

ESTUDO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE UM TERMINAL DE GRANÉIS ATRAVES DA TEORIA DE FILAS

Karina Pires Duarte

Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG
Mestranda em Engenharia Oceânica

Milton Luiz Paiva de Lima

Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Prof. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

RESUMO

Este trabalho descreve e aplica uma metodologia que pode ser útil no processo de avaliação operacional de um sistema; o caso em questão é a aplicação de Teoria de Filas à análise operacional de um terminal de cargas portuário privado. Levando-se em conta diversos fatores, dentre eles: chegadas semanais, chegadas diárias e tempos de atendimento, e com o uso da formulação matemática da Teoria de Filas, foi possível calcular o chamado índice de congestionamento do sistema, índice este que serviu como indicador da situação operacional do referido terminal portuário, durante um período de um ano.

ABSTRACT

This work describes and applies an extremely useful methodology in the process of operational evaluation of a system; the case in subject is the application of the Queuing Theory to the operational analysis of a port terminal of loads private. Taken into account several factors, among them: weekly and daily arrivals, times of service, and using the mathematical formulation of the Queuing Theory, it was possible to calculate the index of traffic jam of the system, that served as indicator of the operational situation of the referred port terminal, during a period of one year.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda um aspecto muito importante, no que diz respeito à movimentação de cargas nos portos e terminais de cargas, sejam eles públicos ou privados, qual seja a existência ou não de congestionamento. Os portos constituem instrumentos vitais de suporte à economia, são os pulmões do comércio exterior e contribuem significativamente para o desenvolvimento da região onde estão situados e da economia nacional. Fundamental para a cadeia logística e de transportes, a atividade portuária contribui para a agregação de valor às mercadorias (Shimizu, 1984), além de desempenhar um papel estratégico no comércio exterior através da catalisação dos fluxos de importação e exportação. Essa necessidade de desenvolver o comércio exterior e contribuir para o crescimento econômico nacional impõe uma pesada responsabilidade aos portos de todos os países, principalmente dos países em desenvolvimento, já que lhes exigem um funcionamento com altas eficácia e eficiência. Com o intuito de contribuir para a melhoria dos sistemas portuários, este trabalho apresenta uma aplicação da Teoria de Filas ao caso de operação de um sistema deste tipo, no caso o chamado Terminal de Granéis (Termasa) do Super Porto do Porto do Rio Grande, no Rio Grande do Sul, o qual é um terminal de cargas privado. O principal objetivo da análise foi verificar se o referido terminal atendeu de forma satisfatória os navios que atracaram no mesmo no ano de 2004 e, desta forma, verificar, em termos de congestionamento, a situação operacional deste terminal privado.

2. DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES

As informações necessárias para aplicação da metodologia proposta neste trabalho foram obtidas diretamente junto ao Setor de Estatística da Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), tendo sido obtidas informações sobre o processo de chegadas de navios ao terminal (Termasa) do Porto do Rio Grande, durante o ano de 2004, tempos de atendimento dos navios, isto é, período em que as embarcações permaneceram atracadas e o número de posições de atracação do terminal.

3. METODOLOGIA CONSIDERADA

Para escolher o modelo de filas apropriado foi necessário estudar inicialmente o processo de chegadas. Foi considerado que consignatários, armadores e demais pessoas ou entidades envolvidas na sua utilização apresentavam comportamentos praticamente independentes. Dessa forma, pôde-se supor que as chegadas dos navios obedeciam a um processo de Poisson (Harvey, 1985; Prado, 1999). Entretanto, como os dados cobriam o período de um ano inteiro, existiu a necessidade de se verificar se o fluxo médio de chegadas não apresentava tendência sistemática de evolução ascendente ou descendente (Zavaloni, 1973, apud Novaes, 1970). Assim, as chegadas foram agrupadas por semanas, e foram obtidos os resultados indicados na Figura 1, evidenciando que não havia tendências sazonais apreciáveis. Pôde-se, portanto, concluir que o fluxo médio λ pode ser admitido constante para análise de chegadas dos navios.

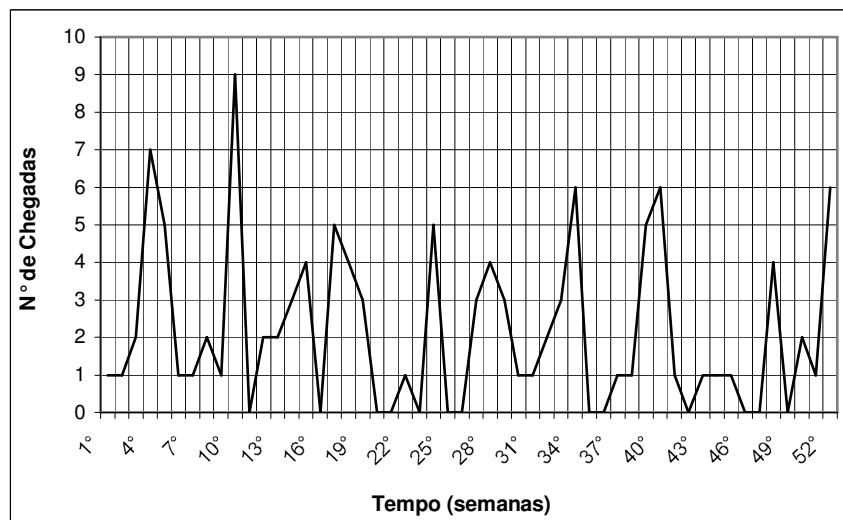


Figura 1: Chegadas semanais de navios no Terminal Graneleiro da Termasa - 2004.

Na tabela 1 apresentam-se os dados sobre as chegadas de navios durante os 365 dias do ano de 2004. O fluxo médio de chegadas diárias foi calculado a partir desses dados e seu valor é $\lambda = 0,31$ navios/ dia. Com o fluxo médio obtido anteriormente pôde-se ajustar uma distribuição de Poisson através da fórmula de recorrência das frequências teóricas relativas (Zavaloni, 1973, apud Novaes, 1970):

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{n} \right) P_{n-1} \quad (1)$$

sendo que $P_0 = e^{-\lambda}$. Os resultados do processo de ajuste são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Análise das Chegadas de Navios no Terminal Graneleiro da Termasa em 2004.

Número de Chegadas	Frequência Observ. (*)	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Teórica	Frequência Relativa Teórica Acumulada	Frequências Teóricas
0	273	0,7479	0,7479	0,7334	0,7334	267,71
1	74	0,2027	0,9506	0,2274	0,9608	82,99
2	16	0,0438	0,9945	0,0352	0,9961	12,86
3	2	0,0055	1,0000	0,0036	0,9997	1,33
4	0	0,0000	1,0000	0,0003	1,0000	0,10
5	0	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,01
TOTAL	365	1,0000	-	-	-	-

* Número de dias em que se observam “n” chegadas

Na Figura 2 são apresentadas as frequências teóricas e as frequências observadas, sendo que as frequências teóricas foram obtidas através da multiplicação das frequências teóricas relativas (extraídas da Tabela 1) pelo número total de observações, ou seja, 365 dias. Já na Figura 3 são apresentadas as frequências acumuladas.

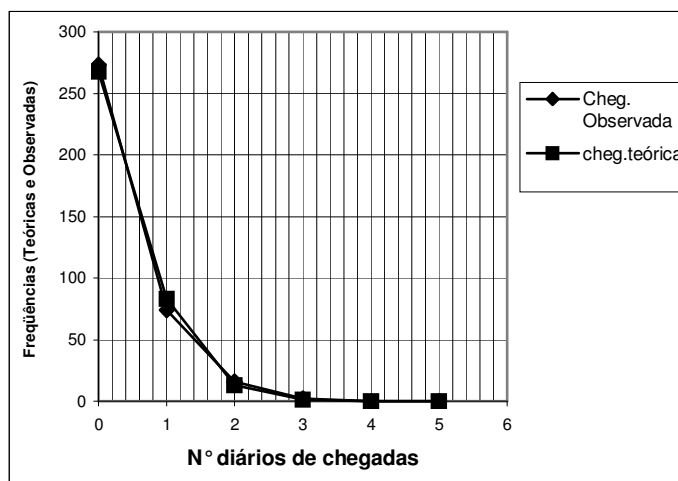


Figura 2: Distribuição das chegadas dos navios ao Super Porto (Termasa) em 2004.

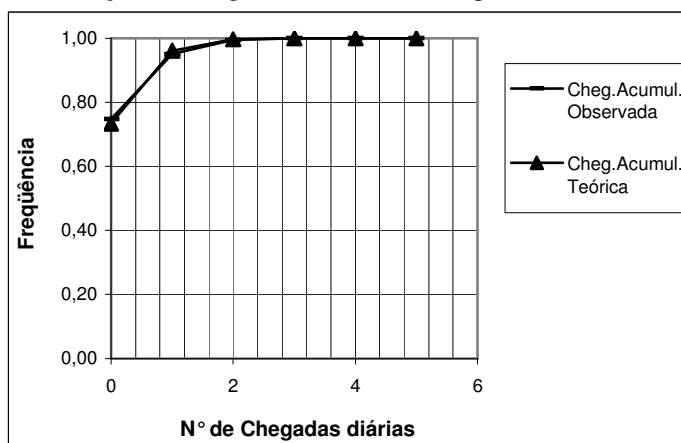


Figura 3: Distribuição de chegadas diárias de navios

Posteriormente, fez-se uma análise dos tempos de atendimento dos navios, que corresponderam ao período em que as embarcações permaneceram atracadas ao cais. Esse tempo depende de uma série de características, tais como tipo de carga movimentada, quantidade de carga, número de berços de atracação, duração da jornada de trabalho, etc.

Considerou-se que o tempo de atendimento dos navios fosse regido por uma distribuição Exponencial. Foram analisados 112 casos, sendo que os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Análise dos Tempos de Atendimento dos Navios no Super Porto (Termasa) do Porto do Rio Grande em 2004.

Tempo de Atend.(h)	Freq. Obs.	Freq. Relativa	Freq. Relat. Acum.	Lim. Sup. Tempo Atend.(dias)	Freq. X Lim. Superior	F(T)	Freq. Rel. Calc.	Freq. Esperada
0 a 18	38	0,34	0,34	0,75	28,50	0,2647	0,26470	29,646
18 a 36	29	0,26	0,60	1,50	43,50	0,4594	0,19464	21,800
36 a 70	20	0,18	0,78	2,92	58,33	0,6975	0,23819	26,677
70 a 105	11	0,10	0,88	4,38	48,13	0,8337	0,13612	15,245
105 a 140	8	0,07	0,95	5,83	46,67	0,9085	0,07486	8,384
140 a 175	3	0,03	0,97	7,29	21,88	0,9497	0,04117	4,611
175 a 223	3	0,03	1,00	9,29	27,88	0,9778	0,05033	5,636
Totais	112	-	-	-	274,88	-	-	112,00

O tempo médio de atendimento $E(T)$ foi obtido através da relação:

$$E(T) = \frac{\sum (\text{Freq. Obs.} \times \text{Lim. Sup. do Tempo de Atend.})}{\sum \text{Frequência Observada}} \quad (2)$$

Os dados indicados na Tabela 2 foram empregados na Equação (2), obtendo-se $E(T) = 2,45$ dias/navio. A estes mesmos dados foi ajustada uma distribuição Exponencial com a seguinte função densidade de probabilidade (Zavaloni, 1973, apud Novaes, 1970):

$$f(T) = \mu e^{-\mu T} \quad (3)$$

onde: $\mu = \frac{1}{E(T)}$. Assim, para o caso em tela, chegou-se a seguinte Função Densidade de Probabilidade:

$$f(T) = 0,41e^{-0,41T} \quad (4)$$

Os valores da frequência relativa teórica acumulada apresentados na Tabela 2 foram calculados através da função de repartição de T, dada por:

$$F(T) = 1 - e^{-0,41T} \quad (5)$$

onde a substituição de T foi feita pelos valores do limite superior dos intervalos dos tempos de atendimento.

Foram traçadas curvas de frequência acumulada teórica e frequência acumulada observada, as quais estão apresentadas na Figura 4. Observa-se que tais curvas praticamente coincidem, confirmando, em princípio, a hipótese de que o tempo de atendimento dos navios seja regido por uma distribuição Exponencial.

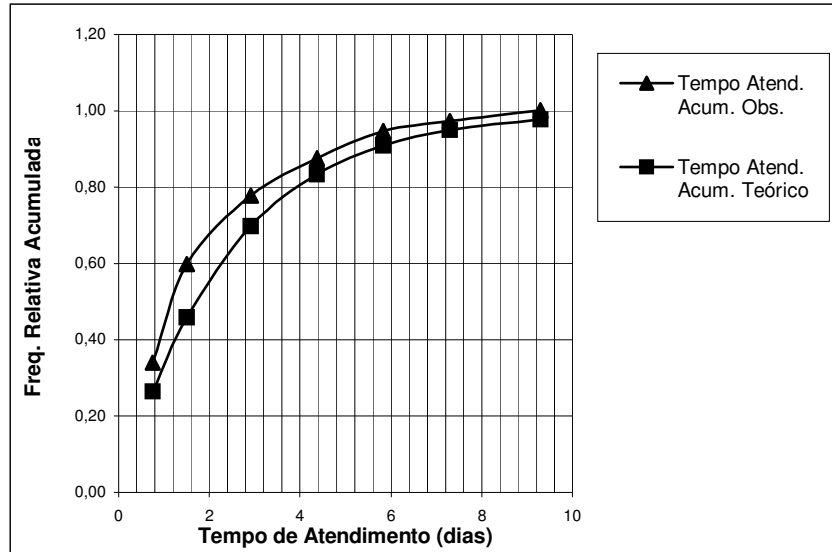


Figura 4: Distribuição dos Tempos de Atendimento dos Navios no Super Porto (Termasa) em 2004.

Outro fator que deve ser considerado é o número de posições de atracação. Este número pode ser um dado obtido diretamente da administração portuária, ou ainda pode ser estimado. No caso de ser necessário a estimativa, deve-se dispor do comprimento médio dos navios operados no porto no ano em questão, juntamente com o comprimento médio de cais, acrescido de aproximadamente 10% do comprimento deste cais para as folgas entre os navios. Assim, o número estimado de posições de atracação será o comprimento médio do cais dividido pelo comprimento médio dos navios.

Neste trabalho, o número de posições de atracação já era conhecido e constava de 1 posição. Desta forma, o modelo de filas que foi empregado foi o chamado M/M/1, onde o primeiro M indica o processo de chegadas, o segundo M indica o processo de atendimento e C é o número de posições de atracação do terminal (Prado, 1999).

4. CALIBRAÇÃO DO MODELO

No modelo de fila M/M/C o servidor possui uma distribuição de tempo de atendimento exponencial, distribuída identicamente e independentemente, o processo de chegadas é admitido ser o de Poisson (Zavaloni, 1973, apud Novaes, 1970) e o número de servidores é igual a C, conduzindo à função de repartição do tempo de espera dada pela Equação (6):

$$F(W_q) = 1 - \frac{\pi_0 (\rho C)^C}{(1 - \rho) C!} \exp[-\mu C (1 - \rho) W_q] \quad (6)$$

sendo

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{C-1} \frac{(C\rho)^j}{j!} + \frac{(C\rho)^C}{C!(1-\rho)}} \quad (7)$$

onde:

ρ é o índice de congestionamento do sistema;

μ é o inverso do tempo médio de atendimento;

λ é o fluxo médio de chegadas;

C é o número de posições de atracação.

O fator de utilização do sistema ou índice de congestionamento é dado pela relação:

$$\rho = \frac{\lambda}{C\mu} \quad (8)$$

No caso em questão, tem-se $\lambda = 0,31$, $\mu = 0,41$ e $C = 1$, obtendo-se assim um índice de congestionamento $\rho_{\text{calculado}} = 0,76$.

5. APLICAÇÃO DO TESTE DE ADERÊNCIA DO QUI-QUADRADO

Para realizar-se o teste de aderência do qui-quadrado, utilizou-se o software “Excel”. Inicialmente aplicou-se o teste para a análise das chegadas dos navios, onde as hipóteses e a regra de decisão foram respectivamente:

- * Hipóteses: H_0 : os dados observados seguem uma distribuição de Poisson;
 H_a : os dados observados não seguem uma distribuição de Poisson.

- * Regra de Decisão: Se $\chi^2 \leq \chi^2_{\text{crítico}}$: Aceita-se H_0 ;
Se $\chi^2 > \chi^2_{\text{crítico}}$: Rejeita-se H_0 .

Assim, foram fornecidos como dados de entrada no software “Excel” os valores do número de chegadas diárias e as frequências observadas, obtendo-se a Tabela 3.

Tabela 3: Teste de aderência para as chegadas

Observados(O)	Esperados (E)	(O-E)	(O-E) ²	(O-E) ² /E
273	267,71	5,29	27,9841	0,1045314
74	82,99	-8,99	80,8201	0,97385348
18	14,3	3,7	13,69	0,95734266
Totais: 365	-	-	$\chi^2 =$	2,03572753

Através da Tabela 3 observa-se que $\chi^2 = 2,035$. Em seguida, foi apurado o $\chi^2_{\text{crítico}}$ para que fosse possível verificar a aderência dos dados. Para isso, foi necessário considerar o número de graus de liberdade e o nível de significância adotado. Com estas duas informações, foi possível extrair de uma tabela estatística de distribuição de qui-quadrado (HOFFMANN, 1991) o valor de $\chi^2_{\text{crítico}} = 3,841$. Portanto, verificou-se que $\chi^2 < \chi^2_{\text{crítico}}$, o que estatisticamente significa que os dados aderem a uma distribuição de Poisson como havia sido inicialmente suposto para o caso das chegadas.

Foi adotado procedimento análogo para o uso do processo de atendimento. Os resultados estão explicitados na Tabela 4.

Tabela 4: Teste de aderência para os Tempos de Atendimento

Freq. Observada	Freq. Esperada	(O - E)	(O - E) ²	(O - E) ² / E
38	29,646	8,35	69,78	2,35
29	21,800	7,20	51,84	2,38
20	26,677	-6,68	44,58	1,67
11	15,245	-4,25	18,02	1,18
8	8,384	-0,38	0,15	0,02
6	10,25	-4,25	18,04	1,76
112	112,00	-	-	9,36

O valor de $\chi^2_{\text{crítico}}$ obtido foi 9,488, que comparativamente ao valor de $\chi^2 = 9,36$, levou a conclusão de que os tempos de atendimento neste terminal podem ser considerados como obedecendo a uma distribuição exponencial.

A Figura 5 apresenta o gráfico dos tempos de atendimento, obtidos com o uso do *Software Excel*, onde se representa o processo de atendimento dos navios no terminal de cargas considerado, indicando que os dados aderem à distribuição proposta.

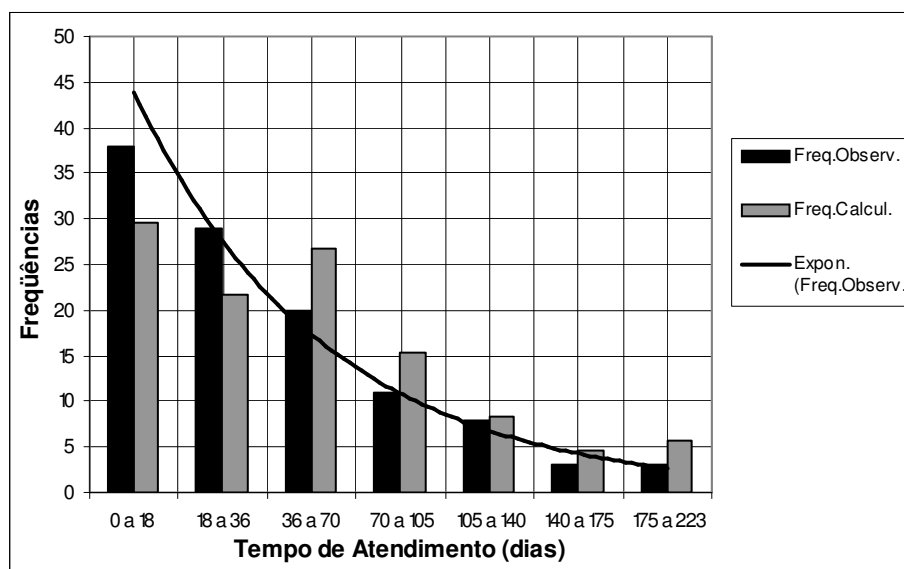


Figura 5: Gráfico dos Atendimentos obtidos com o uso do *Software Excel*.

6. MEDIDAS DE DESEMPENHO DO SISTEMA

Para este terminal, de acordo com o exposto nas seções 3 e 4, montou-se a Tabela 5, apresentada a seguir, onde se resumiu os principais resultados obtidos.

Tabela 5: Principais índices de Desempenho para o terminal da Termasa.

ÍNDICE DE DESEMPENHO	DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO	VALOR OBTIDO
NF	Número médio de clientes (navios) na fila	$\frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$	2,34 navios
TF	Tempo médio que o cliente (navio) fica na fila	$TF = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$	7,56 dias
NS	Número médio de clientes no Sistema	$NS = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)}$	3,10 navios
TS	Tempo médio que o cliente fica no sistema	$TS = \frac{1}{\mu(\mu - \lambda)}$	24,39 dias
P _o	Probabilidade de não existirem clientes no sistema quando chega um navio	$P_o = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$	24,39 %
P _n	Probabilidade de existirem clientes no sistema quando chega um navio	$P_n = 1 - P_o$	75,61 %

É importante ressaltar que existe 24,39% de possibilidade de um navio chegar a este terminal e o mesmo estar ocioso, possibilitando-o atracar imediatamente; o complemento deste valor, 75,61% indica a probabilidade deste navio que chegou ter de esperar para ser atendido. Logo, pode-se dizer que o terminal da Termasa permanece ocupado 75,61% do tempo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na aplicação do modelo de fila M/M/1 apresentado neste trabalho, observa-se que os resultados obtidos parecem ser coerentes, uma vez que os mesmos não são discrepantes, comparativamente à situação real do terminal em estudo. Verificou-se um valor de $\rho = 0,76$, ou seja, menor do que 1. Logo, isto é um indicativo de que não houve congestionamento no terminal da Termasa no ano de 2004. Assim sendo, os resultados obtidos parecem indicar que a aplicação da teoria de filas aqui apresentada é bastante adequada e pode ser usada com sucesso como um instrumento muito útil em um processo de análise operacional de terminais portuários, sejam eles privados ou públicos. Cabe lembrar ainda, que o terminal analisado foi um terminal graneleiro do Super Porto do Porto do Rio Grande, ou seja, um terminal privado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Harvey, M. Wagner, (1985) *Pesquisa Operacional*, 2º ed. Rio de Janeiro: Editora Copyright,
Hoffmann, R., (1991) *Estatística para Economistas*. 2º edição Revisada e Ampliada. São Paulo.
Prado, Darci Santos do, (1999) *Teoria das Filas e da Simulação*. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2º volume série Pesquisa Operacional.
Shimizu, Tamio, (1984) *Pesquisa Operacional em Engenharia, economia e administração: modelos básicos e métodos computacionais*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois.
Zavaloni, G., (1973) Adequação de Projetos Portuários à Moderna Tecnologia Naval: Aspectos Técnicos e Operacionais. In: Novaes, Antônio Galvão, (1970) *Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos*, São Paulo: Editora. Mc Graw-Hill do Brasil Ltda.