

# APLICAÇÃO DE AJUSTES DE OBSERVAÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DE CALADOS AÉREOS

*E.R. MELO, R. P. Castro*

Centro de Hidrografia da Marinha, Brasil

Comissão II - Geodésia, Astronomia, Topografia e Agrimensura

## RESUMO

O propósito deste trabalho é apresentar o uma solução técnica baseada em nivelamento trigonométrico associado com ajustamento de observações, para a determinação do calado aéreo de uma embarcação. Esta solução se torna interessante quando se deseja obter este valor a partir de observações indiretas, seja pela inviabilidade em realizar as observações diretamente, ou apenas de forma complementar.

A metodologia é focada na mitigação dos erros das observações em campo, na verificação da qualidade destes dados e na verificação da qualidade do ajustamento.

**Palavras-chave:** Calado Aéreo, Ajustamento de Observações, Nivelamento Trigonométrico.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to present a technical solution based on trigonometric leveling associated with adjustment of observations for the determination of the air draft of a vessel. This solution becomes interesting when it is desired to obtain this value from indirect observations, either by not being able to carry out the observations directly, or only in a complementary way.

The methodology is focused on mitigating the errors of field observations, verifying the quality of these data and verifying the quality of the adjustment.

**Keywords:** Air Draft, Observations Adjustment, Trigonometric Leveling.

## 1-INTRODUÇÃO

Calado aéreo de uma embarcação é uma medida vertical contada a partir do ponto mais alto da embarcação até a linha d'água, quando esta atinge seus níveis mais altos, seja em vias fluviais ou marítimas (DPC e DHN).

O conhecimento desta grandeza se faz necessário nas navegações em hidrovias que possuem cabos/dutos aéreos, pontes ou quaisquer outras obras aéreas que cruzem estas hidrovias, a fim de garantir a segurança da navegação.

Entretanto, poderá haver situações em que não é conhecido o calado aéreo da embarcação e nem é possível realizar uma medição direta desta grandeza.

Este trabalho apresenta uma forma de realizar a medição vertical indireta do ponto mais alto da embarcação até outro ponto próximo ao convés, através de métodos topográficos clássicos. A partir do convés é possível realizar medição direta até a linha d'água e assim obter o calado aéreo.

## 2-METODOLOGIA

O método topográfico clássico utilizado neste trabalho é conhecido como nivelamento trigonométrico (ABNT, 1994) e (Veiga, 2007), que associado a um ajustamento de observações e análise da qualidade do ajustamento proporcionou valor único para a medida vertical e sua incerteza (Gemael, 1994).

O principal equipamento utilizado neste trabalho foi a Estação Total (ET) Leica modelo TCR-407 com precisão angular de 7" de arco e precisão linear de 2mm + 2ppm (Leica, 2006). Foi também utilizado um termômetro de mercúrio para modelagem da correção atmosférica (Veiga, 2007) e materiais de escritório para fazer o registro físico das observações.

A Figura 1 mostra a geometria do problema e os elementos do modelo matemático utilizado, conforme a expressão (1):

$$H = D_T \cdot \text{sen}(A_T) - D_C \cdot \text{sen}(A_C) \quad (1)$$

Onde: Hé o desnível vertical entre o ponto mais alto da embarcação (neste caso o topo do mastro) e o convés;  $D_T$ , é a distância inclinada entre a ET e o

ponto mais alto;  $A_T$ , é o ângulo vertical do ponto mais alto;  $D_C$ , é a distância inclinada entre a ET e o ponto no convés;  $eA_C$ , é o ângulo vertical do ponto no convés.

As observações em campo foram feitas a partir de duas estações distintas (E1 e E2) com duas

séries de leituras conjugadas a fim de minimizar possíveis erros sistemáticos e possibilitar a modelagem dos erros aleatórios.

A Tabela 1 mostra os valores observados em campo a partir das duas estações distintas.

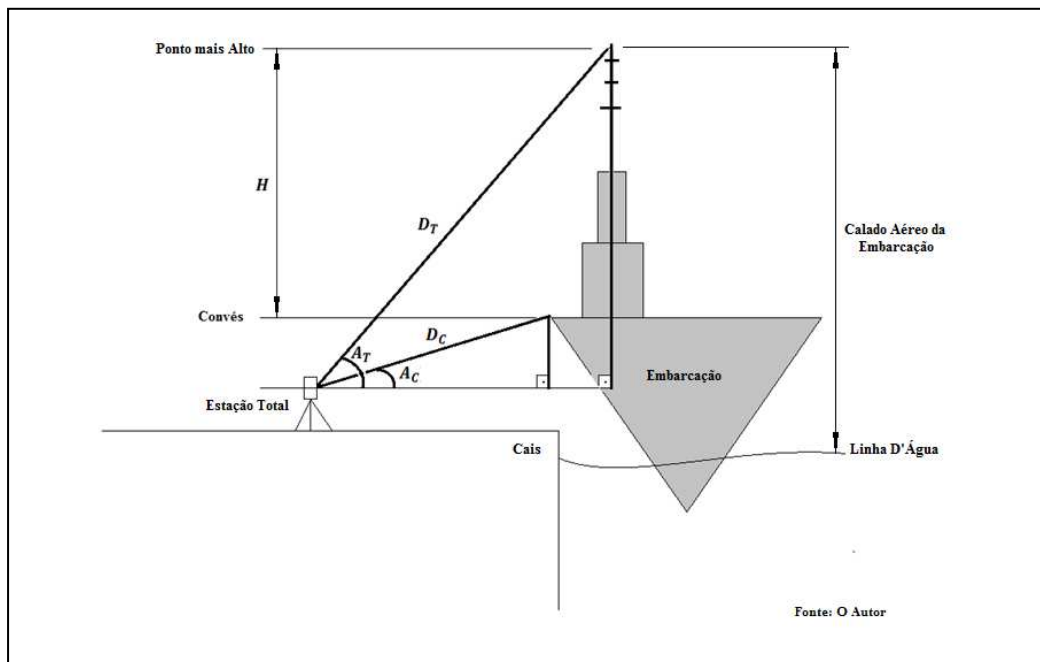


Fig. 1 – Geometria do problema

TABELA 1 – VALORES OBSERVADOS A PARTIR DAS ESTAÇÕES E1 E E2.

Valores observados a partir da estação E1						Valores observados a partir da estação E2							
		Alvo	Ângulo Zenital			Distância			Alvo	Ângulo Zenital			Distância
			°	'	"					°	'	"	
1ª Série	PD	C	84	33	40	136,51	1ª Série	PD	C	84	23	27	132,132
		T	69	40	42	170,7			T	61	20	49	123,664
	PI	C	275	27	9	136,538		PI	C	275	36	57	131,955
		T	290	20	24	170,657			T	298	39	21	123,707
2ª Série	PD	C	84	33	8	136,441	2ª Série	PD	C	84	21	54	132,279
		T	69	39	45	170,66			T	61	20	15	123,72
	PI	C	275	26	20	136,453		PI	C	275	38	2	132,159
		T	290	20	16	170,625			T	298	41	11	123,6

Os valores referentes às observações do ponto mais alto da embarcação (T) é uma média obtida a partir de três pontos arbitrados sobre a borda de maior diâmetro de uma antena no topo do mastro da embarcação, já removidos os *outliers* detectados através da aplicação de teste estatístico de hipótese (Bussab, 2002); (Gemael, 1994).

A Tabela 2 apresenta os desvios-padrão das observações a um nível de confiança de 1  $\sigma$  (68%).

O ajustamento das observações foi feito pelo método combinado, pois o modelo matemático é do tipo “não-linear” e não é possível isolar as observações na expressão (1) (Gemael, 1994). Os resultados do ajustamento podem ser conferidos na Tabela 3.

TABELA 2 – DESVIOS-PADRÃO DAS OBSERVAÇÕES A UM NÍVEL DE CONFIANÇA DE 1  $\sigma$  (68%)

	Grandeza Observada	Desvio-Padrão (68% de confiança)
Estação 1	Ângulo Zenital de T	$\pm 24''$
	Ângulo Zenital de C	$\pm 30''$
	Distância Inclínada de T	$\pm 0,03$ m
	Distância Inclínada de C	$\pm 0,05$ m
Estação 2	Ângulo Zenital de T	$\pm 54''$
	Ângulo Zenital de C	$\pm 46''$
	Distância Inclínada de T	$\pm 0,05$ m
	Distância Inclínada de C	$\pm 0,13$ m

TABELA 3 – VALORES AJUSTADOS DAS OBSERVAÇÕES

	Grandeza	Valor Ajustado	Desvio-Padrão (95% de confiança)
<b>Desnível H</b>		<b>46,36 m</b>	<b><math>\pm 0,02</math> m</b>
Estação 1	Ângulo Zenital de T	69° 39' 52''	$\pm 20''$
	Ângulo Zenital de C	84° 33' 22''	$\pm 17''$
	Distância Inclínada de T	170,66 m	$\pm 0,03$ m
	Distância Inclínada de C	136,48 m	$\pm 0,02$ m
Estação 2	Ângulo Zenital de T	61° 20' 17''	$\pm 34''$
	Ângulo Zenital de C	84° 22' 27''	$\pm 29''$
	Distância Inclínada de T	123,66 m	$\pm 0,03$ m
	Distância Inclínada de C	132,14 m	$\pm 0,09$ m

Por fim, foi aplicado um teste Qui-quadrado sobre as variâncias a priori  $\sigma_0^2$  e a posteriori  $\hat{\sigma}_0^2$  considerando o grau de liberdade  $gl$  das observações a um nível de significância de 95% (Bussab, 2002). O valor tabelado é  $\chi_{1; 0,05}^2 = 3,84$  e o valor calculado é apresentado na expressão (2):

$$T = \chi_c^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \cdot gl = 0,1337 \quad (2)$$

Logo, a hipótese básica não foi rejeitada e o ajustamento foi aceito.

### 3 - CONCLUSÃO

Os resultados indicam que o método topográfico clássico denominado nivelamento trigonométrico, associado ao ajustamento das observações, é apropriado para auxiliar na determinação do calado aéreo de embarcações, considerando situações em que não é possível realizar esta medida diretamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. NBR 13133, Execução de levantamento topográfico, ABNT, Rio de Janeiro, 35 páginas.

Bussab, W.O. e Morettin, P. A. 2001. Estatística Básica, Saraiva: Editora, São Paulo, 526 páginas.

Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2014. Carta 12000, Símbolos, abreviaturas, e termos usados nas cartas náuticas, DHN, Niterói, 95 páginas.

Diretoria de Portos e Costas, 2003. NORMAM-11, Normas da autoridade marítima para obras, dragagens,

pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras, Rio de Janeiro, 35 páginas.

LeicaGeosystems, 2006, Leica TPS400 Series User Manual, Aarau, Suíça, 160 páginas.

Veiga, L. A. K. et al., 2007, Fundamentos de Topografia, Curitiba, 195 páginas.