

Patrice London Guedes

METODOLOGIA PARA PROJETO DE VELEIROS

1996

Patrice London Guedes

METODOLOGIA PARA PROJETO DE VELEIROS

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do Título  
de Mestre em Engenharia

Orientador : Prof. Dr. Joaquim Carlos Teixeira Riva  
Prof. Dr. Mardel Bongiovanni Conti

São Paulo

1996

## Agradecimentos

Em grande parte , este tabalho se deve ao Riva , pela paciência e dedicação que teve nos momentos de maior importância. A convergência de idéias entre o autor e orientador foi fundamental no direcionamento deste trabalho.

Gostaria de agradecer também aos Prof<sup>ª</sup>. Manoel Reis e Mardel B. Conti , assim como o colega Kazuo Hirata (do IPT) pelas discussões proveitosas , e que muito contribuíram para o amadurecimento do trabalho.

O Prof. Mardel teve grande importância no término desta dissertação , aceitando assumir a orientação do mesmo com a maior boa vontade e dedicação , e contribuindo decisivamente para a etapa de reformulação.

Gostaria de agradecer também aos Profs. Mariotto e Sotello pela contribuição importante na reformulação desta dissertação , fundamental para viabilização da mesma.

Quero finalizar com uma referência a meu colega e amigo pessoal , Ney Moscatti , pela insistência na "dica" de utilizar o programa MATLAB ao invés de linguagens como Pascal , Turbo , etc. Esta foi uma decisão importante no resultado final , devido à sua simplicidade de uso.

**DEDALUS - Acervo - EPMN**



31600010113

Dedico este trabalho à

Daniela Leite

, minha eterna Deusa.

# METODOLOGIA PARA PROJETO DE VELEIROS

## SUMARIO

Lista de figuras

Lista de símbolos

Resumo

"Abstract"

	Pagina
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1. Notas históricas.....	4
2.2. Mecânica do Veleiro.....	5
2.2.1. Forças e Momentos atuantes.....	5
2.2.2. Formulação do Problema.....	7
2.2.3. Solução do Problema.....	8
3. METODOLOGIA PARA O PROJETO BÁSICO DE UM VELEIRO.....	13
3.1. Descrição da Metodologia.....	13
3.1.1. Requisitos de Projeto.....	13
3.1.2. Concepção da embarcação.....	15
3.1.3. Embarcações semelhantes.....	16
3.1.4. Espiral de Projeto.....	17
3.2. Desenvolvimento da Espiral de Projeto.....	18
3.2.1. Tipo e Arranjo do Veleiro.....	18
3.2.2. Dimensões Principais.....	21

3.2.3. Coeficientes de forma.....	23
3.2.4. Desempenho do Veleiro.....	25
3.2.4.1. Parâmetros que influem no Desempenho.	26
3.2.4.2. Forças Hidrodinâmicas (Casco).....	31
3.2.4.3. Forças Aerodinâmicas (Vela).....	36
3.3.4.4. Predição do Desempenho.....	39
3.2.5. Linhas.....	41
3.2.6. Governo.....	41
3.2.7. Estrutura.....	43
3.2.7.1. Esforços sobre o Veleiro.....	44
3.2.7.2. Materiais Compostos.....	45
3.2.7.3. Sociedades Classificadoras.....	46
3.2.8. Pesos e centros.....	47
3.2.9. Estabilidade.....	48
4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA : EXEMPLO DE PROJETO.....	63
5. DISCUSSÃO.....	83
6. CONCLUSÃO.....	89
ANEXO A : Glossário.....	92
ANEXO B : Rotinas para cálculo de subsistemas.....	95
ANEXO C : Gráficos de Embarcações Semelhantes.....	109
ANEXO D : Curvas de $C_R$ e $C_H$ .....	116
ANEXO E : Curvas de RT , FS e MR.....	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

## Lista de Figuras

1. Forças e Momentos Atuantes.[2].....	10
2. Equilíbrio do Veleiro / Triângulo de Velocidades.[2].	11
3. Solução Gráfica para Predição do Desempenho.[4].....	12
4. Espiral de Projeto.....	54
5. Sub-Espiral de Desempenho.....	54
6. Tipos de combinação de Vela..[38].....	55
7. Tipos de Quilha.[11].....	56
8. Efeito da boca sobre a estabilidade.[4].....	57
9. Efeito da borda livre sobre a estabilidade.[4].....	58
10. Diagrama de blocos.....	59
11. Linhas dos Protótipos da série DELFT.[23 e 25].....	60
12. Evolução da quilha na classe 12 m.[2].....	61
13. Montagem geral do Veleiro.[47].....	62
14. Diagrama Polar.....	80
15. Plano de Linhas - Modelo 24 [25].....	81
16. Momento de endireitamento - Modelo 24.....	82

## Lista de Símbolos

$\alpha$	ângulo de ataque ou incidência
$A_R$	área de leme
AR	razão de aspecto
$AR_E$	razão de aspecto efetivo
$A_V$	área vélica
$A_M$	área da secção mestra
$\beta$	ângulo aparente do vento
B	boca
$C_P$	coeficiente prismático
$C_L$	coeficiente de sustentação
$C_D$	coeficiente de arrasto
$C_a$	coeficiente de atrito
$C_i$	coeficiente de arrasto induzido
$C_R$	coeficiente de força impulsiva ; coeficiente de resistência residual
$C_H$	coeficiente de força lateral
CE	centro de esforço da vela
CLR	centro de resistência lateral do casco
$\delta$	ângulo de ajuste da vela
$\Delta$	deslocamento em massa
$\nabla$	deslocamento em volume
E	esteira da vela mestra
$F_R$	força impulsiva
$F_H$	força lateral da vela
$F_S$	força lateral do casco



$F_n$	número de Froude
$\gamma$	ângulo real do vento ; peso específico
$g$	aceleração da gravidade
$GM$	altura metacêntrica
$GM_c$	altura metacêntrica do casco sem quilha e leme
$h$	distância entre CE e CLR
$H$	calado , altura do mastro
$I$	momento de inércia , altura da Genoa
$J$	esteira da Genoa
$KG$	posição vertical do centro de gravidade
$K_\theta$	coeficiente adimensional de estabilidade residual
$\lambda$	ângulo de deriva
$L$	comprimento
$L_{OA}$	comprimento total
$L_{WL}$	comprimento de linha d'água
$LCB$	posição longitudinal do centro de carena
$\mu$	coeficiente de viscosidade (dinâmica) do fluido
$M_H$	momento de emborcamento
$M_R$	momento de endireitamento
$M_{PA}$	momento de arfagem
$\nu$	coeficiente de viscosidade cinemática do fluido
$P$	altura da vela mestra
$\rho$	densidade
$Re$	número de Reynolds
$R_a$	resistência (arrasto) de atrito
$R_\lambda$	arrasto induzido (ou $R_v$ )
$R_R$	resistência residual

$R_{\theta}$	resistência devido à banda
$R_{\phi}$	resistência induzida e de banda
$R_v$	resistência vertical
RT	resistência ao avanço do Veleiro
RA	braço de endireitamento
S	área ou superfície
$S_c$	superfície molhada
$\theta$	ângulo de banda
$T_c$	calado do Veleiro sem a quilha
V	velocidade
$V_T$	velocidade real do vento
$V_A$	velocidade aparente do vento
$V_S$	velocidade do Veleiro
$V_{mg}$	velocidade contra o vento
$W_c$	massa do casco
$W_L$	massa de lastro

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo fundamental estabelecer uma Metodologia para o projeto básico de um veleiro de cruzeiro. Inicia-se pela análise da literatura sobre a mecânica do Veleiro. Prossegue-se com a apresentação da metodologia. Evidenciam-se as diferenças de Veleiros de Cruzeiro com relação a embarcações convencionais. Nos Veleiros de Cruzeiro, não somente o desempenho é importante, mas também conforto e confiabilidade. Quanto ao desempenho, o Veleiro possui características próprias, cujo procedimento iterativo de projeto o difere de uma embarcação convencional.

A principal alteração está no cálculo de resistência, propulsão e estabilidade, que não podem ser analisadas de forma independente, pois há uma relação direta entre a velocidade aparente do vento, a velocidade da embarcação e o curso da mesma. A velocidade aparente do vento determina a força propulsiva, bem como a inclinação (banda) da embarcação, enquanto que a velocidade do veleiro é uma das variáveis para o cálculo da resistência.

Para o desenvolvimento dos cálculos foram utilizados resultados de ensaios experimentais pela maior precisão que estes oferecem. Desta forma, foram utilizadas séries sistemáticas para o cálculo da resistência hidrodinâmica do casco, bem como para o cálculo dos coeficientes aerodinâmicos da vela.

## Abstract

The main goal of this work is to develop a methodology for the basic design of a Cruiser Sailing Yacht.

At first , review about sailing mechanics is presented, then the proposed methodology. The differences between Sailing Yachts and regular boats are pointed. Not only the Sailing Yachts performance is important , but also its well-being and liability. As for the Sailing Yacht performance , it presents specific characteristics , being its design process iterative differing from that for regular boats.

The main difference is the procedures for resistance , propulsion and stability estimation , which can not be held independently , since there is a straight relation among wind apparent velocity , boat velocity and course. The propulsive force depends on the apparent wind velocity , as well on the boat heel , while the resistance depends on the boat velocity.

Experimental data have been used in the calculations for their better accuracy. Thus systematic series have been applied to the hidrodynamic resistance and to the sails aerodynamic coefficients estimation.

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é estabelecer uma Metodologia própria para o Projeto de Veleiros , acentuando-se as diferenças em relação a uma embarcação convencional (do ponto de vista da propulsão).

A dissertação é direcionada a Veleiros de Cruzeiro , do tipo monocasco. As duas restrições possuem origens distintas.

Um Veleiro de Cruzeiro deve satisfazer vários objetivos , além do desempenho , como conforto e confiabilidade. Diferencia-se portanto de um Veleiro de Regatas em que o desempenho ótimo , dentro de certas restrições (Rating) , é o objetivo a ser otimizado. Para isto existem inúmeros trabalhos publicados ([7],[17],[18],[19] e [58]).

Por outro lado , será estudado somente Veleiro Monocasco para o aproveitamento do conjunto de informações que a série DELFT (e os trabalhos correlatos) oferece. Constitui-se no trabalho experimental mais moderno sobre o assunto. O trabalho pode ser extendido a Veleiros Catamarã ou Trimarã , desde que se analisem parâmetros adicionais (Por exemplo a relação entre a distância entre os cascos e o comprimento) e hajam resultados experimentais disponíveis.

O Veleiro possui características bastante peculiares , que o diferem de uma embarcação convencional , começando pelos requisitos de projeto. A principal diferença , no

entanto , reside na maior interdependência entre resistência , estabilidade e propulsão. A resistência do Veleiro depende da velocidade do mesmo enquanto que a propulsão depende da velocidade aparente do vento. Ocorre que a velocidade aparente do vento e a velocidade do Veleiro estão relacionadas entre si através do curso do Veleiro e da velocidade real do vento. Estes devem ser , portanto , calculados de forma iterativa. Além disto , a propulsão normalmente altera a estabilidade que , por sua vez , influi na resistência.

A dissertação inicia-se com a revisão da literatura. Nesta parte faz-se a análise da mecânica do Veleiro , formulando-se e resolvendo-se o problema principal quanto ao desempenho.

Na segunda parte , é apresentada a Metodologia em que se pretende aprofundar a análise das principais características do Veleiro bem como das diferenças em relação a uma embarcação convencional.

O trabalho finaliza com o exemplo de projeto de um Veleiro de 33 pés.

Para análise do desempenho , será desenvolvido um "bloco" para cada etapa (Resistência , Propulsão , etc) podendo-se correlacioná-los de forma única (neste caso transforma-se em um VPP - Programa para Predição de Velocidade). Estes blocos têm como objetivo apenas diminuir o tempo gasto nas diversas etapas , e não de gerar as características ótimas do Veleiro. Estas dependerão de

outros requisitos como conforto e confiabilidade. A escolha do conjunto de características considerado ótimo será obtida para cada situação em particular , em decorrência do objetivo a ser perseguido.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Notas Históricas

As antigas embarcações com propulsão eólica utilizavam as velas apenas como meio de transferir a energia cinética do vento para si.

O conceito de sustentação , hoje extensamente empregado na teoria de fólhos resultou do surgimento da aviação , no início do século. No entanto , maior desenvolvimento científico ocorreu com a série NACA , estudo sobre fólhos , mais tarde sendo empregado no projeto das velas.

As primeiras tentativas de se usar séries sistemáticas para o projeto de Veleiros ocorreram com DAVIDSON [15] , em 1936. Este determinou experimentalmente os coeficientes de vela conhecidos como GIMCRACK , utilizados por mais de 40 anos.

O primeiro estudo de parâmetros que interferem no desempenho do Veleiro foi feito por DE SAIX [22] , em 1971. Utilizou poucos modelos e analisou apenas a relação boca/calado e o coeficiente prismático. As conclusões são importantes somente do ponto de vista qualitativo.

MILGRAM [14] , em 1975 , fez uma modelagem para velas através da teoria de superfície de sustentação utilizada em fólhos. Com uso de computador obteve os primeiros resultados teóricos de  $C_L$  e  $C_D$  para velas.



A partir de 1981 em diante (o trabalho não está encerrado segundo os próprios autores) , GERRITSMAN e colaboradores produziram uma série sistemática ([16] , [23] , [24] , [25] , [26] , [27] , [28]) para cascos de Veleiro , conhecida como série DELFT. Consiste em um ensaio experimental com modelos de casco de Veleiros com maior abrangência de parâmetros e número de modelos. Além disto , há uma série de trabalhos correlatos. Destes , os mais importantes são os referentes às quilhas e uma nova série de coeficientes de vela (em substituição ao trabalho de DAVIDSON).

A partir da década de 60 começaram a surgir os programas de predição de velocidade , chamados de VPP ([17] , [18] , [19] e [58]).

## 2.2. Mecânica do Veleiro

Os trabalhos mencionados nesta introdução consistem na determinação do desempenho do Veleiro. Os trabalhos teóricos avaliam o desempenho somente em orça , pois a teoria de sustentação só é válida para pequenos ângulos de ataque da vela.

A hipótese básica determina que o Veleiro esteja em regime permanente.

### 2.2.1. Forças e Momentos atuantes

As forças e momentos são de origem hidrodinâmica no casco (Fig. 1B) e aerodinâmica na vela (Fig. 1A).

As forças hidrodinâmicas dependem da geometria do casco (incluindo quilha e leme) , da velocidade do Veleiro  $V_s$  e dos ângulos de banda  $\theta$  e deriva  $\lambda$ .

A resistência total hidrodinâmica é composta de quatro parcelas : Resistência de atrito ( $R_a$ ) , Resistência residual ( $R_R$ ) , Resistência de deriva ( $R_\lambda$ ) ou induzida ( $R_i$ ) e Resistência de banda ( $R_\theta$ ). A soma das duas primeiras parcelas constitui a chamada Resistência vertical , existente em qualquer embarcação convencional. As duas últimas são preponderantes somente em Veleiros. A força lateral do casco , é produzida quando o Veleiro navega com ângulo de deriva. O momento de endireitamento é semelhante ao de uma embarcação convencional.

As forças aerodinâmicas são função da geometria e configuração das velas (no caso de haver mais de uma) , do ângulo de ataque  $\alpha$  entre a vela e a direção do vento e do vento aparente (velocidade e direção  $\beta$ ). Há duas forças : Sustentação L e Arrasto D , a primeira perpendicular à direção do vento aparente , e a segunda paralela ao escoamento. Ver-se-á , no entanto , que é interessante decompor estas forças em duas parcelas : uma paralela à direção do movimento do Veleiro , chamada de força propulsiva  $F_R$  e outra perpendicular , força de banda  $F_H$ .

Os trabalhos teóricos sobre vela (Ex.: Milgram) fornecem os coeficientes de sustentação  $C_L$  e arrasto  $C_D$ .

Para obter os coeficientes de força propulsiva e de banda :

$$C_R = C_L \cdot \text{sen } \beta - C_D \cdot \text{cos } \beta \quad (1)$$

$$C_H = C_L \cdot \text{cos } \beta + C_D \cdot \text{sen } \beta \quad (2)$$

As forças são calculadas por :

$$F_R = C_R \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V_A^2 \quad (3)$$

$$F_H = C_H \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V_A^2 \quad (4)$$

As séries experimentais fornecem diretamente os coeficientes  $C_R$  e  $C_H$ .

O momento de emborcamento difere de uma embarcação convencional pelo fato de ser a ação do vento a parcela preponderante. Pode ser obtida por :

$$M_H = F_H \cdot h \quad (5)$$

$h$  : distância entre centro de esforços (CE)  
na vela e centro de resistência lateral  
no casco (CLR)

### 2.2.2. Formulação do Problema

A hipótese básica do Veleiro navegar em regime permanente resulta em um equilíbrio de forças e momentos (Fig.2) :

$$F_R = R \quad (6)$$

$$F_H = F_S \quad (7)$$

$$F_V = F_{VW} \quad (8)$$

$$M_H = M_R \quad (9)$$

$$M_{PA} = M_{PW} \quad (10)$$

$$M_{YV} = M_{YL} \quad (11)$$

As equações 8 , 10 e 11 são desprezadas em função da magnitude em relação às outras. A equação 11 poderia ser utilizada para o cálculo do ângulo de leme. Após a simplificação resta um sistema de 3 equações e 3 variáveis :  $V_S$  ,  $\lambda$  e  $\theta$ . No entanto , viu-se que as componentes aerodinâmicas dependem da velocidade aparente do vento. Esta ( $V_A$  e  $\beta$ ) pode ser determinada através do chamado triângulo de velocidades , a partir da velocidade real do vento ( $V_T$  e  $\gamma$ ) dada e da estimativa da velocidade do Veleiro  $V_S$ .

É interessante observar que a própria determinação experimental dos coeficientes aerodinâmicos de vela foram obtidos desta forma. Faz-se medições das forças hidrodinâmicas em um protótipo. Do equilíbrio acham-se as forças aerodinâmicas e , com a área vélica , obtem-se os coeficientes. A vantagem deste procedimento reside no fato de que os coeficientes assim obtidos tornam-se válidos para qualquer curso do Veleiro.

### 2.2.3. Solução do Problema

A solução do problema de determinação do desempenho do Veleiro consiste na resolução do sistema de equações vistas no item acima.

Pode ser obtida graficamente [4]. Neste caso (Fig. 3) plota-se em um papel transparente a força aerodinâmica (soma vetorial das componentes de sustentação e arrasto) e em outro a força total hidrodinâmica (resultante da resistência e da força lateral). Faz-se a rotação de  $\beta$  entre os gráficos pois este representa o ângulo aparente do vento. A intersecção das duas curvas representa o ponto de velejamento. Obtém-se portanto as variáveis  $V_s$  e  $\lambda$ . Este método é bastante limitado devido ao trabalho de execução e não leva em consideração o equilíbrio de momentos (emborcamento e endireitamento).

Analiticamente ([17] , [18] , [19] e [58]) há alguns procedimentos distintos , mas todos consistem em resolver o sistema descrito de equações. Alguns autores usam forças e momentos como variáveis e fazem a verificação da igualdade de ângulos e velocidade. Pode-se utilizar os coeficientes  $C_L$  e  $C_D$  ou , diretamente  $C_R$  e  $C_H$ . Neste caso , como visto anteriormente , a aplicação do procedimento é válida para todos os cursos do Veleiro (Orça , Través e Corrida).

Fig. 1 - Forças e Momentos atuantes [Ref. 2]

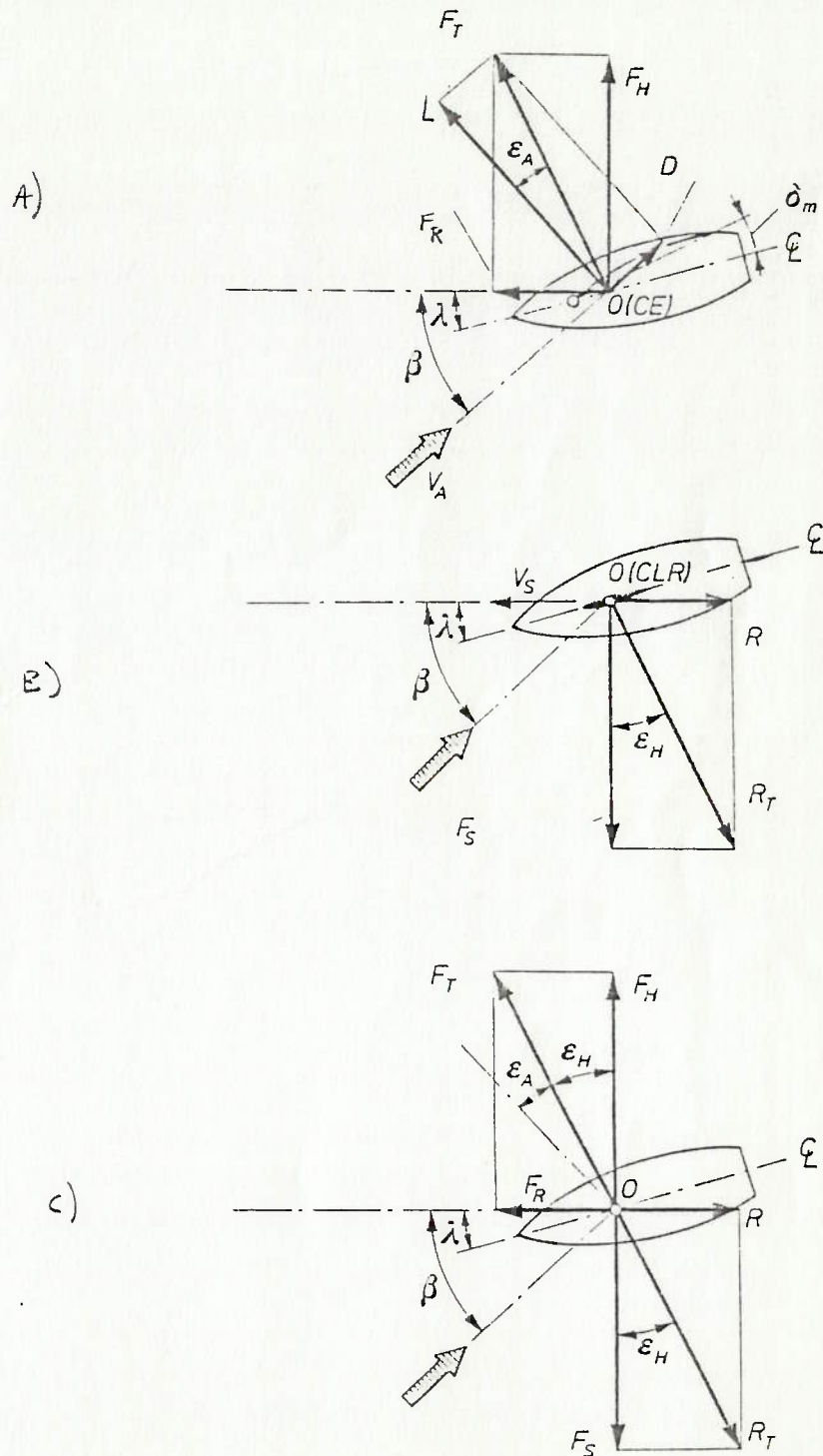
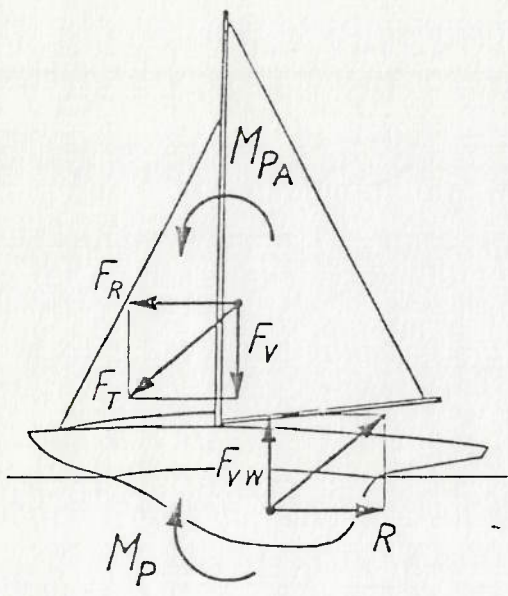
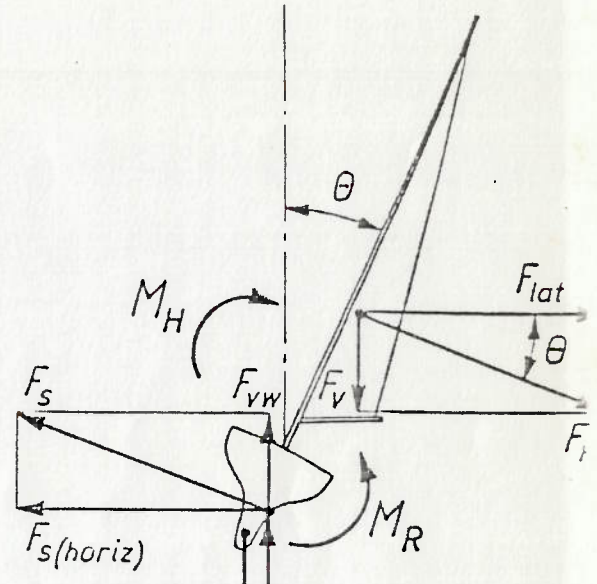


Fig.2 - Equilíbrio do Veleiro e Triângulo de velocidades [Ref. 2]



a



b

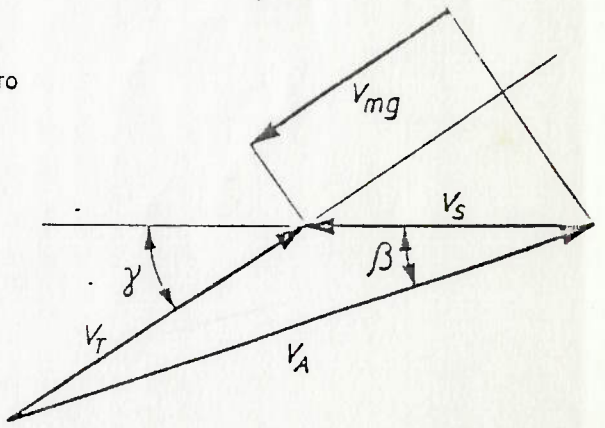
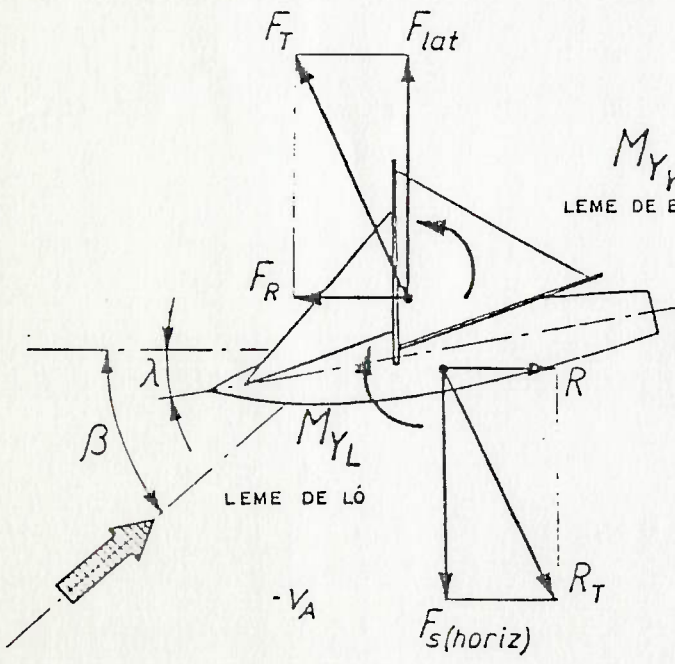
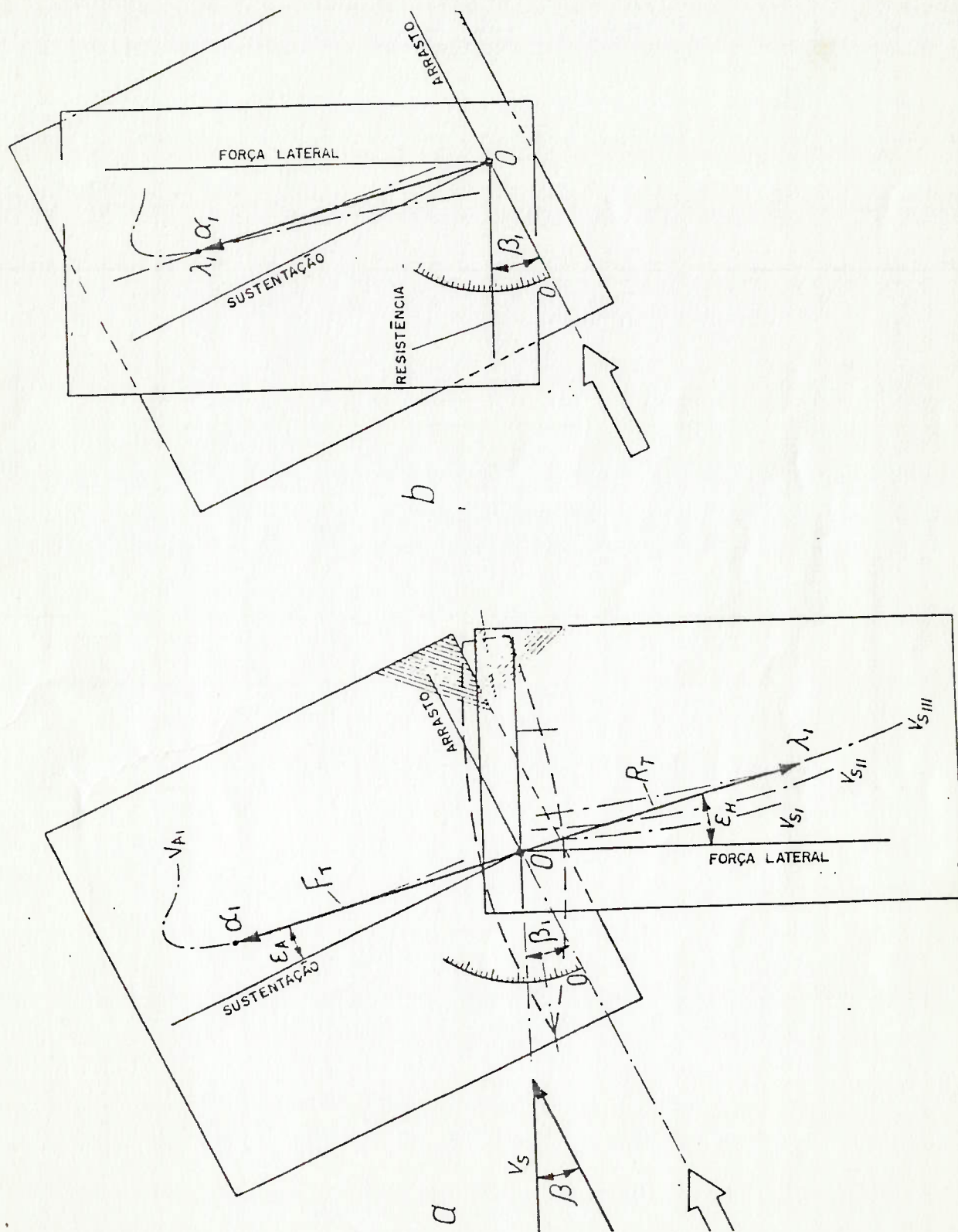


Fig. 3 - Solução Gráfica para Predição do Desempenho [Ref.4]





### 3. METODOLOGIA PARA O PROJETO BÁSICO DE UM VELEIRO

#### 3.1. Descrição da Metodologia

Deve-se perceber inicialmente que um Veleiro de Cruzeiro difere substancialmente de um Veleiro de Regatas. Para este deve-se obter a máxima velocidade. Com relação a um Veleiro de Cruzeiro , no entanto , deve-se otimizar o conjunto geométrico de casco e velas de tal forma a maximizar não só o desempenho , mas também o conforto e a confiabilidade (segurança).

O conforto é função do espaço interno e do ângulo de banda máxima , enquanto a segurança está relacionada com a curva de  $M_R \times \theta$  e com a estrutura do Veleiro (principalmente o mastro).

É intuitivo que estes objetivos a serem maximizados são antagônicos. Para se atingir o máximo desempenho abre-se mão de conforto e segurança.

Entre os objetivos a serem maximizados , a figura de mérito é particular para cada projeto. É função do grau de importância que se atribui a cada requisito. Pode-se afirmar , entretanto , que o conforto e a confiabilidade dependem basicamente da rota predominante. Para navegação costeira , em percursos de curta duração , pode-se atribuir um peso menor para conforto e segurança.

##### 3.1.1. Requisitos de projeto

Os requisitos de projeto para um Veleiro diferem substancialmente dos requisitos de uma embarcação convencional. Para um Veleiro os requisitos são :

1) Comprimento total (L) : No lugar do deslocamento , o comprimento caracteriza o Veleiro de Cruzeiro em uma faixa de mercado. O cliente (estaleiro ou particular) costuma "ter em mente" a vontade de construir um Veleiro com determinado comprimento (ainda seguindo uma tradição de unidade em pés). Determina o arranjo interno e portanto o nível de conforto (altura da cabine por exemplo). Além disto , a autonomia do Veleiro pode estar associada a este parâmetro , embora esta dependência não seja obrigatória. Pode-se atravessar o oceano em um Veleiro de 30 pés , bem como construir um Veleiro maior para navegação costeira. É claro que o nível de conforto para os tripulantes será muito menor no primeiro caso.

2) Curso predominante : Este requisito está associado à rota mais comum de navegação , porém não faz sentido aqui falar em rota visto que um Veleiro não tem a obrigação de cumprir sempre o mesmo trajeto. O curso leva a duas decisões : A determinação do calado em função de navegação costeira ou oceânica , bem como nível de conforto e segurança.

Quanto à velocidade (terceiro requisito de uma embarcação convencional) não pode ser tratada como um requisito de projeto. Não se pode atribuir uma velocidade para o Veleiro mas sim tentar obter a máxima relação entre a

velocidade do Veleiro e a velocidade real do vento ( $V_{mg}/V_T$  ou  $V_S/V_T$ ), respeitando os objetivos de conforto e confiabilidade.

Para Veleiros de quilha-lastro tem-se :

$$V_{mg}/V_T \leq 0.5$$

$$V_S/V_T \leq 0.6$$

### 3.1.2. Concepção da Embarcação

A embarcação é função da importância que se atribui a cada parâmetro da função objetivo e dos requisitos de projeto. Deve-se pensar no projeto de acordo com o peso que se atribui ao desempenho, ao conforto e à confiabilidade. O desempenho será analisado adiante, devido à sua maior complexidade e por constituir um item da "espiral de projeto".

Quanto ao conforto, é certo que depende basicamente da estabilidade do Veleiro e das dimensões principais do mesmo.

A estabilidade influi no ângulo de banda. Quanto maior o ângulo de banda (devido à menor estabilidade) menor é o conforto da tripulação.

As dimensões principais determinam o nível de conforto da cabine (como altura, número de cômodos, etc). As dimensões são função do comprimento, requisito inicial de projeto. No meio náutico, costuma-se associar o nível de

conforto ao tamanho (comprimento) do Veleiro. Neste aspecto , torna-se muito importante o pontal e a boca. A boca determina (para mesmo comprimento) o espaço interno enquanto o pontal a altura interna da cabine.

Já a confiabilidade (segurança) é função basicamente da estrutura , da curva de momento de endireitamento e da estanqueidade dos compartimentos.

Do ponto de vista estrutural , é importante ressaltar que a maior causa de problemas estruturais (e portanto de perda de confiabilidade) está na quebra do mastro.

A segurança do Veleiro depende também da curva de momento de endireitamento. Esta deve ser tal que o Veleiro possua estabilidade positiva para qualquer ângulo de banda. Isto está relacionado fundamentalmente com a boca e pontal do Veleiro , como sera visto adiante. Pode-se adiantar que , quanto maiores forem os valores de boca e pontal , maior será o ângulo em que o momento de endireitamento se anula.

### 3.1.3. Embarcações Semelhantes

O desenvolvimento deste trabalho baseia-se fundamentalmente na série DELFT. Neste sentido , a geometria do casco é aquela limitada pela série. No entanto , para a primeira estimativa das dimensões é conveniente (como em qualquer embarcação) analisar os dados já existentes de outros Veleiros. Assim , foi feito um levantamento de vários Veleiros de Cruzeiro [35] e os principais parâmetros

compilados em tabelas constando do Anexo C.

#### 3.1.4. Espiral de Projeto

A espiral de projeto é observada na figura 5. A diferença básica com relação a uma embarcação convencional está no item de desempenho. Para este, resistência, propulsão e estabilidade são itens "independentes" da espiral. Para o Veleiro, como a preponderância de um sobre os demais é muito acentuada, deve-se tratá-los como uma sub-espiral (Fig. 6). Após a determinação iterativa destes sub-itens (resistência, propulsão e "estabilidade") do desempenho passa-se aos outros itens da espiral.

Durante a análise do desempenho, a estabilidade aparece de forma intrínseca através da área vélica (que determina o momento de emborcamento) da altura da quilha e lastro (determinam conjuntamente o KG), além do modelo da série. No final da espiral (3.2.9) os parâmetros relacionados à estabilidade propriamente dita (como GM e curva de  $MR \times \theta$ ) são analisados.

O arranjo depende da experiência do projetista. Devido ao pequeno espaço interno é interessante que os espaços tenham dupla funcionalidade (Por exemplo, sofás tornam-se beliches).

No primeiro ciclo pode-se utilizar as curvas de embarcações semelhantes. Para os demais, alguns parâmetros geométricos (boca, calado, deslocamento) devem estar amarrados à série. A área vélica e o lastro têm maior

liberdade.

Quanto à estrutura , para o projeto básico é suficiente a utilização de sociedades classificadoras ([44] , [45] e [46]).

### 3.2. Desenvolvimento da Espiral de Projeto

Neste item da dissertação será feita uma análise dos itens que compõe a "espiral de projeto" , enfatizando-se a aplicação direta (com exceção do arranjo por tratar-se de etapa de carácter mais subjetiva) ao projeto.

#### 3.2.1. Tipo e arranjo do Veleiro

É interessante dividir os tipos de Veleiros com relação a algumas características. Pode-se classificá-los quanto à finalidade (Regata ou Cruzeiro) , quanto ao porte , quanto à existência de propulsão auxiliar (normalmente associada a Veleiros de Cruzeiro de médio/grande porte) , etc. Serão vistos abaixo características que estão diretamente relacionadas com os requisitos de projeto e com a concepção da embarcação.

##### Número de cascos

Pode-se classificar os Veleiros em Monocasco ou Multicasco (Catamarã ou Trimarã). O monocasco possui maior espaço interno e a possibilidade de estabilidade positiva

para qualquer ângulo de banda (até  $180^{\circ}$ ) e com isto poder desvirar mesmo que emborque.

Já o multicasco possui maior velocidade e estabilidade inicial , mas uma vez emborcando só desvira com ajuda externa.

Neste trabalho somente serão estudados monocascos devido à falta de informações experimentais relacionadas aos multicascos.

### Velame

Na figura 6 são apresentadas as possíveis combinações de vela. Ênfase será dada ao tipo "Sloop".

Há uma série de fatores que influenciam na eficiência do velame , como tipo de estaiamento , interferência do mastro sobre a vela , interferência entre velas , ajuste das velas , vão entre a retranca e a linha d'água , tipos de velas utilizadas. Estes fatores , entretanto , não poderão ser levados em consideração devido à falta de dados disponíveis.

### Tipo de quilha

Há três tipos principais de quilha : A quilha profunda (normalmente de geometria elíptica) , a quilha Asa e a quilha tipo Bulbo (Fig. 7). Cada uma das quilhas possui uma aplicação específica e nenhuma delas possui vantagem sobre as demais em todas as condições.

Veleiros para rotas costeiras exigem menor preocupação com segurança e conforto. É interessante ter-se menor calado e portanto o uso de quilhas Asa e Bulbo predominam. A quilha Asa leva vantagem de possuir maior razão de aspecto quando o Veleiro se aderna (considerando a projeção vertical) e portanto é mais eficiente do ponto de vista hidrodinâmico em produzir força lateral do casco. Por outro lado, a quilha Bulbo, devido a sua geometria, permite colocar mais lastro. Quando não há restrições de calado, em Veleiros de travessia oceânica, deve-se sempre optar pela quilha profunda, pois esta congrega maior eficiência hidrodinâmica e a possibilidade de se colocar o lastro mais abaixo.

Quanto ao arranjo propriamente dito, deve-se destacar que o Veleiro diferencia-se de uma embarcação convencional pelo fato de seu arranjo estar fortemente "amarrado" a questões "subjetivas" de conforto interno e não tanto a questões de transporte em si. É claro que isto se refere a Veleiros de Cruzeiro para transporte exclusivo de passageiros.

Por outro lado, para um Veleiro, o arranjo estrutural e o arranjo interno estão mais atrelados que em uma embarcação convencional, caso por exemplo da antepara que divide as cabines.

Deve-se salientar também que devido ao pequeno espaço interno, estes normalmente tendem a possuir dupla funcionalidade. Por exemplo: o encosto do sofá pode ser articulado e virar a cama superior de um beliche. Esta característica está intimamente relacionada com o porte



do Veleiro ocorrendo em Veleiros de menor porte. Outro exemplo interessante neste caso é a utilização de um sanitário químico disposto (coberto por uma tampa) abaixo da cama da cabine de proa (normalmente a única neste tamanho de Veleiro). Para grandes Veleiros não há restrições tão acentuadas e dispõe-se de maior liberdade de projeto.

Um detalhamento desta discussão estenderia muito este trabalho e pode ser pesquisado nas referências [47] e [48], bem como em periódicos específicos.

### 3.2.2. Dimensões Principais

As dimensões principais, embora possuam uma grande abrangência de acordo com as embarcações semelhantes, estão amarradas à série sistemática e portanto limitadas às suas restrições (na forma de adimensionais). Não é interessante extrapolar os valores pois o resultado não será confiável. A série DELFT constitui-se de 3 etapas subsequentes em ordem cronológica. A primeira etapa iniciou-se com 9 modelos e expandiu-se até completar 22 modelos. A série II acrescentou 6 modelos de modo a atingir as formas mais atuais (mais leves e achatados com quilha bastante profunda). A série III não havia sido concluída até o término deste trabalho. A seguir será feita uma breve análise das dimensões principais.

Comprimeto

O comprimento total  $L_{OA}$  é a dimensão independente , dada como requisito de projeto.

O comprimento de linha d'água  $L_{WL}$  é extraído , em primeira aproximação da curva  $L_{WL} \times L_{OA}$  de embarcações semelhantes (Anexo C). Esta primeira estimativa é válida somente para um anteprojeto , uma vez que a metodologia se baseia na série DELFT. Esta utiliza um valor constante de  $L_{WL} / L_{OA} = 0.762$  para todos os modelos , entretanto , a variável de interesse é o comprimento  $L_{WL}$ .

### Boca

Como primeira estimativa pode-se extrair o seu valor da curva  $B \times L_{WL}$  de embarcações semelhantes. Em um ciclo mais avançado deve-se ficar restrito à série. Para a série DELFT tem-se que  $2.73 \leq L/B \leq 4.50$ . Aqui também há uma discrepância entre as curvas de embarcações semelhantes e a série DELFT. Para a série , B se refere à boca na linha d'água enquanto que as embarcações catalogadas somente mencionam a boca máxima. A boca está diretamente relacionada com duas questões : Conforto interno e estabilidade. O conforto , relacionado ao espaço interno útil aumenta com o aumento da boca. O efeito da boca sobre a estabilidade pode ser visualizado na figura 8. Quanto maior a boca , maior a estabilidade.

### Calado

Como primeira estimativa ,pode-se utilizar a curva H x B das embarcações semelhantes.Em um ciclo mais avançado deve-se utilizar a série em que os valores estão limitados a  $2.46 \leq B/H \leq 12.89$ . Os valores mais altos estão relacionados à série II em que os Veleiros atuais são mais "achatados".

### Pontal

É a única dimensão não amarrada à série.o projetista possui liberdade de livre escolha. Para Veleiros , exclui-se a quilha no cálculo do pontal.

O aumento do pontal (e , portanto da borda livre) é favorável pois aumenta o momento de endireitamento a grandes ângulos de banda (Fig. 9) , mas isto não tem grande influência no desempenho , uma vez que a análise do desempenho é limitada para ângulos de banda abaixo de  $30^{\circ}$ . Esta influência favorável , no entanto , é percebida com relação à confiabilidade do Veleiro. Por outro lado , o aumento do pontal é prejudicial pois aumenta a distância entre o centro de esforços das velas CE e o centro de resistência lateral CLR , elevando assim o momento de emborcamento.

Com relação ao conforto , o aumento do pontal é benéfico uma vez que aumenta altura das cabines.

### 3.2.3. Coeficientes de forma

Os coeficientes de forma que assumem importância maior por participarem do cálculo da resistência e/ou estabilidade

serão analisados de forma mais aprofundada adiante (3.2.4.1.) :

### B/H

O coeficiente é dado por  $B_{WL}/T_c$ , onde  $T_c$  é o calado do Veleiro sem a quilha. Quando não houver referência contrária, B significará  $B_{WL}$ . O coeficiente B/H influencia diretamente na superfície molhada e por consequência a resistência de atrito e também a resistência residual vertical sem banda e deriva.

### $C_p$

O coeficiente prismático possui pequena variação na série DELFT :  $0.53 \leq C_p \leq 0.60$ . O valor ótimo é dado por  $C_p = -A_1/2A_2$  onde  $A_1$  e  $A_2$  são os coeficientes polinomiais de resistência residual da série I, função do número de Froude Fn. Esta expressão foi obtida igualando-se a derivada parcial da resistência residual com relação a  $C_p$  a zero. Isto conduz a um valor mínimo da resistência residual com relação ao coeficiente prismático. Quando se engloba a série II, esta expressão perde a validade pois aparece termo conjunto de  $C_p$  e  $L / \nabla^{1/3}$ . O coeficiente prismático influencia na resistência residual onde, quanto maior o número de Froude, maior o valor de  $C_p$  ótimo.

### LCB

O Valor de LCB é dado como uma porcentagem do comprimento  $L_{WL}$ , sendo negativo a ré da secção mestra. Todos os modelos da série DELFT possuem LCB a ré da secção da mestra. Os valores situam-se entre  $-5 \leq LCB \leq 0$ . O valor ótimo é dado por  $LCB = -A_3 / 2A_4$ . A expressão é análoga à obtida para o coeficiente prismático assim como a não validade para a série II. O LCB influencia a resistência residual em que, com aumento de  $F_n$ , o valor ótimo de LCB desloca-se mais a ré da secção mestra.

$$L / \nabla^{1/3}$$

É o parâmetro mais importante da série e possui enorme influencia na resistência vertical (ou residual). Tanto que a série II dedica-se exclusivamente às variações deste. A tendência atual é de Veleiros mais leves e "chatos", levando a valores maiores da razão comprimento/deslocamento. Os valores da série situam-se entre 4.34 e 7.97. Os valores da série I englobam até o valor 5.14, conforme as referências [23] e [25]. Percebe-se, portanto, uma grande extensão da série II.

#### 3.2.4. Desempenho do Veleiro

Neste item, o que se procura é maximizar a velocidade do Veleiro. A escolha não será de um único conjunto ótimo. A diferença deste ótimo para um outro com desempenho pouco

abaixo pode representar , por outro lado , uma grande diferença de conforto e segurança a favor do outro (de menor velocidade). Além do mais , os erros associados à determinação da velocidade podem superar esta diferença.

### 3.2.4.1. Parâmetros que influem no desempenho

#### Razão deslocamento/comprimento

A razão deslocamento/comprimento na forma adimensional é dada por :  $\Delta/(L/100)^3$ . O inverso é a razão comprimento/deslocamento (razão de esbeltez) e é representada por :  $L/\Delta^{1/3}$ . Quanto maior a relação deslocamento/comprimento menos esbelta será a embarcação.

Este parâmetro está diretamente associado ao desempenho do Veleiro para cada combinação de rota e intensidade do vento , não havendo um valor ótimo absoluto para todas as situações.

Em través , de forma geral , os Veleiros mais esbeltos ( $\Delta/(L/100)^3$  menor) possuem maior eficiência devido a menor resistência. Isto se deve ao fato de que o deslocamento aumenta a resistência de ondas. Também em orça com ventos mais fortes , o desempenho de um Veleiro leve (Light displacement yacht) é pior pois com ângulo maior de banda  $\theta$  (Veleiro mais leve com menos lastro possui menor estabilidade) a forma adernada desta embarcação produz maior resistência induzida que os Veleiros pesados.

Se aumentarmos o lastro (Ballast) há um acréscimo de

resistência  $R$  devido ao aumento do deslocamento  $\Delta$ , mas também aumenta a força propulsora (com mais estabilidade pode-se aumentar a área vélica). É claro que em termos globais deve haver um valor ótimo para a razão deslocamento/comprimento.

#### Razão Boca/Calado

Verifica-se experimentalmente [22] que, mantendo-se o deslocamento constante, quanto maior a razão boca/calado menor será a resistência vertical ( $R_v$ ) mas maior a resistência de banda e deriva ( $R_\phi$ ). Como resultado final, a resistência total é menor e tem-se maior velocidade contra o vento ( $V_{mg}$ ), principalmente em ventos fortes.

O aumento do deslocamento melhora o desempenho do Veleiro mais estreito ( $B/H$  menor) e pouco altera o desempenho do Veleiro mais largo.

Neste resultado, considerou-se mesmo KG e área vélica para os Veleiros. Isto não é lógico, pois um Veleiro mais estreito (e portanto de maior calado) poderia ter o centro de gravidade mais baixo e com isto aumentar a área vélica, conseqüentemente aumentando a propulsão e o desempenho.

Uma solução interessante para este problema é utilizar o Veleiro mais largo em combinação com uma quilha profunda de grande razão de aspecto. Consegue-se assim menor resistência total concomitantemente com o abaixamento do centro de gravidade. Isto está de acordo com a tendência mundial contemporânea de desenho de Veleiros.

Razão Área vélica/Deslocamento ( $A_v/\Delta$ ) e  
Superfície molhada/Deslocamento ( $S_c/\Delta$ )

A razão área vélica/deslocamento indica a possibilidade de se utilizar grande área vélica em relação ao deslocamento e , portanto , é um bom indicativo da eficiência do Veleiro. É um parâmetro diretamente relacionado com a estabilidade do Veleiro , pois quanto maior a área vélica utilizada maior é a tendência de adernar , principalmente em orça.

A razão superfície molhada/deslocamento controla o desempenho do Veleiro a baixas velocidades , pois neste caso a principal componente da resistência é o atrito , que depende diretamente da superfície molhada.

A otimização de um ou outro parâmetro dependerá do fim a que se destina o Veleiro. Se o objetivo é um bom desempenho a ventos fracos , o melhor é diminuir  $S_c/\Delta$  e aumentar o máximo possível  $A_v/\Delta$  , pois neste caso a estabilidade não será um fator limitante e sim o atrito da embarcação. Para ventos fortes não importa muito o fator  $S_c/\Delta$  pois a componente maior da resistência vertical é a residual. Continua sendo interessante que a área vélica seja a maior possível ( $A_v/\Delta$  maior) embora a estabilidade seja agora a principal limitação ao desempenho.

Na prática a área vélica diminui (crizar - operação de abaixar a vela ou até mesmo trocar por outra menor , mais condizente com a situação) com o aumento da velocidade do



vento. Chama-se de área vélica de um Veleiro (tipo Sloop de um só mastro) a soma das áreas da vela mestra (Mainsail) com a maior Genoa (Genoa - vela de proa ou de estai). Pode-se usar a vela balão (Spinnaker) , vela maior que a Genoa. Isto é feito em vento de popa e través folgado ( $\gamma > 135^\circ$ ).

#### Coeficiente Prismático ( $C_P$ )

O coeficiente prismático é definido por :

$$C_P = \nabla / A_M \cdot L \quad (12)$$

Fisicamente , quanto maior o valor do coeficiente prismático mais cheias serão as extremidades do Veleiro. Com o aumento do número de Froude ( $F_n$ ) aumenta o valor de  $C_P$  ótimo ([23] e [24]).

Esta conclusão difere bastante de uma embarcação convencional. Neste caso , quanto maior o número de Froude (e portanto maior velocidade) maior é a resistência de ondas. Nesta situação quanto mais finas as extremidades melhor , o que leva a uma redução do coeficiente prismático. Para um Veleiro , ocorre que a velocidades maiores ( $F_n$  maior) , predomina a resistência induzida pois aumenta o ângulo de deriva ( $\lambda$ ). Para esta situação , o maior coeficiente prismático altera menos o escoamento ,diminuindo a resistência induzida e de banda. No entanto , a baixas velocidades predomina a resistência vertical (de atrito a velocidades ainda menores). Tem-se um comportamento

semelhante à uma embarcação convencional , em que baixos valores de  $C_p$  levam a uma menor resistência de ondas.

Derivando-se a equação de resistência com relação a  $C_p$  obtem-se o valor ótimo deste coeficiente em relação aos adimensionais que aparecem na regressão.

#### Posição Longitudinal do Centro de Carena (LCB)

Verifica-se experimentalmente que é sempre vantajoso manter o LCB a ré da secção mestra [23]. Isto está coerente com a tendência mundial , em que se percebe que os projetos mais recentes possuem uma tendência a concentrar maior volume na popa. Isto resulta em um melhor desempenho do casco como um fólio , neste caso apresentando melhor relação entre força lateral (sustentação) e arrasto.

Há um procedimento análogo ao que foi feito para  $C_p$  , para se achar o valor ótimo de LCB.

#### Posição Vertical do Centro de Gravidade (KG)

Este fator é também importante em embarcações convencionais e as conclusões são as mesmas exceto pelo fato que representa um parâmetro ainda mais importante para o Veleiro. Sabe-se que quanto mais baixo for o centro de gravidade (KG menor) , maior será a altura metacêntrica (GM) e portanto maior a estabilidade inicial.

Para abaixar o centro de gravidade deve-se colocar peso na parte mais profunda do Veleiro. Este peso , chamado

de lastro (Ballast) deve ser disposto na parte mais baixa da quilha. Fica claro , portanto , que a forma da quilha é fundamental e , neste aspecto , a quilha estreita e profunda (Deep Keel) leva sempre vantagem em termos absolutos. Para poder comparar duas quilhas deve-se , então , tomá-las com mesma profundidade.

### 3.2.4.2. Forças Hidrodinâmicas (casco)

#### Resistência

O cálculo de resistência ao avanço baseia-se nas séries Delft I e II (a série III não estava disponível até o término deste trabalho). Esta série não dispõe de número de modelos suficiente para uma interpolação nas linhas (como a série de Taylor por exemplo). Deve-se escolher um modelo da mesma. Por outro lado , pode-se utiliza-la para predição de desempenho de outros Veleiros não saídos da série mesmo que as dimensões extrapolem os limites da série [58].

A série atinge a faixa de  $0.125 \leq F_n \leq 0.450$  para todos os modelos. Para a série II foram investigadas as condições de planeio , extendendo até  $F_n = 0.750$  , apesar da regressão estar disponível somente até  $F_n = 0.600$ .

#### Resistência de Atrito

A resistência de atrito é dada por :

$$R_a = 1/2 \cdot \rho \cdot V_s^2 \cdot (S_c \cdot C_{ac} + S_k \cdot C_{ak} + S_r \cdot C_{ar}) \quad (13)$$

Os subscritos c , k e r significam respectivamente casco , quilha e leme. Os coeficientes de atrito são obtidos pela fórmula da ITTC :

$$C_a = \frac{0.075}{(\text{Log } Re - 2)^2} \quad (14)$$

O número de Reynolds vale para o casco :

$$Re_c = V_s \cdot (0.7 \cdot L_{WL}) / \nu \quad (15)$$

O termo  $0.7 \cdot L_{WL}$  define uma espécie de comprimento médio para o casco. Analogamente para a quilha e o leme utiliza-se a corda média.

### Resistência Residual

A resistência residual é obtida através da equação :

$$R_R = (R_R / \Delta_c \cdot 10^3) \cdot \Delta_c / 10^3 \quad (16)$$

O termo entre parêntesis é obtido através de uma regressão cuja expressão é dada a seguir :

$$\text{Para } 0.125 \leq Fn \leq 0.450 \quad (17)$$

$$R_R / \Delta_c \cdot 10^3 = A_0 + A_1 (C_P) + A_2 (LCB) + A_3 (B_{WL} / T_C) + \\ A_4 (L_{WL} / \nabla_c^{1/3}) + A_5 (C_P)^2 + A_6 (C_P \cdot L_{WL} / \nabla_c^{1/3}) \\ A_7 (LCB)^2 + A_8 (L_{WL} / \nabla_c^{1/3})^2 + A_9 (L_{WL} / \nabla_c^{1/3})^3$$

Para  $0.450 \leq Fn \leq 0.600$  tem-se : (18)

$$R_R / \Delta_c \cdot 10^3 = C_0 + C_1 (L_{WL} / B_{WL}) + C_2 (A_W / \nabla_c^{2/3}) + \\ C_3 (L_{WL} / B_{WL})^2 + C_4 (L_{WL} / B_{WL}) \cdot (A_W / \nabla_c^{2/3})^3$$

Os valores  $A_i$  e  $C_i$  das regressões acima são obtidos nas referências [23] e [25], e são função de  $Fn$ .

O coeficiente  $A_W / \nabla_c^{2/3}$  indica a importância do efeito de planeio nesta faixa de velocidades. Esta expressão só tem validade para os modelos da série II (23 ao 28). Estes modelos são mais "chatos" (maior  $B/H$ ) e mais leves (maior  $L/\Delta^{1/3}$ ), correspondendo aos desenhos mais atuais.

#### Resistência de Banda e Deriva

Esta resistência só aparece em Veleiros e consiste na diferenciação básica entre estes e as embarcações convencionais. Pode ser expresso por :

$$R_\phi = \frac{(C_0 + C_2 \cdot \theta^2 + C_3 \cdot Fn) F_S^2}{1/2 \cdot \rho \cdot S_c \cdot V_S^2} + C_H \cdot \theta^2 \\ + C_4 \cdot Fn \cdot \theta^2 \quad (19)$$

O primeiro termo da expressão corresponde à resistência induzida ou de deriva ( $R_\lambda$ ) e os últimos à resistência de banda ( $R_\phi$ ).

A mudança da quilha (tipo e dimensões) resulta em uma alteração na expressão de  $R_\phi$  (em particular em  $R_\lambda$ ):

$$R_\phi = \frac{F'_S \cdot \text{ARM}/\text{ARK}}{\pi \cdot \text{ARE} \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S_c \cdot V_S^2} + C_H \cdot \theta^2 + C_4 \cdot F_n \cdot \theta^2 \quad (20)$$

Os valores da razão de aspecto efetivo  $\text{AR}_E$  e do coeficiente  $F'_S$  para várias combinações de casco-quilha-leme são apresentados na referência [9].

### Resistência Total

A resistência total é dada pela soma das parcelas descritas anteriormente:

$$R_T = R_a + R_R + R_\phi \quad (21)$$

As duas primeiras parcelas somadas recebem o nome de resistência vertical ( $R_V$ ).

### Força Lateral

A força lateral do casco ( $F_S$ ) equilibra a força lateral de emborcamento produzida pela vela ( $F_H$ ).

Relaciona-se com o ângulo de deriva ( $\lambda$ ) de acordo com a seguinte expressão :

$$\lambda = \frac{F_s \cdot \cos\theta}{1/2 \cdot \rho \cdot S_c \cdot V_s^2} (B_0 + B_2 \cdot \theta^2) + B_3 \cdot \theta^2 \cdot Fn \quad (22)$$

Percebe-se a dependência conjunta de  $\lambda$  e  $\theta$ .

A mudança da quilha também resulta em uma alteração na expressão de  $F_s$  :

$$F_s = \frac{F'_s \cdot q \cdot AK \cdot (\lambda - B_3 \cdot \theta^2 \cdot Fn)}{\cos\theta} \cdot ARK/ARM \quad (23)$$

#### Momento de Endireitamento

O momento de endireitamento é dado por :

$$M_R = \Delta_c \cdot L_{WL} \cdot (D_1 \cdot \theta + D_2 \cdot \theta \cdot Fn + D_3 \cdot \theta^2) + \Delta \cdot Z_G \cdot \sin\theta \quad (24)$$

$$Z_G = T_C - K_G \quad (25)$$

Se considerarmos  $Z_G = 0$  tem-se que o primeiro termo representa a estabilidade inicial, o segundo representa a influência da velocidade do Veleiro e o terceiro termo é necessário para corrigir a não-linearidade a grandes ângulos de banda.

### 3.2.4.3. Forças Aerodinâmicas (Vela)

A resistência oferecida pela vela pode ser desprezada quando comparada com a resistência ao avanço do casco. O efeito "negativo" principal da vela não é o arrasto e sim a força lateral  $F_H$  que provoca banda e deriva aumentando assim a resistência do casco.

#### Área vélica e Centro de esforço

A área vélica depende do ângulo e velocidade real do vento. Deve ser estimada de forma que  $\theta$  seja menor que  $30^\circ$  e que  $\delta$  seja menor que  $15^\circ$ . Neste trabalho não será analisado o ângulo de ajuste do leme  $\delta$  por falta de dados disponíveis. As áreas vélicas são dadas por :

$$\begin{aligned} \text{Orça} & : A_v = A_{\text{Mestra}} + A_{\text{Genoa}} \\ \text{Corrida} & : A_v = A_{\text{Mestra}} + A_{\text{Balão}} \\ \text{Outras} & : A_v = A_{\text{Mestra}} + A_{\text{Genoa}} \end{aligned} \tag{26}$$

$$A_{\text{Mestra}} = P * E / 2$$

$$A_{\text{Genoa}} = I * J / 2$$

$$A_{\text{Balão}} = 1.8 * A_{\text{Genoa}}$$

O centro de esforço CE é definido como o ponto de aplicação da força aerodinâmica resultante sobre o conjunto de velas. Pode-se obter o centro de esforço (Center of



effort) pela média dos baricentros das velas ponderando-se pelas respectivas áreas.

### Coeficientes Aerodinâmicos da Vela

Há vários estudos sobre estes coeficientes ([13],[14],[15] e [16]). Neste trabalho serão utilizados os resultados da referência [16] por alguns motivos básicos : É mais recente ; baseia-se em estudo experimental e está relacionado com a série Delft. A obtenção destes coeficientes consiste em medir as forças hidrodinâmicas do Veleiro em movimento uniforme (para ter estabelecido o equilíbrio). Pela igualdade entre as forças hidrodinâmicas e aerodinâmicas da vela obtem-se estas últimas. Transformando-as em adimensionais tem-se os coeficientes de vela. Será feita uma regressão linear para obter os coeficientes de força propulsiva  $C_R$  e de força lateral  $C_H$  em função do ângulo aparente do vento e da velocidade real do vento  $V_T$ . Há duas situações a serem consideradas :

- 1) Ventos fracos : escolha de maior  $C_R$  possível
- 2) Ventos fortes : escolha da maior razão  $C_R/C_H$  possível

O apêndice D mostra curvas de  $C_R$  e  $C_H$  em função de  $\beta$ .

É interessante notar que o ângulo de ataque está amarrado aos coeficientes , uma vez que se busca valores ótimos. Desta forma  $\alpha$  não entra nas formulações de equilíbrio do Veleiro.

É importante salientar também que o ajuste de velas para obtenção destes valores ótimos é bastante subjetivo

pois depende de trabalho manual a bordo do Veleiro e , como tal , requer experiência e prática. Isto implicará em erros ao se passar da estimativa para a medição dos resultados.

### Força Propulsora e Força Lateral

A força propulsora  $F_R$  e a força lateral  $F_H$  são :

$$F_R = 1/2 \cdot \rho \cdot A_V \cdot V_A^2 \cdot C_R \quad (27)$$

$$F_H = 1/2 \cdot \rho \cdot A_V \cdot V_A^2 \cdot C_H \quad (28)$$

$V_A$  : Velocidade aparente do vento

$A_V$  : área vélica

$\rho$  : densidade do ar

$C_R$  ,  $C_H$  : coeficientes aerodinâmicos da vela

### Momento de Emborcamento

O momento de emborcamento é o produto da força lateral pela distância  $h$  entre o centro de esforço CE e o centro de resistência lateral CLR :

$$M_H = F_H \cdot h \quad (29)$$

$$h = Z_{CE} + D \cdot L_{WL} \quad (30)$$

$Z_{CE}$  : Distância entre o centro de esforço e a linha

d'água

O segundo termo na expressão acima refere-se à distância entre o centro de resistência lateral CLR e a linha d'água.

#### 3.2.4.4. Predição do Desempenho

Para cada solução do projeto do Veleiro deve-se estimar o desempenho, através de  $V_S/V_T$  e/ou  $V_{mg}/V_T$ . Uma vez definida determinada solução tem-se as características do casco e vela bem como a distribuição de pesos. Tem-se também como dados de entrada a velocidade e a direção do vento real (Fig. 10).

As variáveis a serem resolvidas são:  $V_A$ ,  $\beta$ ,  $V_S$ ,  $\lambda$  e  $\theta$ . As duas primeiras são obtidas diretamente através do triângulo de velocidades a partir da estimativa para  $V_S$ . As variáveis  $V_S$ ,  $\lambda$  e  $\theta$  devem ser resolvidas de forma iterativa. Escolhe-se uma solução inicial e verifica-se o equilíbrio de forças e momento. Não satisfeitas procede-se a uma correção dos valores atribuídos até que se obtenha um erro mínimo para as igualdades. Tem-se, portanto, um sistema de 5 equações e 5 variáveis a serem satisfeitas de forma iterativa.

A grandeza  $\alpha$  não entra como variável pois uma vez definido o vento real (velocidade e direção) há um valor ótimo de  $\alpha$  que proporcionará melhor desempenho. Este valor está indiretamente associado com a escolha dos coeficientes de vela  $C_R$  e  $C_H$ . O mesmo raciocínio vale para o ângulo de

ajuste das velas  $\delta$ .

**Procedimento :**

1. Dado  $\gamma$  : calcular  $C_R$  e  $C_H$  por interpolação
2. Estimativa inicial para  $V_{SO}$  ,  $\lambda_0$  e  $\theta_0$
3. Cálculo de  $V_{AO}$  e  $\beta_0$
4. Determinar h
5. Calcular  $R_e$  e  $C_f$  para casco , quilha e leme
6. Cálculo de  $F_n$
7. Cálculo de  $F_R$  e  $F_H$
8. Cálculo de  $M_H$
9. Cálculo de  $F_S$
10. Cálculo de  $R_a$
11. Cálculo de  $R_R/\Delta \cdot 10^3$  e  $R_R$
12. Cálculo de  $R_\phi$

$$R_\phi = \frac{F_S^2 \cdot ARM/ARK}{\pi \cdot ARE \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot S_c \cdot V_S^2} + C_H \cdot \theta^2 + C_4 \cdot F_n \cdot \theta^2$$

$$q : \text{pressão dinâmica} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_S^2$$

13. Cálculo de  $R_T$
14. Verificação do equilíbrio
15. Alterar  $V_S$  ,  $\lambda$  e  $\theta$

O processo é repetido até que se obtenha uma verificação do equilíbrio considerando-se um erro

admissível. Este erro é arbitrado e constitui em um valor fixo. Este valor foi tomado de forma que o erro cometido não comprometa a resposta (valor baixo) e que não dificulte a convergência. O autor chegou a este valor após algumas tentativas. Se o erro é maior procede-se a uma correção da variável preponderante naquela equação. Por exemplo, para o equilíbrio de forças no sentido do deslocamento ( $R_T = F_R$ ), a variável preponderante é a velocidade do Veleiro  $V_S$  (Anexo E). Esta correção é feita pelo valor absoluto do erro relativo das funções correspondentes à equação. Após chegar a uma solução satisfatória para o conjunto de equações (para uma dada solução de projeto), tem-se :

16. Cálculo de  $V_{mg}$

17. Cálculo de  $V_S/V_T$  e  $V_{mg}/V_T$ .

### 3.2.5. Linhas

Os planos de linha dos modelos são obtidos a partir de dois originais (Parent model), um de cada série, pela multiplicação das coordenadas por um fator constante abaixo da linha d'água. Acima da linha d'água há um ajuste de forma que todos os modelos possuam a mesma borda livre (e pontal). Os planos de linhas correspondentes aos originais da série estão apresentados na figura 11.

### 3.2.6. Governo

Como já foi visto anteriormente, a manobrabilidade é

um requisito oposto à estabilidade direcional. Os Veleiros antigos possuíam quilha longa (Fig. 12). À ré da quilha havia um leme. Eram Veleiros de grande estabilidade direcional e pouca manobrabilidade. Além disto , verificou-se experimentalmente que somente uma parte da quilha produzia força lateral. A evolução dos Veleiros acarretou em um encurtamento da quilha , pois os novos Veleiros produzem a mesma força lateral com menor superfície molhada e , conseqüentemente , menor resistência ao avanço. Contudo , isto resultou em menor estabilidade direcional dos novos Veleiros. Além disto , o leme foi deslocado para a popa do Veleiro resultando em maior momento do leme.

Não há na bibliografia dados ou formulações sobre a área de leme e não é possível comparar este tipo de embarcação com uma convencional. Além disto , não há nos catálogos disponíveis qualquer referência que possa ser utilizada para uma possível regressão. O que será feito neste trabalho é adotar limites para a área de leme , considerando-se os valores obtidos da série DELFT :

$$0.071 \leq A_R/S_C \leq 0.133$$

$A_R$  : Área do leme

A escolha do valor exato é arbitrária e bastante subjetiva. Há meios de se chegar a uma conclusão através de séries de fólios e , usando o conceito de razão de aspecto efetivo do leme , chegar à sustentação e portanto ao momento

gerado pelo leme. Isto não será abordado neste trabalho. É também certo que o leme influi no ângulo de deriva pois contribui com alguma força lateral. Este fato será subjulgado pela falta de dados quantitativos correlatos à série DELFT.

### Sistemas de Governo

Há dois sistemas de governo : o primeiro é o mais simples e barato. É a cana-de-leme. Consiste em uma barra rígida ao eixo do leme. O segundo sistema é a roda-de-leme. É mais sofisticada e cara e consiste de um timão que se comunica ao leme por meio de polias , correias e/ou engrenagens. Normalmente é utilizado em Veleiros de grande porte devido ao grande espaço que o timão ocupa.

#### 3.2.7. Estrutura

A estrutura do Veleiro não será analisada por projeto racional. Seria necessário outro trabalho para maior aprofundamento e foge ao escopo deste , que é proporcionar ferramenta para o projeto básico do Veleiro. Neste aspecto , o estudo por meio de sociedade classificadora cumpre o objetivo. No entanto , algumas considerações serão feitas.

A estrutura primária , relacionada à viga-navio , é menos importante que as estruturas secundária e terciária. A ordem de grandeza é de dezenas de vezes menor. Neste sentido , a viga-quilha assume maior importância com relação à

docagem que em relação à secção transversal da viga-navio. Devido à isto a estrutura do Veleiro tende a ser transversal com as cavernas gigantes apoiando-se sobre a viga-quilha.

Os principais problemas a serem resolvidos são a resistência de chapeamento e a rigidez global do Veleiro. Para isto as anteparas são muito importantes pois funcionam como divisórias para o arranjo interno e conferem estanqueidade ao Veleiro. Servem também de apoio (juntamente com as cavernas gigantes) para as longarinas. Estas (e as cavernas) tem como função principal diminuir a tensão terciária. Há também esforços localizados. Dentre todos o de maior importância refere-se ao mastro e o esquema de estaiamento. Este pode ser não estaiado ou estaiado, com uma ou duas cruzetas. Isto depende basicamente do porte do Veleiro, que condiciona a área vélica.

Normalmente o Veleiro é constituído de duas partes, casco e convés, laminados independentemente e depois conectados. Esta conexão já confere grande rigidez ao Veleiro, pois funciona como um grande anel fechado. Antes desta conexão (Fig.13) são colocadas as anteparas e os perfis. A quilha é parafusada, pelo lado de fora do casco, a uma grelha reforçada tomando-se a viga-quilha como apoio.

#### 3.2.7.1. Esforços sobre o Veleiro

Além dos esforços que qualquer embarcação está sujeita (como pesos e pressão hidrostática), o Veleiro recebe uma grande carga externa que é a força sobre a vela. Esta



provoca , por sua vez , esforços sobre toda mastreação.

A mastreação é o conjunto de equipamentos destinados a levantar , abaixar e manter a vela içada. Constitui-se de mastro , estais e brandais , cruzetas e elementos ligantes. Há várias formas de mastreação , como já foi dito. Com relação ao mastro , este pode ser passante (pelo convés) e engastado na quilha. Esta solução não é interessante pois , além de dificultar a vedação , provoca grandes esforços no teto da cabine. A solução mais interessante e usual é apoiar o mastro no topo da cabine em uma peça chamada carlinga. Abaixo desta , pelo lado de dentro da cabine , há um pilar que descarrega os esforços verticais do mastro até a quilha. Neste esquema , o estaiamento ganha importância na manutenção do mastro na posição vertical.

Os mastros são , geralmente , de alumínio e ocas para redução de peso , podendo também ser preenchidos com espuma de poliuretano. Além do aumento da rigidez , o mastro passa a funcionar como um flutuador o que aumenta a estabilidade do Veleiro.

### 3.2.7.2. Materiais Compostos

A maioria dos Veleiros construídos atualmente são produzidos com materiais compostos. Por isto será feita uma rápida abordagem deste tipo de material.

Os materiais compostos possuem dois componentes : a matriz (resina) , que confere a liga , e a fibra que possui a resistência necessária. As vantagens do uso de materiais

O autor optou pela utilização do DNV devido a maior facilidade de uso (o BV aproxima-se muito do cálculo racional para materiais compostos) e resultados mais satisfatórios (o ABS leva a maiores escantilhões, conforme será visto no exemplo de projeto). Além disto, o ABS não

coeficientes de segurança já estarem embutidos. (o que é interessante no projeto básico), é o fato de os classificadoras, além da facilidade e rapidez de cálculos Uma das vantagens de se utilizar sociedades

### 3.2.7.3. Sociedades Classificadoras

mas também mais cara. muito recentemente a estereofilmica de qualidades superiores costuma-se utilizar a fibra de vidro com resina poliéster e de Cruzeiro, em que o custo representa grande importância, Há grande variedade de resinas e fibras. Para Veletros

- 7) Facilidade de construção de peças curvas de peso/custo
- 6) Facilidade de construção de vigas-sanduíche com a redução pesados
- 5) Baixo custo de investimento inicial em equipamentos
- 4) Baixo custo de material (Fibra de vidro)
- 3) Grande resistência à corrosão e com isto baixo custo de manutenção
- 2) Facilidade de fabricação em série [43]
- 1) Grande resistência específica [41]
- compostos são as seguintes :

variação poderá ocorrer em função do arranjo interno e do características do modelo escolhido da série. Alguma final do projeto básico estará correlacionado com as dos Veleros catalogados [35]. O valor do deslocamento ao obtidos na série DELFT devido à uma certa heterogeneidade perceber que estes valores podem diferir bastante dos do Velero nas curvas de embarcações semelhantes. Deve-se Em um primeiro ciclo, pode-se estimar o deslocamento gravidade final tende a ser mais baixo em um Velero.

vela. Com isto, apesar de toda mastreação, o centro de momento de embarcamento originado pela força do vento sobre a parte inferior da quilha, necessário para equilibrar o convencional, está no grande peso do lastro colocado na O único fato relevante, com relação a uma embarcação

o deslocamento total. centro de gravidade do Velero. Pela soma dos pesos obtém-se elemento. A seguir, por meio de uma ponderação chega-se ao basta uma estimativa) e o centro de gravidade de cada convencionais. Estima-se o peso (nesta etapa do projeto possui diferença em relação às outras embarcações O cálculo dos pesos e centros, em um Velero, não

### 3.2.8. Pesos e centros

referência [46]. Para obter as formulações necessárias basta consultar a transversal do mastro. Não será feito um estudo detalhado. possui formulações para dimensionamento da secção

Para um Veleiro tem-se ainda como parâmetros importantes a estabilidade para grandes ângulos de banda GN e o ângulo em que o momento de endireitamento passa a ser momento de emborcamento, ou seja, a estabilidade passa a ser negativa. Este ângulo é dado por  $\theta_0$ . A importância destes parâmetros parece óbvia uma vez que o Veleiro pode navegar com excessivos ângulos de banda quando sujeito a rajadas de vento. Acima de certo ângulo ( $\theta = 30^\circ$ ), porém,

curva de momento de endireitamento ( $\Delta \cdot GM \cdot \text{sen} \theta$ ) x  $\theta$ . Para estas condições convencionais. Para estas tem-se como parâmetros de estabilidade a altura metacêntrica GM, que indica a estabilidade inicial da embarcação, e a estabilidade dinâmica. Esta representa o trabalho necessário para se inclinar a embarcação e é obtida pelo cálculo da área da curva de momento de endireitamento ( $\Delta \cdot GM \cdot \text{sen} \theta$ ) x  $\theta$ .

Para Veleiros há mais parâmetros importantes que para critérios para a altura metacêntrica e curva de MR x  $\theta$ . etapa verificaremos a estabilidade isoladamente, através de aumentava significativamente a resistência ao avanço. Nesta do desempenho (3.2.4), pois aumentando-se o ângulo de banda A estabilidade do Veleiro foi fundamental na análise

### 3.2.9. Estabilidade

este valor poderá ser alterado. nível de conforto e confiabilidade deverão influenciar e seja maior relação comprimento/deslocamento. É claro que o , em termos de desempenho é por Veleiros mais leves, ou lastro (que não está limitada pela série. A tendência atual

Com relação a série II não há uma regressão para o cálculo de  $K_\theta$  e só será apresentada a fórmula para o cálculo

$$GM \cdot \text{sen} \theta = KN \cdot \text{sen} \theta - KG \cdot \text{sen} \theta \quad (35)$$

$$KN = (\Delta^c \cdot KN^c - \Delta^r \cdot KN^r - \Delta^k \cdot KN^k) / \Delta \quad (34)$$

$$KN^c = KM^c + M^c N^c \quad (33)$$

Onde :

$$K_\theta = \frac{B^c M^c}{M^c N^c \cdot \text{sen} \theta} \quad (32)$$

utiliza-se o adimensional de estabilidade residual  $K_\theta$  :

Para obter a correção a grandes ângulos de banda  $\theta$  ,

$T^c$  : Calado do casco sem quilha e leme

$KM^c$  : Distância do fundo do casco ao metacentro

$$KM^c = 0.664 \cdot T^c + 0.111 \cdot B^{wl} \cdot T^c / 2 \quad (31)$$

sequência de cálculo para os modelos da série I.

somente casco). As equações que se seguem indicam a

banda é estimada através do fator  $M^c N^c$  (subscrito c indica

GM. Esta perda de estabilidade com o aumento do ângulo de

necessita de uma correção em relação à altura metacêntrica

O cálculo da estabilidade a grandes ângulos de banda

avanço aumenta mais que a propulsão da vela.

o desempenho começa a ficar deficiente pois a resistência de

restrita a  $\theta \leq 6^\circ$ ) tem-se maior braço de endireitamento para considera grandes ângulos de banda (a definição de GM é boca B maior será a altura metacêntrica GM. Quando se Com relação à estabilidade inicial, quanto maior a de gravidade Kg e a relação boca-pontal B/D.

estabilidade de um Veleiro são a posição vertical do centro importante. Os principais fatores que interferem na mais importante é a estabilidade inicial, a boca é mais Para uma embarcação convencional, como o requisito mais pesados ( $\Delta$  maior).

também do deslocamento  $\Delta$  e portanto será maior para Veleiros seja a menor possível. A estabilidade dinâmica depende positiva deva ser a maior possível e a negativa (após  $\theta_0$ ) necessário para adernar o Veleiro. É intuitivo que a área A estabilidade dinâmica foi definida como o trabalho

$$\theta_0 \Leftrightarrow GN_{90} \cdot \sin 90^\circ = a + b \cdot GM \quad (37)$$

$90^\circ$  e a estabilidade inicial :

de  $\theta_0$  ter-se-á uma relação entre o braço de endireitamento a endireitamento quando a vela toca a água. Para cada ângulo, ou seja,  $GN_{90} \cdot \sin 90^\circ$ , que representa o braço de O ângulo  $\theta_0$  está relacionado com a estabilidade a  $90^\circ$   $Z_G$  : Posição vertical de G abaixo da linha d'água

$$GM = \Delta / \Delta \cdot L_{WL} \cdot D + Z_G \quad (36)$$

da estabilidade inicial :

Critérios de Estabilidade [26]

$$KG = (W_H \cdot KG_H + W_L \cdot KG_L) / \Delta \quad (40)$$

O centro de gravidade do casco é estimado para os modelos da série Delft como sendo :  $KG_H = 0,8 * D$ . O centro de gravidade do lastro pode ser estimado para que sua massa ocupe a parte mais baixa da quilha , considerando-se uma densidade de  $11000 \text{ Kg/m}^3$ . O centro de gravidade do Veleiro é , então , dado por :

[24].

Adota-se  $K = 65$  considerando-se os processos construtivos atuais e materiais de fabricação empregados

(39)

$$W_C = K \cdot L \cdot B \cdot D_{\text{max}}$$

(38)

$$W_L = \Delta - W_H$$

Quanto ao  $KG$  , em qualquer situação é melhor que seja o menor possível. O objetivo do lastro (Ballast) é de abaixar o centro de gravidade do Veleiro e aumentar a estabilidade (tanto  $GM$  como  $GND$ ). A massa de lastro é obtido por :

menores valores de  $B/D$  como indicam os ensaios com os modelos indicados na referência [26]. Isto se explica pois com o Veleiro bastante adernado , "o pontal  $D$  faz o papel da boca  $B$ " , ou seja o pontal e não a boca passa a ser fundamental na estabilidade. Neste caso , quanto menor for  $B/D$  , maior será o pontal em relação à boca.

grandes ângulos de banda. O critério é escolher um valor A outra condição está relacionada com a estabilidade requerido para o Veleiro.

Percebe-se, pela equação acima, ser prejudicial o aumento na razão boca-pontal B/D, pois aumenta o GM

$$GM_{Min} = 0.4305 \cdot B/D - 0.0875 \quad (42)$$

$$GM_{Veleiro} \geq GM_{Min} \quad (41)$$

deve-se satisfazer a seguinte condição :  
O primeiro diz respeito à altura metacêntrica, onde

critérios principais :

quando estiver com  $\theta = 180^\circ$  (mastro para baixo). Há dois peduena para que as próprias ondas possam desvirar o Veleiro costado. A estabilidade negativa, por sua vez, deve ser absorver grandes rajadas de vento e ondas que quebrem no seu estabilidade positiva deve ser grande o suficiente para estabilidade positiva de 0 a  $180^\circ$ , o que seria desejável. A Também não é realista esperar que o Veleiro tenha

retornar rapidamente à posição original.  
o Veleiro deve ser resistente e estanque (Watertight) e deve condição meteorológica e de ondas. No caso de emborcamento, práticavel projetar um Veleiro para evitar qualquer tipo de adversas, estão sujeitas a emborcar. Não é realista e parte dos Veleiros está incluída) quando em condições muito Apesar de indesejável, pequenas embarcações (a maior



adequado para o ângulo de estabilidade zero  $\theta_0$ . Deve-se satisfazer :  $115^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$ . O valor máximo refere-se a Veleiros pequenos e o valor mínimo a Veleiros grandes , pois este possui maior estabilidade dinâmica devido ao maior deslocamento.

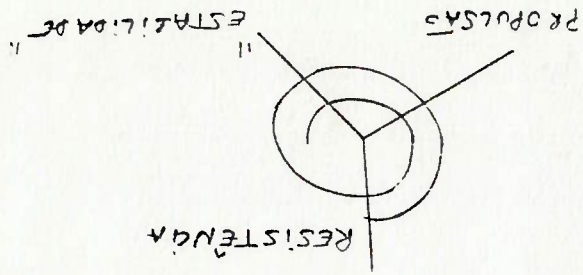


Fig. 5 - Sub-Espiral de Desempenho

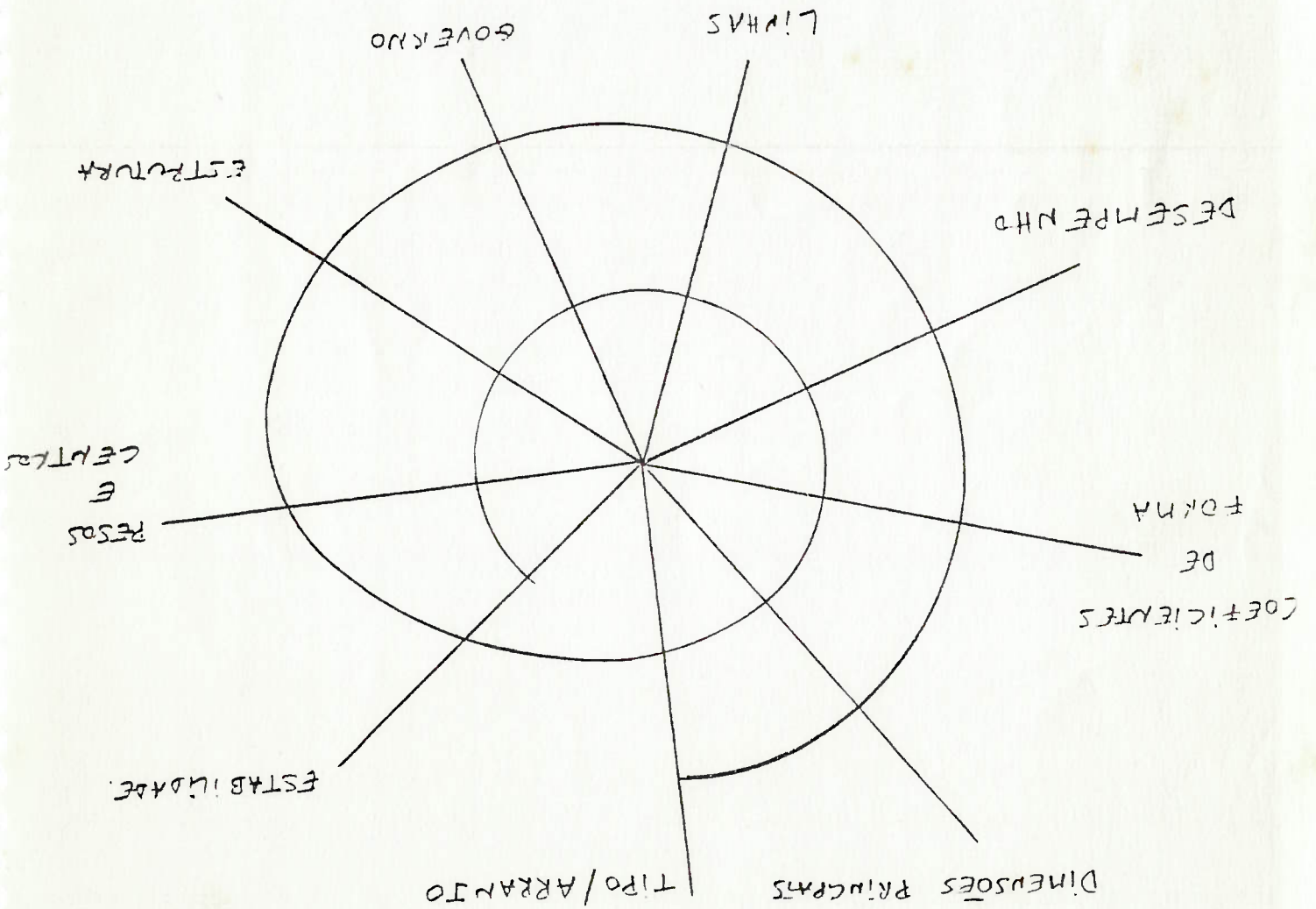


Fig. 4 - Espiral de Projeto

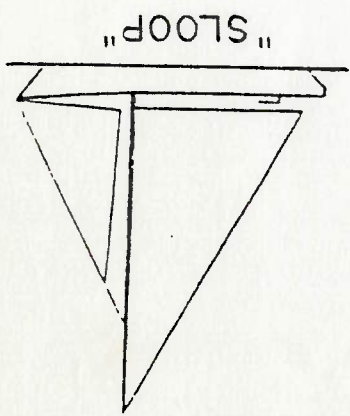
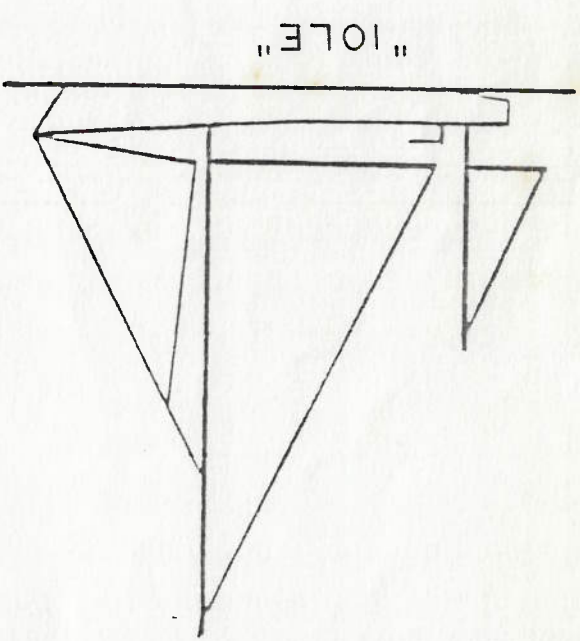
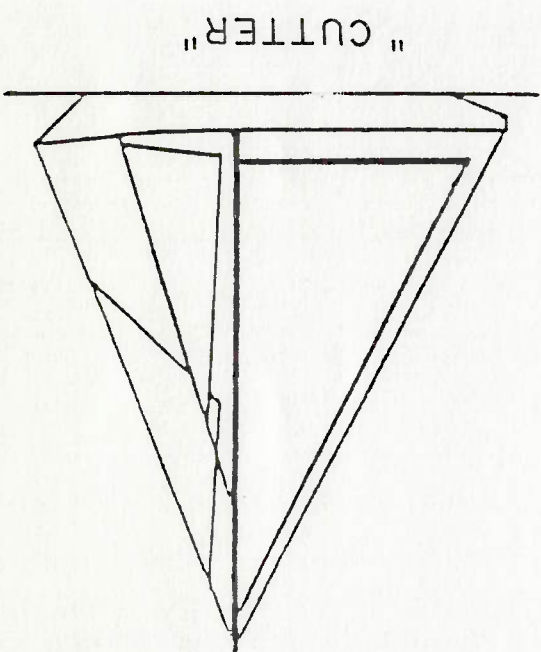
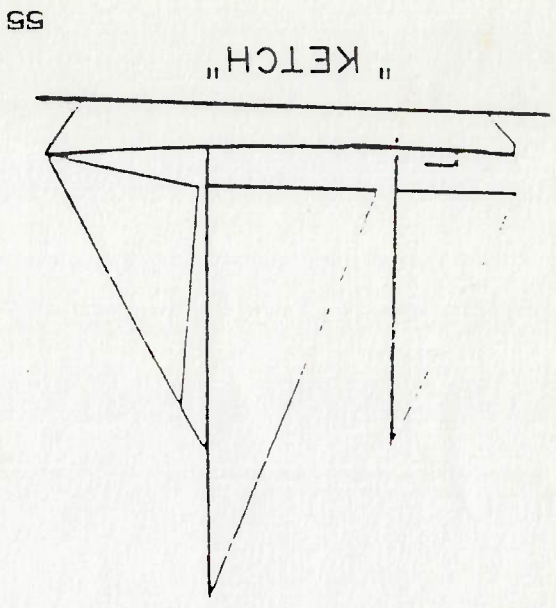
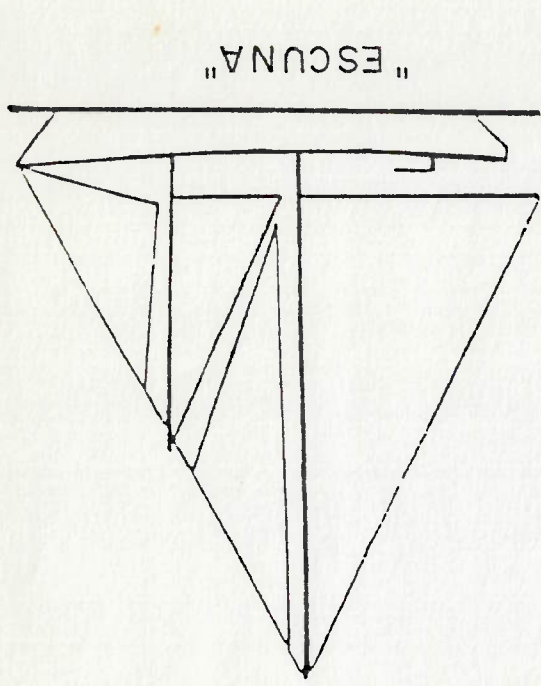


Fig. 6 - Tipos de Combinação De Vela [Ref. 38]

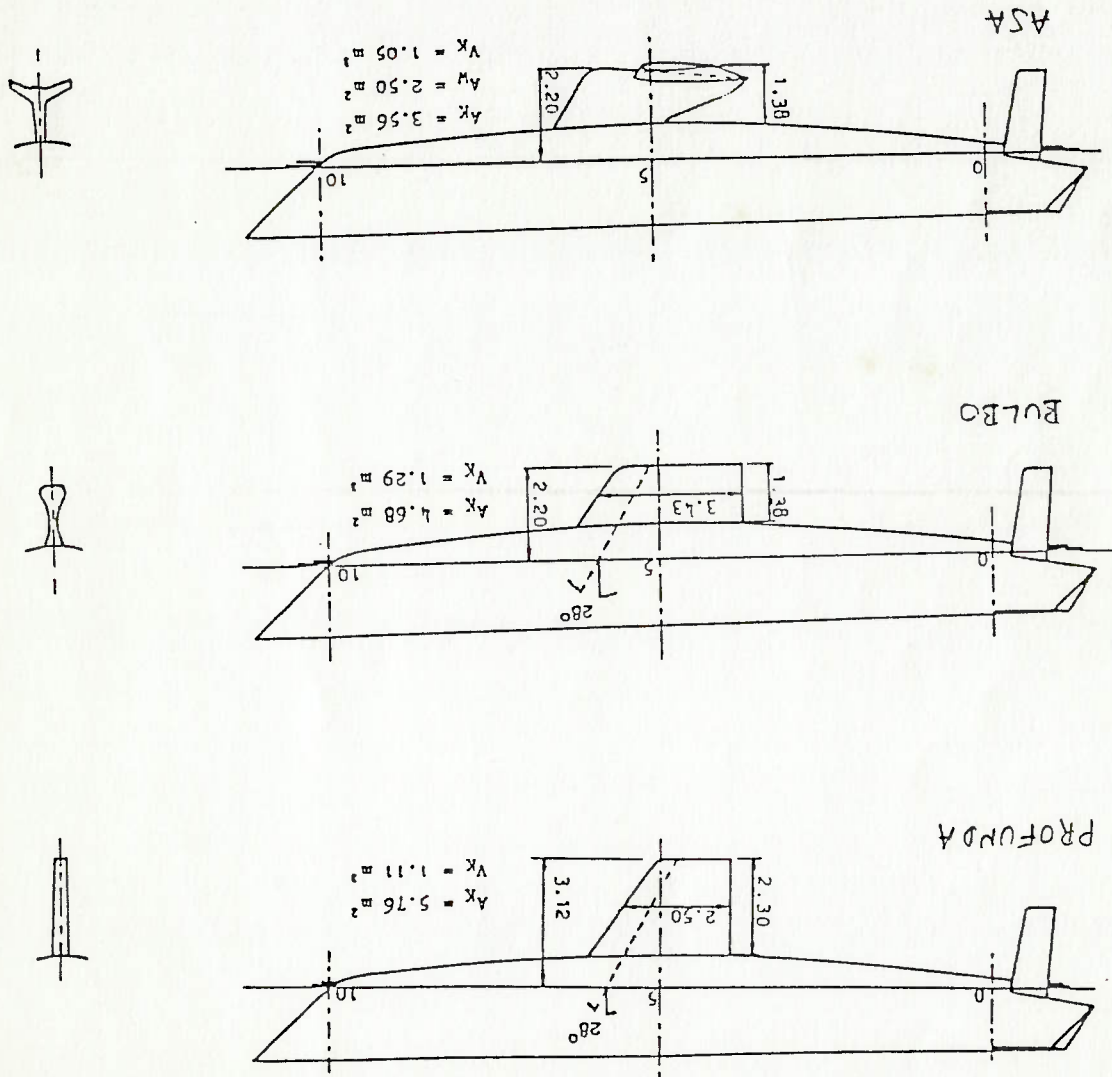


Fig. 7 - Tipos de Quilha [Ref. 11]

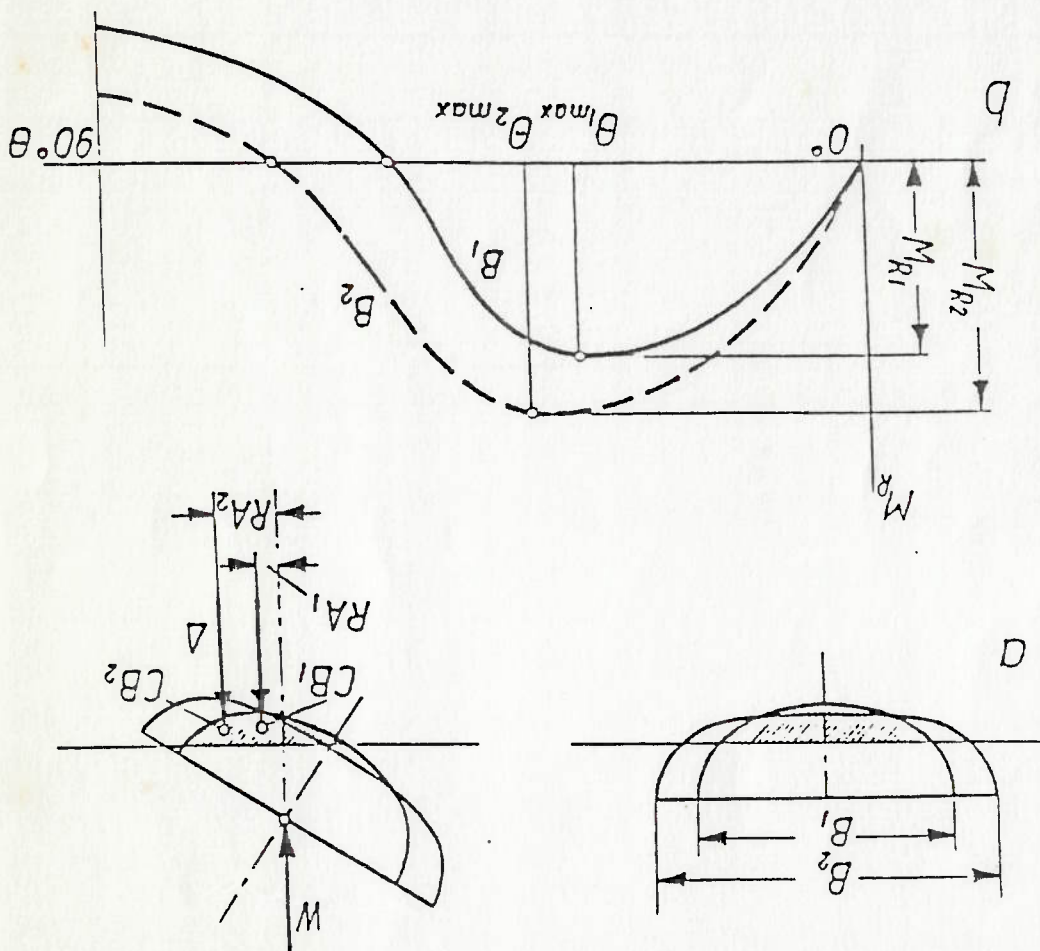


Fig. 8 - Efeito da Boca sobre a Estabilidade [Ref. 4]

Fig. 9 - Efeito da Borda Livre (e Pontal)  
sobre a Estabilidade [Ref. 4]

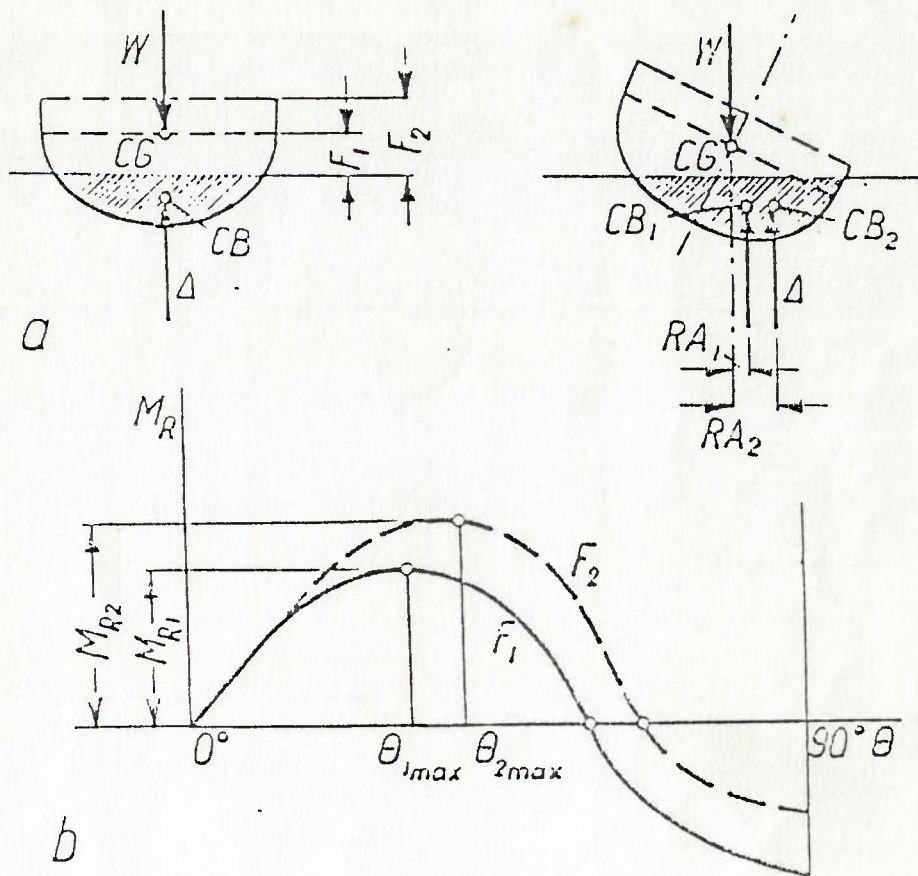
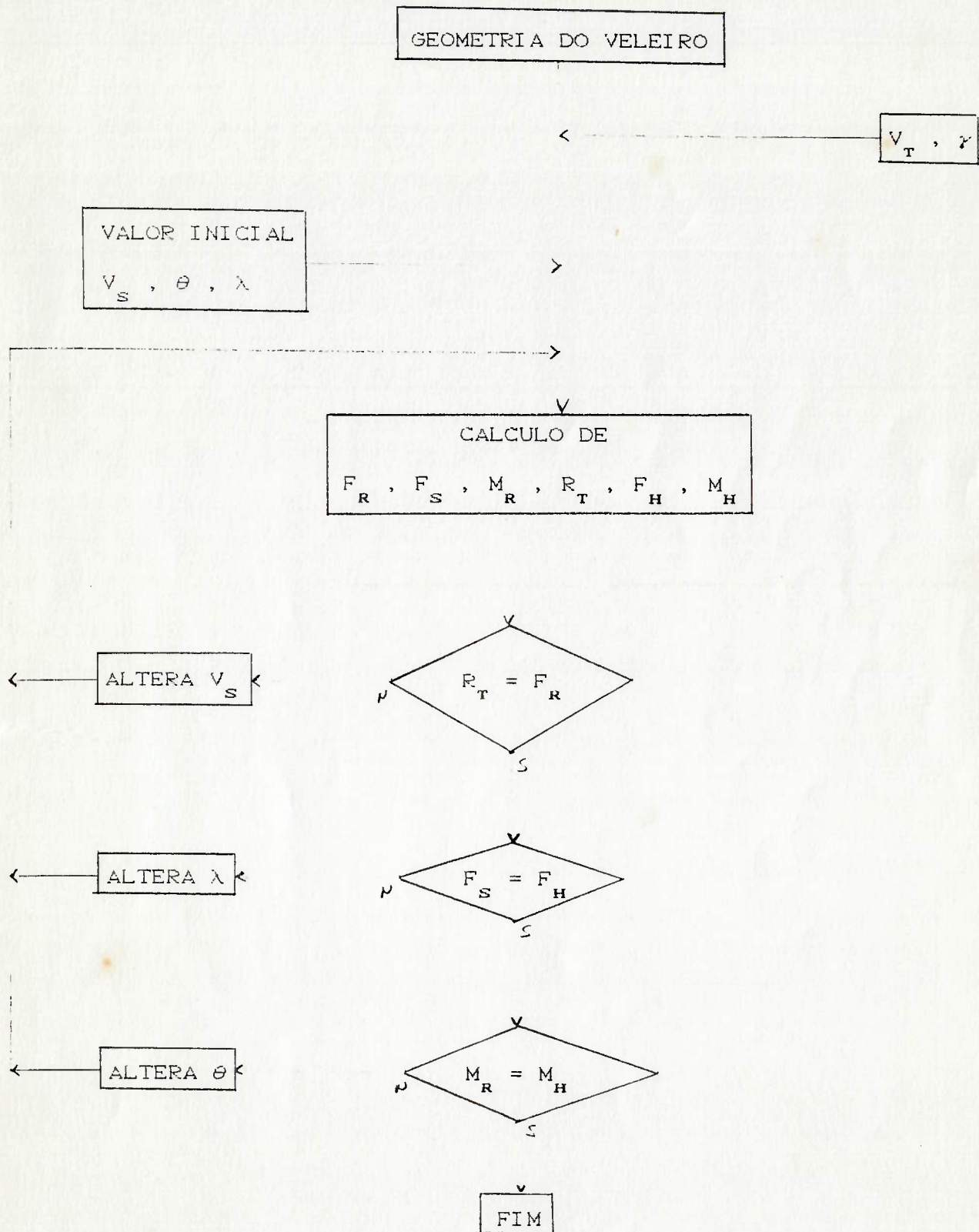
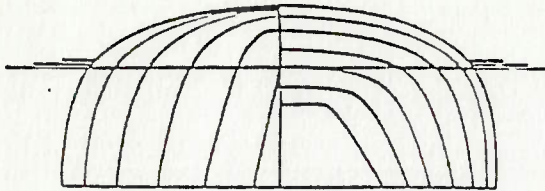


Fig. 10 - Diagrama de Blocos



$B_{HL}/T_c = 5.2$   
 $L_{HL}/B_{HL} = 4.0$   
 $L/\Delta y = 6.0$

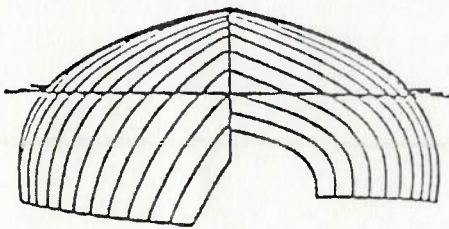
SÉRIE II



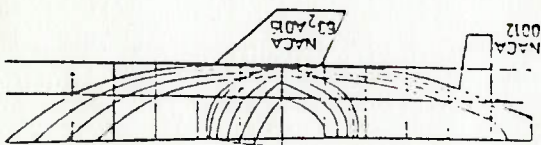
Série II

$B_{HL}/T_c = 4.01$   
 $L_{HL}/B_{HL} = 3.17$   
 $L/\Delta y = 4.78$

SÉRIE I



1



Série I

Fig. 11 - Planos de Linha da série DELFT [Ref. 23 e 25]



Fig. 12 - Evolução da quilha na Classe 12 m [Ref. 2]

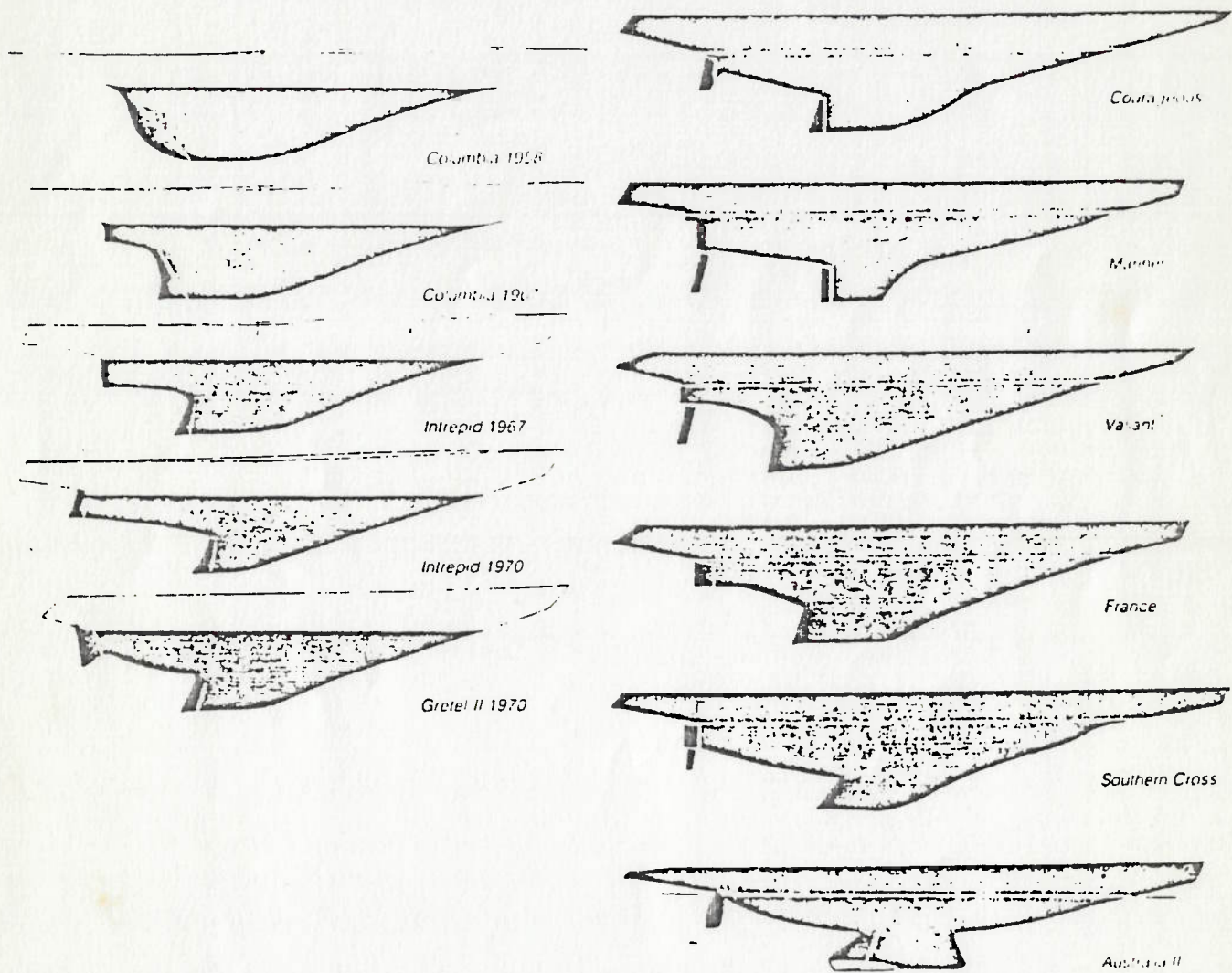
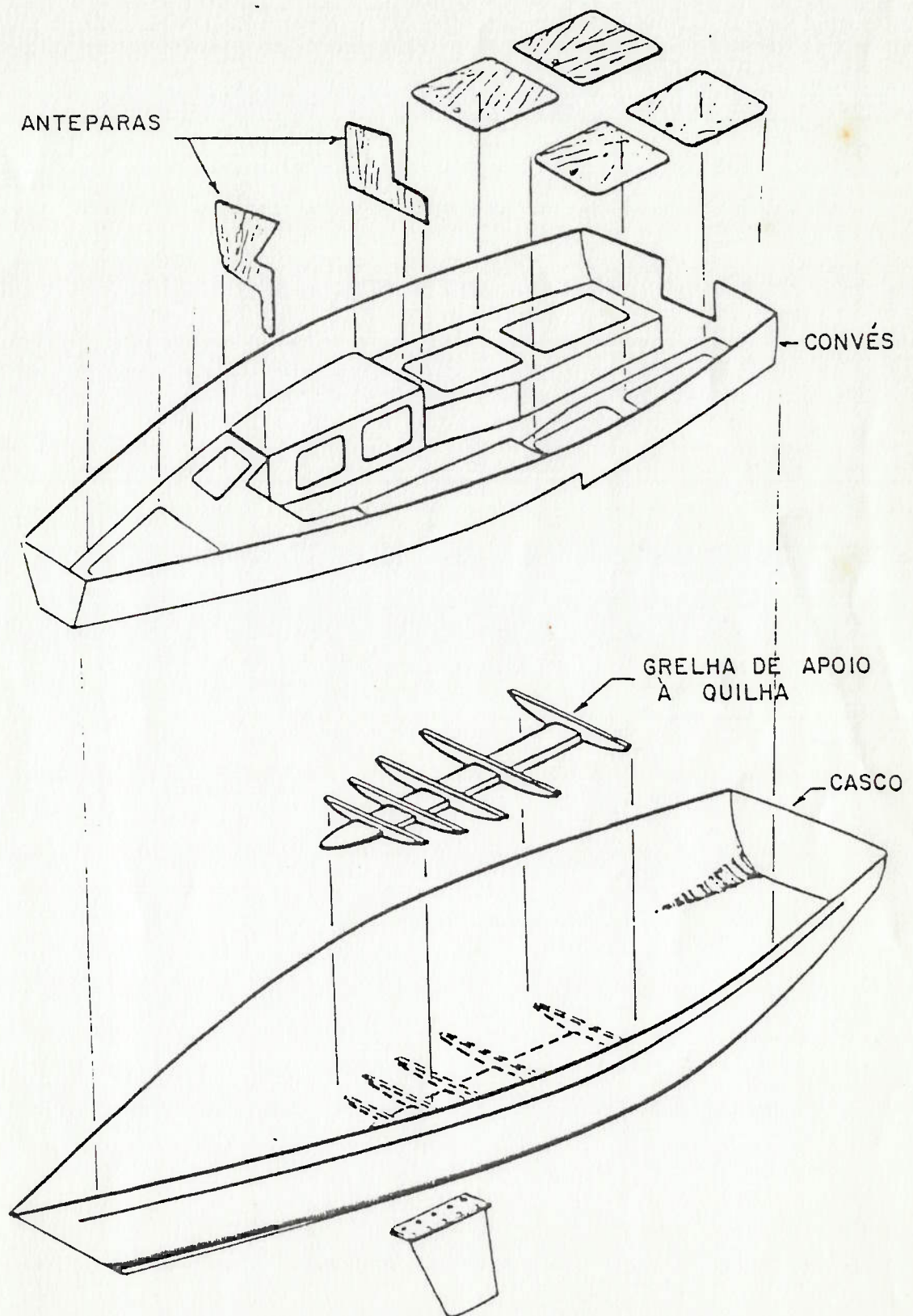


Fig. 13 - Montagem geral do Veleiro [Ref. 47]



#### 4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA : EXEMPLO DE PROJETO

Neste capítulo será desenvolvido um projeto de Veleiro para que se possa aplicar a metodologia apresentada (Capítulo 3). Neste exemplo , pretende-se percorrer o primeiro ciclo da espiral de projeto , partindo-se de um conjunto de requisitos básicos (requisitos de projeto). Neste sentido todos os itens da espiral serão abrangidos , exceto o arranjo interno , por se tratar de uma parte muito subjetiva , ampla e de muitas possibilidades , fugindo assim do escopo desta dissertação.

##### 4.0. Requisitos de Projeto

A título de exemplo , será considerado um Veleiro de travessia oceânica , de médio porte. Suponhamos que o "cliente" queira um Veleiro de 33 pés ( $\cong 10$  m) com melhor desempenho possível e conforto suficiente para 4 tripulantes. O Veleiro deve ser também confiável visto que será utilizado em Cruzeiro , em longas viagens.

A seguir serão analisados os itens da espiral de projeto. Como em uma embarcação convencional , na prática , pode-se suprimir algum item em algum ciclo. Neste exemplo será percorrido o ciclo uma só vez. Não se objetiva chegar a um projeto (inclusive porque não será feito o arranjo) final e sim ilustrar a utilização desta dissertação.

##### 4.1. Tipo / Arranjo

De acordo com os requisitos de projeto , deverá ser obtido um Veleiro que , atendendo as exigências de conforto e segurança , tenha o melhor desempenho. Pode ocorrer de uma opção ter melhor desempenho e menor conforto. Caberá ao projetista apresentar ao cliente as vantagens de um e de outro. A decisão , nesta situação , terá um fator subjetivo muito forte. Se uma solução for a melhor em todos os aspectos , não haverá dificuldade na escolha do modelo e na determinação de suas características básicas.

Por tratar-se de Veleiro de travessia oceânica , não há dúvida quanto ao tipo de quilha : deve ser tipo profunda , de grande altura e razão de aspecto.

O Veleiro será do tipo monocasco , com um só mastro estaiado e uma cruzeta , constituindo-se de uma vela Mestra e uma Buja/Genoa ou Balão. Estas considerações , na verdade , são limitações desta dissertação , como visto anteriormente. Apesar da limitação , constitui a melhor opção de acordo com os requisitos de projeto , pois o Veleiro tipo monocasco leva a um maior conforto e segurança , como já observado. O mastro único estaiado, com cruzeta é preponderante em Veleiros atuais deste porte.

Não será feito o arranjo de cabine devido à subjetividade deste item (não há parâmetros objetivos para isto).

#### 4.2. Dimensões Principais

Em um primeiro ciclo de projeto , pode-se estimar as dimensões através das curvas de embarcações semelhantes (Anexo C). Deve-se atentar para o fato de que , já no primeiro ciclo , estas dimensões podem ser alteradas em função do(s) modelo(s) escolhidos da série adiante.

Através das curvas de embarcações semelhantes (Anexo C) chega-se a:

$$L_{WL} = 9 \text{ m}$$

$$B = 4 \text{ m}$$

$$H = 2 \text{ m}$$

$$\Delta = 8000 \text{ Kg (80000 N)}$$

$$AV = 80 \text{ m}^2$$

$$\text{Lastro} = 4000 \text{ Kg (40000 N)}$$

$$\text{Potência Auxiliar} = 50 \text{ HP}$$

$$I = 14 \text{ m}$$

$$J = 4 \text{ m}$$

$$P = 12 \text{ m}$$

$$E = 3 \text{ m}$$

Apesar de não constar nas curvas de embarcações semelhantes , será atribuído um valor para o pontal (D) devido à importância no cálculo do desempenho (parâmetro no cálculo do braço do momento de emborcamento). Por outro lado , é também importante no requisito conforto , uma vez que determina a altura da cabine. De acordo com o requisito de projeto (travessia oceânica com conforto e segurança para os tripulantes) será arbitrado um valor de 2m para o pontal. Além disto haverá uma distância também de 2m entre a retranca da vela Mestra e o cockpit (área externa utilizada

para navegação). A cabine normalmente possui um ressalto (assumiremos o valor de 1m) , de forma que , descontando o duplo fundo (aproximadamente 0.5m) , chega-se a um pé-direito de aproximadamente 2.5m.

#### 4.3. Coeficientes de forma

Em uma embarcação convencional , normalmente , os coeficientes de forma são parâmetros importantes de entrada em séries sistemáticas. No caso de Veleiros , a série que se dispõe (DELFT) não possui modelos em número suficiente para que se tenha uma regressão em função de coeficientes adimensionais. Portanto não será feita nenhuma estimativa inicial dos coeficientes de forma. No item referente ao desempenho , os coeficientes ( $C_p$  , B/H , etc.) estarão automaticamente definidos em função do(s) modelo(s) escolhido(s).

#### 4.4. Desempenho

Esta é talvez a parte mais trabalhosa no que diz respeito aos cálculos. Para tanto serão utilizados as rotinas desenvolvidas (Anexo B). Em uma primeira etapa , todos os modelos serão testados (testes 1 a 5). O objetivo desta primeira etapa é selecionar alguns modelos , possíveis candidatos. Nesta etapa é utilizada uma versão que calcula o desempenho de todos os modelos para as dimensões obtidas

anteriormente. A seguir seleciona-se alguns modelos que apresentem melhor desempenho. Para estes modelos selecionados faz-se , de forma independente , uma análise de seu potencial (teste 6) , alterando-se algumas características básicas que interferem no desempenho como : altura da quilha , lastro , altura da vela Mestra (P) , esteira da vela Mestra (E). Deve-se observar que alguns parâmetros estão amarrados e não podem ser alterados sem critério. Por exemplo , o centro de gravidade do lastro é função do lastro e da geometria da quilha escolhida ; A altura do mastro é função da altura da vela Mestra e da distância entre a retranca e o deck.

Teste : 1

Vt : 8                       $\gamma$  : 30

Características :

Lwl : 9	I : 14	W1 : 40000
D : 2	J : 4	KG1 : -1.2
zr : 1.25	P : 12	
cr : 0.8	E : 3	
zk : 1.5	H : 14	
ck : 2		

Resultados :

Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs	Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs
1	3.0	13.8	3.35	15	2.9	14.3	3.33
2	2.7	16.4	3.37	16	2.6	12.7	3.20

3	3.3	10.2	3.31	17	3.2	13.1	3.29
4	3.0	17.4	3.46	18	3.1	13.5	3.30
5	2.9	9.2	3.18	19	3.0	14.0	3.34
6	2.7	12.4	3.23	20	2.9	14.2	3.32
7	3.2	15.1	3.42	21	3.2	16.8	3.43
8	3.0	12.8	3.33	22	3.1	8.7	3.12
9	3.0	9.3	3.36	23	3.2	12.8	3.41
10	3.0	14.3	3.33	24	9.0	53.2	3.81
11	3.0	16.6	3.33	25	3.7	20.1	3.71
12	3.0	17.3	3.46	26		*	
13	3.0	17.8	3.47	27	2.9	16.1	3.47
14	3.0	16.3	3.43	28	5.4	30.4	4.05

Teste : 2

Vt : 4                       $\gamma$  : 30

Características :

Lwl : 9

I : 14

Wl : 40000

D : 2

J : 4

KGl : -1.2

zr : 1.25

P : 12

cr : 0.8

E : 3

zk : 1.5

H : 14

ck : 2

Resultados :

Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs	Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs
1	2.0	3.9	2.30	15	1.8	4.3	2.33
2	1.7	5.1	2.37	16	1.7	3.8	2.15



3	2.2	2.8	2.21	17	2.1	3.7	2.24
4	1.9	5.1	2.44	18	2.1	3.8	2.26
5	1.9	2.6	2.14	19	1.9	4.1	2.33
6	1.7	3.7	2.19	20	1.9	4.3	2.35
7	2.1	4.1	2.37	21	2.1	4.8	2.35
8	2.0	3.7	2.30	22	2.1	2.6	2.12
9	1.9	2.7	2.33	23	2.0	3.9	2.42
10	2.0	4.2	2.30	24	2.5	8.0	2.79
11	2.0	4.8	2.30	25	2.1	6.5	2.78
12	1.9	5.0	2.43	26	3.1	12.6	3.00
13	1.9	5.3	2.44	27	1.6	5.2	2.55
14	1.8	5.0	2.52	28	2.2	9.5	3.06

Teste : 3

Vt : 12             $\gamma$  : 30

Características :

Lwl : 9

I : 14

Wl : 40000

D : 2

J : 4

KGl : -1.2

zr : 1.25

P : 12

cr : 0.8

E : 3

zk : 1.5

H : 14

ck : 2

Resultados :

Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs	Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs
1	2.4	10.5	3.12	15	2.3	11.2	3.13
2	2.2	12.9	3.15	16	2.0	10.1	3.00

3	2.7	7.7	3.05	17	2.6	9.8	2.99
4	2.4	13.1	3.23	18	2.6	9.9	2.99
5	2.4	7.1	2.92	19	2.3	10.8	3.13
6	2.2	9.5	2.97	20	2.3	11.1	3.13
7	2.6	11.2	3.18	21	2.7	12.6	3.11
8	2.4	9.7	3.08	22	2.6	6.7	2.85
9	2.4	7.1	3.13	23	2.5	10.0	3.18
10	2.4	11.0	3.10	24	4.5	24.7	3.55
11	2.5	12.6	3.10	25	2.9	16.6	3.46
12	2.4	13.2	3.23	26		*	
13	2.4	13.6	3.23	27	2.2	12.8	3.25
14	2.3	12.6	3.24	28	3.9	23.5	3.67

Teste : 4

Vt : 8                       $\gamma$  : 30

Características :

Lwl : 9

I : 14

W1 : 40000

D : 2

J : 4

KG1 : -1.7

zr : 1.25

P : 12

cr : 0.8

E : 3

zk : 2

H : 14

ck : 2

Resultados :

Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs	Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs
1	1.6	11.0	3.31	15	1.6	11.6	3.31
2	1.5	13.0	3.35	16	1.4	10.5	3.17

3	1.8	8.5	3.27	17	1.8	10.4	3.23
4	1.7	13.4	3.44	18	1.7	10.9	3.26
5	1.6	8.1	3.17	19	1.6	11.3	3.31
6	1.4	10.4	3.22	20	1.6	11.6	3.33
7	1.8	11.8	3.40	21	1.8	13.0	3.36
8	1.6	10.5	3.32	22	1.7	7.6	3.08
9	1.6	7.8	3.33	23	1.7	10.1	3.39
10	1.6	11.8	3.34	24	2.8	19.2	3.85
11	1.7	12.9	3.31	25	2.0	14.8	3.65
12	1.7	13.4	3.43	26	7.1	28.4	4.16
13	1.7	13.8	3.44	27	1.6	12.2	3.44
14	1.6	13.0	3.42	28	2.6	19.3	3.98

Teste : 5

Vt : 8                       $\gamma$  : 30

Características :

Lwl : 9

I : 15

W1 : 40000

D : 2

J : 4

KG1 : -1.7

zr : 1.25

P : 13

cr : 0.8

E : 3

zk : 2

H : 15

ck : 2

Resultados :

Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs	Modelo	$\lambda$	$\theta$	Vs
1	1.7	13.0	3.38	15	1.7	13.4	3.36
2	1.6	15.4	3.42	16	1.5	12.3	3.23

3	1.9	10.2	3.33	17	1.8	12.3	3.32
4	1.8	15.5	3.49	18	1.9	12.3	3.31
5	1.7	9.2	3.23	19	1.7	13.2	3.36
6	1.6	11.9	3.27	20	1.7	13.4	3.35
7	1.9	13.8	3.47	21	1.9	15.3	3.44
8	1.7	12.1	3.39	22	1.8	8.7	3.14
9	1.7	9.3	3.39	23	1.9	11.8	3.44
10	1.8	13.4	3.37	24	3.5	24.4	3.93
11	1.8	15.2	3.37	25	2.2	17.9	3.73
12	1.8	15.6	3.49	26	12.3	39.4	4.29
13	1.8	16.0	3.50	27	1.7	14.3	3.50
14	1.7	14.8	3.45	28	3.1	23.6	4.07

De acordo com os testes acima mostrados percebe-se uma nítida superioridade de alguns modelos : os modelos 24 , 26 e 28. Os testes do modelo 26 possuem uma particularidade : este não apresentou solução em duas situações , em ventos moderado (teste 1) e forte (teste 3). Isto pode ser explicado pelo reduzido calado. Para este modelo , a estabilidade é um fator determinante e o mesmo deve ter uma quilha mais profunda e menor área vélica. Isto pode ser confirmado pelo teste 2 , em que apresentou , mesmo com vento fraco , ângulo de banda superior aos demais.

Outro aspecto importante a ser observado é a superioridade dos modelos da série II , como era de se esperar , uma vez que representam as formas mais atuais e mais eficientes.

Por outro lado , do ponto de vista de conforto são

também superiores por serem mais achatados (Ref. 23 e 25).  
Com isto ganha-se em espaço interno.

A seguir são mostrados os testes 6 e 7 , em que se utilizou uma versão do programa que permite alterações de alguns parâmetros de modo a facilitar a análise de sensibilidade dos três modelos.

Teste : 6

Vt : 8                     $\gamma$  : 30

Modelo : 24

	Características							Resultados		
	D	ck	zk	I	J	KGl	wl	$\lambda$	$\theta$	vs
1	2	2	2	16	4	-1.7	40000	3.8	26.7	4.03
2	2	2	2	16	4	-1.7	45000	3.2	21.3	4.03
3	2	2	2	17	5	-1.7	45000	9.4	54.5	4.39
4	2	2	2	17	4	-1.7	45000	3.8	25.6	4.06
5	2	2	2	16	5	-1.7	45000	5.8	36.9	4.44
6	2	2	2	16	5	-1.7	50000	4.4	27.9	4.43
7	2	2	2	16	5	-1.7	55000	3.8	24.0	4.44
8	2	2	2	16	5	-1.7	60000	3.5	21.3	4.51
9	2	2	2	16	5	-1.7	65000	3.2	19.1	4.51
10	2	2	2	16	5	-1.8	40000	17.9	88.2	4.22

Obs. : configuração ótima em negrito

Teste : 6

Vt : 8                     $\gamma$  : 30

Modelo : 26

	Características							Resultados		
	D	ck	zk	I	J	KG1	wl	$\lambda$	$\theta$	vs
1	2	2	2	15	5	-1.7	40000	37.1	86.3	4.95
2	2	2	2	15	5	-1.7	45000	27.3	60.0	4.60
3	2	2	2.5	15	5	-2.2	45000	6.7	27.0	4.81
4	2	2	2.8	15	5	-2.5	45000	4.7	22.4	4.87
5	2	2	2.8	15	5	-2.5	50000	3.7	19.2	4.93
6	2	2	3.0	16	5	-2.5	50000	3.0	17.2	4.88
7	2	2	2.8	15	5	-2.5	<b>55000</b>	<b>3.0</b>	<b>16.9</b>	<b>4.95</b>
8	2	2	2.8	15	5	-2.5	60000	2.6	15.0	4.94
9	2	2	2.0	15	5	-1.7	55000	8.2	30.6	4.92
10	2	2	2.0	12	4	-1.0	50000	8.1	35.1	3.84

obs : 1) tentativas (9) com quilha-Bulbo e (10) com quilha-Asa

2) Configuração ótima em negrito

Teste : 6

Vt : 8  $\gamma$  : 30

Modelo : 28

	Características							Resultados		
	D	ck	zk	I	J	KG1	wl	$\lambda$	$\theta$	vs
1	2	2	2.0	16	5	-1.7	45000	4.9	33.7	4.80
2	2	2	2.0	16	5	-1.7	50000	4.0	27.7	4.70

3	2	2	2.5	16	5	-2.2	45000	2.7	24.1	4.63
4	2	2	2.8	16	5	-2.5	45000	2.0	21.1	4.60

Neste ponto , pode-se eliminar mais um modelo , o número 28 , pois além de ter desempenho inferior aos modelos 24 e 26 , é mais estreito (Ref. 25) e , portanto , tem potencialmente menor no que diz respeito ao conforto interno. Quanto aos modelos 24 e 26 , curiosamente há um "empate" : o primeiro possui desempenho pouco inferior ao modelo 26 , mas é mais largo (Ref.25) possibilitando assim melhor aproveitamento interno. A seguir é feito um teste com os dois modelos para duas intensidades de vento e para todas as direções de velejamento.

Teste : 7

Modelo : 24 / 26

Configuração ótima obtida

$\gamma$	Modelo 24		Modelo 26	
	$V_T = 4$	$V_T = 8$	$V_T = 4$	$V_T = 8$
30	3.52	4.51	3.25	4.95
60	3.17	4.51	3.15	4.93
90	2.84	4.19	2.76	4.49
120	2.27	3.79	2.17	3.91
150	1.89	3.29	1.79	3.37
180	1.67	2.63	1.62	2.76

Este teste revelou uma pequena superioridade do modelo 24 em ventos fracos. Por outro lado, como as diferenças não são significativas, a escolha recairá no modelo 24 pois, como foi dito, é mais largo e portanto permite melhor aproveitamento interno. Na figura 14 é mostrado o diagrama polar do modelo 24 correspondente ao teste 7.

#### 4.5. Linhas

Nesta etapa do ciclo, uma vez definido o modelo escolhido, será apresentado o plano de linhas deste modelo (Ref. 25) na figura 15.

#### 4.6. Governo

Para os modelos da série DELFT é utilizado o mesmo leme, para poder compara-los. O autor utilizará a maior razão  $A_R / S_c$ , para obter melhor manobrabilidade. Como foi visto no capítulo 3, a série DELFT (até a série II) não leva em consideração o leme no cálculo do desempenho, entretanto, sabe-se que maior área de leme produz uma importante parcela de força induzida (força lateral  $F_S$ ) somando-se à quilha e ao casco.

$$A_R / S_c = 0.133 \quad \alpha \quad A_R = 2.64 \text{ m}^2$$

O sistema de governo a ser utilizado será a cana-de-leme. Para este porte de Veleiro (médio), a



roda-de-leme ocupa muito espaço do cockpit.

#### 4.7. Estrutura

O cálculo estrutural em si constitui também um processo iterativo. Alterando-se o espaçamento entre cavernas e longitudinais, obtém-se diferentes valores para espessura do chapeamento e módulo de secção dos enrijecedores. Não é objetivo deste trabalho otimizar o cálculo estrutural (para redução do peso) e, neste primeiro ciclo será feito somente uma comparação entre duas sociedades classificadoras: ABS e DNV. Para tanto será feito o cálculo de apenas alguns elementos estruturais.

Algumas hipóteses serão assumidas:

- a) Cavernamento transversal
- b) espaçamento entre cavernas gigantes: 1 m
- c) espaçamento entre longitudinais: 0.4 m
- d) Mastro estaiado com uma cruzeta (material: tubo de alumínio preenchido com espuma de poliuretano).
- e) Material laminado em fibra de vidro que atenda às especificações mínimas de resistência (as Sociedades Classificadoras permitem uma redução de escantilhão se utilizarmos fibra/resina de resistência superior).

Os resultados estão apresentados na página seguinte:

	DNV [46]	ABS [44]
1. Espessura do	$t = 6.5 \text{ mm}$	$t = 7.8 \text{ mm}$

chapeamento do fundo	[6.412]	[7.1.2]
2. Módulo da Caverna Gigante	$Z = 203 \text{ cm}^3$ [6.433]	$SM = 314 \text{ cm}^3$ [7.2.3.]
3. Módulo das Longitudinais do fundo	$Z = 11 \text{ cm}^3$ [6.422]	$SM = 16 \text{ cm}^3$ [8.2.4]
4. Momento de Inércia da secção transversal do mastro	$I_x = 18 \text{ cm}^4$ $I_y = 55 \text{ cm}^4$ [5.432]	*

Obs.: O ABS não apresenta expressão para o cálculo do momento de inércia da secção transversal do mastro.

#### 4.8. Pesos e centros

Neste primeiro ciclo de projeto não é necessário um cálculo muito detalhado do centro de gravidade e pesos dos elementos constituintes do Veleiro. Serão vistos através de formulações empíricas somente para avaliar a ordem de grandeza e conferir o deslocamento. Em ciclos posteriores isto deve ser feito com mais detalhe. Por exemplo, otimizando-se a estrutura, tem-se como refinar o cálculo do peso e centro de gravidade do casco, sem a necessidade de se utilizar formulações empíricas. Serão considerados

somente os itens mais preponderantes.

Elemento	Peso (N)	Centro de Gravidade (m)
1. Casco	43.000	+ 1.6
2. Lastro	60.000	-1.7

---


$$\Delta = 103.000 \text{ N}$$

$$KG = - 0.32 \text{ m}$$

#### 4.9. Estabilidade

Neste primeiro ciclo de projeto será apenas analisado a estabilidade inicial através do raio metacêntrico. Na figura 16 será mostrado a curva de  $MR \times \theta$ .

$$GM = 1.377 \text{ m (eq. 36)}$$

$$GM_{\min} = 0.537 \text{ m (eq. 42)}$$

Percebe-se que o Veleiro, com as características obtidas anteriormente, satisfaz com folga o critério de estabilidade inicial mínima, uma vez que  $GM > GM_{\min}$ . No ciclo seguinte pode-se refinar a análise de sensibilidade de forma a reduzir o lastro, desde que não comprometa o desempenho.

Fig. 14 - Diagrama Polar do Veleiro (modelo 24)

DIAGRAMA POLAR

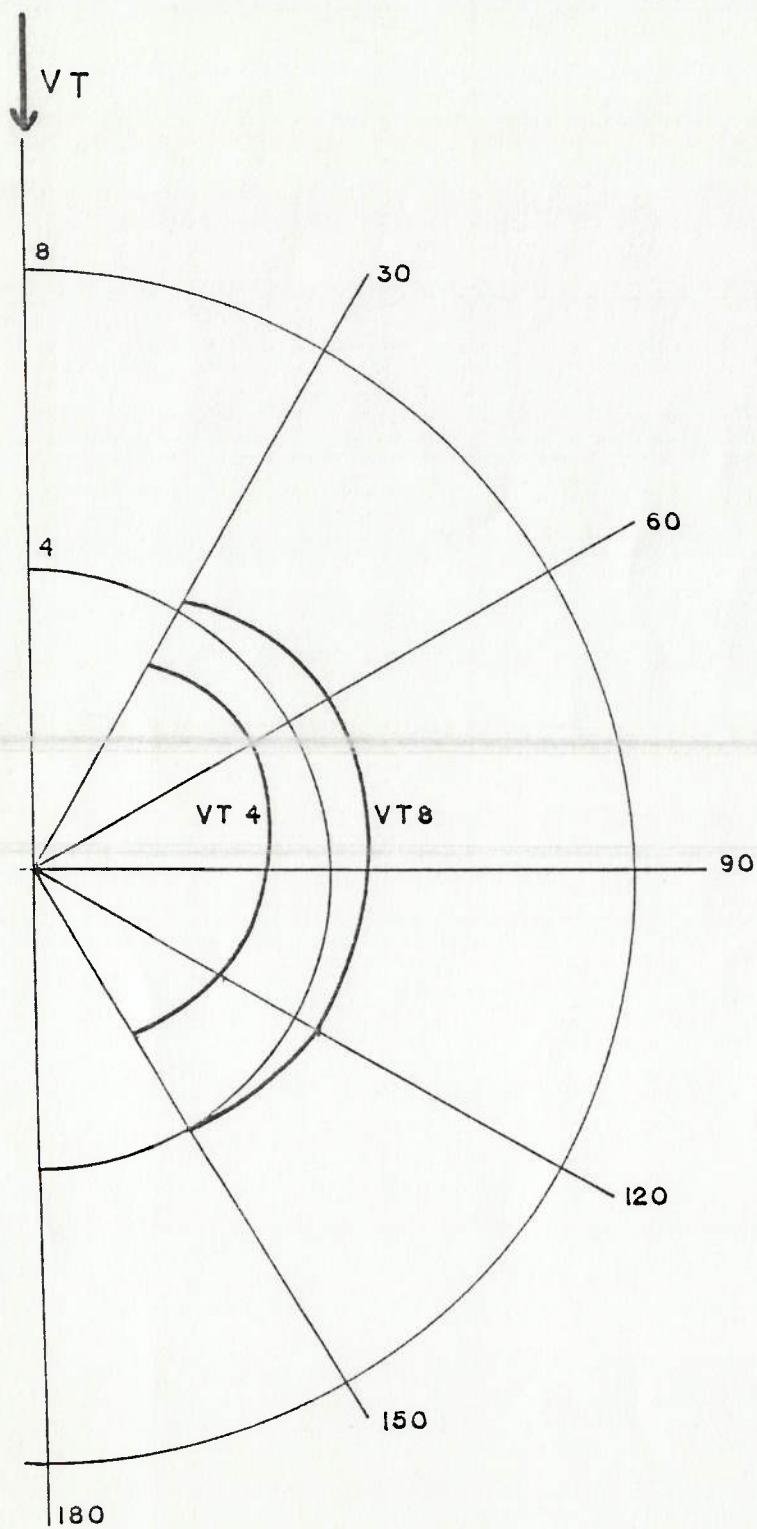


Fig. 15 - Planos de Linhas (modelo 24)

[Ref. 25]



NR.24

$$L/B = 3.5$$

$$L/\Delta^{1/3} = 7.0$$

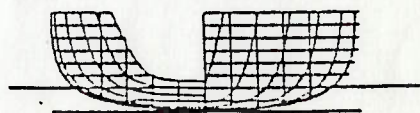


Fig. 16 - Curva de MR x  $\theta$

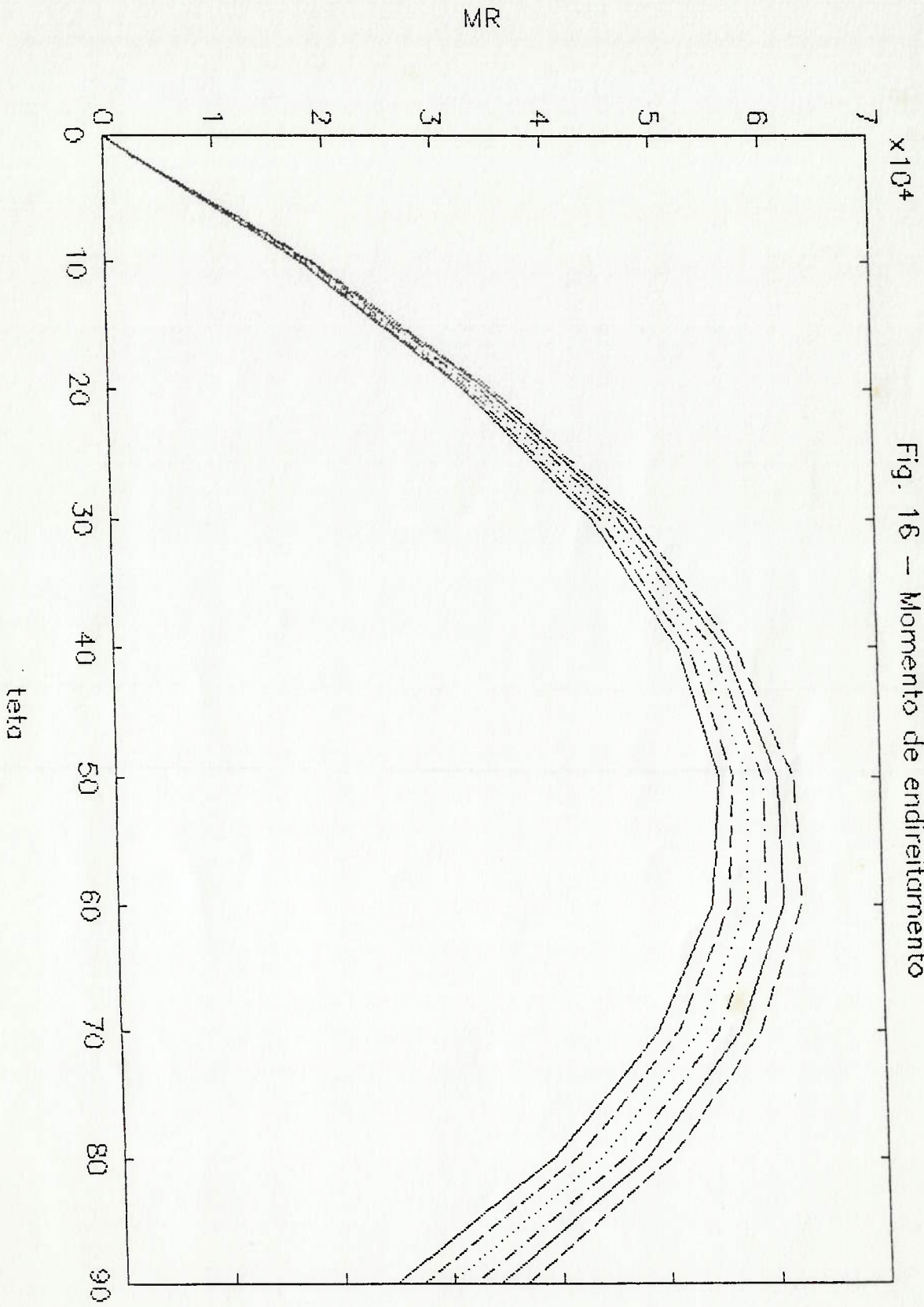


Fig. 16 - Momento de endireitamento

## 5. DISCUSSÃO

Neste capítulo é feita uma discussão sobre os resultados obtidos, bem como das decisões sobre a escolha de um ou outro modelo durante o processo.

### 5.1. Tipo/ Arranjo

É interessante ressaltar a nítida superioridade da quilha profunda sobre as quilhas Bulbo e Asa, principalmente sobre esta. A quilha Bulbo até teve desempenho próximo, no entanto, não é realista ter-se uma quilha Bulbo de 2m, e com menor profundidade teria menor eficiência.

### 5.2. Desempenho

Fica evidente que não é somente o desempenho o critério de escolha de um determinado casco, mas conforto e segurança também. Não foram analisados aspectos de segurança relacionados com a estrutura. Esta tem como ponto principal o mastro do Veleiro. Esta análise foge ao escopo deste trabalho. Não se analisou também a curva de momento de endireitamento. A análise limitou-se, por simplicidade, ao máximo ângulo de banda para cada modelo na condição de melhor desempenho.

Percebe-se também que há uma diferença muito pequena de desempenho entre alguns modelos (da ordem de 0.01 m/s),

o que na prática não caracteriza uma superioridade de um sobre o outro. O erro do processo , assim como o próprio manuseio do Veleiro superam em muito esta diferença.

### 1ª Fase : Teste de todos os modelos

Os três primeiros testes basearam-se nas características de embarcações semelhantes , para ventos moderado ( $V_T = 8$  m/s) , fraco ( $V_T = 4$ ) e forte ( $V_T = 12$ ). Em todos os testes o ângulo real foi  $\gamma = 30^\circ$ .

No teste 4 houve um aumento na altura da quilha e com conseqüente redução de KGl. Houve um pequeno aumento de  $V_g$  mas uma significativa redução de  $\lambda$  e  $\theta$ . Isto indica uma possibilidade de aumentar a área vélica com conseqüente melhoria no desempenho.

No teste 5 aumentou-se a área vélica e foi observado um pequeno aumento na velocidade. Isto se deveu ao fato de o aumento da área vélica ter sido na altura das velas , resultando em um aumento do momento de emborcamento com conseqüente aumento de  $\theta$ . A partir de certo valor de  $\theta$  (por volta de  $30^\circ$  dependendo do modelo) , a resistência aumenta consideravelmente diminuindo a eficiência do Veleiro. Isto ratifica o que foi exposto na teoria de que o ângulo de banda deveria estar limitado a  $30^\circ$ .

Em todos os testes realizados nesta primeira fase , os modelos 24 , 25 , 26 e 28 mostraram-se claramente superiores aos demais. Isto já era esperado de certa forma , pois são os modelos da série II com desenho mais moderno. Nestes , o



conceito de que a quilha é responsável pela estabilidade transversal (KG baixo) e pela diminuição da deriva (maior razão de aspecto) ficam mais evidentes. Nesta fase foi utilizada a versão 1 do programa VELEIRO , que fornece o desempenho de todos os modelos.

## 2ª Fase : Teste dos modelos escolhidos (24 , 26 e 28)

Os modelos de melhor resultado foram o 26 e o 28. Estes são os mais "achatados" e de menor calado. Isto confirma a tendência de a forma do casco contribuir pouco para estabilidade e diminuição da deriva. O modelo 28 foi o que apresentou piores resultados. O modelo 26 foi o melhor , embora necessite de quilha mais profunda para para poder explorar sua potencialidade. As características de cada modelo também devem ser levadas em consideração. Os modelos escolhidos foram o 24 e o 26. Embora o 24 apresente desempenho pouco inferior ao 26 possui maior boca (40 cm a mais - Ref. 25) possibilitando melhor aproveitamento interno.

Com o modelo 24 foram realizadas algumas experiências. O aumento de I (altura da Genoa) e do lastro ( $wl$ ) levaram a um pequeno aumento de  $V_s$ . O pontal não deve ser inferior a 2 m devido ao pé direito da cabine. O aumento de J (esteira da Genoa) mostrou ser mais eficiente no desempenho , pois aumenta-se a área vélica sem aumento maior no momento de emborcamento (só aumenta a força de banda).

É interessante observar que apesar de o aumento de  $wl$

resultar na melhoria do desempenho , esta se dá a um custo alto demais. Para um aumento de 33.3% de  $w_l$  (45000 para 60000) ganha-se somente 2.7% em desempenho. Para um Veleiro de cruzeiro não é vantajoso.

Ficou claro também a desvantagem da quilha asa em relação à profunda. O desempenho é menor. Como já foi dito , em Veleiros de competição tornou-se a grande "sensação" devido às características peculiares destes e das restrições das categorias com relação ao calado. A quilha bulbo pode ser interessante em algumas situações pois permite o maior abaixamento do centro de gravidade do lastro (KGl). Do ponto de vista construtivo , a quilha profunda é mais simples.

### 3<sup>ª</sup> Fase : Diagrama Polar (modelo 24)

O diagrama polar do modelo 24 é mostrado na figura 14. O programa apresenta uma convergência mais lenta para ângulo real de vento próximo de  $180^\circ$ . Isto se deve aos pequenos valores de  $\lambda$  e  $\theta$ . Escolheu-se o modelo 24 pelo que foi dito anteriormente (possui maior boca) além de ter obtido melhores resultados em ventos fracos. É claro que esta decisão é pessoal. Outro projetista , com diferentes requisitos de projeto , poderia escolher o modelo 26 , argumentando que o ganho na boca não é suficiente e que é mais interessante obter melhor desempenho com ventos mais fortes.

Continuação :

Neste ponto tem-se a conclusão deste ciclo. Os resultados devem ser reavaliados e , em ciclos mais avançados , deve-se pormenoriza-los. Por exemplo , assumiu-se que o centro de gravidade do lastro estaria a 30 cm acima da base da quilha. Deve-se , porém , verificar se o o centro de gravidade do lastro realmente está nesta posição. Para isto deve-se fazer um levantamento volumétrico da quilha. A altura do mastro também pode ser alterada , se assumirmos que a distância entre a retranca e o convés possa ser diminuída , o que pode causar desconforto na tripulação. E assim por diante , poderíamos ter outros exemplos de como o arranjo pode interferir nas características e , conseqüentemente , no desempenho do Veleiro.

### 5.3. Estrutura

O objetivo desta dissertação não foi o de esmiuçar e detalhar a estrutura do Veleiro. Ficou claro a importância das Sociedades Classificadoras , especialmente pela agilidade que estas conferem ao projeto básico . Ficou evidente também , em função dos resultados obtidos , que o ABS leva a maiores escantilhões , embora seu uso seja relativamente mais simples.

### 5.4. Estabilidade

O modelo 24 , em sua configuração ótima (final) possui

excelente estabilidade , com altura metacêntrica (GM) bastante acima do valor mínimo requerido. Pode-se perceber também que , ao longo dos testes realizados , a estabilidade deve ser melhorada para que o Veleiro melhore seu desempenho.

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo ser uma orientação para o projeto básico de Veleiros de cruzeiro. A parte teórica aborda conceitos importantes a respeito dos fenômenos que envolvem o problema, além de uma análise dos parâmetros envolvidos no desempenho do Veleiro. A idéia da interação do projetista com o programa se manteve e mostrou-se útil. A busca do desempenho ótimo nem sempre é o mais recomendado para um Veleiro de cruzeiro. O melhor exemplo disto (referente aos resultados do capítulo 4, discutidos no capítulo 5) foi o aumento de apenas 2.7% na velocidade correspondente ao acréscimo de 33.3% no lastro.

O programa apresentou demora na convergência em duas situações. A primeira foi a falta de estabilidade de um modelo. Esta pode ser contornada com um número maior de interações. A segunda refere-se a ângulo real do vento próximo de  $180^\circ$ . Neste caso, o problema são os baixos valores de  $\lambda$  e  $\theta$ . Para contornar este problema, optou-se por aumentar o erro na igualdade da força lateral e do momento transversal. Como os valores de  $\lambda$  e  $\theta$  são muito pequenos (abaixo de  $1^\circ$ ) o equilíbrio pode ser reduzido às forças longitudinais.

Para maior velocidade, poderia ser feito um estudo de convergência do programa (chegou a ser feito um do tipo tentativa e erro), além de reduzir a duas o número de subrotinas. As três rotinas de casco poderiam ser condensadas em uma só, assim como as três rotinas de vela.

Com isto o programa tornar-se-ia mais rápido.

Para que o programa refletisse mais corretamente a realidade, a área vélica deveria alterar de forma mais discretizada com o vento real. Percebendo-se que há um desempenho ótimo para  $\theta$  por volta de  $30^\circ$  (dependendo do modelo), a área vélica poderia ter um critério que estivesse amarrado com isto. Este estudo é mais complicado, pois pode fazer com que o resultado nunca tenha convergência.

Deve-se observar que o programa permite uma grande liberdade ao projetista. Não se pode esquecer, entretanto, que alguns parâmetros estão amarrados, como por exemplo o lastro ( $wl$ ), a altura da quilha ( $zk$ ), a posição vertical do centro de gravidade do lastro ( $KGl$ ) e o tipo de quilha.

Futuros trabalhos podem ser interessantes de forma a facilitar o projeto básico de um Veleiro. Seria interessante que tivéssemos curvas de regressão em função de parâmetros geométricos e não de modelos. Para isto é necessário que haja a continuação da série. Neste caso teríamos a tabela de cotas do Parent model e com alterações de escala chegaríamos a outras configurações. Esta tabela só está disponível na literatura para os modelos da série I. Com isto a entrada de parâmetros geométricos poderia ser feita por auxílio de um CAD. Uma das grandes vantagens da configuração por CAD é a possibilidade de cortes em posições quaisquer a fim de estudar o arranjo interno do Veleiro. O trabalho pode também ser adaptado a catamarãs e trimarãs desde que se conheçam resultados experimentais ([51] e [52]) e se façam as adaptações necessárias (como a introdução do adimensional  $S/L$

, onde  $S$  é a distância entre os cascos).

A continuação mais importante, no entanto, é a aplicação deste trabalho ao projeto de navios mercantes com propulsão eólica. Há alguns navios construídos ([32] e [33]) no mundo. Além disto as condições de vento na costa brasileira são bastante favoráveis (moderado constante) de acordo com a referência [34].

Esta dissertação possui algumas limitações, principalmente no que se refere a não avaliação quantitativa de algumas variáveis e alguns parâmetros. O autor optou, porém pela coerência e simplicidade do trabalho de acordo com os resultados experimentais da série DELFT. A linha mestra desta dissertação pode ser complementada quando houver novos dados disponíveis. O mais importante desta dissertação é a compreensão dos fenômenos associados ao Veleiro.

## ANEXO A : Glossário

- Adriça (Halyard) : cabo de içar (suspende) a vela
- Arribar : afastar a proa do vento
- Balão (Spinnaker) : vela usada a favor do vento
- Barlavento (Windward) : lado do vento
- Bordejar (Tacking) : cruzar a direção do vento em orça
- Brandal (Shroud) : cabo lateral de sustentação do mastro
- Buja (Jib) : vela pequena de proa
- Burro da retranca (Kicking Strap) : sistema que une o  
mastro à retranca e  
mantém esta  
tracionada
- Cambar : mudar de bordo
- Cana-de-leme (Tiller) : barra de comando do leme
- Carlinga (Tabernacle) : peça de apoio ao mastro
- Catraca (Winch) : "tambor" para enrolar o cabo da escota
- Corrida (Running) : a favor do vento
- Cruzeta (Spreader) : barra transversal ao mastro colocado  
em certa altura para distribuir os  
esforços nos brandais
- Derivar : andar para o lado , "derrapar"
- Escota (Sheet) : cabo de ajuste das velas
- Estai (Stay) : cabo longitudinal de  
sustentação do mastro
- Esteira (Foot) : parte de baixo da vela
- Fuzil : peça de fixação do macaco ao casco



- Garlindeu (Gooseneck) : junta que permite à retranca  
movimentos de rotação  
relação ao mastro
- Genoa (Genoa) : vela grande de proa
- Gurutil (Luff) : testa ou bordo de ataque da vela
- Leme de Barlavento (Windward Helm)
- Leme de Sotavento (Lee Helm)
- Macaco (Sleeve) : esticador
- Mastro (Mast) : "pilar" de sustentação da vela
- Orça (Close-hauled) : contra o vento
- Orçar : aproximar a proa do vento
- Quilha-Asa (Winglet-Keel)
- Quilha-Bolina (Keel-Centre board)
- Quilha-Bulbo (Scheel Keel)
- Quilha calado restrito (Plain restricted draught keel)
- Quilha-Profunda (Deep-Keel)
- Retranca (boom) : barra transversal ao mastro
- Rizar (Reefing) : diminuir a área vélica
- Rize (Reef) : "dobra" para diminuição da vela
- Roda-de-leme (Wheel) : timão de controle do leme
- Sotavento (Leeward) : lado oposto ao vento
- Tala (Batten) : peça usada para manter o bordo de ataque  
sem panejar
- Traveller (Mainsheet Track) : trilho de bombordo a  
boreste para ajuste  
da vela mestra
- Través (Reach) : perpendicular ao vento
- Valuma (Leech) : bordo de fuga da vela

Vela-Mestra (Mainsail) : vela principal

Virar em roda (Jibing)

## ANEXO B : Rotinas Numéricas para Cálculo de Subsistemas

A linguagem utilizada para a programação das subrotinas , bem como do programa principal foi o **MATLAB**. A principal vantagem desta linguagem consiste na sua praticidade e facilidade de uso em relação às demais (Pascal...). A principal desvantagem é a limitação quanto à forma de apresentação dos resultados. Por este motivo , o autor optou por "passar a limpo" os resultados dos testes.

Os programas e subrotinas são acompanhados de extensão **.m** , enquanto que os dados de extensão **.mat**. As subrotinas podem , além de comporem o programa principal , ser utilizadas separadamente. São divididas em rotinas do casco (1-Resistência total , 2-Força lateral e 3-Momento de endireitamento) e da vela (1-Força impulsiva , 2-Força de banda e 3-Momento de emborcamento).

O programa principal ganhou três versões diferentes. A primeira verifica a velocidade do Veleiro sob determinadas condições ( $V_T$  e  $\gamma$ ) para um conjunto de características geométricas (dados do casco e do velame , bem como quilha e leme). Isto é feito para cada um dos 28 modelos. A partir de uma primeira análise já é possível escolher os melhores e passa a ser dispendioso rodar a primeira versão , uma vez que alguns modelos já foram descartados. Deste modo foi criada a segunda versão que roda uma vez só para o modelo desejado , podendo-se intervir continuamente na mudança dos parâmetros geométricos. Há ainda uma terceira versão que faz uma análise de sensibilidade em torno das características

ótimas do Veleiro (em relação a alguns parâmetros que interferem mais decisivamente no desempenho). Poderia ser criada uma versão totalmente automática que procurasse o ótimo. Este não era o objetivo deste trabalho, pois o desempenho ótimo (maior velocidade) pode resultar em um Veleiro não muito interessante, uma vez que estamos interessados em Veleiros de cruzeiro.

Em alguns dados foi necessário uma extrapolação das tabelas para que o programa funcionasse satisfatoriamente durante as iterações. O usuário deve ter em mente as limitações (que são as próprias limitações da série):

$$Fn \leq 0.600$$

$$\theta \leq 30^\circ$$

A seguir são apresentadas as versões 1 e 3 bem como as subrotinas.

```
% Programa Veleiro (VPP) - Versão 1
```

```
% Serie DELFT
```

```
function a = veleiro1(vt,gama)
```

```
% Dados de entrada
```

```
dados = input('Características do Veleiro ');
```

```
lwl = input('Comprimento de linha d agua ');
```

```
D = input('Pontal ');
```

```
tp = menu('Tipo de quilha','(1) Profunda','(2) Bulbo','(3)
```

```
Asa');  
zr = input('altura do leme ');  
cr = input('Corda media do leme ');  
zk = input('altura da quilha ');  
ck = input('Corda media da quilha ');  
I = input('I (altura da Genoa) ');  
J = input('J (esteira da Genoa) ');  
P = input('P (altura da Mestra) ');  
E = input('E (esteira da Mestra) ');  
H = input('altura do mastro ');  
wl = input('Lastro ');  
KG1 =input('Centro de gravidade do lastro ');  
% Carregamentos  
load R1;  
load R2;  
load R3;  
load R4;  
load R5;  
load R6;  
load E1;  
  
% Estimativa inicial  
estima = input('Valores iniciais ');  
vs0 = input('vs0 ');  
teta0 = input('teta0 ');  
lambda0 = input('lambda0 ');
```

```

for m = 1:28
    vs = vs0;
    teta = teta0;
    lambda = lambda0;
    MR = 200;
    MH = 50;
    RT = 200;
    FR = 50;
    FS = 200;
    FH = 50;
    x = 0;
    Ak = (zk + R1(m,3))*ck + zr*cr;
    sk = 2*(zk*ck);
    sr = 2*(zr*cr);
    ARK = zk/ck;
    while (abs((FS - FH)/FS) + abs((RT - FR)/RT) +
           abs((MR - MH)/MR)) > 0.08
        x = x + 1;
        if x > 100 , break , end
        GAMA = gama*pi/180;
        TETA = teta*pi/180;
        LAMBDA = lambda*pi/180;
        FS = casco2(lwl, m, vs, LAMBDA, TETA, tp, Ak, ARK, R1, R4,
                   R6, R7);
        RT = casco1(lwl, m, cr, ck, sr, sk, tp, vs, Ak, ARK, FS,
                   LAMBDA, TETA, R1, R2, R3, R4, R5, R6);
        MR = casco3(lwl, m, D, wl, KG1, vs, TETA, R1, E1);
        FR = vela1(gama, I, J, P, E, vs, vt);

```

```

FH = vela2(gama,I,J,P,E,vs,vt);
MH = vela3(gama,lwl,m,I,J,P,E,H,vs,vt,E1);
if abs((CRT - FR)/RT) > 0.03
    vs = abs(vs - (CRT - FR)/RT);
end
if abs((MR - MHD)/MR) > 0.02
    teta = abs(teta - 2*(MR - MHD)/MR);
end
if abs((FS - FHD)/FS) > 0.03
    lambda = abs(lambda - (FS - FHD)/FS);
end
end
end
vmg = vs*cos(GAMA);
a(m,1) = m;
a(m,2) = lambda;
a(m,3) = teta;
a(m,4) = vs;
a(m,5) = vmg;
if x > 100
    for k = 2:5
        a(m,k) = 0;
    end
end
end
save a.mat a;

% Programa Veleiro (VPP) - Versão 2
% Serie DELFT

```

```

function b = veleiro2(vt,gama)

% carregamentos
load R1;
load R2;
load R3;
load R4;
load R5;
load R6;
load E1;
m = 0;

while m < 29

    % Dados de entrada
    dados = input('Caracteristicas do Veleiro ');
    lwl = input('Comprimento de linha d agua ');
    D = input('Pontal ');
    tp = menu('Tipo de quilha','(1) Profunda','(2) Bulbo',
             '(3) Asa');
    zr = input('altura do leme ');
    cr = input('Corda media do leme ');
    zk = input('altura da quilha ');
    ck = input('Corda media da quilha ');
    I = input('I (altura da Genoa) ');
    J = input('J (esteira da Genoa) ');
    P = input('P (altura da Mestra) ');
    E = input('E (esteira da Mestra) ');
    H = input('altura do mastro ');
    wl = input('Lastro ');
    KG1 =input('Centro de gravidade do lastro ');
    x0 = input('x0 (numero de interacoes maxima) ');

    % Estimativa inicial
    estima = input('Valores iniciais ');
    vs0 = input('vs0 ');

```



```

teta0 = input('teta0 ');
lambda0 = input('lambda0 ');
m = input('Modelo (1 a 28) ou outro numero para finalizar ');
vs = vs0;
teta = teta0;
lambda = lambda0;
MR = 200;
MH = 50;
RT = 200;
FR = 50;
FS = 200;
FH = 50;
x = 0;
Ak = (zk + R1(m,3))*ck + zr*cr;
sk = 2*(zk*ck);
sr = 2*(zr*cr);
ARK = zk/ck;
while (abs((FS - FH)/FS) + abs((RT - FR)/RT) +
      abs((MR - MH)/MR)) > 0.08
    x = x + 1;
    if x > x0 , break , end
    GAMA = gama*pi/180;
    TETA = teta*pi/180;
    LAMBDA = lambda*pi/180;
    FS = casco2(1wl , m, vs, LAMBDA, TETA, tp, Ak, ARK, R1, R4,
               R6, R7);
    RT = casco1(1wl , m, cr, ck, sr, sk, tp, vs, Ak, ARK, FS,
               LAMBDA, TETA, R1, R2, R3, R4, R5, R6);
    MR = casco3(1wl , m, D, wl, KG1, vs, TETA, R1, E1);
    FR = vela1(gama, I, J, P, E, vs, vt);
    FH = vela2(gama, I, J, P, E, vs, vt);
    MH = vela3(gama, 1wl, m, I, J, P, E, H, vs, vt, E1);
    if abs((RT - FR)/RT) > 0.03
        vs = abs(vs - (RT - FR)/RT);
    end
    if abs((MR - MH)/MR) > 0.02

```

```

        teta = abs(teta - 2*(MR - MHD)/MR);
    end
    if abs((FS - FHD)/FS) > 0.03
        lambda = abs(lambda - (FS - FHD)/FS);
    end
end
end
vmg = vs*cos(GAMA);
b(1) = lambda;
b(2) = teta;
b(3) = vs;
if x > x0
    for k = 1:3
        b(k) = 0;
    end
end
end
c
keyboard;
end

% Resistencia total hidrodinamica

function RT = casco1(lwl,m,cr,ck,sr,sk,tp,vs,Ak,ARK,FS,
                    LAMBDA,TETA,R1,R2,R3,R4,R5,R6);

% Constantes
Ni = 10^(-6);
Ro = 1025;
g = 9.81;

% Resistencia de atrito
esc = lwl/R1(m,1);
sc = R1(m,5)*esc^2;
ReC = vs*(0.7*lwl)/Ni;
CaC = 0.075/(log10(ReC) - 2)^2;
ReR = vs*cr/Ni;
if ReR ~= 0

```

```

    CaR = 0.075/(1og10(ReR) - 2)^2;
else
    CaR = 0;
end
ReK = vs*ck/Ni;
if ReK ~= 0
    CaK = 0.075/(1og10(ReK) - 2)^2;
else
    CaK = 0;
end
Ra = 0.5*Ro*vs^2*(sc*CaC + sk*CaK + sr*CaR);

% Resistencia residual
wc = R1(m,4)*esc^3*Ro*g;
Fn = vs/sqrt(g*lw1);
X0 = 1;
X1 = R1(m,6);
X2 = R1(m,7)/100;
X3 = R1(m,2)/R1(m,3);
X4 = R1(m,1)/(R1(m,4)^(1/3));
X5 = X1^2;
X6 = X1*X4;
X7 = X2^2;
X8 = X4^2;
X9 = X4^3;
X = [X0 X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9];
x0 = 1;
x1 = R1(m,1)/R1(m,2);
x2 = R1(m,8)/(R1(m,4)^(2/3));
x3 = x1^2;
x4 = x1*(x2^3);
x = [x0 x1 x2 x3 x4];
if Fn <= 0.450
    A = table1(R2,Fn);
    Y = A.*X;
elseif Fn <= 0.600
    C = table1(R3,Fn);

```

```

        Y = C.*x;
    else
        break , end
    end
    RR = sum(Y)*wc/1000;

% Resistencia de banda e deriva
q = 0.5*Ro*vs^2;
teta = TETA*180/pi;
if teta > 90
    break , end
end
aux = table1(R6,teta);
ARE1 = aux(tp);
a1 = R5(m,3)*TETA^2*q*sc;
a2 = R5(m,5)*Fn^2*TETA*q*sc;
Rfi = FS^2/(pi*ARE1*q*sc) + a1 + a2;
RT = Ra + RR + Rfi;

% Forca lateral do casco

function FS = casco2(lwl,m,vs,LAMBDA,TETA,tp,Ak,ARK,R1,
                    R4,R6,R7)

% Constantes
Ni = 10^(-6);
Ro = 1025;
g = 9.81;

esc = lwl/R1(m,1);
sc = R1(m,5)*esc^2;
Fn = vs/sqrt(g*lwl);
q = 0.5*Ro*vs^2;
a1 = LAMBDA - R4(m,3)*TETA^2*Fn;
teta = TETA*180/pi;
if teta > 90

```

```

        break , end
end

Ak0 = R7(tp,1);
ARO = R7(tp,2)
aux = table1(R6,teta);
ARE = aux(tp);

a2 = (5.7*ARE*Ak)/(1.8 + sqrt(CARE + 4));
FS = (a1*a2*q)/cos(TETA)*(Ak/Ak0)*(ARK/ARO);

% Momento de endireitamento

function MR = casco3(lwl,m,D,wl,KG1,vs,TETA,R1,E1)

% Constantes
Ni = 10^(-6);
Ro = 1025;
g = 9.81;

esc = lwl/R1(m,1);
D1 = E1(m,1);
D2 = E1(m,2);
D3 = E1(m,3);
vc = R1(m,4)*esc^3;
wc = vc*Ro*g;
wh = 650*lwl*R1(m,9)*esc*D;
delta = wh + wl;
KG = (wh*(0.8*D) + wl*KG1)/delta;
ZG = R1(m,3)*esc - KG;
Fn = vs/sqrt(g*lwl);
MR = wc*lwl*(D1*TETA + D2*TETA*Fn + D3*TETA^2) +
        delta*ZG*sin(TETA);

% Forca Impulsiva

```

```

function FR = vela1(gama,I,J,P,E,vs,vt)

% Constantes
Roar = 1.18;

GAMA = gama*pi/180;
va = sqrt(vs^2 + vt^2 + 2*vs*vt*cos(GAMA));
BETA = asin(vt*sin(GAMA)/va);
beta = BETA*pi/180;

CR = 0.0033*beta + 0.3073;
Amestra = P*E/2;
Agenoa = I*J/2;
Abalao = 1.8*Agenoa;
if gama <= 45
    if vt > 10
        Agenoa = 0;
    end
    Abalao = 0;
elseif gama <= 90
    Abalao = 0;
elseif gama <= 135
    Abalao = 0;
else
    Agenoa = 0;
end
AV = Amestra + Agenoa + Abalao;
FR = 0.5*Roar*AV*va^2*CR;

```

```

% Forca transversal

```

```

function FH = vela2(gama,I,J,P,E,vs,vt)

```

```

% Constantes
Roar = 1.18;

```

```

GAMA = gama*pi/180;
va = sqrt(vs^2 + vt^2 + 2*vs*vt*cos(GAMA));
va = sqrt(vs^2 + vt^2 + 2*vs*vt*cos(GAMA));

BETA = asin(vt*sin(GAMA)/va);

beta = BETA*pi/180;
CH = -0.0074*beta + 1.3178;

Amestra = P*E/2;
Agenoa = I*J/2;
Abalao = 1.8*Agenoa;
if gama <= 45
    if vt > 10
        Agenoa = 0;
    end
    Abalao = 0;
elseif gama <= 90
    Abalao = 0;
elseif gama <= 135
    Abalao = 0;
else
    Agenoa = 0;
end
AV = Amestra + Agenoa + Abalao;
FH = 0.5*Roar*AV*va^2*CH;

% Momento de Emborcamento

function MH = vela3(gama,lwl,m,I,J,P,E,H,vs,vt,E1)

% Constantes
Roar = 1.18;

GAMA = gama*pi/180;
va = sqrt(vs^2 + vt^2 + 2*vs*vt*cos(GAMA));
va = sqrt(vs^2 + vt^2 + 2*vs*vt*cos(GAMA));

BETA = asin(vt*sin(GAMA)/va);

```

```

beta = BETA*pi/180;
CH = -0.0074*beta + 1.3178;
Amestra = P*E/2;
Agenoa = I*J/2;
Abalao = 1.8*Agenoa;
if gama <= 45
    if vt > 10
        Agenoa = 0;
    end
    Abalao = 0;
elseif gama <= 90
    Abalao = 0;
elseif gama <= 135
    Abalao = 0;
else
    Agenoa = 0;
end
AV = Amestra + Agenoa + Abalao;
FH = 0.5*Roar*AV*va^2*CH;
zce = (Agenoa*(I/3) + Amestra*(P/3 + H - P) +
                                             Abalao*(I/3))/AV;
h = zce + E1(m,4)*lwl;
MH = FH*h;

```



ANEXO C : Gráficos de Embarcações Semelhantes

Fig. III.1 - Comprimento de linha d'agua

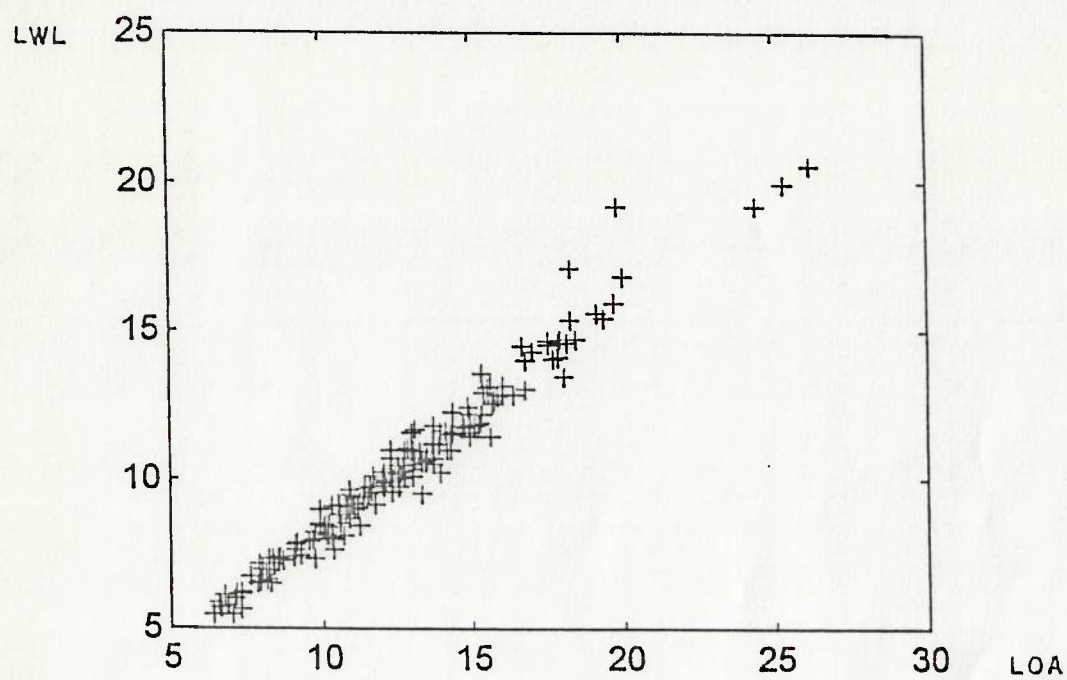


Fig. III.2 - Boca

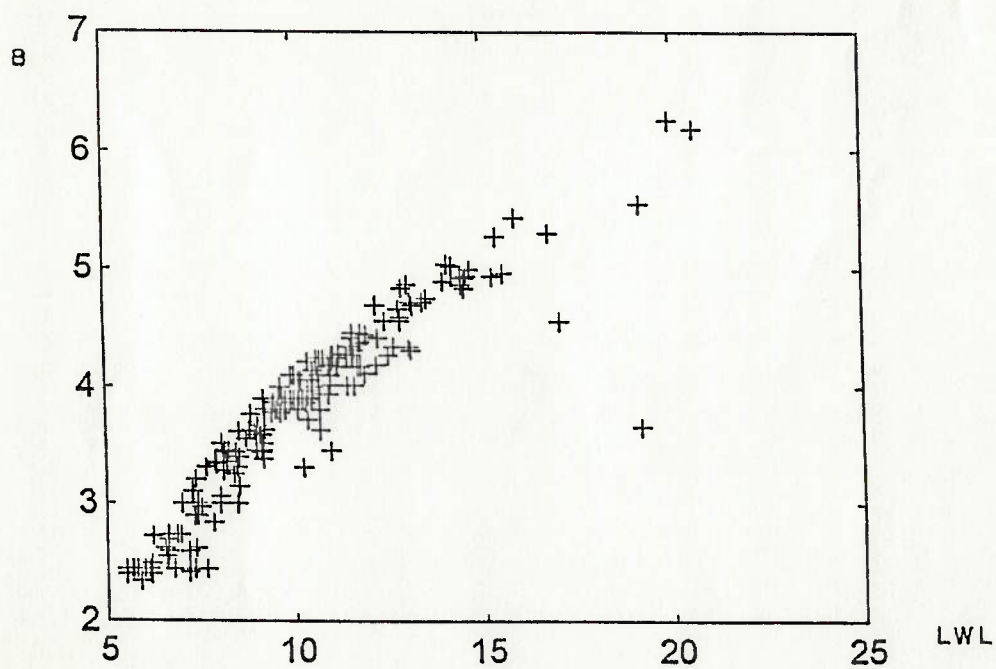


Fig. III.3 - Calado

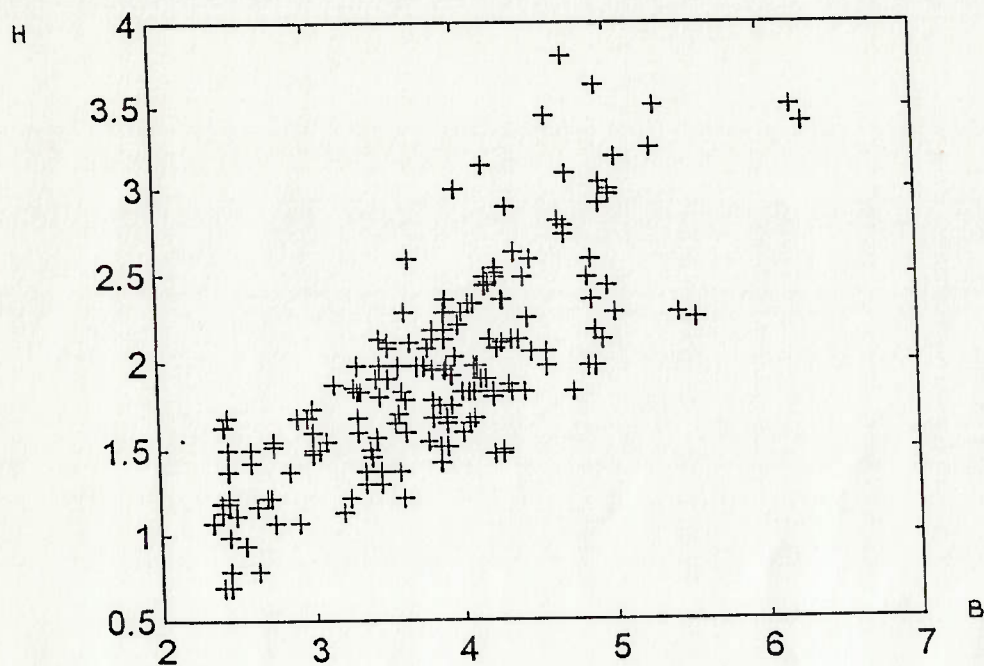


Fig. III.4 - Deslocamento

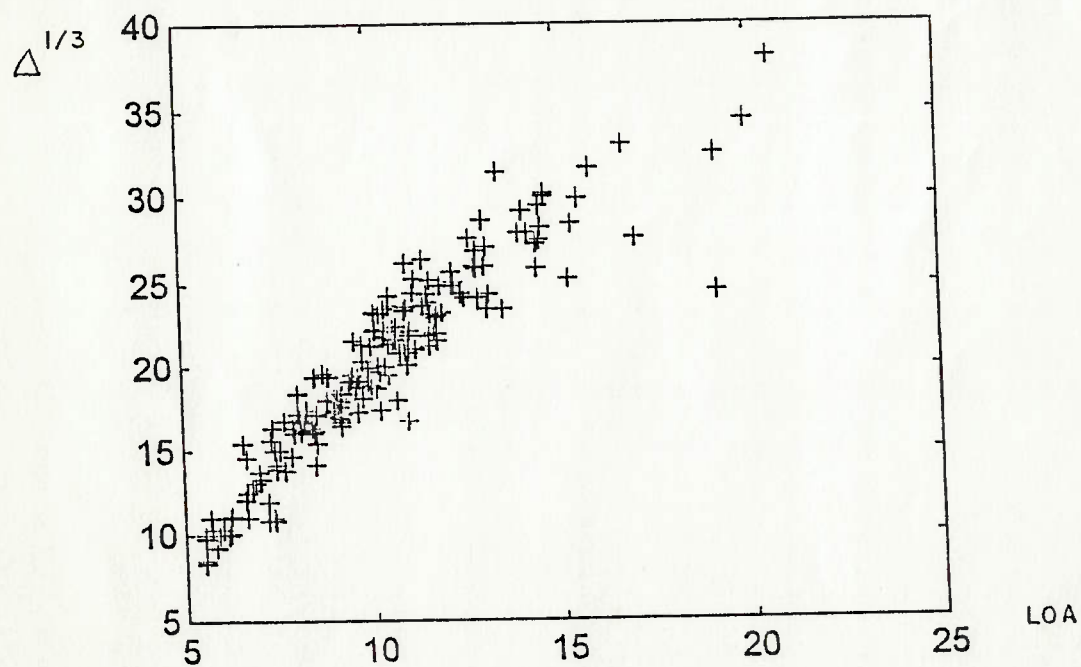


Fig. III.5 - Área Vélca

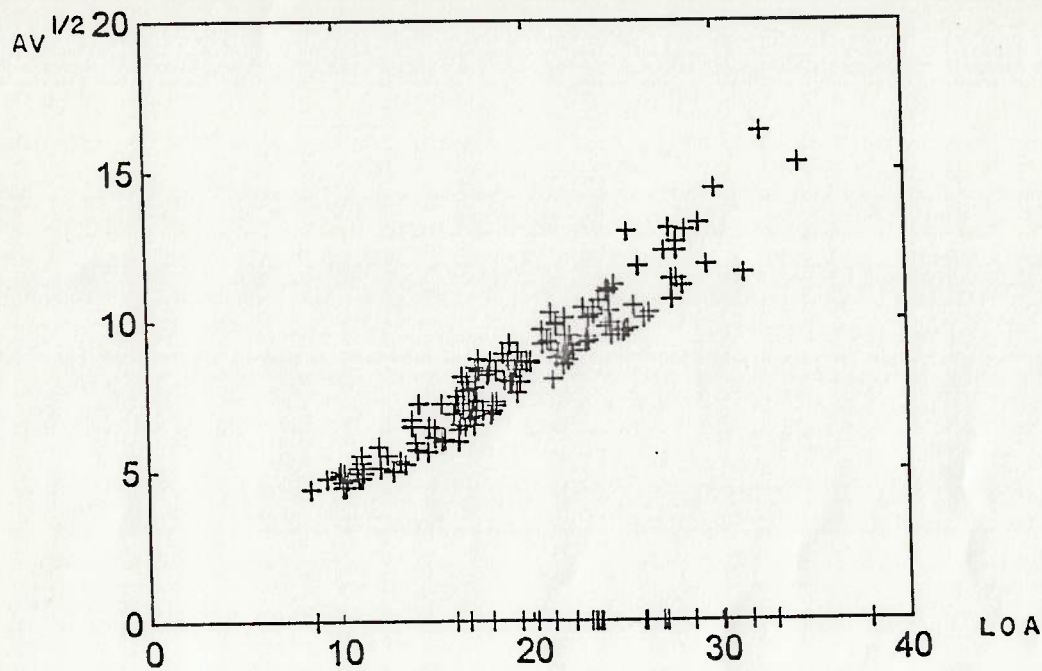


Fig. III.6 - Lastro

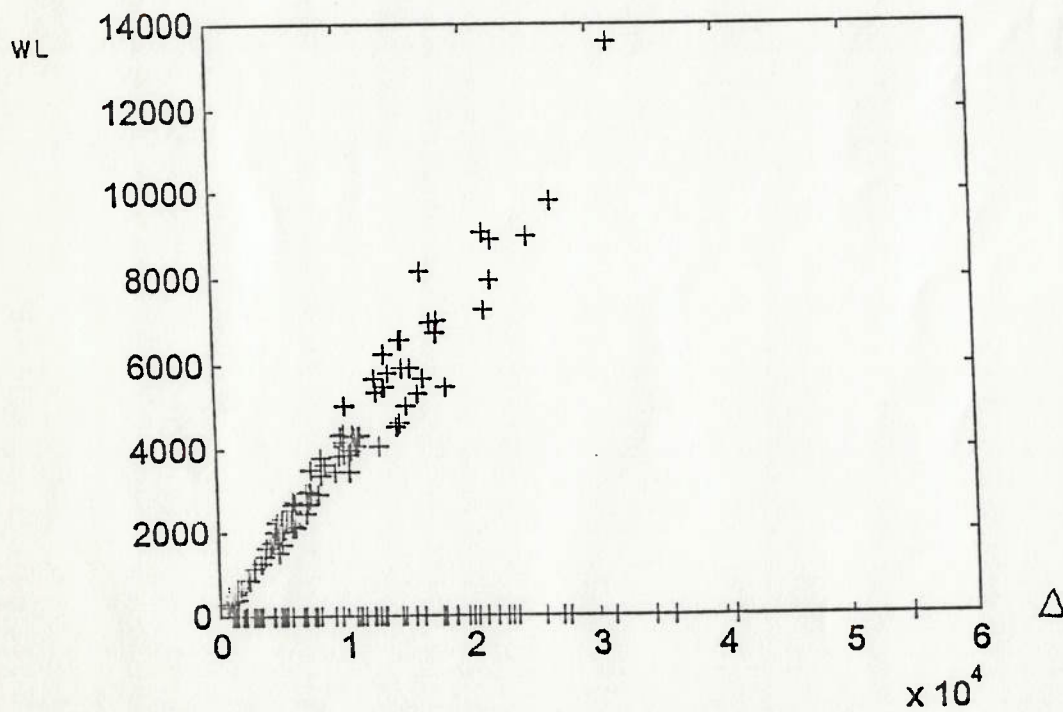


Fig. III.7 - Potência Auxiliar

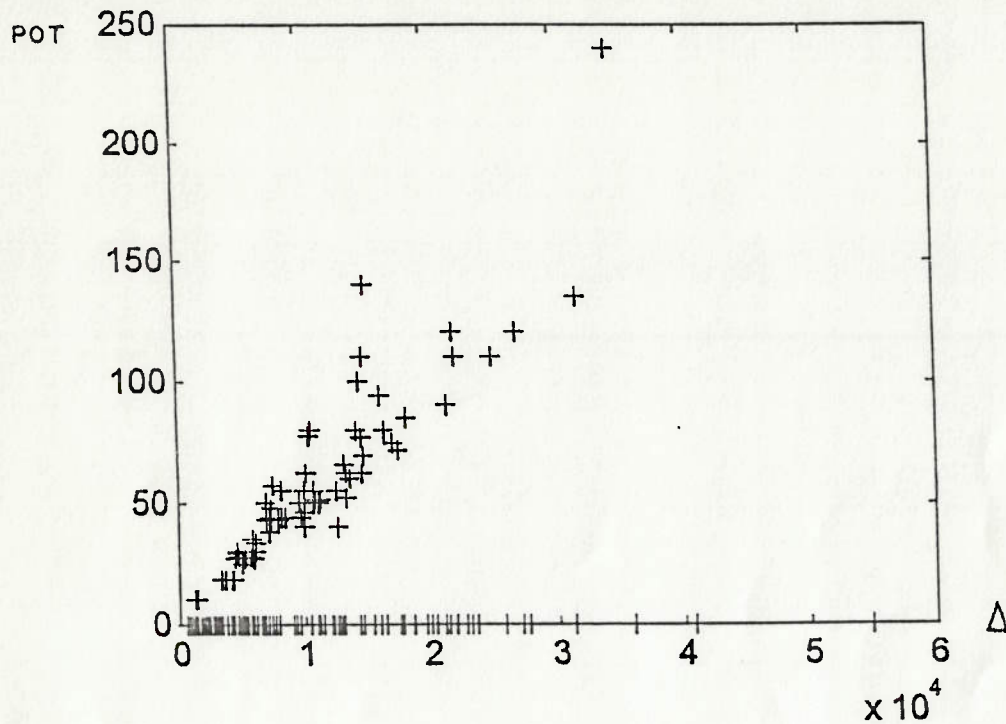


Fig. III.8 - Preço (US\$)

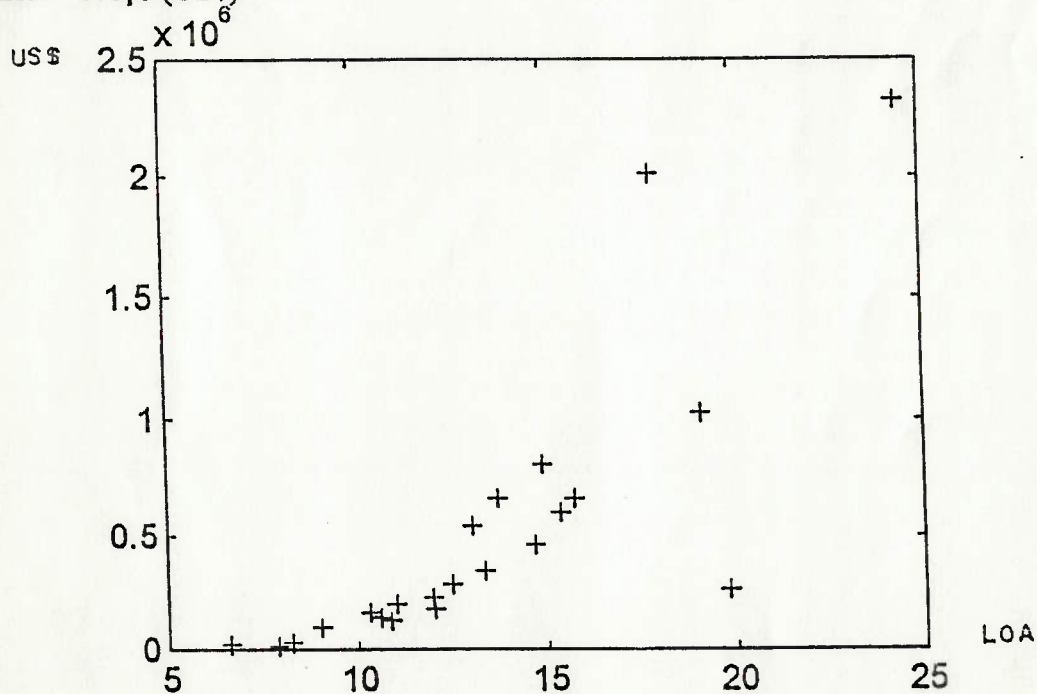


Fig. III.9 - Altura da Genoa (I)

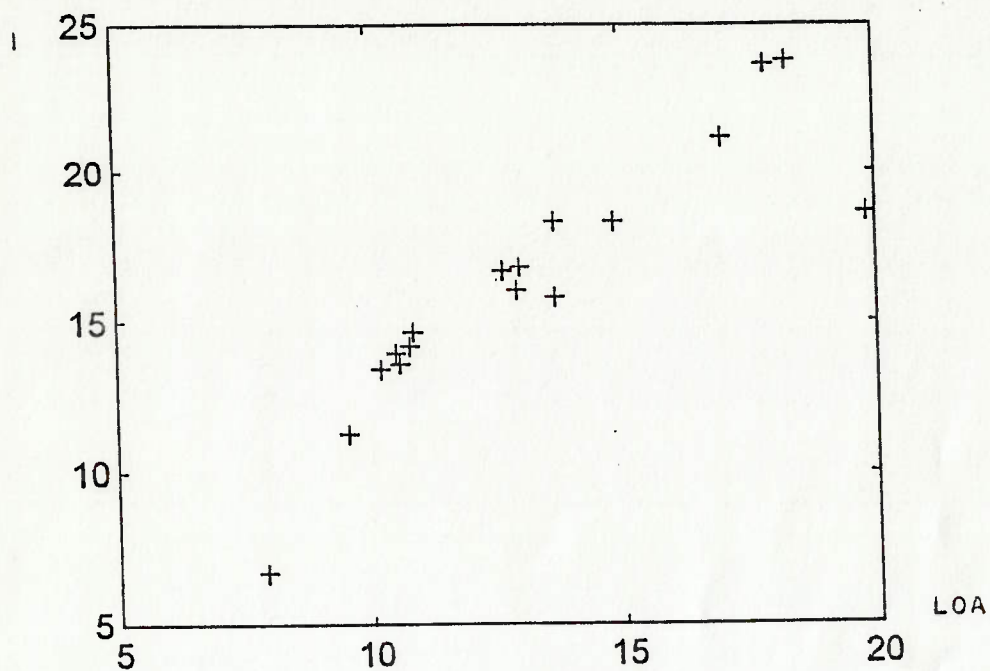


Fig. III.10 - Esteira da Genoa (J)

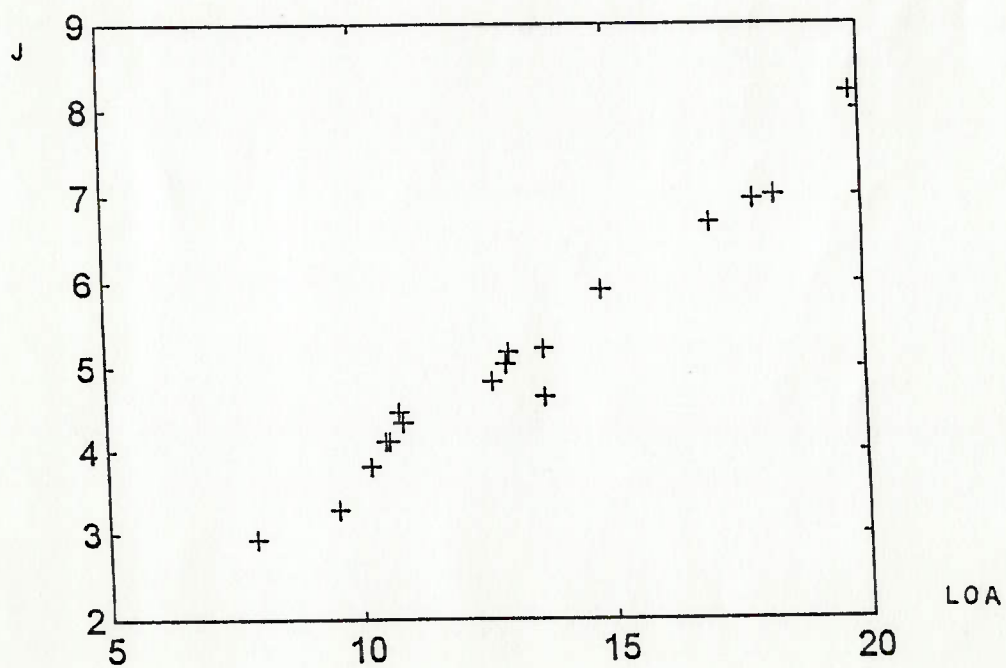


Fig. III.11 - Altura da Mestra (P)

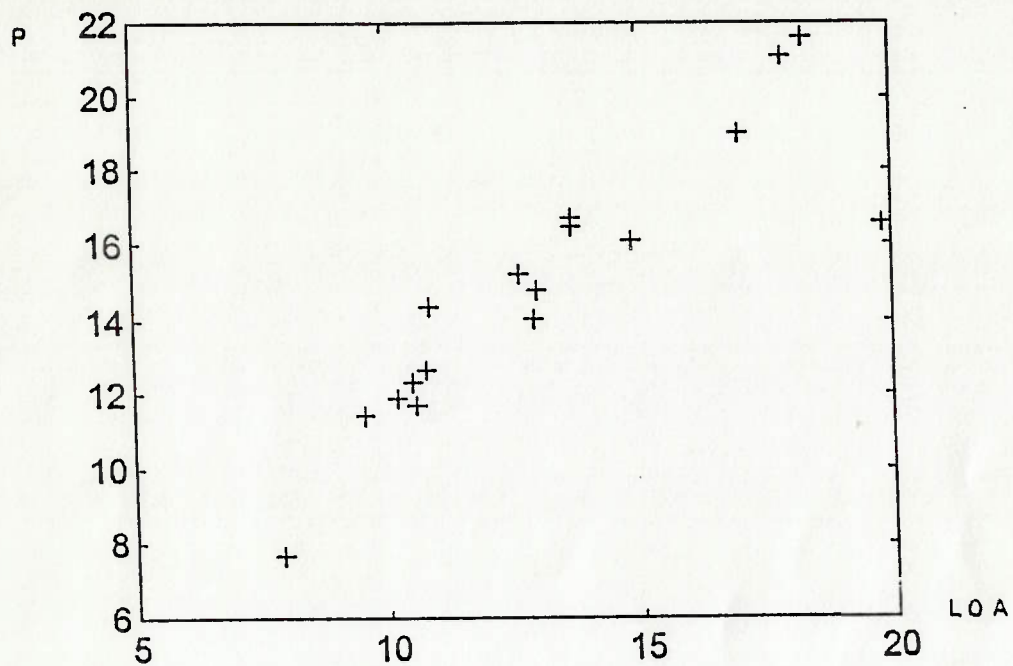
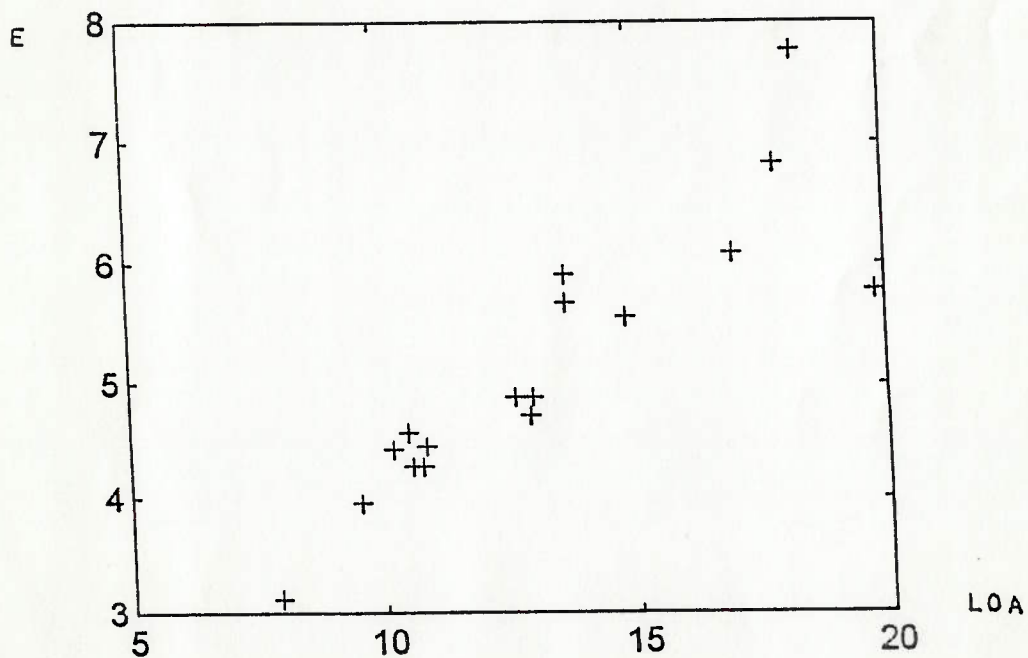


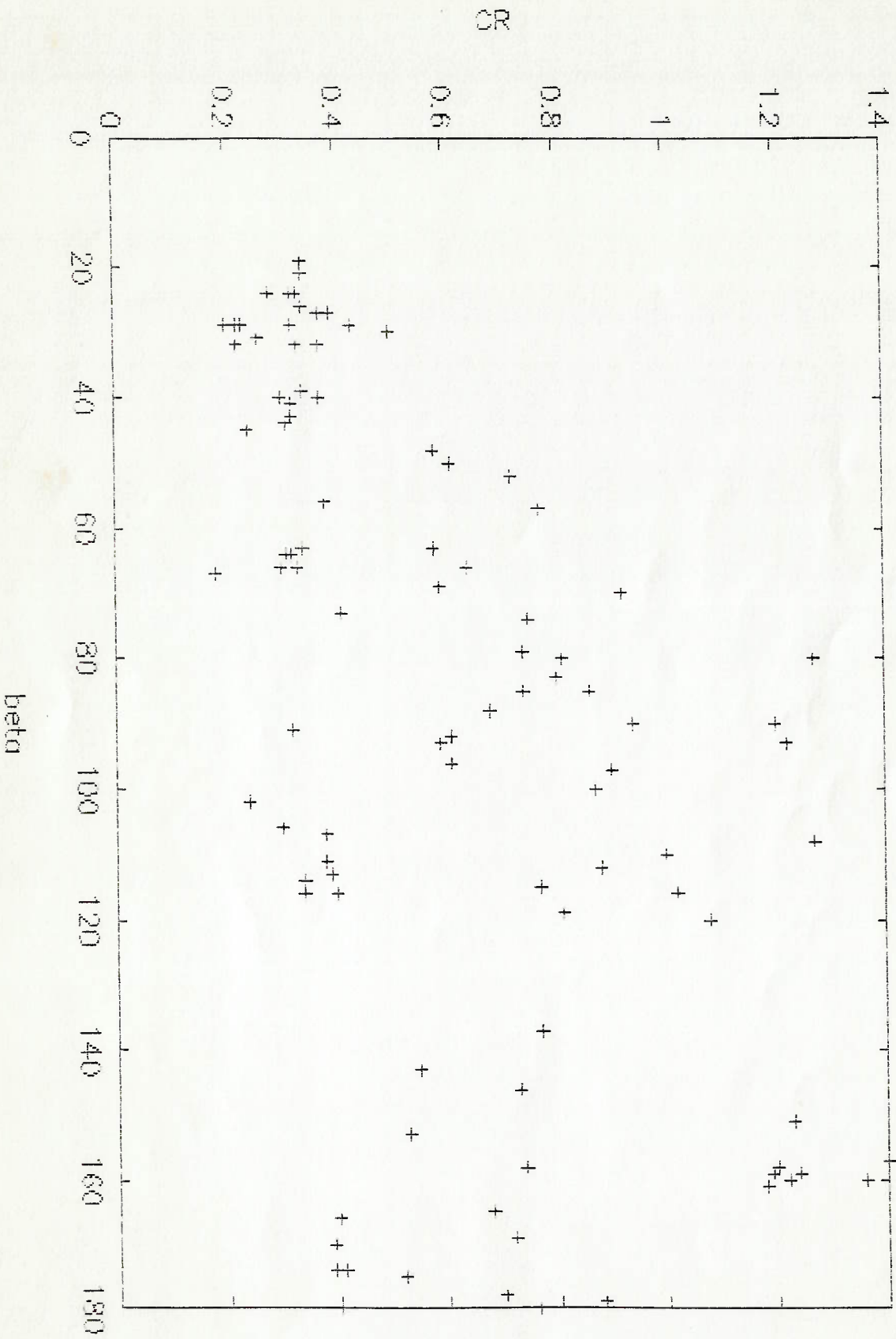
Fig. III.12 - Esteira da Mestra (E)



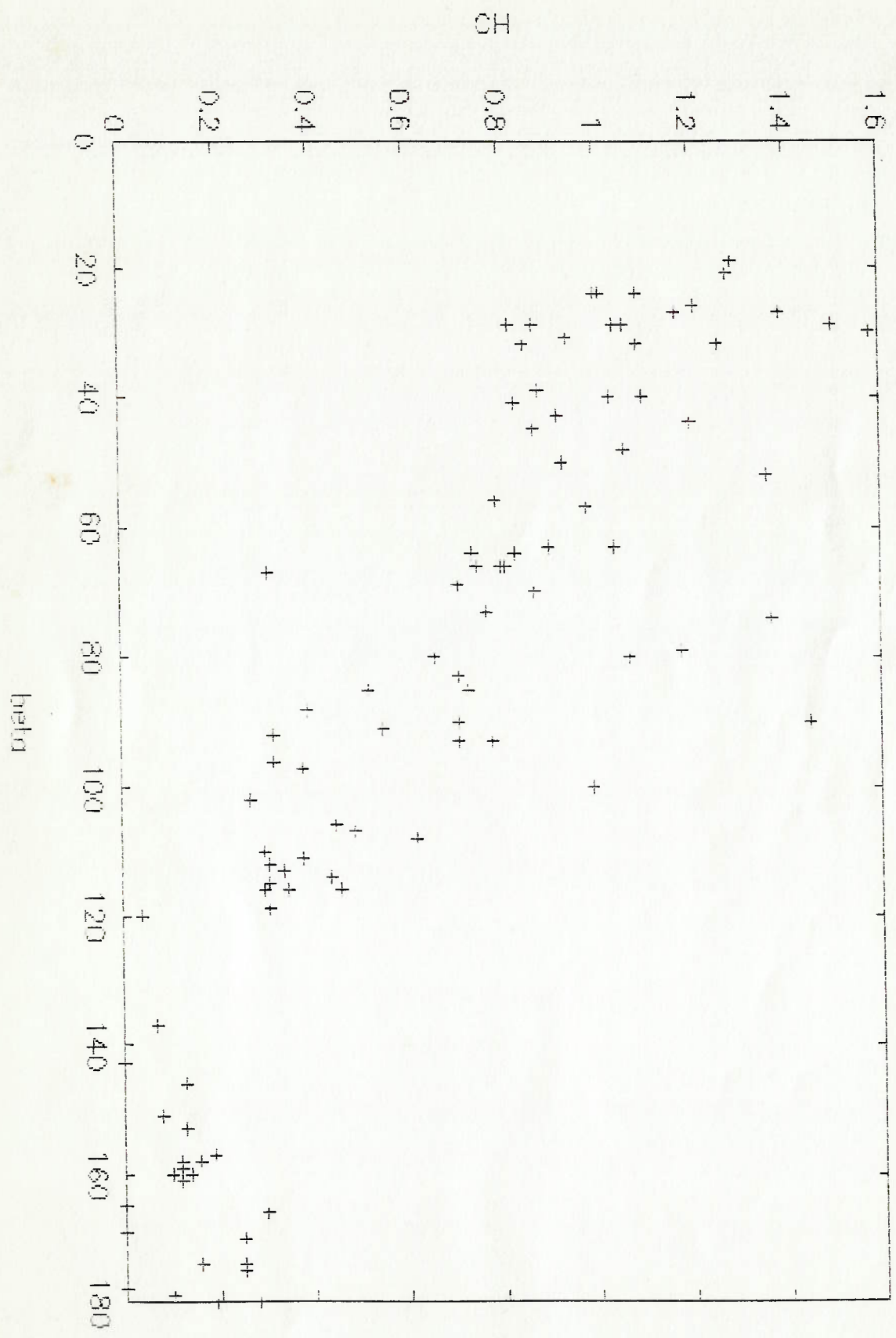
ANEXO D : Curvas de  $C_R$  e  $D_H$  em função de  $\beta$



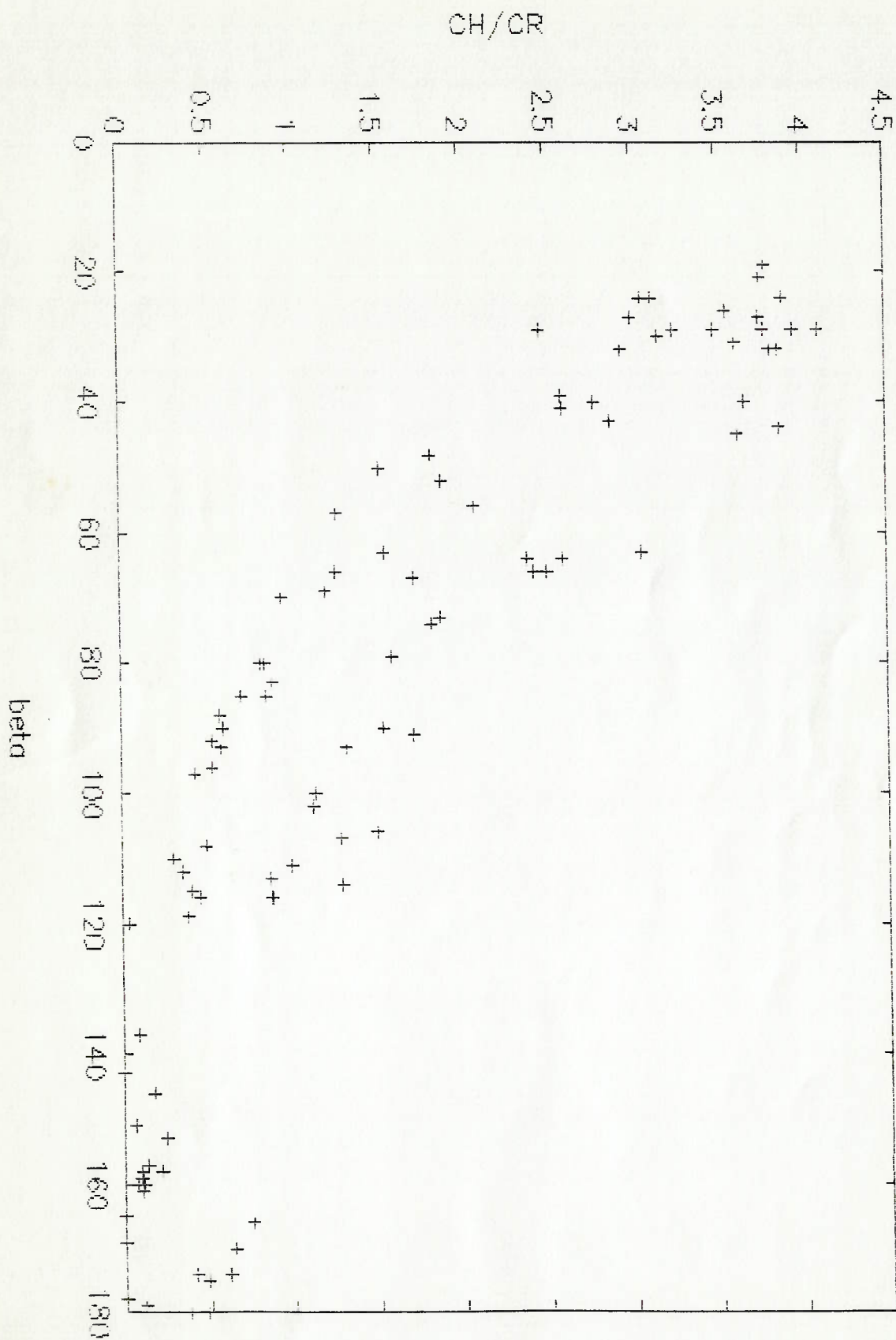
$CR = 0.0033 * \text{beta} + 0.3073$



$$CH = -0.0074 * \text{beta} + 1.3178$$

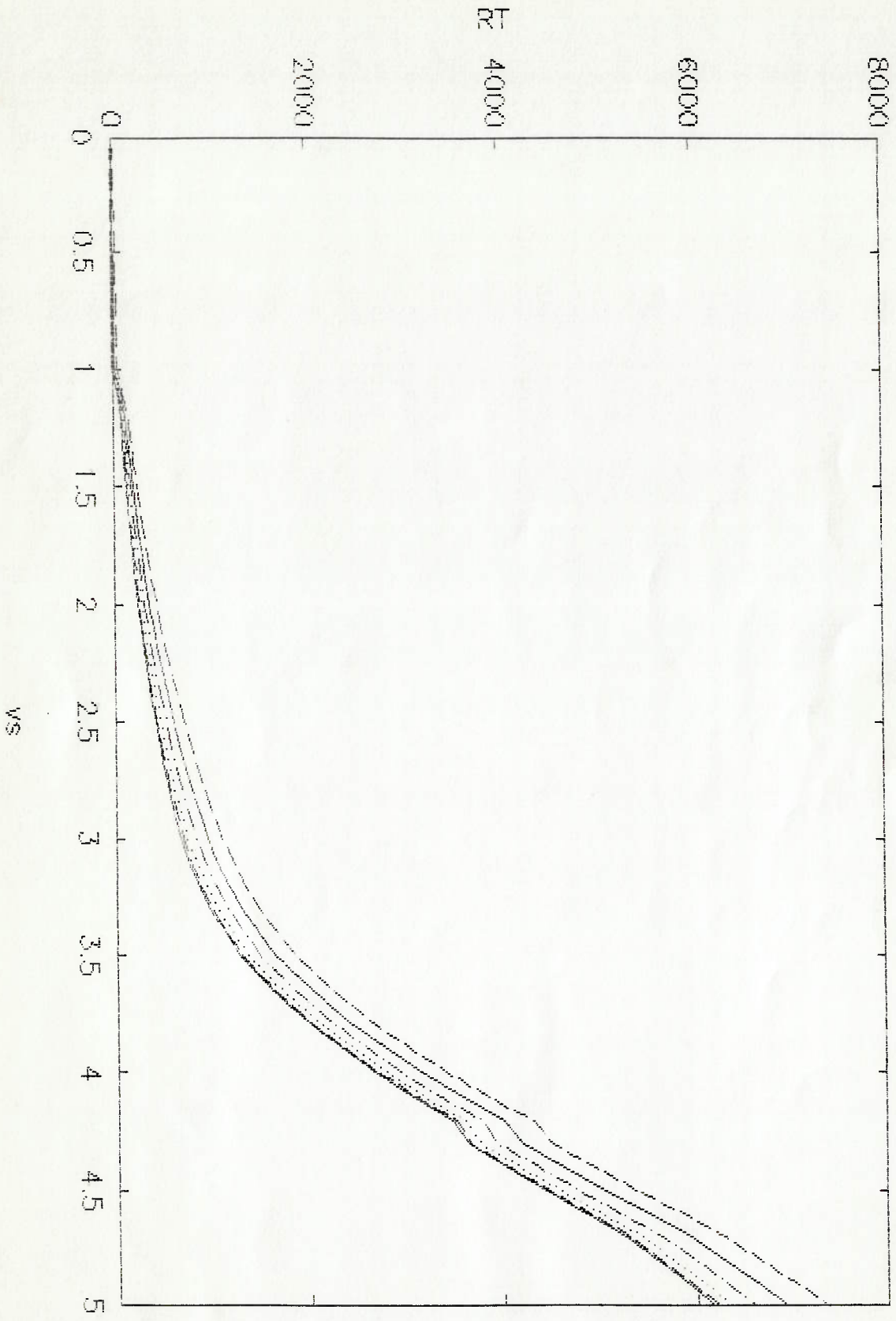


$$CH/CR = -0.02229 * \text{beta} + 3.62271$$

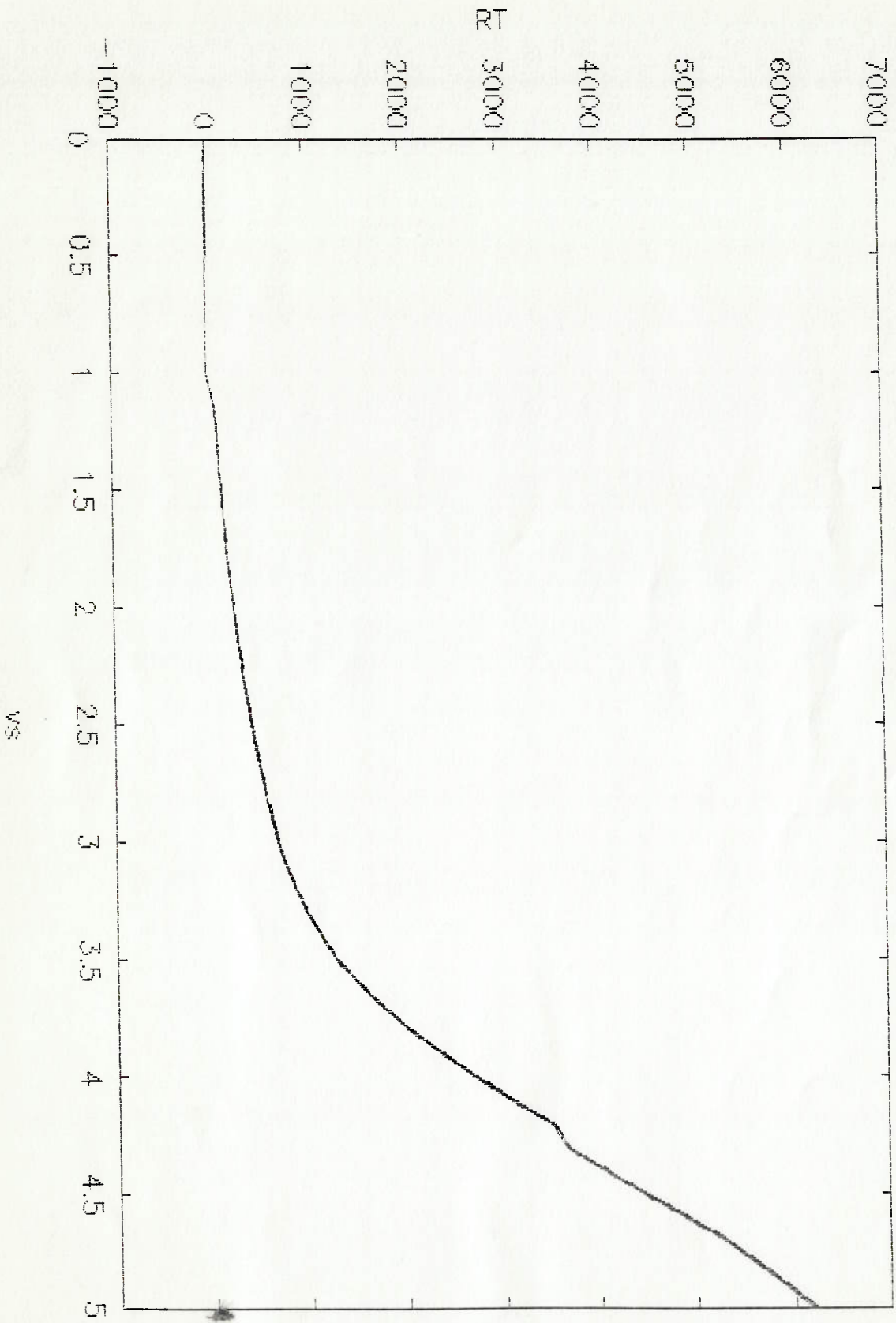


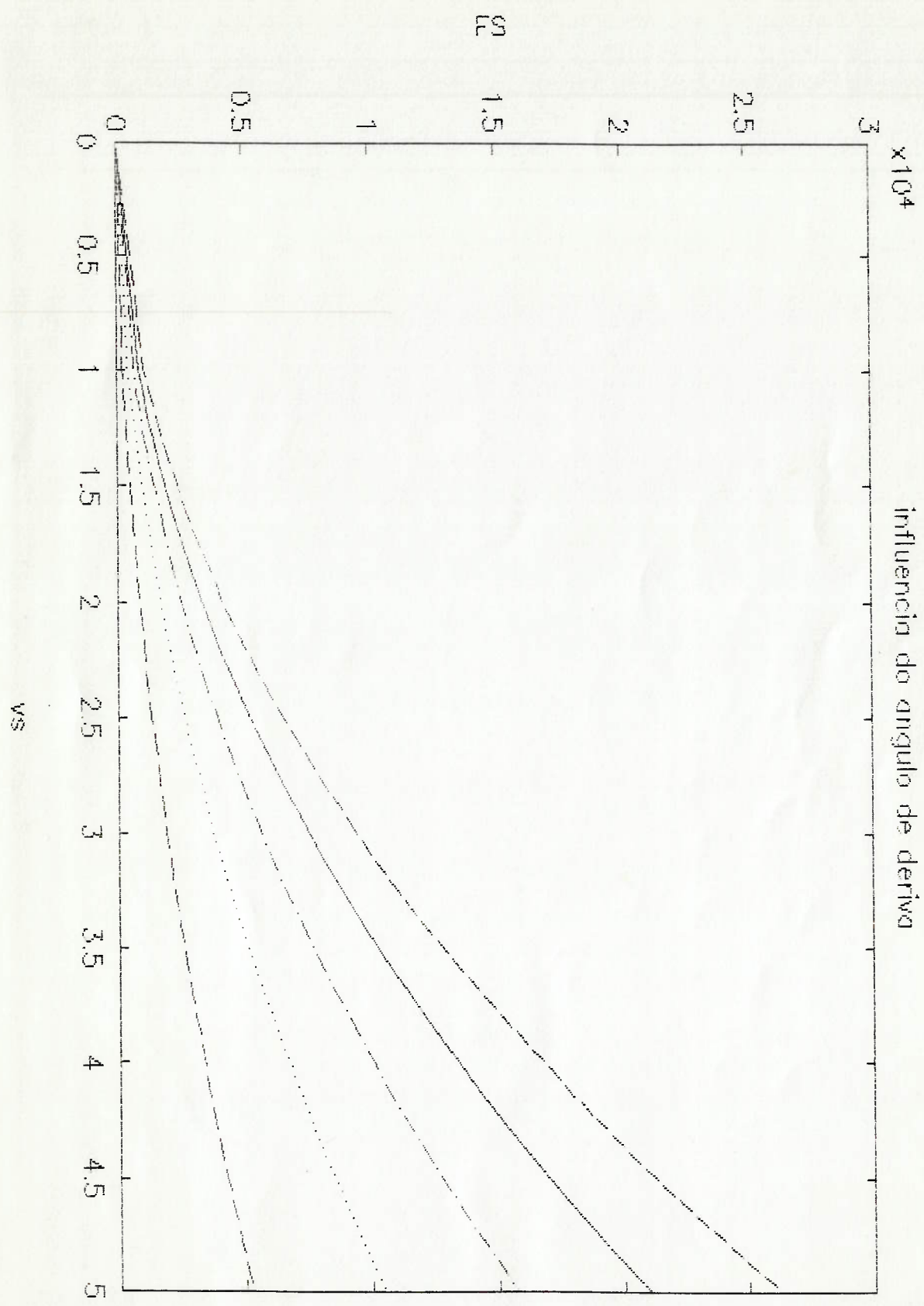
ANEXO E : Curvas de  $R_T$ ,  $F_S$  e  $M_R$  em função de  $V_S$ ,  $\lambda$  e  $\theta$

influencia do angulo de deriva

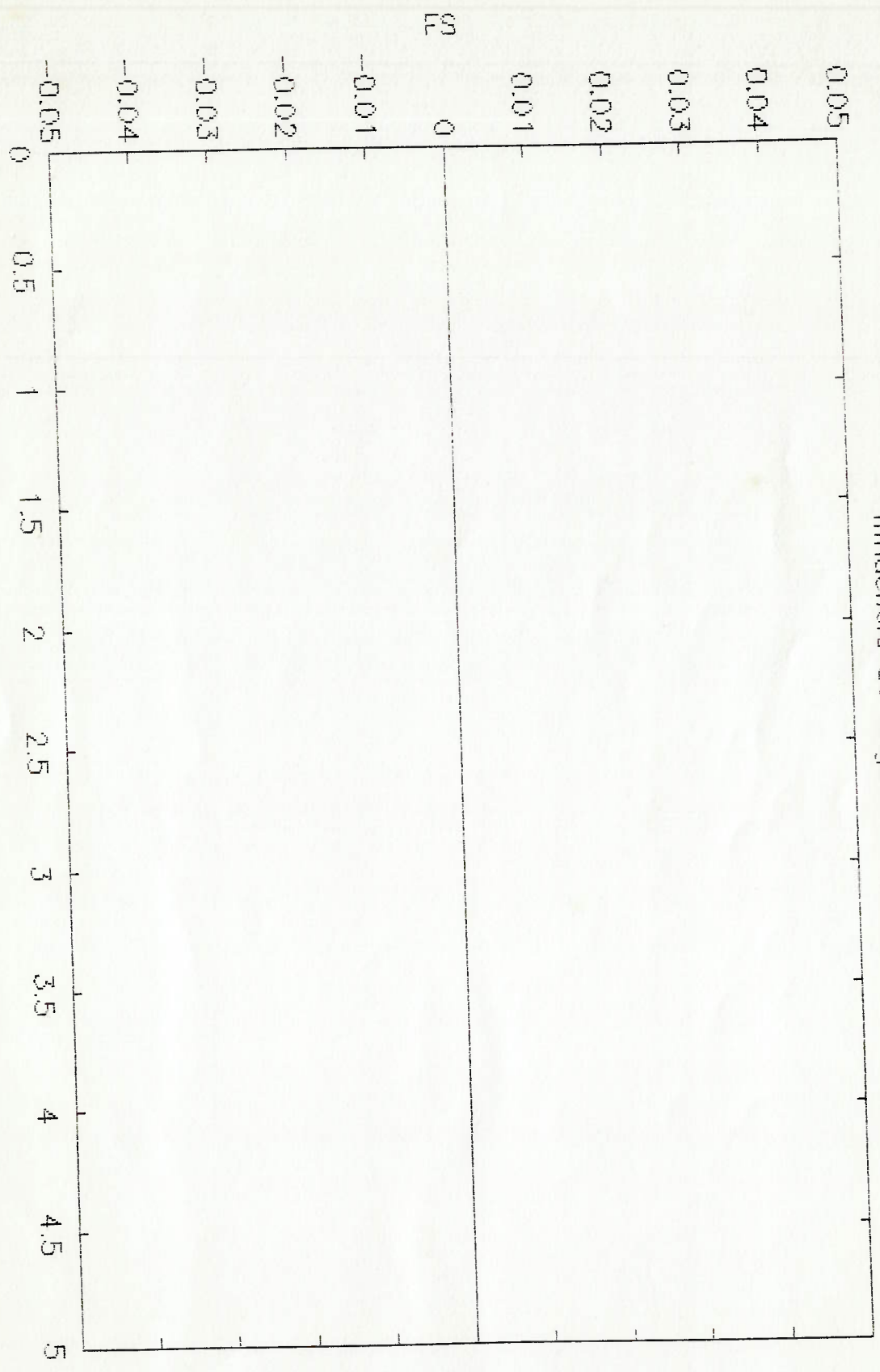


influencia do angulo de banda



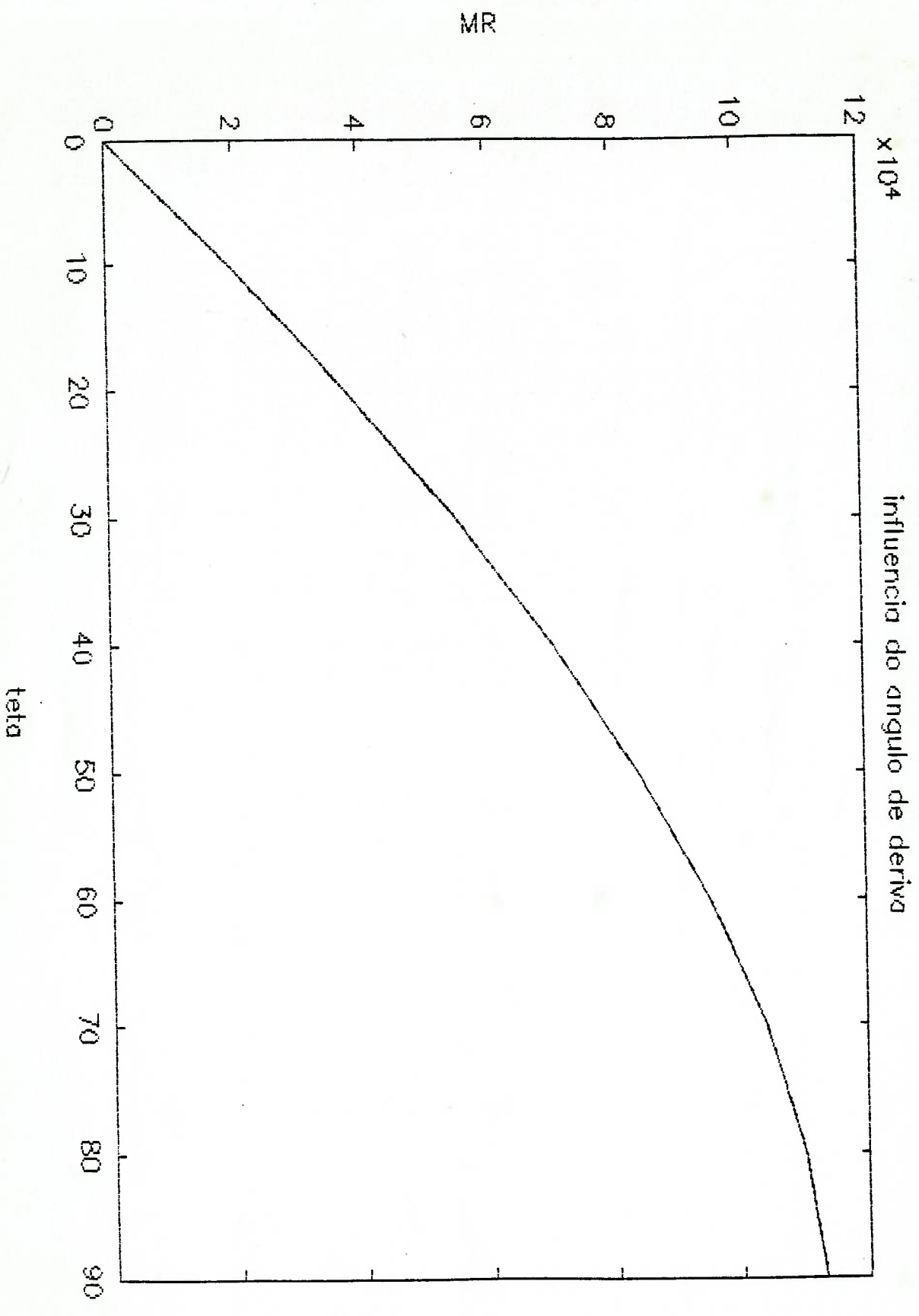


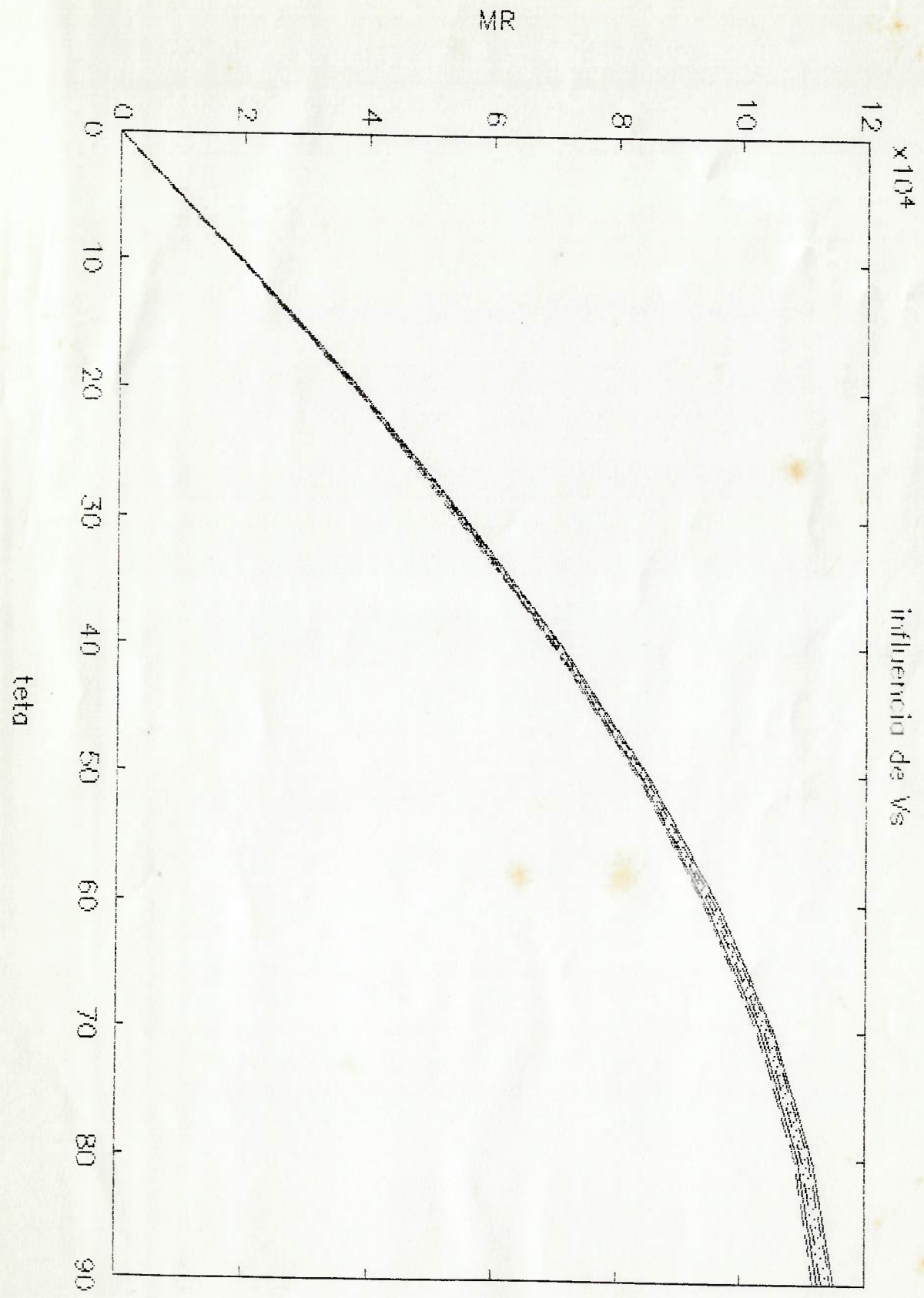
influencia do angulo de banda



vs







## Referências Bibliográficas

1. STREET , V. L.. Mecânica dos fluidos , McGraw Hill,  
São Paulo , 1982
2. MARCHAJ , C. A.. Aero-hydrodynamics of sailing ,  
Granada Publishing , London , 1979
3. ABBOTT , I. H.. Theory of wing sections ,  
Dover Publications , New York , 1959
4. MARCHAJ , C. A.. Sailing theory and practice ,  
Granada Publishing , London , 1982
5. PEDRICK , D. R.. Scale effects in sailing Yacht  
hydrodynamic testing , SNAME , NOV/1974
6. DAVIDSON , K. S.. Experimental studies of the sailing  
Yacht , SNAME , 1937
7. MYERS , H.. Theory of sailing applied to ocean racing  
Yacht , MT , JUL/1975
8. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A.. Model experiments  
with Yacht keels , Delft University of Technology ,  
FEV/1985
9. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A.. Further experiments

- with keel-hull combinations , Delft University of  
Technology , DEZ/1985
10. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A.. Winglet keels in  
waves , Delft University of Technology , NOV/1985
  11. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A.. Experimental analysis  
of five keel-hull combinations , Delft University of  
Technology , DEZ/1984
  12. KEUNING , J. A.. Resistance of sailing Yacht propellers  
Delft University of Technology , FEV/1985
  13. VERSLUIS , A. & KEUNING , J. A.. Sail design and panel  
discussion , Delft University of Technology , MAR/1986
  14. MILGRAM , J. H.. Sail force coefficients for systematic  
rig variations , SNAME , SET/1971
  15. DAVIDSON , K. S.. Some experimental studies of the  
sailing Yacht , Stevens Institute of Technology ,  
1936
  16. GERRITSMA , J. & KERWIN , J. E. & MOYES , G..  
Determination of sailforces based on full scale  
measurements and model tests , Delft University of  
Technology , NOV/1975
  17. KERWIN , J. E.. A velocity prediction program for ocean

racing Yachts , MIT , JAN/1976

18. SAINSBURY , J. C.. Windward performance predictions ,  
University of Southampton , 1961
19. MILLS , P. F.. A method of predicting windward  
performance by the use of a digit computer ,  
University of Southampton , 1968
20. Yachting World , Periódico Inglês , SET/1991
21. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A.. Performance of light  
and heavy displacement sailing Yacht in waves , MT ,  
JAN/1989
22. DE SAIX , P.. Systematic model series in the design of  
the sailing Yacht Hull , Stevens Institute of  
Technology , MAR/1971
23. VERSLUIS , A. & GERRITSMA , J. & ONNINK , R.. Geometry ,  
resistance and stability of the Delft systematic Yacht  
hull series , Delft University of Technology , DEZ/1981
24. GERRITSMA , J.. Calculation of sailing Yacht resistance  
Delft University of Technology , DEZ/1983
25. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A. & J. & ONNINK , R.  
The Delft systematic Yacht hull series II experiments

Delft University of Technology , FEV/1991

26. KERWIN , J. E.. On the stability of sailing Yachts at large angles of heel , Delft University of Technology , FEV/1981
27. GERRITSMA , J. & ONNINK , R. & MOYES G.. Tests results of a systematic Yacht hull series , Delft University of Technology , AGO/1977
28. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A.. The experimental results of the Delft systematic Yacht hull series Delft University of Technology , AGO/1983
29. GERRITSMA , J. & KEUNING , J. A.. Speed loss in waves Delft University of Technology , MAR/1988
30. GERRITSMA J. & MOYES G..The seakeeping performance and steering properties of sailing Yachts , Delft University of Technology , 1972
31. GERRITSMA J.. Course keeping qualities and motions in waves of a sailing Yacht , Delft University of Technology , MAI/1968
32. PRIEBE , P. D.. Modern commercial sailing ship fundamentals , Cornell Maritime Press , Maryland , 1986

33. MOODWARD , J. B. & BECK , R. F.. Feasibility of sailing ships for the American Merchant Marine , The University of Michigam , FEV/1975
34. U. S. Navy Marine climatic atlas of the world  
Volume IV - South Atlantic ocean , MAR/1978
35. Sailboat & Equipament directory 1991 , Periódico Inglês - Anuário de 1991
36. GUEDES , P. L.. Teoria e prática de vela , extraído do livro "Sailing theory and practice" , EPUSP - Dept<sup>o</sup> Eng. Naval , 1991
37. Cruisermart Marine catalogue 1991/1992
38. CANTANHEDE , H. A. W.. ABC da vela
39. DEAR , I. & KEMP , P.. The pocket Oxford guide to sailing terms , Oxford University Press , New York 1988
40. MALONEY , E. S.. Chapman piloting - Seamanship & small boat handling , Hearst Marine books , New York , 1985
41. AGARWAL , B. D. & BROUTMAN , L. J.. Analysis and performance of fiber composites , John Wiley & Sons , New York , 1990

42. GIBBS & COX. Marine design manual for reinforced plastics , Mc Graw Hill , London
43. Guia de laminação. Fiberglass Fibras , JUN/1990
44. Offshore racing Yachts e Reinforced plastic vessels American Bureau of shipping (ABS) , New York , 1986
45. Rules and regulations for the classification and certification of Yachts. Bureau Veritas (BV) , 1990
46. Rules for construction and certification of vessels less than 15 meters. Det Norske Veritas (DNV) , 1983
47. MARSHALL , R.. Yacht design details. Hearst Marine Books New York , 1989
48. KINNEY , F. S.. Skene's elements of Yacht design Dodd , Mead & company , New York
49. ROSS , W.. Sail power - The complete guide to sails and sail handlings , Alfred A. Knoff , New York , 1987
50. LIMA , A. A.. Termos náuticos , SDGM , Rio de Janeiro 1981
51. INSEL , M. & MOLLAND A. F.. An investigation into the Resistance components of High Speed Displacement



Catamarans , RINA , ABR/1991

52. BRADFIELD , W. S.. Predicted and Measured Performance of a Daysailing Catamaran , MT , JAN/1970
  
53. MILLWARD , A.. The Variation of lateral Stability of a sailing Yacht with Forward Motion ,
  
54. OLIVER , J. C. & LETCHER , J. S. & SALVESEN , N.  
Performance Predictions of Stars & Stripes  
SNAME - TRANSACTIONS - 1987
  
55. PATTISON , D. R.. The Design of a Sailing Hydrofoil - Force 8 , RINA , 1983
  
56. CHATTERNON , H. A. & MAXHAM , J. C..Sailing Vessel Stability - With Particular Reference to the Pride of Baltimore Casualty , MT , ABR/1989
  
57. LETCHER , J. S.. Hydro-Numeric Design of Winglet Keels for Star & Stripes , MT , OUT/1987
  
58. VAN OOSSANEN , P.. Predicting the Speed of Sailing Yacht , SNAME - TRANSACTIONS , 1993