Metodologia para o dimensionamento da capacidade do elevador em prédios comerciais utilizando simulação de Monte Carlo aplicada à teoria de filas

Gabriela Lopes Gomes (UTFPR) lopesgabig@gmail.com
Jean Marcell Lara Tybuszeusky (UTFPR) jeantybuszeusky@gmail.com
Shih Yung Chin (UTFPR) chin@utfpr.edu.br

Resumo:
O correto dimensionamento de elevadores em edifícios comerciais é importante para o funcionamento dos estabelecimentos ali instalados. Se mal dimensionados geram longas esperas em fila, podendo causar desistência por parte do cliente. O presente estudo tem como objetivo apresentar uma metodologia que pode ser adotada para realizar o dimensionamento da capacidade do elevador, considerando um edifício comercial. A partir da simulação de Monte Carlo houve o sorteio das taxas de chegada a serem consideradas na simulação com consequente aplicação à teoria de filas. Foram incorporadas à metodologia variáveis das quais não se tem controle, como o sequenciamento do elevador e a taxa de desembarque de usuários.
Palavras chave: teoria de filas, Monte Carlo, simulação, pesquisa operacional.

Methodology for the sizing of elevator capacity in commercial buildings using Monte Carlo simulation applied to queuing theory

Abstract
The correct sizing of elevators in commercial buildings is important for the functioning of the establishments installed there. If poorly dimensioned, they generate long queues, which can cause customer withdrawal. The present study aims to present a methodology that can be adopted to carry out the sizing of the elevator capacity, considering a commercial building. From the Monte Carlo simulation, with the draw of the arrival rates to be considered in the simulation with consequent application to the measurement of files. There are also incorporated into the variable methodology of ships, such as elevator sequencing and user landing fees.
Key-words: queue theory, Monte Carlo, simulation, operational research.

1. Introdução

Nos anos de 1980 os elevadores surgiram como um transporte utilizado dentro de edifícios, assumindo o papel de facilitar a locomação. Estes, são potenciais formadores de filas assim como o tráfego, linhas de produção e atendimento de serviços.

A Pesquisa Operacional é a área que engloba o estudo de filas e tem o objetivo de oferecer um serviço satisfatório aos clientes ou produtos que esperam em fila, sendo possível determinar parâmetros de desempenho, como tamanho da fila e tamanho médio da fila. Tais parâmetros de desempenho colaboram para projetar de forma otimizada o sistema (TAHA, 2008).

Como objetivo, este estudo sugere uma metodologia para avaliar o melhor dimensionamento de capacidade para o elevador a ser implantado, simulando diferentes cenários para um edifício comercial de n andares ainda em construção. Para a demonstração da metodologia, foram considerados elevadores de três capacidades: 9, 11 e 13 pessoas, bem como um edíficio de cinco andares (térreo, primeiro, segundo, terceiro e quarto andar), uma vez que estes valores foram tomados por serem os mais usuais em edifícios comerciais de pequeno porte, de acordo com uma empresa especializada em produção e instalação de elevadores (ATLAS SCHINDLER, 2017).

Com o auxílio da simulação de Monte Carlo, foram consideradas possíveis taxas de chegada, taxas de desembarque e ordem de parada do elevador, que foram incorporadas à teoria de filas, determinando alguns parâmetros como fila média e fila máxima em cada andar. A metodologia é sugerida para ser adotada por constutoras, sendo possível observar a capacidade do elevador mais efetiva para atender a demanda.

2. Referencial teórico

2.1 Teoria de filas

Filas estão presentes no nosso dia a dia e em todo lugar. Em bancos ou supermercados, por exemplo, enfrentamos filas do momento da espera do atendimento ao momento do pagamento. As filas também estão presentes em processos industriais, desde o processo de transformação da matéria prima até a saída do produto final e chegada às lojas.

Para Taha (2008) os principais componentes de uma fila são os clientes e os servidores. Já Andrade (2009) afirma que as filas são compostas por quatro elementos característicos:

a) Processo de chegada: trata-se de um processo de contagem através dos intervalos de tempo, analisando chegadas sucessivas ou do número de chegadas em intervalos distintos;

b) Processo de atendimento: da mesma forma que na chegada, o atendimento pode ser também individual ou em grupo. A duração do atendimento pode ser variável ou constante;

c) Disciplina de atendimento: maneira segundo a qual os indivíduos são selecionados para receber o serviço, pode ser classificada em *FIFO* (*first in, first out*), *LIFO* (*last in, first out*), SIRO (*service in random order*) e atendimento prioritário. Neste estudo a característica da fila é FIFO.

d) Capacidade do sistema: o sistema funcionará de forma normal até atingir sua capacidade, de forma que os indivíduos que chegarem depois de atingida essa capacidade serão recusados;

Andrade (2009) ainda afirma que as principais variáveis de decisão para a análise de desempenho da fila são: tempo que um cliente permanece na fila; número de clientes na fila; tempo que um cliente permanece no sistema; número de clientes no sistema; ociosidade dos atendentes.

Para os cálculos referentes à teoria de filas, podem ser utilizadas as equações demonstradas na tabela 1 para qualquer instante t.

Chegada	$Ch = \lambda \times (t_1 - t_0)$
Chegada acumulada	$ChAc = ChAc\ t_0 + \lambda \times (t_1 - t_0)$
Atendimento	$At = \mu \times (t_1 - t_0)$
Atendimento acumulado	$AtAc = At\ t_1 + At\ t_0$
Fila	$L_q = ChAc\ t_1 - AtAc\ t_1$

Fila média	$\overline{L_q} = \sum_{i=1}^{n} \frac{L_{q_i}}{n}$
Fila máxima	$L_{q_{max}} = \max(L_q)$

Fonte: Tabela elaborada pelos autores

Tabela 1 - Equações para os cálculos relacionados à teoria de filas

Elevadores se encaixam no modo de atendimento em grupo da mesma forma que outros tipos de transporte (ônibus, trem, entre outros). De acordo com Parreira Jr. (2010) com a teoria de filas no modelo de elevadores é possível minimizar o tempo de espera dos usuários e, a partir da distribuição de chegada de pessoas, determinar o número de elevadores em funcionamento para atender um dado padrão de serviço.

2.2 Simulação de Monte Carlo

Este tópico tem o objetivo de explicitar a ideia da simulação de Monte Carlo, bem como a maneira que ela pode ser introduzida no estudo.

Em estudos que analisam diferentes cenários, podem ser aplicados diferentes métodos de simulação, entre eles a simulação de Monte Carlo. Segundo Taha (2008), sua finalidade é permitir que algumas situações sejam estimadas, através de uma amostragem aleatória. Devido a esta característica, ela foi escolhida para integrar o presente estudo.

A simulação de Monte Carlo permite ao analista que ele veja possíveis resultados gerados a partir de decisões tomadas e avaliar seus impactos. Sendo assim, com a simulação de Monte Carlo pode-se recriar o funcionamento de um sistema real dentro de um modelo teórico transformando um conjunto de números aleatórios em outro conjunto de números com a mesma distribuição da variável considerada (ROSARIO *et al.*, 2015; PRADO, 2014).

2.3 Trabalhos correlatos

No ano de 2016, a partir de análise computacional, a teoria de filas foi utilizada para analisar os caixas rápidos em um supermercado em Campo Mourão, Paraná. Foram considerados cenários com 2, 4, 6 e 8 servidores, cuja conclusão do artigo mostrou que a melhor configuração era disponibilizar 4 servidores, mesmo que a taxa de atendimento fosse maior com 8 caixas funcionando (SILVA da *et al.*, 2016).

Outro artigo demonstra a análise de filas em uma casa lotérica, utilizando duas situações: a simulação e a teoria de filas. Através da comparação entre as duas situações, Silva *et al.*, (2016), concluiu que, para uma análise minuciosa, a melhor opção é a simulação, por apresentar resultados mais condizentes com a realidade.

Em uma loja de departamentos em Castanhal-PA, a teoria de filas e a simulação de Monte Carlo foram aplicadas para analisar a relação entre número de atendentes e a demanda, bem como a taxa de ocupação dos atendentes e tempo médio de espera na fila, níveis importantes de serviço em relação ao cliente. Como resultado, encontraram que a simulação de Monte Carlo apresenta bons resultados, melhores do que a aplicação da teoria de filas (GADELHA *et al.*, 2016).

Através da aplicação da teoria de filas e da simulação de Monte Carlo em uma rede de farmácias em Castanhal-PA, foram estudados os intervalos de chegada e o tempo de atendimento, sendo posteriormente feita uma comparação entre a teoria de filas e a simulação de Monte Carlo, evidenciando a diferença apresentada nas duas abordagens (ROSARIO *et al.*, 2015).

Analisando os trabalhos encontrados, pode-se perceber que a abordagem era na utilização da teoria de filas utilizando modelos computacionais ou baseada na comparação entre a simulação de Monte Carlo e a teoria de filas. Entretanto, o presente estudo não visa realizar tal

comparação, mas utilizá-los de maneira conjunta em um cenário pouco explorado: as filas geradas à espera do elevador. Com isso, o presente trabalho busca acrescentar à área acadêmica com este tópico.

3. Realização do estudo

O estudo considerou diferentes taxas de chegada em todos os andares para que pudesse englobar várias situações e demonstrar a metodologia para diferentes configurações.

Na simulação um edifício comercial de n andares foi considerado, onde a taxa de chegada no térreo é maior, pois o acesso ao edifício se dá apenas no térreo. No presente caso, existe apenas um servidor operando, ou seja, somente um elevador. A figura 1 mostra esquematicamente o elevador e o edifício, considerando três taxas de chegada distintas.

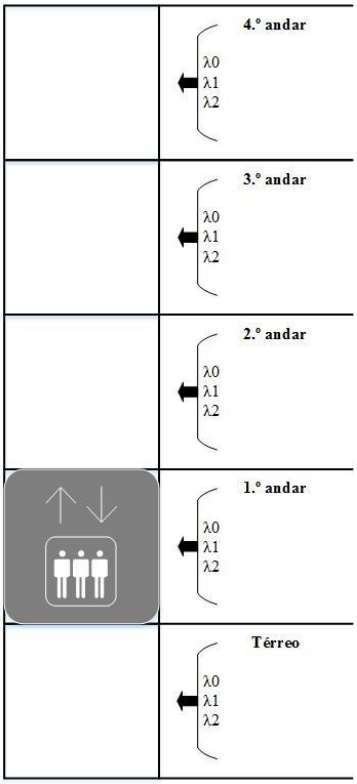


Figura 1 - Representação esquemática do edifício considerado na simulação

3.1 Notação utilizada

a) At = atendimento;

b) AtAc = atendimento acumulado;

c) Cap = capacidade máxima do elevador;

d) Ch = chegada;

e) ChAc = chegada acumulada;

f) Des = taxa de desembarque de usuários do elevador;

g) L_q = fila;

h) $\overline{L_q}$ = fila média;

i) $L_{q_{max}}$ = fila máxima;

j) Ocup = ocupação do elevador no momento atual (usuários);

k) P = possível atendimento;

l) t_0 = tempo atual, tempo presente;

m) t_1 = tempo anterior ao atual;

n) U = usuários aguardando atendimento;

o) λ = taxa de chegada (pessoas/segundo), que representa o número de clientes que chegam para receber atendimento;

p) μ = taxa de atendimento (pessoas/segundo), que representa a capacidade do servidor ou canal de atendimento em atender os clientes que chegam.

3.2 Metodologia

Como mencionado anteriormente, a realização desta simulação consiste na utilização da teoria de filas e da simulação de Monte Carlo; a partir disso, foram seguidos os seguintes passos:

Passo 1: Caracterização do edifício, definindo quantos andares deverão ser considerados para a execução da simulação.

Passo 2: Atribuir aos andares números inteiros de 0 a n andares, que servirão como índice.

Passo 3: Geração de números aleatórios. Com o auxílio do *software Microsoft Excel*, gerar 10.000 números aleatórios correspondentes aos índices adotados.

Passo 4: Verificação da ocorrência dos números aleatórios gerados. Verificar dentre os 10.000 números aleatórios gerados no passo 3 quantas vezes aparecem os índices adotados.

Passo 5: Através do passo 4 transformar a ocorrência dos números em frequência relativa, que indica a chance daquele andar, representado pelo índice, ser solicitado pelo usuário do elevador para embarque ou desembarque.

Passo 6: Calcular a frequência acumulada e a partir disso dividir os andares em classes numéricas de 1 a 100. Um exemplo para o procedimento realizado a partir do passo 1 é mostrado na tabela 2.

Andar	Índice	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe
Térreo	0	6000	60%	60%	1 a 60
1.º andar	1	3000	30%	90%	61 a 90
2.º andar	2	1000	10%	100%	91 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 - Exemplo referente à execução dos passos 1 a 6

Passo 7: Repetição do passo 1 ao passo 6, considerando agora as taxas de desembarque.

Passo 8: Repetição do passo 1 ao passo 6 para as taxas de chegada de cada andar.

Passo 9: Determinação do tempo de deslocamento do elevador entre os andares e do horizonte de tempo a ser analisado.

Passo 10: Seleção dos dados a serem utilizados na simulação. Para isso sortear um número aleatório entre 1 e 100 para os andares, determinando a sequência dos andares a serem atendidos pelo elevador. Realizar o mesmo procedimento para o desembarque e para as taxas de chegada.

Passo 11: Realização dos cálculos referentes à teoria de filas.

Passo 12: Análise dos resultados obtidos.

Cabe ressaltar que, como se trata de atendimento em grupo e que o atendimento não é constante ao longo do tempo, devido à aleatoriedade envolvida, atenção especial deve ser dada ao cálculo do atendimento da teoria de filas, sendo propostas as equações 1, 2 e 3, mostradas a seguir, para efetuar corretamente tal cálculo.

$$U = L_q\, t_1 + Ch\, t_0 \quad (1)$$

$$P = Cap - [Ocup \times (1 - Des)] \quad (2)$$

$$At = \begin{cases} U < P \longrightarrow U \\ U \geq P \longrightarrow P \end{cases} \quad (3)$$

A partir disso, têm-se que (1) representa os usuários aguardando atendimento, que é resultado da fila no momento imediatamente anterior, somada à chegada no momento atual, sendo considerado o momento atual aquele no qual o elevador chega no pavimento para realizar o atendimento.

Já a equação (2) foi denominada de possível atendimento, considerando a capacidade máxima do elevador, a ocupação atual deste e a taxa de desembarque.

Calculadas as variáveis U e P propostas, deve-se utilizar a equação (3) para definir qual será o atendimento realizado pelo elevador, considerando as condições abrangidas por tal equação.

3.3 Geração de dados para a Simulação

Para este trabalho, um edifício comercial de 5 andares foi considerado para a realização da simulação; esta quantidade foi escolhida, pois um edifício com menor quantidade de andares não evidenciaria a formação de filas, entretanto, tal metodologia pode ser aplicada para n andares. Através da execução dos passos 1 a 7 foram obtidos os dados apresentados nas tabelas 3 e 4.

Andar	Índice	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe
Térreo	0	2113	21%	21%	1 a 21
1.º andar	1	1982	20%	41%	22 a 41
2.º andar	2	1919	19%	60%	42 a 60
3.º andar	3	2056	21%	81%	61 a 81
4.º andar	4	1930	19%	100%	82 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 – Divisão dos andares em classes

Os dados apresentados na tabela 4 referem-se ao desembarque, sendo este correspondente ao percentual de usuários ocupando o elevador que descerão em determinado andar.

Índice	Desembarque	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe

0	25%	3240	32%	32%	1 a 32
1	35%	3439	35%	67%	33 a 67
2	45%	3321	33%	100%	68 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – Divisão das taxas de desembarque em classes

Os valores tomados para a taxa de chegada (λ), em pessoas/segundo, foram valores definidos para melhor visualização do método, pois taxas menores não causariam filas consideráveis, não sendo interessante para o estudo. Foram consideradas três possibilidades de taxas de chegada para cada andar, sendo que as taxas de chegada no térreo são maiores, uma vez que o acesso ao edifício se dá apenas neste pavimento, havendo maior fluxo de pessoas neste andar.

Partindo de tais premissas, os dados constantes nas tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 foram gerados.

Índice	Taxa (λ)	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe
0	0,3	3357	34%	34%	1 a 34
1	0,35	3289	32%	66%	35 a 66
2	0,4	3354	34%	100%	67 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 - Divisão em classes para as taxas de chegada do térreo

Índice	Taxa (λ)	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe
0	0,15	3347	34%	34%	1 a 34
1	0,2	3319	33%	67%	35 a 67
2	0,25	3334	33%	100%	68 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 - Divisão em classes para as taxas de chegada do primeiro andar

Índice	Taxa (λ)	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe
0	0,15	3314	33%	33%	1 a 33
1	0,2	3368	34%	67%	34 a 67
2	0,25	3318	33%	100%	68 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 - Divisão em classes para as taxas de chegada do segundo andar

Índice	Taxa (λ)	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe
0	0,1	3438	34%	34%	1 a 34
1	0,15	3286	33%	67%	35 a 67
2	0,2	3276	33%	100%	68 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 8 - Divisão em classes para as taxas de chegada do terceiro andar

Índice	Taxa (λ)	Ocorrência do número	Frequência relativa	Frequência acumulada	Classe
0	0,05	3341	33%	33%	1 a 33
1	0,1	3314	33%	66%	34 a 66
2	0,15	3345	34%	100%	67 a 100

Fonte: Autoria própria

Tabela 9 - Divisão em classes para as taxas de chegada do quarto andar

Como aborda o passo 9, definido na metodologia proposta, foram definidos os tempos de deslocamento do elevador entre os andares. Considerando que os andares do edíficio possuem a mesma altura, o tempo de deslocamento do elevador será constante. O valor adotado como referência foi 10 segundos. O horizonte de tempo adotado para análise foi de 120 segundos, sendo que este fica a critério de quem executa o método. A tabela 10 apresenta o tempo de deslocamento, em segundos, e a relação deste com os andares.

	Térreo	1.º andar	2.º andar	3.º andar	4.º andar
Térreo	-	10	20	30	40
1.º andar	10	-	10	20	30
2.º andar	20	10	-	10	20
3.º andar	30	20	10	-	10
4.º andar	40	30	20	10	-

Fonte: Autoria própria

Tabela 10 - Tempo de deslocamento (em segundos) para o elevador

Com base nos dados gerados anteriormente, foram realizados os sorteios de números de 1 a 100 para cada andar, para estabelecer os valores das taxas de chegada a serem utilizadas na simulação. A tabela 11 apresenta os dados obtidos.

	Térreo	1.° andar	2.º andar	3.º andar	4.° andar
Número sorteado	57	62	90	48	13
Taxa (λ)	0,35	0,2	0,25	0,15	0,05

Fonte: Autoria própria

Tabela 11 - Taxas de chegada sorteadas para a simulação

Novamente houve o sorteio de números de 1 a 100, desta vez para definir o sequenciamento dos andares a serem atendidos. A quantidade de números sorteados depende do horizonte de tempo adotado. Nesta simulação foram sorteados 9 números, sendo que tal quantidade de números foi suficiente para o horizonte de tempo de 120 segundos. A tabela 12 apresenta os dados obtidos.

Número sorteado	63	52	81	93	10	60	41	52	73
Andar	3	2	3	4	0	2	1	2	3

Fonte: Autoria própria

Tabela 12 - Sorteio realizado para definição do sequenciamento do elevador

Houve ainda a definição das taxas de desembarque, sorteando números de 1 a 100, sendo necessário sortear 2 números a menos do que foi sorteado para o sequenciamento dos andares, associando o desembarque ao andar obtido anteriormente. Os resultados para a taxa de desembarque são apresentados na tabela 13.

Andar correspondente	3	2	3	4	0	2	1	2	3
Número sorteado	-	-	87	62	6	93	18	99	42
Taxa de desembarque	-	-	45%	45%	25%	45%	25%	45%	35%

Fonte: Autoria própria

Tabela 13 - Sorteio realizado para a definição das taxas de desembarque

Enquanto para os andares foram sorteados 9 números, para o desembarque foram sorteados 7 números, uma vez que o primeiro número sorteado para os andares foi assumido como referência na contagem do horizonte de tempo, indicando que no tempo 0 segundos o elevador estava no andar indicado pelo primeiro número sorteado (63 – 3.°andar). O segundo número sorteado para os andares indica aquele onde começará efetivamente o atendimento (52 – 2.º andar), entretanto não se considera a taxa de desembarque neste tempo, pois ainda não houve atendimento. Desta maneira, o percentual de desembarque dos passageiros começa a ser considerado no terceiro número sorteado para os andares (81 – 3.º andar).

Partindo dos dados gerados foram realizados os cálculos referentes à teoria de filas.

4. Resultados e discussões

Para realizar a análise através da teoria de filas, os cálculos foram desenvolvidos para cada andar, com a finalidade de avaliar o desempenho da fila em cada um dos andares. Tendo como base os dados gerados pela aplicação da metodologia, a tabela 14 mostra os dados mais importantes a serem considerados na simulação.

Tempo (seg)	**Sequência**	**Desembarque**
0	3.° andar	-
10	2.° andar	-
20	3.° andar	45%
30	4.° andar	45%
70	Térreo	25%
90	2.° andar	45%
100	1.° andar	25%
110	2.° andar	45%
120	3.° andar	35%

Fonte: Autoria própria

Tabela 14 - Compilação dos dados a serem utilizados na simulação

A tabela 14 apresenta a dinâmica utilizada para a simulação, isto é, no tempo 0 segundos o elevador está no 3.º andar, sendo posteriormente solicitado no 2.º andar, onde chegará no tempo 10 segundos, não havendo desembarque de usuários do elevador, pois considera-se que o elevador no tempo 0 segundos está vazio. No tempo 10 segundos haverá atendimento de

usuários, sendo que os passageiros atendidos serão levados ao 3.° andar e 45% dos passageiros que ocupam o elevador desembarcarão neste andar.

Isto se repete até completar o horizonte de tempo que se deseja analisar, realizando os cálculos referentes à teoria de filas e sempre respeitando o sequenciamento dos andares, o tempo de deslocamento entre os andares, a taxa de desembarque de usuários e a capacidade considerada do elevador.

Os resultados obtidos com a simulação estão apresentados na tabela 15.

Piso	Taxa (λ)	Capacidade	Fila média	Fila máxima
Térreo	0,35	9	23,215	35,93
		11	22,215	33,93
		13	21,215	31,93
1.° andar	0,2	9	14,4375	21,75
		11	14,3125	21,25
		13	14,1875	20,75
2.° andar	0,25	9	13,2125	19,4
		11	12,5375	17,6
		13	11,8625	17,5
3.° andar	0,15	9	7,4625	13,5
		11	7,2875	13,5
		13	7,1125	13,5
4.° andar	0,05	9	2,25	4,5
		11	2,25	4,5
		13	2,25	4,5

Fonte: Autoria própria

Tabela 15 - Resultados obtidos com a simulação

Pode-se observar que mesmo tendo uma taxa de chegada menor do que o segundo andar, o primeiro andar apresentou maiores fila máxima e fila média. Esse fato ocorreu pois o elevador parou somente uma vez neste andar, enquanto parou por três vezes no segundo. As menores filas foram apresentadas no quarto andar devido à taxa de chegada ser consideravelmente menor, assim, mesmo sendo atendido apenas uma vez obteve as melhores parâmetros de desempenho.

Como esperado, elevadores com capacidades maiores geram filas menores, mas para que não haja má alocação de recursos financeiros a empresa deverá considerar em seu estudo as peculiaridades envolvidas, como o número de lojas em cada andar do prédio comercial, o que pode influenciar na taxa de desembarque em determinado andar, obtendo melhores resultados.

Em relação aos cálculos, atenção especial deve ser dada ao atendimento, uma vez que ele não é constante e depende de algumas condições para ser calculado. O cálculo depende da capacidade máxima do elevador, da ocupação do elevador no momento atual, da taxa de desembarque de passageiros, da fila no momento imediatamente anterior ao atual e da chegada no momento atual. As condições propostas para o cálculo do atendimento visam evitar que, na realização dos cálculos, ocorram alguns tipos de erro, como por exemplo atender mais usuários do que efetivamente chegaram.

O passo 8, referente ao sorteio das taxas de chegada a serem utilizadas no desenvolvimento do problema, pode receber algumas alterações. Apenas uma taxa de chegada foi escolhida para fins de demonstração da metodologia, permanecendo constante ao longo de todo o horizonte de tempo considerado. Como em uma situação real a taxa de chegada de usuários pode variar com o passar do tempo, podem ser consideradas, na mesma simulação, que taxas de chegada diferentes atuam em diferentes momentos, isto é, num horizonte de tempo de 120 segundos a taxa de chegada de 0,35 pessoas/seg atua do tempo 0 ao tempo 40 segundos no térreo, sendo que do tempo 40 segundos a 90 segundos atua a taxa de 0,05 pessoas/seg e do tempo 90 a 120 segundos atua a taxa de chegada de 0,2 pessoas/seg, por exemplo.

Através da sugestões acima mencionadas, resultados mais robustos podem ser obtidos, evidenciando mais claramente qual o melhor dimensionamento de capacidade a ser adotado no edifício, sempre observando os parâmetros obtidos pela teoria das filas, evitando que o elevador seja superdimensionado, ficando ocioso, ou subdimensionado, não atendendo os usuários.

5. Conclusão

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que quanto maior a capacidade do elevador, melhores serão os indicadores da fila, uma vez que quanto menor o tamanho da fila, menos tempo as pessoas necessitam esperar pelo atendimento. Entretanto, apenas aumentar a capacidade do elevador com a finalidade de atender mais pessoas não é uma solução apropriada, uma vez que um elevador com capacidade elevada pode ficar ocioso durante muito tempo além de gerar custos excessivos.

Com o presente estudo foi possível incorporar à simulação algumas variáveis das quais não se tem controle, como o percentual de desembarque de usuários do elevador e o sequenciamento dos andares que serão atendidos por ele, em virtude da utilização da simulação de Monte Carlo.

Em estudos futuros, sugere-se considerar a incidência de diferentes taxas de chegada no horizonte de tempo considerado para a simulação, obtendo resultados mais robustos para os parâmetros da fila, evidenciando a capacidade do elevador que apresenta os melhores parâmetros.

De acordo com o que foi apresentado, pode-se dizer que a proposta inicial foi atendida, oferecendo uma metodologia para abordar a questão das potenciais filas que podem ocorrer à espera de atendimento pelo elevador, utilizando a simulação de Monte Carlo e a teoria de filas, sendo que esta pode ser aplicada a edifícios comerciais de n andares.

Referências

ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção. *Áreas e subáreas de Engenharia de Produção*, 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/>. Acesso em: 8 de setembro de 2017.

ANDRADE, E. L. *Introdução à pesquisa operacional: Métodos e modelos para análise de decisões.* 4., ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ATLAS SCHINDLER. Schindler 3300 New Edition, 2017. Disponível em: < https://www.schindler.com/br/internet/pt/solucoes-em-mobilidade/produtos/elevadores/schindler-3300-new-edition.html>. Acesso em 8 set. 2017

GADELHA, G.R.O.; MORAES, J.K.P.; DANTAS, L.M.; JUNIOR, L.C.F.M.; NETO, M.A.C. *Aplicabilidade de teoria de filas e simulação de monte carlo em uma loja de departamentos em Castanhal/Pará.* Artigo. IN: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. João Pessoa, PB. Brasil, 3 a 6 de Outubro de 2016. Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_231_350_29259.pdf>. Acesso em: 14 set. 2017

PARREIRA JÚNIOR, W. M. *Apostila de Modelagem e Avaliação de Desempenho: Teoria das Filas e Simulações.* Universidade de Estado de Minas Gerais: Ituiutaba, 2010.

PRADO, D. S. do. *Teoria das filas e simulação.* Vol. 2, 5ª edição Rio de Janeiro: Falconi, 2014.

ROSARIO, K. P.; AZEVEDO, R. L.; SILVA, B. G. T.; MARCELINO, D. F.; OLIVEIRA, D. P. *Aplicação da teoria de filas e simulação de Monte Carlo em uma rede de farmácias localizada no município de Castanha, Pará.* Artigo IN. XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO Fortaleza, CE, Brasil 13 a 16 de outubro de 2015. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_253_28038.pdf>. Acesso em: 8 de set. 2017

SILVA, M.B.; SANTOS, R.D.; MATOS, V.R.; BRITO, A.F. *Análise do sistema de filas de uma casa lotérica através da simulação e teoria das filas.* Artigo. IN: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. João Pessoa, PB. Brasil, 3 a 6 de Outubro de 2016. Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_231_350_29698.pdf>. Acesso em: 14 set. 2017

SILVA, L.V.; KOZECHEN, A.P.; FERREIRA, J.; OLIVEIRA, G.D.; MORAIS , M.F. *Emprego da simulação computacional para análise do sistema de filas nos caixas de um supermercado.* Artigo. IN: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. João Pessoa, PB. Brasil, 3 a 6 de Outubro de 2016. Disponível em:< http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_231_350_28586.pdf >. Acesso em: 14 set.

TAHA, H. A. *Pesquisa Operacional.* 8ª edição, Prentice Hall, 2008.