

ANÁLISE DA PLANEZA DE SUPERFÍCIES DE REFERÊNCIA POR MÉTODO DE GRADES RETANGULARES COM COMPARAÇÃO DIRETA ENTRE DESEMPENOS

FLATNESS ERROR ASSESSMENT OF REFERENCE SURFACES USING THE GRID METHOD AND DIRECT COMPARISON BETWEEN SURFACE PLATES

Wallyson Thomas Alves da Silva^{1, i}
Marcus Vinicius Begossi^{2, ii}
Aldo Roberto Pereira^{3, iii}
Fábio Kuranaka^{4, iv}

RESUMO

A precisão de medições e montagens industriais depende da qualidade geométrica das superfícies de referência, especialmente da planicidade dos desempenos utilizados como base. O presente trabalho investiga o erro de planeza de um desempenho por meio do método de grades retangulares, utilizando como referência um desempenho de maior classe metrológica. A metodologia baseia-se na divisão da superfície em linhas paralelas às bordas para coleta de alturas nos pontos de interseção, possibilitando a análise da variação da superfície. A análise é complementada por comparação com a norma NBR NM 103:1998 e com dados obtidos de literatura técnica. Os resultados indicam que uma das superfícies avaliadas está fora da tolerância especificada, enquanto a outra atende aos requisitos metrológicos. A investigação reforça a importância da calibração periódica e da padronização nos procedimentos de inspeção de desempenos.

Palavras-chave: Desempeno, Erro de Planeza, Calibração, Superfícies de Referência, Metrologia Dimensional.

ABSTRACT

The accuracy of industrial measurement and assembly processes relies heavily on the geometric quality of reference surfaces, particularly the flatness of surface plates. This study evaluates the flatness error of a surface plate using the rectangular grid method, with a higher-grade surface plate serving as the reference. The method involves dividing the surface into imaginary lines parallel to the edges and collecting height data at the intersection points to analyze surface variation. The evaluation is complemented by comparison with standard NBR NM 103:1998 and relevant literature. The findings indicate that one of the tested surfaces exceeds the permissible tolerance, while the other complies with metrological requirements. The study emphasizes the need for periodic calibration and standardization in surface plate inspection procedures.

¹ Professor Adjunto II - Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: wallyson.silva@sp.senai.br

² Coordenador de Atividades Técnicas. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: mbegossi@sp.senai.br

³ Professor Especialista. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: aldo.pereira@sp.senai.br

⁴ Orientador de Prática Profissional. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: fabio.kuranaka@sp.senai.br

Keywords: Surface Plate, Flatness Error, Calibration, Reference Surfaces, Dimensional Metrology.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho — também chamado mesa de traçagem ou mesa de referência — é um bloco monolítico com superfície de alta planeza, utilizado como base geométrica para medições e montagens industriais. Fabricado, em geral, de rochas ígneas como granito, diabásio ou gabro, reúne baixa porosidade, elevada estabilidade dimensional e resistência ao desgaste. Sua característica funcional central é a planeza, entendida como a menor distância entre dois planos paralelos que contenham a superfície avaliada. Por isso, a calibração periódica, em conformidade com normas como a ISO 8512-2, é indispensável para assegurar a confiabilidade metrológica ao longo do tempo.

Em estudo recente, compararam-se dois padrões de calibração baseados em grade — Open Grid e Full Grid — em contraste com o traçado em linhas de Moody/Union Jack. Utilizando nível eletrônico para aquisição de inclinação e processamento matricial por mínimos quadrados, obteve-se, para uma placa de 1000 × 1000 mm, planeza de $(6,93 \pm 3,94) \mu\text{m}$ no Open Grid e $(6,44 \pm 0,68) \mu\text{m}$ no Full Grid; valores de erro normalizado inferiores a um ($En < 1$) confirmaram o Full Grid como resultado compatível e de menor incerteza. Esses achados reforçam a malha retangular (método de grades retangulares) com tratamento computacional adequado como rota robusta para avaliar a planeza de superfícies de referência (Hapiddin et al., 2023).

1.1 Problema de pesquisa

A ausência de métodos acessíveis e didáticos para avaliação do erro de planeza dificulta a verificação periódica de desempenos em ambientes industriais, comprometendo a rastreabilidade metrológica.

1.2 Objetivo(s)

O presente estudo tem como objetivo aplicar o método de grades retangulares para avaliar o erro de planeza de um desempenho, utilizando a comparação direta com outro desempenho de maior classe metrológica como critério de validação. Busca-se demonstrar a aplicabilidade prática do método e sua compatibilidade com as exigências da norma NBR NM 103:1998.

1.3 Justificativa

Embora existam métodos sofisticados como o uso de interferômetros a laser, eles apresentam alto custo e requerem conhecimento especializado. O método de grades retangulares, por outro lado, oferece uma alternativa mais simples e acessível para avaliação da planicidade, especialmente em ambientes industriais ou educacionais com recursos limitados. Assim, sua validação prática é essencial para difundir o uso de boas práticas metrológicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A mesa de desempenho, também conhecida como mesa de traçagem, constitui-se em um instrumento metrológico de referência cuja principal característica é a planicidade de sua superfície. Normalmente fabricada em bloco maciço de rocha estável, apresenta elevada resistência ao desgaste e baixa tendência a riscar superfícies metálicas. Apesar de ser popularmente denominada “granito”, recomenda-se a utilização de rochas vulcânicas de alta estabilidade, como diábase e gabro, devido às suas propriedades adequadas para aplicações de precisão (NBR NM 103:1998). De acordo com a NBR NM 103:1998, o erro de planeza da superfície de referência é definido como a menor distância entre dois planos paralelos capazes de conter toda a superfície medida. Considerando que o desempenho é utilizado como padrão geométrico para a realização de medições e como base para o traçado de peças, sua calibração periódica e adequada manutenção tornam-se indispensáveis para garantir a confiabilidade metrológica.

Diversos métodos podem ser empregados para a verificação do erro de planicidade. Entre eles destacam-se: a comparação direta com desempenho de classe superior, a utilização de réguas de referência ao longo de múltiplas linhas e os métodos destinados à verificação de áreas localizadas. Contudo, um dos procedimentos mais difundidos e confiáveis é o método de grades retangulares, que consiste no levantamento de coordenadas em malha e posterior comparação com desempenos de maior classe (Magalhães, 2006).

3 METODOLOGIA

Para a avaliação do desempenho, foi empregado um interferômetro a laser XL80 da marca Renishaw, equipamento de alta precisão metrológica. O objeto analisado, da marca Mitutoyo, apresenta duas superfícies de trabalho distintas: superfície 1, de maiores dimensões (175 mm × 77 mm), e superfície 2, de menores dimensões (175 mm × 75 mm), conforme representado na Figura 1 (a) e (b).

O método utilizado para as medições foi o de grades retangulares, que consiste na definição de um sistema de coordenadas cartesiano (X, Y e Z), conforme ilustrado na Figura 1 (c) e (d). Nesse procedimento, a tridimensional foi programada para percorrer as coordenadas X e Y em ciclos pré-definidos, enquanto no eixo Z foi registrado o deslocamento relativo de cada ponto em relação ao plano de referência formado pelas bordas da superfície analisada.

Ressalta-se que esse método apresenta elevada confiabilidade, pois a máquina de medição tridimensional empregada pertence à classe 0, superior à classe do desempenho analisado, garantindo a rastreabilidade e validade metrológica das medições.

Após a coleta dos dados de coordenadas, as informações foram organizadas em tabelas de pontos para cada superfície. Esses dados foram posteriormente inseridos no software SolidWorks 2024, possibilitando a geração das malhas tridimensionais e a construção de mapas de cores. Os mapas destacaram regiões de saliências e reentrâncias, permitindo a visualização ampliada das irregularidades geométricas que, a olho nu, não seriam perceptíveis.

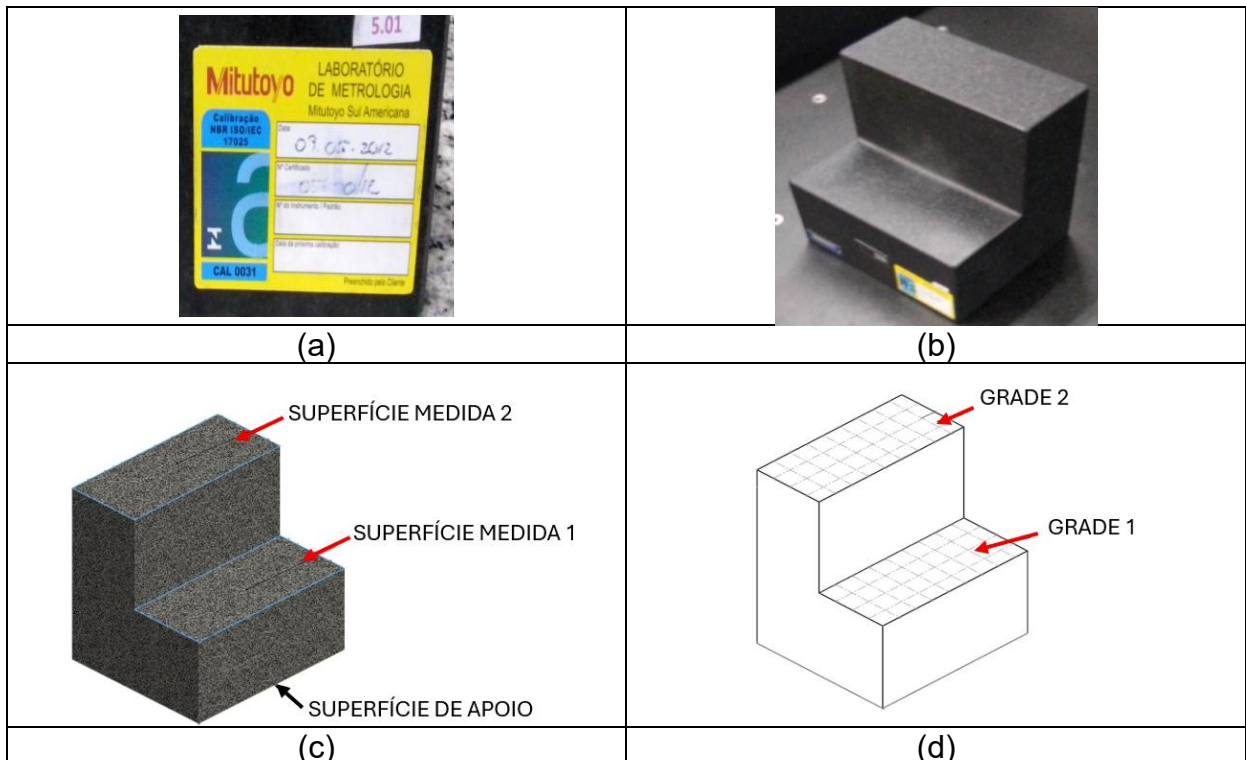


Figure 1. Desempenho (a) certificado e (b) mensurando sob o método de grade retangulares em (c) e (d).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do método de grades retangulares, aliado ao uso do interferômetro a laser XL80 e à análise tridimensional, demonstrou eficácia na caracterização metrológica das superfícies do desempenho.

Após aplicar o método de grades retangulares, ilustrado nos dois passos da Figura 2 (a) e (b), a análise da superfície 1 evidenciou variações significativas em relação ao plano de referência. O mapa de cores (Figura 2 (c)) mostrou que os pontos em verde representaram os desvios máximos positivos (saliências), enquanto as regiões em azul indicaram os desvios negativos (reentrâncias). Essa distribuição demonstrou que a superfície ultrapassou os limites estabelecidos pelas tolerâncias normativas, estando, portanto, fora dos requisitos aceitáveis de planicidade conforme a norma NM 103:1998.

Por outro lado, a superfície 2 apresentou menor variação em relação ao plano base, com desvios dentro dos limites permitidos. O mapa de cores correspondente (Figura 2 (d)) confirmou que essa superfície está em conformidade com a Classe 1, de acordo com os critérios estabelecidos pela literatura e pela norma aplicável.

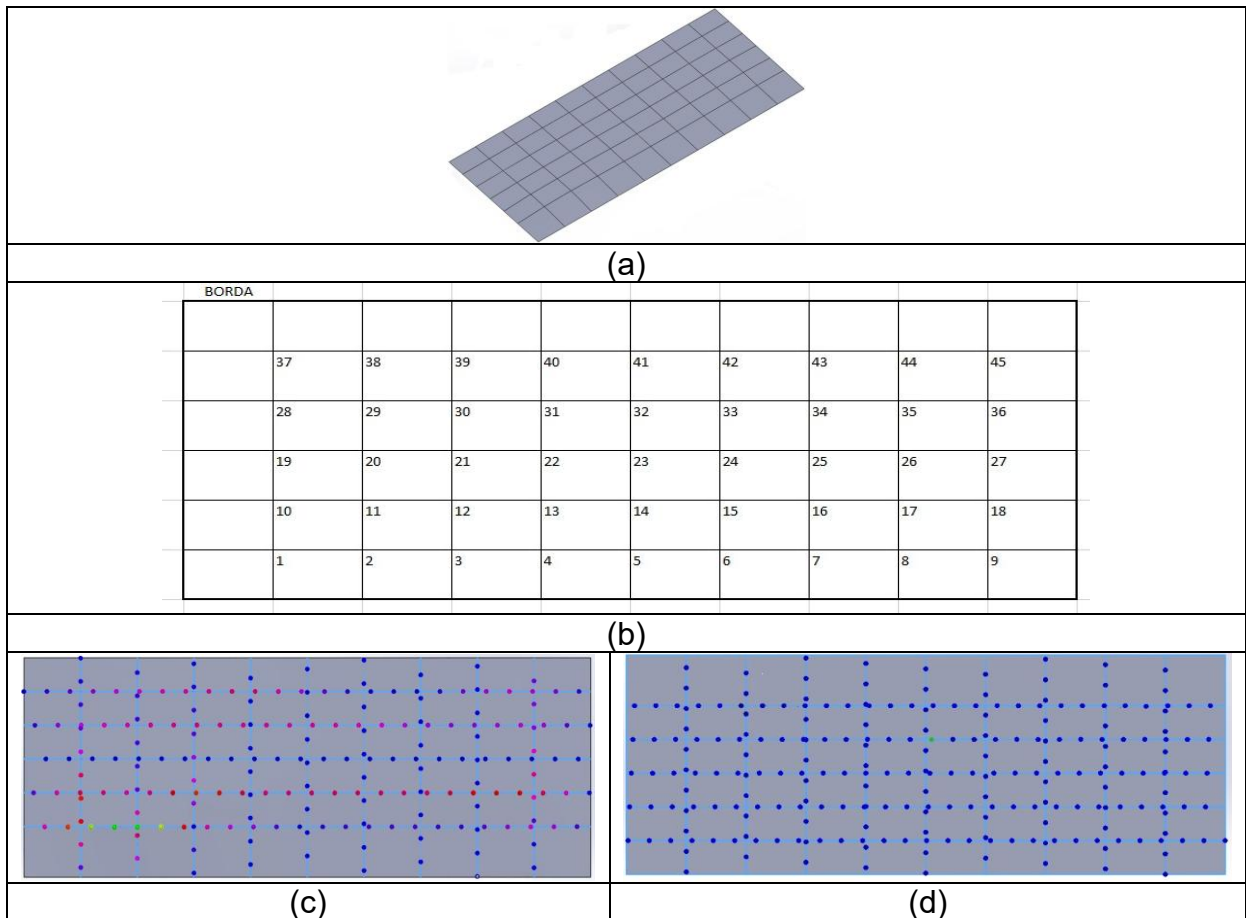


Figura 2. (a) e (b) Método das grades retangulares e mapa de cores das regiões com desníveis na (c) superfície 1 e (d) superfície 2.

5 CONCLUSÃO

Os resultados evidenciaram que a superfície 1 não atende às tolerâncias de planicidade especificadas pela norma NM 103:1998, apresentando desvios além dos limites aceitáveis. Em contrapartida, a superfície 2 encontra-se dentro da Classe 1, atendendo aos requisitos normativos.

Conclui-se, portanto, que a metodologia adotada possibilitou a identificação precisa das irregularidades geométricas, revelando diferenças significativas entre as superfícies analisadas.

REFERÊNCIAS

HAPIDDIN, Asep; NOVYANTO, Okasatria; AZZUMAR, Muhammad; SYAHADI, Mohamad; MUNIR, Miftahul; BASUKI, Budhy; WIRIADINATA, Hidayat. The surface plate calibration comparison based on the grid method. [S.l.: s.n.], 2023. p. 1819-1825.

NBR NM 103:1998 – Desempenos de granito. Rio de Janeiro, 1998.

Magalhães, Rita de Cássia Alves de. "Sistema para medição de erro de planicidade." PhD diss., Universidade de São Paulo, 2006.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

Sobre os autores:

i **WALLYSON THOMAS ALVES DA SILVA (Autor 1)**



Possui Pós-doutorado em Engenharia Mecânica no Karlsruhe Institute of technology (KIT) na Alemanha em 2025. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Usinagem dos metais. É Professor Adjunto II da Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange” em Campinas - SP.

ii **MARCUS VINICIUS BEGOSSI (Autor 2)**



Possui graduação em Ciência da Computação pela Faculdade Anhanguera (2000), Especialização em MBA em Gestão de projetos pela ela Faculdade Anhanguera (2009) e Mestrado (2015) em Engenharia da Produção pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Atualmente é Coordenador Técnico da Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". Tem experiência na área de Automação, com ênfase em Gestão de projetos.

iii **ALDO ROBERTO PEREIRA (Autor 3)**



Possui graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2010), com especialização em Metodologia de Ensino na Educação Superior pela Uninter (2015), cursando atualmente Mestrado em Solidificação de Metais, Ligas e Compósitos pela Unicamp (2024). Experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em projetos de produtos para indústria automotiva e moldes para injeção de termoplásticos. Atualmente é professor especialista da Faculdade SENAI de Tecnologia, lecionando as disciplinas Projeto de Ferramentas no curso Tecnológico em Fabricação Mecânica.

iv **FABIO KURANAKA (Autor 4)**



Mestre em Engenharia Mecânica pela Unicamp (2022). Atualmente é Orientador de Prática Profissional, Educação e Tecnologia da Faculdade SENAI de Tecnologia.