

6 Resultados e Discussão

6.1 Resultados do Ensaio de Rugosidade

As condições ambientais medidas durante os ensaios foram:

- Temperatura = 23 ± 2 °C
- Umidade = $59 \pm 5\%$
- Todas as medições de rugosidade estão em (μm)

Obs.: a referência à massa calibrada antes e após o ensaio de rugosidade (*)

Tabela - (8) Rugosidade nas massas 0,02g , 0,05g e 0,1g

Medições na massa	Massa 0.02g*		Massa 0.05g*		Massa 0.1g*	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,20	2,0	0,15	2,0	0,10	1,1
2	0,45	6,3	0,11	1,4	0,15	1,1
3	0,38	4,3	0,09	1,9	0,10	1,0
4	0,15	1,9	0,09	0,9	0,24	1,5
5	0,31	3,6	0,24	1,5	0,28	2,1
6	0,23	2,2	0,15	7,1	0,15	1,6
7	0,14	1,4	0,12	1,6	0,08	1,4
8	0,34	1,9	0,11	1,7	0,10	1,7
Média	0,28	3,0	0,13	2,3	0,15	1,4
Desvio Padrão	0,11	1,7	0,05	2,0	0,07	0,4

Tabela - (9) Rugosidade nas massas 0,2g , 0,5g e 1g

Medições na massa	Massa 0.2g*		Massa 0.5g*		Massa 1g	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,11	0,9	0,13	1,4	0,05	0,4
2	0,18	1,5	0,14	1,1	0,05	0,5
3	0,13	1,3	0,13	1,1	0,06	0,5
4	0,14	1,2	0,11	1,2	0,07	0,5
5	0,18	1,6	0,16	1,3	0,07	0,5
6	0,12	1,3	0,12	1,0	0,06	0,6
7	0,15	1,4	0,13	1,1	0,05	0,6
8	0,20	1,9	0,15	1,2	0,04	0,4
Média	0,15	1,4	0,13	1,2	0,06	0,5
Desvio Padrão	0,03	0,3	0,02	0,1	0,01	0,1

Tabela – (10) Rugosidade nas massas 2g , 5g e 10g

Medições na massa	Massa 2g		Massa 5g		Massa 10g	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,46	2,2	0,61	2,7	0,49	1,9
2	0,61	1,8	0,64	2,1	0,46	1,8
3	0,54	2,2	0,61	2,3	0,41	1,9
4	0,41	2,0	0,56	2,3	0,49	2,5
5	0,41	2,1	0,66	1,9	0,51	2,1
6	0,51	2,2	0,59	2,1	0,54	1,6
7	0,66	2,0	0,71	2,7	0,54	1,4
8	0,44	1,9	0,59	1,7	0,49	1,7
Média	0,51	2,1	0,62	2,2	0,49	1,9
Desvio Padrão	0,09	0,2	0,05	0,4	0,04	0,3

Tabela – (11) Rugosidade nas massas 20g , 50g e 100g

Medições na massa	Massa 20g		Massa 50g		Massa 100g	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,19	0,9	0,17	1,3	0,13	1,3
2	0,24	1,1	0,19	1,4	0,21	0,8
3	0,14	1,2	0,18	1,2	0,14	0,9
4	0,19	1,0	0,24	1,6	0,23	1,3
5	0,17	1,1	0,12	1,2	0,12	1,1
6	0,23	1,2	0,14	1,1	0,19	0,9
7	0,16	1,3	0,18	1,7	0,13	1,4
8	0,15	1,5	0,14	1,7	0,12	0,9
Média	0,18	1,2	0,17	1,4	0,16	1,1
Desvio Padrão	0,04	0,2	0,04	0,2	0,04	0,2

Tabela – (12) Rugosidade nas massas 200g e 500g

Medições na massa	Massa 200g		Massa 500g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,19	1,3	0,18	1,3
2	0,12	1,1	0,19	1,5
3	0,16	1,2	0,18	1,1
4	0,19	1,0	0,14	1,6
5	0,17	1,1	0,21	1,2
6	0,12	1,1	0,14	1,5
7	0,16	1,3	0,20	1,7
8	0,15	1,5	0,21	1,6
Média	0,16	1,2	0,18	1,4
Desvio Padrão	0,03	0,2	0,03	0,2

6.2

Análise Estatística dos Resultados

Análise estatística para a verificação da normalidade da distribuição dos valores da rugosidade nos parâmetros Ra e Rz. Para a análise estatística dos resultados, adotou-se o cálculo do coeficiente de assimetria ($\hat{S}$) de acordo com Lapponi [19], apresentado na equação (32).

$$\hat{S} = \frac{n}{(n-1)x(n-2)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S_X} \right)^3 \quad (32)$$

6.2.1

Análise para a normalidade dos valores

Tabela – (13) Análise da normalidade nas massas 0,02g, 0,05g e 0,1g

Ensaio na Massa	Massa 0.02g*		Massa 0.05g*		Massa 0.1g*	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,20	2,0	0,15	2,0	0,10	1,1
2	0,45	6,3	0,11	1,4	0,15	1,1
3	0,38	4,3	0,09	1,9	0,10	1,0
4	0,15	1,9	0,09	0,9	0,24	1,5
5	0,31	3,6	0,24	1,5	0,28	2,1
6	0,23	2,2	0,15	7,1	0,15	1,6
7	0,14	1,4	0,12	1,6	0,08	1,4
8	0,34	1,9	0,11	1,7	0,10	1,7
Resultado	0,26	1,3	1,72	2,7	1,08	0,6
Parecer	Simétrica	Assimétrica	Assimétrica	Assimétrica	Simétrica	Simétrica

Conforme se pode observar na tabela 13, os valores de $\hat{S}$ (1,348) , $\hat{S}$ (1,718) $\hat{S}$ (2,662) são superiores a + 1,0, fazendo com que a distribuição se torne altamente assimétrica, de acordo com o critério estabelecido por Spiegel [20]. Optou-se, então, por aplicar CHAUVENET, para descartar valores inconsistentes.

Tabela - (14) Análise da normalidade nas massas 0,2g , 0,5g e 1g

Ensaio na Massa	Massa 0.2g*		Massa 0.5g*		Massa 1g	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,11	0,9	0,13	1,4	0,05	0,4
2	0,18	1,5	0,14	1,1	0,05	0,5
3	0,13	1,3	0,13	1,1	0,06	0,5
4	0,14	1,2	0,11	1,2	0,07	0,5
5	0,18	1,6	0,16	1,3	0,07	0,5
6	0,12	1,3	0,12	1,0	0,06	0,6
7	0,15	1,4	0,13	1,1	0,05	0,6
8	0,20	1,9	0,15	1,2	0,04	0,4
Resultado	0,29	0,2	0,30	0,5	0,04	0,0
Parecer	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Simétrica

Como os valores de $\hat{S}$ ficaram compreendidos entre – 0,5 e + 1 , a análise da tabela 14 - permite concluir que, de acordo com o critério estabelecido por Spiegel [20], os valores da rugosidade obtidos nos ensaios realizados se distribuem segundo uma normal, para todos os corpos de prova ensaiados.

Tabela - (15) Análise da normalidade nas massas 2g , 5g e 1g

Ensaio na Massa	Massa 2g		Massa 5g		Massa 10g	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,46	2,2	0,61	2,7	0,49	1,9
2	0,61	1,8	0,64	2,1	0,46	1,8
3	0,54	2,2	0,61	2,3	0,41	1,9
4	0,41	2,0	0,56	2,3	0,49	2,5
5	0,41	2,1	0,66	1,9	0,51	2,1
6	0,51	2,2	0,59	2,1	0,54	1,6
7	0,66	2,0	0,71	2,7	0,54	1,4
8	0,44	1,9	0,59	1,7	0,49	1,7
Resultado	0,67	-0,5	0,84	0,1	-0,81	0,8
Parecer	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Assimétrica	Simétrica

Conforme observa-se na tabela 15, os valores obtidos para o eficiente de simetria ($\hat{S}$), não ficaram compreendidos entre $-0,5$ e $+1$, o que nos possibilita concluir, de acordo com o critério estabelecido por Spiegel [20], que a massa de 10g apresentou uma distribuição assimétrica. Optou-se por aplicar CHAUVENET para retirar os valores inconsistentes.

Tabela - (16) Análise da normalidade nas massas 20g , 50g e 10g

Ensaio na Massa	Massa 20g		Massa 50g		Massa 100g	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,19	0,9	0,17	1,3	0,13	1,3
2	0,24	1,1	0,19	1,4	0,21	0,8
3	0,14	1,2	0,18	1,2	0,14	0,9
4	0,19	1,0	0,24	1,6	0,23	1,3
5	0,17	1,1	0,12	1,2	0,12	1,1
6	0,23	1,2	0,14	1,1	0,19	0,9
7	0,16	1,3	0,18	1,7	0,13	1,4
8	0,15	1,5	0,14	1,7	0,12	0,9
Resultado	0,56	0,6	0,63	0,3	0,56	0,3
Parecer	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Simétrica	Simétrica

Na tabela 16 , observa-se que os valores de $\hat{S}$ ficaram compreendidos entre $- 0,5$ e $+ 1$; concluímos que os valores de rugosidade se distribuem segundo uma normal, de acordo com o critério estabelecido por Spiegel [20].

Tabela - (17) Análise da normalidade nas massas 200g e 500g .

Ensaio na Massa	Massa 200g		Massa 500g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,19	1,3	0,18	1,3
2	0,12	1,1	0,19	1,5
3	0,16	1,2	0,18	1,1
4	0,19	1,0	0,19	1,6
5	0,17	1,1	0,21	1,5
6	0,12	1,1	0,14	1,2
7	0,16	1,3	0,20	1,5
8	0,15	1,5	0,21	1,2
Resultado	-0,34	0,8	0,24	-0,2
Parecer	Simetrica	Simetrica	Simetrica	Simetrica

Na tabela (17) , observa-se que os valores de $\hat{S}$ ficaram compreendidos entre $- 0,5$ e $+ 1$; concluímos que os valores de rugosidade distribuem-se segundo uma normal, de acordo com o critério estabelecido por Spiegel [20].

6.2.2

Critério de rejeição de um resultado (CHAUVENET).

Não é raro que ao analisar uma série de medições que alguns dados pareçam errados. As causas de ocorrerem tais fatos são avaliação equivocada da indicação, anotação errada, mau posicionamento do mensurando, etc. Como esses valores parecem não pertencer à amostra eles devem ser rechaçados. Porém , deve ser feita uma análise criteriosa para ter-se certeza de que não haja explicação plausível para sua permanência na amostra. Uma ferramenta bastante utilizada para decidir o rechaço de dados é o "CRITÉRIO DE CHAUVENET".

6.2.2.1

Análise valores estatisticamente inconsistentes

Tabela – (18) Critério de Chauvenet para massa 0,02g :

Ensaio na Massa	Massa 0.02g*		Teste na Massa 0.02g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,20	2,0	0,67	0,6
2	0,45	6,3	1,56	2,0
3	0,38	4,3	0,93	0,8
4	0,15	1,9	1,11	0,6
5	0,31	3,6	0,31	0,4
6	0,23	2,2	0,40	0,5
7	0,14	1,4	1,20	0,9
8	0,34	1,9	0,58	0,6
Média	0,28	3,0		
Desvio Padrão	0,11	1,7		

Com a aplicação do critério verificou-se, na tabela - (18) acima, que a segunda medição Rz (com o valor 6,3) é inconsistente. O valor inconsistente é retirado calculando-se novamente a média e o desvio-padrão.

Tabela – (19) Valores rejeitados (massa 0,02g).

Ensaio na Massa	Massa 0.02g*		Teste na Massa 0.02g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,20	2,0	0,67	0,5
2	0,45		1,56	
3	0,38	4,3	0,93	1,7
4	0,15	1,9	1,11	0,5
5	0,31	3,6	0,31	1,1
6	0,23	2,2	0,40	0,3
7	0,14	1,4	1,20	1,0
8	0,34	1,9	0,58	0,5
Média	0,28	2,5		
Desvio Padrão	0,11	1,1		

Com a nova aplicação do critério verificou-se, na tabela - (19) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (20) Critério de Chauvenet para massa 0,05g :

Ensaio na Massa	Massa 0.05g*		Teste na Massa 0.05g*	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,15	2,0	0,36	0,1
2	0,11	1,4	0,46	0,4
3	0,09	1,9	0,86	0,2
4	0,09	0,9	0,86	0,7
5	0,24	1,5	2,18	0,4
6	0,15	7,1	0,36	2,4
7	0,12	1,6	0,25	0,3
8	0,11	1,7	0,46	0,3
Média	0,13	2,3		
Desvio Padrão	0,05	2,0		

Com a aplicação do critério verificou-se, na tabela - (20) acima, que a quinta medição Ra (com o valor 0,24) é inconsistente e a Sexta medição Rz(com o valor 7,1) também é inconsistente. Os valores inconsistentes são retirados, calculando-se novamente a média e o desvio-padrão.

Tabela – (21) Valores rechaçados (massa 0,05g).

Ensaio na Massa	Massa 0.05g*		Teste na Massa 0.05g*	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,15	2,0	1,32	1,2
2	0,11	1,4	0,29	0,5
3	0,09	1,9	1,09	0,9
4	0,09	0,9	1,09	1,9
5		1,5		0,2
6	0,15		1,32	
7	0,12	1,6	0,11	0,1
8	0,11	1,7	0,29	0,4
Média	0,12	1,6		
Desvio Padrão	0,02	0,4		

Com a nova aplicação do critério verificou-se, na tabela - (21) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (22) Critério de Chauvenet para massa 0,1g :

Ensaio na Massa	Massa 0.1g*		Teste na Massa 0.1g*	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,10	1,1	0,68	0,9
2	0,15	1,1	0,00	0,9
3	0,10	1,0	0,68	1,2
4	0,24	1,5	1,23	0,2
5	0,28	2,1	1,78	1,8
6	0,15	1,6	0,00	0,4
7	0,08	1,4	0,96	0,1
8	0,10	1,7	0,68	0,7
Média	0,15	1,4		
Desvio Padrão	0,07	0,4		

Com a aplicação do critério verificou-se, na tabela - (22) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (23) Critério de Chauvenet para massa 0,2g :

Ensaio na Massa	Massa 0.2g*		Teste na Massa 0.2g*	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,11	0,9	1,28	1,65
2	0,18	1,5	0,89	0,38
3	0,13	1,3	0,66	0,30
4	0,14	1,2	0,35	0,64
5	0,18	1,6	0,89	0,72
6	0,12	1,3	0,97	0,30
7	0,15	1,4	0,04	0,04
8	0,20	1,9	1,51	1,74
Média	0,15	1,4		
Desvio Padrão	0,03	0,3		

Com a aplicação do critério verificou-se na tabela - (23) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (24) Critério de Chauvenet para massa 0,5g :

Ensaio na Massa	Massa 0.5g*		Teste na Massa 0.5g*	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,13	1,4	0,23	1,7
2	0,14	1,1	0,39	0,6
3	0,13	1,1	0,23	0,6
4	0,11	1,2	1,49	0,2
5	0,16	1,3	1,64	1,0
6	0,12	1,0	0,86	1,4
7	0,13	1,1	0,23	0,6
8	0,15	1,2	1,02	0,2
Média	0,13	1,2		
Desvio Padrão	0,02	0,1		

Com a aplicação do critério verificou-se na tabela - (24) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (25) Critério de Chauvenet para massa 1g :

Ensaio na Massa	Massa 1g		Teste na Massa 1g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,05	0,4	0,85	1,3
2	0,05	0,5	0,85	0,0
3	0,06	0,5	0,28	0,0
4	0,07	0,5	1,41	0,0
5	0,07	0,5	1,41	0,0
6	0,06	0,6	0,28	1,3
7	0,05	0,6	0,85	1,3
8	0,05	0,4	0,85	1,3
Média	0,06	0,5		
Desvio Padrão	0,01	0,1		

Com a aplicação do critério verificou-se na tabela - (25) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (26) Critério de Chauvenet para massa 2g :

Ensaio na Massa	Massa 2g		Teste na Massa 2g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,46	2,2	0,48	1,0
2	0,61	1,8	1,13	1,7
3	0,54	2,2	0,38	1,0
4	0,41	2,0	1,02	0,3
5	0,41	2,1	1,02	0,3
6	0,51	2,2	0,05	1,0
7	0,66	2,0	1,67	0,3
8	0,44	1,9	0,70	1,0
Média	0,51	2,1		
Desvio Padrão	0,09	0,2		

Com a aplicação do critério verificou-se na tabela - (26) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (27) Critério de Chauvenet para massa 5g :

Ensaio na Massa	Massa 5g		Teste na Massa 5g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,61	2,7	0,24	1,3
2	0,64	2,1	0,40	0,4
3	0,61	2,3	0,24	0,2
4	0,56	2,3	1,29	0,2
5	0,66	1,9	0,82	0,9
6	0,59	2,1	0,66	0,4
7	0,71	2,7	1,87	1,3
8	0,59	1,7	0,66	1,5
Média	0,62	2,2		
Desvio Padrão	0,05	0,4		

Com a aplicação do critério verificou-se na tabela - (27) acima, que a Sexta medição Rz(com o valor 2,7) é inconsistente. O valor inconsistente é retirado, calculando-se novamente a média e o desvio-padrão.

Tabela – (28) Valores rechaçados (massa 5g).

Ensaio na Massa	Massa 5g		Teste na Massa 5g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,61	2,7	0,24	1,3
2	0,64	2,1	0,40	0,4
3	0,61	2,3	0,24	0,2
4	0,56	2,3	1,29	0,2
5	0,66	1,9	0,82	0,9
6	0,59	2,1	0,66	0,4
7		2,7		1,3
8	0,59	1,7	0,66	1,5
Média	0,61	2,2		
Desvio Padrão	0,03	0,4		

Com a nova aplicação do critério verificou-se na tabela - (28) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (29) Critério de Chauvenet para massa 10g :

Ensaio na Massa	Massa 10g		Teste na Massa 10g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,49	1,9	0,03	0,1
2	0,46	1,8	0,73	0,2
3	0,41	1,9	1,91	0,1
4	0,49	2,5	0,03	1,8
5	0,51	2,1	0,44	0,7
6	0,54	1,6	1,15	0,8
7	0,54	1,4	1,15	1,4
8	0,49	1,7	0,03	0,5
Média	0,49	1,9		
Desvio Padrão	0,04	0,3		

Com a aplicação do critério verificou-se na tabela - (29) acima, que a terceira medição Ra (com o valor 0,41) é inconsistente. O valor inconsistente é retirado calculando-se novamente a média e o desvio-padrão.

Tabela – (30) Valores rechaçados (massa 10g).

Ensaio na Massa	Massa 10g		Teste na Massa 10g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,49	1,9	0,03	0,1
2	0,46	1,8	0,73	0,2
3	0,41			0,1
4	0,49	2,5	0,03	1,8
5	0,51	2,1	0,44	0,7
6	0,54	1,6	1,15	0,8
7	0,54	1,4	1,15	1,4
8	0,49	1,7	0,03	0,5
Média	0,49	1,9		
Desvio Padrão	0,04	0,4		

Com a nova aplicação do critério verificou-se, na tabela - (30) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (31) Critério de Chauvenet para massa 20g :

Ensaio na Massa	Massa 20g		Teste na Massa 20g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,19	0,9	0,17	1,0
2	0,24	1,1	1,55	0,4
3	0,14	1,2	1,21	0,0
4	0,19	1,0	0,17	0,7
5	0,17	1,1	0,38	0,4
6	0,23	1,2	1,28	0,0
7	0,16	1,3	0,66	0,3
8	0,15	1,5	0,93	2,3
Média	0,18	1,2		
Desvio Padrão	0,04	0,2		

Com a aplicação do critério verificou-se, na tabela - (31) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (32) Critério de Chauvenet para massa 50g :

Ensaio na Massa	Massa 50g		Teste na Massa 50g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,17	1,3	0,38	0,4
2	0,19	1,4	0,30	0,0
3	0,18	1,2	0,34	0,8
4	0,24	1,6	0,11	0,8
5	0,91	1,2	2,46	0,8
6	0,14	1,1	0,49	1,3
7	0,18	1,7	0,34	1,3
8	0,14	1,7	0,49	1,3
Média	0,27	1,4		
Desvio Padrão	0,26	0,2		

Com a aplicação do critério verificou-se, na tabela - (32) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (33) Critério de Chauvenet para massa 100g :

Ensaio na Massa	Massa 100g		Teste na Massa 100g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,13	1,3	0,77	1,0
2	0,21	0,8	1,02	1,2
3	0,14	0,9	0,54	0,8
4	0,23	1,3	1,47	1,0
5	0,12	1,1	0,99	0,1
6	0,19	0,9	0,58	0,8
7	0,13	1,4	0,77	1,4
8	0,12	0,9	0,99	0,8
Média	0,164	1,1		
Desvio Padrão	0,045	0,2		

Com a aplicação do critério verificou-se, na tabela - (33) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (34) Critério de Chauvenet para massa 200g :

Ensaio na Massa	Massa 200g		Teste na Massa 200g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,19	1,3	0,49	0,1
2	0,12	1,1	1,91	0,6
3	0,16	1,2	0,35	0,2
4	0,19	1,0	0,49	1,5
5	0,17	1,1	0,07	0,6
6	0,12	1,1	1,48	0,6
7	0,16	1,3	0,35	1,1
8	0,15	1,3	0,64	1,1
Média	0,16	1,2		
Desvio Padrão	0,03	0,1		

Com a aplicação do critério verificou-se, na tabela - (34) acima, que os valores são consistentes.

Tabela – (35) Critério de Chauvenet para massa 500g :

Ensaio na Massa	Massa 500g		Teste na Massa 500g	
	Ra	Rz	Ra	Rz
1	0,18	1,3	0,51	0,6
2	0,19	1,5	0,49	0,3
3	0,18	1,1	0,51	1,6
4	0,14	1,6	0,63	0,8
5	0,21	1,2	1,63	1,1
6	0,14	1,5	0,63	0,3
7	0,20	1,7	0,46	1,2
8	0,21	1,6	1,60	0,8
Média	0,18	1,4		
Desvio Padrão	0,03	0,2		

Com a aplicação do critério verificou-se ,na tabela - (35) acima, que os valores são consistentes.

6.3

Cálculo da Incerteza de Medição

6.3.1

Cálculo da incerteza expandida

A determinação da incerteza expandida da medição para ensaio de rugosidade, usando uma metodologia de cálculo de acordo com o Guia Para a Expressão da Incerteza de Medição , baseia-se na combinação de três fatores:

6.3.1.1

Estimativa da incerteza devido ao mensurando

A incerteza de medição associada ao mensurando é uma incerteza padrão $u(x)$ Tipo A, que envolve uma análise estatística de observações repetitivas do mensurando. Ela pode ser obtida estatisticamente calculando o desvio padrão experimental da média $\bar{s}(x)$, a partir de n medidas obtidas sob condições de repetitividade. A tarefa consiste em calcular o desvio padrão experimental $s(x)$ e, dividi-lo pela raiz quadrada do número n de medições, de acordo com a equação abaixo , para uma distribuição Normal (com $k = 1$), explicitada a seguir:

$$u(x) = \bar{s}(x) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

(33)

Para maior confiabilidade estatística recomenda-se $n > 8$.

Abaixo são apresentados os valores da rugosidade em μm do padrão de massa 0,02g , calculados através da equação abaixo, para uma distribuição normal, com o valor do fator de abrangência (k) igual a 1.

$$s(\bar{x}) = \frac{s(xi)}{\sqrt{n}} = \frac{0,011}{\sqrt{8}} = 0,0390 \mu\text{m Ra (peso 0,02g)}(1^\circ\text{parcela})$$

6.3.1.2

Estimativa de incerteza devido ao padrão de rugosidade

O valor da incerteza de medição associada ao padrão de rugosidade.

- Valor Ra 0,4 μm – pelo certificado de calibração $U_a = 4\%Ra = 0,016\mu\text{m}$)

(2ºparcela)

6.3.1.3

Estimativa da incerteza devido à resolução do rugosímetro

O valor da incerteza de medição associada à resolução do rugosímetro, é dada pela fórmula:

- Parâmetro $Ra = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} = \frac{0,01}{3,46} = 0,002890 \mu\text{m}$ (peso 0,02g) (3ºparcela)

6.3.1.4

Cálculo da incerteza combinada do peso 0,02g para o parâmetro Ra

A incerteza total combina as incertezas padrão individuais através da equação (34):

$$Peso_{0,02g} = \sqrt{u^2(repetitividade) + u^2(padrão\text{rugosidade}) + u^2(resolução)}$$

equação (34)

Aplicando a equação acima, temos que:

$$Peso_{0,02g} = \sqrt{(0,0390)^2 + (0,016)^2 + (0,00289)^2} = 0,04172\mu\text{m}$$

6.3.1.5 – Cálculo da incerteza expandida $U_{(Ra)}$:

$$k = 2,36$$

$$U_{(Ra)} = k \times uc(peso_{0,02g} / Ra)$$

(35)

Onde k é o coeficiente de abrangência.

Aplicando a equação abaixo, temos que:

$$V_{eff} = v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{n-1}} = \frac{(0,04172)^4}{(0,0390)^4 / 7} = \frac{0,0000002}{0,0000023} = 0,0956521$$

(36)

$$V\% = \frac{0,0956521 \cdot x \cdot 100}{0,28} = 34,00 \% \text{ Ra (massa 0,02g)}$$

6.3.1.6

Resultado final

Para dar melhor visibilidade ao procedimento de cálculo da incerteza expandida da medição, são apresentadas a seguir as planilhas abaixo. Nestas planilhas, u , C_1 e V_{eff} , são os símbolos que representam os parâmetros incerteza, coeficiente de sensibilidade e valor do número de graus de liberdade efetivo, respectivamente. (UNIDADES EM μm)

Planilha da incerteza de medição (36) - Ra 0,02g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,040	Normal	1	1	0,040	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada	0,04					8
U expandida	K =		2,36	0,1		

Planilha da incerteza de medição (37) - Rz 0,02g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,374	Normal	1	1	0,374	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,032	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,38	7
U expandida		K = 2,36		0,89		

Planilha da incerteza de medição (38) - Ra 0,05g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,040	Normal	1	1	0,009	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,01	26
U expandida		K = 2,06		0,03		

Planilha da incerteza de medição (39) - Rz 0,05g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,129	Normal	1	1	0,129	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,13	7
U expandida		K = 2,36		0,31		

Planilha da incerteza de medição (40) - Ra 0,1g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,040	Normal	1	1	0,026	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,03	9
U expandida		K = 2,31		0,06		

Planilha da incerteza de medição (41) - Rz 0,1g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,131	Normal	1	1	0,131	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,13	7
U expandida		K = 2,36		0,31		

Planilha da incerteza de medição (42) - Ra 0,2g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,011	Normal	1	1	0,011	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,01	17
U expandida		K = 2,12		0,03		

Planilha da incerteza de medição (43) - Rz 0,2g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,104	Normal	1	1	0,104	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,10	7
U expandida		K = 2,36		0,25		

Planilha da incerteza de medição (44) - Ra 0,5g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,006	Normal	1	1	0,006	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,01	75
U expandida		K = 1,99		0,02		

Planilha da incerteza de medição (45) - Rz 0,5g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,044	Normal	1	1	0,044	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,04	8
U expandida		K = 2,36		0,11		

Planilha da incerteza de medição (46) - Ra 1g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,004	Normal	1	1	0,004	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,01	264
U expandida		K = 1,97		0,02		

Planilha da incerteza de medição (47) - Rz 1g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,027	Normal	1	1	0,027	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,03	8
U expandida		K = 2,31		0,07		

Planilha da incerteza de medição (48) - Ra 2g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,033	Normal	1	1	0,033	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,03	8
U expandida		K = 2,36		0,08		

Planilha da incerteza de medição (49) - Rz 2g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,053	Normal	1	1	0,053	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,05	7
U expandida		K = 2,36		0,13		

Planilha da incerteza de medição (50) - Ra 5g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,017	Normal	1	1	0,017	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,02	11
U expandida		K = 2,20		0,04		

Planilha da incerteza de medição (51) - Rz 5g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,113	Normal	1	1	0,113	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,11	7
U expandida		K = 2,36		0,26		

Planilha da incerteza de medição (52) - Ra 10g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,010	Normal	1	1	0,010	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,01	20
U expandida		K = 2,09		0,03		

Planilha da incerteza de medição (53) - Rz 10g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,118	Normal	1	1	0,118	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,12	7
U expandida		K = 2,36		0,28		

Planilha da incerteza de medição (54) - Ra 20g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,013	Normal	1	1	0,013	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,02	15
U expandida		K = 2,13		0,03		

Planilha da incerteza de medição (55) - Rz 20g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,065	Normal	1	1	0,065	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,07	7
U expandida		K = 2,36		0,16		

Planilha da incerteza de medição (56) - Ra 50g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,013	Normal	1	1	0,013	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,02	14
U expandida		K = 2,16		0,03		

Planilha da incerteza de medição (57) - Rz 50g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,085	Normal	1	1	0,085	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,08	7
U expandida		K = 2,36		0,19		

Planilha da incerteza de medição (58) - Ra 100g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,016	Normal	1	1	0,016	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,02	12
U expandida		K = 2,20		0,04		

Planilha da incerteza de medição (59) - Rz 100g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,082	Normal	1	1	0,082	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,032	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,09	9
U expandida		K = 2,36		0,21		

Planilha da incerteza de medição (60) - Ra 200g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,010	Normal	1	1	0,010	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,01	21
U expandida		K = 2,09		0,03		

Planilha da incerteza de medição (61) - Rz 200g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,057	Normal	1	1	0,057	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,06	7
U expandida		K = 2,36		0,14		

Planilha da incerteza de medição (62) - Ra 500g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,010	Normal	1	1	0,010	7
Padrão de Rugosidade	0,40	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,01	21
U expandida		K = 2,09		0,03		

Planilha da incerteza de medição (63) - Rz 500g

Fonte de Incerteza	U est.	Distr.	Divisor	C 1	U pad.	V eff
Repetitividade	0,080	Normal	1	1	0,080	7
Padrão de Rugosidade	1,60	Normal	2	0,04	0,008	infinito
Resolução do Rug.	0,005	Retangular	1,732	1	0,003	infinito
U combinada					0,08	7
U expandida		K = 2,36		0,19		

6.4 Resultados Finais

Tabela - (64)

Massas (g)	U Ra	Media Ra	Incerteza%	U Rz	Media Rz	Incerteza%
0,02g	0,1	0,28	34	0,89	2,95	47
0,05g	0,03	0,13	30	0,31	2,26	73
0,1g	0,06	0,15	40	0,31	1,44	22
0,2g	0,03	0,15	20	0,25	1,39	18
0,5g	0,02	0,13	15	0,11	1,17	9
1g	0,02	0,06	36	0,07	0,50	12
2g	0,08	0,51	16	0,13	2,05	6
5g	0,04	0,62	6	0,26	2,23	13
10g	0,03	0,49	8	0,16	1,86	15
20g	0,03	0,18	18	0,19	1,16	21
50g	0,04	0,17	18	0,21	1,40	14
100g	0,03	0,16	24	0,14	1,08	18
200g	0,03	0,17	17	0,19	1,20	12
500g	0,19	0,39	17	0,19	1,44	13

COMENTÁRIOS:

Concluimos, pela tabela – acima que as maiores incertezas se encontram nas menores massas. Isto se deve à dificuldade de medição das mesmas.

Como também podemos ver que houve uma grande repetitividade nas massas de 5g e 10 g , o que foi mostrado com as incertezas variando entre 6% e 8% respectivamente.

- Ensaio

Um aspecto de grande relevância foi o valor da força vertical exercida pelo rugosímetro sobre o mensurando (cerca de 0,4N) .Havia um questionamento antes deste estudo se o ensaio retiraria ou não massa dos pesos ensaiados. E ,caso isso, ocorresse-se haveria ou não possibilidade de se

quantificar essa quantidade. Quanto a este aspecto houve o cuidado de se calibrar e recalibrar as massas ensaiadas. Mostrou-se que a perda de massa foi muito pequena como indicado no (ANEXO-2).

Foi usado um microscópio de 40 vezes de aumento para auxiliar na medição, mostrando fiapos e pontos em oxidação não retirados pela limpeza e que influenciavam de forma relevante nas medições de rugosidade. Além disso, o microscópio mostrou com clareza que o rugosímetro, ao ser usado com uma força vertical mínima, não riscava a massa que estava sendo ensaiada. Isso torna sua utilização imprescindível a este tipo de estudo.

- Calibração e recalibração

Todos os pesos apresentaram diminuição de massa quando das suas recalibrações, incluindo até mesmo aqueles não ensaiados. Este fato não é preocupante em função da insignificância do valor encontrado. Como exemplo, o caso do peso de 200mg: a diferença entre sua primeira calibração e a recalibração foi de 0,0011 mg. O erro máximo permitido é de 0,2 mg, ou seja, o valor de variação permitida para a massa de 200 mg é 0,1%, enquanto que na recalibração detectou-se uma diminuição de cerca de 0,00055%.