

MOVIMENTOS DE UM NAVIO-GUINDASTE EM
ONDAS E A CARGA NA LANÇA

Kazuo Hirata - Engenheiro Naval*
Sérgio da Silva - Engenheiro Naval*
Carlos Frederico Albuquerque**

RESUMO

O presente trabalho analisa alguns resultados obtidos na verticalização da jaqueta PCRL, em lâmina d'água de 48 metros, para o campo de Curimã, Ceará, Nordeste do Brasil.

Para efetivação da operação foi utilizada uma balsa guindaste com capacidade de 545 toneladas de carga máxima.

Foram medidos na ocasião a força no guindaste e a onda local, assim como as acelerações verticais na popa e na ponta da lança e ângulos de pitch e roll.

Os dados analisados permitem inferir que em um sistema com esta configuração, os movimentos da balsa não são afetados significativamente pela presença da jaqueta. Pode-se dizer também que a verticalização pela popa produz cargas dinâmicas maiores do que pelo bordo.

ABSTRACT

This paper presents some results from a full scale up-ending measurements.

The structure, a eight legged jacket, was being installed in a site with a depth of 50 meters northeast coast of Brasil.

The operations were carried out with the use of a 545 ton crane from a pipelay barge.

The measurements comprised: vertical acceleration at stern of the barge and at the top of the boom crane, pitch and roll motion, hook load and local wave height.

The analysis shows that the barge motion is not affected significantly by the presence of the jacket. It is also concluded that the stern up-ending produces higher dynamics loads than in the case of a abeam operation.

*Agrupamento de Hidrodinâmica-Divisão de Engenharia Naval e Oceânica.

IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.

**PETROBRÁS-Petróleo Brasileiro S/A. - CENPES.

SIMBOLOGIA

a	- amplitude de aceleração
$a_{1/3}$	- valor médio do terço dos valores de aceleração mais altas
ACSG	- aceleração de surging
ACSW	- aceleração transversal
ACVL	- aceleração na lança do guindaste
ACVP	- aceleração vertical na popa da balsa
C.G.	- centro de gravidade
EPS	- fator de largura de um espectro (ϵ)
F	- amplitude da força no guindaste
F_m	- valor do nível médio da força $\approx$ valor estático
$F_{m\max}$	- valor de amplitude máxima da força em relação ao nível médio
$F_{1/3}$	- valor médio do terço dos valores mais alto da força
g	- aceleração da gravidade
h	- amplitude da onda
k	- wave number ($k = \frac{w^2}{g}$)
L	- comprimento da balsa-guindaste
RAO	- operador de amplitude de resposta (adimensional)
T	- período da onda
W	- peso
X	- eixo de coordenadas longitudinal
Y	- eixo de coordenadas transversal
Z	- eixo de coordenadas vertical
$\bar{\theta}$	- adimensional (RAO) de amplitude pitch ($\bar{\theta} = \frac{\theta}{k h}$)
$\theta_{1/3}$	- valor médio do terço dos valores mais altos de pitch
W	- frequência circular (rad) ($WT=2\pi$)

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho trata-se de alguns aspectos sobre uma análise de dados, obtidos a partir de medições realizadas durante a operação de verticalização de uma estrutura marítima, tipo jaqueta em lamina d'água de 48 metros.

Durante a verticalização da estrutura foram monitorados sinais elétricos relativos às medições de força no guindaste e de aceleração na barcaça. Este serviço foi parte de um trabalho maior feito pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. - IPT para a Petróleo Brasileiro S/A. - PETROBRÁS, relacionado com a plataforma PCR-1 para o campo de Curiatimã.

Os trabalhos do IPT neste caso englobaram desde ensaios com modelos em escala, até monitorações de dados durante as fases de transporte, de verticalização, de cravação de estacas e ainda após a instalação dos conveses.

Estudos com modelos em escala realizados nos laboratórios do IPT no período de 1979 a 1980, durante a fase do projeto da jaqueta PCR-1, tiveram por objetivo obter informações que realimentariam as decisões tomadas quer para o projeto da estrutura quer para o planejamento das operações, que seriam realizadas desde a sua saída do canteiro de obras até a sua instalação no mar. Dentre estes estudos podemos destacar os seguintes:

- estudo da disposição dos flutuadores;
- estudo de transporte da jaqueta sobre uma balsa de serviço;
- estudo de lançamento da estrutura;
- estudo da verticalização da jaqueta com o auxílio de um navio-guindaste.

A operação de verticalização da PCR-1, da qual vamos aqui tratar, foi realizada em condições diferentes daquelas

estudadas com modelo, portanto não foi possível fazer-se uma correlação com resultados obtidos em escala real. Mas durante a preparação deste trabalho, novos ensaios estavam sendo montados no IPT para que se reproduzissem as condições em que a operação foi realizada.

2. CONDIÇÕES DA OPERAÇÃO

A operação de verticalização da jaqueta PCR-1 foi executada com o auxílio da balsa-guindaste Superpesa III (SP III), com capacidade máxima de 545 toneladas, no Campo de Curimã, costa NE do Brasil, em local com lâmina d'água de 48 metros em junho de 1982.

As dimensões principais da jaqueta estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Dimensões da Plataforma PCR-1

Peso (W)	1600t
Altura	55,5m
Dimensões da base	25,6x51,0m
Dimensões do topo	12,4x36,9m
Distância do C.G. à base	23,3m
Raios de giração xx	19,9m
Raios de giração yy	23,3m
Raios de giração zz	16,9mm

O guindaste operou com um raio de ação igual a 33,5 metros pela popa da balsa, estando a balsa aprovada com as ondas. A verticalização foi executada através da ação de levantamento pelo guindaste e de lastreamento de pernas da jaqueta. As características da balsa encontram-se na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Características da Balsa-Guindaste

SP III

Peso	13938t
Comprimento	110,0m
Boca	30,0m
Calado médio	4,33m

3. MEDICÕES REALIZADAS

Durante a operação de verticalização da estrutura foram gravados continuamente sinais elétricos correspondentes às acelerações e movimentos angulares da balsa, à força atuante no guindaste e à onda.

As acelerações foram medidas na popa da balsa em três direções e no topo da lança na direção vertical, conforme mostrado na figura 1. Os movimentos angulares do casco referem-se a pitch e a roll.

A medição da onda foi feita na jaqueta PCR-2, que se encontrava já operando, próxima ao local onde a PCR-1 foi instalada.

O tempo decorrido durante a verticalização propriamente dita, foi de 3 horas, das 5:00 às 8:00 horas da manhã. Os dados foram analisados em computador apenas nos momentos mais significativos e sempre que a estrutura mantinha-se em uma determinada posição, já que a sua verticalização é um processo contínuo. Estes instantes de interesse são mostrados nas fotos numeradas de I a V, sendo as respectivas posições da jaqueta numeradas de I a V para efeito de identificação neste trabalho.

4. RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados são os relativos à onda, à força no gancho, à aceleração na lança e ao movimento de arfagem (pitch).

Os espectros das ondas medidas durante a verticalização são apresentados juntos com os valores médios obtidos por análise em computador na figura 2, a seguir.

Os valores médios, significativos e de dupla-amplitude das oscilações da força, da aceleração e de pitch são mostrados na figura 3, em função do tempo e para cada posição da plataforma. Os pontos apresentados nesta figura foram unidos apenas para evidenciar a tendência dos valores no decorrer da operação. Os pontos não interligados no caso dos resultados de força são de condições distintas de posição da jaqueta, e assim com condições de calado, massa, amortecimento diferentes das outras adjacentes.

A tabela 3 apresenta um resumo dos resultados de força no gancho, em termos de nível da força, amplitude máxima acima do nível médio e média do terço maior das amplitudes para cada posição da jaqueta, obtidos a partir da análise em computador da série temporal, da qual um exemplo é mostrado na figura 4, a seguir.

Figura 1 - Verticalização da Jaqueta PCR-1

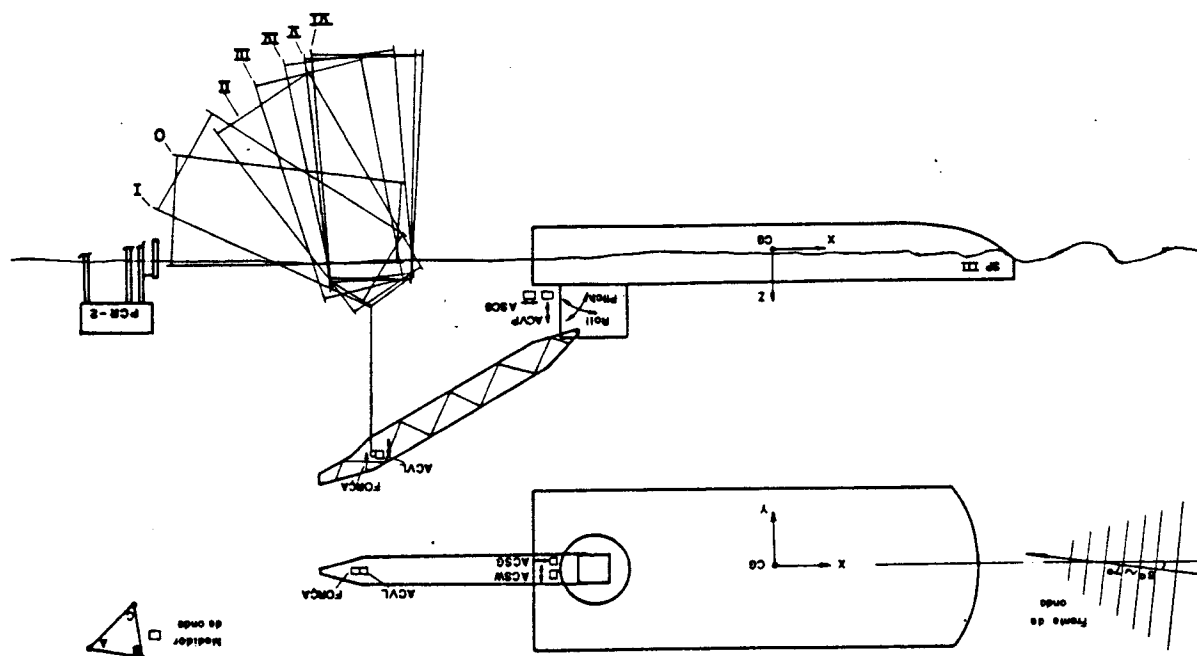
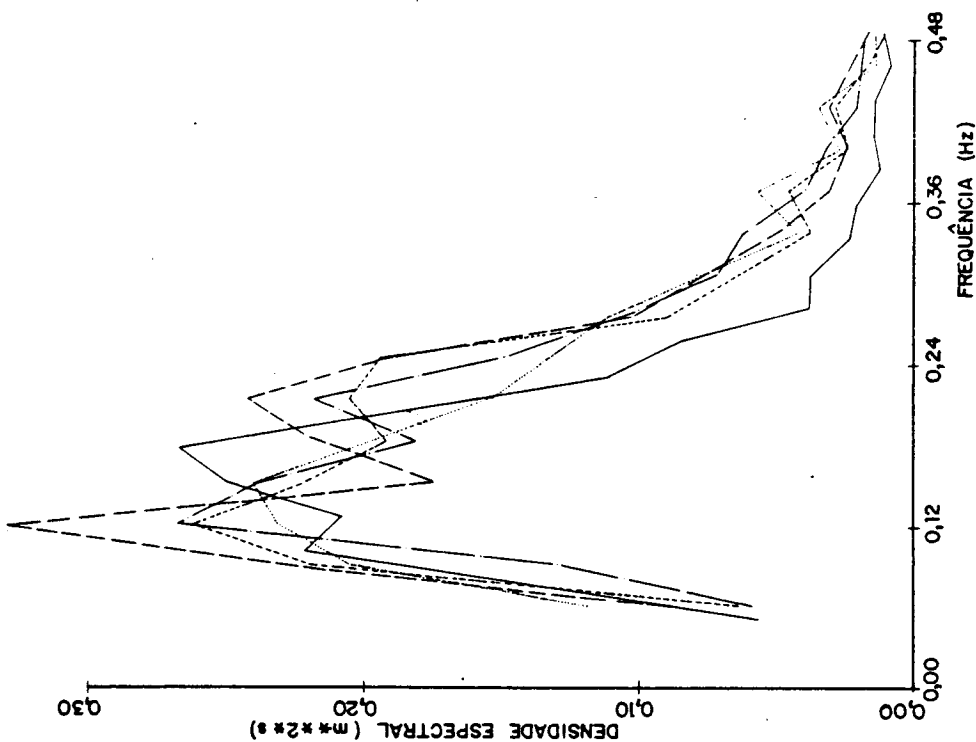
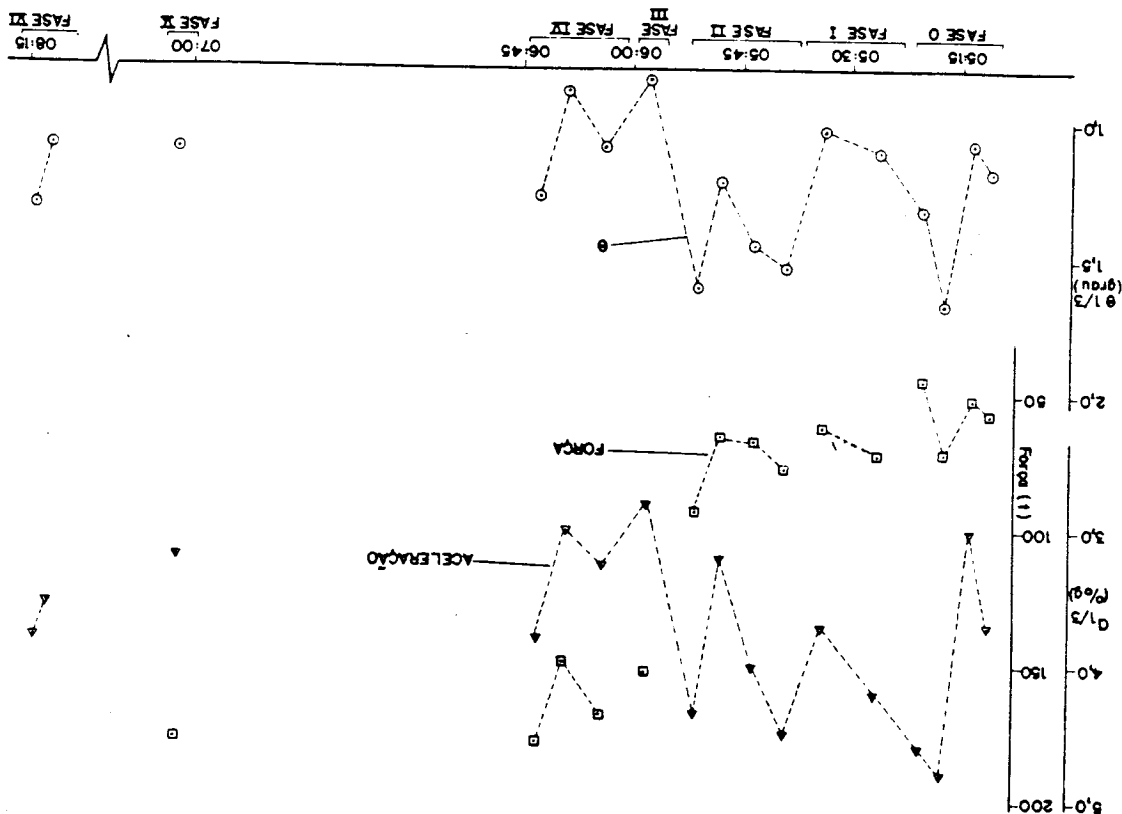


Figura 3 - Valores Significativos (Dupla Amplitude)



	ALT.SIGNIF. (m)	PERÍODO MEDIANO(S)	PERÍODO MED. ZERO ASC. (S)	EPS
DA 8 05:20	1,20	5,47	4,83	0,611
DA 8 06:40	1,36	4,96	4,37	0,589
DA 8 06:55	1,31	4,89	4,34	0,589
DA 8 08:10	1,28	4,89	4,20	0,571
DA 8 07:00	1,30	4,95	4,33	0,589

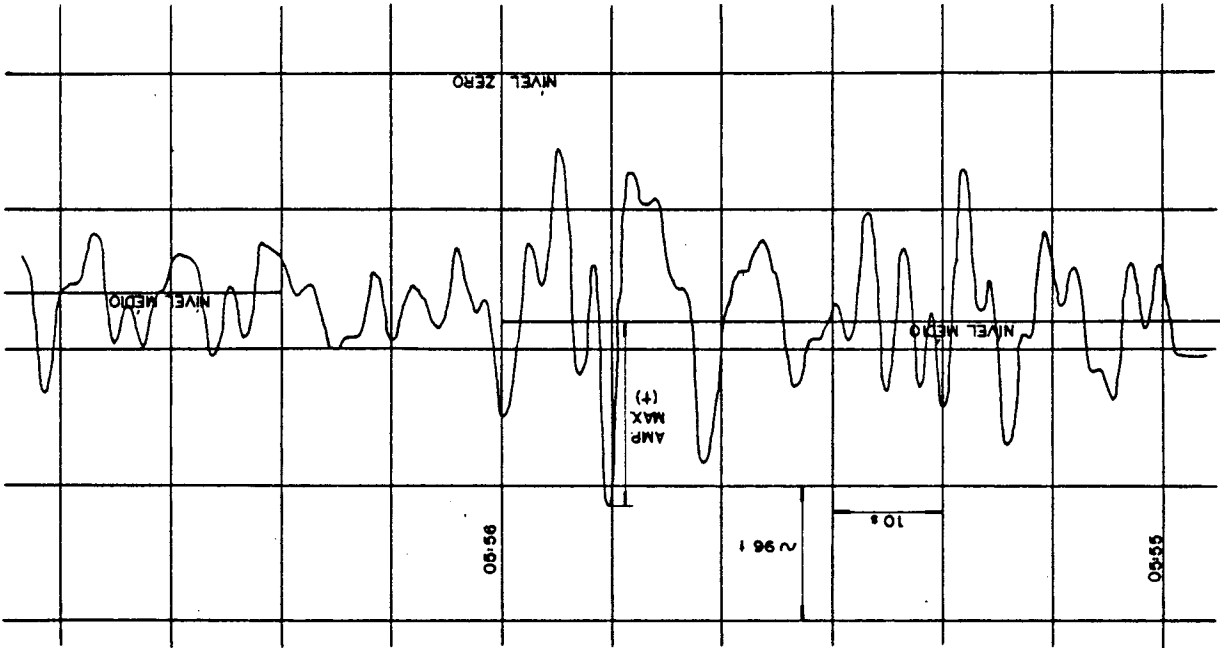
Figura 2 - Onda - Escala Real

Tabela 3. Resultados Estatísticos de Força no Gancho em Tonelada Métrica

Posição	Horário	Nível Médio (F _m)	Amplit. Máx. (F _{max})	Amplitude F _{1/3}	F _{1/3} /F _m
I	05:23	207.7	58.9	36.2	0.17
	05:29	205.2	58.6	30.9	0.15
II	05:37	197.7	58.7	38.4	0.19
	05:41	202.0	44.9	33.6	0.16
	05:46	196.5	54.6	32.3	0.16
	05:49	207.2	58.4	46.7	0.22
III	05:56	144.8	166.5	76.0	0.52
IV	06:02	204.7	138.8	83.9	0.41
	06:06	204.7	116.1	74.0	0.36
	06:10	209.7	148.3	89.0	0.42
V	07:00	179.8	137.0	88.7	0.49

Nas figuras 5, 6 e 7, são apresentadas as curvas de res-
posta (RAO) em forma adimensional para a aceleração na lança, pa-
ra o ângulo de pitch e para a força, respectivamente. Estes resul-
tados são apresentados para as várias posições da jaqueta e tam-
bém para o caso em que a estrutura já estava livre do gancho, às
8:14 horas.

Figura 4 - Reprodução da Série Temporal da Força no Gancho



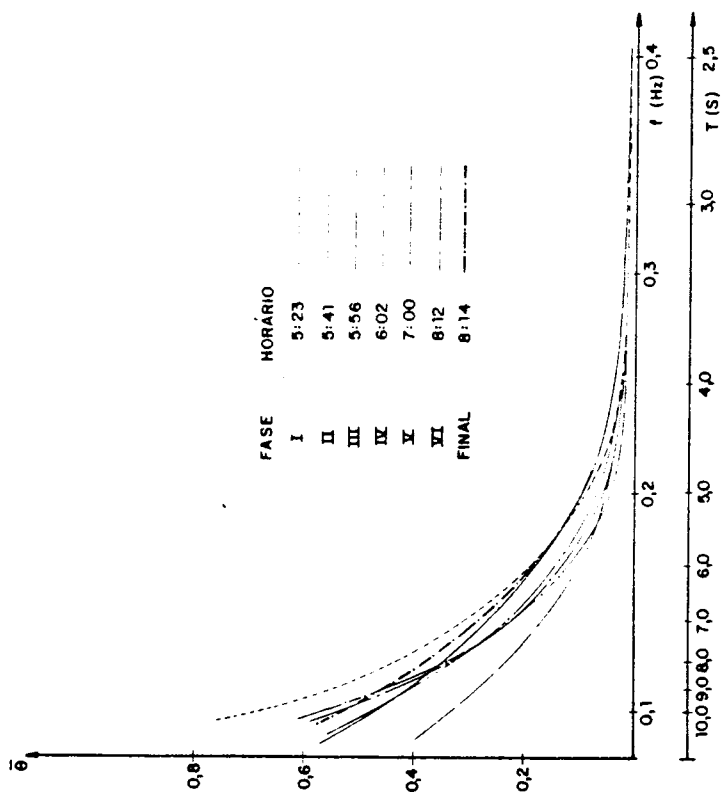


Figura 6 - Curva de Resposta (RAO) para Pitch

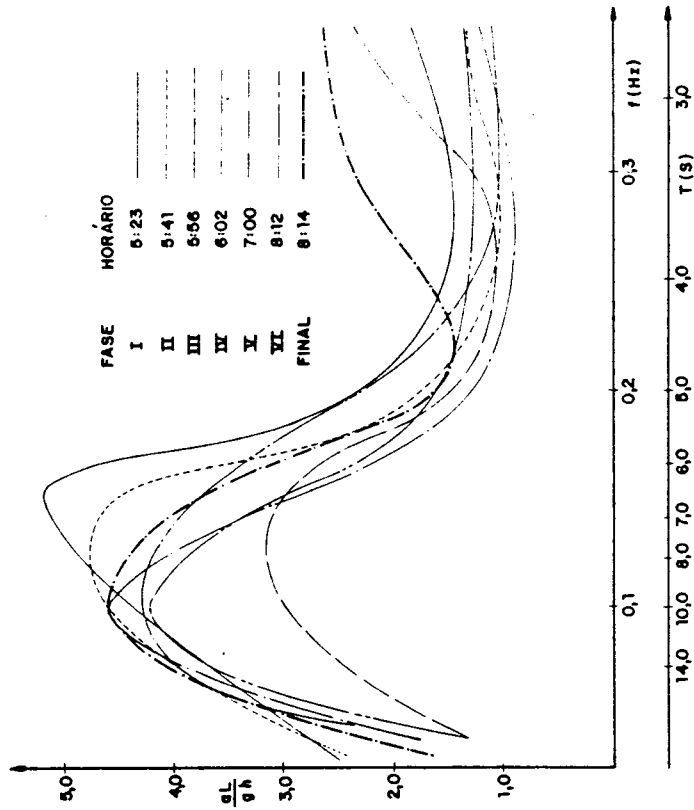


Figura 5 - Curva de Resposta (RAO) para Aceleração na Lança

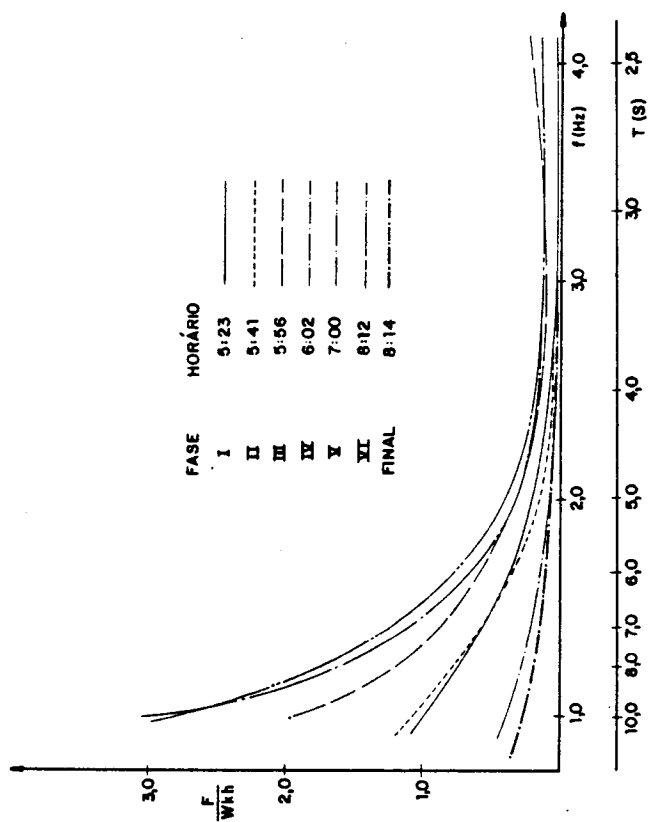


Figura 7 - Curva de Resposta (RAO) para Força no Gancho.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Durante a verticalização as características de massa adicional e amortecimento da jaqueta são alteradas. Entretanto como mostra a figura 6 a curva de resposta (RAO) em Pitch da balsa não sofre modificações significativas indicando que o nível de mudança da jaqueta influi significativamente no movimento de Pitch da balsa.

Somente quando o guindaste libera a jaqueta temos uma tendência de maior movimento.

A aceleração na lança, de maneira geral, apresenta-se maior quando a jaqueta encontra-se em posição horizontal (por exemplo Fase I início de operação), e menor quando na posição vertical (por exemplo Fase II final de operação). Isto pode ser observado na figura 5.

Este fato se deve à menor ou maior restrição que a massa da jaqueta impõe ao guindaste em cada posição. Exceções a esta tendência, e a outras que comentaremos a seguir, ocorreram com as fases III, VI e final. Nestas últimas condições a jaqueta encontra-se liberada do guindaste e na outra, temos uma condição em que o nível médio da força decresce.

Em termos de valores médios de resposta ($\theta_{1/3}$), pode ser verificado (figura 3) que não há grande variação deste valor ao longo da operação. Nota-se também que as curvas de aceleração e pitch apresentadas na figura tem boa concordância entre si, assim como a curva de valores médios de força.

Sallentamos, ainda que na série temporal de registros, também as oscilações de pitch, aceleração e força apresentam-se em fase. Tal fato se deve à tensão média no cabo ser suficientemente alta, de modo a manter a jaqueta e a popa da balsa

oscilando verticalmente em uníssono. É importante que se diga ainda que o valor de frequência natural de oscilação da jaqueta, na vertical, é da ordem de 30 segundos, portanto bastante afastada da faixa de ondas, o que contribui para o comportamento acima descrito.

Os resultados apresentados na figura 3 mostram que a parcela dinâmica da força aumentou no transcorrer do processo de verticalização. Isto era de se esperar, pois à medida que a jaqueta gira e afunda, mais água de lastro adentra às pernas que tiveram suas válvulas abertas e este acréscimo de massa ou perda de flutuação é compensado pelo maior volume dos tubos que submergem, ocorrendo pouca variação no nível médio da força. Entretanto a jaqueta tem sua massa aumentada, assim como cresce seu amortecimento e sua massa adicional, implicando em maior restrição à oscilação da balsa e em consequência cresce a parcela dinâmica da força.

A mesma tendência pode ser notada a partir do RAO de força na figura 7, exceção feita aos casos das curvas 8:12 e 8:14, por serem condições atípicas.

O valor de nível médio da força na fase III mostrado na tabela 3 está bem abaixo dos outros valores, devido ao fato da estrutura ter-se apoiado no fundo do mar nesta condição.

6. COMENTÁRIOS SOBRE A OPERAÇÃO

O aspecto de maior significado neste trabalho refere-se a comparação entre a carga dinâmica e a carga estática no guindaste.

Na definição de operação de verticalização é da máxima importância conhecer o acréscimo da força no guindaste devido às cargas dinâmicas.

Pode-se ver na tabela 3 (última coluna) que a carga dinâmica neste caso atingiu valores da ordem de 50% de carga estática.

No caso da verticalização lateral (1), em ensaios de modelo com onda pela proa, havíamos obtido cargas dinâmicas da ordem de 20% e portanto menor do que o valor aqui apresentados. Isto deve ocorrer em função da maior inércia da balsa em pitch.

Estas evidências indicam que o ponto de vista de CARGA DINÂMICA, a verticalização pela borda leva a cargas menores. A conclusão definitiva será obtida a partir de resultados de ensaios que estamos conduzindo no momento nas mesmas condições das medições em escala real.

É claro que existem outras variáveis a serem avaliadas ao se definir uma operação desta natureza, como por exemplo o aproamento da balsa. Na referência (2) página 9, verifica-se que para uma balsa com uma carga suspensa pela popa, cujo peso é de ordem de 14% do deslocamento, a condição de ondas pela proa implica em forças dinâmicas da ordem de 2 vezes maiores do que o caso de ondas de través ("beam seas").

Outras restrições físicas como a já existência de estruturas próximas ao local de operação, ou o fato de a carga máxima prevista estar próxima ao limite de operação do guindaste de modo a impedir uma manobra final para posicionar estrutura, também devem ser levadas em consideração na definição do modo de operação.

7. CONCLUSÕES

O aspecto mais relevante deste trabalho refere-se a carga dinâmica no guindaste. Apesar de não termos realizado o ensaio de verticalização pela popa, os dados obtidos em modelo com a jaqueta pelo bordo são menores que 20% da carga estática, enquanto que no caso real verticalizando pela popa obtivemos carga máxima da ordem de 50%.

Do ponto de vista de movimentos, os resultados obtidos indicam que a balsa, para ondas da ordem de 1,0 metro, não é afetada significativamente pela operação com uma jaqueta com peso da ordem de 10% da balsa.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ENSAIO de verticalização em ondas da jaqueta PCR-1 Curimã-Ceará
São Paulo, DINAV/IPT, 1981. 226p. (Relatório IPT Nº 15.443)
2. NOJIRI, N.; OHMACHI, M. & MITA, S. Coupled motions between
crane barge and hook load in regular waves. IHI Engineering
Review, 14 (4):1-10, oct. 1981.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Sérgio Muller da Petróleo
Brasileiro S/A. - Petrobrás, por ter permitido a publicação de re-
sultados deste trabalho.

ANEXO A
FIGURAS

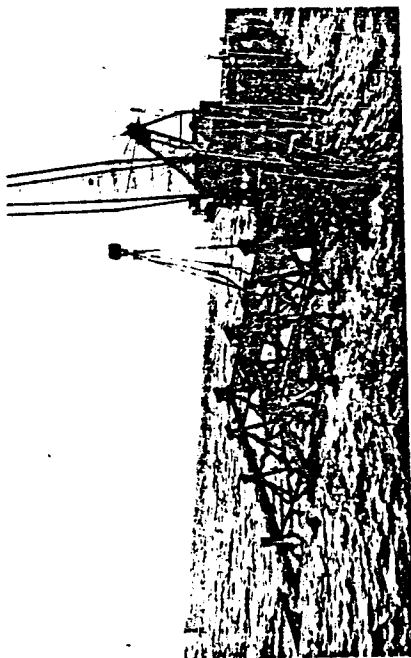


Figura nº 1 - Fase I da Operação

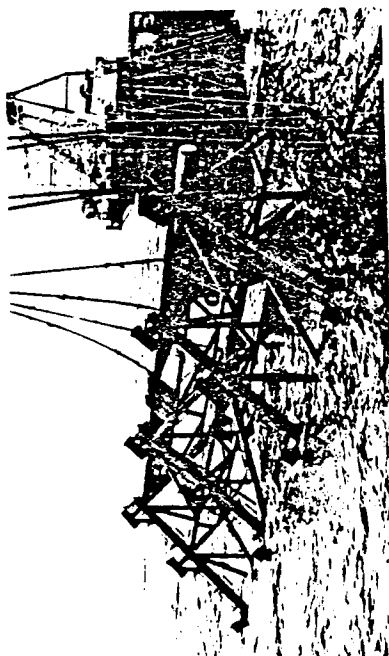


Figura nº 2 - Fase II da Operação

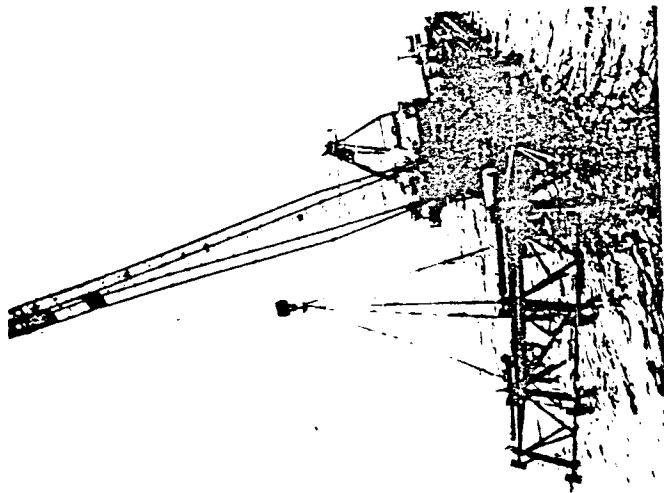


Figura nº 3 - Fase III da Operação

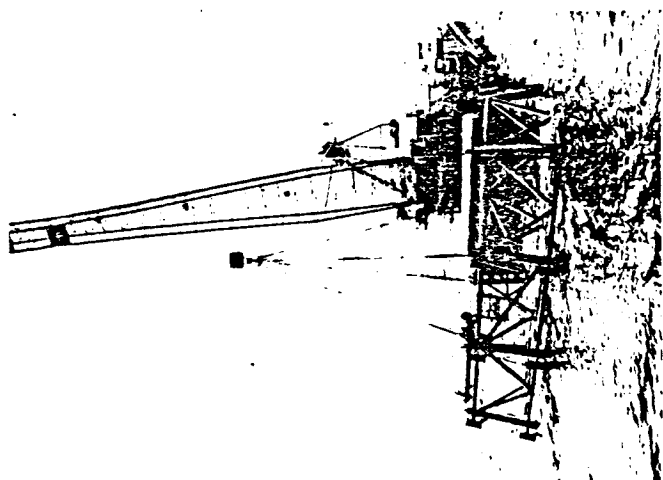


Figura nº 4 - Fase IV da Operação

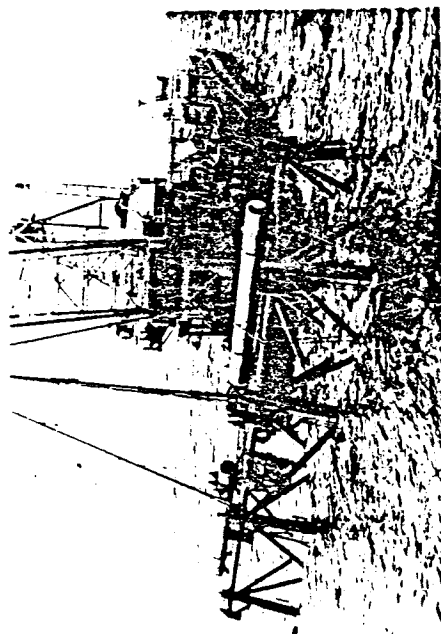


Figura nº 5 - Fase V da Operação



Figura nº 6 - Final da Operação, Jaqueta posicionada.