



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

BASE DAS LAJES

Resultados do nivelamento geométrico de precisão realizado em outubro de 2020, nos pontos de monitorização da qualidade das águas subterrâneas

Trabalho realizado para o Ministério da Defesa Nacional

Lisboa • novembro 2020

I&D BARRAGENS DE BETÃO

RELATÓRIO 360/2020 – **DBB/NGA**

Título

BASE DAS LAJES

Resultados do nivelamento geométrico de precisão realizado em outubro de 2020, nos pontos de monitorização da qualidade das águas subterrâneas

Autoria

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

Henrique Candeias

Técnico Superior, Núcleo de Geodesia Aplicada

Ana Maria Fonseca

Investigadora Principal, Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada

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

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 360/2020

Proc. 0102/121/22465, 0404/121/2246507

BASE DAS LAJES

Resultados do nivelamento geométrico de precisão realizado em outubro de 2020, nos pontos de monitorização da qualidade das águas subterrâneas

Resumo

Este relatório apresenta os resultados da campanha de nivelamento geométrico das bocas de furos de captação de água na proximidade da Base das Lajes, realizada pelo Núcleo de Geodesia Aplicada do Departamento de Barragens de Betão do LNEC, em outubro de 2020. Os resultados são as cotas, num referencial local, das bocas dos furos de captação de água.

Palavras-chave: Base das Lajes / Nivelamento geométrico / Furos de captação de água

BASE DAS LAJES

Results of the geometric levelling carried out in October 2020, on the groundwater quality monitoring points

Abstract

This report presents the results of the geometric leveling campaign of the mouths of water extraction holes near the Base das Lajes, carried out by the Applied Geodesy Unit of the Concrete Dams Department of LNEC, in October 2020. The results are the elevations, on a local reference system, of the mouths of the water capture holes.

Keywords: Base das Lajes / Geometric levelling / Water capture holes

Índice

1	Introdução	1
2	Procedimentos operativos.....	2
3	Apresentação de resultados	11
4	Notas finais.....	15
	Referências bibliográficas	17

Índice de figuras

Figura 1.1 – Localização dos furos de captação de água (imagem obtida no Google Earth).....	1
Figura 2.1 – Nível NA2 Wild, à esquerda, e mira com escala de invar no ponto de partida, à direita.....	2
Figura 2.2 – Aspeto do nivelamento dos furos 5010-S2, 5010-S1 e MW24.....	3
Figura 2.3 – Aspeto dos pontos de passagem e do seu nivelamento	3
Figura 2.4 – Esquema com o troço nivelado no primeiro dia (12 de outubro de 2020).....	4
Figura 2.5 – Aspeto do nivelamento do furo FB5, à esquerda, do furo MW23, ao centro, e do furo S5B, à direita	5
Figura 2.6 – Aspeto da ligação ao furo MW18, à esquerda, do nivelamento do furo MW22, ao centro, e do nivelamento do furo MW21, à direita	5
Figura 2.7 – Esquema com o troço nivelado no segundo dia (13 de outubro de 2020).....	6
Figura 2.8 – Aspeto do nivelamento dos pontos de passagem de acesso ao furo MW25, à esquerda e ao centro, e do nivelamento da boca do furo MW25, à direita	7
Figura 2.9 – Aspeto do nível Sökkisha, à esquerda, do nivelamento do furo FP4, ao centro, e do nivelamento do furo FB7, à direita	8
Figura 2.10 – Esquema com o troço nivelado no terceiro dia (14 de outubro de 2020)	8
Figura 2.11 – Aspeto do nivelamento do furo MW31, à esquerda, da ligação entre o furo MW31 e o furo MW30, ao centro, e do nivelamento do furo MW30, à direita	9
Figura 2.12 – Aspeto do nivelamento do furo MW29, à esquerda, do furo MW22, ao centro, e do furo FB3, à direita.....	9
Figura 2.13 – Esquema com o troço nivelado no quarto dia (15 de outubro de 2020).....	10
Figura 2.14 – Aspeto de alguns dos discos que foram utilizados como tampa.....	10
Figura 3.1 – Esquema com a totalidade da LNG, desde a marina da Praia da Vitória até à Base Aérea nº 4	11
Figura 3.2 – Esquema com o perfil longitudinal das bocas dos furos.....	14

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Cronograma do trabalho realizado e número de pontos nivelados	2
Quadro 3.1 – Cotas das bocas dos furos de captação de água	13

1 | Introdução

No âmbito da consultoria que o LNEC está a prestar ao Ministério da Defesa Nacional (MDN) num conjunto de questões técnico-ambientais na Base das Lajes, na ilha Terceira, foi solicitado ao Núcleo de Geodesia Aplicada (NGA) do LNEC a determinação das cotas das bocas de furos de captação de água dispersos entre a marina da Praia da Vitória e o perímetro militar da Base Aérea nº 4 das Lajes, com uma precisão milimétrica.

Dado que estas cotas vão ser ligadas a cotas de profundidade das águas (piezometrias), para a geração de uma superfície piezométrica, elas devem ser ortométricas, ou seja, medidas ao longo da vertical do lugar, pelo que foi executada uma operação de nivelamento geométrico de precisão.

Este relatório apresenta os resultados da campanha de nivelamento geométrico levado a cabo entre os dias 12 e 16 de outubro de 2020. Na Figura 1.1 podem observar-se os pontos a vermelho, que representam a localização de cada um dos furos. Os resultados são as cotas ortométricas, num referencial local, das bocas de 25 furos de captação de água no aquífero basal.



Figura 1.1 – Localização dos furos de captação de água (imagem obtida do Google Earth)

2 | Procedimentos operativos

Apresenta-se no Quadro 2.1 o cronograma da operação de nivelamento geométrico de precisão realizado, numa extensão de cerca de 11 km, cujos procedimentos operativos se descrevem sucintamente neste capítulo.

Quadro 2.1 – Cronograma do trabalho realizado e número de pontos nivelados

	Troço da linha de nivelamento executado	Pontos de passagem estacionados	Extensão do troço (nivelamento e contra nivelamento)
12 de outubro	Reconhecimento dos 25 pontos		
	5010-S3, 5010-S2, 5010-S1 e 5001-MW24	pp1 a pp21	2 100 m
13 de outubro	FB5, 5001-MW23, S5B, 5001-MW20, 5001-MW17, 5001-MW09, 5001-MW10, 5001-MW18, 5001-MW08, 5001-MW19, 5001-MW22 e 5001-MW21	pp22 a pp61	2 950 m
14 de outubro	5001-MW25, FP4 Juncal 2, FB7	pp62 a pp106	3 460 m
15 de outubro	3001-MW31, 3001-MW30, 3001-MW29, 3001-MW22, FB3 e FB6	pp107 a pp125	2 670 m
16 de outubro	5010-S3, 5010-S2, 5010-S1 e 5001-MW24		
TOTAL	29	125	11 180 m

Durante a manhã do dia 12 de outubro foi realizado o reconhecimento dos 25 furos de captação de água considerados pontos objeto do nivelamento geométrico de precisão, que se encontram dispersos entre a marina da Praia da Vitória e o perímetro militar da Base Aérea nº 4.

Durante a tarde desse dia iniciaram-se as operações de nivelamento, junto à marina da Praia da Vitória, com recurso a um nível automático NA2 Wild, com micrómetro ótico GPM3, acoplado, de lâminas de faces paralelas, e duas miras de 2,0 m de apoio inferior com escala de invar. O micrómetro torna possível leituras com resolução de 0,1 mm (0,01 mm por estimativa). Para a determinação das cotas dos pontos objeto foram observados os desníveis consecutivos, numa operação de nivelamento e contra nivelamento. Na Figura 2.1 pode observar-se o equipamento utilizado durante as operações de nivelamento geométrico, à esquerda o nível automático NA2 e à direita a mira com escala de invar sobre o ponto de partida (5010-S3). Foram niveladas as bocas dos furos 5010-S3, 5010-S2, 5010-S1 e 5001-MW24 (cf. Figura 2.2).



Figura 2.1 – Nível NA2, à esquerda, e mira com escala de invar no ponto de partida, à direita

Mediante a colocação de 21 pontos auxiliares de passagem (pp1 a pp21), materializados por pregos de aço, foi possível realizar a transferência de cota entre os pontos objeto, conforme se pode observar na Figura 2.3. Na Figura 2.4 pode observar-se a totalidade do troço nivelado na tarde de dia 12, que compreendeu uma extensão aproximada de 2100 m, incluindo os percursos de nivelamento e do contra nivelamento.



Figura 2.2 – Aspeto do nivelamento dos pontos S2, S1 e MW24



Figura 2.3 – Aspeto dos pontos de passagem e do seu nivelamento

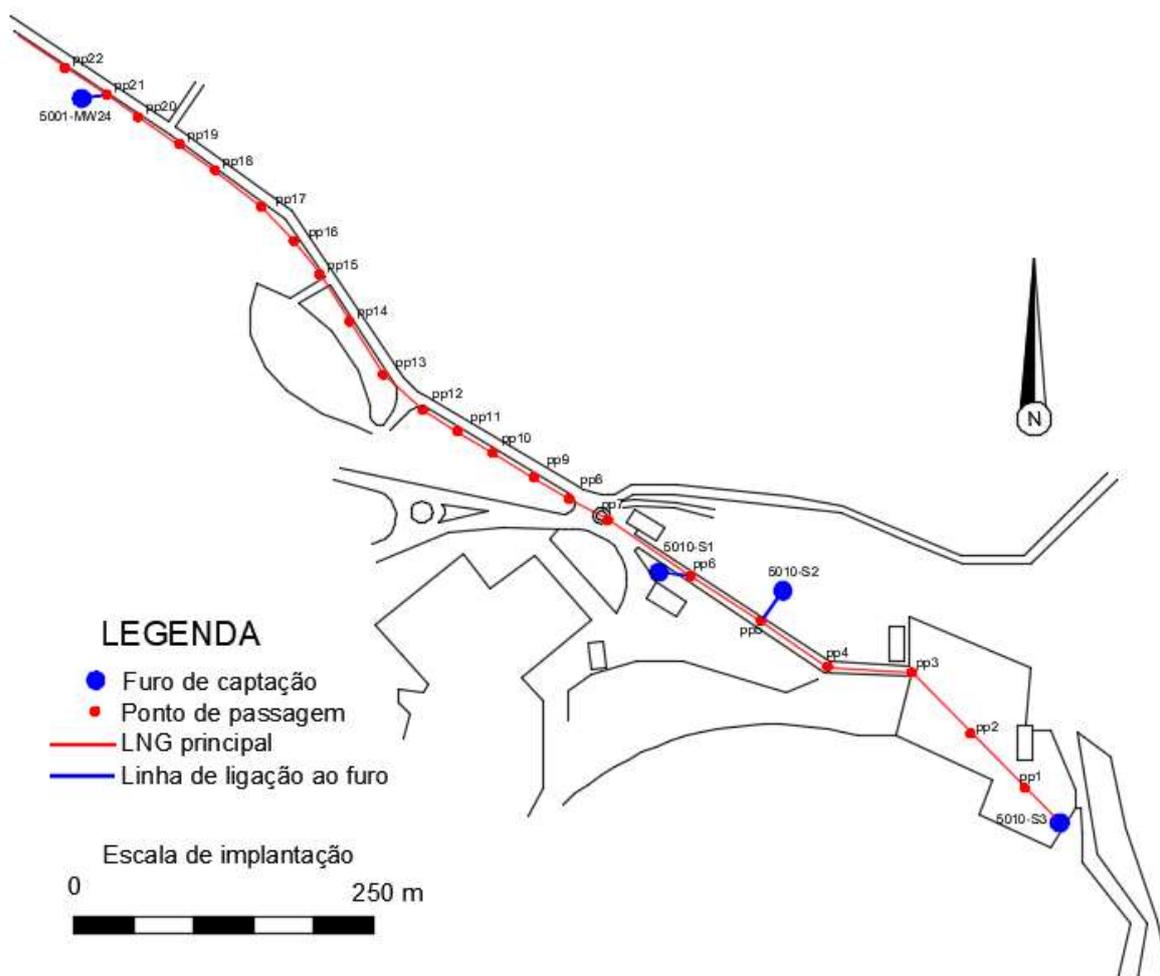


Figura 2.4 – Esquema com o trecho nivelado no primeiro dia (12 de outubro de 2020)

No segundo dia, 13 de outubro, foram niveladas as bocas de 12 furos (FB5, 5001-MW23, S5B, 5001-MW20, 5001-MW17, 5001-MW09, 5001-MW10, 5001-MW18, 5001-MW08, 5001-MW19, 5001-MW22 e 5001-MW21). Na Figura 2.5 e na Figura 2.6 pode observar-se o nivelamento de alguns destes furos. A ligação entre os furos foi realizada mediante a colocação de 40 pontos auxiliares de passagem que possibilitaram a transferência de cota entre eles (pp22 a pp61). Na Figura 2.7 pode observar-se a totalidade do troço nivelado, durante o 2º dia, que compreendeu uma extensão aproximada de 2950 m, somando os percursos do nivelamento e do contra nivelamento.



Figura 2.5 – Aspeto do nivelamento do furo FB5, à esquerda, do furo MW23, ao centro, e do furo S5B, à direita



Figura 2.6 – Aspeto da ligação ao furo MW18, à esquerda, do nivelamento do furo MW22, ao centro, e do nivelamento do furo MW21, à direita

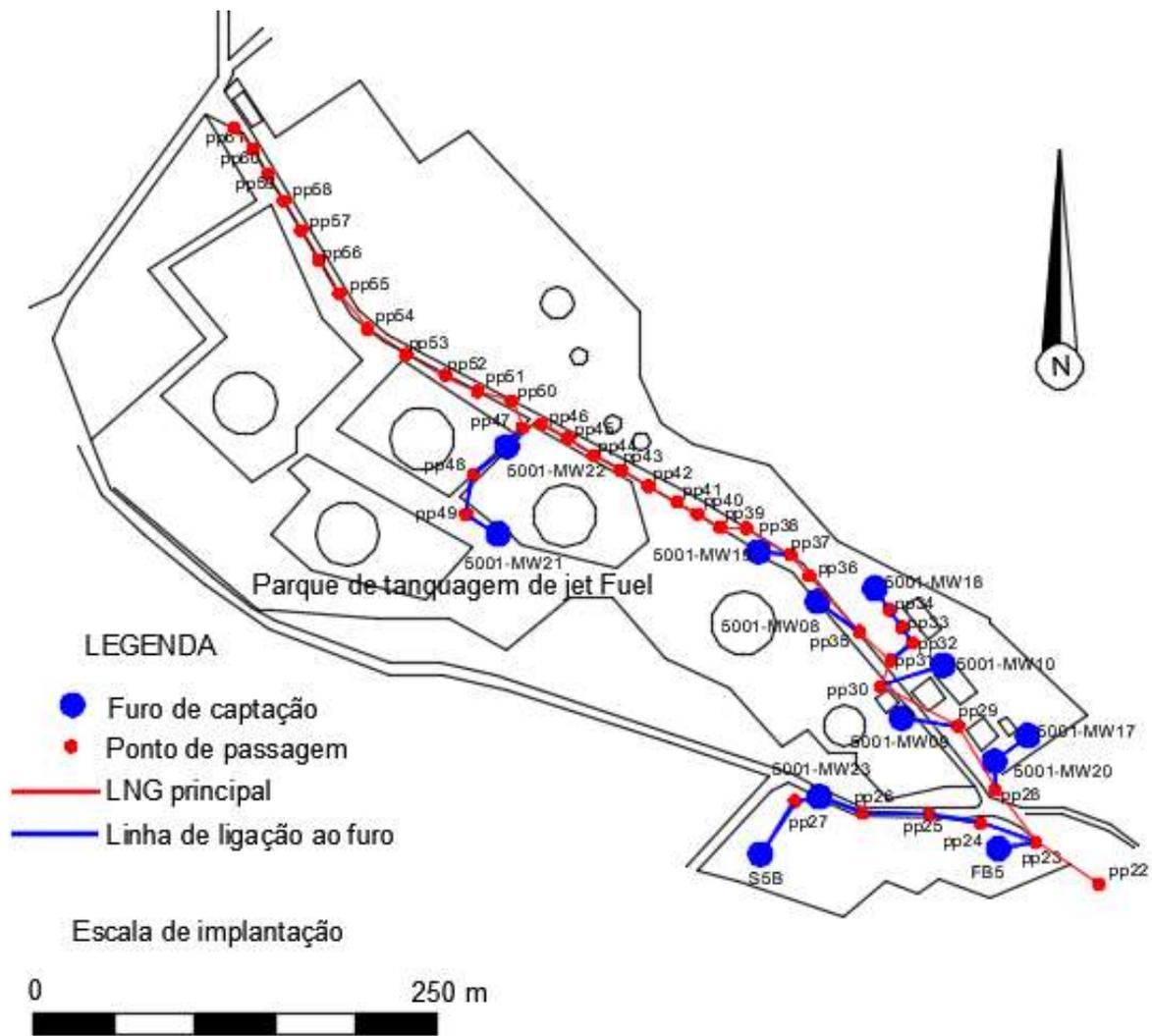


Figura 2.7 – Esquema com o trecho nivelado no segundo dia (13 de outubro de 2020)

No terceiro dia foi executada a ligação ao furo 5001-MW25, que se encontra fora do parque de tancagem de *jet fuel*. Esta ligação foi realizada mediante a colocação de 16 pontos auxiliares de passagem (pp62 a pp77), cf. Figura 2.8. Após a ligação ao furo MW25, a LNG principal foi retomada no lançço entre os pontos de passagem pp69 e pp70 em direção ao próximo furo, o FP4 Juncal 2.



Figura 2.8 – Aspeto do nivelamento dos pontos de passagem de acesso ao furo MW 25, à esquerda e ao centro, e nivelamento da boca do furo MW25, à direita

Cerca do meio-dia, entre os pontos de passagem pp87 e pp88, detetou-se uma anomalia com o nível NA2 Wild. O compensador de pêndulo magnético apresentava problemas de funcionamento, facto que provocou a interrupção dos trabalhos.

Na tarde desse dia foi possível reiniciar as operações de nivelamento, com recurso a um nível Sokkisha 10120 B1 (cf. Figura 2.9), com resolução de 1 cm (1 mm por estimativa), gentilmente cedido pelo departamento de SIG da USAF, com o qual se realizou o nivelamento das bocas dos furos FP4 Juncal 2 e FB7 (cf. Figura 2.9). A ligação entre os furos foi realizada mediante a colocação de 45 pontos auxiliares de passagem (pp62 a pp106), que possibilitaram a transferência de cota entre eles. Na Figura 2.10 pode observar-se a totalidade do troço nivelado, durante o dia 14 de outubro, que compreendeu uma extensão aproximada de 3460 m, contemplando os percursos do nivelamento e do contra nivelamento.



Figura 2.9 – Aspeto do nível Sokkisha, à esquerda, do nivelamento do furo FP4, ao centro, e do nivelamento do furo FB7, à direita

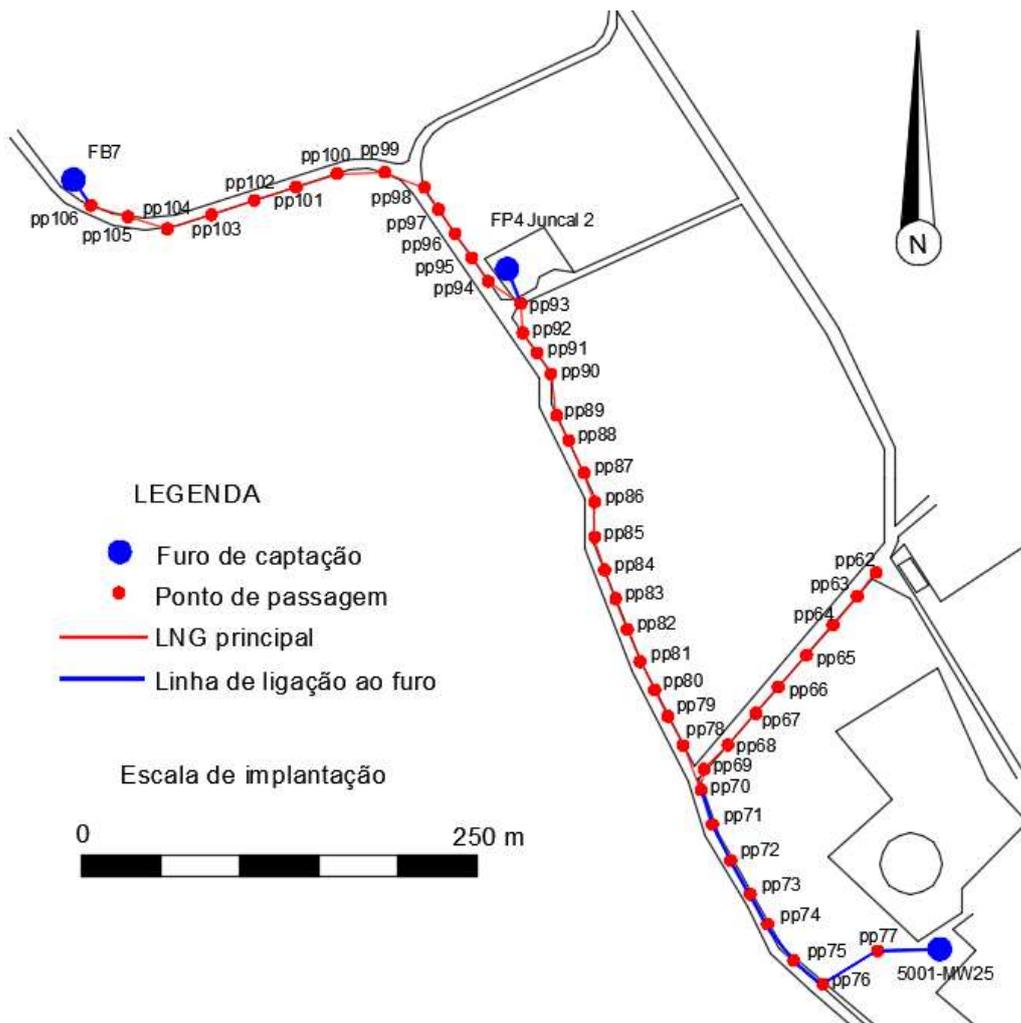


Figura 2.10 – Esquema com o troço nivelado no terceiro dia (14 de outubro de 2020)

No quarto dia foram niveladas as bocas de 6 furos (3001-MW31, 3001-MW30, 3001-MW29, 3001-MW22, FB3 e FB6). Na Figura 2.11 e na Figura 2.12 pode observar-se o nivelamento de alguns destes furos. A ligação entre os furos foi realizada mediante a colocação de 22 pontos auxiliares de passagem que possibilitaram a transferência de cota entre eles (pp107 a pp125). Na Figura 2.13 pode observar-se a totalidade do troço nivelado, durante o dia 15 de outubro, que compreendeu uma extensão aproximada de 2670 m, somando os percursos do nivelamento e do contra nivelamento.



Figura 2.11 – Aspeto do nivelamento do furo MW31, à esquerda, da ligação entre o furo MW31 e o furo MW30, ao centro, e do nivelamento do furo MW30, à direita



Figura 2.12 – Aspeto do nivelamento do furo MW29, à esquerda, do furo MW22, ao centro, e do furo FB3, à direita

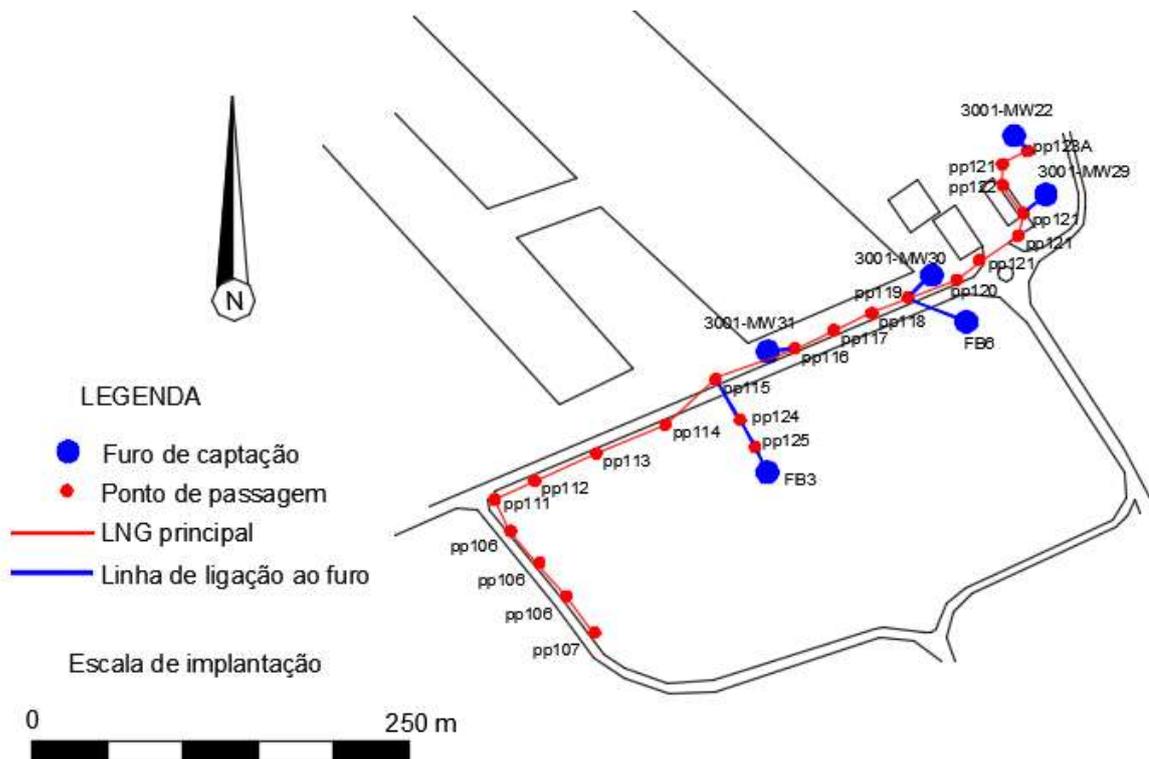


Figura 2.13 – Esquema com o troço nivelado no quinto dia (15 de outubro de 2020)

No quinto dia os trabalhos resumiram-se à repetição de alguns lanços do troço inicial (5010-S3 a 5010-S1), visto este ter sido realizado em muito más condições atmosféricas, no dia 12 de outubro. Durante a manhã houve ainda tempo para verificar, mediante a utilização do nível, a espessura dos discos (3 mm) que foram fornecidos para colocar nas bocas dos furos e que serviram de tampa para evitar a queda accidental das miras para o interior dos furos (cf. Figura 2.14).



Figura 2.14 – Aspeto de alguns dos discos que foram utilizados como tampa

3 | Apresentação de resultados

Não estando materializada na zona uma linha de nivelamento da Rede Nacional de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão, não é possível ligar este nivelamento a um *Datum* Altimétrico Nacional. Para a determinação das cotas das bocas dos furos de captação de água utilizou-se um referencial local com origem no ponto de partida deste nivelamento, a boca do furo 5010-S3, ao qual se atribuiu uma cota inicial de 3,144 m. Este valor consta de uma lista de coordenadas fornecidas pelo cliente à equipa do LNEC. Não tendo sido possível obter os metadados associados às coordenadas fornecidas (nomeadamente o método de determinação das coordenadas e os *datum* altimétrico e planimétrico), não é possível fazer a ligação das cotas determinadas neste nivelamento a um *datum* altimétrico. Ficam assim associadas a um referencial altimétrico local, com origem no ponto 5010-S3, ao qual é atribuída a cota de 3,144 m, para permitir alguma comparação com as coordenadas fornecidas.

Foram observados os desníveis consecutivos da LNG, a partir da boca do furo 5010-S3, numa operação de nivelamento e contra nivelamento, que totalizou uma extensão superior a 11 000 m, como se apresenta na Figura 3.1.

Como referido anteriormente, foram utilizados dois níveis com incertezas distintas:

- i) O nível NA2 Wild, com micrómetro ótico GPM3 acoplado de lâminas de faces paralelas que torna possível leituras com resolução de 0,1 mm (0,01 mm por estimativa);
- ii) O nível Sokkisha 10120 B1, sem micrómetro, que, associado ao tipo de miras de que se dispunha, apenas permite estimar milímetros.

As miras utilizadas em ambos os casos foram miras de apoio inferior, com 2,0 m de comprimento e escala de invar.

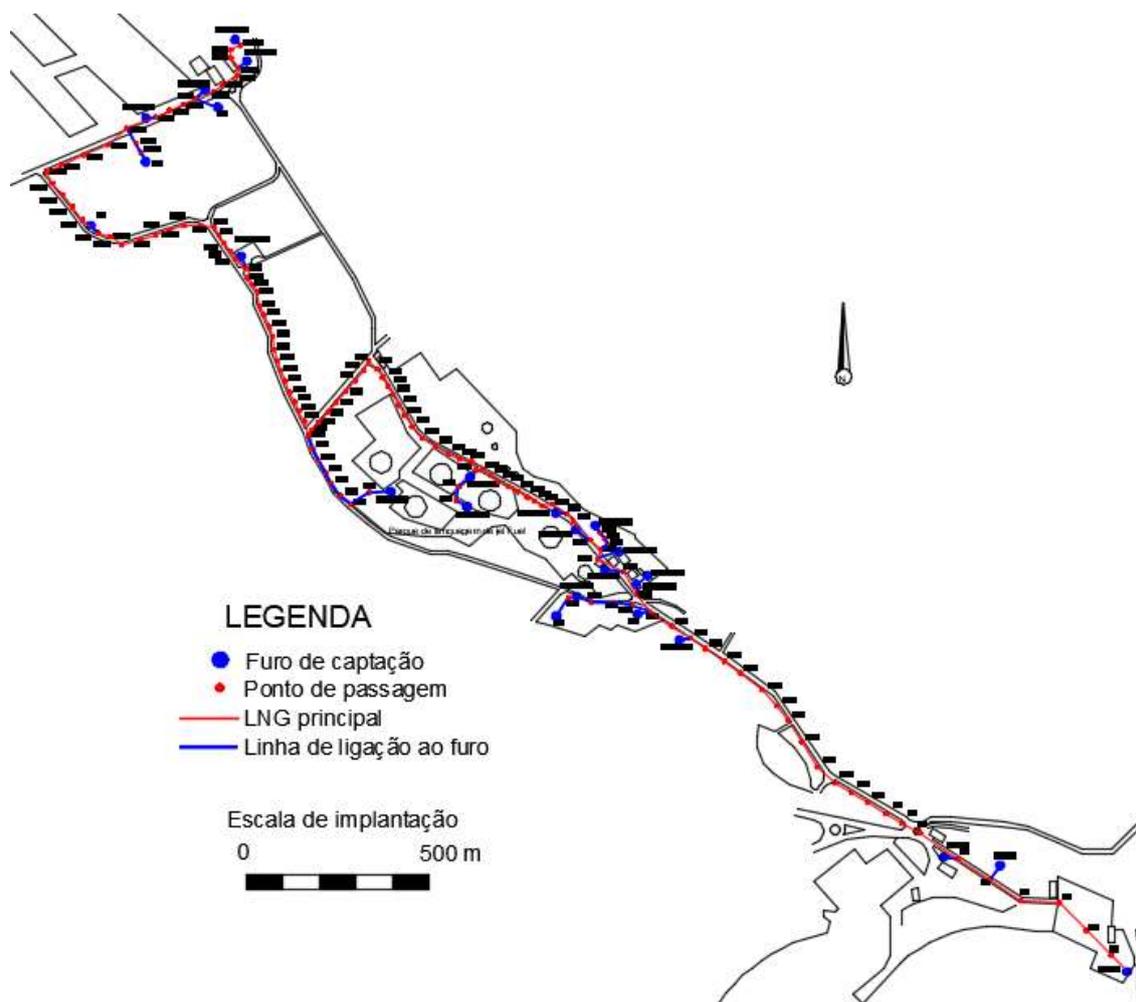


Figura 3.1 – Esquema com a totalidade da LNG, desde a marina da Praia da Vitória até à Base Aérea nº 4

Admitindo que os erros de observação característicos de um lanço apresentam uma distribuição normal, central, com um desvio padrão *a priori* σ , obtém-se uma tolerância T para o erro de fecho, que é função do número de lanços medidos N, dado pela expressão (LNEC.2008):

$$T = 2 \times \sqrt{N} \times \sigma$$

No caso do nivelamento com o nível NA2 Wild admite-se que os erros de observação característicos de um lanço apresentam um desvio padrão *a priori* $\sigma = 0,3$ mm. Foram observados, com este nível, desde o ponto inicial, 5010-S3, até ao ponto de passagem pp88, 210 desníveis, o que dá uma tolerância de $T = 8,7$ mm. O erro de fecho ϵ obtido foi, no entanto, de apenas

$$\epsilon = 2,9 \text{ mm}$$

No caso do nivelamento com o nível Sokkisha 11120 B1, admite-se que os erros de observação característicos de um lanço, nas condições atuais, apresentam uma distribuição normal, central, com um desvio padrão *a priori* $\sigma = 1$ mm. Foram observados, com este nível, desde o ponto de passagem pp88 até ao ponto final FB3, 93 desníveis, o que dá uma tolerância de $T = 9,6$ mm. O erro de fecho ϵ obtido foi, no entanto, de apenas

$$\varepsilon = 2,0 \text{ mm}$$

Como se pode verificar, os módulos dos erros de fecho obtidos no final dos nivelamentos são claramente inferiores às tolerâncias.

As cotas das bocas dos furos foram ajustadas com o programa de cálculo automático NetA1D, desenvolvido no NGA, e são apresentadas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Cotas das bocas dos furos de captação de água

Furo de captação	Cota da boca do furo (m)	Localização geral e equipamento utilizado
5010-S3	3,144	Marina, Nível NA2 Wild
5010-S2	2,469	
5010-S1	2,632	
5001-MW24	2,698	Campo, Nível NA2 Wild
FB5	2,320	
5001-MW23	3,154	
S5B	1,809	
5001-MW20	2,247	
5001-MW17	2,221	Parque de tanquagem, Nível NA2 Wild
5001-MW09	2,612	
5001-MW10	3,518	
5001-MW18	8,448	
5001-MW08	5,141	
5001-MW19	8,367	
5001-MW22	24,298	
5001-MW21	24,339	
5001-MW25	40,247	
FP4 Juncal	53,650	
FB7	64,278	
FB6	54,140	
FB3	56,471	
3001-MW29	55,636	Perímetro da Base Aérea nº 4, nível Sökkisha
3001-MW30	52,956	
3001-MW31	54,704	
3001-MW22	57,059	

Excetuando os três primeiros furos (5010-S3, 5010-S2 e 5010-S1), cujas tampas estavam à face das respectivas bocas, como se pode verificar nas Figuras 2.1 e Figura 2.2, todas as restantes cotas das bocas estavam afetadas de um valor de + 3 mm correspondente à espessura dos discos utilizados como tampa, para evitar a queda das miras no interior dos furos ou da própria tampa que se encontrava aparafusada, como é o caso dos furos FB5, FB7, FB3 e FB6. As cotas das bocas dos furos apresentadas no Quadro 3.2, estão devidamente corrigidas desse valor, e pela ordem pela qual o nivelamento foi realizado no campo. Na Figura 3.2 apresenta-se um perfil longitudinal das bocas dos furos, considerando as cotas determinadas.

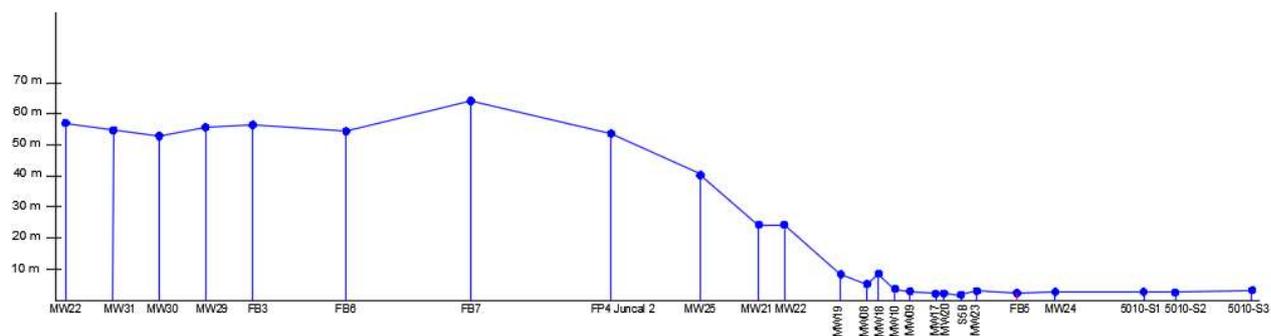


Figura 3.2 – Esquema com o perfil longitudinal das bocas dos furos

4 | Notas finais

A campanha de nivelamento foi realizada por uma equipa do LNEC composta pelo técnico superior Henrique Candeias e pelo assistente técnico José Santos, que tiveram a colaboração do Sr. Luís Baião, da FAP, e da Sr.^a Ana Martins e da TSgt Brittani Davis, ambas da USAF.

VISTO

AUTORIA

O Diretor do Departamento
de Barragens de Betão



António Lopes Batista



Henrique A. Candeias

Técnico Superior



Ana Maria Fonseca

Investigadora Principal

Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada

Referências bibliográficas

LNEC, 2008 – **O Teste de Equipamento de Nivelamento Geométrico de Precisão Segundo a Norma ISO 17123-2:2001 (E)**. LNEC - Proc. 0404/11/16113. Relatório 327/2008 – DBB/NGA.

