sobre a incerteza de medição da Firmeza Corrigida

| | Modelo BAT, n = 1,6 | | | Modelo não linear $y = x^n$ - Modelo Ajustado Todas as marcas | Modelo não linear $y = x^n$ - Modelo Ajustado por marca de cigarro |
|------------------|--|--|--|---|--|
| | $U_{F_{corr}}$ - sem incerteza do ajuste | $U_{F_{corr}}$ - com incerteza do ajuste todas as marcas | $U_{F_{corr}}$ - com incerteza do ajuste por marca | $U_{F_{corr}}$ - com incerteza do ajuste todas as marcas | $U_{F_{corr}}$ - com incerteza do ajuste por marca |
| | % | % | % | % | % |
| A | 3,5 | 19,5 | 5,7 | 18,7 | 5,3 |
| B | 3,4 | 19,5 | 11,5 | 18,7 | 5,0 |
| C | 2,9 | 19,4 | 4,9 | 18,6 | 4,8 |
| D | 3,0 | 19,5 | 7,4 | 18,6 | 5,2 |
| D - Encarteirado | 1,9 | 19,3 | 8,0 | 18,5 | 4,8 |
| E | 4,2 | 19,7 | 6,1 | 18,9 | 6,7 |
| F | 2,7 | 19,4 | 6,7 | 18,6 | 6,2 |
| G | 2,5 | 19,4 | 5,9 | 18,5 | 4,0 |
| H | 2,8 | 19,4 | 5,5 | 18,6 | 5,0 |
| I | 2,6 | 19,4 | 5,3 | 18,6 | 4,0 |
| J | 2,1 | 19,4 | 4,5 | 18,5 | 4,6 |

4.4. Avaliação do efeito da amostragem sobre os resultados de firmeza corrigida

Utilizando o teste de média zero como ferramenta de comparação dos resultados, foram obtidos os resultados da Tabela 28, para avaliação do efeito da amostragem sobre os resultados de firmeza corrigida na condição de referência, ou seja, a 13,5% de umidade no fumo.

Tabela 28 – Teste de média zero para avaliação do efeito da amostragem

| | | Ajuste dos dados por marca de cigarro | | | | | Ajuste dos dados para um modelo único para todas as marcas | | | | |
|---|--------------------------|---------------------------------------|------|--------------------|-------|----------------|--|------|--------------------------------|-------|----------------|
| Modelo | | F _{corr,aj} | | U _{Fcorr} | X | U _X | F _{corr,aj} | | U _{Fcor} _r | X | U _X |
| | Referência | | | (110) | (122) | (123) | | | (110) | (122) | (123) |
| | Identificação do Produto | Ref. | | | | | Ref. | | | | |
| Exponencial $y = x^n$ | D | (115) | 73,9 | 5,2 | -0,1 | 7,1 | (115) | 73,9 | 18,6 | 0,0 | 26,3 |
| Linear $y = a + b.x$ | D | (117) | 73,7 | 5,0 | -0,1 | 6,8 | (117) | 76,2 | 15,4 | 0,1 | 21,7 |
| Polinomial, ordem 2 $y = a + b.x + c.x^2$ | D | (119) | 72,9 | 5,6 | 0,0 | 7,6 | (119) | 78,1 | 9,1 | -0,1 | 12,7 |
| Polinomial, ordem 3 $y = a + b.x + c.x^3$ | D | (121) | 73,3 | 4,1 | -0,1 | 5,3 | (121) | 77,5 | 9,0 | -0,1 | 12,6 |
| Exponencial $y = x^n$ | D Encarteirado | (115) | 74,0 | 4,8 | | | (115) | 73,9 | 18,5 | | |
| Linear $y = a + b.x$ | D Encarteirado | (117) | 73,8 | 4,6 | | | (117) | 76,1 | 15,3 | | |
| Polinomial, ordem 2 $y = a + b.x + c.x^2$ | D Encarteirado | (119) | 72,9 | 5,2 | | | (119) | 78,2 | 8,9 | | |
| Polinomial, ordem 3 $y = a + b.x + c.x^3$ | D Encarteirado | (121) | 73,4 | 3,4 | | | (121) | 77,6 | 8,9 | | |

Analisando os resultados obtidos, chega-se à conclusão de que não houve efeito da amostragem sobre o resultado de firmeza. Entretanto, isso não deve ser considerado como uma regra, uma vez que, para a realização dos testes

foram utilizadas amostras do mesmo momento de fabricação, o que, por si só, tende a reduzir a variabilidade das mesmas.

4.5. Comparação dos resultados obtidos por modelo ajustado com o target de firmeza

Para verificar se os resultados obtidos por modelo ajustado atendiam ao *target* (valor nominal) de firmeza estabelecido pela empresa, foi realizado um teste no qual se estimou a probabilidade de se obter um resultado na região de sobreposição das curvas de distribuição dos resultados ajustados e dos especificados. Ou seja, em 100 cigarros avaliados, P(%) cigarros estarão dentro da especificação.

Os resultados da Tabela 29 e 30 indicam que há uma tendência maior em se obter resultados dentro do *target* quando se utiliza um modelo de ajuste por marca de cigarro.

Tabela 29 – Comparação entre os resultados obtidos pelo ajuste dos modelos e os targets de firmeza

| Modelo do Ajuste | Identificação do Produto | Target de Firmeza | Tolerância | Ajuste dos dados por marca de cigarro | | | Ajuste dos dados para um modelo único para todas as marcas | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------|------------|---------------------------------------|--------------------|------|--|--------------------|------|
| | | | | F _{corr,aj} | U _{Fcorr} | P(%) | F _{corr,aj} | U _{Fcorr} | P(%) |
| | | | | % | % | | % | % | |
| | | | | | (111) | | | (111) | |
| Exponencial | A | 69,0 | 2 | 74,5 | 5,3 | 4,0 | 74,5 | 18,7 | 16,6 |
| Linear | A | 69,0 | 2 | 73,1 | 6,4 | 18,7 | 76,5 | 15,5 | 12,1 |
| Polinomial, ordem 2 | A | 69,0 | 2 | 73,5 | 6,1 | 13,7 | 78,7 | 9,2 | 1,3 |
| Polinomial, ordem 3 | A | 69,0 | 2 | 73,6 | 5,8 | 11,5 | 78,1 | 9,1 | 1,9 |
| BAT | A | 69,0 | 2 | 74,4 | 5,7 | 11,2 | 74,4 | 19,5 | 14,0 |
| Exponencial | B | 67,0 | 3 | 64,1 | 5,0 | 52,0 | 64,2 | 18,8 | 30,5 |
| Linear | B | 67,0 | 3 | 63,7 | 5,1 | 43,8 | 66,8 | 15,5 | 39,2 |
| Polinomial, ordem 2 | B | 67,0 | 3 | 63,2 | 5,7 | 35,5 | 70,1 | 9,3 | 44,8 |
| Polinomial, ordem 3 | B | 67,0 | 3 | 64,3 | 4,3 | 57,4 | 69,4 | 9,2 | 50,7 |
| BAT | B | 67,0 | 3 | 64,3 | 11,5 | 36,0 | 64,3 | 19,5 | 23,3 |
| Exponencial | C | 72,7 | 2 | 73,9 | 4,8 | 63,1 | 73,9 | 18,6 | 22,1 |
| Linear | C | 72,7 | 2 | 72,5 | 5,8 | 63,7 | 76,0 | 15,4 | 23,1 |
| Polinomial, ordem 2 | C | 72,7 | 2 | 72,6 | 6,0 | 61,9 | 78,2 | 9,0 | 13,8 |
| Polinomial, ordem 3 | C | 72,7 | 2 | 73,0 | 3,8 | 82,9 | 77,6 | 9,0 | 17,5 |
| BAT | C | 72,7 | 2 | 73,9 | 4,9 | 53,2 | 73,9 | 19,4 | 16,2 |

Tabela 30 – Comparação entre os resultados obtidos pelo ajuste dos modelos e os targets de firmeza (cont.)

| Modelo do Ajuste | Identificação do Produto | Target de Firmeza | Tolerância | Ajuste dos dados por marca de cigarro | | | Ajuste dos dados para um modelo único para todas as marcas | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------|------------|---------------------------------------|--------------------|------|--|--------------------|------|
| | | | | F _{corr,aj} | U _{Fcorr} | P(%) | F _{corr,aj} | U _{Fcorr} | P(%) |
| | | | | % | % | | % | % | |
| | | | | | (111) | | | (111) | |
| Exponencial | D | 70,0 | 2 | 73,9 | 5,2 | 16,7 | 73,9 | 18,6 | 19,3 |
| Linear | D | 70,0 | 2 | 73,7 | 5,0 | 18,0 | 76,2 | 15,4 | 15,6 |
| Polinomial, ordem 2 | D | 70,0 | 2 | 72,9 | 5,6 | 32,4 | 78,1 | 9,1 | 3,6 |
| Polinomial, ordem 3 | D | 70,0 | 2 | 73,3 | 4,1 | 19,7 | 77,5 | 9,0 | 5,0 |
| BAT | D | 70,0 | 2 | 73,7 | 7,4 | 26,1 | 73,7 | 19,5 | 15,1 |
| Exponencial | D Encarteirado | 70,0 | 2 | 74,0 | 4,8 | 13,5 | 73,9 | 18,5 | 19,4 |
| Linear | D Encarteirado | 70,0 | 2 | 73,8 | 4,6 | 15,0 | 76,1 | 15,3 | 15,8 |
| Polinomial, ordem 2 | D Encarteirado | 70,0 | 2 | 72,9 | 5,2 | 31,7 | 78,2 | 8,9 | 3,2 |
| Polinomial, ordem 3 | D Encarteirado | 70,0 | 2 | 73,4 | 3,4 | 13,9 | 77,6 | 8,9 | 4,5 |
| BAT | D Encarteirado | 70,0 | 2 | 73,8 | 8,0 | 25,3 | 73,8 | 19,3 | 15,2 |
| Exponencial | E | 74,0 | 2 | 74,4 | 6,7 | 56,7 | 74,5 | 18,9 | 22,0 |
| Linear | E | 74,0 | 2 | 74,6 | 5,5 | 64,6 | 76,6 | 15,7 | 24,1 |
| Polinomial, ordem 2 | E | 74,0 | 2 | 74,2 | 5,3 | 68,3 | 78,7 | 9,5 | 19,5 |
| Polinomial, ordem 3 | E | 74,0 | 2 | 74,2 | 5,3 | 68,0 | 78,1 | 9,5 | 23,5 |
| BAT | E | 74,0 | 2 | 74,4 | 6,1 | 48,4 | 74,4 | 19,7 | 16,1 |
| Exponencial | F | 73,0 | 2 | 72,0 | 6,2 | 56,6 | 72,0 | 18,6 | 22,2 |
| Linear | F | 73,0 | 2 | 70,1 | 7,5 | 33,4 | 74,2 | 15,4 | 26,4 |
| Polinomial, ordem 2 | F | 73,0 | 2 | 70,6 | 6,9 | 39,4 | 76,6 | 9,1 | 26,9 |
| Polinomial, ordem 3 | F | 73,0 | 2 | 70,9 | 5,0 | 46,4 | 76,0 | 9,0 | 31,3 |
| BAT | F | 73,0 | 2 | 72,0 | 6,7 | 43,2 | 72,0 | 19,4 | 16,3 |
| Exponencial | G | 70,0 | 2 | 72,6 | 4,0 | 34,5 | 72,7 | 18,5 | 20,9 |
| Linear | G | 70,0 | 2 | 71,8 | 4,6 | 53,3 | 75,0 | 15,3 | 18,9 |
| Polinomial, ordem 2 | G | 70,0 | 2 | 71,7 | 5,0 | 53,9 | 77,1 | 9,0 | 6,2 |
| Polinomial, ordem 3 | G | 70,0 | 2 | 71,9 | 3,8 | 52,4 | 76,5 | 8,9 | 8,4 |
| BAT | G | 70,0 | 2 | 72,5 | 5,9 | 36,9 | 72,5 | 19,4 | 15,8 |
| Exponencial | H | 73,0 | 2 | 72,2 | 5,0 | 67,0 | 72,2 | 18,6 | 22,3 |
| Linear | H | 73,0 | 2 | 70,8 | 6,0 | 43,2 | 74,4 | 15,3 | 26,3 |
| Polinomial, ordem 2 | H | 73,0 | 2 | 71,0 | 6,1 | 46,0 | 76,8 | 9,0 | 25,4 |
| Polinomial, ordem 3 | H | 73,0 | 2 | 71,4 | 3,9 | 59,9 | 76,2 | 8,9 | 30,0 |
| BAT | H | 73,0 | 2 | 72,2 | 5,5 | 51,4 | 72,2 | 19,4 | 16,3 |
| Exponencial | I | 72,7 | 2 | 73,1 | 4,1 | 79,4 | 73,1 | 18,6 | 22,4 |
| Linear | I | 72,7 | 2 | 72,1 | 4,8 | 70,7 | 75,2 | 15,3 | 24,7 |
| Polinomial, ordem 2 | I | 72,7 | 2 | 72,2 | 4,9 | 70,3 | 77,5 | 9,0 | 18,2 |
| Polinomial, ordem 3 | I | 72,7 | 2 | 72,5 | 3,9 | 81,7 | 77,0 | 8,9 | 21,7 |
| BAT | I | 72,7 | 2 | 73,1 | 5,3 | 54,4 | 73,1 | 19,4 | 16,3 |
| Exponencial | J | 72,7 | 2 | 75,2 | 4,6 | 38,1 | 75,3 | 18,5 | 21,1 |
| Linear | J | 72,7 | 2 | 74,5 | 4,7 | 53,0 | 77,6 | 15,3 | 19,2 |
| Polinomial, ordem 2 | J | 72,7 | 2 | 74,4 | 5,2 | 53,0 | 79,4 | 8,9 | 7,7 |
| Polinomial, ordem 3 | J | 72,7 | 2 | 74,5 | 5,1 | 51,7 | 78,7 | 8,8 | 10,7 |
| BAT | J | 72,7 | 2 | 75,1 | 4,5 | 40,4 | 75,1 | 19,4 | 15,8 |

As Figuras 21 a 42 do Apêndice D apresentam os diagramas de distribuição dos resultados obtidos após ajuste dos modelos, considerando-se que o comportamento é Normal.

Comparando-se as distribuições dos ajustes dos modelos por marca e para todas as marcas, observa-se que este último caso apresenta dispersão bastante elevada, e essa diferença é observada também, para algumas marcas, para a estimativa da média.

As Figuras 21 a 42 também indicam que há um deslocamento da média do resultado de Firmeza obtida pelo ajuste dos modelos em relação ao *target* das marcas adotado pela empresa.