

LABORATÓRIO DE COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA - LCC

JULHO DE 1982

## ABSTRACT

We find in this work the dates in which new berths should enter in operation in the port of Mucuripe-CE. These dates are such that the port satisfies, at all times, a projected cargo adjusted by regression. The criterion for choosing them is that they minimize the function representing the cost of construction of new berths and waiting time of the ships.

Nº 010/82

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA OPERAÇÃO E  
OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE RENOVA  
ÇÃO - AMPLIAÇÃO DO PORTO DO MUCURI  
PE - CE &

Leon R. Sinay \*  
Marcelo P. Klein\*\*  
Maria Cristina F. de Sinay\*\*\*

& Apresentado no 9º Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval da SOBENA

\* Laboratório de Computação Científica - LCC  
\*\* Departamento de Matemática - UFC  
\*\*\* Programa de Pós-Graduação em Transportes-IME

## RESUMO

1. Introdução

Neste trabalho determinam-se as datas em que novos berços para o porto de Mucuripe - CE deveriam entrar em operação a fim de satisfazer uma projeção de demanda previamente ajustada por regressão. O critério para a escolha dessas datas é o de minimizar a função representativa dos custos de construção dos novos berços e tempos de espera dos navios do porto. Esta função é analiticamente definida a partir de resultados obtidos da teoria de filas pois comprovou-se estatisticamente que o sistema se comporta como um modelo M/M/6.

### ABSTRACT

We find in this work the dates in which new berths should enter in operation in the port of Mucuripe-CE. These dates are such that the port satisfies, at all times, a projected cargo adjusted by regression. The criterium for choosing them is that they minimize the function representing the cost of construction of new berths and waiting time of the ships in the queue. This function is analitically defined on the basis of results obtained applying queueing theory since the port's operation can be described by a M/M/6 model.

## 1. Introdução

Sendo o porto ponto de ligação de diversos modos de transporte e de escoamento de mercadorias, o objetivo primordial de toda Administração Portuária deve ser o de eficiência operacional a fim de que a mencionada instalação seja um corredor livre e não um ponto de estrangulamento.

Conforme salientou o Prof. Maximo Borgo Filho [1]: "Se estima que um navio de serviço regular passa no período de um ano em torno de 60% do tempo, em média, em portos, seja a espera de atracar, seja atracado carregando ou descarregando mercadorias". Na atividade portuária existem sempre dois fatores intimamente ligados: por um lado a taxa de ocupação dos berços em funcionamento, e por outro, o tempo de espera dos navios no porto e é evidente que só pode se garantir uma alta taxa de ocupação às expensas de longas filas, o que implica em altos custos de espera. Por outra parte podem-se obter tempos de espera desprezíveis quanto mais berços existam, o que leva a taxas de ocupação baixas.

A operação portuária deve ser prevista com antecipação, ou seja, não só deve ser estudada a situação atual, mas deve também ser previsto um plano de expansão pelo qual possam ser determinadas as datas em que novos berços devem entrar em operação, a fim de atender com eficiência uma demanda calculada e de modo a minimizar uma determinada função de custo global, isto é, um custo que envolva as duas parcelas em litígio citadas anteriormente: custo de tempos de espera dos navios em porto e custos de obras portuárias.

Dentro deste contexto, o objetivo do presente trabalho é determinar as datas em que novos berços deverão entrar em operação no porto de Mucuripe-CE até o ano 2017, a fim de que mantendo-se o índice de congestionamento tolerável (i.e., menor que um), o custo total das obras e tempos de espera dos navios seja mínimo. Leva-se em consideração neste estudo o fato de que os seis berços existentes atualmente deverão ser renovados ou substituídos dentro do horizonte do projeto.

O objetivo enunciado é alcançado em três etapas:

- 1ª - Para caracterizar a operação portuária e levando em consideração que este processo é ergódico e já atingiu a fase de regime (o que corrobora com os resultados extrapolados para 1980 e 1981 e comparados com os dados reais), estudam-se os dados dos anos 1978-79.
- 2ª - Determina-se uma projeção da demanda levando em consideração características de distribuição de cargas assim como as tendências individuais.
- 3ª - Os resultados destas duas etapas permitem formular uma função custo a qual é minimizada por métodos numéricos.

É conveniente se destacar que este trabalho está fortemente baseado em hipóteses especulativas e conseqüentemente os resultados só tem validade teórica, podendo servir ou não para o planejamento portuário dependendo da aproximação, no futuro, das hipóteses à realidade.

## 2. Caracterização da Operação Portuária

### 2.1- Informações Disponíveis

Das estatísticas do Porto de Mucuripe-CE[2] foram obtidos os seguintes dados:

- a) Número de berços em operação;
- b) Histórico da tonelage anual operada no porto de 1956 a 1980; E dos anos de 1978 e 1979;
- c) Tipos de navios que operam no porto;
- d) Data e hora de entrada de cada navio;
- e) Data e hora de atracação e desatracação de cada navio;
- f) Tempo morto, i.e., tempo que o navio está atracado, porém, sem operação de carga e descarga;
- g) Tipo de carga de cada navio;
- h) Tonelage de carga efetivamente operada.

### 2.2- Análise dos dados

Agrupando as chegadas dos navios semanalmente no período de um ano, pode-se observar que não existem efeitos sazonais, com o que se pode admitir taxas médias de chegadas constantes.

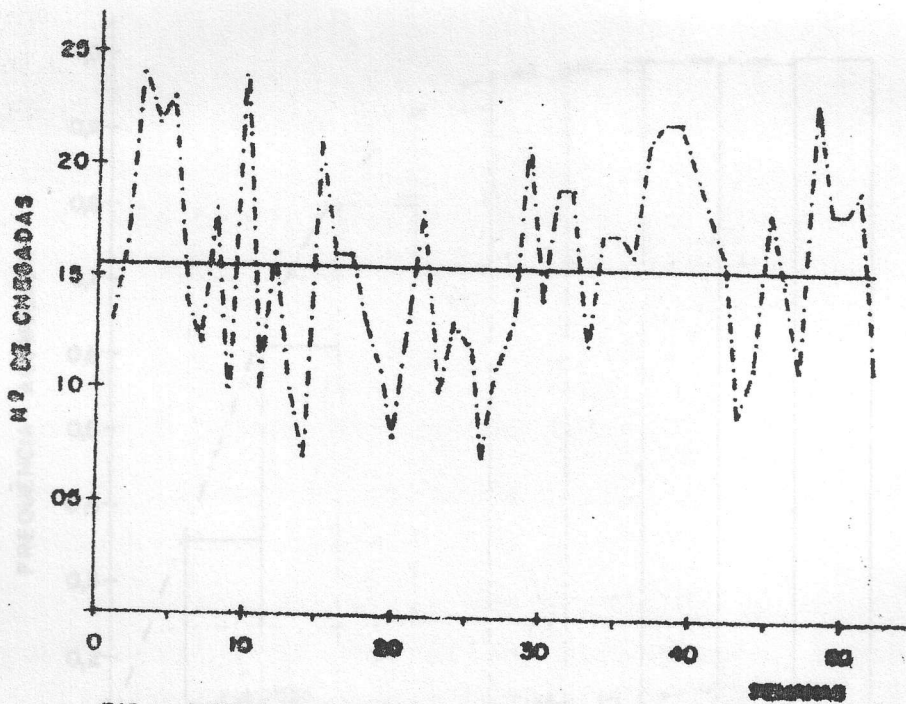


FIG. 1 - CHEGADAS SEMANAIS DE NAVIOS EM MUCURIFE - 02 - 1978

Levando em consideração que os navios que operam em Mucuripe pertencem a armadores diferentes e transportam cargas diversas, não sô para Fortaleza, mas também para sua área de influência, pode-se supor que as chegadas são eventos independentes, devendo as mesmas responder a uma distribuição de Poisson.

A tabela 1 mostra os dados sobre as chegadas dos navios durante o ano 1978. Dos mesmos calcula-se a taxa média  $\lambda = 2,21$  navios/dia (para 1979 obteve-se  $\lambda = 2,19$  navios/dia). Com esta taxa ajustou-se a distribuição de Poisson, fig.2, tab.1.

A tabela 2 mostra os dados obtidos para os tempos de atendimento (tempo que o navio permanece ancorado no berço) no ano 1978. As frequências dos mesmos foram comparadas com distribuições Erlang  $E_2$  e Erlang  $E_3$  (tabela 3). Embora na literatura apareça frequentemente a Erlang  $E_2$  como a distribuição mais provável nos tempos de atendimento devido aos diversos tipos de cargas e quantidades das mesmas, obtiveram-se neste trabalho que a distribuição  $E_3$  é a que melhor se ajusta aos dados. Este resultado é semelhante ao obtido por White (1967) que encontrou uma distribuição de Erlang com  $k$  variando entre 1,87 e 2,97 para o porto de Kerblat, Austrália. Levando em consideração as dificuldades

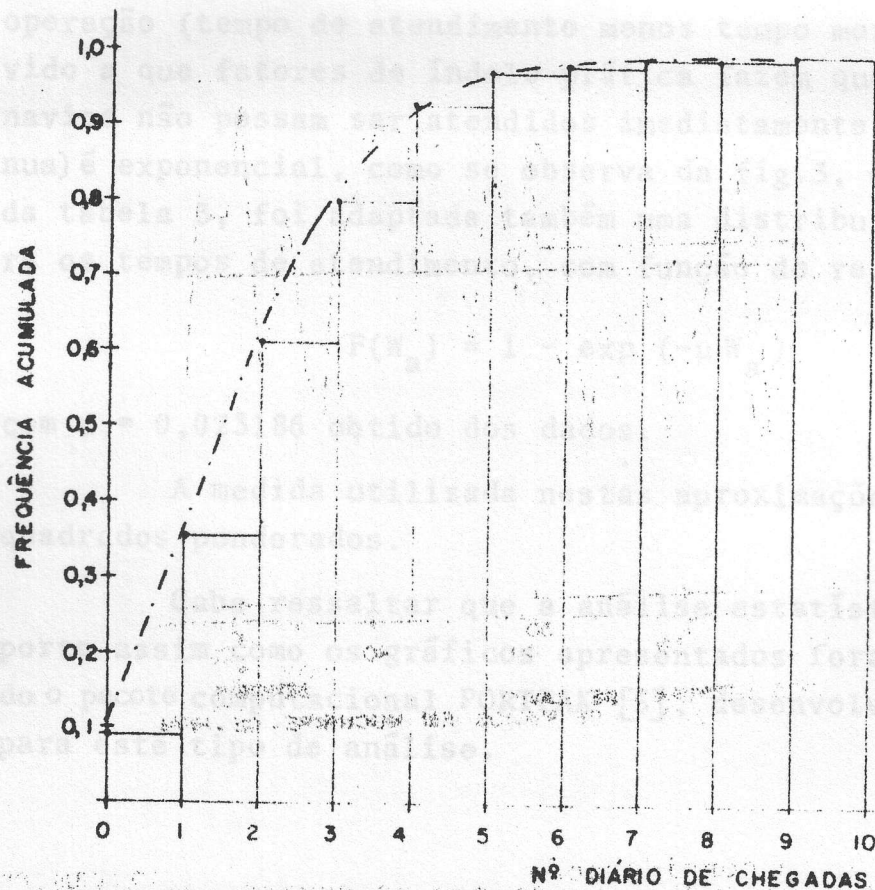


FIG. 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS CHEGADAS DIÁRIAS DE NAVIOS EM MUCURIBE - CE - 1978

Foi aplicado o teste de aderência  $\chi^2$  verificando-se que a um nível de significância de 95% para 1978 e de 90% para 1979 não existem evidências que nos levem a rejeitar a hipótese dos dados se ajustarem a uma distribuição de Poisson com os fluxos calculados.

A tabela 2 mostra os dados obtidos para os tempos de atendimento (tempo que o navio permanece ancorado no berço) no ano 1978. As frequências dos mesmos foram comparadas com distribuições Erlang  $E_k$  com  $k=1,2,3$  (vide tabela 2). Embora na literatura apareça frequentemente  $E_1$  como a distribuição mais provável dos tempos de atendimento devido aos diversos tipos de cargas e quantidades das mesmas, obteve-se no presente trabalho que a distribuição  $E_2$  é a que melhor se aproxima dos dados. Este resultado é semelhante ao obtido por White [6], que encontrou uma distribuição de Erlang com  $k$  variando entre 1,87 e 2,07 para o porto de Kemblat, Austrália. Levando em consideração dificuldades

computacionais mais o fato de que a distribuição dos tempos de operação (tempo de atendimento menos tempo morto, este último devido a que fatores de índole prática fazem que frequentemente os navios não possam ser atendidos imediatamente o em forma contínua) é exponencial, como se observa da fig.3, obtida com os dados da tabela 3, foi adaptada também uma distribuição exponencial para os tempos de atendimento, com função de repartição

$$F(W_a) = 1 - \exp(-\mu W_a)$$

com  $\mu = 0,023186$  obtido dos dados.

A medida utilizada nestas aproximações foi a de mínimos quadrados ponderados.

Cabe ressaltar que a análise estatística dos dados do porto assim como os gráficos apresentados foram obtidos empregando o pacote computacional PORTPAK [5], desenvolvido especialmente para este tipo de análise.

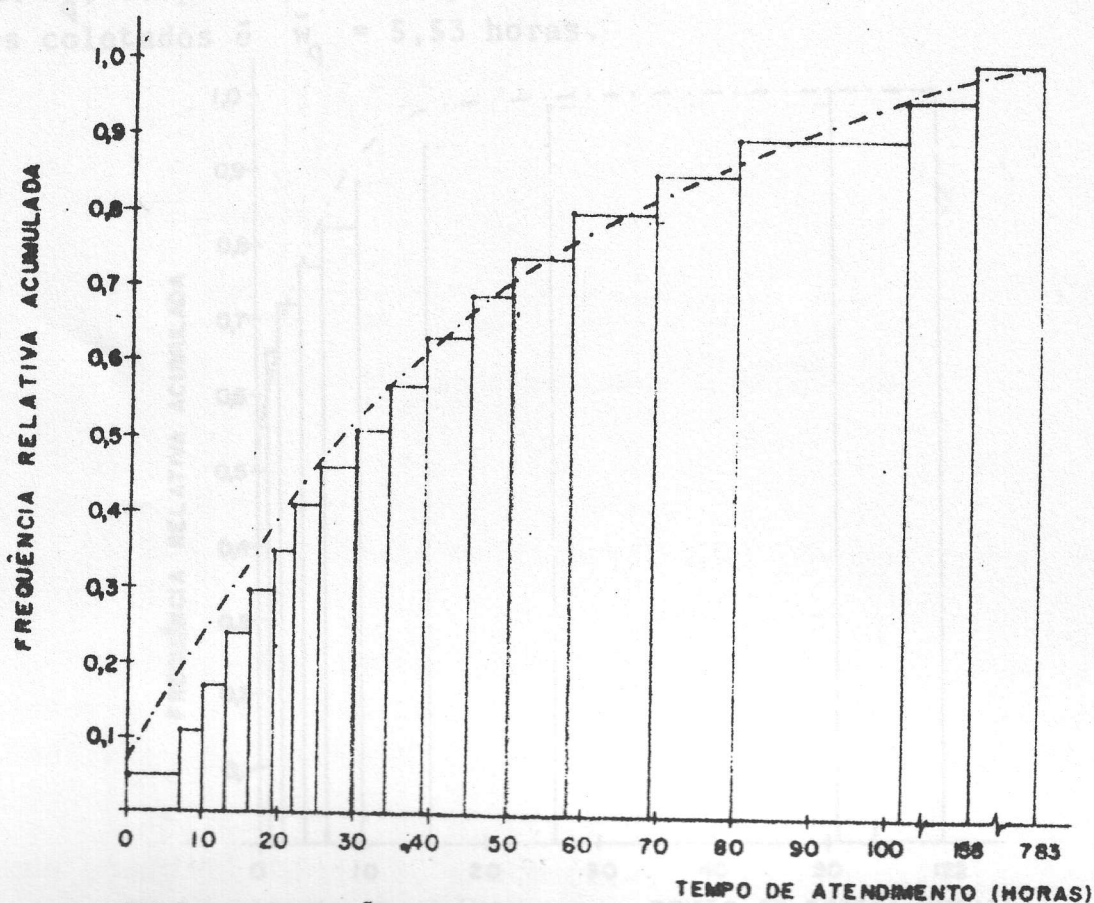


FIG. 3. DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE ATENDIMENTO DOS NAVIOS EM MUCURIPE - CE - 1978

### 2.3- Escolha de modelo e cálculo da taxa de ocupação

Com base nos resultados acima, foi escolhido o modelo M/M/6 (notação de Kendall) como o que aproxima mais convenientemente a operação do porto de Mucuripe.

O índice de congestionamento ou taxa de ocupação do mesmo,  $\rho$ , resulta então

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} = 0,6559 \text{ para o ano 1979 (0,6619 para 1978)}$$

Deve ser observado que este valor de  $\rho$  é o valor real do índice, pois  $\mu$  representa o valor médio dos tempos reais de operação. Foi confirmado o valor obtido através da fórmula: [3], [4]:

$$\bar{w}_q = \frac{\pi_0 (\rho c)^c}{(1-\rho) 2 c! c\mu}$$

com

$$\pi_0 = \left\{ \sum_{j=0}^{c-1} \frac{(\rho c)^j}{j!} + \frac{(\rho c)^c}{c!(1-\rho)} \right\}^{-1}$$

onde  $\bar{w}_q$ , tempo médio da espera dos navios na fila, obtido dos dados coletados é  $\bar{w}_q = 5,53$  horas.

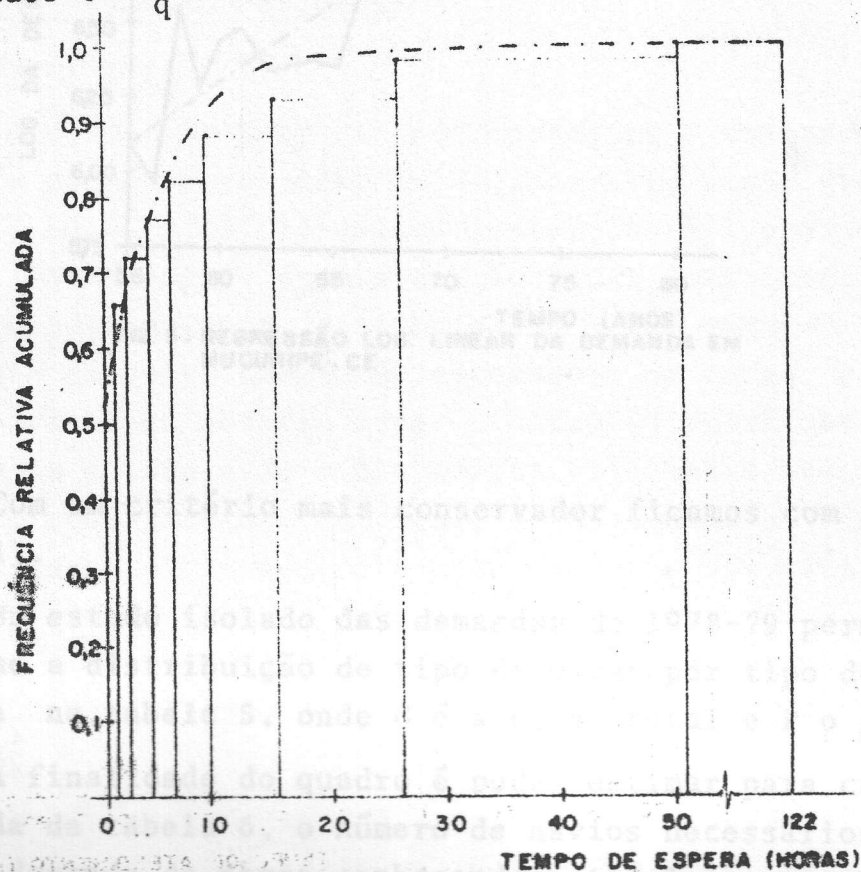


FIG. 4. DISTRIBUIÇÃO DO TEMPO DE ESPERA DOS NAVIOS EM MUCURIBE - CE - 1978



### 3. Projeção da Demanda

Analisando os dados relativos à demanda  $D$ , em toneladas/ano para o período 1956-1980, e por meio de uma regressão ajustou-se a mesma pela função:

$$D(t) = 451.282,7 \exp[0,052026(t-1956)], \quad (1)$$

curva que explica 90% do fenômeno real (coeficiente de Pearson  $P=0,90$ ). A mesma análise feita com os dados da década de 1970-1980 indica uma maior estabilidade na demanda, como pode ser observado na figura 5, apresentando uma taxa de crescimento anual de 7,23% (coeficiente de Pearson  $P=0,91$ )

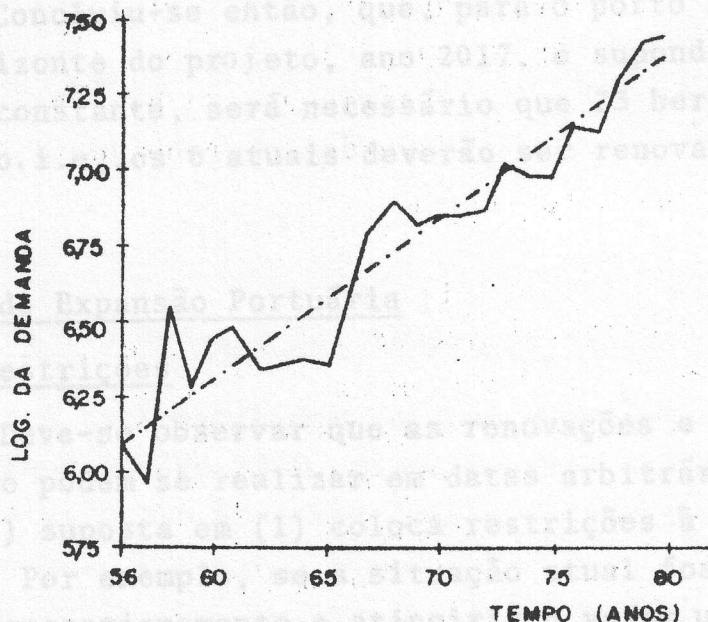


FIG. 5. REGRESSÃO LOG. LINEAR DA DEMANDA EM MUCURIBE-CE.

Com um critério mais conservador ficamos com a previsão dada em (1).

Um estudo isolado das demandas de 1978-79 permite estabelecer que a distribuição de tipo de carga por tipo de navio é a indicada na tabela 5, onde  $G$  é a carga total e  $P$  o petróleo.

A finalidade do quadro é poder estimar para cada ano  $t$ , e com ajuda da tabela 6, o número de navios necessários para atender a demanda do porto conhecendo a tonelagem total a ser

carregada e descarregada nesse ano. Para isto, assume-se que as percentagens de cada tipo de carga serão constantes (vide tabela 6).

Dos dados obtidos conclui-se que ao número calculado de navios com carga, deve ser somada uma parcela fixa, estimada em 400 por ano de navios sem carga. Estimamos ainda que em média um rebocador é utilizado por cada navio com carga que entra no porto ou sai dele. Acrescentando a estes resultados o fato de que a partir de 1983 entrará em funcionamento um novo pier, o que eliminará a operação dos petroleiros nos cais comuns, achamos a demanda em navios/dia:

$$\lambda(t) = 24\{0,1658 \exp[0,052026(t-1982)] - 0,053653\}$$

Concluiu-se então, que, para o porto satisfazer a demanda no horizonte do projeto, ano 2017, e supondo o tempo médio de operação constante, será necessário que 23 berços estejam em funcionamento, i.e., os 6 atuais deverão ser renovados e 17 novos construídos.

#### 4. Plano de Expansão Portuária

##### 4.1- Restrições

Deve-se observar que as renovações e construções dos berços não podem se realizar em datas arbitrárias, dado que a demanda  $D(t)$  suposta em (1) coloca restrições à operacionalidade do porto. Por exemplo, se a situação atual fosse mantida ( $C=6$ ), a taxa de congestionamento  $\rho$  atingiria o valor um no ano 1992 com o conseqüente estrangulamento do escoamento da carga, assim, no mínimo um novo berço deveria estar construído antes desta data. Acrescentando-se a isto o fato dos berços existentes na atualidade ficarem obsoletos. Tomamos como base 50 anos como a vida útil média de um berço e consideramos como hipótese que três anos antes da data em que um ficaria obsoleto, ele é fechado à operação com o objetivo a ser renovado; assumimos ainda que este processo de renovação dura três anos, voltando o berço em seguida a operar normalmente.

A partir das datas de construção dos berços existentes temos que dois berços sairão do sistema em 1992, três em 2009 e

um em 2014 e se reincorporarão em 1995, 2012 e 2017 respectivamente.

Concluimos então que as datas limites para entrada em operação de novos berços (expansão) segundo a função de demanda (1) são as indicadas na tabela 7, sendo as datas para renovação préfixadas.

Devem-se acrescentar restrições naturais as que derivam se de supor que o  $i+1$ -ésimo berço será construído após ou simultaneamente com o  $i$ -ésimo, o primeiro só poderá entrar em funcionamento em 1985 (data atual mais três anos para construção) e o último até o horizonte do projeto, assim temos, tomando como data zero 1980 e indicando por  $t_i$  a data em que o  $i$ -ésimo berço se incorporará ao sistema:

$$5 \leq t_1$$

$$t_i \leq t_{i+1}$$

$$t_{17} \leq 37$$

#### 4.2- Custo das obras e dos tempos de espera

Para o tratamento dos valores monetários, consideramos como data zero o ano de 1980. Assim o valor de uma grandeza monetária  $I$  que ocorre num instante  $1980 + t$ , tem seu valor  $I_0$  na data zero, dado por

$$I_0 = I e^{-rt}$$

onde  $r$  é a taxa de desconto anual e  $t$  é medido em anos. Se admitirmos que o investimento  $I$  para a execução da obra de renovação e/ou ampliação é distribuído uniformemente ao longo dos três anos que antecedem ao instante genérico  $1980 + t$ , tem-se que o desembolso distribuído e descontado à data zero, é dado por

$$I_0 = \frac{I}{3} \left( \frac{e^{3r} - 1}{r} \right) e^{-rt}.$$

Suponhamos agora que um determinado berço (após a construção ou renovação) seja posto em atividade na data  $1980 + t$ . Terá um período de depreciação de 50 anos com valor restante nulo (no fim

deste período). O valor restante  $V_R$  do investimento  $I$ , no horizonte do projeto, descontado à data zero, é representado pelo valor  $V_R^0$ , dado por

$$V_R^0 = \frac{I}{3} \left( \frac{t + 13}{50} \right) \left( \frac{e^{3r} - 1}{r} \right) e^{-37t}.$$

Consideramos para o investimento em cada berço, um estorno maior ou igual a zero, correspondente ao valor não depreciado. O resultado líquido à data zero é então:

$$B_0 = I_0 - V_R^0$$

Admitimos US\$5.000.000,00 como o valor  $I$  e 0,1 como valor de  $r$ .

#### 4.3- Custos dos tempos de espera

Tem-se que o tempo médio de espera de cada navio é  $\bar{w}_q$ ,  $\lambda(t)$  é o fluxo médio de chegadas e denominando por  $C_0$  o custo de espera por dia, o custo total da espera dos navios em qualquer ano  $t$  será

$$C_w = 365 C_0 \bar{w}_q \lambda(t)$$

que descontado à data zero é:

$$C_w^0 = 365 C_0 \bar{w}_q \lambda(t) e^{-rt}$$

Esta expressão dá o valor presente do custo de espera no ano  $t$ . Para se determinar o custo global de espera à data presente, para dois instantes genéricos  $t_1$  e  $t_2$  fazemos:

$$C_{TW}^0 = 365 C_0 \int_{t_1}^{t_2} \bar{w}_q \lambda(t) e^{-rt} dt$$

No presente trabalho, admite-se,  $C_0 = \text{US\$}3.600,00$ .

#### 4.4- Formulação matemática do problema

Determinar as datas  $t_i, i=1, \dots, 17$  com a finalidade de minimizar a função custo, definida por:

$$CT = \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{I}{3} \frac{(e^{3r} - 1)}{r} e^{-rt_i} - \frac{I}{3} \frac{(t_i + 13)}{50} \frac{(e^{3r} - 1)}{r} e^{-37t_i} \right] + 365 C_0 \int_0^{37} \bar{w}_q \lambda(t) e^{-rt} dt. \quad (2)$$

Sujeito às restrições impostas na seção 4.1

#### 4.5- Resultados e conclusões

O mínimo valor da função CT é calculado numericamente através do método das barreiras associado ao processo de busca direcional de Hooke e Jeeves.

Para isto foi utilizada a função

$$CT^* = CT - \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \frac{1}{g_j(t_1 \dots t_{17})}$$

com  $g_j(t_1 \dots t_{17}) = t_j - t_{j+1}$

A integração da 2ª parcela da fórmula (2) foi realizada empregando-se a regra de Simpson com sete pontos.

Os resultados obtidos estão mostrados na tabela 8. Observe-se que não existe um agrupamento formalizado (pois não obedecem a uma lei de formação) das épocas de construção dos novos berços. De fato, o resultado sugere que a minimização é atingida através de um processo de obras, quase contínuo, com simultaneidade na construção de alguns berços.

VALORES OBSERVADOS (N)	FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (F)	FREQUÊNCIA RELATIVA (F/N)
0	36	0.0966
1	99	0.2712
2	98	0.2689
3	72	0.1979
4	45	0.1233
5	17	0.0466
6	4	0.0110
7	3	0.0082
8	0	0.0
9	1	0.0027
TOTAL	365	1.00

(1) Número de vezes que o valor N foi obtido

(2) Poisson

TABELA 1  
DISTRIBUIÇÃO DAS CHEGADAS POR DIA AO PORTO DE MUCURIBE - CE - (1978)

VALORES OBSERVADOS (N)	FREQUÊNCIAS OBSERVADAS (I)	FREQUÊNCIA RELATIVA	FREQUÊNCIA ACUMULADA	FREQUÊNCIA RELATIVA TEÓRICA	FREQUÊNCIA ACUMULADA TEÓRICA	FREQUÊNCIA TEÓRICA
0	36	0.0986	0.0986	0.1100	0.1100	40.13
1	99	0.2712	0.3699	0.2427	0.3727	88.60
2	90	0.2466	0.6164	0.2680	0.6206	97.80
3	70	0.1918	0.8082	0.1972	0.8178	71.97
4	45	0.1233	0.9315	0.1088	0.9267	39.72
5	17	0.0466	0.9781	0.0481	0.9747	17.54
6	4	0.0110	0.9890	0.0177	0.9924	6.45
7	3	0.0082	0.9973	0.0056	0.9980	2.04
8	0	0.0	0.9973	0.0015	0.9995	0.56
9	1	0.0027	1.0000	0.0004	0.9999	0.14
TOTAL	365		1.00			

(1) Número de vezes que o valor N foi observado

(2) Poisson

TABELA 3

DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS DE OPERAÇÃO, MUCURIPE-CE (1978)

TEMPO OPERAÇÃO (HORAS)	FREQUÊNCIA	FREQUÊNCIA RELATIVA OBSERVADA		FREQUÊNCIA RELATIVA TEÓRICA (1)		FREQUÊNCIA TEÓRICA
		SIMPLES	ACUMULADAS	SIMPLES	ACUMULADAS	
0-7	48	0.0594	0.0594	0.0779	0.0779	63.0
7-10	43	0.0532	0.1126	0.1009	0.1789	81.6
10-13	52	0.0644	0.1770	0.0552	0.2340	44.6
13-16	54	0.0668	0.2438	0.0515	0.2855	41.6
16-19	47	0.0582	0.3020	0.4080	0.3335	38.8
19-22	45	0.0557	0.3577	0.4048	0.3783	36.2
22-25	43	0.0532	0.4109	0.0418	0.4201	33.8
25-30	45	0.0557	0.4666	0.0514	0.4714	41.5
30-34	41	0.0507	0.5173	0.0524	0.5238	42.3
34-39	50	0.0619	0.5792	0.0472	0.5710	38.1
39-45	45	0.0557	0.6349	0.0514	0.6224	41.5
45-50	48	0.0594	0.6943	0.0452	0.6676	36.5
50-58	44	0.0545	0.7488	0.0465	0.7141	37.4
58-69	44	0.0545	0.8032	0.0565	0.7706	45.7
69-80	41	0.0507	0.8540	0.0516	0.8222	41.7
80-102	41	0.0507	0.9047	0.0565	0.8788	45.7
102-158	42	0.0520	0.9567	0.0722	0.9509	58.3
158-783	35	0.0433	1.0000	0.0491	1.0000	39.6

TABELA 2  
DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS DE ATENDIMENTO, MUCURIPE-CE (1978)

TEMPO ANCORADO (HORAS)	FREQUÊNCIA OBSERVADA	FREQUÊNCIA RELATIVA OBSERVADA		FREQUÊNCIA RELATIVA TEÓRICA (1)		FREQUÊNCIA TEÓRICA
		SIMPLES	ACUMULADA	SIMPLES	ACUMULADA	
0-10	42	0.0520	0.0520	0.0208	0.0208	16.8
10-14	51	0.0631	0.1151	0.0774	0.0982	62.5
14-18	44	0.0545	0.1696	0.0581	0.1562	46.9
18-22	51	0.0631	0.2327	0.0627	0.2189	50.7
22-25	58	0.0718	0.3045	0.0563	0.2753	45.5
25-29	43	0.0532	0.3577	0.0561	0.3313	45.3
29-33	42	0.0520	0.4097	0.0625	0.3938	50.5
33-38	48	0.0594	0.4691	0.0669	0.4607	54.0
38-42	44	0.0545	0.5235	0.0624	0.5231	50.4
42-47	41	0.0507	0.5743	0.0573	0.5873	46.3
47-51	50	0.0619	0.6361	0.0521	0.6325	42.1
51-60	43	0.0532	0.6894	0.0661	0.6986	53.4
60-69	46	0.0569	0.7463	0.0749	0.7735	60.5
69-78	46	0.0569	0.8032	0.0581	0.8361	46.9
78-96	41	0.0507	0.8540	0.0622	0.8937	50.2
96-121	42	0.0520	0.9059	0.0568	0.9505	45.9
121-196	41	0.0507	0.9567	0.0419	0.9924	33.8
196-783	35	0.0433	1.0000	0.0076	1.0000	6.2



TABELA 4  
DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS DE ESPERA, MUCURIPE-CE (1978)

TEMPO ESPERA (HORAS)	FREQUÊNCIA OBSERVADA	FREQUÊNCIA RELATIVA OBSERVADA		FREQUÊNCIA RELATIVA TEÓRICA (1)		FREQUÊNCIA TEÓRICA
		SIMPLES	ACUMULADAS	SIMPLES	ACUMULADAS	
0-1	411	0.5087	0.5087	0.5280	0.5280	426.6
1-2	123	0.1522	0.6609	0.0706	0.5986	57.0
2-4	50	0.0619	0.7228	0.0866	0.6852	70.0
4-6	41	0.0507	0.7735	0.0871	0.7723	70.4
6-9	44	0.0545	0.8280	0.0758	0.8482	61.3
9-15	43	0.0532	0.8812	0.0786	0.9268	63.5
15-26	41	0.0507	0.9319	0.0548	0.9815	44.2
26-51	41	0.0507	0.9827	0.0175	0.9990	14.1
51-122	14	0.0173	1.0000	0.0010	1.0000	0.8

(1) EXPONENCIAL

TABELA 5

NAVIO	CARGA				
	G. LIQUIDO	G. SÓLIDO	C. GERAL	OUTRAS	
PETROLEIRO		0			
GRANELEIRO	0	0,5408 (G-P)	0,0217 (G-P)	0	
C. GERAL	0,007 P	0,0318 (G-P)	0,3880 (G-P)	0	
OUTROS	0	0	0,0014 (G-P)	0,0028 (G-P)	
TOTAL	P	0,5726 (G-P)	0,4246 (G-P)	0,0028 (G-P)	G

Distribuição de tipo de carga por tipo de navio P=1.038.080 toneladas a partir de 1983.

TABELA 6

NAVIO	TONELAGEM MEDIA
PETROLEIRO	6973,949
GRANELEIRO	11114,547
C. GERAL	1165,530
OUTROS	722,044

TABELA 7

BERÇO	DATA LIMITE
1	12,00
2	12,00
3	12,27
4	14,76
5	20,73
6	22,37
7	23,88
8	25,28
9	26,58
10	27,80
11	28,95
12	29,00
13	29,00
14	29,00
15	30,04
16	31,06
17	31,06

TABELA 8

BERÇO	DATA DE ENTRADA EM OPERAÇÃO (1980 +)
1	6,44
2	9,15
3	11,49
4	13,71
5	15,63
6	17,39
7	19,00
8	20,61
9	22,08
10	23,37
11	24,68
12	25,72
13	26,95
14	27,96
15	28,00
16	29,02
17	31,05

REFERÊNCIAS

- [1] - Borgo Filho, M., "Operação Portuária". Conferência ministrada para o programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, IME, Rio de Janeiro, em 21.07.81.
- [2] - Companhia Docas do Ceará, dados obtidos das estatísticas da operação, Fortaleza, CE - 1980.
- [3] - Novaes, A.G., Pesquisa Operacional e Transportes, Modelos Probabilísticos, Editora da USP, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo, 1975.
- [4] - Novaes, A.G., Métodos de Otimização, Aplicações aos Transportes, Editora E. Blücher Ltda, São Paulo, 1978.
- [5] - Sinay, L.R., Manual de Utilização dos Sistemas-Projeto Mucuripe, Relatório de Pesquisa e Desenvolvimento 007/81, LCC/CNPq, Rio de Janeiro, 1981.
- [6] - White, R.P., "The use of waiting line theory in planning expansion of port facilities", the Dock and Harbour Authority, 1972.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA OPERAÇÃO E  
OPTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE RENOV  
AÇÃO - AMPLIAÇÃO DO PORTO DO MUCURI  
PE - CE 4

Leon R. Sinay \*  
Rafael P. Klein\*\*  
Marta Cristina P. de Siqueira\*\*

RELATÓRIO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO