Aplicação de Modelagem em Fila no Processo de Pesagem de Veículos em uma Indústria de Pneumáticos



Claudia Brito da Cunha[1]; Raphael Sepulveda Barino[2]
Universidade de São Paulo

RESUMO

Este artigo teve o objetivo de apresentar um estudo de caso conduzido em uma indústria de pneumáticos localizada em Guarulhos, na região metropolitana de São Paulo. O estudo foi motivado pela previsão de aumento de 70% na produção da empresa, bem como pela identificação de gargalos no processo de entrada, pesagem, conferência, transbordo e saída de veículos de suas instalações. Para abordar essa problemática e buscar soluções eficazes, a teoria das filas foi aplicada, empregando a ferramenta Python para simulação de cenários futuros e previsão de demanda, a fim de propor otimizações na estrutura da empresa. Os resultados obtidos destacam a importância de explorar alternativas para mitigar os gargalos previstos no futuro, permitindo uma antecipação eficaz dos potenciais impactos adversos. Nesse contexto, este estudo fornece uma base sólida para a tomada de decisões informadas e estratégicas, visando aprimorar a eficiência operacional da empresa diante do crescimento previsto.

Palavras chave: Teoria das Filas, Python, Logística de Materiais, Previsão de Cenários, Simulação.

ABSTRACT

This paper aimed to present a case study conducted in a tire manufacturing industry located in Guarulhos, in the metropolitan region of São Paulo, Brazil. The study was motivated by a projected 70% increase in the company's production, as well as the identification of bottlenecks in the process of entry, weighing, inspection, transshipment, and vehicle departure from its facilities. To address this issue and seek effective solutions, queueing theory was applied, using the Python tool for simulating future scenarios and forecasting demand in order to propose optimizations in the company's structure. The results obtained highlight the importance of exploring alternatives to mitigate the anticipated bottlenecks, allowing for an effective anticipation of potential adverse impacts. In this context, this study provides a solid foundation for informed and strategic decision-making, aiming to enhance the operational efficiency of the company in the face of projected growth.

Key Words: Queueing Theory, Python, Materials Logistics, Scenario Forecasting, Simulation.

1. INTRODUÇÃO

A presença de filas é uma realidade em nosso cotidiano, seja aguardando atendimento médico, ingressando em uma fila de cinema ou enviando um pacote nos correios e outras situações do cotidiano. As pessoas tendem a se acostumar a esperar por um determinado período, porém, tornam-se irritadas quando o tempo de espera excede o limite considerado aceitável. A teoria das filas, ciência que aborda o estudo das esperas em suas diversas formas, emprega modelos de filas que podem ser aplicados em diferentes contextos. Esses modelos são ferramentas utilizadas para melhorar a eficiência de sistemas de filas, compreendendo e aplicando suas teorias na otimização de processos de espera, proporcionando melhor atendimento aos usuários (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A teoria das filas, representa uma abordagem analítica para modelar processos ou sistemas que invariavelmente envolvem situações de espera. Seu propósito é a determinação e avaliação das medidas de desempenho que quantificam a eficiência operacional desses sistemas. Com base nesses dados, é possível empreender esforços para mitigar os efeitos adversos decorrentes das esperas nos processos, constituindo, assim, uma ferramenta valiosa na otimização de operações (FLOGLIATTI; MATTOS, 2006).

Uma visão que enriquece o entendimento da teoria das filas é destacar seu caráter probabilístico e sua ênfase na análise matemática precisa das filas e suas mensuráveis propriedades. Esta abordagem oferece modelos que permitem antecipar o comportamento de sistemas que lidam com serviços cuja demanda varia aleatoriamente. Essa capacidade de previsão possibilita dimensionar adequadamente tais sistemas, garantindo a satisfação dos clientes e a viabilidade econômica do provedor de serviços, ao mesmo tempo em que contribui para evitar ineficiências e gargalos operacionais (TEIXEIRA; PINHEIRO, 2010). A representação desta teoria é vista conforme a Figura 1.

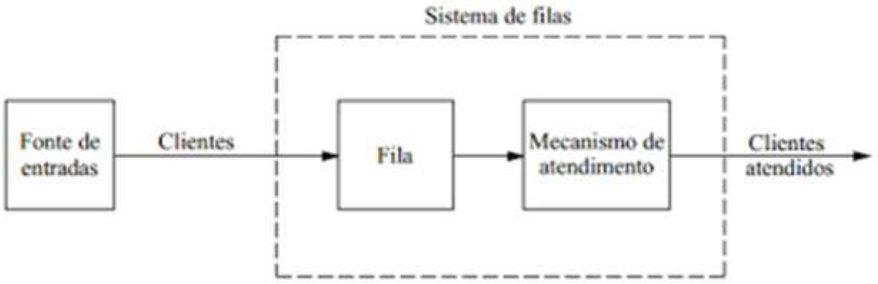

Figura 1 – Representação de sistema de fila.

Fonte: Teixeira, Pinheiro (2010).

As fórmulas associadas a cada modelo de filas oferecem diretrizes claras sobre o funcionamento do sistema de filas em diversas situações, incluindo a previsão do tempo médio de espera. Como resultado, esses modelos de filas desempenham um papel fundamental na determinação das melhores práticas para operar um sistema de filas de maneira altamente eficiente. Essa capacidade de análise e otimização torna essas ferramentas de modelagem de filas extremamente valiosas na gestão e aprimoramento de processos de espera (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

As fórmulas associadas a cada modelo de filas oferecem diretrizes claras sobre o funcionamento do sistema de filas em diversas situações, incluindo a previsão do tempo médio de espera. Como resultado, esses modelos de filas desempenham um papel fundamental na determinação das melhores práticas para operar um sistema de filas de maneira altamente eficiente. Essa capacidade de análise e otimização torna essas ferramentas de modelagem de filas extremamente valiosas na gestão e aprimoramento de processos de espera (TEIXEIRA; PINHEIRO, 2010).

Nesse contexto, emerge o estudo das esperas em suas diversas manifestações. A teoria das filas, como amplamente reconhecida, emprega modelos de fila para representar uma variedade de situações, com o propósito de equilibrar os custos associados à prestação de serviços e os custos dos atrasos suportados pelos usuários do sistema (ARENALES; ARMENTANO, (2007).

Em suma, a Teoria das Filas é um conjunto de conhecimentos matemáticos aplicados ao fenômeno das filas. Seu principal objetivo reside na formulação de modelos matemáticos que viabilizem a previsão do comportamento de sistemas de prestação de serviços (MOREIRA; 2007).

A partir desta exposição, este artigo teve por objetivo realizar um estudo do processo de pesagem de veículos que prestam serviços a uma indústria de pneumáticos localizada na cidade de Guarulhos, Região Metropolitana do estado de São Paulo. Justifica-se o estudo a partir da previsão que esta indústria enfrentará um aumento de 70% na produção de seus produtos, e atualmente, em determinados momentos do dia, ocorrem congestionamentos no processo de entrega de matérias primas, resultando em filas dentro e fora das instalações industriais.

Devido à presença de gargalos no processo, a abordagem proposta consiste em aplicar a técnica de simulação de eventos discretos para avaliar a necessidade de implementar ações mitigadoras para reduzir os potenciais impactos decorrentes dessa expansão prevista. Essa análise permitirá uma tomada de decisão mais informada e a implementação de medidas preventivas eficazes para garantir a eficiência operacional e a satisfação dos clientes internos, externos e fornecedores.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

A metodologia adotada neste artigo é caracterizada de natureza qualitativa, com um procedimento técnico baseado em um estudo de caso que aborda as filas de espera de veículos que aguardam a pesagem de entrada nas dependências de um site industrial. Será utilizada a modelagem em *Python* para criação de cenários futuros. O *software* AutoCAD também foi utilizado para confecção de croquis do site industrial alvo do estudo.

2.2 Resultados e discussões

O Estudo de caso aborda uma indústria manufatureira situada na Região Metropolitana de São Paulo, de administração familiar com 45 anos de existência e que se posicionou como líder de mercado na fabricação de produtos pneumáticos para bicicletas e motocicletas. Tal empresa foi absorvida no ano de 2006 por uma multinacional francesa, absorvendo seu portfólio de produtos. Após a fusão, esta planta industrial passou a produzir sobre sua responsabilidade os seguintes produtos:

a) Pneus para motocicletas: Carro chefe da antiga administração, possuindo volume de produção estimado em 4.500.000 / ano.
b) Pneu industrial: Pertencente ao antigo portfólio da empresa absorvida, sendo este de volume de produção estimado em 360.000 unidades/ ano.
c) Banda de rodagem: Parte do antigo portfólio, com volume produtivo estimado em 60.000 unidades/ ano.
d) Câmara de ar de motocicletas, bicicleta e de outros artefatos industriais: Parte da gama de produtos já produzidos anteriormente à aquisição pela nova administração, com um volume produtivo estimado em 2.750.000 unidades/ ano.
e) Pneus para empilhadeira: Produto novo inserido a gama de itens fabricados, com produção iniciada em 2022 e uma estimativa de 28.000 unidades / ano de produção.
f) Mistura de borracha para fabricação dos produtos: Parte do processo já existente, com um volume produtivo estimado em 14.000 toneladas / ano.

Conforme procedimento institucional de segurança e qualidade adotado pela indústria multinacional alvo do estudo, todos os veículos de serviço que acessam o local industrial devem obrigatoriamente passar pela balança para realizar o processo

de pesagem, lançamento de notas fiscais, revista, aferição de conformidade de veículos e outros itens pré determinados pela empresa, tanto na entrada quanto na saída de suas dependências.

No entanto, devido à limitação de espaço dentro das instalações da fábrica destinado à espera para a liberação e posicionamento dos veículos na balança, em determinados momentos, os veículos de carga precisam aguardar na rua, interrompendo o fluxo fora das dependências da empresa, vezes refletindo em todo entorno. Isso gera potencial risco de multas por interrupção do tráfego de veículos em vias públicas, o que, por sua vez, impacta toda a região circundante onde a empresa está localizada.

Após a análise das plantas de construção e levantamentos internos, foi constatada a existência de um espaço dentro das instalações da fábrica, sendo este em área externa, destinado à espera da liberação para posicionar os veículos na balança, levando a possibilidade de otimização a partir do aproveitamento desta área, conforme ilustrado na figura 2.

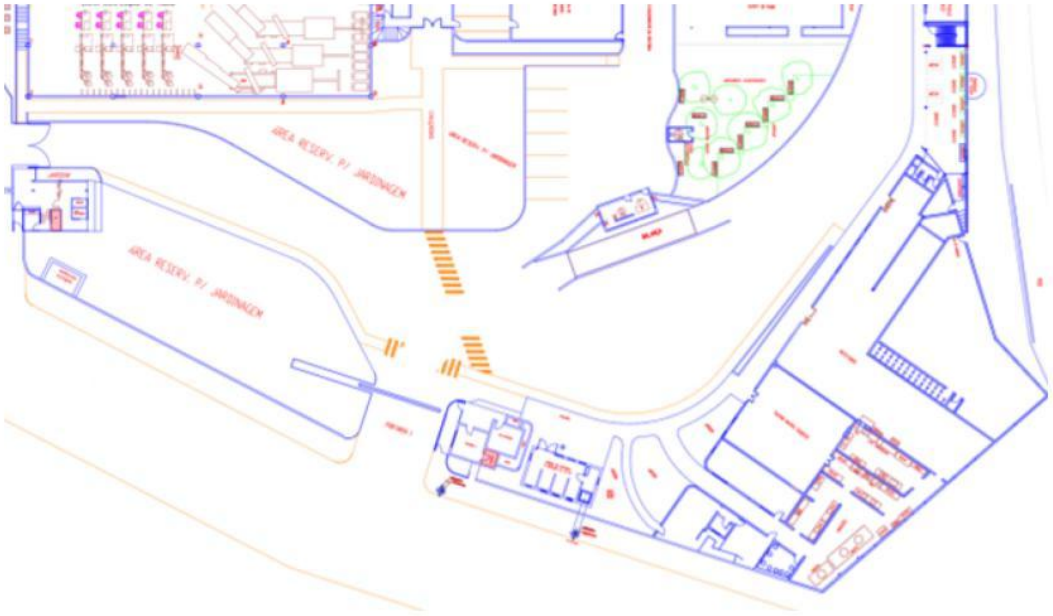

Figura 2: Fluxo de processo de produção de câmara de ar.
Fonte: Os autores (2023).

Para condução do estudo, foi solicitado serviço patrimonial, o registro dos horários de entrada na portaria, entrada na balança e saída da balança ao longo de uma semana específica. A escolha recaiu sobre a última semana do mês de abril de 2023 e, devido ao

histórico da empresa, revelou um aumento no fluxo de veículos durante esse período em comparação com as semanas anteriores e ao mesmo período do ano anterior (2022). Tal aumento confirma a tendência prevista pela equipe de engenharia industrial, corroborando a previsão motivadora deste estudo.

Essa seleção permite uma análise mais precisa dos períodos de maior demanda, transbordando na compreensão das tendências de demanda ao longo do tempo e para a identificação de períodos críticos que requerem intervenções e otimizações no processo de pesagem de veículos. A Tabela 1 apresenta a quantidade de veículos que acessaram o local a cada hora, enquanto a Tabela 2 registra a quantidade de veículos que passaram pela balança tanto na entrada quanto na saída das instalações.

Tabela 1: Fluxo de veículos que chegaram no site nos dias 24 a 28/04/2023

QUANTIDADE DE VEÍCULOS QUE CHEGAM AO SITE							
Intervalo		24/abr	25/abr	26/abr	27/abr	28/abr	Média
07:00	08:00	4	3	2	7	6	4,4
08:00	09:00	4	5	6	4	4	4,6
09:00	10:00	2	4	6	3	5	4
10:00	11:00	1	2	2	2	1	1,6
11:00	12:00	1	2	5	5	4	3,4
12:00	13:00	3	2	0	0	0	1
13:00	14:00	1	0	1	5	1	1,6
14:00	15:00	1	0	3	3	3	2

15:00	16:00	2	0	2	1	2	1,4
16:00	17:00	1	2	3	2	2	2
TOTAL		20	20	30	32	28	26
Média/hora		2,0	2,0	3,0	3,2	2,8	2,6

Fonte: Os autores (2023).

Tabela 2 - Fluxo de veículos que passagem pela balança nos dias 24 a 28/04/2023

QUANTIDADE DE VEÍCULOS DE PASSAM PELA BALANÇA								
Intervalo		24/abr	25/abr	26/abr	27/abr	28/abr	Média	Média de fila
08:00	09:00	1	9	7	13	4	6,8	**2,2**
09:00	10:00	6	5	3	8	3	5	**1,8**
10:00	11:00	3	2	7	4	4	4	**1,8**
11:00	12:00	3	4	7	6	6	5,2	0
12:00	13:00	0	2	0	0	1	0,6	**2,8**
13:00	14:00	1	5	8	7	9	6	0
14:00	15:00	6	1	10	8	10	7	0
15:00	16:00	7	0	8	8	4	5,4	0

16:00	17:00	12	11	10	10	20	12,6	0
TOTAL		39	39	60	64	61	52,6	1,0
Média/hora		4	4	7	7	7	5,8	

Fonte: Os autores (2023).

Ao analisar os dados, fica evidente uma frequência de utilização da balança mais intensa devido à necessidade de pesagem tanto na entrada quanto na saída dos veículos. Com base nos registros detalhados, foi possível calcular um tempo médio de atendimento de aproximadamente 10 minutos por veículo. É importante notar que, embora a espera média seja baixa, cerca de 1,0 veículo, existem situações pontuais de espera, especialmente no início do turno e durante o horário da refeição. Esses intervalos apresentam espera superior a dois veículos, o que pode criar gargalos no processo de pesagem da balança.

Com o objetivo de aprimorar a gestão do fluxo de veículos e minimizar os picos de espera, garantindo a fluidez do processo de pesagem, propõe-se a utilização da modelagem de filas, técnica eficaz para representar e analisar sistemas que envolvem processos de espera. A abordagem central da modelagem de filas neste contexto é aprimorar a distribuição dos horários de entrada e saída dos veículos, juntamente com a otimização do tempo de atendimento na balança. Essas medidas têm o potencial de reduzir gargalos e melhorar significativamente a eficiência operacional do processo de pesagem de veículos na empresa.

Dentro do campo da modelagem de filas, uma abordagem comumente utilizada é o modelo M/M/1. Nesse modelo, as letras "M" representam variáveis críticas do sistema, incluindo a taxa média de chegada de clientes (λ), a taxa média de serviço (μ) e o número de servidores disponíveis (1). A combinação dessas variáveis permite uma análise abrangente das métricas de desempenho, como o tempo médio de espera na fila, o tempo médio de espera no sistema, a taxa de utilização do servidor, entre outras determinantes.

A fim de antecipar e planejar para um cenário futuro com um aumento no fluxo de veículos para atender às novas demandas da fábrica, a modelagem de filas será executada usando a linguagem de programação *Python*.

Com o propósito de estimar a taxa futura de veículos que circularão nas dependências do site, foi essencial distinguir entre os veículos direcionados à produção e aqueles destinados a atividades diversas, como restaurante e limpeza, que não variam em função do volume de produção. A Tabela 3 apresenta tanto a situação atual quanto a estimativa futura, considerando o aumento de veículos relacionados à produção e mantendo a mesma quantidade para as atividades fixas. Essa abordagem permite uma projeção precisa da demanda de veículos, facilitando a adaptação do sistema de pesagem para atender às futuras necessidades da fábrica.

Tabela 3 – Fluxo de veículos por serviço atual e estimativa 2025

	2023 (Média/dia)	Estimativa 2025 (média/dia)
Fornecimento de matéria-prima	11	18,7
Retirada do produto final	8	13,6
Restaurante	2	2
Produtos de limpeza	1	1
Diversos fixos	4	4
TOTAL	**26**	**39,3**
Média/hora	**3,25**	**4,9**

Fonte: Os autores (2023).

Conforme mencionado anteriormente, empregou-se a seguinte programação em *Python* para realizar a simulação de fila, conforme demonstrado no *script* a seguir.

Script 1: Modelagem de filas no *Python*

```
def fila(n,rep,lamb,mu):
    m_wq=[]
    m_ws=[]
    m_lq=[]
    m_ls=[]
    m_util=[]
    for i in range(0,rep):
        import random
        t_chegadas = []
        t_servico = []
        len(t_chegadas)
        len(t_servico)
        for i in range(0,n):
            t_chegadas.append(random.expovariate(lamb))
            t_servico.append(random.expovariate(mu))
        chegada =[t_chegadas[0]]
        for i in range(1,n):
            chegada.append(chegada[i-1]+t_chegadas[i])
        partida = [t_servico[0]+chegada[0]]
        for i in range(1,n):
            if partida[i-1]<=chegada[i]:
                partida.append(chegada[i]+t_servico[i])
            else:
```

```
            partida.append(partida[i-1]+t_servico[i])
    wq = [0]
    for i in range(1,n):
        if partida[i-1]>chegada[i]:
            wq.append(partida[i-1]-chegada[i])
        else:
            wq.append(0)
    ws = []
    for i in range(0,n):
        ws.append(wq[i]+t_servico[i])
    m_wq.append(sum(wq)/len(wq))
    m_ws.append(sum(ws)/len(ws))
    m_lq.append(sum(wq)/partida[-1])
    m_ls.append(sum(ws)/partida[-1])
    m_util.append(sum(t_servico)/partida[-1])
return print("Wq=","%.2f" % (sum(m_wq)/rep),
"\nWs=","%.2f" % (sum(m_ws)/rep),
"\nLq=","%.2f" % (sum(m_lq)/rep),
"\nLs=","%.2f" % (sum(m_ls)/rep),
"\nUtilização=", "%.2f" % (sum(m_util)/rep))
```

Fonte: Os autores (2023).

A partir da extração de dados das análises do fluxo atual e da estimativa de aumento da média de veículos entrando no site, mantendo a capacidade da balança em 5,8 veículos por hora, podemos realizar uma comparação, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Premissas para simulação com dados reais e estimativa 2025

	2023 (Média/dia)	Estimativa 2025 (média/dia)
Quantidade de caminhões na simulação	10.000	10.000
Quantidade de balanças	1	1
Taxa de chegada de veículo	3,25	4,9
Taxa de atendimento na balança	5,84	5,84

Fonte: Os autores (2023).

RESULTADOS

Os resultados da simulação, apresentados na Tabela 5, revelam que a situação atual se mostra ligeiramente abaixo da realidade, embora não distante. Essa observação levanta preocupações significativas para o cenário futuro, uma vez que não há espaço disponível para a instalação de uma nova balança. Esta constatação ressalta a importância de adotar estratégias que otimizem o processo de pesagem e melhorem a eficiência operacional, a fim de atender à crescente demanda sem a necessidade de expansão física.

Tabela 5 – Resultado das simulações

	2023 (Média/dia)	Estimativa 2025 (média/dia)
Lq = Número esperado de clientes na fila	0,62	4,53
Wq = Tempo esperado de clientes na fila	0,2	0,93
ρ = Taxa de ocupação	54%	83%

Fonte: Os autores (2023).

Diante dos desafios identificados na simulação de cenários, é proeminente considerar as seguintes sugestões para minimizar o impacto do aumento previsto no fluxo de veículos, tais como:

a) Encaminhar os veículos que não necessitam de pesagem e que passam pelo posto da balança apenas para o cadastro de entrada para a portaria, uma vez que esse cadastro é rápido.

b) Realizar o mapeamento dos veículos com demandas diárias e definir horários de entrada.

c) Conduzir um estudo para distribuir de forma mais equilibrada os picos de caminhões que realizam a coleta do produto no final do mês.

d) Explorar a possibilidade de parceria com um estacionamento privado nas proximidades do site industrial como área de espera.

Com este estudo, foi possível identificar a capacidade da modelagem em confirmar a situação atual e antecipar futuros gargalos no processo, oferecendo uma abordagem proativa na busca por soluções que otimizem a operação e garantam a eficiência no atendimento à crescente demanda.

3. CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo a aplicação da teoria de filas em um contexto industrial real, mais precisamente em uma indústria de pneumáticos situada na cidade de Guarulhos, região metropolitana do estado de São Paulo. Inicialmente, foi apresentada uma breve introdução aos conceitos de teoria de filas, seguida pela descrição da metodologia e das ferramentas empregadas neste estudo específico.

Em seguida, foi apresentado um estudo de caso que caracterizou a empresa objeto da análise, seus procedimentos e o processo em questão. Os resultados, obtidos a partir da previsão de aumento do fluxo de veículos, resultaram em sugestões para mitigar os futuros impactos, permitindo a antecipação de possíveis gargalos operacionais e

questões regulatórias decorrentes da falta de planejamento da instituição para essa demanda prevista.

Como perspectiva para futuras investigações, recomenda-se a utilização de outras ferramentas de métodos quantitativos na análise de casos semelhantes. Essa sugestão baseia-se na capacidade dessas metodologias em lidar com interpretação de dados, simulação e previsão de diversos cenários, contribuindo para uma abordagem mais abrangente e precisa em estudos futuros.

4. REFERÊNCIAS

ARENALES, M.; ARMENTANO, V. **Pesquisa Operacional**. 1ª ed., 6ª reimpr. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

FOGLIATTI, M. C.; MATTOS, N. M. C. **Teoria de Filas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. Rio Grande do Sul: AMGH Editora, 2013. 729 p.

MOREIRA, D. A. Pesquisa Operacional: curso introdutório. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

TEIXEIRA, R.; PINHEIRO, P. R. **Teoria de Filas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.