

VALIDAÇÃO DE RÉPLICAS PARA AVALIAÇÃO TOPOGRÁFICA DE CILINDROS DE LAMINAÇÃO A FRIO

José Lúcio Gonçalves Júnior, jlucio@mecanica.ufu.br
Henara Lillian Costa Murray, ltm-henara@ufu.br
José Daniel Biasoli de Mello, ltm-demello@ufu.br

Resumo: Com a utilização de réplicas é possível determinar o mecanismo de desgaste ocorrido no cilindro de laminação e evitar longas paradas do trem laminador. Com a identificação do mecanismo é possível determinar modificações topográficas com o objetivo de prolongar a vida útil do cilindro. Estudam-se sete diferentes materiais utilizados em réplicas, sendo executadas análises quantitativas e qualitativas via interferometria a laser e microscopia eletrônica de varredura. Os parâmetros topográficos utilizados foram S_q , S_{dq} , S_{pk} e S_{bi} . Dos materiais analisados, o material Facsimile apresentou melhores qualidades de replicação pois o mesmo reproduz muito bem aspectos qualitativos (topografia e MEV) e dois dos parâmetros topográficos analisados.

Palavras-chave: Tribologia, Laminação a Frio, Réplicas

1. INTRODUÇÃO

Os grandes produtores de aço no Brasil encontram-se hoje em um dilema entre sobrevivência e crescimento. Além de competirem entre si, a globalização atual torna o mercado bastante competitivo, obrigando as empresas brasileiras a desenvolverem produtos de alto valor agregado e máxima eficiência no ciclo produtivo (MENDES, 2007).

Um dos principais processos de produção de aço adotados pelas empresas no mundo é a laminação por permitir trabalhar um grande volume de material. A eficiência do processo passa, evidentemente, pelos cilindros de laminação. Os cilindros atuais devem permitir a obtenção de laminados com elevados padrões de qualidade. Os laminados devem apresentar níveis adequados de resistência mecânica, planicidade, rugosidade e espessura de chapa no atendimento a consumidores cada vez mais exigentes (indústria automobilística, linha branca, dentre outros). Por outro lado, os cilindros de laminação devem suportar níveis de carga e temperatura elevados, exigindo tenacidade e resistência ao desgaste em patamares cada vez mais altos para otimização do ciclo produtivo. A melhoria dos cilindros torna-se chave para ganho da produção de aço laminado (MENDES, 2007).

Através da ferramenta de replicação, que consiste na reprodução topográfica através de uma metodologia não destrutiva, com o uso de uma resina e um catalisador, é possível reduzir o tempo de parada do cilindro laminador permitindo o estudo do mesmo.

Com o objetivo de identificar o mecanismo de desgaste ocorrido no cilindro de laminação replicou-se cilindros de laminação em diferentes estágios de uso. Porém, ao realizar a análise via microscopia eletrônica de varredura destas réplicas, notou-se que o material se deteriorava durante o bombardeamento do feixe de elétrons do microscópio, impossibilitando a análise.

Em consequência da incapacidade do material em ser analisado no MEV, verificou-se a necessidade de estabelecer-se uma metodologia de caracterização da adequabilidade de diversos materiais para réplicas disponíveis no mercado. Um fragmento contendo a superfície ativa de um cilindro de laminação a frio teve sua topografia de superfície caracterizada tanto qualitativa (MEV) quanto quantitativamente (Interferometria laser). Na sequência, sete materiais de replicação distintos foram utilizados para replicar a mesma região do fragmento de cilindro e caracterizados de modo a estabelecer qual o mais adequado para replicar os mecanismos de desgaste ocorrentes no tribo-sistema em estudo.

A análise da topografia de uma superfície pode ser uma ferramenta auxiliar para quantificar os micromecanismos de desgaste nela atuantes. Parâmetros de rugosidade são calculados a partir dos dados obtidos nestas medições que objetivam quantificar diferentes aspectos da topografia de uma superfície. A norma ISO 4287 define os parâmetros de rugosidade bidimensionais. Os parâmetros de rugosidade tridimensionais são extrapolações dos parâmetros bidimensionais. Apesar de ainda não constarem em norma, são bem conhecidos da literatura (DONG; SULLIVAN; STOUT, 1992, 1993, 1995).

O parâmetro de amplitude S_q representa a rugosidade superficial quadrática média e é o valor RMS das alturas em relação ao plano médio da superfície, calculado por meio da Equação 1 (DONG; SULLIVAN; STOUT, 1994).

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N Z_{jk}^2} \quad (1)$$

O parâmetro híbrido S_{dq} , que representa a inclinação média das irregularidades é uma extensão do parâmetro 2D, chamado de inclinação quadrática média.

$$S_{dq} = \sqrt{\frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{j=2}^N \sum_{i=2}^M \left(\frac{z(x_i, y_j) - z(x_{i-1}, y_{j-1})}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{z(x_i, y_j) - z(x_{i-1}, y_{j-1})}{\Delta y} \right)^2} \quad (2)$$

O parâmetro funcional S_{pk} corresponde à altura dos picos da superfície e é uma extrapolação do parâmetro 2D R_{pk} . O parâmetro R_{pk} é extraído da curva de Abbott-Firestone e está associado à região que se desgasta nos primeiros contatos relativos entre as superfícies em contato, conforme ilustrado na Figura 1.

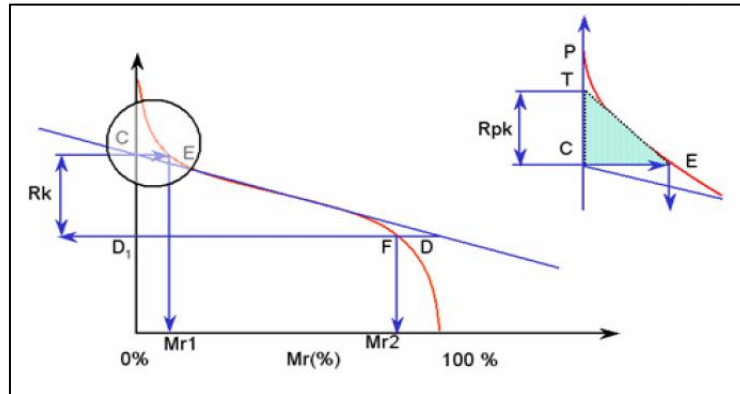


Figura 1 – Representação gráfica do parâmetro S_{pk} (TAYLOR HOBSON, 2000).

O parâmetro funcional S_{bi} representa a capacidade de suporte mecânico da superfície e descreve a superfície em função da variação da raiz quadrática média da superfície, conforme mostrado pela Equação 3.

$$S_{bi} = \frac{S_q}{\eta_{0,05}} = \frac{1}{h_{0,05}} \quad (3)$$

Onde $h_{0,05}$ representa uma altura que revela o truncamento de 5% da área total e $\eta_{0,05}$ é a altura correspondente a 5% da área total.

Desta forma os parâmetros de rugosidade S_q , S_{dq} , S_{pk} e S_{bi} serão utilizados como parâmetros de comparação entre as topografias de superfície de um cilindro real e dos sete diferentes materiais de réplicas, de forma a identificar o material mais adequado para replicar a topografia de superfície de cilindros de laminação a frio.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de determinar o mecanismo de desgaste nos cilindros de laminação a frio através da replicação, uma empresa fabricante de cilindros de laminação solicitou a alguns clientes o acesso para promover a replicação dos cilindros. Primeiramente, a empresa utilizou uma réplica de cor negra e com baixa rigidez da marca Struers.

Ao tentar analisar-se estas réplicas via microscopia eletrônica de varredura, verificou-se que o material não suportava o bombardeio do feixe de elétrons. Com isso, surgiu a necessidade de validar outros diferentes materiais de réplicas.

Para realizar a validação, a empresa obteve um fragmento da superfície ativa de um cilindro de laminação a frio, que havia falhado durante o processo de laminação, com dimensões aproximadas de 40 x 40 mm, conforme Figura 2.

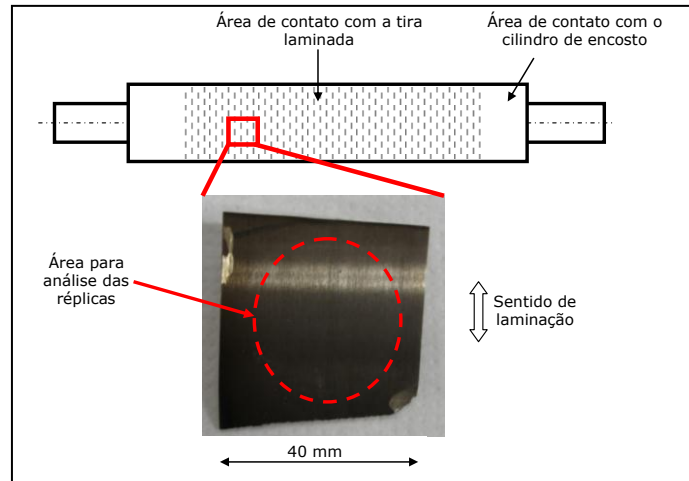


Figura 2 – Representação esquemática da retirada do fragmento de cilindro utilizado para validação de réplicas.

Com o fragmento disponível realizou-se a replicação com 7 diferentes materiais. As réplicas foram enviadas ao Laboratório de Tribologia e Materiais para realização de análise via interferometria a laser e MEV de modo a identificar os mecanismos de desgaste ocorrentes no cilindro. Os materiais enviados receberam a nomenclatura conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Nomenclatura dos materiais utilizados em réplicas.

Material	Denominação
VIPI-SIL Fluida Espessa	VSFE
VIPI-SIL Fluida Delgada	VSFD
VIPI-SIL Viscosa Espessa	VSVE
VIPI-SIL Viscosa Delgada	VSVD
VIPI-Flash	VF
Repliset	R
Facsimile	F

Após análise por interferometria a laser 3D, o fragmento de cilindro e os materiais de réplicas foram submetidos a análise via microscopia eletrônica de varredura. Por serem materiais não condutores de eletricidade, as réplicas foram submetidas a um recobrimento com ouro feito por “sputtering” para viabilizar a condução dos elétrons e possibilitar a visualização das imagens no microscópio.

A técnica da interferometria a laser 3D foi realizada utilizando-se um equipamento da marca UBM MESSTECHNIK MicroFocus.

Usou-se uma área de 10 x 10 mm no fragmento de cilindro e 5 x 5 mm nas réplicas, densidade de pontos de 1000 x 50 pontos por milímetro, taxa de medição de 300 pts./s e o modo de medição utilizado foi o contínuo.

Após a definição dos parâmetros e a realização da medição, fez-se a análise das imagens utilizando o *software* Digital Surf MountainsMap Universal®, versão 3.0, com cut-off definido de 0,8 mm.

O primeiro passo para a análise das imagens foi a operação de remoção da forma da superfície, realizada por meio de um polinômio de ordem 2. Em seguida, o *software* subtrai a superfície real com a superfície do polinômio encontrado. A superfície resultante representa a ondulação e a rugosidade da superfície originalmente obtida via interferometria.

Na sequência, utilizando a figura com a forma removida, realizou-se uma filtragem das superfícies das amostras. Essa operação permite obter a ondulação e a rugosidade de uma dada topografia. Com esta separação, foi possível medir os parâmetros de rugosidade das superfícies. O *software* utiliza um filtro gaussiano com atenuação de 50%, conforme as recomendações da norma ISO 11562.

Para permitir a comparação visual das réplicas com o fragmento de cilindro, após a remoção da componente forma e separação das componentes ondulação e rugosidade, as imagens sofreram um tratamento especial de espelhamento do eixo da altura (eixo z), ocorrendo a transformação de picos em vales e vice-versa.

Para finalizar o processo de avaliação topográfica das superfícies das amostras, o *software* fornece 29 parâmetros de rugosidade.

Os parâmetros de rugosidade selecionados para análise foram S_q , S_{dq} , S_{pk} e S_{bi} .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra as imagens obtidas via interferometria a laser do cilindro e das diferentes réplicas. Nota-se que a superfície ativa do cilindro apresenta riscos que indicam que o mecanismo de desgaste ocorrido neste cilindro é abrasão. Neste mecanismo de desgaste, uma partícula abrasiva (com dureza maior que o cilindro), é engastada na tira, penetra, desliza e remove o material do cilindro.

A análise da Figura 3 mostra que, qualitativamente, as réplicas Repliset e Vip Sil Viscosa Delgada não apresentaram resultados reproduzindo a superfície metálica do cilindro, ou seja, elas não reproduziram os riscos de abrasão observados na superfície ativa do cilindro de laminação. Após a análise qualitativa, fez-se um estudo quantitativo utilizando os parâmetros de rugosidade definidos anteriormente.

As Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7 ilustram os parâmetros quantitativos de rugosidade utilizando com o valor referência o valor obtido para o cilindro de uma unidade para o fragmento de cilindro.

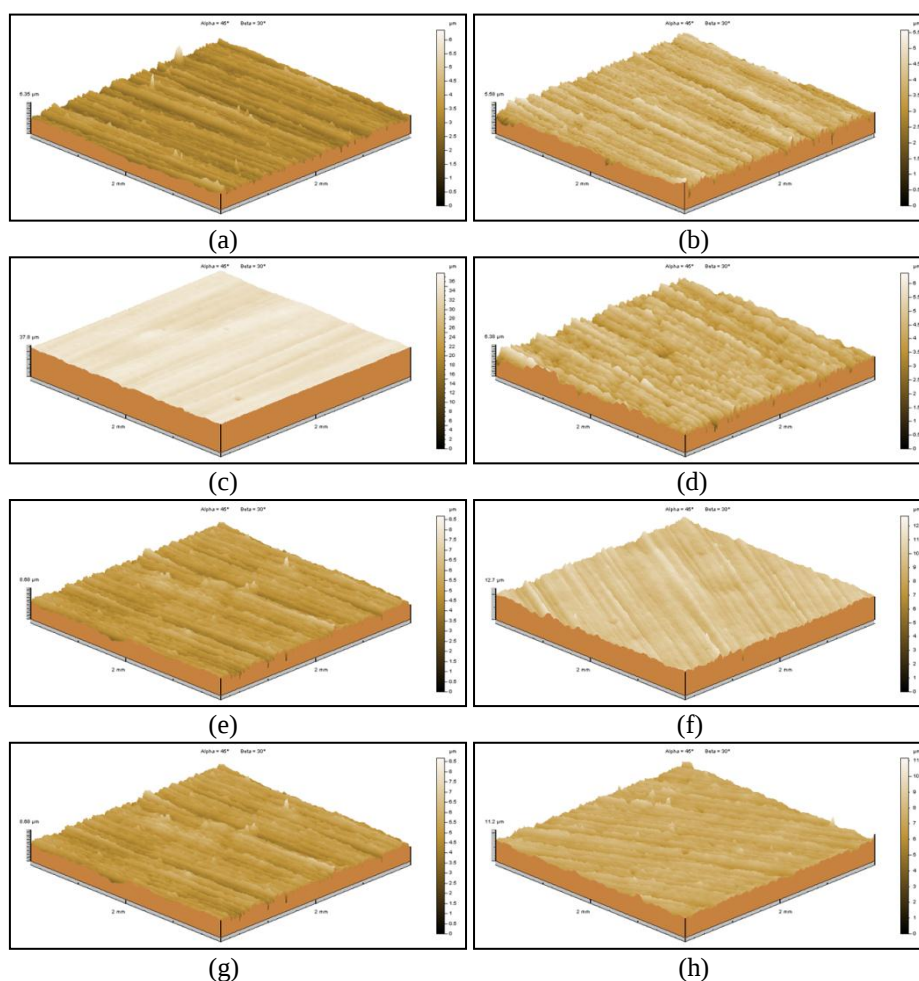


Figura 3 – Representação 3D do fragmento de cilindro e dos diferentes materiais de réplicas (a) cilindro (b) FacSimilie (c) Repliset (d) Vip Flash (e) VipSilFluida Delgada (f) VipSilFluida Espessa (g) VipSilViscosa Delgada(h) VipSilViscosa Espessa.

A Figura 4 ilustra o parâmetro de rugosidade S_q para os diferentes materiais. Observa-se que todos os materiais de replicas apresentaram valores superiores ao valor apresentado pelo cilindro e que os materiais Vip Sil Fluida Delgada e Vip Flash apresentaram menor erro em relação aos outros materiais. Em contrapartida, o material Repliset apresentou o dobro do valor apresentado pelo cilindro.

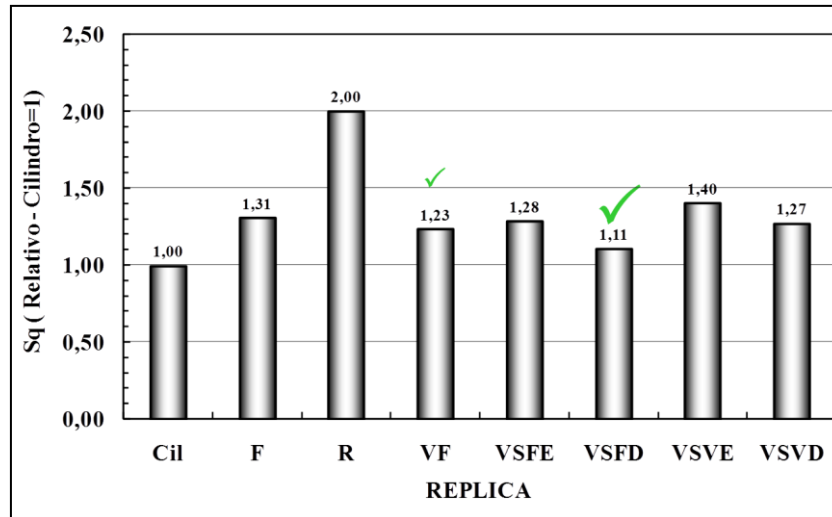


Figura 4 – Parâmetro de rugosidade S_q .

A Figura 5 mostra o parâmetro de rugosidade S_{dq} . Nota-se que todas as réplicas produziram valores inferiores ao valor apresentado pelo cilindro e que os materiais Fac Simile e Vip Sil Viscosa Delgada apresentaram menor variação em relação ao cilindro.

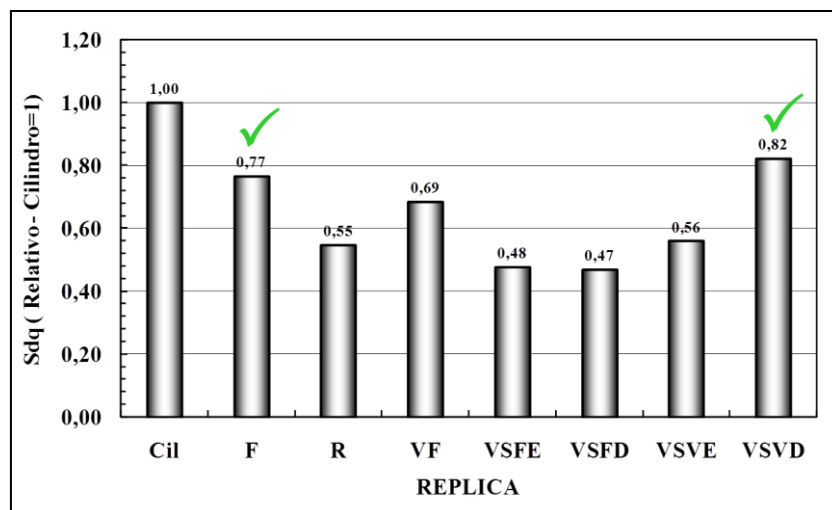


Figura 5 – Parâmetro de Rugosidade S_{dq} .

O próximo parâmetro estudado foi o S_{pk} e, conforme pode ser observado na Figura 6, os materiais Vip Sil Fluida Delgada, Vip Sil Viscosa Delgada, Repliset e Fac Simile apresentaram o menor erro em comparação a superfície ativa do cilindro.

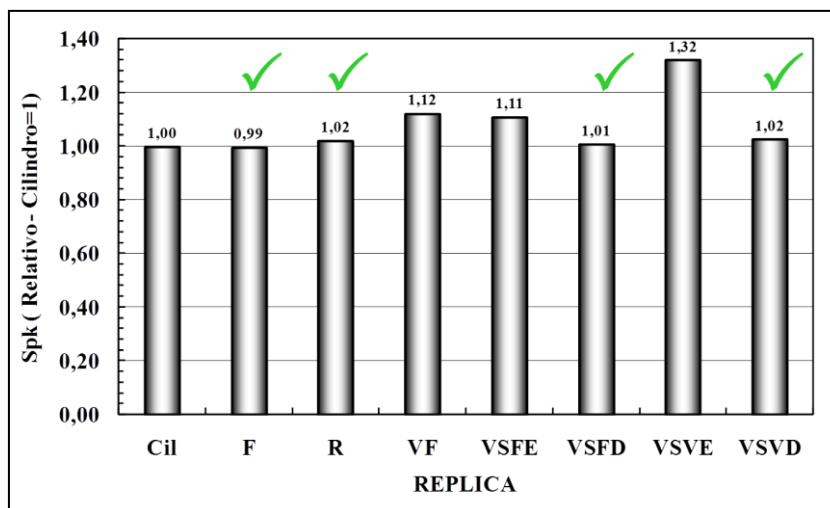


Figura 6 – Parâmetro de rugosidade S_{pk} .

A Figura 7 revela que o material Vip Sil Viscosa Espessa apresenta o menor valor para o parâmetro S_{bi} e que este valor é o mais próximo do valor encontrado para a superfície do cilindro. Por outro lado, o material Repliset apresentou um valor aproximadamente 4,5 vezes maior que o valor apresentado pela referência.

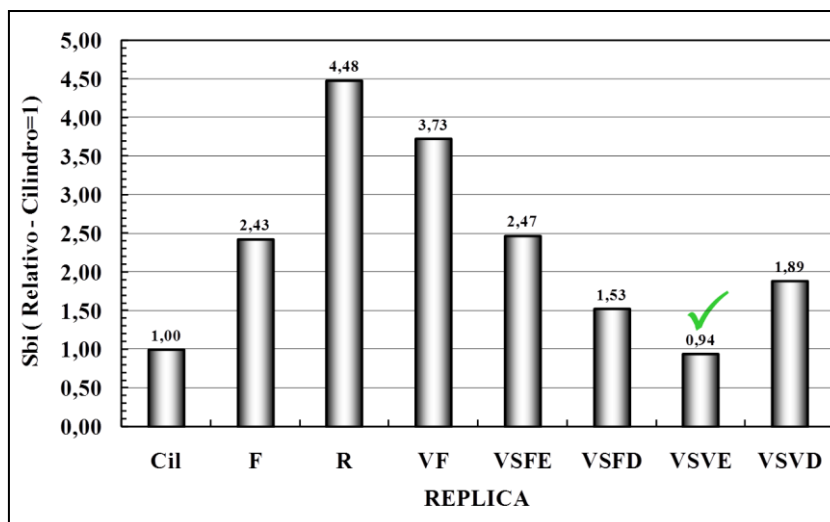


Figura 7 – Parâmetro S_{bi} .

A Figura 8 revela apresenta o aspecto típico das replicas quando observadas por microscopia eletrônica de varredura. A análise mostra que novamente a superfície ativa do cilindro de laminação apresenta riscos característicos de desgaste abrasivo. Nota-se que os materiais Fac Simile, Repliset, Vip Flash conseguiram reproduzir qualitativamente via microscopia eletrônica de varredura e o material Vip Sil Viscosa Delgada mostrou falhas durante a análise que pode ser efeito de uma má formação da deposição de ouro durante o processo de “sputtering” causando falhas durante o movimento de elétrons.

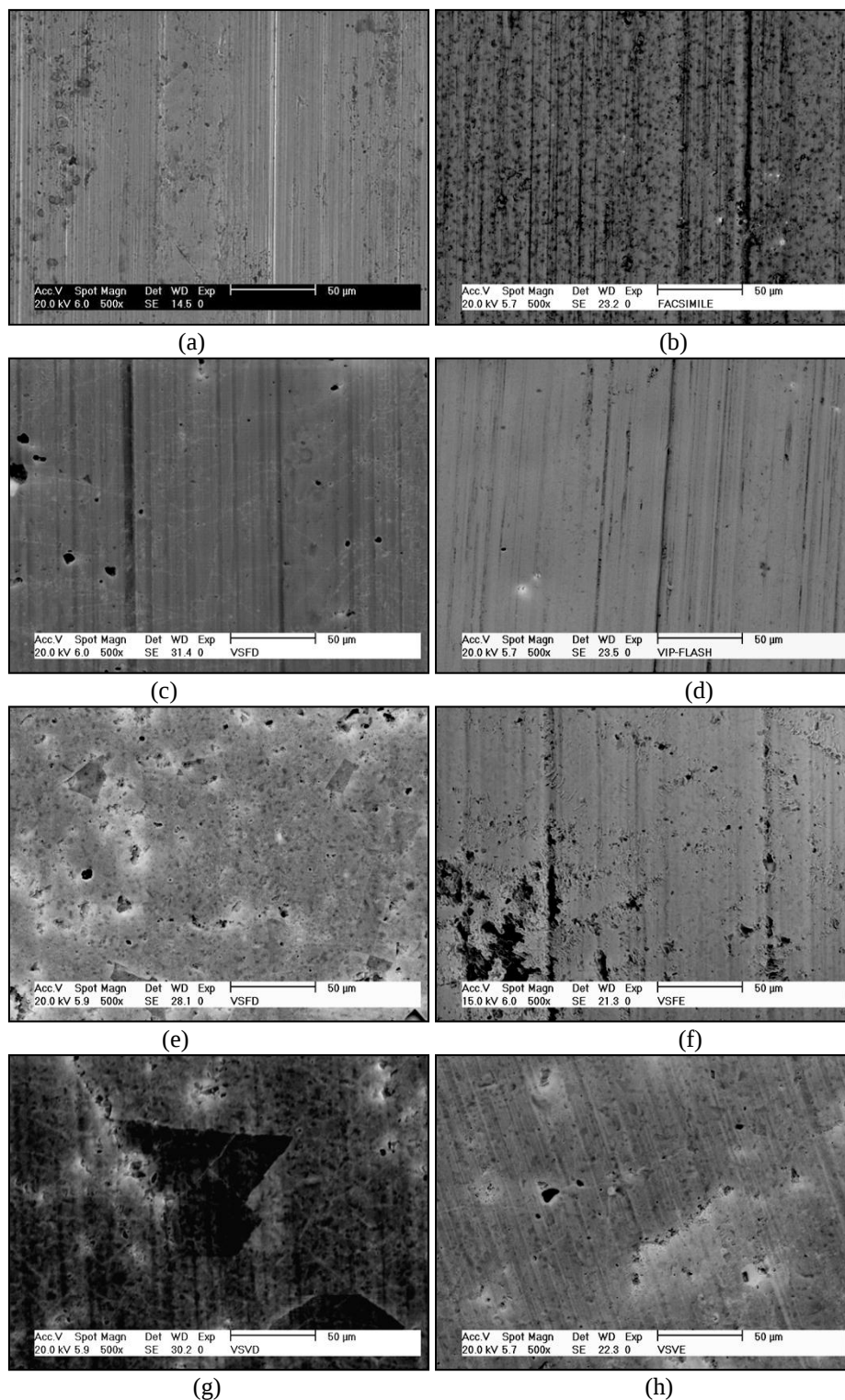


Figura 8 – Microscopia eletrônica de varredura nas amostras (a) cilindro (b) Fac Simile (c) Repliset (d) Vip Flash (e) Vip Sil Fluida Deslgada (f) Vip Sil Fluida Espessa (g) Vip Sil Viscosa Delgada (h) Vip Sil Viscosa Espessa.

Em síntese, a Tabela 2 mostra os resultados do estudo realizado com os materiais de replicação.

Tabela 2 – Síntese do estudo de réplicas.

Denominação	Sq	Spk	Sbi	Sdq	Σ	MEV	Observação
VSFE					0	Não	
VSFD	ok	ok			2	Não	
VSVE			ok		1	Não	
VSVD		ok		ok	2	ok-Não	Ouro Comprometido
VF	ok				1	ok	
R		ok			1	ok	
F		ok		ok	2	ok	

A análise dos resultados quantitativos e qualitativos revelou que o material F (Fac simile) apresentou as melhores qualidades de replicação, pois o mesmo reproduz muito bem aspectos qualitativos (topografia e MEV) e dois dos parâmetros topográficos analisados.

As réplicas Vip-Sil Delgadas reproduzem relativamente bem dois parâmetros topográficos, mas se mostraram inadequadas para a análise via MEV.

Portanto, para a utilização de réplicas para avaliação qualitativa via interferometria a laser e microscopia eletrônica de varredura e avaliação quantitativa, recomenda-se a utilização do material Fac Simile.

4. CONCLUSÃO

A análise dos resultados quantitativos e qualitativos das réplicas revelou que o material F (Fac Simile) apresentou as melhores qualidades de replicação, pois o mesmo reproduz muito bem aspectos qualitativos (topografia e MEV) e dois dos parâmetros topográficos analisados. Portanto, para a utilização de réplicas para avaliação qualitativa via interferometria a laser e microscopia eletrônica de varredura e avaliação quantitativa, recomenda-se a utilização do material Fac Simile.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

DONG, W.P.; MAINSAIL, E.; STOUT, K. J. Reference Planes for the Assessment of Surface Roughness in Three Dimensions, International Journal of Machine Tools as Manufacture, volume 35, numero 2, p 263-271, 1995.

DONG, W.P.; SULLIVAN, P. J.; STOUT, K. J. Comprehensive Study of Parameters for Characterizing Three-Dimensional Surface Topography I: Some Inherent Properties of Parameter Variation, **Wear**, volume 159, p 161-171, 1992

DONG, W.P.; SULLIVAN, P. J.; STOUT, K. J. Comprehensive Study of Parameters for Characterizing Three-Dimensional Surface Topography II: Statistical Properties of Parameter Variation, **Wear**, volume 167, p 9-21, 1993.

DONG, W.P.; SULLIVAN, P. J.; STOUT, K. J. Comprehensive Study of Parameters for Characterizing Three-Dimensional Surface Topography III: Parameters for Characterising Amplitude and Some Functional Properties, **Wear**, volume 178, p 29-43, 1994.

ISO 4287 Geometrical Product Specifications (GPS) – **Surface Texture: Profile Method – Terms, Definitions and Surface Texture Parameters**, International Standard ISO 4287, 1997.

ISO 11562:1993 –**Metrological characterization of phase correct filters and transmission bands for use in contact (stylus) instruments**. International Standard ISO 11562, 1993

MENDES, J. L. T. **Influência de Parâmetros Microestruturais no Comportamento**. 2007. 160 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

TAYLOR HOBSON PRECISION **Guide to surface texture parameters**. 2000.