



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

REFORÇO DA CAPACIDADE DE MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE TEXTURA SUPERFICIAL NO LNEC

Perfilómetro óptico com sonda de luz branca



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

REFORÇO DA CAPACIDADE DE MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE TEXTURA SUPERFICIAL NO LNEC

Perfilómetro óptico com sonda de luz branca

Projeto MetroOptics, inserido na Estratégia de Investigação
e Inovação 2021-2027 do LNEC

Lisboa • dezembro 2025

I&D CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO

RELATÓRIO 380/2025 – CICTI/NQM

Título

REFORÇO DA CAPACIDADE DE MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE TEXTURA SUPERFICIAL NO LNEC

Perfilómetro óptico com sonda de luz branca

Autoria

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO

Luís Filipe Lages Martins

Investigador Auxiliar, Núcleo de Qualidade Metrológica

Alexandre Vieira Pinheiro

Técnico Superior, Núcleo de Qualidade Metrológica

Colaboração

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO

António Branquinho Pais

Técnico Superior, Núcleo de Qualidade Metrológica

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 380/2025

Proc. 0904/1102/24122

REFORÇO DA CAPACIDADE DE MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE TEXTURA SUPERFICIAL NO LNEC

Perfilómetro óptico com sonda de luz branca

Resumo

Este relatório descreve o procedimento de ensaio para a medição de parâmetros de textura superficial com recurso a um perfilómetro óptico com sonda de luz branca, tendo em vista a utilização generalizada deste equipamento no âmbito dos estudos de investigação realizados pelo LNEC no domínio da Engenharia Civil, relacionados com materiais de engenharia, componentes, estruturas e produtos.

Palavras-chave: Textura / Superfície / Metrologia / Óptica

STRENGTHENING THE CAPACITY FOR MEASURING SURFACE TEXTURE PARAMETERS AT LNEC

Optical profilometer with a white light probe

Abstract

This report describes the testing procedure for the measurement of surface texture parameters using an optical profilometer with a white light probe, aiming the generalized use of this equipment in research studies performed by LNEC in the Civil Engineering domain, related to engineering materials, components, structures and products.

Keywords: Texture / Surface / Metrology / Optics

Índice

1	Introdução	1
2	Conteúdo do relatório.....	3
	Referências bibliográficas	5
	ANEXOS.....	7
	ANEXO I – Especificações técnicas.....	9
	ANEXO II – Procedimento de ensaio	13

1 | Introdução

No âmbito do projeto de investigação MetroOptics – Metrologia Óptica, inserido na Estratégia de Investigação e Inovação (2021-2027) do LNEC, o Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM) do Centro de Instrumentação Científica e Tecnologias de Informação (CICTI) tem promovido o desenvolvimento e a adoção de soluções de medição óptica, que ultrapassem as limitações inerentes à utilização de instrumentação convencional, ou melhorem o nível de exatidão das medições efetuadas nos diversos domínios de intervenção experimental do LNEC no domínio da Engenharia Civil.

Este relatório incide sobre a integração de um perfílmetro óptico com sonda de luz branca na atividade laboratorial realizada pela UMA – Unidade de Metrologia Aplicada, inserida no NQM, tendo em vista o reforço da sua capacidade de medição de parâmetros de textura superficial em materiais de engenharia, componentes, estruturas e produtos. Atualmente, esta Unidade Operativa do LNEC – Ensaios e Metrologia (LNEC-EM) apenas efetua medições de parâmetros de textura superficial suportadas no recurso a método e equipamento de medição por contacto (rugosímetro com apalpador). Nos últimos anos, esta abordagem tradicional de medição tem permitido responder, de forma satisfatória, a um conjunto de solicitações internas e externas relacionadas, por exemplo, com a avaliação de conformidade de requisitos metrológicos de textura superficial em moldes e pratos de máquinas de compressão utilizados em ensaios de cimentos e betão endurecido.

Neste contexto, o recurso a uma abordagem de medição suportada num perfílmetro óptico com sonda de luz branca (Leach; 2011) apresenta, comparativamente com a medição suportada num rugosímetro com apalpador, as seguintes vantagens: (i) capacidade de medição automática, após definição de rotina computacional, e a consequente redução do tempo de intervenção do operador; (ii) um número mais elevado de parâmetros disponíveis para medição; (iii) maior resolução espacial e temporal nas medições efetuadas; (iv) capacidade de medição pontual e em áreas, em acréscimo à medição de perfis; (v) medição da textura superficial sem contacto em materiais sensíveis e delicados; (vi) possibilidade de medição de espessuras de revestimentos translúcidos ou transparentes. Por outro lado, é possível destacar, como principais desvantagens, o facto de perfílmetro óptico não ser portátil (o que impede medições fora do contexto laboratorial) e a sua complexidade operacional (implica um processo moroso de qualificação do operador). Salienta-se, igualmente, que o alcance nominal deste tipo de equipamento (próximo de 3 mm) poderá impedir a medição da textura de alguns tipos de superfícies, caracterizadas por distâncias verticais entre picos e vales mais acentuadas.

Independentemente do tipo de abordagem adotada (com ou sem contacto), a rastreabilidade das medições de textura superficial ao Sistema Internacional (SI) de Unidades é assegurada por um conjunto de medidas materializadas padrão do LNEC, sujeitas a calibração periódica no Laboratório Nacional de Metrologia do Instituto Português da Qualidade. Neste âmbito, é considerado o enquadramento normativo internacional em vigor (ISO 21920; 2021), aplicável à medição da textura superficial no que respeita à sua indicação, termos, definições, parâmetros e operadores de especificação.

O perfilómetro óptico com sonda de luz branca do LNEC (*vide* especificações técnicas no Anexo I) foi adquirido através de financiamento externo associado ao projeto FCT Roteiro 0322/2013, no âmbito da sua participação como Infraestrutura Europeia de Investigação em Património Cultural tendo contribuído, numa fase inicial, para a realização de estudos de investigação do Núcleo de Conservação do Património Natural e Construído do Departamento de Materiais do LNEC. Posteriormente, este equipamento transitou para as instalações laboratoriais da UMA, no seguimento de uma ação de manutenção corretiva e metrológica. Por essa ocasião foi considerada como benéfica, a coordenação do NQM no que se refere à sua conservação e utilização generalizada por diferentes Unidades de Investigação do LNEC.

Neste contexto, é possível referir como exemplo, a recente utilização do perfilómetro óptico no estudo da relação entre as rugosidades física e equivalente em condutas de betão e na consequente validação de método de ensaio hidráulico em troços de redes operacionais de abastecimento de água (Martins; Ribeiro; Gonçalves; *et al.*; 2025). O equipamento óptico em questão contribuiu, deste modo, para o acréscimo de confiança nos resultados associados à monitorização da textura superficial no interior de condutas que compõem uma infraestrutura hidráulica, e para a melhoria do conhecimento dos fenómenos de desgaste, acumulação de resíduos ou formação de biofilme e respetivo impacto operacional. Refira-se que o equipamento apresenta, igualmente, um elevado potencial de utilização no controlo de qualidade da produção deste tipo de componente hidráulico.

Em acréscimo, é possível referir a sua potencial utilização no âmbito do estudo de fenómenos de atrito, desgaste, lubrificação, corrosão e degradação em materiais de engenharia, componentes, estruturas e produtos. Numa perspetiva metrológica, a utilização deste equipamento óptico poderá contribuir para a melhoria do conhecimento da componente de incerteza da reprodutibilidade instrumental da medição de parâmetros de textura superficial. O seu nível de exatidão possibilita, ainda, a caracterização metrológica de materiais de referência (superfícies de deslizamento para medidores de fricção, por exemplo), e padrões de referência (de altura de degrau ou de espaçamento) utilizados na calibração de máquinas de medição (com e sem contacto).

A publicação do presente relatório visa a disseminação do conhecimento associado à medição da textura superficial com recurso a perfilómetro óptico podendo contribuir, numa fase prévia à realização das medições, para a melhoria da sua especificação e, numa fase posterior, para a clarificação e interpretação dos resultados obtidos.

2 | Conteúdo do relatório

No presente relatório é apresentado, no Anexo II, o Procedimento UMA/MEC.PRC.0202 (versão 0), designado por “Medição da Textura Superficial com Perfilómetro Óptico”, o qual constitui um procedimento interno da UMA inserido no domínio metrológico da Superfície e Dureza.

Este procedimento inclui a descrição do seu âmbito de aplicação, estando centrado na utilização de um perfilómetro óptico, marca Taylor Hobson, modelo Talysurf CLI 1000, (Talysurf CLI 1000; 2009) na medição (sem contacto) de parâmetros de textura em superfícies de interesse. Em acréscimo à descrição sumária deste equipamento de referência e do respetivo princípio e método de medição, o procedimento apresenta em detalhe toda a informação relevante para a garantia da qualidade e da confiança nas medições efetuadas com o perfilómetro óptico.

Neste âmbito, é possível destacar as seguintes secções dedicadas:

- (i) a preparação do ensaio, onde se inclui a descrição das ações de limpeza, condicionamento ambiental, inicialização do equipamento de medição (incluindo a observação do espectro do ruído de fundo da sonda, a linearização e a calibração), e a montagem do provete de medição;
- (ii) o conjunto de ações operacionais no equipamento, que constituem o procedimento de ensaio propriamente dito;
- (iii) e a determinação do resultado do ensaio, no que respeita à estimativa e incerteza de medição do parâmetro de textura superficial de interesse.

Por último, o procedimento elaborado indica o conteúdo informativo que deve constar no Boletim de Ensaio digital a emitir, em resposta a uma solicitação para a medição de um dado parâmetro de textura superficial. Para este efeito, a UMA recorre a um ficheiro computacional dedicado para o qual é transcrita toda a informação de natureza técnica registada na aplicação computacional (TalyMap Gold) associada ao perfilómetro óptico (Talysurf CLI 1000; 2005).

Salienta-se que este procedimento de ensaio constitui um documento interno de natureza técnica, que cumpre os requisitos definidos no Procedimento de Gestão do Sistema do LNEC-EM, na sua vertente de Gestão Documental, decorrente da concretização da Política de Gestão da Qualidade do LNEC. Por este motivo, num futuro próximo e caso se justifique, poderá contribuir para evidenciar a competência técnica da UMA enquanto laboratório de ensaio para a medição da textura superficial em materiais de engenharia, componentes, estruturas e produtos, tendo em conta o enquadramento normativo aplicável (NP EN ISO/IEC 17025; 2018).

Lisboa, LNEC, dezembro de 2025

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Qualidade Metrológica

Assinado por: **Álvaro Silva Ribeiro**
Num. de Identificação: 07981823
Data: 2026.01.08 16:59:50+00'00'

Álvaro Silva Ribeiro

O Diretor do Centro de Instrumentação Científica
e Tecnologias de Informação

Assinado por: **João Carlos Godinho Viegas**
Num. de Identificação: 06402904
Data: 2026.01.09 10:46:23+00'00'

João Carlos Viegas

AUTORIA

Assinado por: **Luís Filipe Lages Martins**
Num. de Identificação: 12199790
Data: 2025.12.30 14:58:38+00'00'

Luís Filipe Lages Martins
Investigador Auxiliar

Assinado por: **Alexandre Vieira Pinheiro**
Num. de Identificação: 13423855
Data: 2026.01.05 12:53:18+00'00'

Alexandre Vieira Pinheiro
Técnico Superior

Referências bibliográficas

- ISO 21920-1:2021 – **Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile. Part 1: Indication of surface texture**. International Organization for Standardization, 2021.
- ISO 21920-2:2021 – **Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile. Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters**. International Organization for Standardization, 2021.
- ISO 21920-3:2021 – **Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile. Part 3: Specifications operators**. International Organization for Standardization, 2021.
- LEACH, Richard (editor); 2011 – **Optical Measurement of Surface Topography**. 1st edition, Berlin: Springer. ISBN 978-3-642-12011-4.
- MARTINS, Luís; RIBEIRO, Álvaro; GONÇALVES, Teresa; SIMÕES, Catarina; MENDES, Ricardo, 2025 – **Using confocal scanning for the definition of a relation between physical and equivalent roughness in concrete hydraulic pipes**. Proceeding of SPIE – Optical Measurement Systems for Industrial Inspection XIV, vol. 13567, 1356725, 2025. ISBN 0277-786X.
- NP EN ISO/IEC 17025:2018 – **Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração**. Instituto Português da Qualidade, 2018.
- TALYSURF CLI 1000, 2005 – **Talysurf CLI 1000/2000. Operator's Handbook**. Revision 25, Leicester: Taylor Hobson Precision.
- TALYSURF CLI 1000, 2009 – **Talysurf CLI 1000. Service Manual**. Revision 05, Leicester: Taylor Hobson Precision.

ANEXOS

ANEXO I – Especificações técnicas

Neste Anexo são enumeradas as seguintes especificações técnicas do perfilômetro óptico do LNEC:

- marca: Taylor Hobson;
- modelo: TalySurf CLI 1000;
- número de série: 2.159 DS;
- número de identificação interna: 99.13;
- tipo de instrumentação óptica: sonda de luz branca (microscopia confocal);
- massa do equipamento: 105 kg;
- capacidade de carga: 20 kg;
- dimensões do equipamento: 500 mm × 500 mm × 750 mm;
- dimensões dos eixos de medição: 100 mm × 100 mm × 100 mm;
- velocidades de medição disponíveis: 30 mm/s, 15 mm/s, 10 mm/s, 5 mm/s, 1 mm/s e 0,5 mm/s;
- velocidade de posicionamento da sonda: 30 mm/s;
- alcance da medição de textura superficial: 3 mm;
- inclinação máxima da superfície: 13°;
- resolução espacial das medições: 0,5 µm (horizontal), 0,1 µm (vertical);
- sistema de guiamento:
 - retilismo: 1 µm (antes de correção), 0,4 µm (após correção);
 - planeza: 2 µm (antes de correção), 0,75 µm (após correção);
- requisitos ambientais:
 - para armazenamento:
 - temperatura – de 5 °C a 40 °C;
 - humidade relativa – de 10 % e 80 %;
 - para operação:
 - temperatura – de 18 °C a 22 °C;
 - humidade relativa – de 45 % e 75 %;
 - gradiente de temperatura: inferior a 2 °C / hora;
 - nível máximo de vibração (RMS) do pavimento: 3 µm/s e 6 µm/s para frequências inferiores e superiores a 50 Hz, respetivamente;
- requisitos elétricos:
 - alimentação alternada (AC) monofásica com ligação à terra:
 - tensão elétrica – entre 200 V e 260 V;
 - frequência – entre 47 Hz e 63 Hz;
 - potência elétrica: 500 W.

ANEXO II – Procedimento de ensaio



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

EN ENSAIOS
e METROLOGIA

MEDIÇÃO DA TEXTURA SUPERFICIAL COM PERFILÓMETRO ÓPTICO

Procedimento UMA/MEC.PRC.0202.00

UNIDADE DE METROLOGIA APLICADA



Título

Medição da textura superficial com perfilómetro óptico

Autoria

UNIDADE DE METROLOGIA APLICADA

Luís Filipe Lages Martins

Alexandre Vieira Pinheiro

Copyright © Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P. | Direção da Qualidade do LNEC-EM
Av. do Brasil 101 • 1700-066 Lisboa
e-mail: uma@lnec.pt
www.lnec.pt

Procedimento UMA/MEC.PRC.0202.00

Medição da textura superficial com perfilómetro óptico

MEDIÇÃO DA TEXTURA SUPERFICIAL COM PERFILÓMETRO ÓPTICO

Procedimento de ensaio

Resumo

Este documento descreve o procedimento adotado pela Unidade de Metrologia Aplicada do LNEC – Ensaios e Metrologia, na medição da textura superficial com recurso a um perfilómetro ótico.

Palavras-chave: Procedimento / Ensaio / Textura superficial / Perfilómetro óptico

SURFACE TEXTURE MEASUREMENT WITH AN OPTICAL PROFILOMETER

Testing procedure

Abstract

This document describes the procedure adopted by the LNEC-EM Applied Metrology Laboratory in the surface texture measurement using an optical profilometer.

Keywords: Procedure / Testing / Surface texture / Optical profilometer

UMA/MEC.PRC.0202.00

O presente documento deixa de ser considerado um documento controlado após impressão

I de 19

Índice

1	Âmbito e equipamento de referência	5
2	Princípio de medição.....	5
3	Método de medição.....	6
4	Procedimento de ensaio	6
4.1	Introdução	6
4.2	Capacidade da UMA para a medição da textura superficial	6
4.3	Inspeção visual	6
4.4	Preparação do ensaio.....	7
4.4.1	Limpeza e condicionamento ambiental	7
4.4.2	Inicialização do equipamento	8
4.4.3	Montagem do provete de medição	13
4.5	Procedimento de ensaio	14
4.6	Determinação dos resultados do ensaio	16
4.6.1	Estimativas de medição	16
4.6.2	Incertezas de medição	17
4.7	Boletim de ensaio	18
5	Referências bibliográficas	18
6	Registo de alterações.....	19

1 | Âmbito e equipamento de referência

A Unidade de Metrologia Aplicada (UMA) do LNEC – Ensaios e Metrologia (LNEC-EM) executa, nas suas instalações laboratoriais, a medição óptica da textura superficial [1-3] com alcance próximo de 3 mm e resolução igual a 0,01 μm , tendo em vista a caracterização de materiais de engenharia, componentes de maquinaria, estruturas e produtos.

Para este efeito, a UMA dispõe, como padrão de referência, de um perfílmetro óptico (Figura 1) rastreado a medidas materializadas padrão nacionais ou internacionais, que realizam a grandeza Comprimento de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI).



Figura 1 – Perfílmetro óptico da UMA (marca Taylor Hobson, modelo Talysurf CLI 1000)

2 | Princípio de medição

O princípio de medição é baseado no fenómeno da dispersão cromática, concretizado através de um circuito óptico coaxial confocal. Neste circuito, uma luz branca é direcionada através de um divisor de feixe para a superfície de medição, recorrendo a um cabo de fibra óptica e passando por uma lente de aberração espectral. Este componente óptico origina a dispersão da luz de acordo com diferentes comprimentos de onda (ou frequências), tornando impossível a sua focagem num único ponto da superfície de medição. Deste modo, a incidência de um ponto de luz sobre a superfície de medição corresponde apenas a um determinado comprimento de onda, compreendido no intervalo de amplitude de foco gerada pela lente. A luz refletida na superfície passa através de uma abertura, a qual apenas permite a passagem de comprimentos de onda associados à amplitude de foco gerada. Posteriormente, uma rede de espectrometria deflete a luz para um sensor óptico (do tipo CCD), permitindo conhecer a distribuição da intensidade da luz refletida de acordo com o seu comprimento de onda.

3 | Método de medição

O método de medição é suportado num perfímetro óptico, o qual permite conhecer a distribuição da intensidade da luz refletida na superfície de medição, de acordo com o seu comprimento de onda. O valor de pico desta curva pode ser relacionado com a altura da superfície recorrendo a medidas materializadas padrão da textura superficial, sendo assumida uma relação linear entre as grandezas comprimento de onda medido e a mensuranda de interesse.

4 | Procedimento de ensaio

4.1 Introdução

Em seguida é apresentado um procedimento de ensaio elaborado pela UMA, para a medição óptica da textura superficial de materiais de engenharia, componentes de maquinaria, estruturas e produtos.

4.2 Capacidade da UMA para a medição da textura superficial

Quando solicitada para realizar a medição óptica da textura superficial, a UMA avaliará a sua capacidade para realizar esta operação metrológica tendo em conta:

- o parâmetro solicitado da textura superficial [2];
- o intervalo de medição e o nível de exatidão requeridos;
- a inclinação da superfície de medição (deverá ser inferior a 13°);
- o volume de trabalho disponível no equipamento de medição (100 mm x 100 mm x 100 mm);
- a massa do provete de medição (deverá ser inferior a 20 kg);
- a resolução espacial requerida para a amostragem da superfície de medição (não deverá ser inferior a 0,5 µm).

4.3 Inspeção visual

Observar a superfície de medição do provete sujeito a ensaio e anotar no boletim eletrónico:

- o tipo de superfície (opaca, transparente ou translúcida);
- em caso de material heterogéneo, os respetivos elementos constituintes¹ visíveis a olho nu;
- estrias ou sulcos decorrentes do processo de fabrico ou de amostragem e respetiva localização ou direção;

¹ Exemplos: agregados em matrizes poliméricas, cimentícias, betuminosas e argamassas; minerais em materiais rochosos.

- sinais de degradação e defeitos (fendas, deformações, contaminantes ou outros elementos não constituintes do provete, entre outros).

4.4 Preparação do ensaio

4.4.1 Limpeza e condicionamento ambiental

Com recurso a um aspirador, promover a limpeza da mesa de trabalho do perfilómetro após confirmação da colocação da tampa de proteção na sonda óptica.

Remover poeiras e elementos não constituintes do provete de medição com recurso a um pincel macio ou a jato de ar comprimido, caso esta operação não altere a sua condição de textura superficial. Se aplicável, recorrer a pano macio e a álcool isopropílico para a limpeza da superfície de medição. Efetuar, igualmente, a limpeza das medidas materializadas padrão de textura superficial a utilizar no equipamento de medição.

Anotar, no boletim eletrónico, a identificação do provete de medição bem como as dimensões do perfil ou da área de medição e a respetiva localização. Caso seja exequível e autorizada pelo cliente, efetuar a marcação permanente ou provisória dos vértices do perfil ou da área de medição no provete. As direções do perfil ou da área de medição devem estar alinhadas com o referencial de medição do equipamento (ver Figura 2) e com a direção das estrias ou sulcos, caso sejam visíveis no provete de medição.

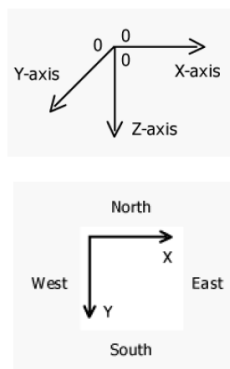


Figura 2 – Referencial de medição associado à mesa de trabalho do perfilómetro

Colocar o provete e as medidas materializadas padrão na sala laboratorial, junto ao equipamento de medição, pelo menos 12 horas antes de iniciar o ensaio. Os requisitos ambientais definidos para a referida sala laboratorial são os seguintes:

- temperatura do ar: $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$;
- humidade relativa: igual ou inferior a 65 %.

4.4.2 Inicialização do equipamento

Ligar o computador e a unidade de controlo (vide Figuras 3 e 4, respetivamente) do equipamento de medição, pelo menos, uma hora antes do início do ensaio. Remover a tampa de proteção da sonda óptica.

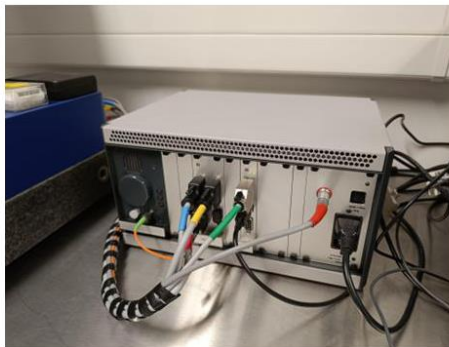


Figura 3 – Unidade de controlo do perfílmetro



Figura 4 – Botão ON / OFF da unidade de controlo

No computador, iniciar o programa **Talysurf CLI 1000** (ver Figura 5). O *software* iniciará automaticamente a configuração da origem do referencial, conforme se mostra na Figura 6. Caso tal não ocorra, aceder ao menu de configuração da origem do referencial através do menu: **Settings > Origin Settings**.



Figura 5 – Ícone do programa Talysurf CLI 1000

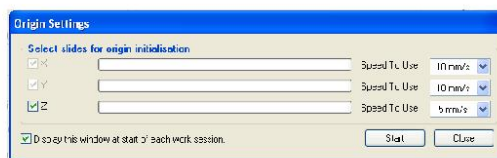


Figura 6 – Janela de configuração da origem do referencial

Na janela de configuração da origem do referencial, selecionar os três eixos de medição (X, Y e Z) e definir as respetivas velocidades de deslocação. Recomenda-se a utilização de uma velocidade igual a 10 mm/s nos eixos X e Y, e de 5 mm/s no eixo Z. Estas velocidades podem ser ajustadas, conforme necessário, de modo a otimizar o equilíbrio entre a redução da duração do ensaio e a minimização das vibrações resultantes da movimentação dos eixos.

Carregar no botão **Start** para executar a configuração da origem do referencial de medição pretendida. Caso o botão **Start** não esteja disponível, verificar se as coordenadas dos três eixos estão compreendidas no intervalo [0 mm, 100 mm].

Após a configuração da origem do referencial de medição, e caso seja necessária uma reconfiguração para novas condições de ensaio, devem ser efetuadas as seguintes etapas: (i) observação do espectro do ruído de fundo do sinal de saída da sonda (na subsecção 4.4.2.1); (ii) linearização (em 4.4.2.2); (iii) calibração (vide 4.4.2.3).

4.4.2.1 Observação do espectro do ruído de fundo

Este processo permite verificar a existência de picos no espectro do ruído de fundo associado ao sinal de saída proveniente da sonda óptica. Antes de iniciar a observação, utilizar o painel de comando do equipamento (ver Figura 7) para posicionar a sonda na sua posição vertical extrema, de modo a atingir a distância máxima de afastamento em relação à mesa de trabalho garantindo, deste modo, que a sonda se encontra completamente fora do intervalo de medição.



Figura 7 - Localização do painel de comandos do equipamento

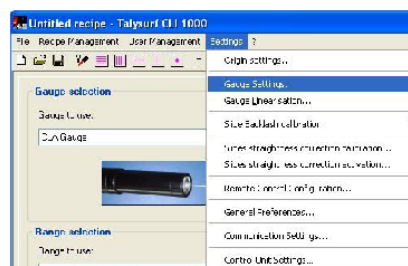


Figura 8 - Acesso à configuração da sonda óptica

De seguida, abrir a janela **Gauge (CLA Gauge) Configuration, Calibration and Linearisation** através do menu **Settings > Gauge Settings...** (vide Figura 8) e, no separador **CLA Confocal Settings**, carregar em **Show**, seguido da opção **Zoom**.

Ao surgir o gráfico **Gauge Spectrum**, analisar a presença de picos no espectro do ruído de fundo da sonda, o que se traduz num valor elevado da altura de pico. Como exemplo, na Figura 9, é apresentado um sinal de saída com um valor reduzido de altura de pico (valor digital igual a 99), associado a ruído de fundo aproximadamente constante ao longo do espectro, o que se considera aceitável. Em oposição, na Figura 10, é possível notar uma altura de pico mais elevada (valor digital igual a 476) no espectro do ruído de fundo da sonda.

Caso não sejam identificados picos no espectro do ruído de fundo da sonda, é possível avançar para a linearização do sinal de saída, conforme descrito na secção seguinte 4.4.2.2. – Linearização. Pelo contrário, a presença de picos no espectro do ruído de fundo da sonda, implica a execução da função **Background Noise Cancellation**, disponível no *software* do equipamento. Esta funcionalidade permite caracterizar o espectro do ruído de fundo da sonda e subtrai-lo automaticamente na realização de medições da textura superficial.

Medição da textura superficial com perfilómetro óptico

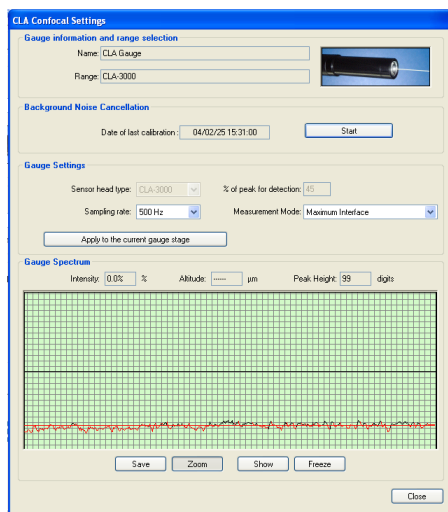


Figura 9 – Espectro do ruído de fundo da sonda sem a presença de picos.

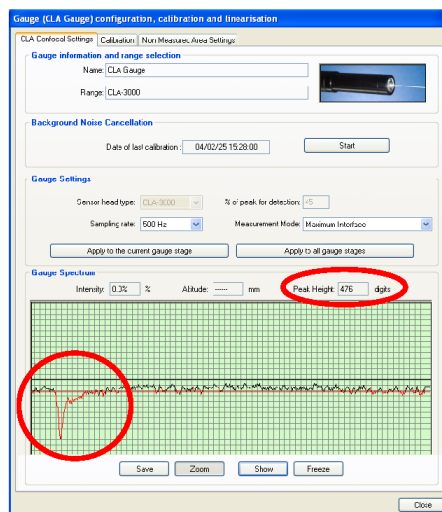


Figura 10 – Espectro do ruído de fundo da sonda com a presença de um pico

Para executar a função de cancelamento do ruído de fundo, aceder ao menu **Settings > Gauge Settings** e, na janela **Gauge (CLA Gauge) Configuration, Calibration and Linearisation**, seleccionar o separador **CLA Confocal Settings**. Por sua vez, na área **Background Noise Cancellation**, carregar em **Start** (vide Figura 9 ou 10), após garantir que a sonda óptica se encontra completamente fora do intervalo de medição. Em seguida será apresentada uma mensagem com recomendações, devendo carregar-se em **Yes** para iniciar a execução da função.

Salienta-se que a observação do espectro do ruído de fundo da sonda deve igualmente ser efetuada sempre que ocorra um dos seguintes eventos:

- presença de um sinal intermitente no indicador de posição da sonda;
- alteração significativa da temperatura ambiente;
- reconexão do cabo associado à sonda de luz branca;
- substituição do módulo da fonte de luz;
- substituição da sonda de luz branca.

4.4.2.2 Linearização

Esta operação permite assegurar uma relação linear entre a altura medida e a contagem analógica digital (AD) associada ao sinal de saída da sonda de luz branca do perfilómetro a qual, numa fase primária, não é linear. A sua execução implica o deslocamento da sonda ao longo do eixo Z, de forma a percorrer todo o intervalo de medição (cerca de 3 mm), desde uma condição de observação com nível elevado de saturação até um nível reduzido de saturação, conforme se mostra na Figura 11.

A linearização deve ser executada sempre que se verifique uma das seguintes situações:

- deteção de problemas associados ao alcance de medição;
- ausência de pontos de medição em regiões próximas dos limites de saturação (elevada ou reduzida);
- substituição de algum módulo de *hardware* do equipamento;
- reinstalação do equipamento.

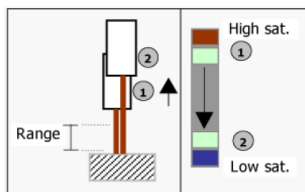


Figura 11 – Representação esquemática da linearização (à esquerda, o movimento da sonda ao longo do intervalo de medição e, à direita, o indicador da posição da sonda)

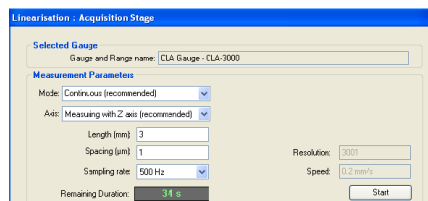


Figura 12 – Janela de linearização – fase de aquisição

Para iniciar a linearização, aceder à janela de linearização – fase de aquisição (ilustrada na Figura 12), através do menu **Settings > Gauge Linearisation**, e efetuar a seguinte configuração:

- **Mode:** *Continuous* (recomendado);
- **Axis:** *Measuring with Z axis* (recomendado);
- **Length:** 3 mm no máximo ou, em alternativa, um valor próximo inferior;
- **Spacing:** 1 µm;
- **Sampling rate:** 500 Hz.

Em seguida, posicionar a sonda sobre uma superfície de observação – uma medida materializada padrão, por exemplo, como se mostra na Figura 13 – utilizando o painel de comandos do equipamento (vide Figura 7). Evitar olhar diretamente para o foco de luz durante esta operação. Ajustar a distância entre a sonda e a superfície, observando o indicador da posição da sonda (vide Figura 14). Para tal, colocar a sonda na posição vertical extrema (o mais afastada possível da superfície) e descer progressivamente até à ativação do indicador. Recomenda-se que a sonda seja colocada numa posição correspondente à ativação do terceiro LED a contar de cima, conforme se mostra na Figura 14.

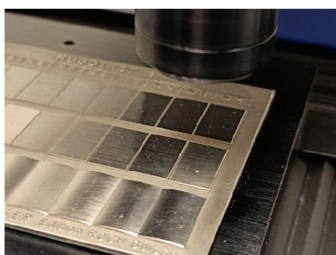


Figura 13 – Foco de luz na superfície de observação



Figura 14 – Indicador luminoso da posição da sonda

Na janela de linearização – fase de aquisição, carregar no botão **Start** (vide Figura 12) e aguardar que o *software* apresente o gráfico da relação entre a distância vertical percorrida e a contagem AD do sinal de saída da sonda (ver exemplos nas Figuras 15 e 16).

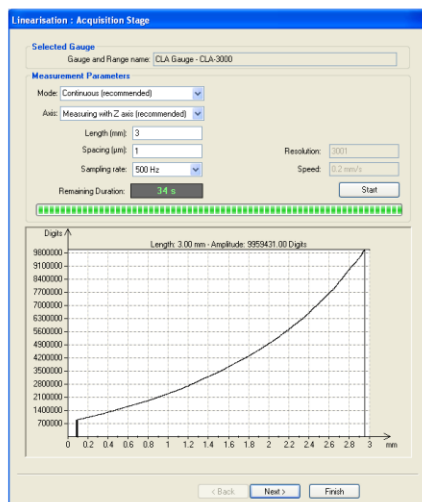


Figura 15 – Relação uniforme entre a distância percorrida e a contagem AD do sinal da sonda

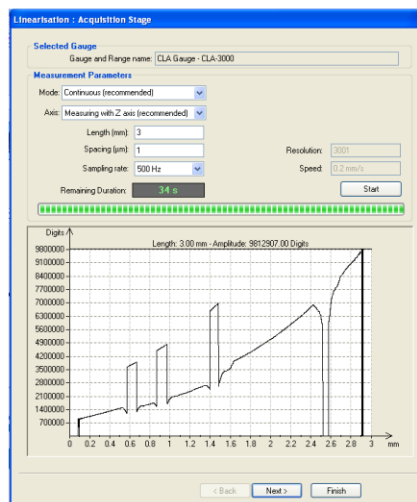


Figura 16 – Relação não uniforme entre a distância percorrida e a contagem AD do sinal da sonda

No gráfico verificar se a relação não linear obtida é uniforme, ou seja, não apresenta aumentos ou reduções bruscas da contagem AD ao longo de todo o intervalo de distância percorrida, exceto nos extremos da curva. Tendo-se constatado esta ocorrência – curva uniforme – avançar para a fase seguinte carregando em **Next**.

Nesta fase de processamento (vide Figura 17) definir os limites da curva a adotar na linearização, através da introdução dos respetivos valores percentuais na área **Operation**, e da seleção da opção (recomendada) **Piecewise linear** no campo **Algorithm**. Os limites adotados devem garantir, em simultâneo, a remoção das regiões extremas da curva e uma dimensão operacional da curva adequada à medição de textura superficial pretendida. Por último, carregar em **Linearise** e, em seguida, na opção **Finish**.

A realização da linearização implica que seja efetuada a calibração (vide subsecção seguinte 4.4.2.3), uma vez que a operação descrita nesta secção elimina a informação relativa à calibração anterior.

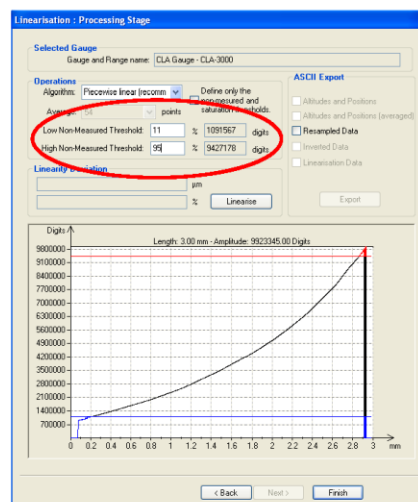


Figura 17 – Janela da fase de processamento da linearização

4.4.2.3 Calibração

Para efetuar a calibração do perfílmetro, colocar sobre a mesa de trabalho uma medida materializada padrão de textura superficial, cujo valor de referência para o parâmetro altura média aritmética (R_a) seja próximo do valor esperado para o provete sujeito a ensaio. Registrar, no boletim eletrónico aplicável, a identificação do padrão e o respetivo valor de referência. Efetuar o posicionamento e alinhamento do padrão com o referencial de medição do equipamento.

Através do menu **Settings > Gauge Settings** (ver Figura 18) do *software* do equipamento, aceder à janela **Gauge Configuration, Calibration and Linearisation**, que se mostra na Figura 19. Definir os seguintes parâmetros de medição e anotá-los no boletim eletrónico aplicável:

- **Length:** 20 mm (ou o maior valor disponível no padrão, caso o anterior não seja viável);
- **Spacing:** 5 μm ;
- **Speed:** 2 mm/s.

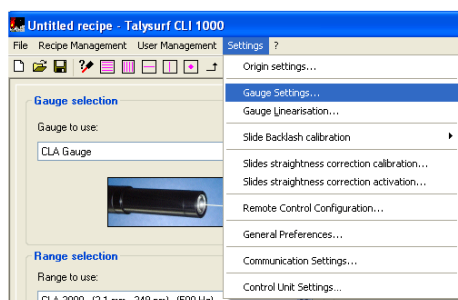


Figura 18 – Acesso à configuração da sonda óptica

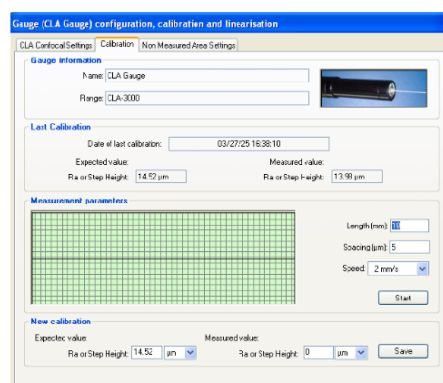


Figura 19 – Janela de calibração da sonda óptica

Selecionar o botão **Start** e aguardar a apresentação do gráfico correspondente à medição efetuada. No mesmo separador, na área **New Calibration**, introduzir os valores do parâmetro R_a (expressos em μm) nos campos **Measured value** (valor lido pelo equipamento) e **Expected value** (corresponde ao valor de referência indicado no certificado de calibração do padrão utilizado). Salienta-se que a determinação do valor lido pelo equipamento (**Measured value**) deve seguir o procedimento descrito na secção 4.6.1.

4.4.3 Montagem do provete de medição

Após conclusão da calibração, substituir o padrão de medição pelo provete de ensaio, posicionando-o sobre a mesa de trabalho do perfílmetro. Promover o seu alinhamento de acordo com o referencial de medição do equipamento de medição e as direções principais do provete, tendo em conta a informação indicada na secção 4.4.1.

4.5 Procedimento de ensaio

1. No programa **Talysurf CLI 1000**, aceder à opção **New Recipe** no menu **File** ou carregar no respetivo ícone disponível na barra de ferramentas.

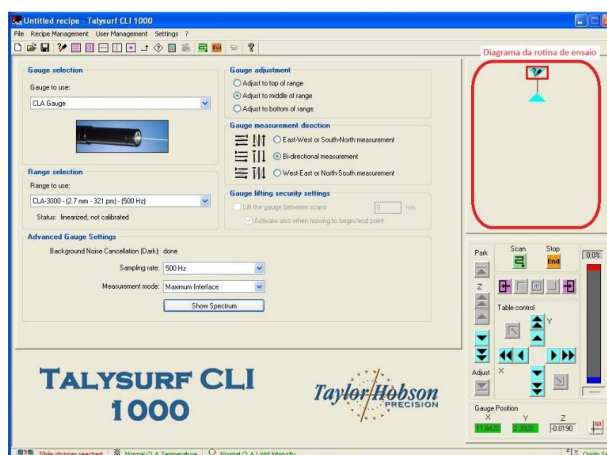


Figura 20 – Janela do programa no modo de configuração inicial da rotina de ensaio

2. Selecionar o primeiro bloco no diagrama da rotina de ensaio (vide Figura 20) e:
 - 2.1. Na área **Gauge adjustment**, selecionar **Adjust to middle of range** e posicionar a sonda de forma a garantir que o respetivo indicador (ver Figura 21) se situe a meio da escala²;
 - 2.2. Selecionar em **Gauge measurement direction** (ver Figura 22), o sentido mais adequado à medição pretendida, tendo em conta as seguintes opções: (i) **Bi-directional measurement** – medição em dois sentidos, na ida e no retorno à posição inicial; (ii) **Unidirectional measurement** – medição num único sentido na ida (não mede no retorno à posição inicial) como, por exemplo, **East–West**, **West–East**, **North–South** ou **South–North** (conforme o referencial apresentado na Figura 2).

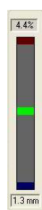


Figura 21 – Indicador gráfico da posição da sonda

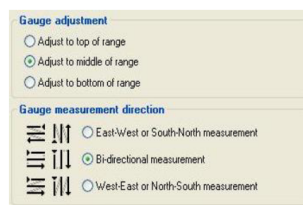


Figura 22 – Área para seleção da posição da sonda e da direção de medição

² Caso haja um interesse específico na medição dos picos ou dos vales de um perfil ou superfície, o ajuste da posição vertical da sonda deve ser efetuado de modo que o indicador se situe, respetivamente, nos limites inferior e superior da sua escala.

2.3. Na área **Advanced Gauge Settings** (vide Figura 23), seleccionar uma frequência de amostragem (500 Hz) idêntica à adotada na fase de linearização da sonda (na secção 4.4.2.2);

2.4. Ainda na mesma área, seleccionar o modo de medição de acordo com a natureza refletiva da superfície³ do provete de ensaio:

- Superfície opaca – seleccionar **Maximum Interface** (tipo de superfície com maior reflexão de luz);
- Superfície translúcida ou transparente (com menor reflexão de luz, comparativamente com uma superfície opaca):
 - Para medir a superfície mais próxima da sonda óptica, seleccionar a opção **First Interface**;
 - Para medir a superfície mais afastada da sonda óptica, seleccionar a opção **Second Interface**.

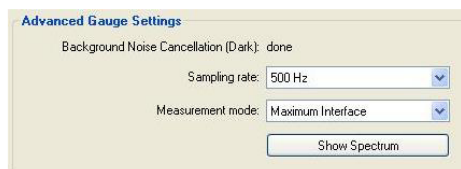


Figura 23 – Configurações avançadas da sonda óptica

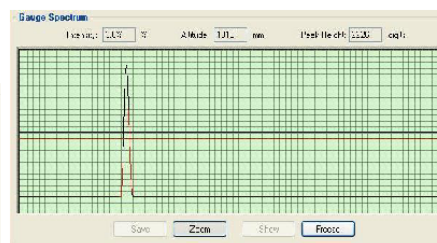


Figura 24 – Espectro da luz refletida na superfície

3. Na barra de opções localizada no topo da Figura 20, seleccionar o tipo de medição pretendida⁴ tendo em conta as opções disponíveis apresentadas na Figura 26; esta seleção deverá ter em conta a existência de eventuais estrias ou sulcos visíveis na superfície do provete pelo que, nesse caso em particular, a direção de medição da textura superficial deverá ser perpendicular à direção predominante das marcações;



Figura 26 – Ícones associados aos tipos de medições disponíveis

4. No diagrama da rotina de ensaio (vide Figura 20), seleccionar o bloco correspondente ao tipo de medição escolhido no ponto anterior e efetuar a seguinte configuração:

³ Na seleção do modo de medição poderá ser útil visualizar o espectro da luz refletida na superfície, conforme o exemplo apresentado na Figura 24. Para tal, carregar na opção **Show Spectrum** na área **Advanced Gauge Settings** (vide Figura 23).

⁴ Os pontos seguintes do procedimento de ensaio não são aplicáveis ao caso de medição pontual.

- 4.1. Na área **Destination File**, indicar o nome e local de armazenamento do ficheiro de registo dos dados da medição;
- 4.2. Na área **Size**, definir a posição e dimensão da medição, consoante se trate de:
 - Medição de uma superfície: indicar o espaçamento nos eixos X e Y ou, em alternativa, o número de pontos por perfil e o número de perfis, ou;
 - Medição de um perfil: indicar o espaçamento entre pontos ou, em alternativa, o número total de pontos a medir.
- 4.3. Na área **Speed**, adotar uma configuração idêntica à utilizada na calibração (vide secção 4.4.2.3), no que respeita ao espaçamento entre pontos (5 µm) e à velocidade (2 mm/s);
5. Repetir o ponto (4) pelo menos três vezes;
6. Gravar a rotina de medição utilizando a opção **Save Recipe** disponível no menu **File** ou na barra de ferramentas (ver Figura 20);
7. Selecionar o primeiro bloco no diagrama da rotina de ensaio e iniciar a medição carregando no botão **Start**, aguardar pela conclusão da execução da rotina de medição.

4.6 Determinação dos resultados do ensaio

4.6.1 Estimativas de medição

1. Após a finalização da rotina de medição, iniciar o programa **TalyMap Gold** através do ícone indicado na Figura 27; em caso de não apresentação automática dos dados da última medição, efetuar as seguintes ações: selecionar o ícone **Open Studiable** e abrir o ficheiro correspondente à medição pretendida (com a extensão **.SUR** para medições de **superfície**, ou com a extensão **.PRO** para o caso de medições de **perfil**);



Figura 27 – Ícone do programa TalyMap Gold

2. Na pasta do computador do equipamento, localizada em *C:\Documents and Settings\CLI 1000\My Documents\Work_UMA\Template*, selecionar o modelo de apresentação⁵ das estimativas de medição de perfil ou de superfície, consoante aplicável; a seleção destes modelos assegura o processamento automáticos dos dados brutos do ensaio⁶,

⁵ Inclui as representações gráficas das medições obtidas numa superfície, antes e após nivelamento, o gráfico dos perfis medidos e médio (se aplicável) ao longo do comprimento de avaliação definido, e o quadro dos valores médios, desvios padrão, máximos e mínimos dos parâmetros de textura superficial.

⁶ No caso da medição de uma superfície, efetua a conversão e a geração automática numa série de perfis tendo em conta o número de pontos definidos para o espaçamento entre perfis a extrair; inclui igualmente a geração do perfil médio da série de perfis.

- nomeadamente, a execução da operação de nivelamento⁷ e o cálculo dos parâmetros da textura superficial de acordo com norma (obsoleta) ISO 4287;
- Se aplicável, efetuar a configuração do filtro a aplicar ao parâmetro de textura superficial de interesse, carregando com o botão direito do rato sobre o quadro das estimativas de medição (vide Figura 28) e selecionado a opção **Parameter List**, por exemplo, no caso do parâmetro Ra, efetuar a sua seleção na janela **Configuration of 2D Parameters**, carregar no botão **Filter Settings** e, na janela seguinte, definir o tipo e a dimensão do filtro, de acordo com [3-4], pressionando em seguida o botão **OK** nas duas janelas abertas.

The screenshot shows a software window titled 'ISO 4287'. It contains a table of surface texture parameters and a context menu that is open over the table.

ISO 4287		
Amplitude parameters - Roughn		
Rp	0.01011	mm
Rv	0.005026	mm
Rz	0.01513	mm
Rc	0.01045	mm
Rt	0.01806	mm
Ra	0.002459	mm
Rq	0.003047	mm
Rsk	0.8182	
Rku	3.215	
Material Ratio parameters - Rou		
Rmr	0.07666	%
Rdc	0.005345	mm

The context menu is open, showing the following options:

- Background colour
- Colour
- Font
- Font size
- Bold
- Italic
- Underline
- Standard title
- Family title
- Context
- Description
- Parameter list

Figura 28 – Quadro das estimativas de medição dos parâmetros de textura superficial e opções disponíveis

- Registrar, no boletim eletrónico aplicável, as estimativas do parâmetro de textura superficial de interesse;
- Guardar o ficheiro de resultados processados no formato **.mnt**, através da opção **File > Save the document** disponível no programa **TalyMap Gold**;
- Exportar o ficheiro de resultados processados para o formato PDF, através da opção **File > Print**.

4.6.2 Incertezas de medição

Efetuar o cálculo da incerteza de medição combinada associada à estimativa do parâmetro de textura superficial de interesse através de [5-6], tendo em conta as componentes de incerteza mencionadas no Quadro 1.

⁷ Opções definidas, por defeito, para o nivelamento de uma superfície de medição: *Least Square Plane* (método); *By rotation* (operação); *Rectangular contour* (inclusão / exclusão).

Quadro 1 – Componentes de incerteza de medição do parâmetro de textura superficial

Componente de incerteza	Tipo de incerteza	Distribuição de probabilidade	Graus de liberdade	Fonte de informação
Ruído de fundo	A	Normal	50	Ensaio do ruído
Resolução do contador AD	B	Uniforme	50	Equipamento
Desvio de linearidade	A	Normal	50	Ensaio de linearidade
Calibração do padrão	B	Normal	50	Certificado de calibração
Depreciação temporal do padrão	B	Uniforme	50	Registo histórico de calibrações
Desvio sistemático de calibração	B	Uniforme	50	Ensaio de calibração
Repetibilidade do ensaio	A	Normal	3	Ensaio de medição

4.7 Boletim de ensaio

Preencher o boletim de ensaio de acordo com [7], referindo os seguintes aspetos:

- a designação e o endereço do cliente;
- a designação do material ensaiado, o tipo de superfície, os elementos constituintes (em caso de material heterogéneo), a presença ou ausência de estrias ou sulcos, a identificação do provete, as dimensões do perfil ou área de medição e a respetiva localização;
- designação, identificação e rastreabilidade do equipamento padrão de referência;
- dados complementares (data e local de ensaio, condições ambientais, procedimento);
- observações gerais e de inspeção visual;
- resultados obtidos em cada provete de ensaio, onde se incluem:
 - a estimativa de medição do parâmetro de textura superficial;
 - a incerteza de medição expandida, num intervalo de confiança de 95 %;
 - os graus de liberdade e o fator de expansão;
- local e data de emissão do boletim de ensaio;
- identificação das assinaturas.

5 | Referências bibliográficas

- [1] ISO 21920-1 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile. Part 1: Indication of surface texture. ISO – International Organization for Standardization.
- [2] ISO 21920-2 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile. Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters. ISO – International Organization for Standardization.

- [3] ISO 21920-3 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile. Part 3: Specifications operators. ISO – International Organization for Standardization.
- [4] ISO 16610-21 – Geometrical Product Specifications (GPS) – Filtration. Part 21: Linear profile filters: Gaussian filters. ISO – International Organization for Standardization.
- [5] JCGM 100 (GUM 1995 with minor corrections) – Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement" JCGM/WG1 – Joint Committee for Guides in Metrology / Working Group 1.
- [6] ILAC G17 – ILAC Guidelines for Measurement Uncertainty.
- [7] VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia. Conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Instituto Português da Qualidade.

6 | Registo de alterações

Versão	Descrição da alteração
00	Criação do registo de alterações.



www.lnec.pt

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt www.lnec.pt