

PASTA nº

68018/2016

Fis. 89

Rubrica: mes



## Tanque de Provas Numérico

### Projeto

Análise de operação a contrabordo no Terminal Aquaviário de São Sebastião - SP (TEBAR)

RELATÓRIO 2: RESULTADOS DE MANOBRA FAST-TIME



**PETROBRAS**

AGOSTO 2014





PASTA n°

68018/2016

Fis. 90

Rubrica: *mm*



**Tanque de  
Provas Numérico**

Projeto

Análise de operação a contrabordo no Terminal Aquaviário de  
São Sebastião - SP (TEBAR)

RELATÓRIO 2: RESULTADOS DE MANOBRA FAST-TIME

AGOSTO 2014



**PETROBRAS**

PARTICIPANTES



ARGONÁUTICA  
ENGENHARIA E PESQUISAS





# Tanque de Provas Numérico

## Projeto

### Análise de operação a contrabordo no Terminal Aquaviário de São Sebastião - SP (TEBAR)

### RESULTADOS DE MANOBRA FAST-TIME

AGOSTO 2014

PROJETO						
Análise de operação a contrabordo no Terminal da Baía da Ilha Grande, Angra dos Reis - RJ (TEBIG)						
	CÓDIGO DO RELATÓRIO			TÍTULO DO RELATÓRIO		
	RT2			RESULTADOS DE MANOBRA FAST-TIME		
CLIENTE	COORDENADOR CLIENTE			COORDENADOR TPN		
	Eng. Rodrigo Nunes de Oliveira			Prof. Dr. Eduardo Acun Tannuri		
	EQUIPE ARGONAUTICA					
Eng. Msc Felipe Ruggeri Eng. Guilherme Feitosa Rosetti Eng. Msc. Rodrigo Sauri Lavieri						
	ORIGINAL	REVISÃO A	REVISÃO B	REVISÃO C	REVISÃO D	REVISÃO E
DATA	25/08/2014					
EXECUÇÃO	RSL					
VERIFICAÇÃO	EAT					
APROVAÇÃO	EAT					

*Eduardo Acun Tannuri*  
 Prof. Dr. Eduardo Acun Tannuri  
 Especialista em Mecânica da USP  
 Coordenador do Projeto

## Sumário

1. Introdução .....	5
2. Dados das embarcações .....	7
2.1. Coeficientes de Vento e Correnteza .....	7
3. Condições ambientais de simulação .....	10
4. Manobras Simuladas .....	11
5. Resultados .....	14
5.1. Suezmax atracando a bombordo .....	14
5.1. Suezmax atracando a boreste .....	20
5.1. VLCC atracando a bombordo .....	25
5.1. VLCC atracando a boreste .....	30
6. Conclusões .....	36
7. Referências .....	37



## 1. Introdução

O presente relatório faz parte dos estudos acerca da atracação a contra bordo no Terminal Aquaviário de São Sebastião, SP, Figura 1. Este documento em particular concentra-se nas análises de manobra empregando-se a técnica Fast-Time, mencionada no item 3.2.3.2 da recomendação PIANC (2014). O terminal conta com 4 berços de atracação, dispostos 2 ao norte onde atracam embarcações de menor porte e 2 ao sul, preparado para atender navios de maior porte. Atualmente, o píer norte recebe embarcações das classes Panamax e Suezmax, enquanto o píer sul recebe embarcações do tipo VLCC no seu berço externo.



Figura 1 TEBAR (área de estudo) com uma embarcação tipo VLCC atracada no berço externo e outra do tipo Suezmax no berço interno

Planeja-se realizar a atracação a contrabordo em todos os berços, observando-se apenas o porte dos navios típicos de cada um. As simulações Fast-Time contemplaram apenas a atracação no PP1, tanto de embarcações do tipo VLCC quanto Suezmax. Em ambos os casos foram manobras de acostagem por boreste e por bombordo.

As combinações a serem estudadas são:

- PP1 - VLCC carregado atracando por boreste
- PP1 - VLCC em lastro atracando por boreste

- PP1 - VLCC carregado atracando por bombordo
- PP1 - VLCC em lastro atracando por bombordo
- PP1 - Suezmax carregado atracando por boreste
- PP1 - Suezmax em lastro atracando por boreste
- PP1 - Suezmax carregado atracando por bombordo
- PP1 - Suezmax carregado atracando por bombordo

As manobras escolhidas compreendem as principais fases da operação, a saber: aproximação, redução de velocidade, giro (no caso de atracação por boreste), aproximação lateral e redução de velocidade lateral para encontrar as defensas. Por este fato, como o objetivo do estudo é uma avaliação das forças de reboque e condições ambientais críticas, considerou-se que este conjunto de manobras pode ser representativo.

As simulações em tempo real (a serem executadas na próxima fase do estudo) permitirão a avaliação das distâncias, riscos de colisão e outros aspectos que envolverão a manobra nos diferentes berços.

O desenho das manobras executadas foram baseados em informações disponíveis no sistema SAFE da Transpetro e no auxílio da Particagem (ZP-16).



## 2. Dados das embarcações

O Navio Tipo Suezmax simulado possui as dimensões resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões principais – Navio Suezmax - 140.000 TPB

	Lastro	Carregado
Deslocamento (ton)	95945	180570
Calado (m)	9,0	17,0
Comprimento total LOA (m)	274,5	
Comprimento entre perp. LBP (m)	264	
Boca (m)	48	
Pontal (m)	23,6	
Área Vélica Lateral (m <sup>2</sup> )	4576,4	2058,0
Área Vélica Longitudinal (m <sup>2</sup> )	1096,7	649,6

Da mesma forma, a maior embarcação foi identificada como **Navio Tipo VLCC** e seus dados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões principais – Navio VLCC - 260.000 TPB

	Lastro	Carregado
Deslocamento (ton)	134771	325225
Calado (m)	10,0	22,3
Comprimento total LOA (m)	326	
Comprimento entre perp. LBP (m)	313	
Boca (m)	56,6	
Pontal (m)	28,6	
Área Vélica Lateral (m <sup>2</sup> )	7673,5	3744,5
Área Vélica Longitudinal (m <sup>2</sup> )	1833,7	1132,5

### 2.1. Coeficientes de Vento e Correnteza

Além das dimensões apresentadas nas tabelas anteriores, é necessário conhecer as forças ambientais atuantes sobre as embarcações. Por se tratarem de forças de interação entre fluidos e estruturas, há dependência da geometria dos corpos, no caso dos navios, e esta dependência é traduzida na forma de coeficientes. Nos casos das forças de vento e correnteza, estes coeficientes são comumente obtidos através de ensaios em túnel de vento e tanque de reboque ou, mais recentemente, através de métodos numéricos (CFD - *Computational Fluid Dynamics*).

Para a presente foram empregados os coeficientes de vento e correnteza disponíveis no guia OCIMF[1] e [3]. Tratam-se de coeficientes provenientes de ensaios em escala reduzida empregando-se modelos de embarcações do tipo VLCC ancoradas.

Além da distinção entre condições de carregamento, os coeficientes de correnteza foram levantados para diversos aproamentos (ângulos relativos entre a embarcação e a correnteza) e para inúmeras folgas sob a

quilha (UKC - *Unde Keel Clearance*). Esta diferenciação é importante pois os esforços de correnteza são bastante amplificados quando a folga sob a quilha é reduzida.

Adotou-se um valor único de profundidade ao longo da trajetória correspondente a 45m. Este valor foi adotado por tratar-se da profundidade típica na manobra de aproximação pelo canal Sul.

A Figura 2 ilustra a diferença nas curvas de correnteza adotadas para os casos carregados e em lastro (neste caso foram apresentados apenas os coeficientes associados às forças transversais).

Como mencionado, a mesma publicação [2] apresenta os coeficientes de vento e, neste caso, a distinção é feita apenas quanto ao estado de carregamento da embarcação. A Figura 2 ilustra a diferença entre os coeficientes transversais para o caso da embarcação em lastro e carregada. Deve-se observar que as diferenças observadas nas curvas são apenas associadas aos coeficientes, havendo ainda a variação na área vélica.

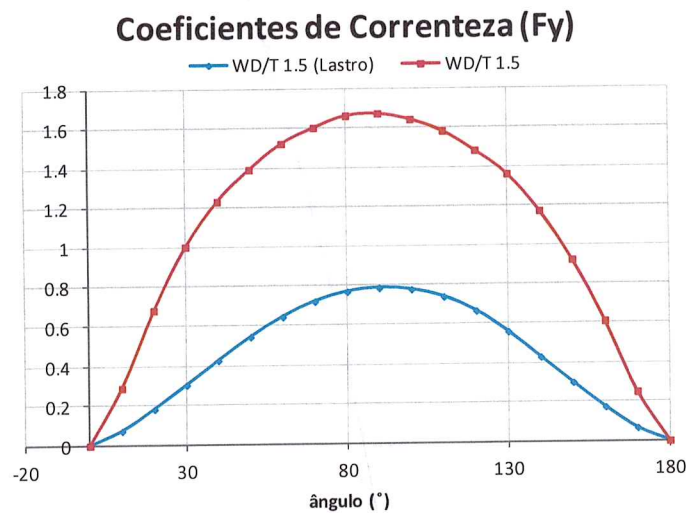


Figura 2 Coeficientes de força transversal de correnteza para duas situações de folga sob a quilha, [2].



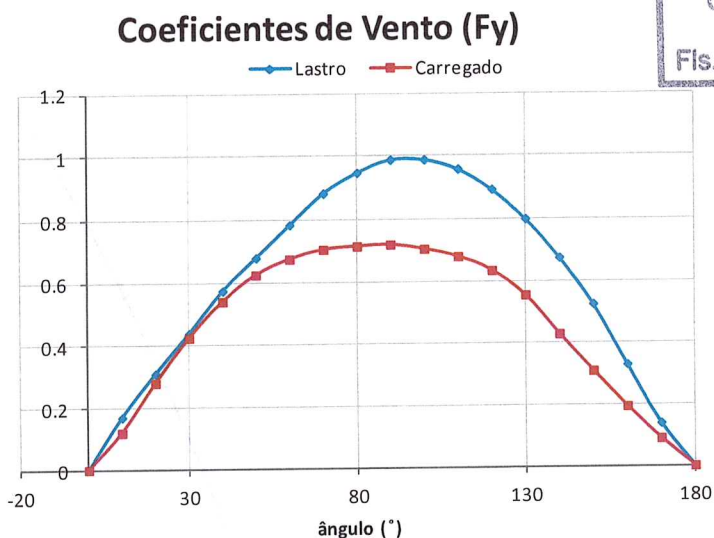


Figura 3 Coeficientes de força transversal de vento para duas situações de carregamento, [2].

Coefficientes são adimensionais associados à geometria das embarcações, sua conversão em forças é feita por meio das seguintes expressões:

Onde :

$F_v$  é a força de vento (N)

$M_v$  é o momento produzido pelo vento (N)

$F_c$  é a força produzida pela correnteza (N)

$M_c$  é o momento produzido pela correnteza (N)

$S$  é a área projetada lateral ou área projetada frontal de acordo com a incidência da força em questão (m<sup>2</sup>)

$V_v$  é a velocidade do vento (m/s)

$V_c$  é a velocidade da correnteza (m/s)

$\rho_{ar}$  é a densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{água}$  é a densidade da água (kg/m<sup>3</sup>)

$T$  é o calado da embarcação

$L$  é o comprimento da embarcação

$$\frac{F_v}{\frac{1}{2}\rho_{ar}V_v^2S} = C_w$$

$$\frac{M_v}{\frac{1}{2}\rho_{ar}V_v^2SL} = C_{mw}$$

$$\frac{F_c}{\frac{1}{2}\rho_{água}V_c^2TL} = C_c$$

$$\frac{M_c}{\frac{1}{2}\rho_{água}V_c^2TL^2} = C_{mc}$$

### 3. Condições ambientais de simulação

As simulações foram realizadas com base no registro anual de condições simultâneas no Canal de São Sebastião [4]. Os dados de vento e corrente foram resumidos nas rosas de direções e sobrepostos ao mapa da região, Figura 4. Ao todo foram simuladas 365 condições ambientais com base no registro fornecido em [4].

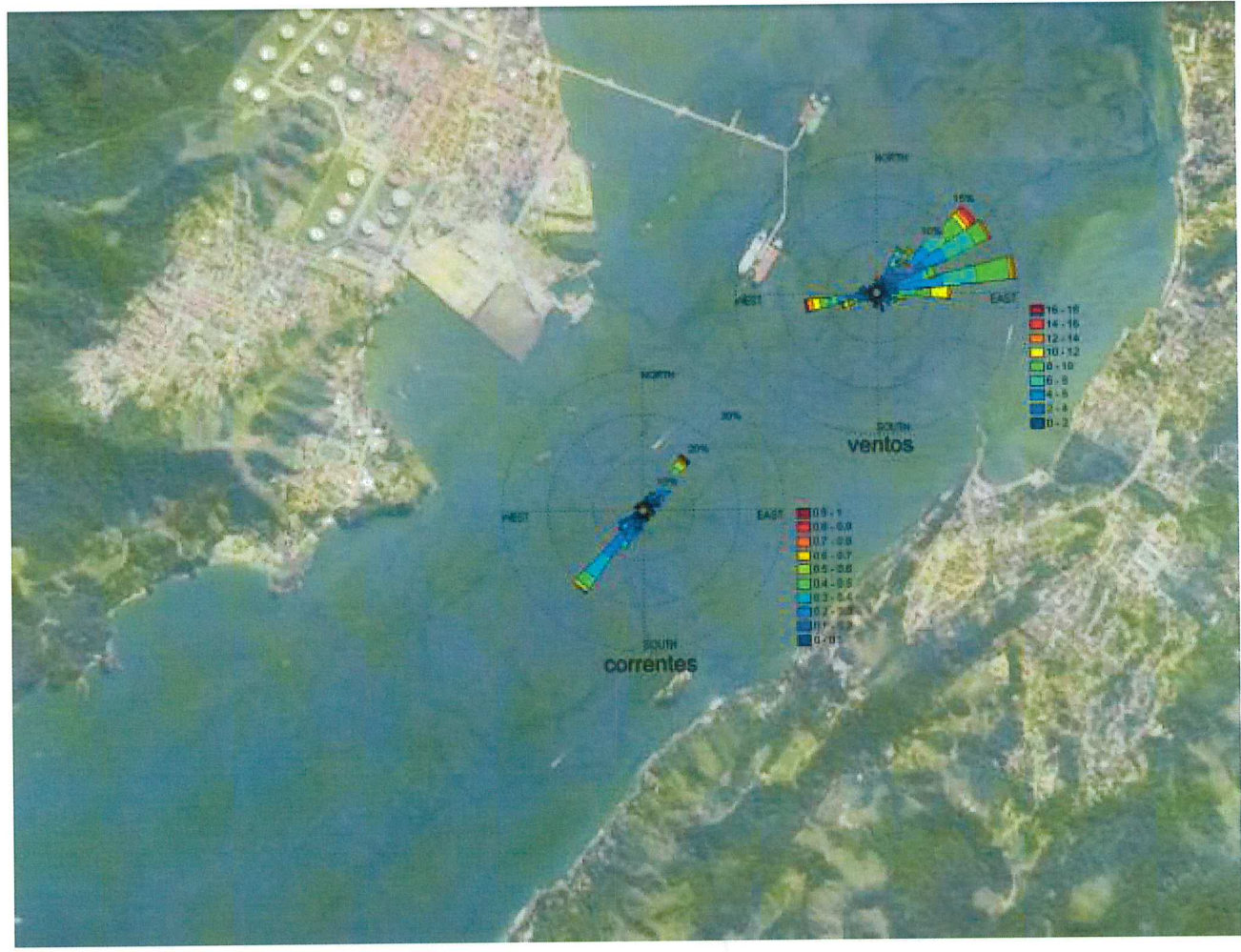


Figura 4 Rosas de direções de ventos e correntes correspondentes ao registro simultâneo de 1 ano

Verifica-se uma redução nas intensidades, principalmente de correnteza, ao se comparar os valores apresentados na Figura 4 àqueles utilizados na primeira etapa das análises de amarração (RT1), onde os máximos de 10 anos foram selecionados e combinados extensivamente. A corrente máxima observada no registro simultâneo anual manteve-se abaixo de 1m/s.



#### 4. Manobras Simuladas

Como mencionado anteriormente, o traçado das manobras foi baseado em registros reais de atracções no PP1. Durante a acostagem por bombordo, a embarcação não desempenha o giro e seu traçado é ilustrado na Figura 5. Quando a atracção ocorre por boreste, a embarcação deve executar um giro antes de aproximar-se do berço. Esta última situação é ilustrada na Figura 6.

Destaca-se que em ambos os casos as manobras foram simuladas considerando-se a embarcação em lastro e carregada.

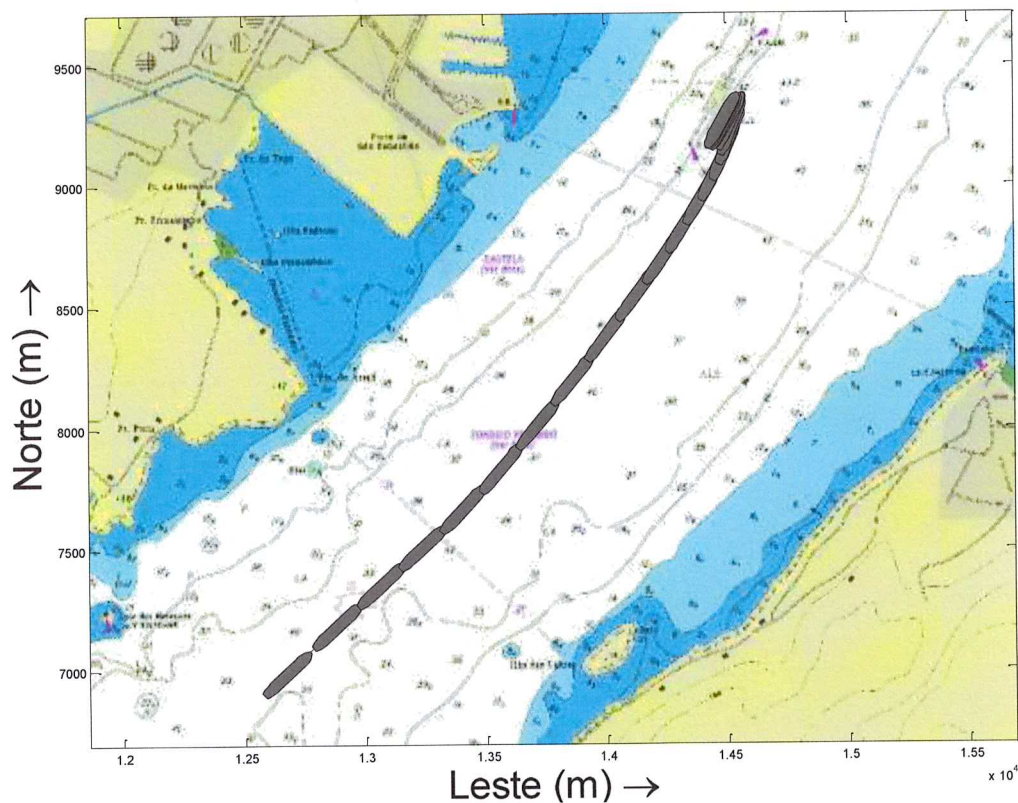


Figura 5 Trajetória para atracção a bombordo

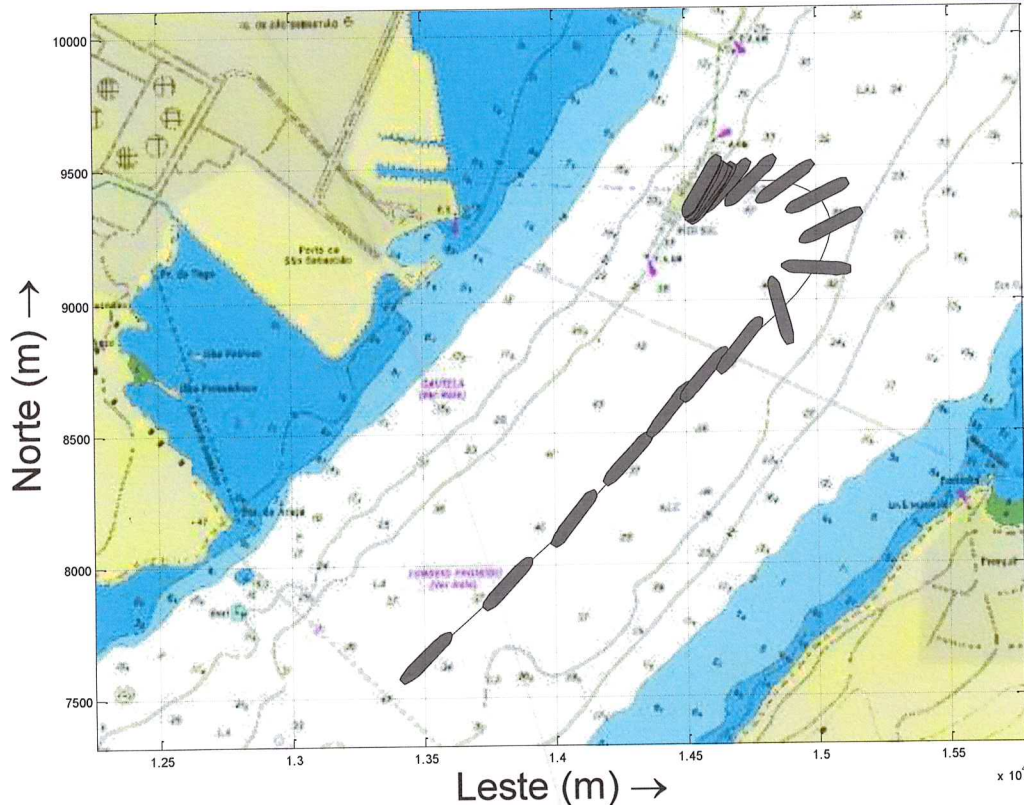


Figura 6 Trajetória para atracação a boreste

Foram analisados arranjos de rebocadores sugeridos pela Praticagem e coerentes com a frota disponível no TEBAR, neste caso 4 rebocadores de 46tf de *Bollar Pull*.

Antes de apresentar as configurações, cabe observar alguns aspectos da modelagem dos rebocadores.

- Cabo Longo: O rebocador apenas puxa a embarcação principal nas direções compreendidas por um semicírculo ( $-90^\circ$  a  $90^\circ$ ), como mostrado na Figura 7 (esquerda). Adota-se que o rebocador demandará 30s para inverter o bordo de atuação da força. Além disso, adota-se que o rebocador altera sua força na taxa de 2tf/s.
- Cabo Curto: O rebocador pode empurrar ou puxar a embarcação apenas na direção do seu eixo longitudinal. Neste caso considerou-se uma diferença entre as forças exercidas ao empurrar e puxar a embarcação, sendo a força ao puxar inferior. Levou-se em conta um tempo mínimo de 60s para que a reversão completa ocorra. A Figura 7 (direita) ilustra o rebocador operando através do cabo curto. Adota-se que o rebocador altera sua força na taxa de 2tf/s.



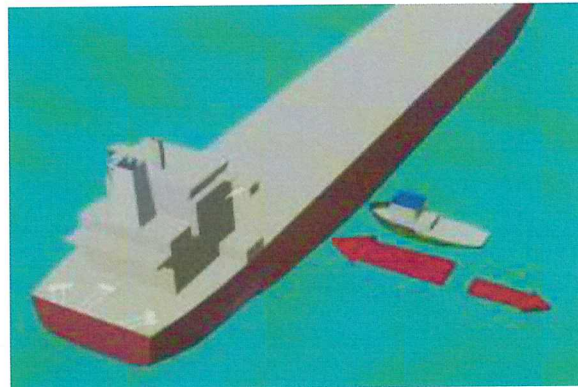
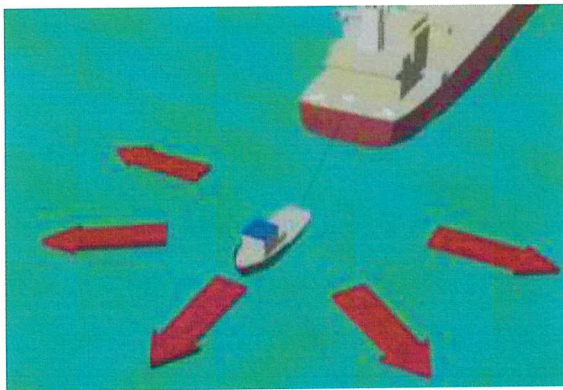


Figura 7 Configuração dos rebocadores: (esquerda) cabo longo na popa e proa;(direita) cabo curto no costado

As manobras foram realizadas com dois rebocadores conectados por meio de cabos longos na proa e popa da embarcação e dois outros empregando cabos curtos junto ao costado, Figura 8.

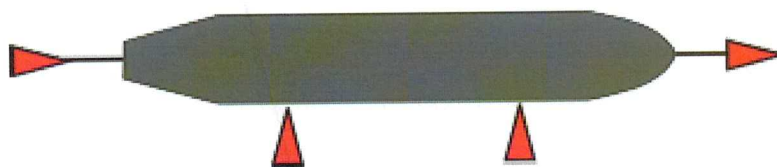


Figura 8 Disposição dos rebocadores

A análise é baseada no cálculo das forças ambientais atuantes sobre o casco adicionadas às forças de inércia ao longo de toda a trajetória. Em seguida, adota-se um algoritmos de otimização para obterem-se os empuxos necessários de cada rebocador em cada instante, assumindo-se as restrições dinâmicas de cada um descritas anteriormente.

## 5. Resultados

A seguir são apresentados os resultados do conjunto de simulações, inicialmente através da carga média no conjunto de rebocadores ao longo das simulações. Estes gráficos ilustram o panorama dos resultados, indicando de modo geral a dificuldade de realização de cada manobra além de possíveis efeitos de sazonalidade.

Em seguida os resultados foram divididos entre aqueles nos quais a correnteza tem direção Norte e Sul. Nestes casos, o eixo x indica a intensidade da corrente enquanto o eixo y apresenta a carga média nos rebocadores. Adicionalmente, foram destacados os números de ocorrências correspondentes a cada faixa dos gráficos. Estes gráficos evidenciam a importância da correnteza para cada uma das manobras e o efeito do seu aumento.

Finalmente, são apresentados gráficos apresentando o nível médio de utilização de cada um dos rebocadores do arranjo.

### 5.1. Suezmax atracando a bombordo

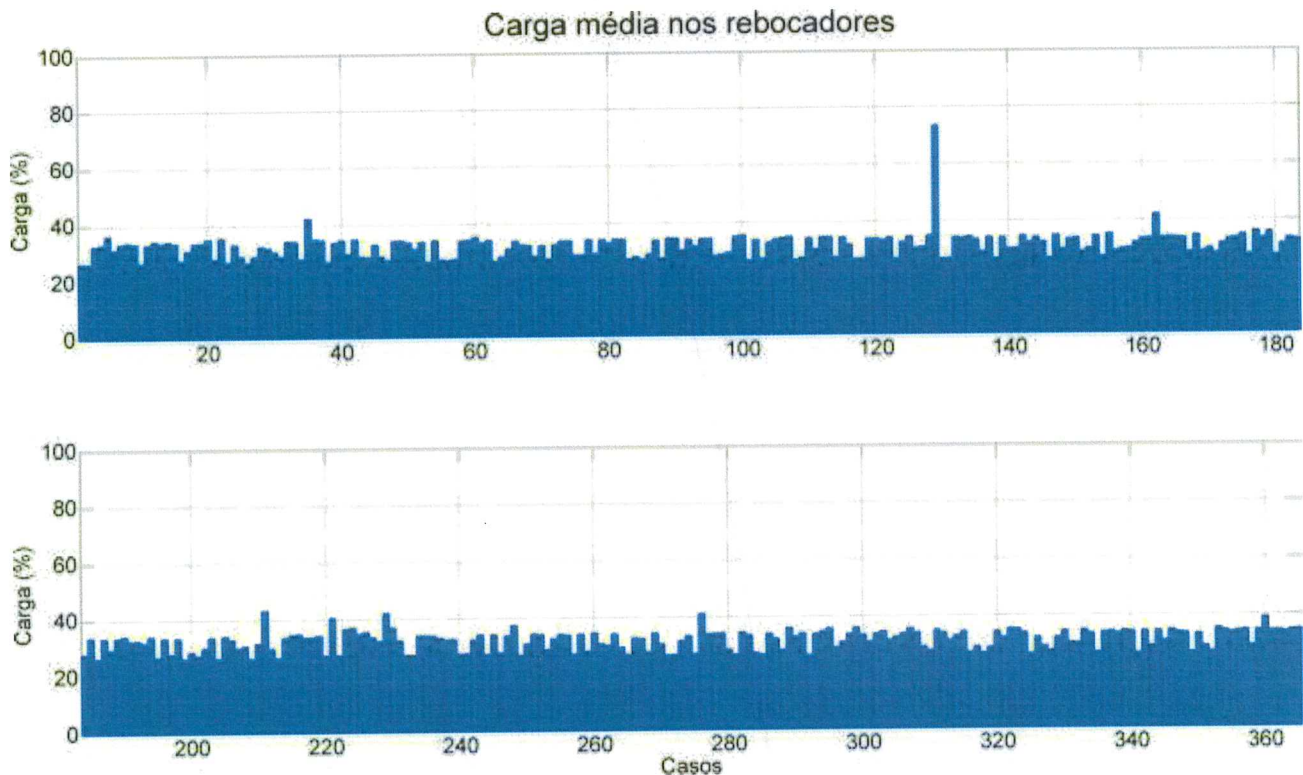


Figura 9 - Carga média nos rebocadores Suezmax em lastro para cada simulação realizada - bombordo



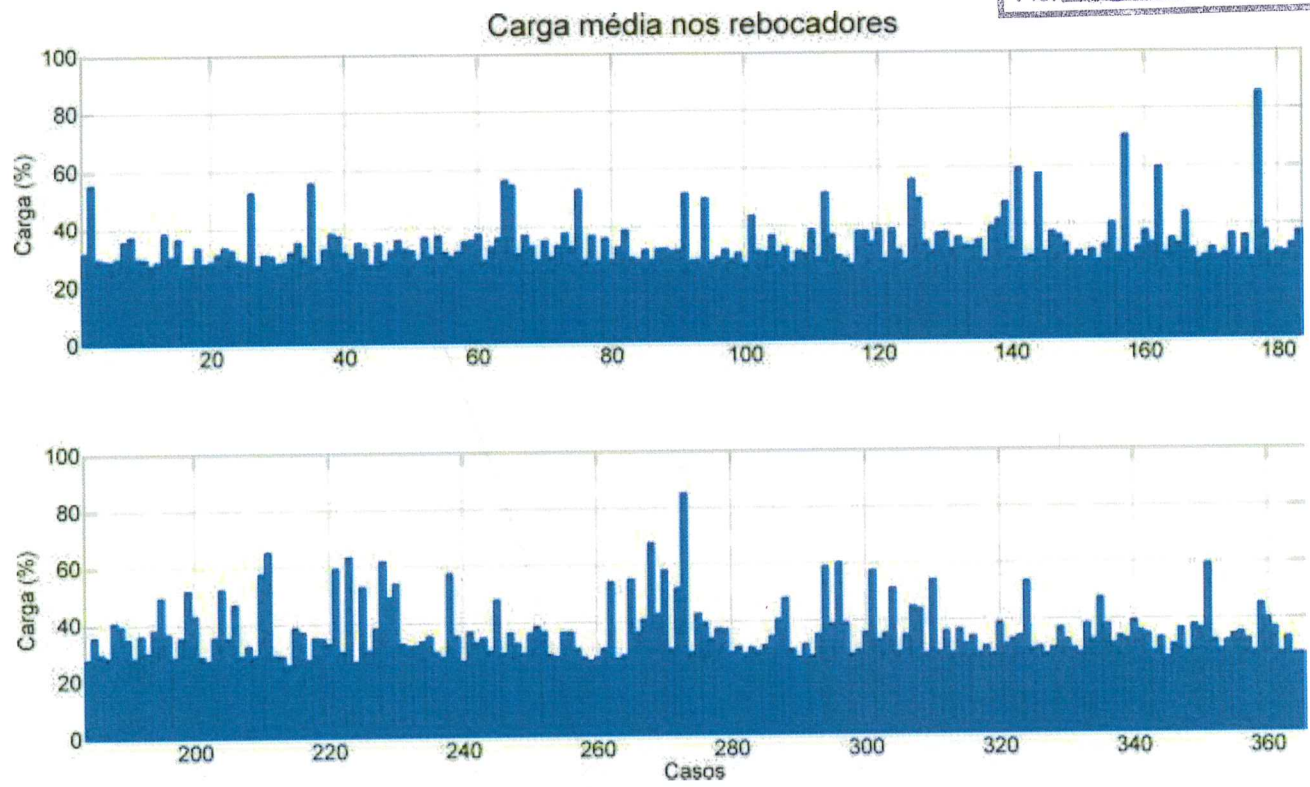


Figura 10 - Carga média nos rebocadores Suezmax cheio para cada simulação realizada - bombordo

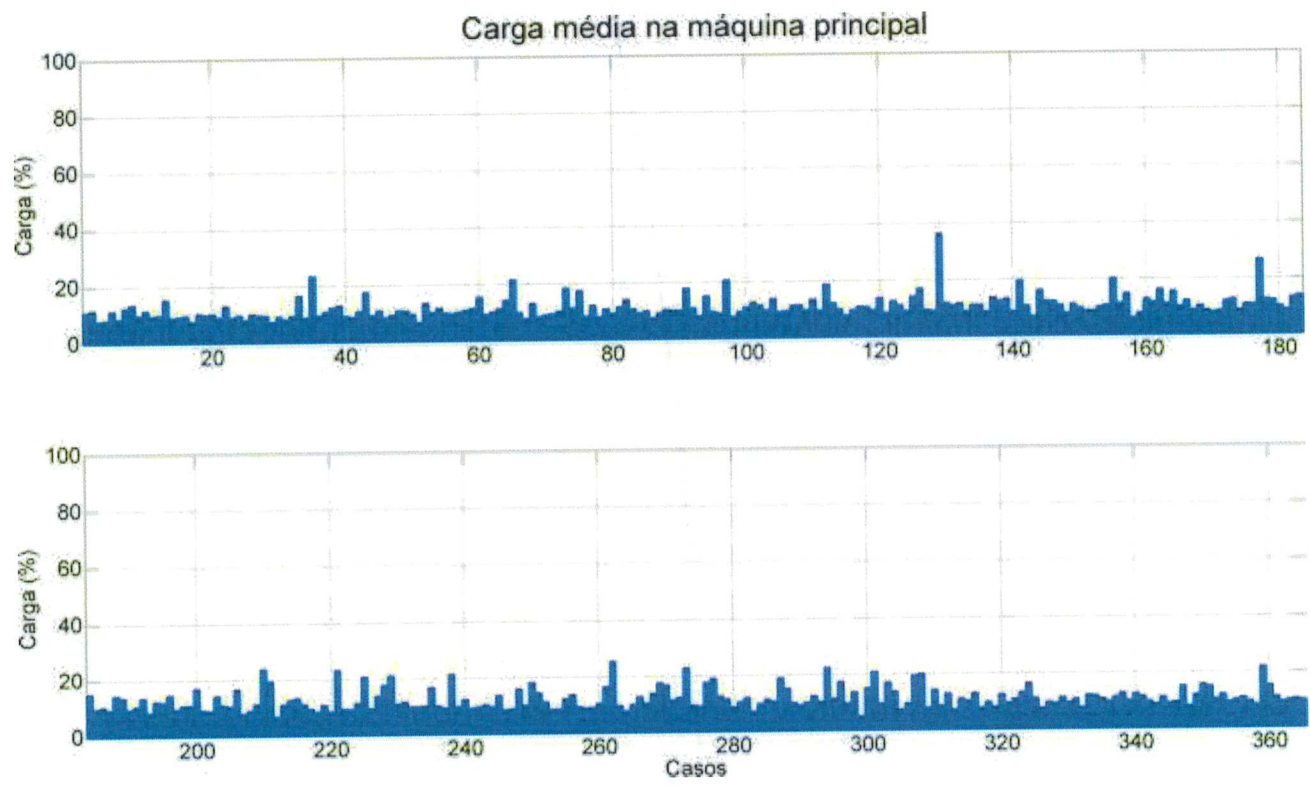


Figura 11 - Carga média na máquina principal Suezmax em lastro para cada simulação realizada - bombordo

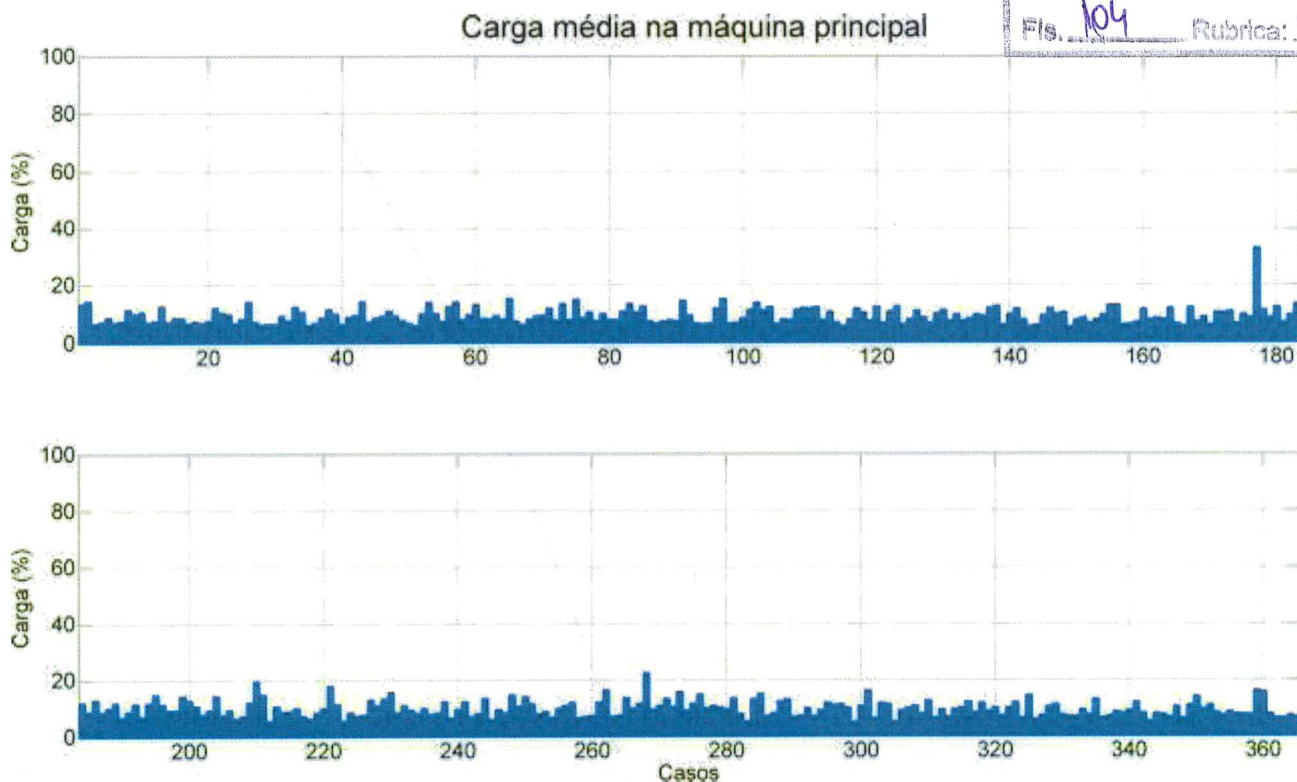


Figura 12 - Carga média na máquina principal Suezmax cheio para cada simulação realizada - bombordo

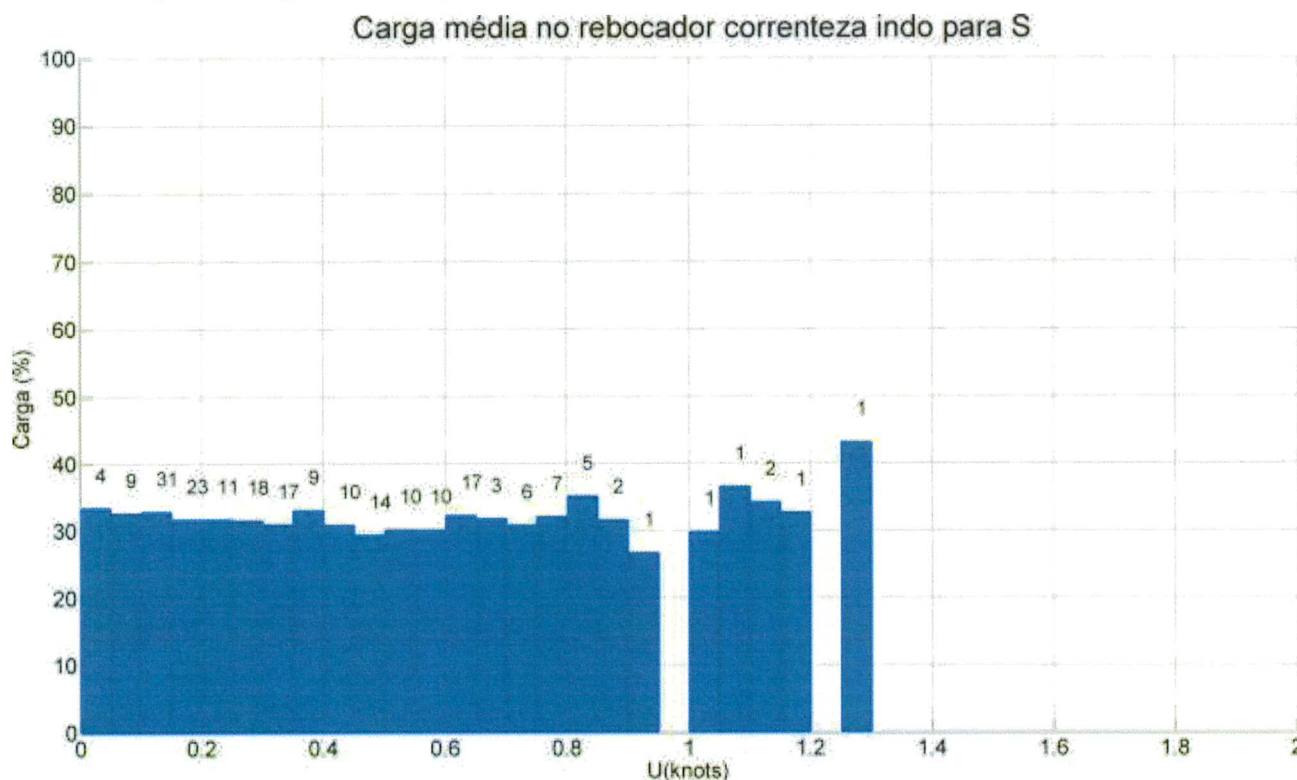


Figura 13 - Carga média nos rebocadores Suezmax em lastro em função das correntezas indo para direção sul - bombordo



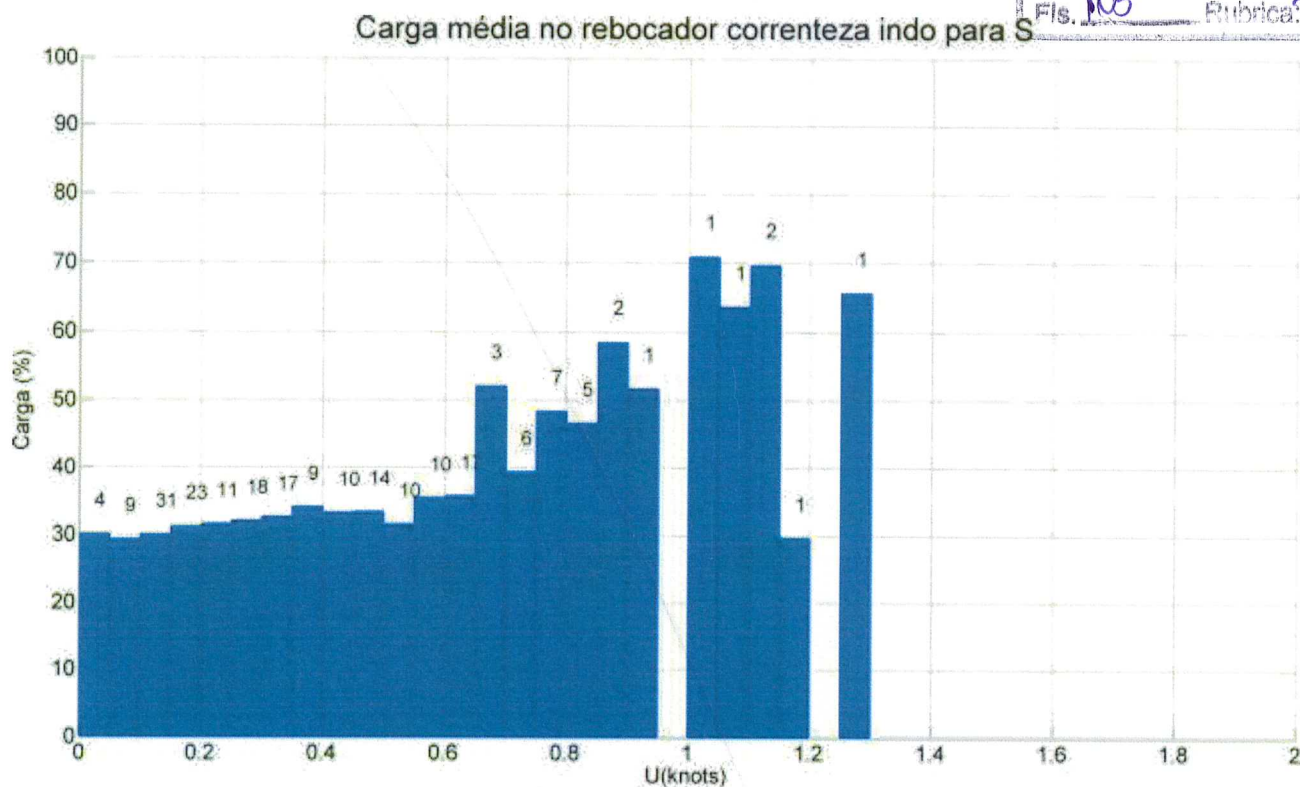


Figura 14 - Carga média nos rebocadores Suezmax cheio em função das correntezas indo para direção sul - bombordo

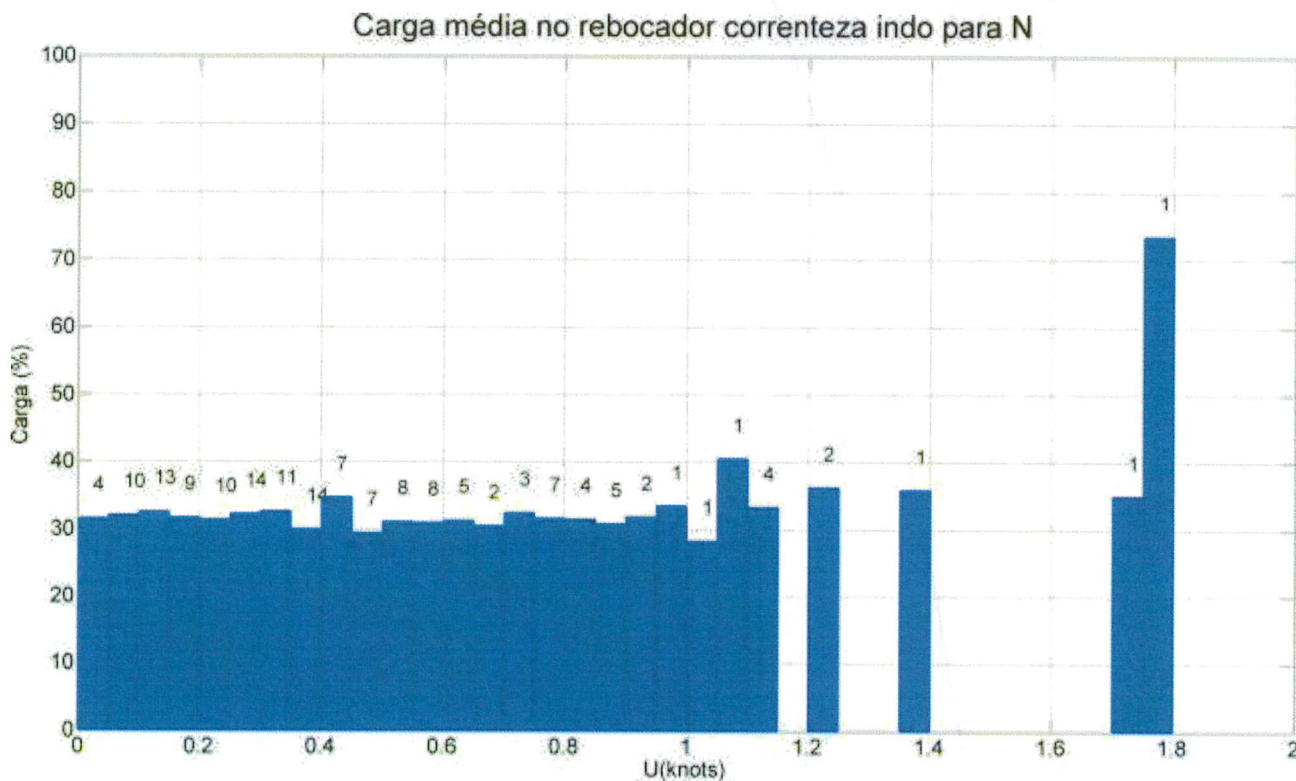


Figura 15 - Carga média nos rebocadores Suezmax em lastro em função das correntezas indo para direção norte - bombordo

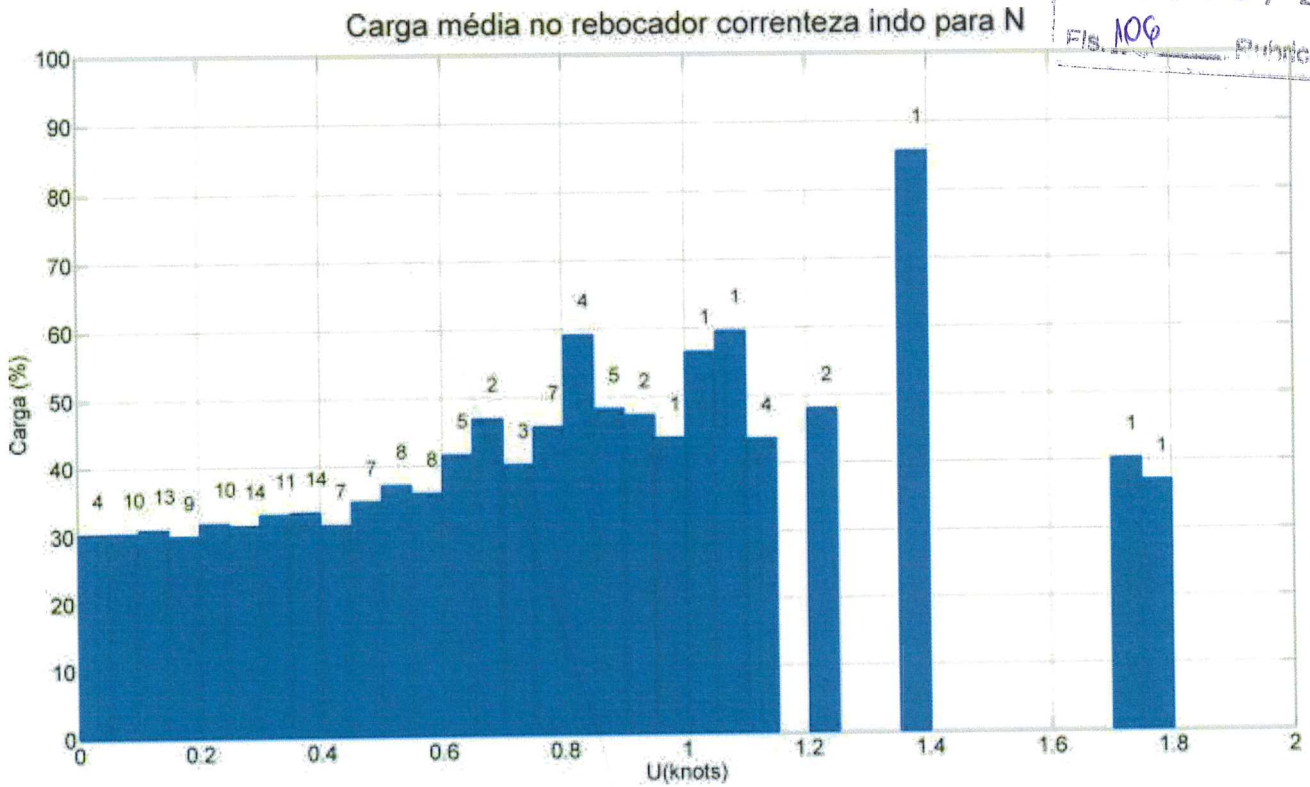


Figura 16 - Carga média nos rebocadores Suezmax cheio em função das correntezas indo para direção norte - bombordo

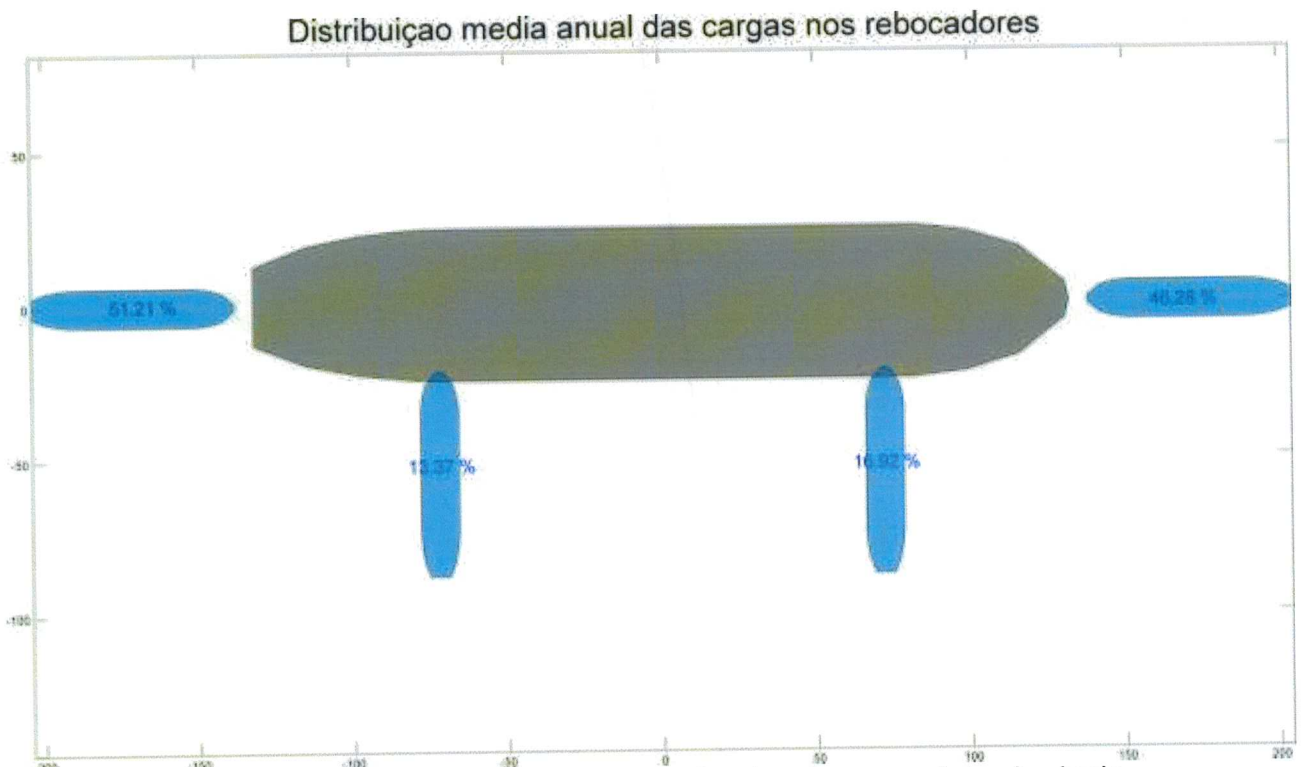


Figura 17 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores Suezmax em lastro - bombordo



Distribuição média anual das cargas nos rebocadores

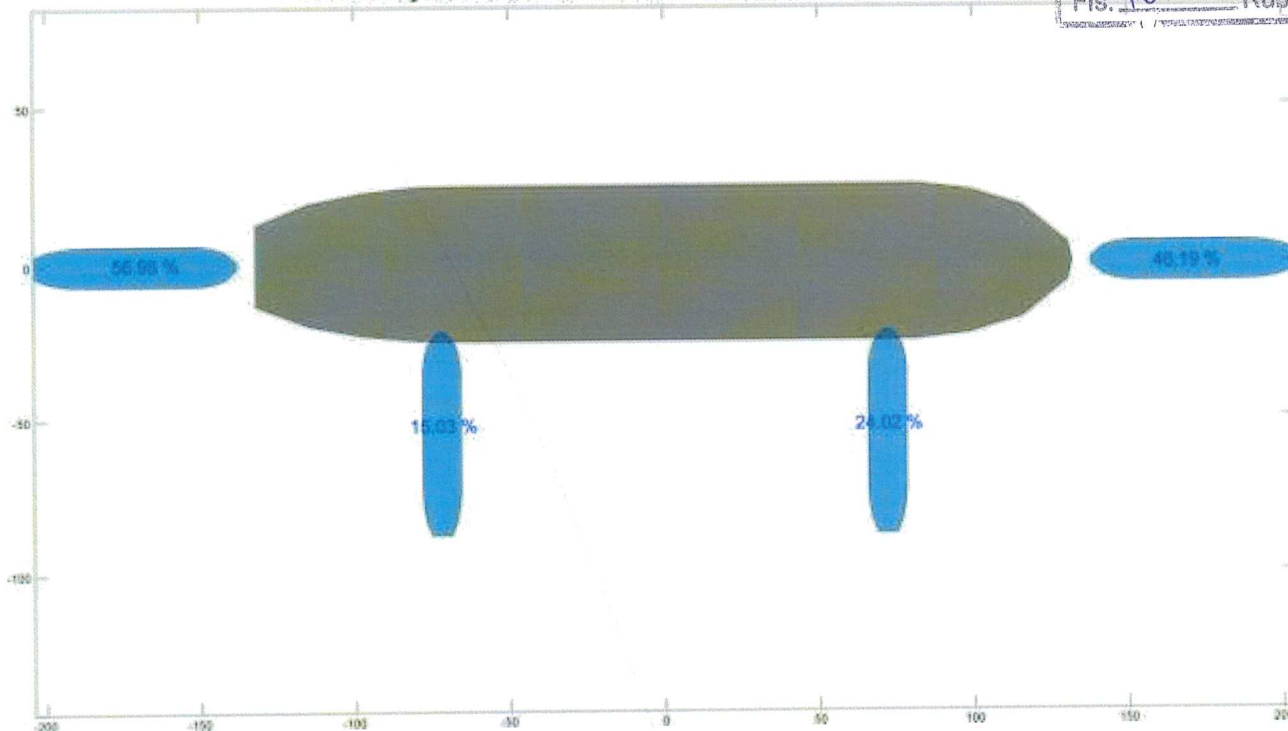


Figura 18 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores Suezmax cheio - bombordo

De modo geral, as simulações mostraram-se viáveis, entretanto cargas mais elevadas foram observadas quando a embarcação encontra-se carregada, confirmando que a corrente é o agente ambiental crítico para as manobras. Os rebocadores mais solicitados para a manobra são os cabos longos na popa e proa da embarcação.

### 5.1. Suezmax atracando a boreste

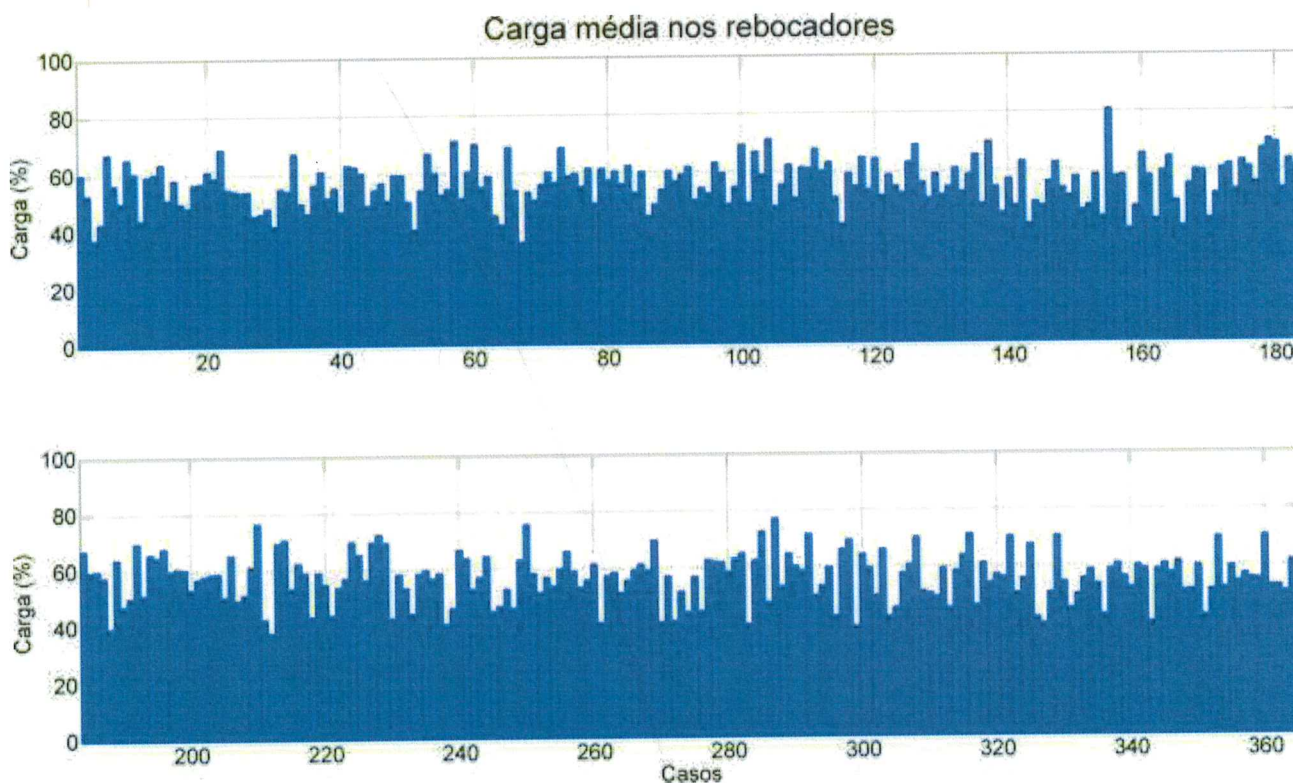


Figura 19 - Carga média nos rebocadores Suezmax vazio para cada simulação realizada - boreste

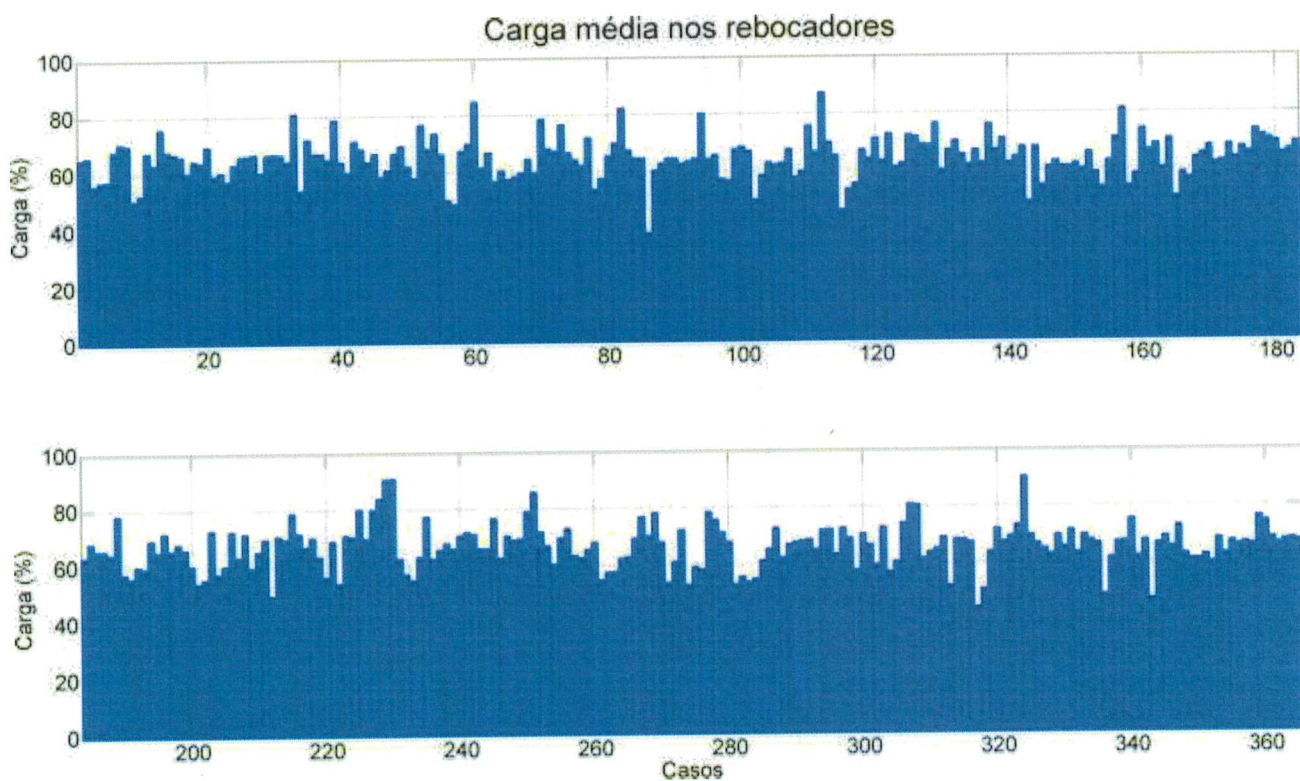


Figura 20 - Carga média nos rebocadores Suezmax cheio para cada simulação realizada - boreste



Carga média na máquina principal

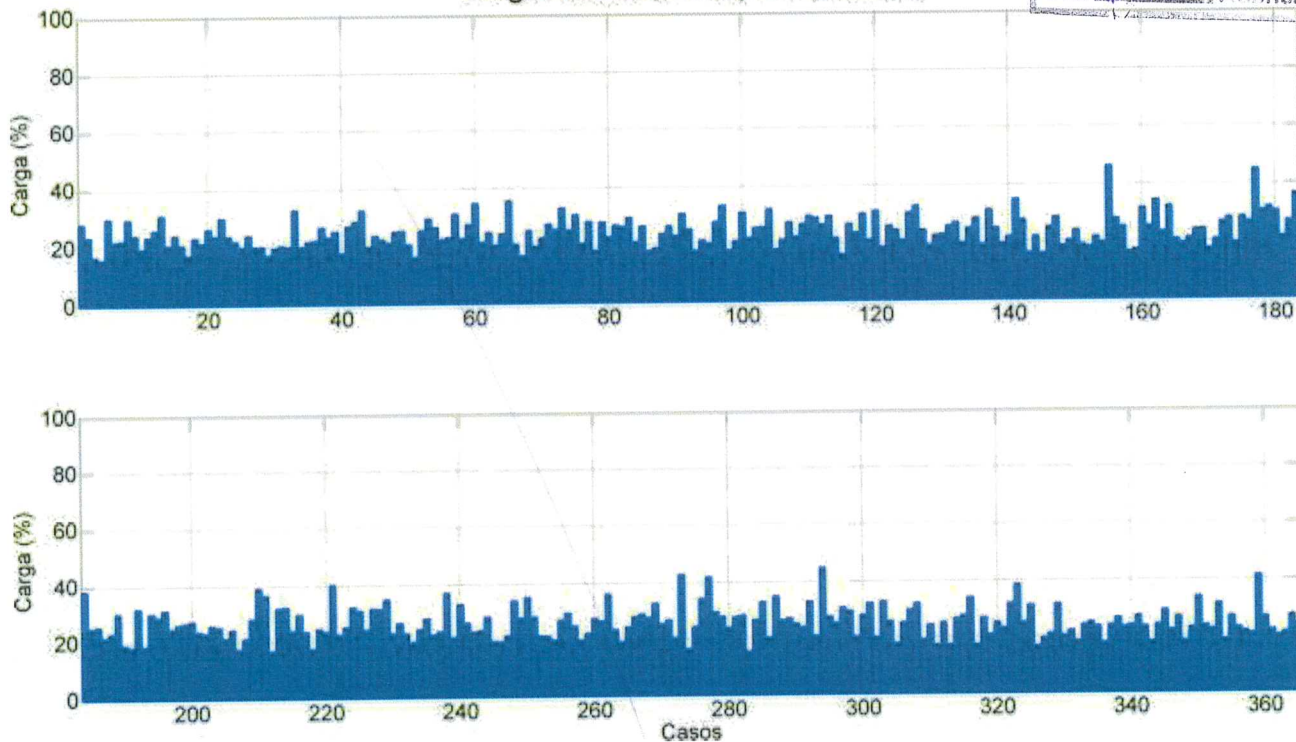


Figura 21 - Carga média na máquina principal Suezmax vazio para cada simulação realizada - boreste

Carga média na máquina principal

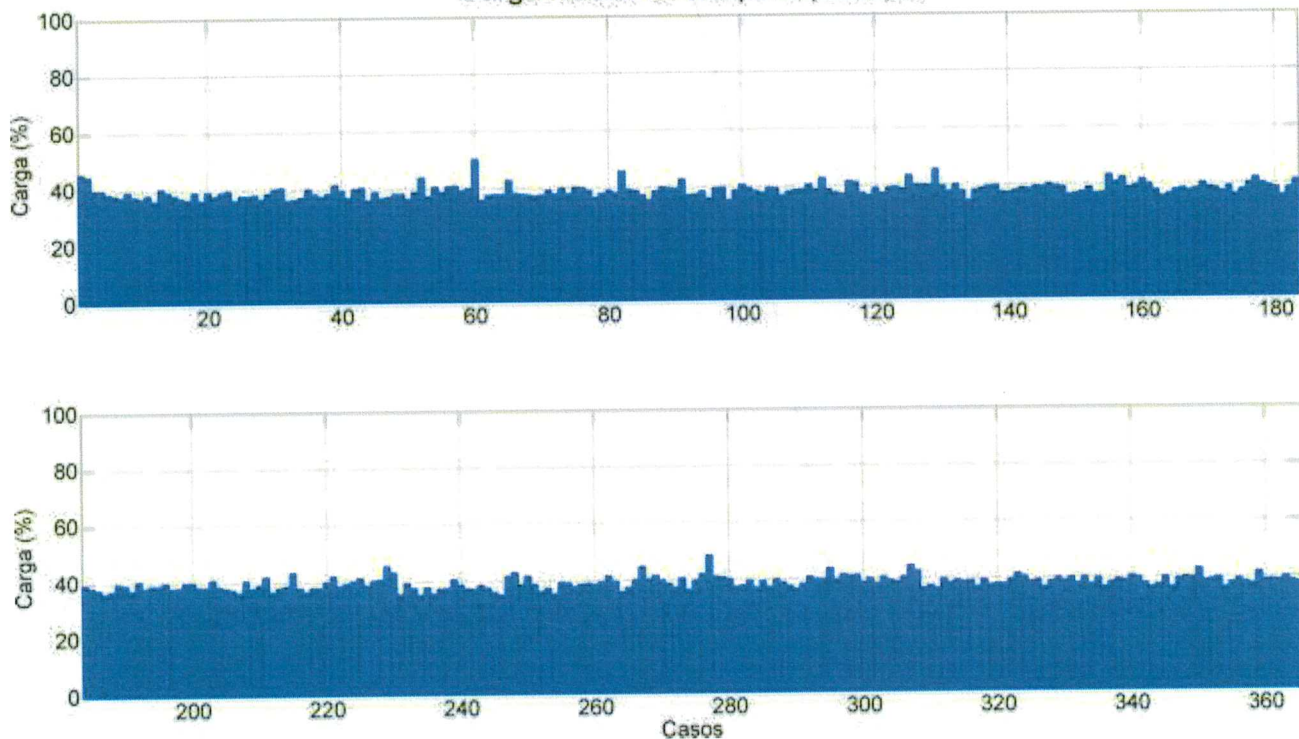


Figura 22 - Carga média na máquina principal Suezmax cheio para cada simulação realizada - boreste

Carga média no rebocador correnteza indo para S

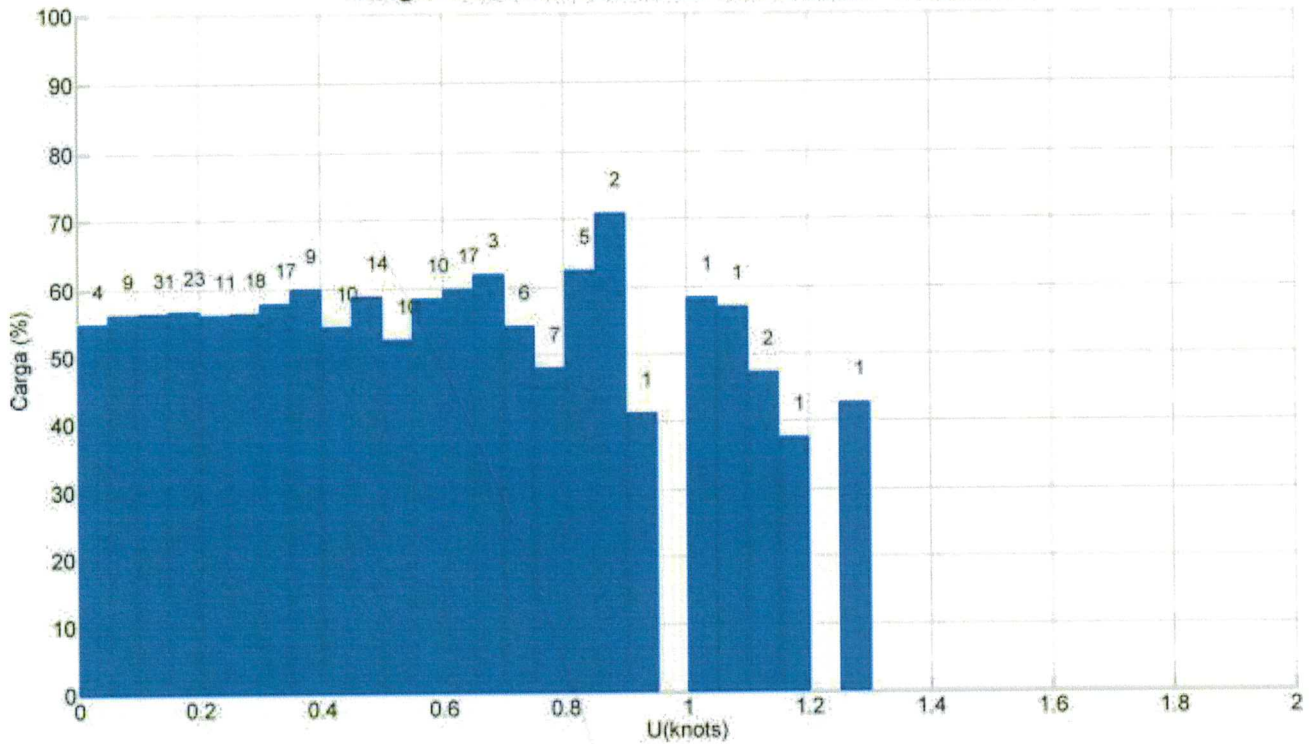


Figura 23 - Carga média nos rebocadores Suezmax vazio em função das correntezas indo para direção sul - boreste

Carga média no rebocador correnteza indo para S

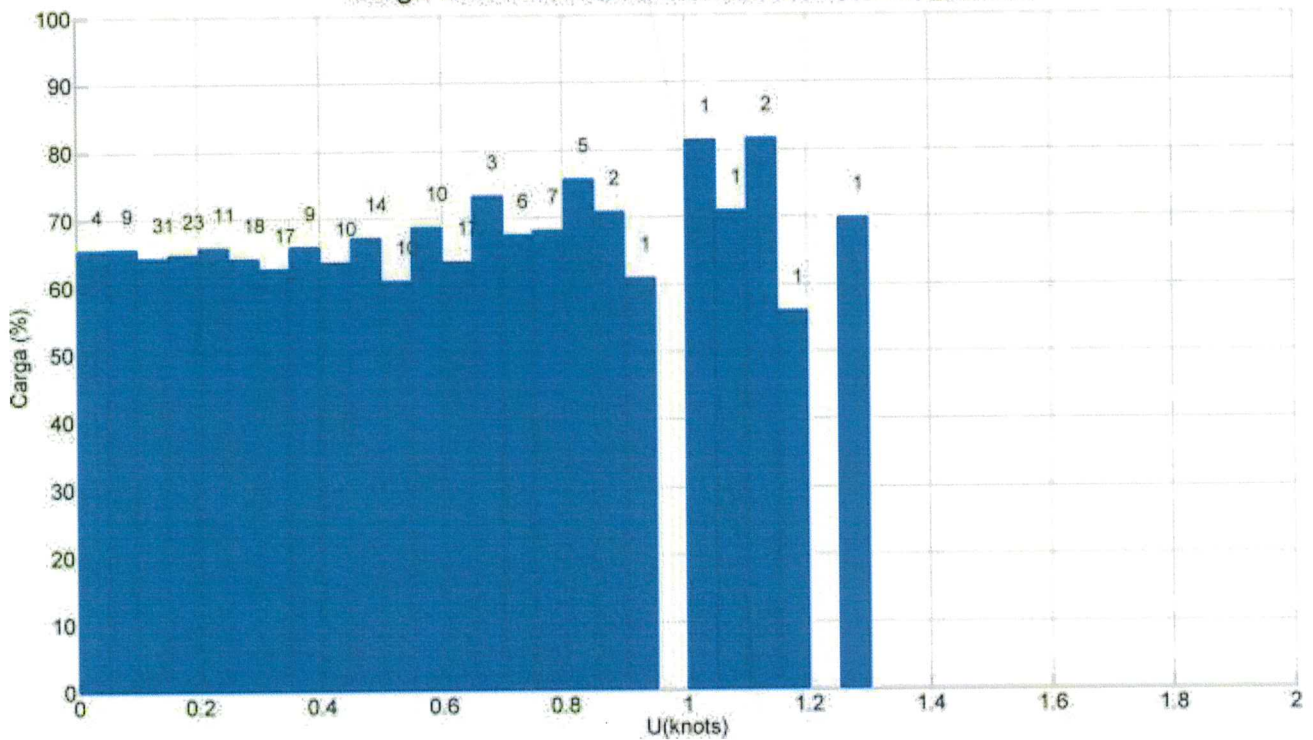


Figura 24 - Carga média nos rebocadores Suezmax cheio em função das correntezas indo para direção sul - boreste



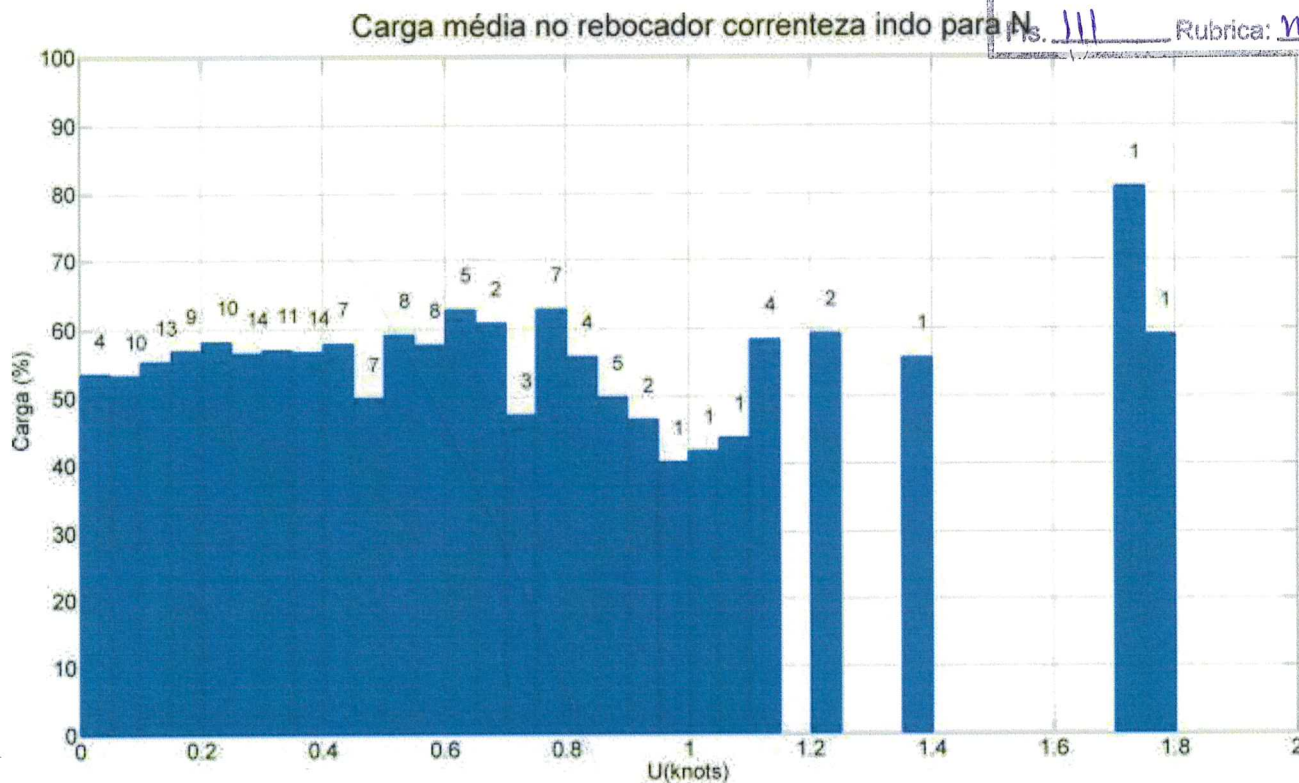


Figura 25 - Carga média nos rebocadores Suezmax vazio em função das correntezas indo para direção norte - boreste

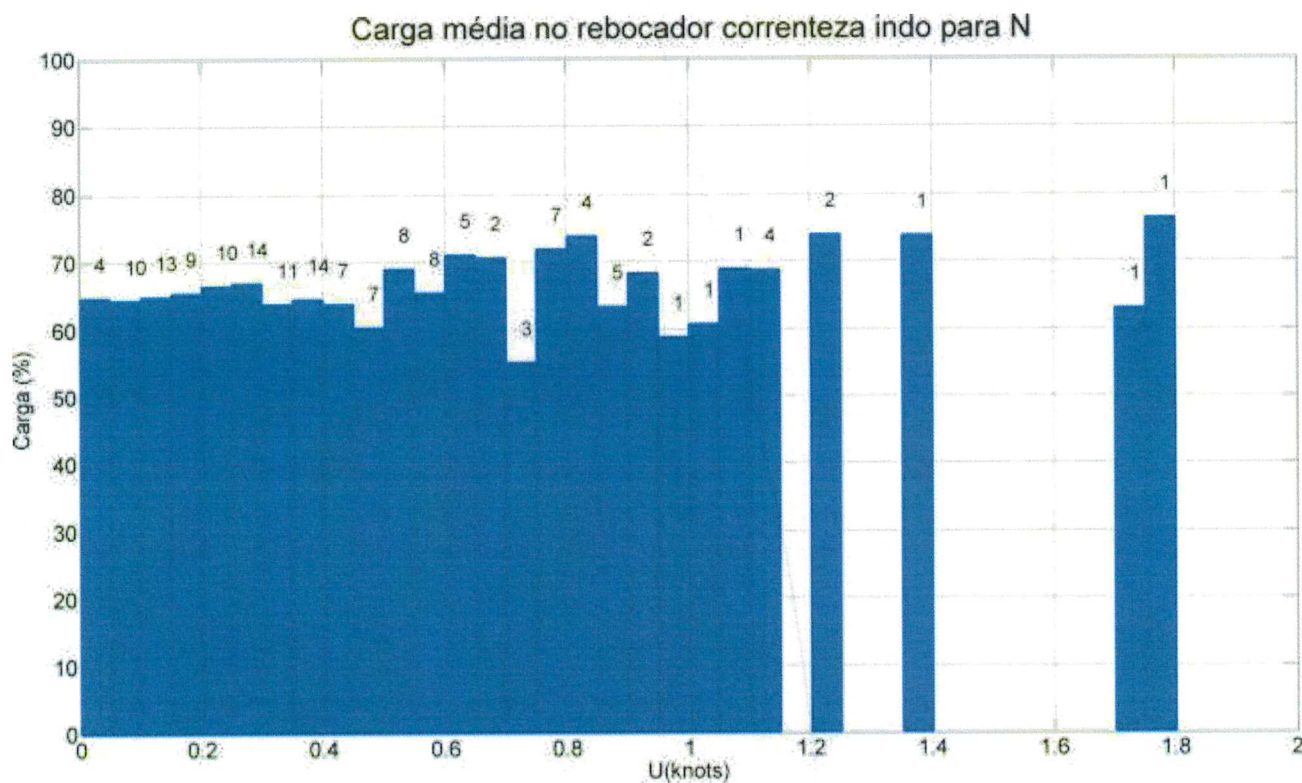


Figura 26 - Carga média nos rebocadores Suezmax cheio em função das correntezas indo para direção norte - boreste

Distribuição média anual das cargas nos rebocadores

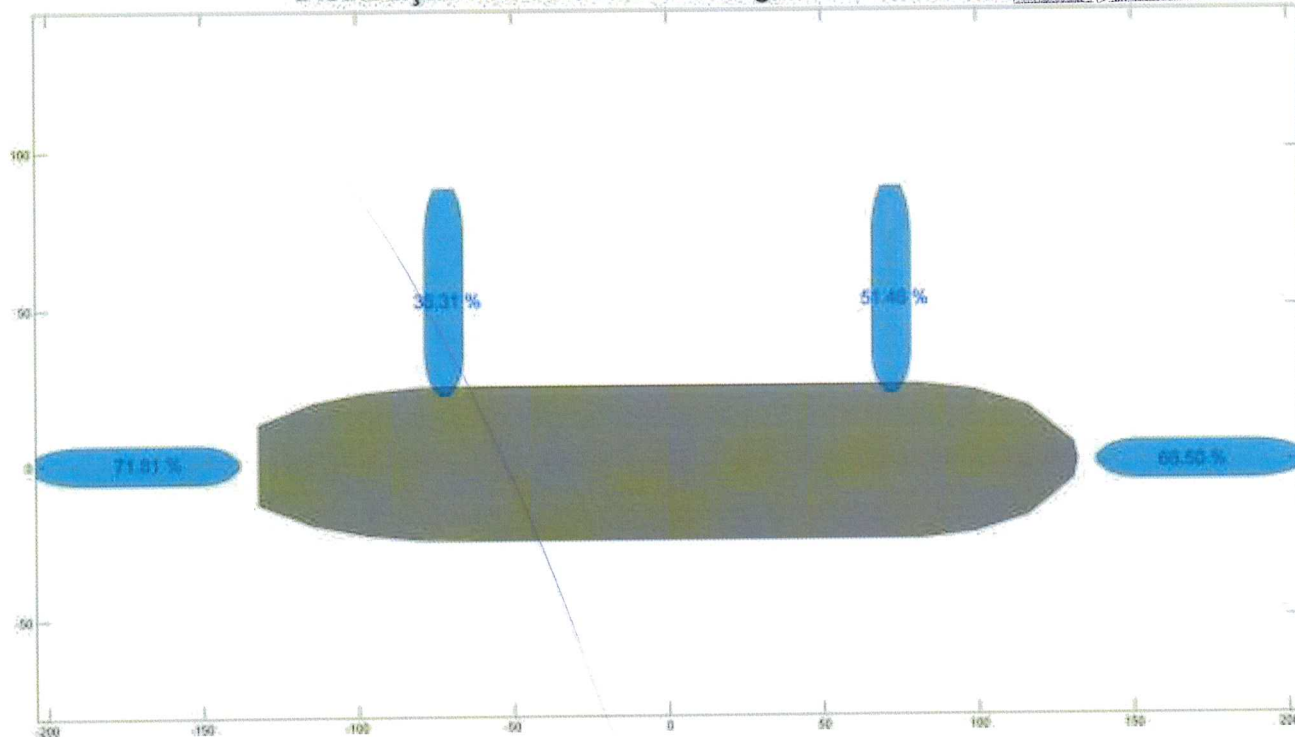


Figura 27 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores Suezmax vazio - boreste

Distribuição média anual das cargas nos rebocadores

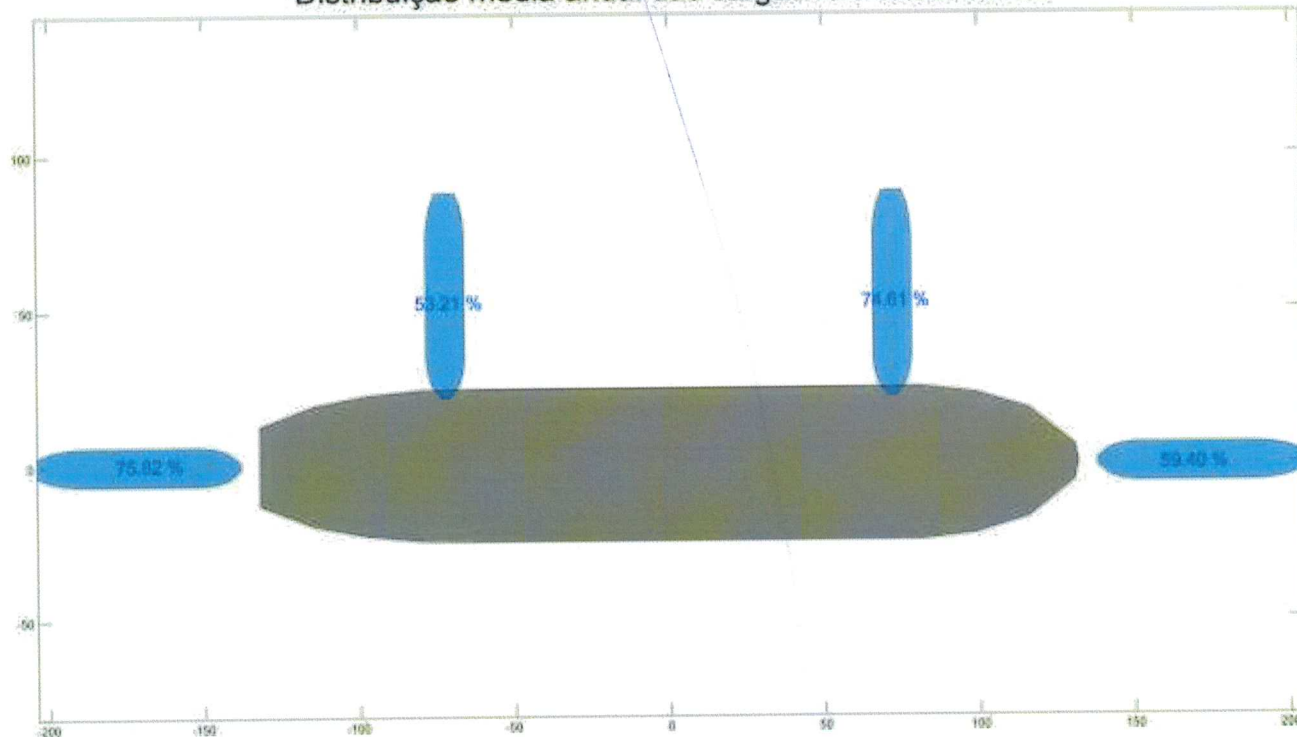


Figura 28 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores Suezmax cheio - boreste

A atracação por boreste mostrou-se mais crítica por demandar o giro da embarcação. Este fato fica evidente nas médias de cargas nos rebocadores, que neste caso mantêm-se próxima de 60% enquanto nas atracções por bombordo estes níveis são próximos de 40%.



### 5.1. VLCC atracando a bombordo

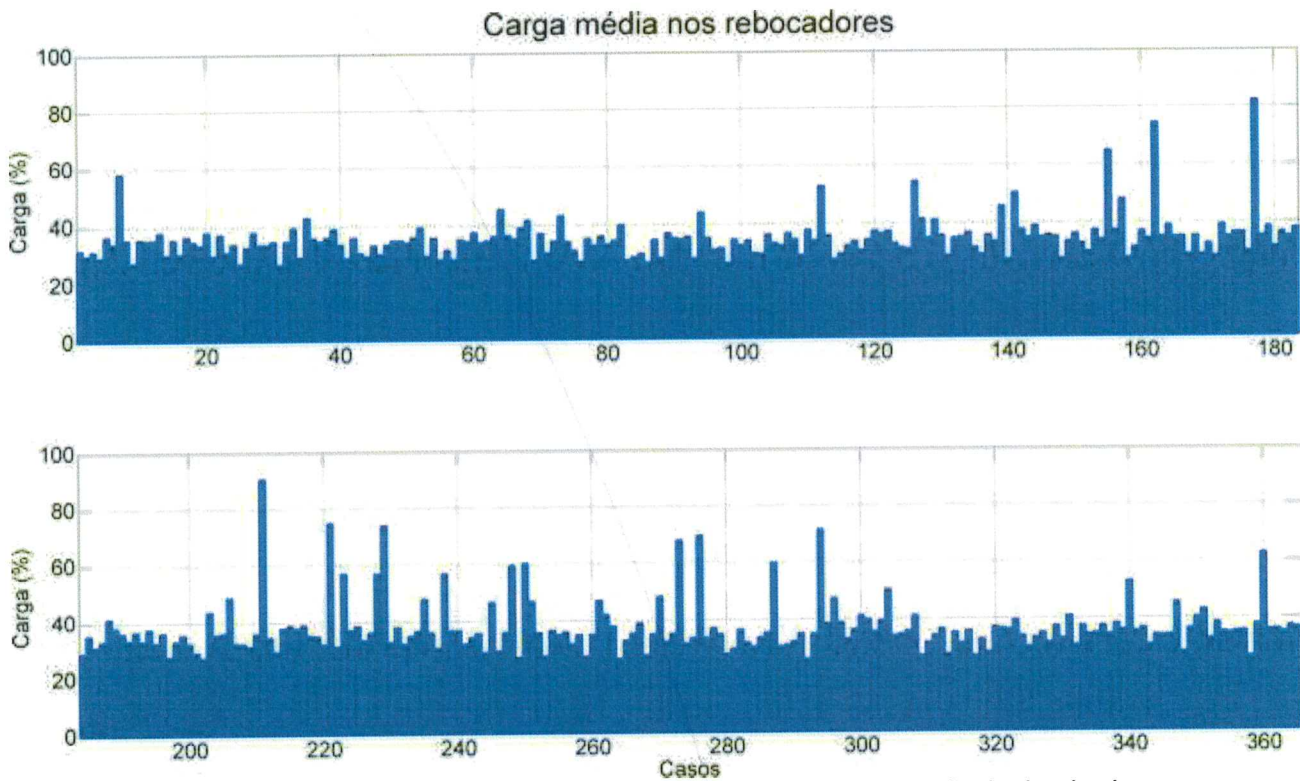


Figura 29 - Carga média nos rebocadores VLCC vazio para cada simulação realizada - bombordo

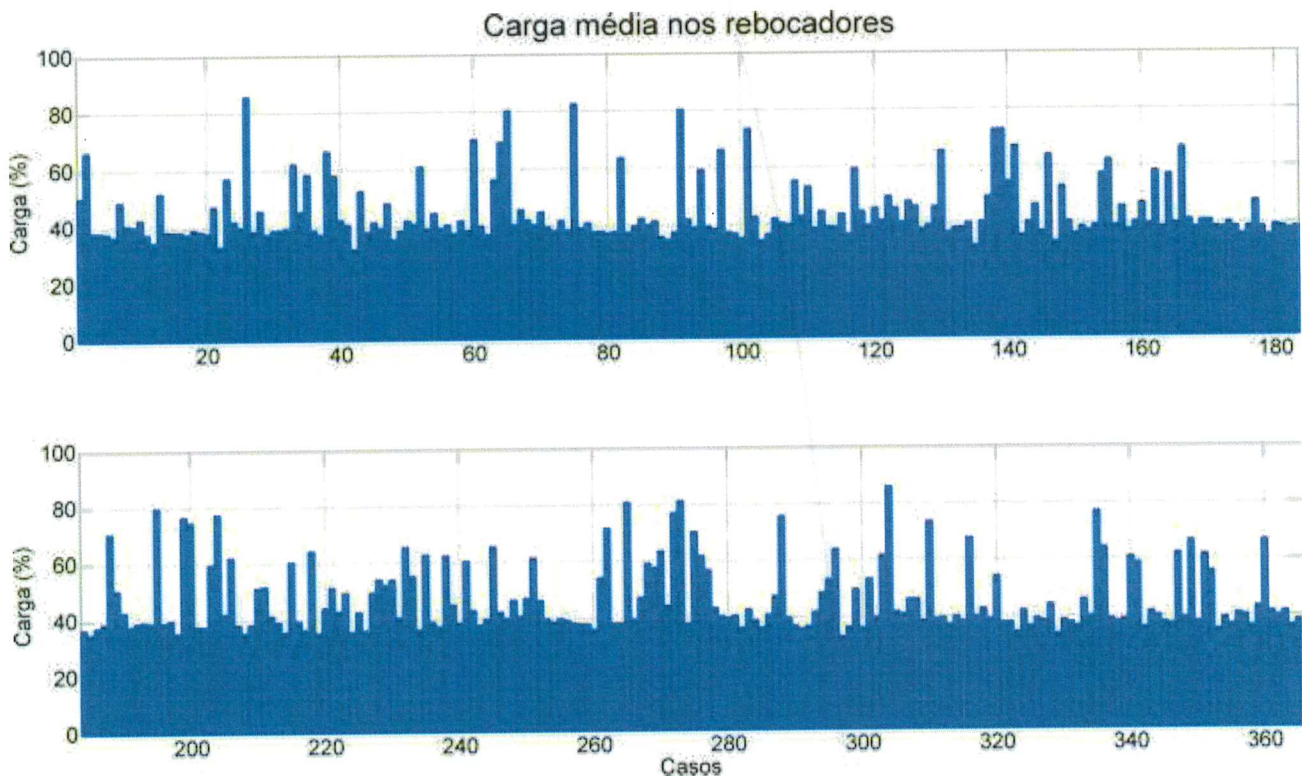


Figura 30 - Carga média nos rebocadores VLCC cheio para cada simulação realizada - bombordo

Carga média na máquina principal

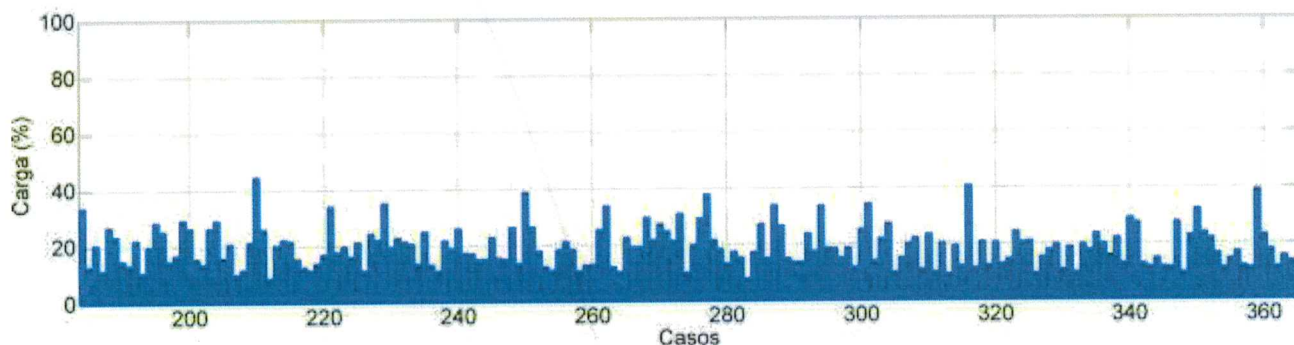
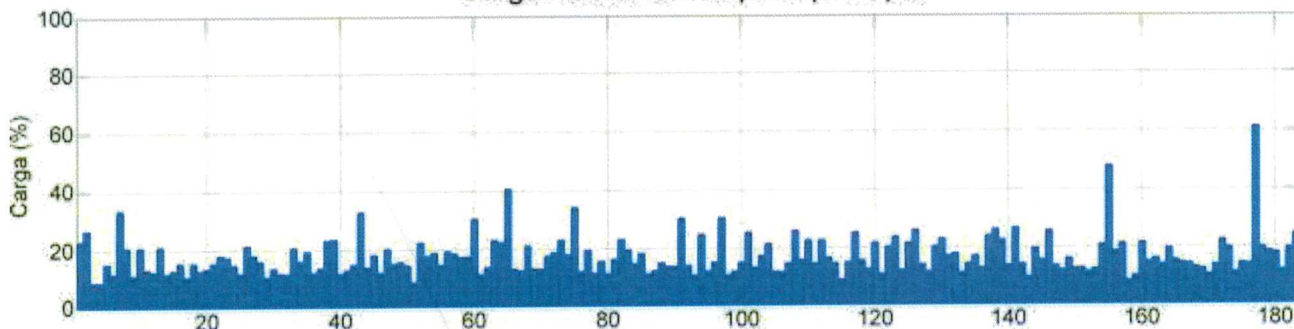


Figura 31 - Carga média na máquina principal VLCC vazio para cada simulação realizada - bombordo

Carga média na máquina principal

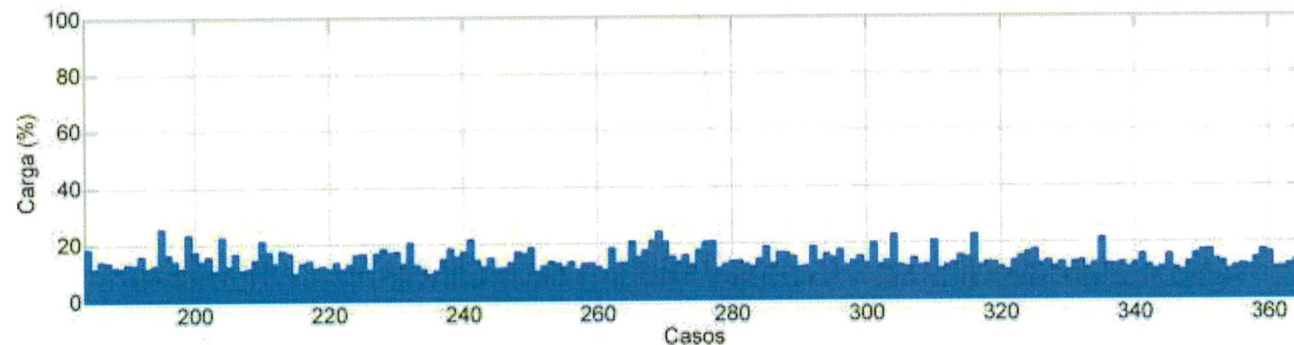
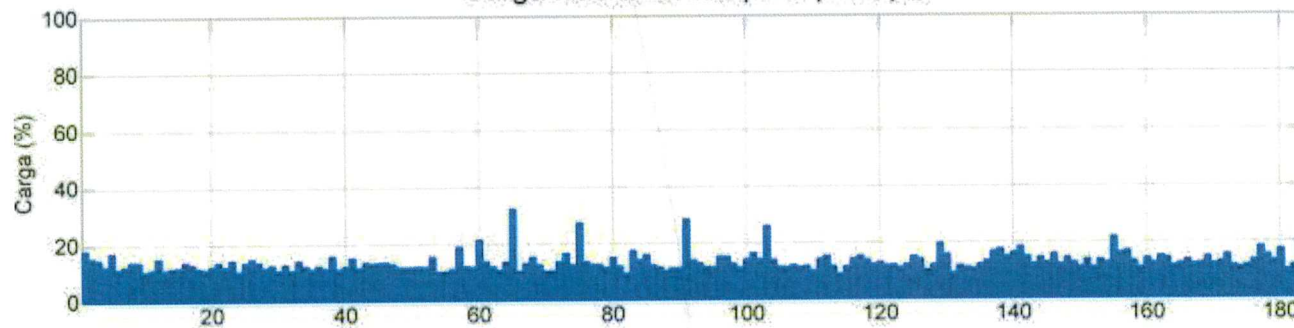


Figura 32 - Carga média na máquina principal VLCC cheio para cada simulação realizada - bombordo



Carga média no rebocador correnteza indo para S

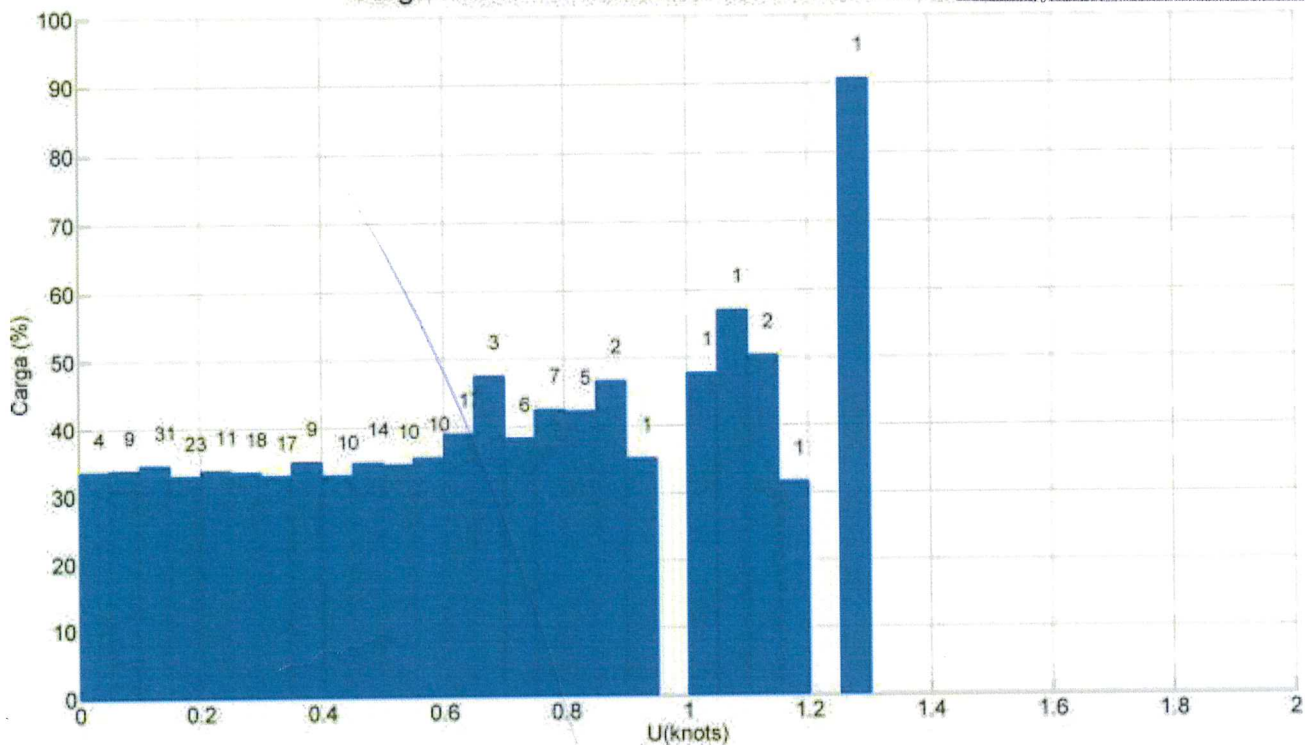


Figura 33 - Carga média nos rebocadores VLCC vazio em função das correntezas indo para direção sul - bombordo

Carga média no rebocador correnteza indo para S

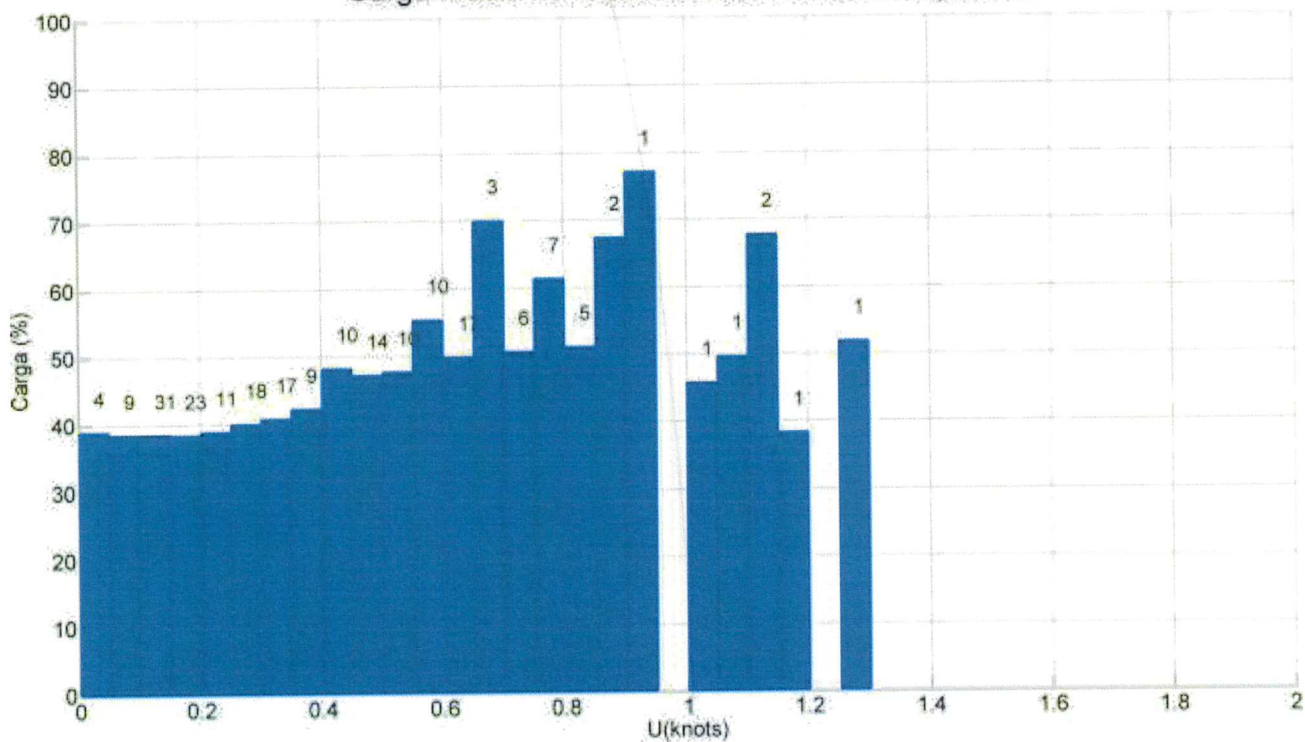


Figura 34 - Carga média nos rebocadores VLCC cheio em função das correntezas indo para direção sul - bombordo

Carga média no rebocador correnteza indo para

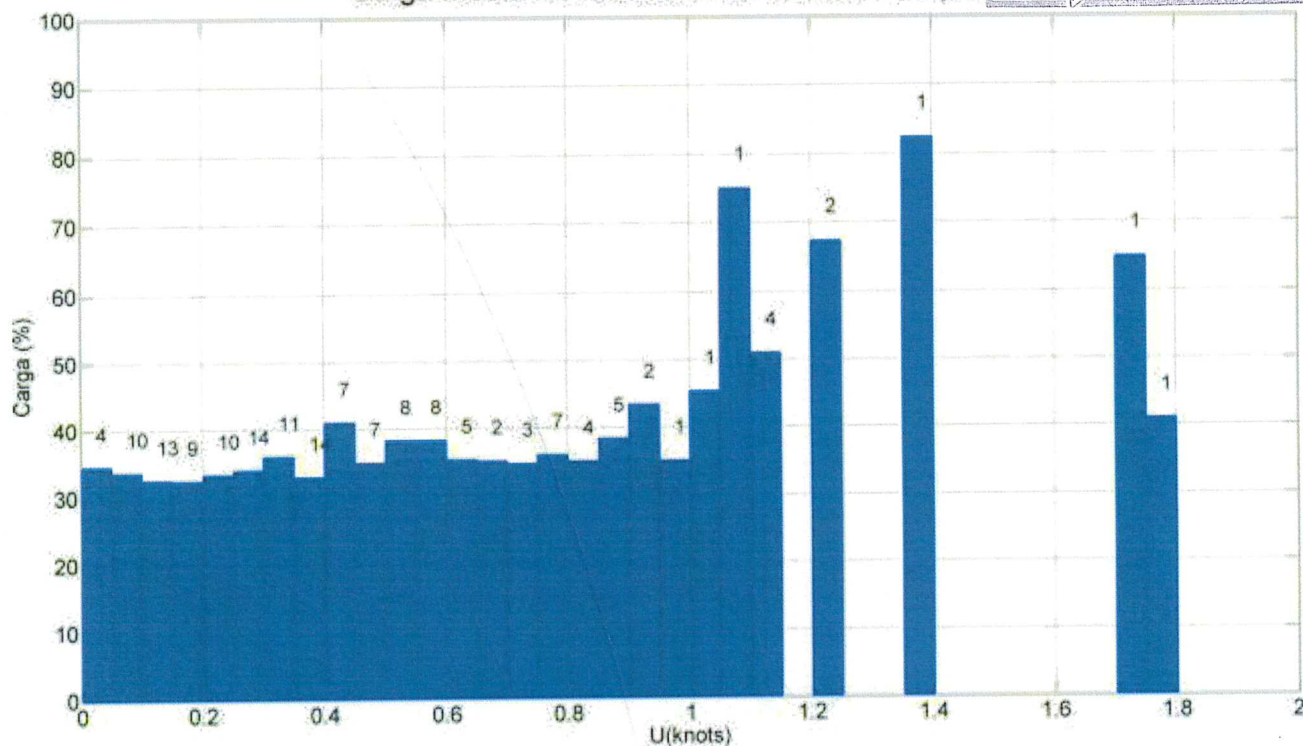


Figura 35 - Carga média nos rebocadores VLCC vazio em função das correntezas indo para direção norte - bombordo

Carga média no rebocador correnteza indo para N

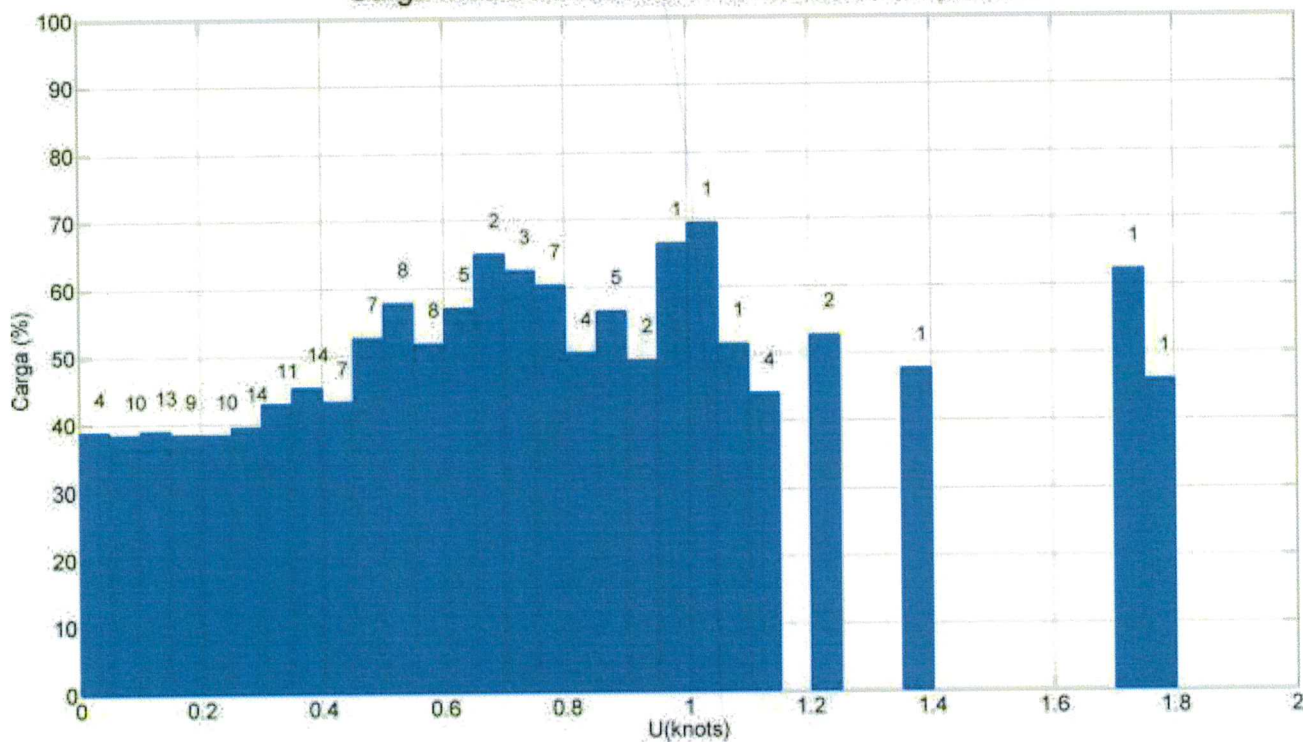


Figura 36 - Carga média nos rebocadores VLCC cheio em função das correntezas indo para direção norte - bombordo



Distribuição média anual das cargas nos rebocadores

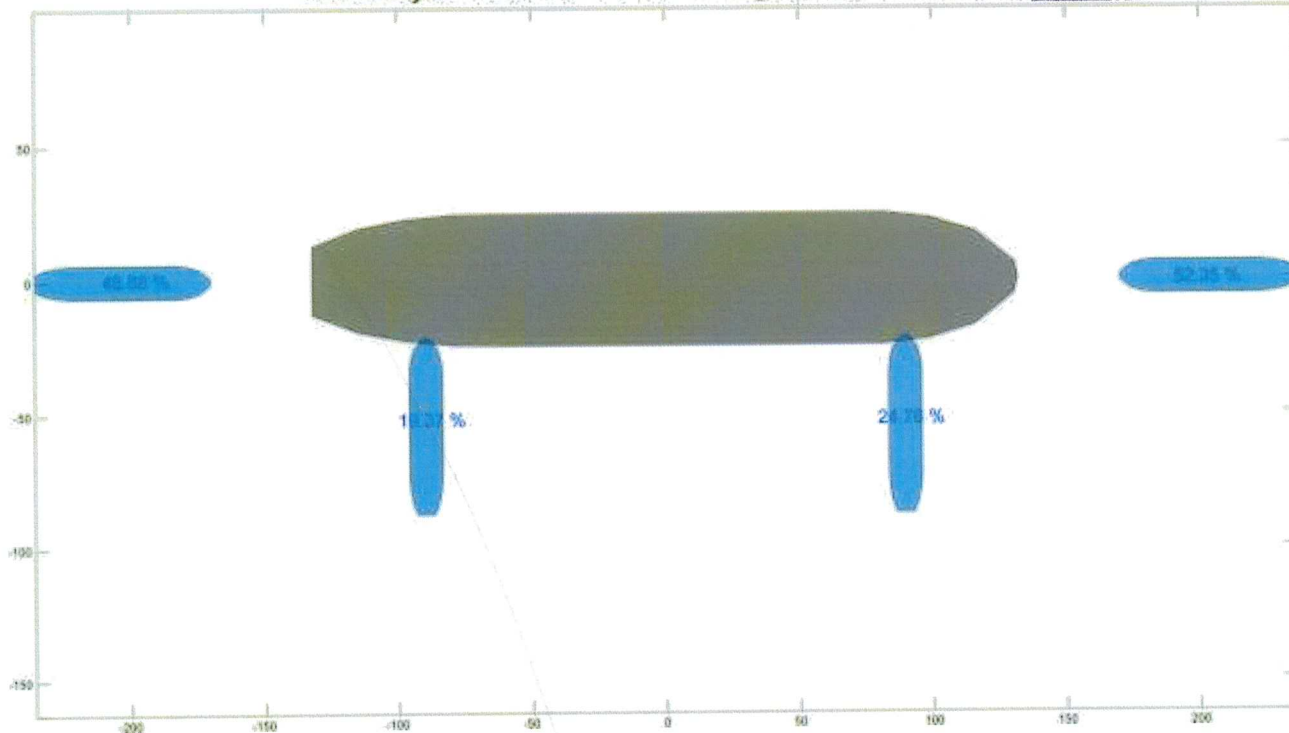


Figura 37 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores VLCC vazio - bombordo

Distribuição média anual das cargas nos rebocadores

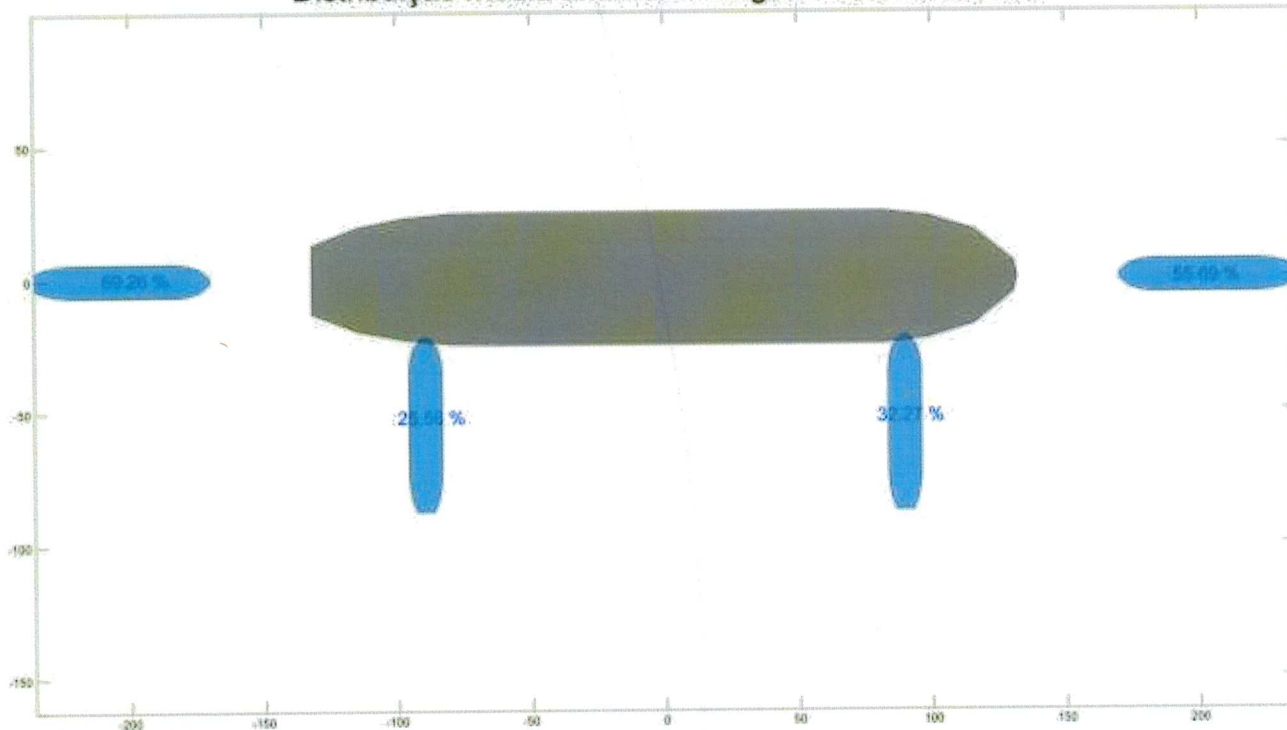


Figura 38 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores VLCC cheio - bombordo

### 5.1. VLCC atracando a boreste

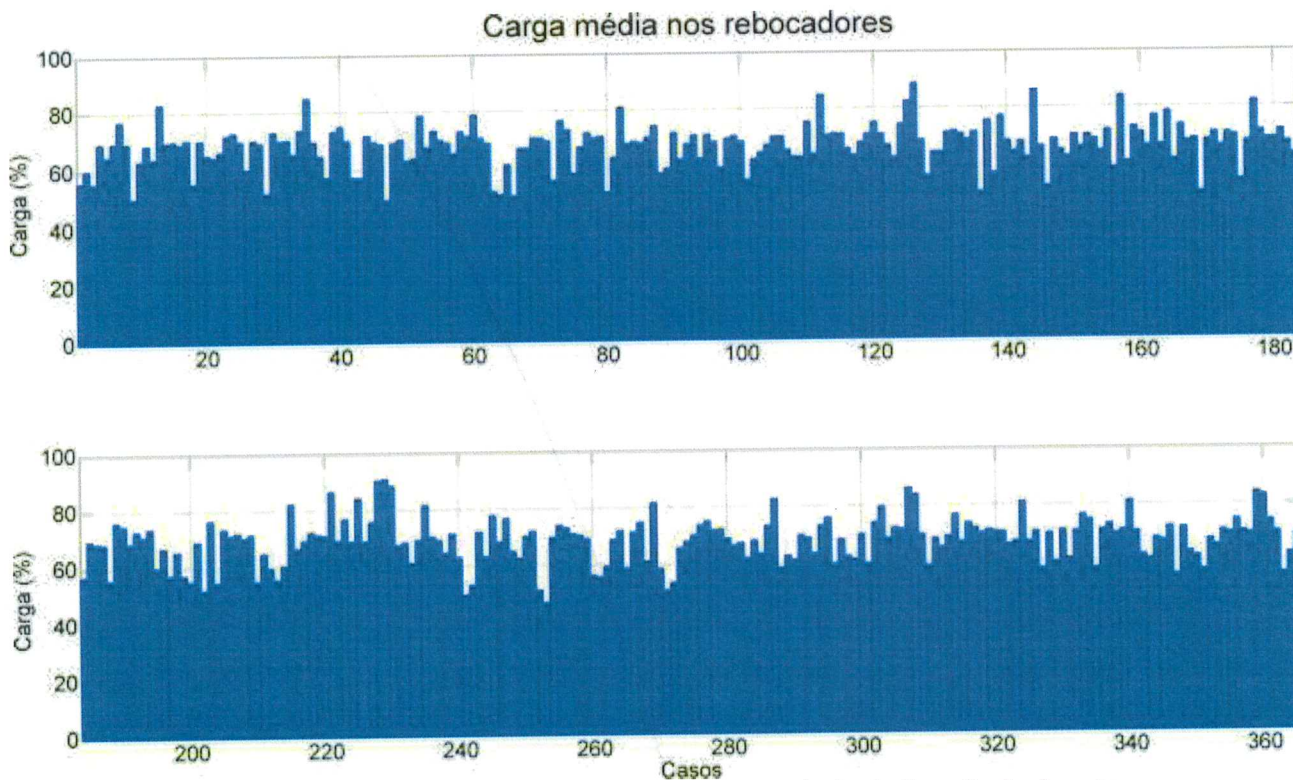


Figura 39 - Carga média nos rebocadores VLCC vazio para cada simulação realizada - boreste

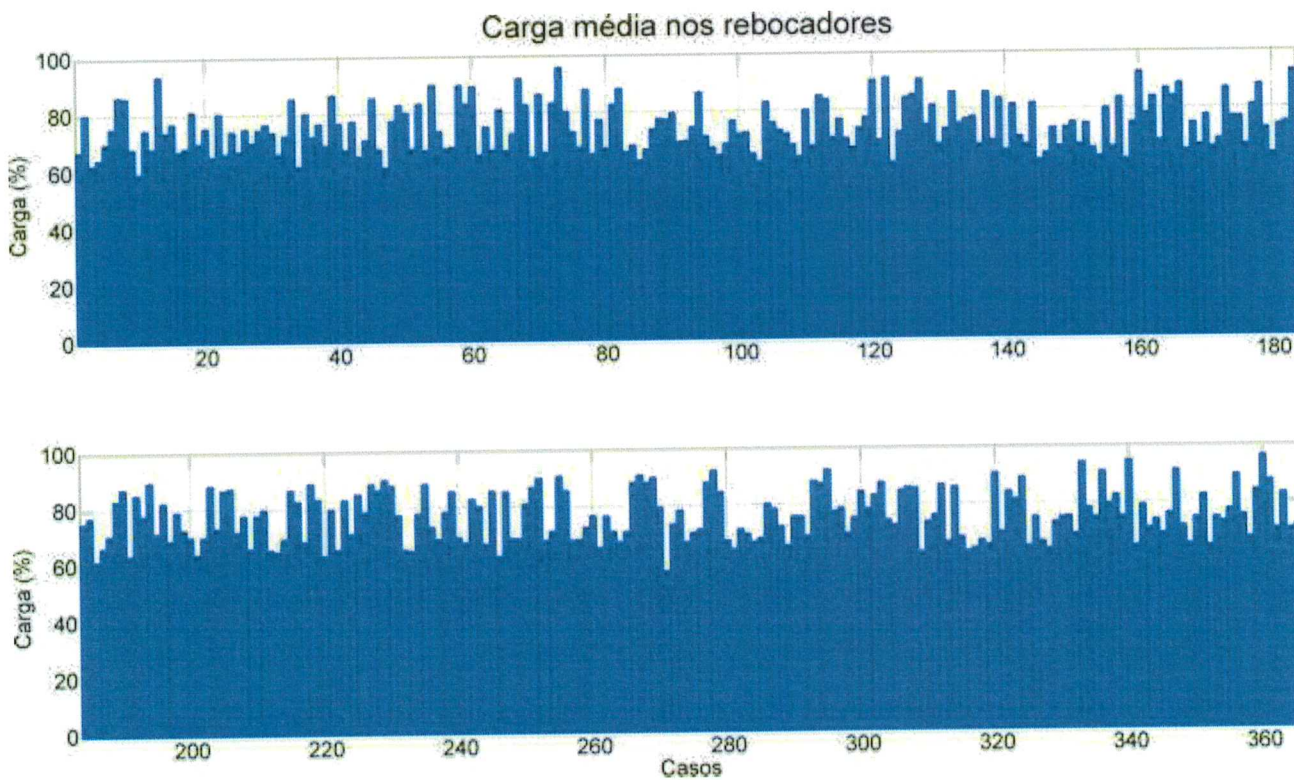


Figura 40 - Carga média nos rebocadores VLCC cheio para cada simulação realizada - boreste



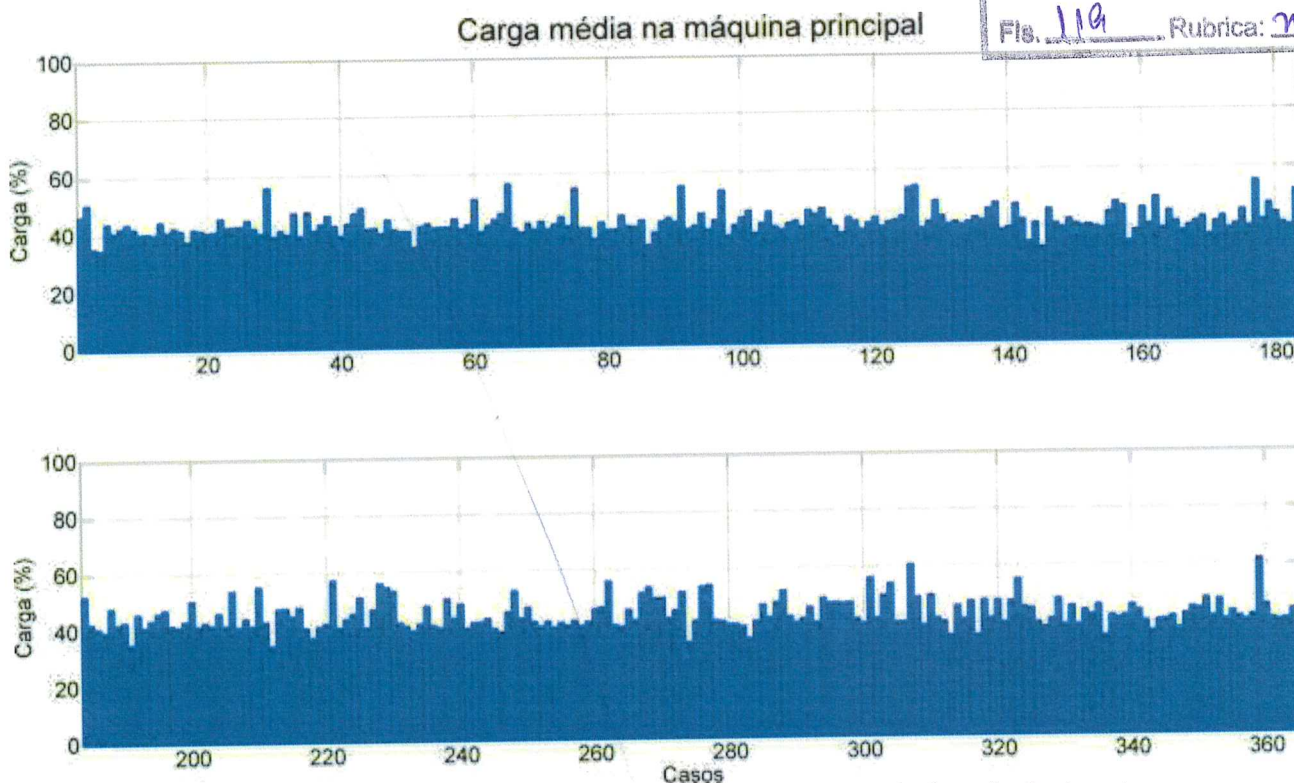


Figura 41 - Carga média na máquina principal VLCC vazio para cada simulação realizada - boreste

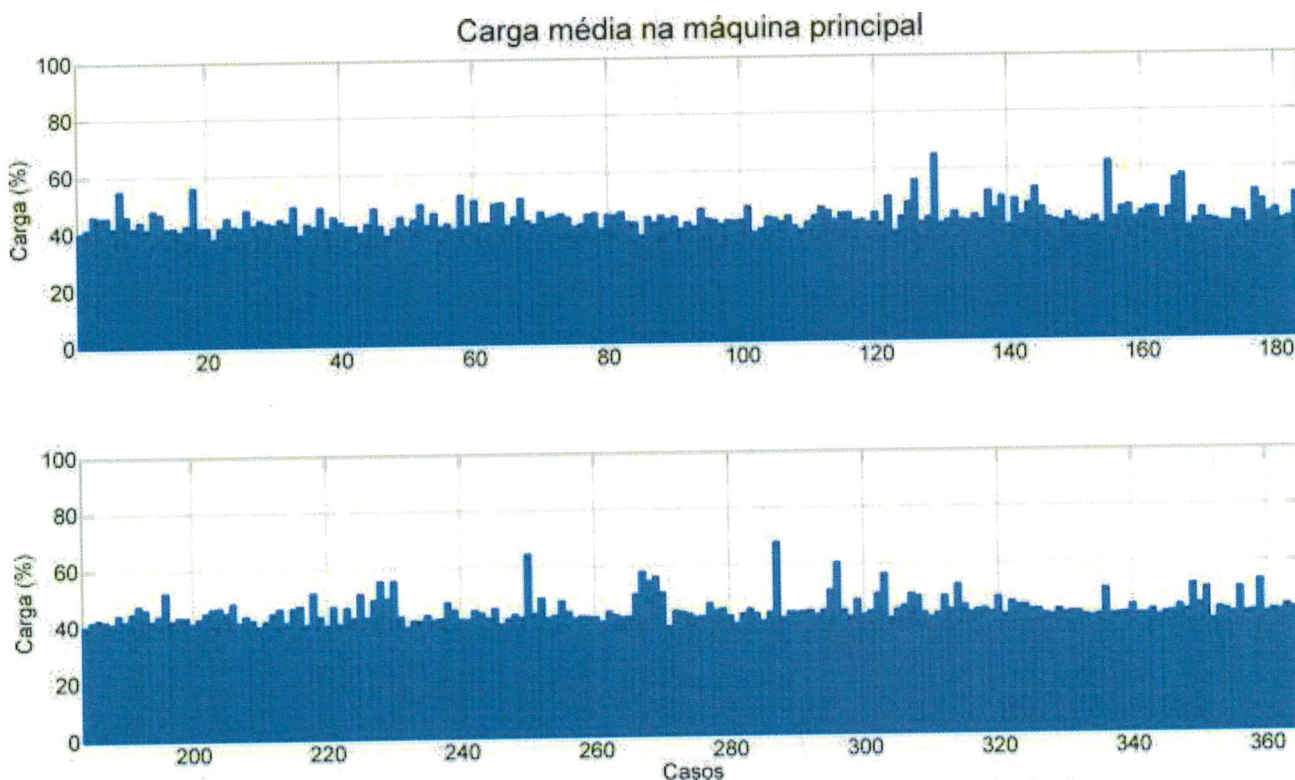


Figura 42 - Carga média na máquina principal VLCC cheio para cada simulação realizada - boreste

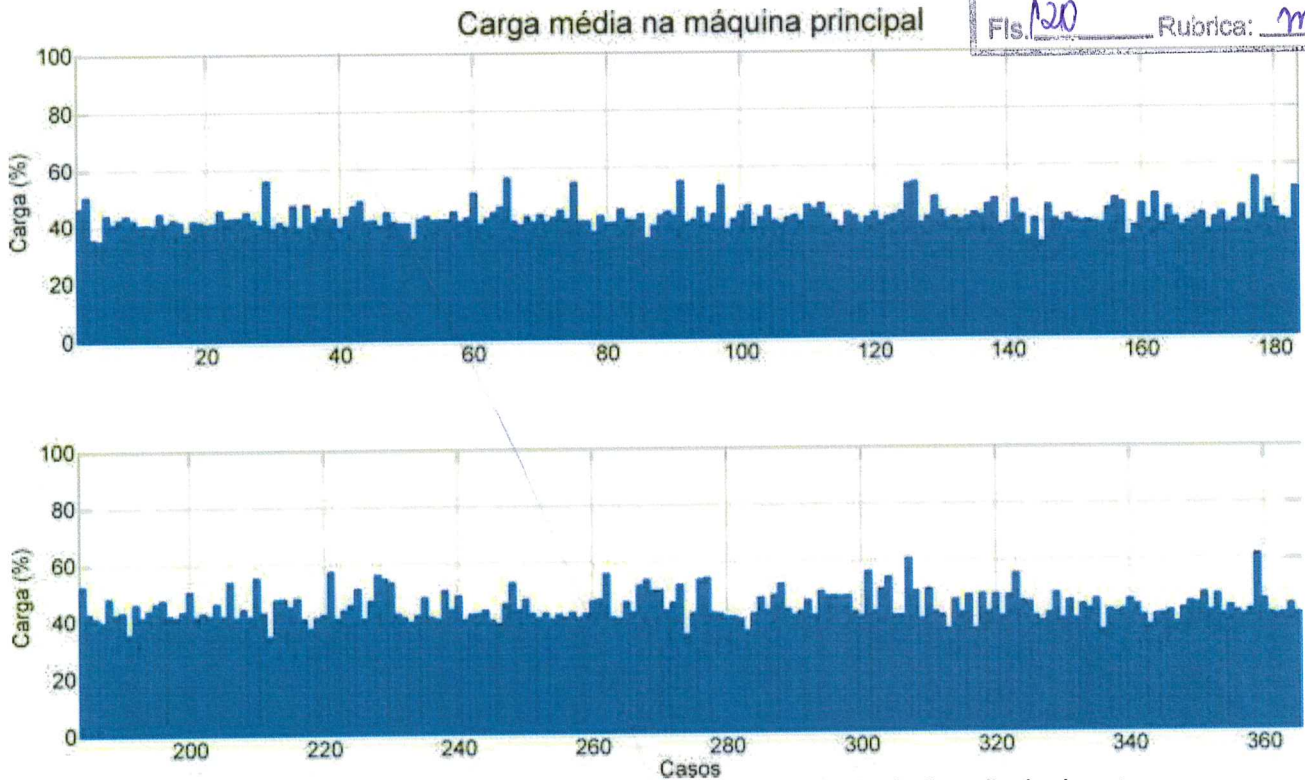


Figura 43 - Carga média na máquina principal VLCC vazio para cada simulação realizada - boreste

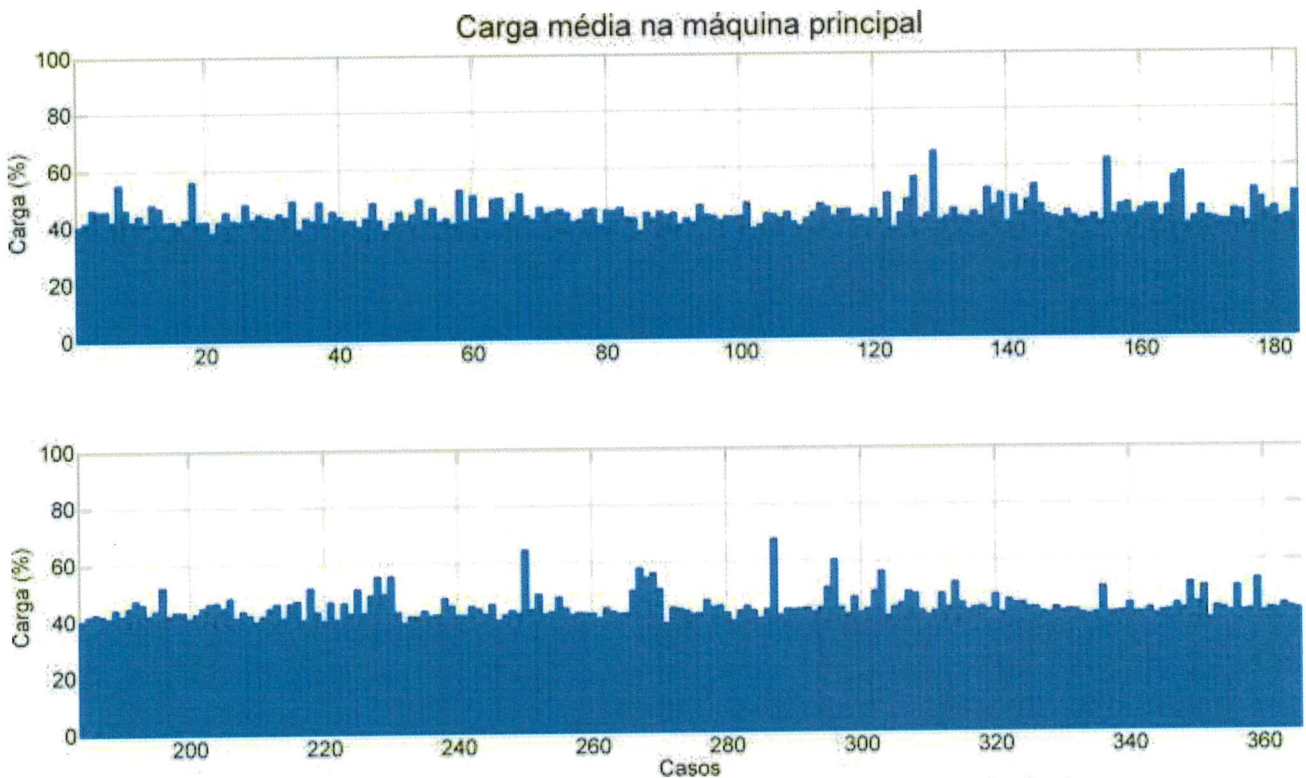


Figura 44 - Carga média na máquina principal VLCC cheio para cada simulação realizada - boreste



Carga média no rebocador correnteza indo para S

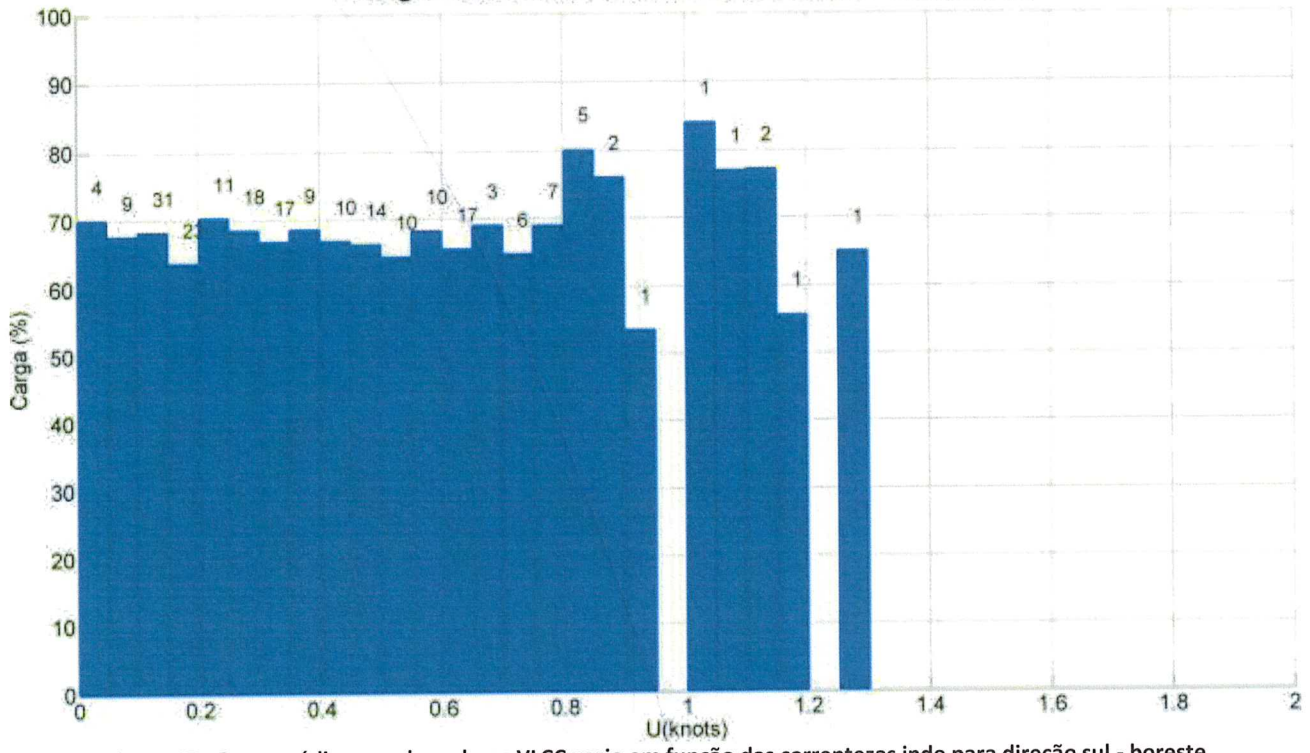


Figura 45 - Carga média nos rebocadores VLCC vazio em função das correntezas indo para direção sul - boreste

Carga média no rebocador correnteza indo para S

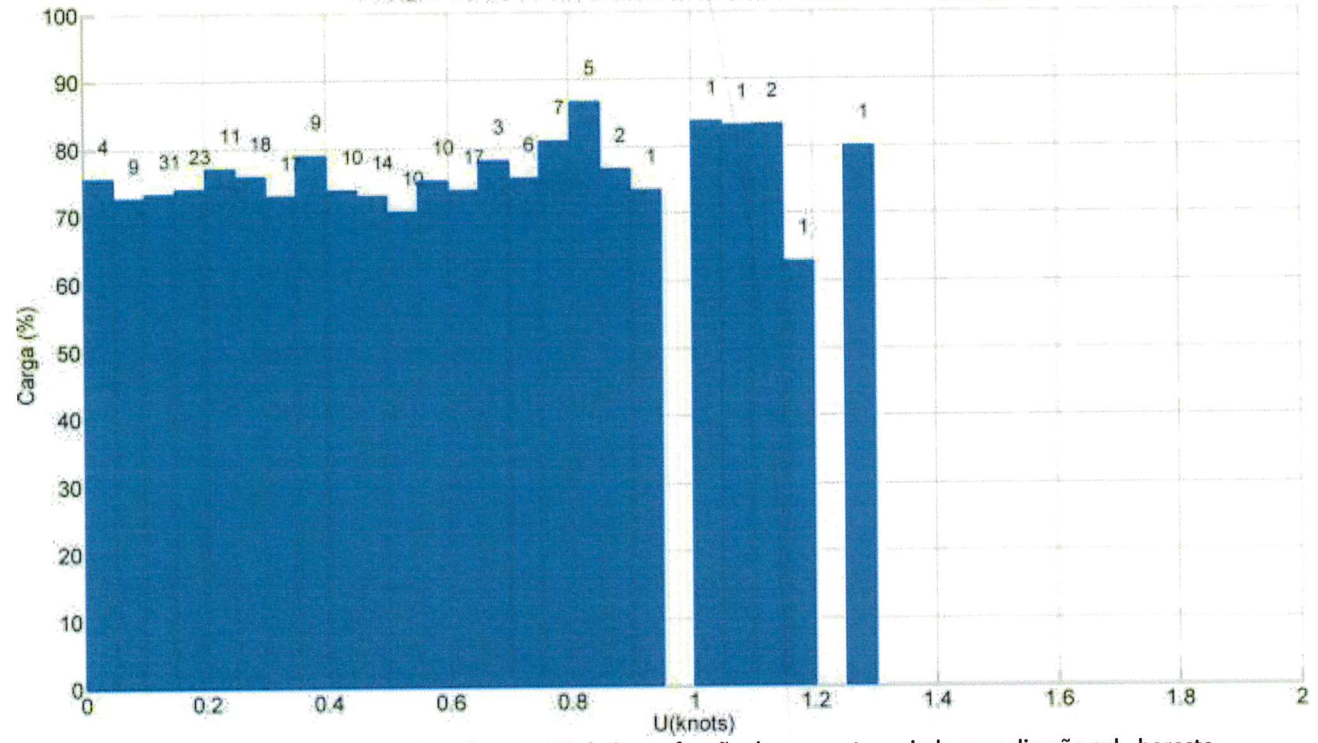


Figura 46 - Carga média nos rebocadores VLCC cheio em função das correntezas indo para direção sul - boreste



Carga média no rebocador correnteza indo para N

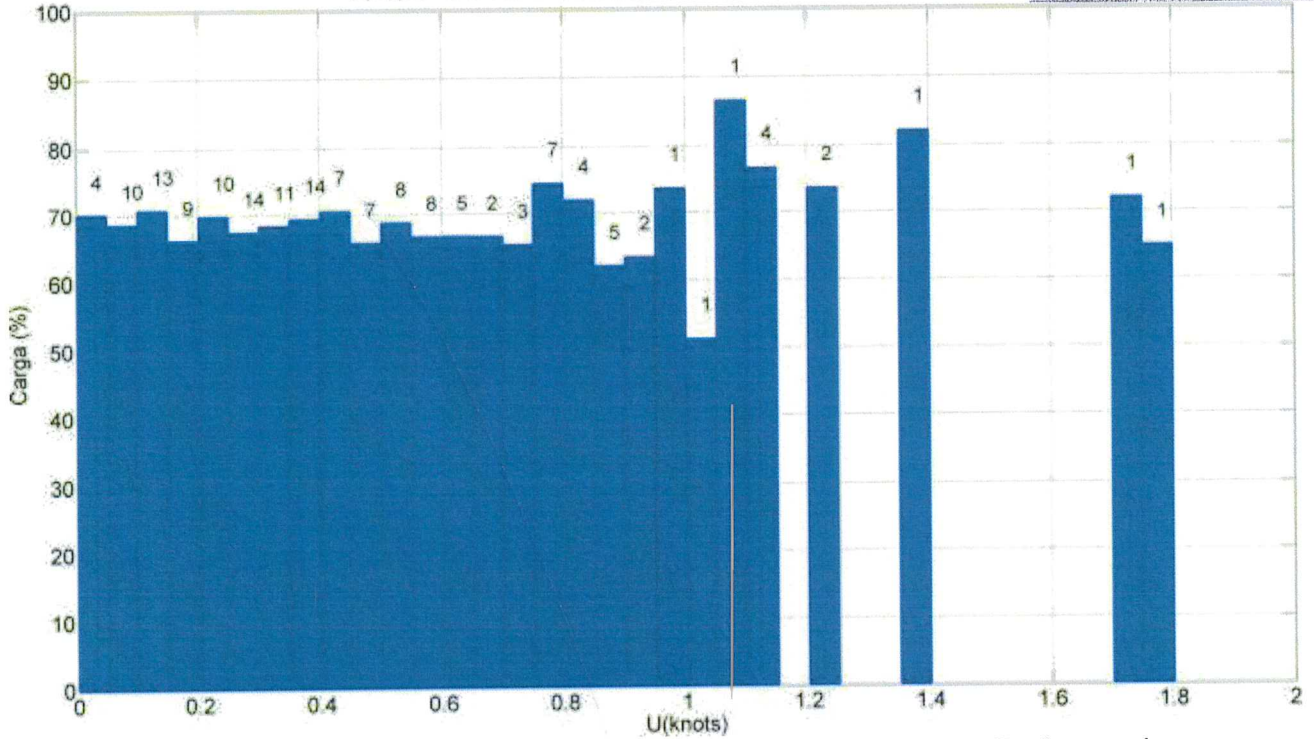


Figura 47 - Carga média nos rebocadores VLCC vazio em função das correntezas indo para direção norte - boreste

Carga média no rebocador correnteza indo para N

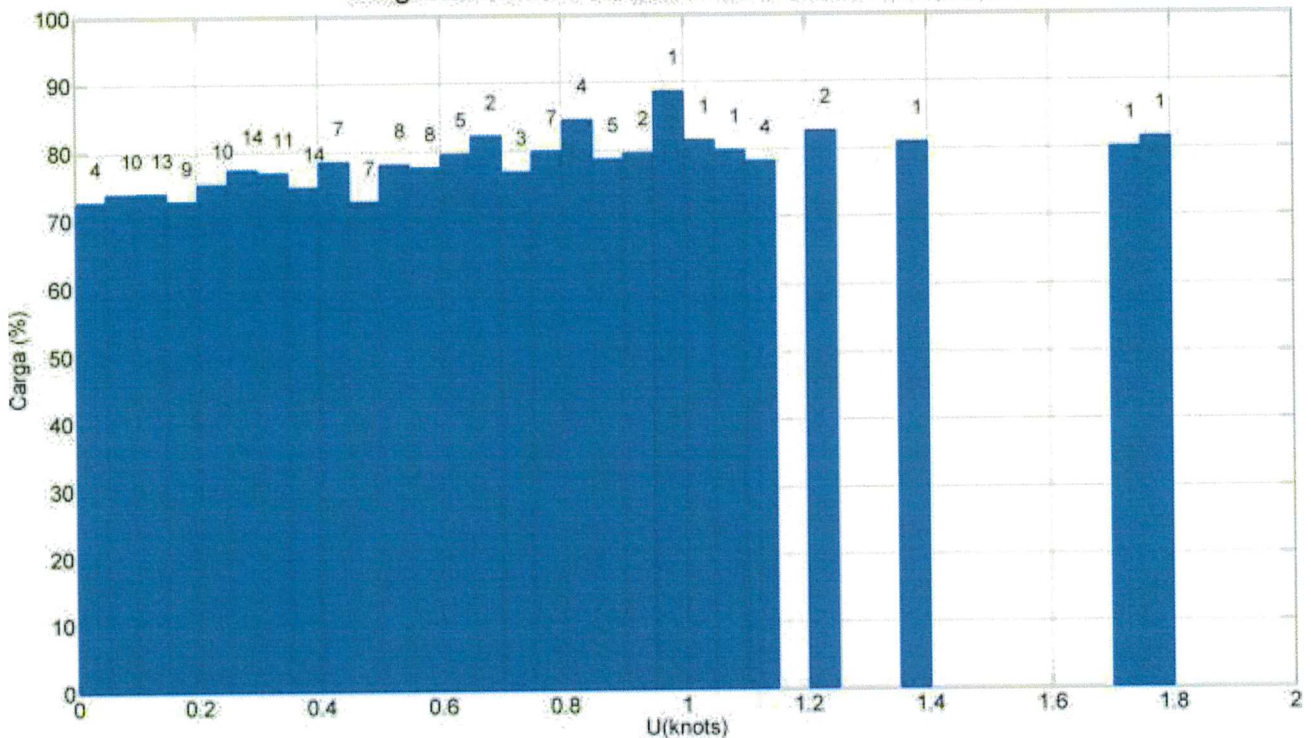


Figura 48 - Carga média nos rebocadores VLCC cheio em função das correntezas indo para direção norte - boreste



Distribuição média anual das cargas nos rebocadores

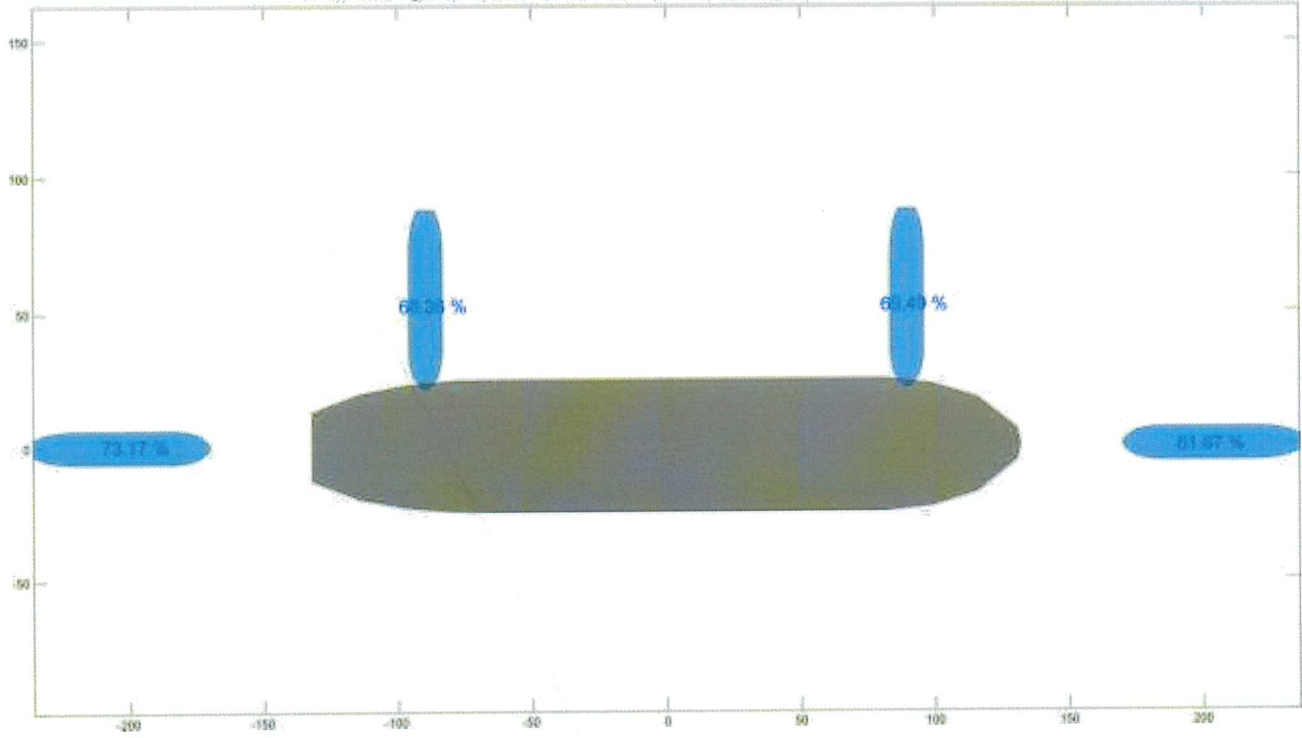


Figura 49 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores VLCC vazio - boreste

Distribuição média anual das cargas nos rebocadores

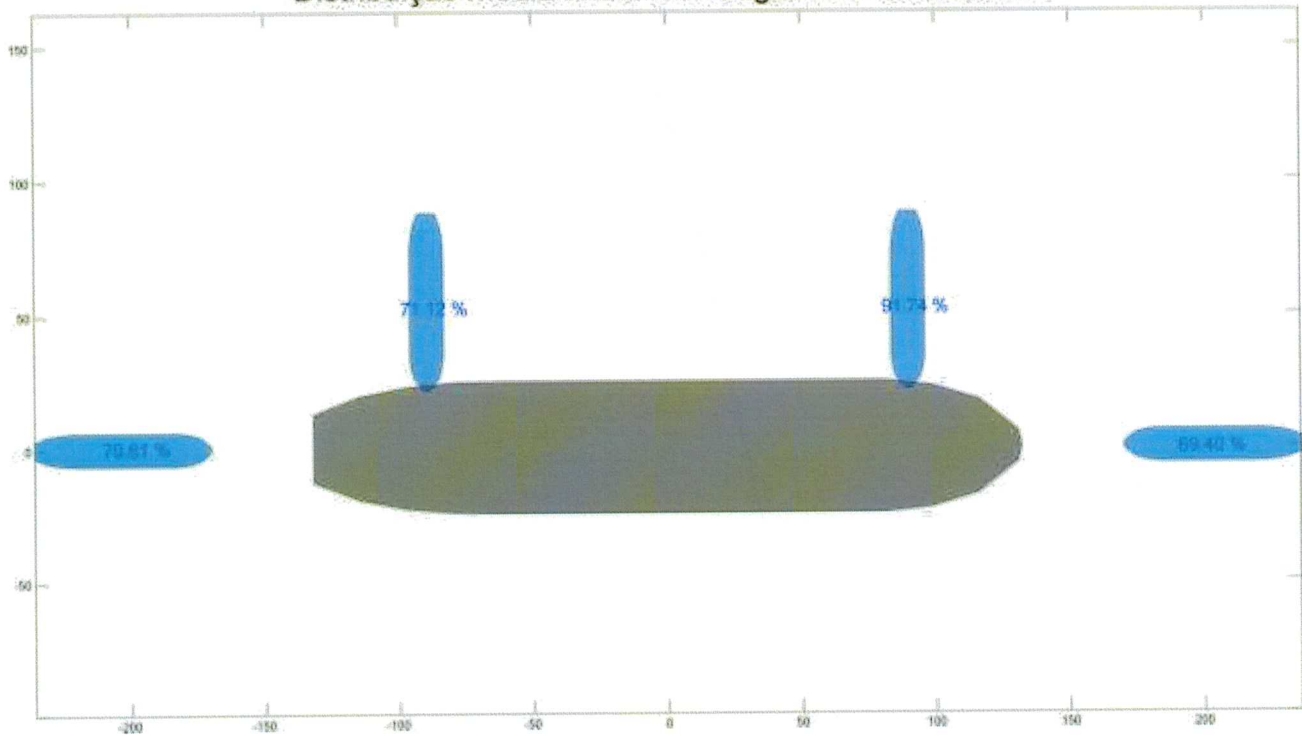


Figura 50 - Distribuição média anual de carga nos rebocadores VLCC cheio - boreste

## 6. Conclusões

Foram realizadas simulações referentes a um ano de condições ambientais simultâneas (combinações de ventos e correntes) a fim de se levantar as cargas nos rebocadores em cada uma das manobras. Não foram estabelecidos critérios para os níveis seguros de carga porém, por se tratar de valores médios, deve-se ter cautela uma vez que certos rebocadores podem ter atingido a saturação durante certos trechos da manobra, comprometendo muito a segurança da mesma.

A diferença entre a atracação por bombordo e por boreste mostrou-se mais relevante do ponto de vista da solicitação dos rebocadores do que a condição de carregamento da embarcação. Neste caso, a presença do giro na acostagem por boreste eleva os níveis de utilização dos rebocadores, levando a saturação destes em certos momentos das manobras com a embarcação VLCC. A Figura 50 ilustra o caso mais crítico, no qual o rebocador de cabo curto da proa apresentou utilização média superior a 90%. Nesta situação, uma eventual falha deste rebocador pode produzir perda de posição e um acidente em potencial. A seguir são apresentados os principais resultados:

- PP1 - VLCC carregado atracando por boreste - 92% carga no rebocador - MUITO CRÍTICA
- PP1 - VLCC em lastro atracando por boreste - 73% carga no rebocador - CRÍTICA
- PP1 - VLCC carregado atracando por bombordo - 69% carga no rebocador - CRÍTICA
- PP1 - VLCC em lastro atracando por bombordo - 52% carga no rebocador - MODERADA
- PP1 - Suezmax carregado atracando por boreste - 76% carga no rebocador - CRÍTICA
- PP1 - Suezmax em lastro atracando por boreste - 72% carga no rebocador - CRÍTICA
- PP1 - Suezmax carregado atracando por bombordo - 57% carga no rebocador - MODERADA
- PP1 - Suezmax carregado atracando por bombordo - 51% carga no rebocador - MODERADA

Do ponto de vista da acostagem a contra bordo, ao menos do ponto de vista das simulações Fast-Time aqui executadas, não há distinção com relação à atracação diretamente no berço. Isso se deve ao fato de que o aspecto crítico neste caso é garantir a velocidade de atracação inferior a 0,15m/s, condizente com o dimensionamento do conjunto de defensas. Tendo em vista que estas velocidades de aproximações são impostas pela trajetória durante as simulações, as cargas nos rebocadores foram calculadas incorporando-se esta restrição.





PASTA n°

68018/2016

Fis. 125

Rubrica: mon

## 7. Referências

- [1] OCIMF, " Oil Companies International Marine Forum , Mooring Equipments Guideline", 3ª edição, 2008
- [2] OCIMF, "Oil Companies International Marine Forum, Prediction of wind and current loads on VLCCs", 1982.
- [3] OCIMF, "Oil Companies International Marine Forum, Ship to Ship Transfer Guide for Petroleum, Chemicals and Liquefied Gases", First Edition, 2013
- [4] Castro, B., Pereira, A. F. Estudo Hidrodinâmico do Canal de São Sebastião, Junho 2014
- [5] PIANC, "Guidelines for Design of Fenders Systems:2002", International Navigation Association, 2002
- [6] P\_er Sul REV A.dwg (Desenhos do píer Sul)
- [7] P\_er Norte.dwg (Desenhos do píer Norte)

