

Análise operacional do terminal público do porto do Rio Grande usando teoria de filas

Karina Pires Duarte¹, Milton Luiz Paiva de Lima²

¹ *Mestranda do curso de Engenharia Oceânica- FURG, Rio Grande, RS -
mecnina@yahoo.com.br*

² *Prof. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica- FURG, RS –
milton@dmc.furg.br*

RESUMO

Este trabalho descreve e aplica uma metodologia extremamente 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 público. Levando-se em conta diversos fatores, dentre eles: chegadas semanais e diárias (fluxo médio de chegadas), tempos de atendimento e tempos de espera (tempo médio 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.

PALAVRAS CHAVE: Terminais Portuários, Modelos de Filas, Análise Operacional.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda alguns aspectos importantes, no que diz respeito à movimentação de cargas nos portos e terminais de cargas, sejam eles públicos ou privados. 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, conforme a ref.[4], 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 Porto Novo do Porto do Rio Grande, o qual é um terminal de cargas público.

O principal objetivo da análise foi verificar se o referido terminal atendeu de forma satisfatória aos navios que atracaram no mesmo no ano de 2004 e, desta forma, verificar, em termos de congestionamento, a situação operacional deste terminal público.

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 as seguintes informações:

- Dados sobre o processo de chegadas de navios ao terminal considerado do Porto do Rio Grande, durante o ano de 2004;
- Tempos de atendimento dos navios, isto é, período em que as embarcações permaneceram atracadas;
- Tempos de espera dos navios referentes ao ano de 2004;
- 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. Uma vez que está se analisando o terminal público do porto como um todo, com os mais diversos tipos de cargas, consignatários, armadores e demais pessoas ou entidades envolvidas na sua utilização, é de se esperar que tais entidades apresentem comportamento praticamente independente. Dessa forma, pode-se supor que as chegadas dos navios obedecem a um processo de Poisson, de acordo com ref.[1] e ref.[3].

Uma vez que os dados considerados cobrem o período de um ano inteiro, existe a necessidade de verificar se o fluxo médio de chegadas não apresenta tendência sistemática de evolução ascendente ou descendente conforme ref.[5], Apud ref.[2]. Agrupando-se as chegadas por semanas, obtiveram-se os resultados indicados na Figura 1, mostrando-se que não há tendências sazonais apreciáveis quando se considera o terminal em questão no seu todo. Pode-se, portanto, concluir que o fluxo médio de chegadas (λ) pode ser admitido constante para a análise de chegadas dos navios do caso em questão.

Na tabela 1 são apresentados 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 $\lambda = 0,95$ navios/ dia.

Com o fluxo médio obtido anteriormente pode-se ajustar uma distribuição de Poisson através da fórmula de recorrência das frequências teóricas relativas segundo ref.[5], Apud ref.[2]:

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

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

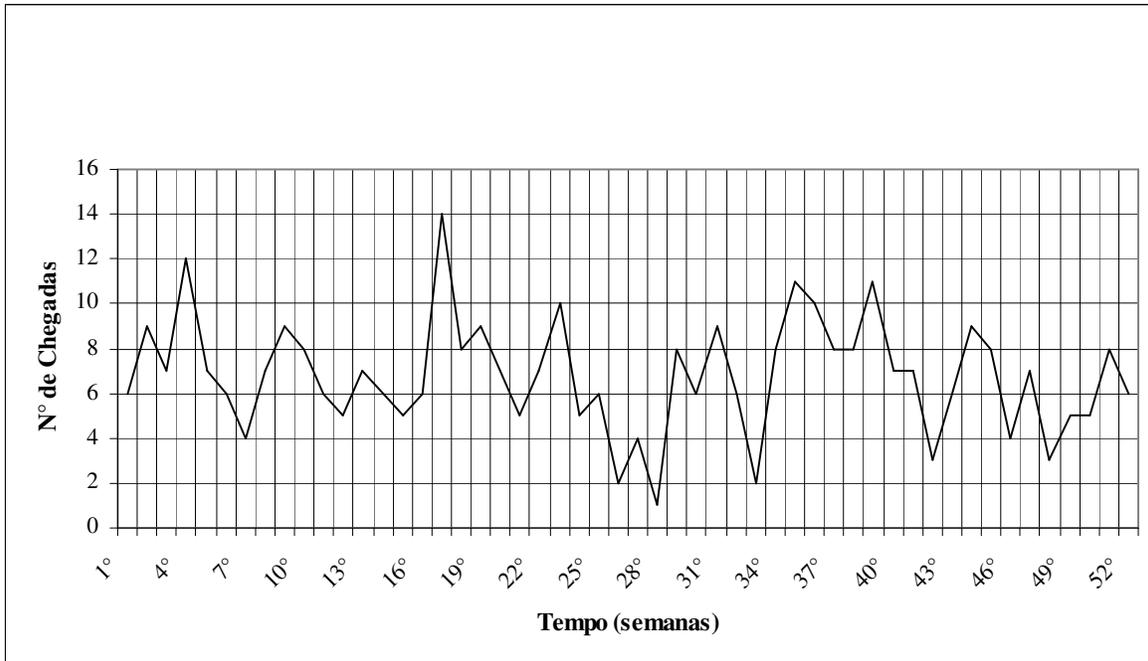


Figura 1: Chegadas semanais de navios no Porto Novo do Rio Grande - 2004.

Tabela 1: Análise das Chegadas de Navios no Porto Novo em 2004.

Número de Chegadas	Freqüência Observada	Freqüência Relativa	Freqüência Relativa Acumulada	Freqüência Relativa Teórica	Freqüência Relativa Teórica Acumulada	Freqüências Teóricas
0	132	0,3616	0,3616	0,3867	0,3867	141,16
1	154	0,4219	0,7835	0,3674	0,7541	134,10
2	54	0,1479	0,9315	0,1745	0,9287	63,70
3	18	0,0493	0,9808	0,0553	0,9839	20,17
4	5	0,0137	0,9945	0,0131	0,9971	4,79
5	2	0,0055	1,0000	0,0025	0,9995	0,91
TOTAL	365	1,0000	-	-	-	-

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

Posteriormente, fez-se uma análise dos tempos de atendimento dos navios, que corresponde ao período em que as embarcações permanecem atracadas ao cais. Esse tempo depende de uma série de características tais como tipo de carga movimentada, quantidade de carga, tipo de navio empregado, número de portões operando simultaneamente, duração da jornada de trabalho, etc.

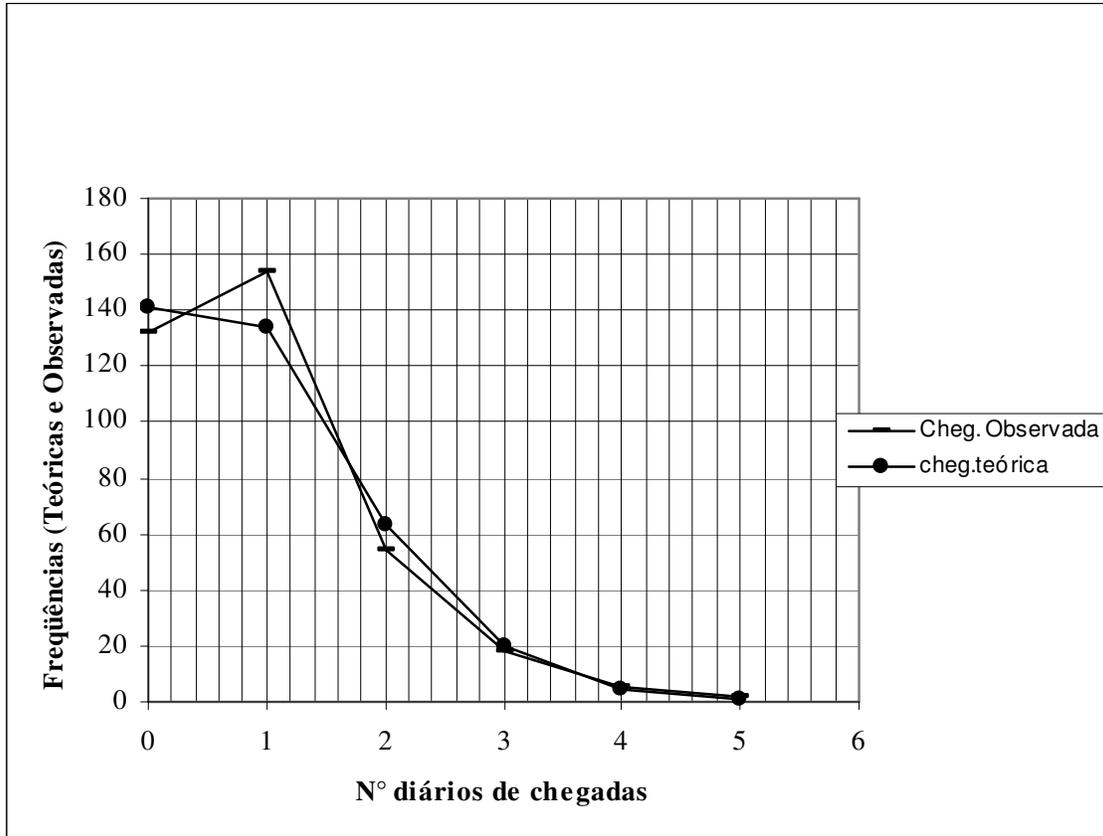


Figura 2: Distribuição das chegadas dos navios no Porto Novo em 2004.

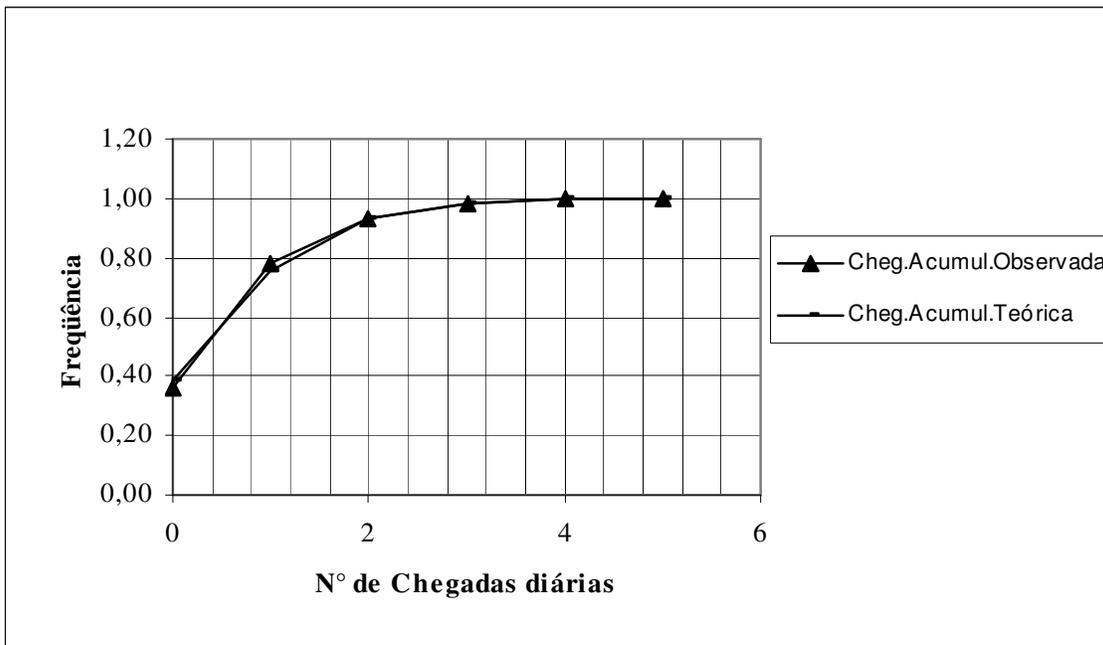


Figura 3: Distribuição de chegadas diárias acumuladas de navios no Porto Novo em 2004

Considerou-se que o tempo de atendimento dos navios, dada a grande variedade de tipos e quantidades de carga, seja regido por uma distribuição Exponencial. Foram analisados 346 casos, sendo os resultados obtidos são apresentados na tabela 2.

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

$$E(T) = \frac{\sum (\text{Freq. Obs.} \times \text{Ponto Médio})}{\sum \text{Frequência Observada}} \quad (2)$$

Tabela 2: Análise dos Tempos de Atendimento dos Navios no Porto Novo do Rio Grande em 2004.

Tempo de Atendimento	Frequência Observada	Ponto Médio do Intervalo (dias)	Freq. Obs. X Ponto Médio	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada	Frequência Relativa Acumulada Teórica F(T)
0 a 2 horas	0	0,042	0,00	0,00	0	0,05
2 a 6 horas	48	0,167	8,016	0,14	0,14	0,15
6 a 12 horas	94	0,375	35,25	0,27	0,41	0,27
12 a 24 horas	74	0,750	55,50	0,21	0,62	0,47
1 a 2 dias	50	1,500	75,00	0,14	0,77	0,72
2 a 3 dias	24	2,500	60,00	0,07	0,84	0,85
3 a 4 dias	16	3,500	56,00	0,05	0,88	0,92
4 a 5 dias	15	4,500	67,50	0,04	0,93	0,96
5 a 7 dias	16	6,000	96,00	0,05	0,97	0,99
7 a 14 dias	9	10,50	94,50	0,03	1,00	1,00
Total ---->	346	-	-	-	-	-

Os dados indicados na Tabela 2 foram empregados na Equação (2), obtendo-se $E(T)=1,58$ dias/navio. A estes mesmos dados foi ajustada uma distribuição Exponencial com a seguinte função densidade de probabilidade, conforme ref.[5], Apud ref.[2]:

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

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

Probabilidade:

$$f(T) = 0,6316e^{-0,6316T} \quad (4)$$

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

$$F(T) = 1 - e^{-0,6316T} \quad (5)$$

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 observada, as quais estão apresentadas na Figura 4. Observa-se que tais curvas praticamente coincidem, confirmando a

hipótese de que o tempo de atendimento dos navios seja regido por uma distribuição Exponencial.

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 estimação, 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.

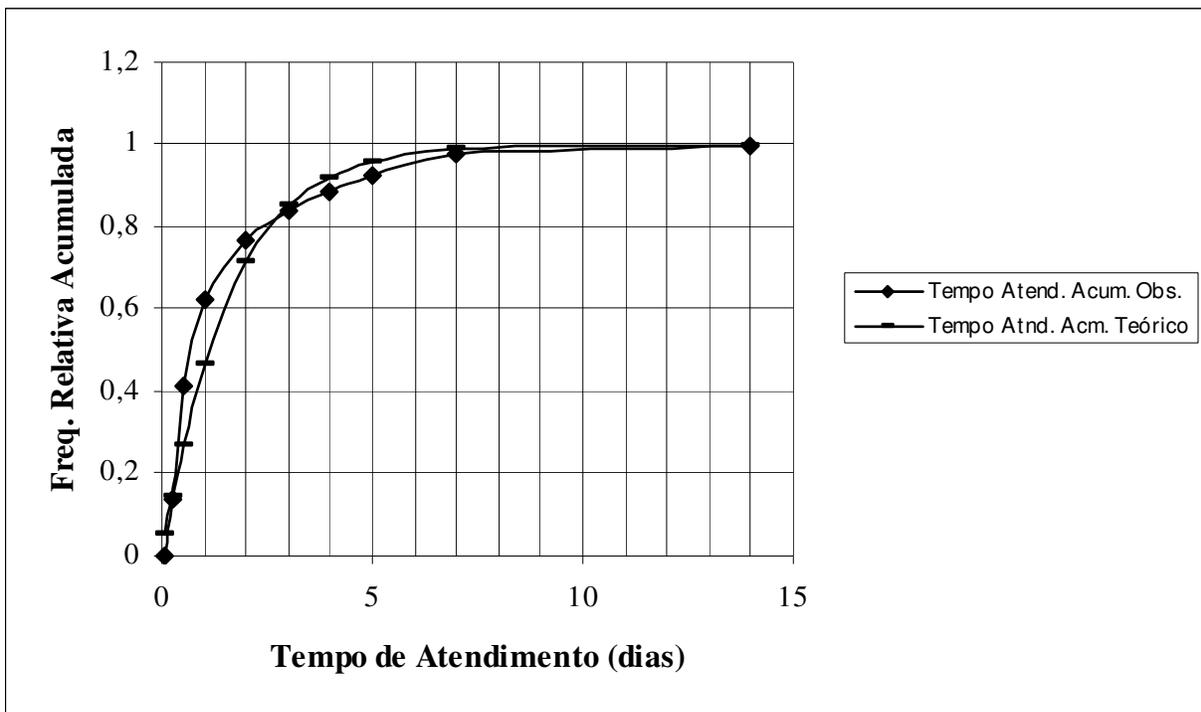


Figura 4: Distribuição dos Tempos de Atendimento dos Navios no Porto Novo em 2004.

Neste trabalho, o número de posições de atracação já é determinado e consta de 6 posições. Desta forma, o modelo de filas que foi empregado foi o chamado M/M/C, com $C = 6$, onde M indica o processo de chegadas e processo de atendimento e C é o número de posições de atracação do terminal de acordo com ref.[3].

4. CALIBRAÇÃO DO MODELO

No modelo multi-servidor de fila M/M/C cada servidor possui uma distribuição de tempo de serviço exponencial distribuída identicamente e independentemente, e o processo de chegadas é admitido ser o de Poisson.

A nomenclatura M/M/C, segundo ref.[5] Apud ref.[2] mostra que o processo de chegadas é regido por uma distribuição de Poisson, o processo de atendimento é regido por uma distribuição

exponencial e o número de servidores é igual a C, conduzindo à seguinte função de repartição do tempo de espera:

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

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, com $\lambda = 0,95$, $\mu = 0,6316$ e $C = 6$, obtendo-se assim um índice de congestionamento $\rho = 0,251$.

Na realidade, o coeficiente ρ é aparente porque, ao fazer-se à análise do terminal como um todo, não se considerou as diversas restrições de utilização do sistema. Geralmente há várias restrições que fazem com que o navio não possa ser atendido imediatamente mesmo havendo vaga no cais, dentre elas uma das mais importantes está ligada à especialização do equipamento de manuseio da carga como guindastes e outros. O resultado dessas restrições é um valor real de ρ mais elevado do que o valor teórico calculado acima.

O valor real de ρ pode ser estimado diretamente através da análise dos tempos de espera reais observados no mesmo período. Tais valores foram obtidos na SUPRG no setor de estatística e são mostrados na tabela 3, apresentada a seguir.

Tabela 3: Tempos de Espera dos Navios no Porto Novo em 2004.

Tempo	Espera	Frequência	Frequência	Frequência	Lim.Inf.Tempo
Lim. Inf.	Lim.Sup.	Observada	Relativa	Rel. Acum.	Esp. Em dias
0	2 horas	232	0,650	0,65	0,00
2	6 horas	87	0,244	0,894	0,08
6	12 horas	23	0,064	0,958	0,25
12	24 horas	13	0,036	0,995	0,50
1	2 dias	2	0,006	1,000	1,00
2	3 dias	0	0,000	1,000	2,00
TOTAL	-	357	1,000	-	-

Calculando-se as curvas teóricas do tempo de espera para diversos valores de ρ , através da expressão 6, foi traçado o gráfico da Figura 5.

Nesse gráfico é também apresentada a curva das frequências relativas e acumuladas, correspondente aos dados reais, cujos valores foram extraídos da tabela 3.

Verifica-se, através do confronto das curvas teóricas com a curva dos valores observados, que o valor real de ρ é aproximadamente igual a 0,51.

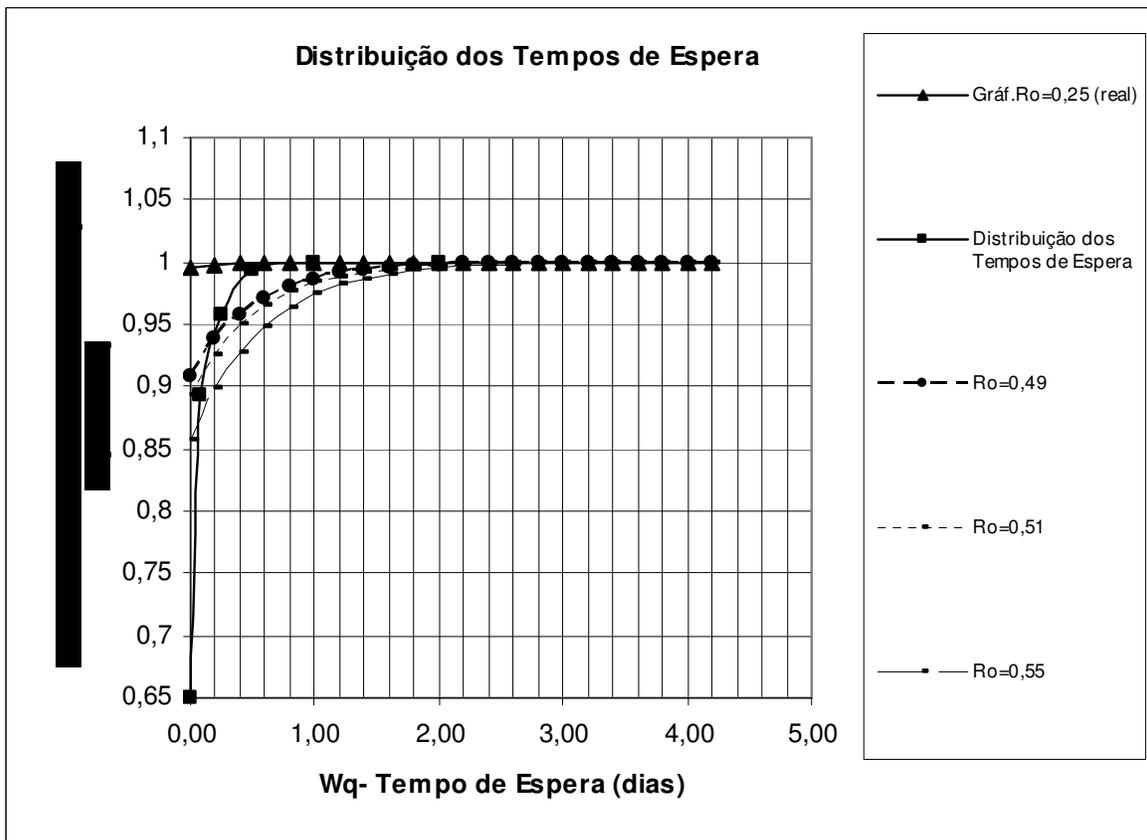


Figura 5: Distribuição do Tempo de Espera dos Navios: curva com os valores observados e algumas curvas teóricas para diversos valores de ρ

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na aplicação do modelo de fila apresentado neste trabalho, observou-se que os resultados obtidos parecem ser coerentes, uma vez que os mesmos não são discrepantes, comparativamente à situação real do terminal em estudo.

Assim sendo, os resultados obtidos parecem indicar que a aplicação da teoria das 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.

Cabe lembrar que o terminal analisado foi o Porto Novo, ou seja, um terminal público, ficando assim a sugestão de uma aplicação futura da teoria das filas para os terminais privados do Super Porto do Rio Grande.

Referências Bibliográficas

1. **HARVEY**, M.Wagner. Pesquisa Operacional, Editora Copyright, 2° ed, Rio de Janeiro, 1985.
2. **NOVAES**, Antônio Galvão. Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos, ed. Mc Graw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo, 1975.
3. **PRADO**, Darcí. Teoria das Filas e da Simulação. Editora DG, 2° volume série Pesquisa Operacional, 1999.
4. **SHIMIZU**, Tamio. Pesquisa Operacional em Engenharia, economia e administração: modelos básicos e métodos computacionais. Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1984.
5. **ZAVALONI**, G. Adequação de Projetos Portuários à Moderna Tecnologia Naval: Aspectos Técnicos e Operacionais. **In: NOVAES**, Antônio Galvão. Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos, ed. Mc Graw-Hill do Brasil Ltda, São Paulo, 1975.