



Artigo

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS EM UMA SIDERÚRGICA EM MARABÁ-PA: Um estudo de caso

Romulo Santos Araujo; Leonardo Breno Pessoa da Silva
romulo.saraujo@aluno.uepa.br

Universidade do estado do Pará (UEPA)

RESUMO

O artigo aborda a aplicação da Teoria das Filas para otimizar o processo de recebimento de insumos em uma siderúrgica localizada em Marabá, no Sudeste do Pará. A pesquisa teve como foco principal a análise do tempo de espera dos veículos no sistema de descarregamento, identificando gargalos operacionais que impactam diretamente na eficiência logística. Para isso, foram utilizados modelos matemáticos clássicos, como M/M/1 e M/M/2, a fim de avaliar as taxas de chegada e os tempos de atendimento. A coleta e o tratamento dos dados foram realizados por meio dos softwares Excel e Promodel, possibilitando simulações e projeções mais precisas do sistema estudado. Os resultados obtidos indicaram que o modelo M/M/2 apresentou desempenho superior, promovendo significativa redução no tempo médio de espera na fila e no sistema, além de melhor distribuição da carga operacional. Dessa forma, a adoção desse modelo contribui para o aumento da eficiência do processo, redução de custos operacionais e atendimento às exigências legais, como a Lei nº 11.442/2007.

Palavras-chave: Teoria das filas; eficiência operacional; logística industrial.

ABSTRACT

The article addresses the application of Queueing Theory to optimize the process of receiving inputs in a steel plant located in Marabá, in the southeastern region of Pará, Brazil. The research primarily focused on analyzing vehicle waiting times in the unloading system, identifying operational bottlenecks that directly impact logistics efficiency. To achieve this, classical mathematical models, such as M/M/1 and M/M/2, were applied to evaluate arrival rates and service times. Data collection and processing were carried out using Excel and Promodel software, enabling more accurate simulations and projections of the studied system. The results indicated that the M/M/2 model presented superior performance, significantly reducing the average waiting time both in the queue and in the system, as well as improving workload distribution. Therefore, adopting this model contributes to increased process efficiency, reduced operational costs, and compliance with legal requirements, such as Law No. 11,442/2007.

Keywords: Queueing theory; operational efficiency; industrial logistics.





1 INTRODUÇÃO

Filas são sequências de pessoas ou itens que aguardam por um serviço, produto ou atendimento em diversos contextos, como bancos, supermercados e indústrias. O fenômeno das filas é um aspecto comum da vida cotidiana, refletindo a necessidade de organização e eficiência nos serviços oferecidos. Segundo o especialista em gestão de operações, C. H. H. Hopp, as filas podem ser compreendidas através da teoria das filas, que estuda o comportamento de espera e a otimização dos processos (HOPP, 2004). Entender a dinâmica das filas é fundamental para melhorar a experiência do cliente e a eficiência operacional das empresas.

A Teoria das Filas é um conjunto de métodos matemáticos e analíticos que visa otimizar o tempo de espera dos clientes até o atendimento. Quando a demanda por um serviço supera a capacidade do sistema, o tempo de espera aumenta, impactando negativamente a satisfação do cliente. A aplicação da Teoria das Filas em diversos setores, como varejo, saúde e telecomunicações, tem se mostrado eficaz na melhoria da estrutura operacional, no atendimento e na disposição de equipamentos, contribuindo para uma experiência mais satisfatória para o consumidor (BOLAÑO, 2015).

Na implementação de uma rede logística, é essencial reconhecer as particularidades das operações nos setores público e privado. O setor público geralmente enfrenta uma alta demanda de atendimento, uma vez que seus serviços são direcionados à população em geral. Em contrapartida, o setor privado tende a lidar com demandas de média a baixa intensidade, refletindo as variações no poder econômico e nas expectativas dos consumidores (SILVA, 2018).

A teoria das filas, aplicada ao recebimento de insumos em uma siderúrgica, é fundamental para otimizar o fluxo logístico de materiais como minério de ferro e carvão. Utilizando modelos matemáticos como $(M/M/1)$ ou $(M/M/c)$, a análise das taxas de chegada de caminhões e os tempos de serviço permite prever o comportamento das filas, identificar gargalos e dimensionar adequadamente os recursos necessários, como o número de docas de descarga e a capacidade de armazenamento (Gross, Harris, 1998).





Implementar estratégias baseadas nessa teoria pode minimizar o tempo de espera dos veículos, reduzir custos operacionais e evitar interrupções na linha de produção, assegurando um fluxo contínuo e eficiente dos processos produtivos (Hillier, Lieberman, 2001). Dessa forma, a teoria das filas não só melhora a eficiência logística, mas também contribui para a competitividade da siderúrgica no mercado global (Buzacott, Shanthikumar, 1993).

Sendo assim, as siderúrgicas necessitam de uma estratégia que busque otimizar o tempo para aumentar a produtividade. Pensando nisso, o presente trabalho discorre sobre a aplicação da teoria das filas em uma siderúrgica localizada no município de Marabá-PA, onde o objetivo principal dessa pesquisa é realizar um estudo de caso, para ser feita a implementação de um sistema de atendimento e serviço mais eficientes conforme a demanda de recebimento de veículos.

O trabalho é dividido em 5 tópicos, onde o 1º tópico abrange a Introdução e apresentação do tema da pesquisa e objetividade. No 2º tópico é feito um Referencial Teórico, que visa dar uma base sólida ao trabalho. O 3º, por conseguinte, é a metodologia, que aponta os processos em etapas pelo qual o trabalho foi desenvolvido. O 4º é os Resultados e Discussão, que abrange o tema e faz-se a análise computacional dos dados. O 5º é a Conclusão, que relata o que foi concluído do trabalho e a adoção de métodos mais adequados para a siderúrgica.

2 METODOLOGIA

2.1 Classificação e delineamento da Pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, pois tem como objetivo propor melhorias práticas no processo de recebimento de insumos em uma siderúrgica, por meio da aplicação da Teoria das Filas.

Quanto à abordagem, a pesquisa é classificada como quantitativa, uma vez que se baseia na coleta, tratamento e análise de dados numéricos relacionados ao fluxo de veículos



e tempos de atendimento, permitindo a modelagem matemática do sistema e a obtenção de indicadores de desempenho.

Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva e exploratória. Descritiva, pois apresenta e analisa o funcionamento do sistema de filas existente no processo de descarregamento. Exploratória, por buscar identificar oportunidades de melhoria e propor um cenário alternativo mais eficiente.

No que se refere aos procedimentos técnicos, foi adotado o método de estudo de caso, realizado em uma siderúrgica localizada no município de Marabá-PA. A análise concentrou-se no processo de recebimento de insumos, especificamente na etapa de entrada e descarregamento de veículos.

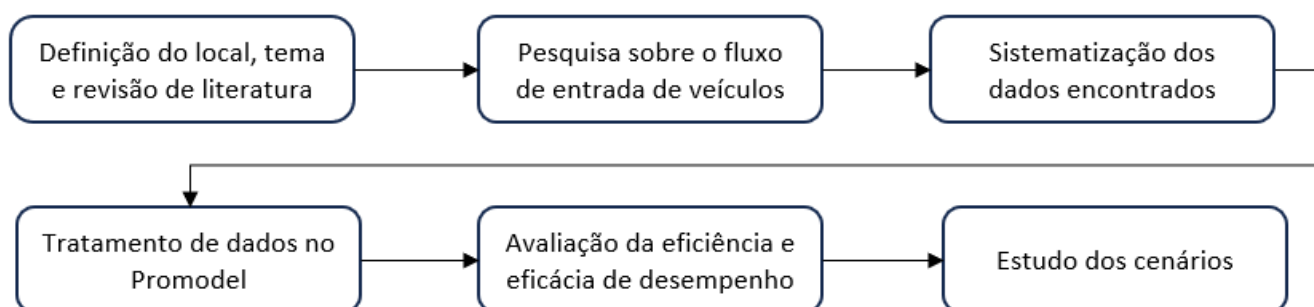
2.2 Coleta de dados

Para a construção da pesquisa, foram coletados dados fornecidos pela portaria da siderúrgica, sobre chegada e tempo de atendimento. Estes que foram extraídos do sistema GUARDIAN (Gerenciamento, automação de pesagem de veículos, controle de acesso de veículos e integração de dados).

2.3 Etapas de Execução da Pesquisa

Em busca de alcançar o objetivo proposto no artigo, os procedimentos foram detalhados conforme a Figura 1.

Figura 1 – Fluxo da pesquisa



Fonte: O autor (2026)



Etapa 1 - O tema e o local de pesquisa foram determinados a partir da necessidade de uma implementação de sistema de filas.

Etapa 2 - As informações referentes ao fluxo de entrada de veículos foram obtidas através do sistema Guardian, fornecidos pela portaria da siderúrgica.

Etapa 3 - As informações obtidas foram organizadas em uma planilha no software Excel, utilizando fórmulas, como MÉDIA, SOMA, PROCV e DESVIO PADRÃO, e projetando gráficos de linha, para medição e análise do desempenho, respectivamente.

Etapa 4 - Os dados de chegada e serviço foram inseridos no módulo Statfit do software Promodel para a realização do qui-quadrado.

Etapa 5 - Os cálculos das medidas de desempenho foram realizados através da teoria das filas.

Etapa 6 - Através dos resultados obtidos, foi possível analisar o sistema de atendimento da portaria da siderúrgica para propor um cenário alternativo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características do Local de Pesquisa

O estudo foi desenvolvido em uma siderúrgica localizada no município de Marabá-PA, região estratégica do sudeste paraense, caracterizada pela forte presença de atividades industriais voltadas à produção de aço para o mercado nacional, especialmente nos setores de construção civil e infraestrutura. A unidade analisada apresenta operações contínuas e elevada dependência do fluxo logístico de insumos, tornando o processo de recebimento um elemento crítico para o desempenho produtivo.

No contexto operacional da empresa, o processo de recebimento de insumos ocorre por meio do transporte rodoviário, com a chegada de veículos carregados com materiais como minério de ferro, carvão e insumos acondicionados em big bags. Esse fluxo de entrada





é direcionado ao pátio de descarregamento, onde os veículos aguardam autorização para iniciar o processo de descarga.

A etapa analisada neste estudo concentra-se especificamente no sistema de entrada e descarregamento de veículos, que envolve atividades como controle de acesso na portaria, pesagem, direcionamento ao ponto de descarga e execução do descarregamento propriamente dito. Trata-se de um sistema logístico integrado, no qual atrasos em qualquer uma dessas etapas pode impactar diretamente o tempo total de permanência dos veículos no sistema.

Observa-se que esse processo é caracterizado por variabilidade tanto na chegada dos veículos quanto no tempo de atendimento, fatores que contribuem para a formação de filas e possíveis gargalos operacionais. Conforme identificado no estudo, há períodos de maior concentração de chegadas, o que intensifica a necessidade de um dimensionamento adequado da capacidade de atendimento.

Além disso, o sistema apresenta características típicas de um modelo de filas com disciplina de atendimento do tipo FIFO (First In, First Out), no qual os veículos são atendidos na ordem de chegada. Esse tipo de organização, embora simples e amplamente utilizado, pode não ser suficiente para garantir eficiência em cenários de alta demanda, especialmente quando há limitação no número de canais de atendimento.

Outro aspecto relevante refere-se à importância estratégica dessa etapa dentro da cadeia produtiva da siderúrgica. O atraso no descarregamento de insumos pode comprometer o abastecimento da produção, gerando impactos em toda a operação industrial. Dessa forma, a eficiência do sistema de filas não afeta apenas o setor logístico, mas também a produtividade global da empresa.

Adicionalmente, deve-se considerar que o ambiente analisado está sujeito a restrições operacionais e legais, como limites de tempo para carga e descarga estabelecidos pela legislação brasileira. Nesse sentido, a redução do tempo de permanência dos veículos no sistema torna-se não apenas uma questão de eficiência, mas também de conformidade legal e controle de custos.





Diante desse cenário, a aplicação da Teoria das Filas mostra-se adequada para modelar o comportamento do sistema, permitindo analisar indicadores de desempenho, identificar gargalos e propor melhorias baseadas em dados quantitativos. A caracterização detalhada do sistema é, portanto, uma etapa fundamental para garantir a validade dos modelos aplicados e a confiabilidade dos resultados obtidos.

3.2 Taxa de Chegada

O registro das chegadas foi organizado a cada hora, resultando na criação de uma planilha que indica o número de chegadas a cada 6 horas. Esta planilha foi então submetida ao Stat:FIT para verificar se o modelo se ajustaria à distribuição de Poisson. Os resultados foram positivos, conforme indicado na figura 2:

Figura 2 – Teste de Distribuição de Poisson

Poisson	not available	0.156
detail		
Poisson		
lambda	=	1.64286
Chi Squared		
too few intervals		
Kolmogorov-Smirnov		
data points		14
alpha		0.05
p-value		0.833
result		DO NOT REJECT

Fonte: O autor (2026)

O valor da taxa média de chegada (λ) foi calculado como a média de todos os dados de chegada, resultando em um valor de 1,64 a cada 6 horas. Portanto, isso significa que aproximadamente 2 veículos chegam a cada 6 horas.





3.3 Taxa de Atendimento

O tempo de atendimento foi medido em horas, considerando a diferença de dias entre o fim da operação e o início do descarregamento. A planilha foi então organizada e os registros foram submetidos ao Promodel para verificar o ajuste à distribuição Exponencial. A Figura 3 mostra o resultado obtido:

Figura 3 – Teste de Distribuição Exponencial

distribution		Chi Squared
Exponential		5.28 (2)
detail		
Exponential		
minimum	=	2 [fixed]
beta	=	10.8333
Chi Squared		
total classes		4
interval type		equal length
net bins		3
chi**2		5.28
degrees of freedom		2
alpha		0.05
chi**2(2,0.05)		5.99
p-value		0.0715
result		DO NOT REJECT

Fonte: O autor (2026)

A taxa média de atendimento (μ) foi determinada pela média de todos os registros de atendimento, resultando em um valor de 10 horas. Em outras palavras, o tempo médio para um veículo ser atendido é aproximadamente 10 horas.

3.4 Medidas de Desempenho

Com o valor da taxa de chegada (λ) = 3,64 e taxa de serviço (μ) = 10,83, foi possível calcular as variáveis, conforme a tabela 1:





Tabela 1 – Modelo M/M/1

Resultado do modelo M/M/1		
Ocupação do sistema (p)	90,99%	
Número médio de clientes na fila (Lq)	0,65	Clientes
Probabilidade do sistema ocioso (P0)	21,75%	
Tempo médio de espera na fila (Wq)	11,20	Horas
Número médio de clientes no sistema (fila + atendimento) (L)	4,29	Veículo
Tempo médio de espera no sistema (fila + atendimento) (W)	37,84	Horas

Fonte: O autor (2026)

Analisando os resultados, entende-se que o sistema de descarregamento não possui resultados satisfatório devido ao tempo de espera de aproximadamente 12 horas, que considerando a demanda de descarga é um tempo elevado. Além disso, a realidade de uso demonstra que o sistema pode evoluir para atender a atual demanda de veículos.

3.5 Perspectiva de melhoria

Analisando uma perspectiva de melhoria, foram realizados os cálculos para a medida de desempenho considerando uma fila modelo M/M/2 para verificar se o tempo médio de espera no sistema e o tempo médio de espera na fila seriam reduzidos significativamente. Os resultados obtidos estão na tabela 2:

Tabela 2 – Modelo M/M/2

Resultado do modelo M/M/2		
Ocupação do sistema (p)	44,80%	
Número médio de clientes na fila (Lq)	0,27	Clientes
Probabilidade do sistema ocioso (P0)	57,98%	
Tempo médio de espera na fila (Wq)	5,20	Horas





Número médio de clientes no sistema (fila + atendimento) (L)	2,62	Veículo
Tempo médio de espera no sistema (fila + atendimento) (W)	15,20	Horas

Fonte: O autor (2026)

A partir dos resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que a adoção do modelo M/M/2 promove uma reconfiguração significativa no desempenho do sistema de descarregamento, evidenciando ganhos operacionais relevantes quando comparado ao modelo anterior.

Um dos principais indicadores que demonstram essa melhoria é a redução da taxa de ocupação para 44,80%, valor consideravelmente inferior ao observado no modelo M/M/1. Esse resultado indica que o sistema passa a operar com maior folga operacional, reduzindo o risco de saturação e tornando-se mais resiliente a variações no fluxo de chegada de veículos. Em sistemas logísticos, essa margem é fundamental para absorver picos de demanda sem comprometer o nível de serviço.

Outro ponto de destaque é a redução do número médio de veículos na fila (L_q), que passa de 0,65 para 0,27 veículos. Embora numericamente esses valores pareçam baixos, sua interpretação deve ser feita em conjunto com o tempo de espera, uma vez que sistemas com poucos elementos na fila ainda podem apresentar tempos elevados, como observado no modelo anterior. Nesse sentido, a redução de L_q , aliada à diminuição do tempo de espera, indica maior fluidez no processo.

O tempo médio de espera na fila (W_q) apresentou redução de aproximadamente 50%, passando de 11,20 horas para 5,20 horas. Esse resultado é particularmente relevante, pois o tempo de espera é um dos principais indicadores de desempenho em sistemas de filas, refletindo diretamente a eficiência operacional e a qualidade do serviço prestado. A redução observada aproxima o sistema de condições mais adequadas às exigências operacionais e legais.

De forma complementar, o tempo médio total no sistema (W) foi reduzido de 37,84 horas para 15,20 horas, representando uma melhoria de cerca de 40%. Esse indicador é ainda





mais abrangente, pois considera tanto o tempo de espera quanto o tempo de atendimento. A redução significativa desse valor demonstra que a melhoria proposta impacta todo o ciclo do processo, desde a chegada até a finalização do descarregamento.

Outro aspecto relevante refere-se ao aumento da probabilidade de o sistema estar ocioso (P_0), que passou para 57,98%. Embora, à primeira vista, a ociosidade possa ser interpretada como ineficiência, em sistemas de filas ela representa uma margem estratégica de capacidade disponível. Essa folga é essencial para garantir estabilidade operacional, evitando a formação de filas excessivas em momentos de maior demanda.

Além disso, a redução do número médio de veículos no sistema (L), de 4,29 para 2,62, evidencia uma diminuição no acúmulo de veículos no pátio da siderúrgica. Esse resultado possui implicações práticas importantes, como a melhoria na organização do espaço físico, redução de congestionamentos internos e maior segurança operacional.

Sob a ótica da gestão operacional, os resultados indicam que o sistema M/M/2 proporciona um melhor balanceamento entre capacidade e demanda. Segundo Gross e Harris (1998), sistemas com múltiplos servidores tendem a apresentar maior eficiência em cenários com variabilidade, pois distribuem melhor a carga de trabalho e reduzem a dependência de um único ponto de atendimento.

Adicionalmente, a melhoria observada possui impacto direto nos custos operacionais. Conforme discutido anteriormente no estudo, a redução do tempo de permanência dos veículos contribui para evitar custos adicionais previstos na legislação de transporte, especialmente aqueles relacionados a atrasos no processo de carga e descarga. Dessa forma, a adoção do modelo M/M/2 não apenas melhora o desempenho técnico do sistema, mas também gera benefícios econômicos.

Por fim, destaca-se que a implementação de um segundo canal de atendimento representa uma decisão estratégica de investimento em capacidade. Os resultados demonstram que tal investimento é justificado pelos ganhos expressivos em eficiência, redução de tempos e melhoria no nível de serviço, tornando o sistema mais competitivo e alinhado às demandas operacionais da siderúrgica.





Em síntese, a análise da Tabela 2 confirma que a ampliação da capacidade de atendimento é uma solução eficaz para mitigar gargalos operacionais, proporcionando maior estabilidade, eficiência e confiabilidade ao sistema logístico analisado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar o processo de recebimento de insumos em uma siderúrgica, por meio da aplicação da Teoria das Filas, visando identificar gargalos operacionais e propor melhorias no desempenho do sistema. A partir da modelagem inicial do sistema como M/M/1, constatou-se que o processo apresentava limitações significativas, especialmente relacionadas ao elevado tempo médio de espera na fila e no sistema, evidenciando baixa eficiência frente à demanda operacional.

A proposição de um cenário alternativo com modelo M/M/2 demonstrou resultados expressivamente superiores, com redução significativa nos tempos de espera e melhor distribuição da carga de trabalho. Esses resultados indicam que a ampliação da capacidade de atendimento contribui diretamente para a melhoria da eficiência logística, redução de ociosidade e maior fluidez no processo de descarregamento.

Além disso, a aplicação da modelagem permitiu subsidiar a tomada de decisão com base em dados quantitativos, evidenciando o papel da simulação e das ferramentas analíticas na otimização de sistemas produtivos. A adoção do modelo proposto também contribui para o atendimento às exigências legais relacionadas ao tempo de permanência dos veículos, evitando custos adicionais e melhorando o nível de serviço.

Como limitações do estudo, destaca-se o período restrito de coleta de dados e a análise concentrada em apenas uma etapa do processo logístico. Dessa forma, sugere-se, para trabalhos futuros, a ampliação do horizonte temporal da coleta de dados, a análise de múltiplos pontos do sistema e a utilização de simulações mais complexas, considerando variabilidades operacionais.





Conclui-se, portanto, que a Teoria das Filas se mostra uma ferramenta eficaz para a análise e melhoria de sistemas logísticos industriais, contribuindo para ganhos operacionais, redução de custos e aumento da competitividade organizacional.

REFERÊNCIAS

BUZACOTT, J. A.; SHANTHIKUMAR, J. G. **Stochastic models of manufacturing systems**. New Jersey: Prentice Hall, 1993.

CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.

COZMAN, F. G.; MARUYAMA, N. **Filas: um simulador para sistemas de eventos discretos**. Notas de aula, 2014. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/p/fabio.cozman/Didatico/Comp/EPs/EP2_V2014.pdf. Acesso em: jan. 2016.

FLORENCIO, D.; DANTAS, M. J. Estudos sobre modelagem e simulação de sistemas de filas M/M/1 e M/M/2. In: SIMPÓSIO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 2014, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 2014.

GROSS, D.; HARRIS, C. M. **Fundamentals of queueing theory**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GROSS, D.; SHORTLE, J. F.; THOMPSON, J. M.; HARRIS, C. M. **Fundamentals of queueing theory**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2008.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. New York: McGraw-Hill, 2001.

HOPP, W. J. **Queueing systems: analysis and applications**. 2. ed. New York: Wiley, 2004.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

PINTO, ÂNGELO SANTOS. **Aplicação da teoria de filas na análise da capacidade operacional de um sistema: estudo de caso BCA Porto Novo**. Mindelo: Instituto Superior de Ciências Econômicas e Empresariais, 2011.





ROSS, S. M. **Introduction to probability models**. 11. ed. Academic Press, 2014.

SHORTLE, J. F.; THOMPSON, J. M.; GROSS, D.; HARRIS, C. M. **Fundamentals of queueing theory**. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2018.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

VIEIRA, A. A. A nova Lei nº 11.442/2007 e a legislação trabalhista. **Jus Navigandi**, Teresina, ano 11, n. 1294, 2007. Disponível em:
<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=9396>. Acesso em: 19 jun. 2024.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. **Probability and statistics for engineers and scientists**. 9. ed. Harlow: Pearson, 2012.

