

Estudo da capacidade de um estacionamento a partir de simulação computacional – caso de um campus da Universidade Federal Fluminense

Luis Felipe de Moura Groke
luisgroke@id.uff.br
UFF

Iara Lopes do Nascimento
iaralopesn@gmail.com
UFF

Ricardo César da Silva Guabiroba
ricardo_guabiroba@yahoo.com.br
UFF

Vanessa da Silva Garcia
vanessa.sgarcia@gmail.com
UFF

Resumo:Um dos problemas tratados pelo estudo da capacidade de uma operação é o não atendimento da necessidade de clientes. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi determinar a taxa de ocupação de um estacionamento, com o auxílio de uma ferramenta de simulação computacional, em diferentes dias da semana e turnos de atividades, além de identificar sua lotação considerando um conjunto de cenários construídos a partir da elevação da taxa de chegada atual. Esse estacionamento localiza-se em um campus da Universidade Federal Fluminense no município de Volta Redonda-RJ. Para o alcance do objetivo proposto, estruturou-se um método composto por cinco etapas, envolvendo a definição do objetivo, a definição das distribuições de probabilidade dos dados do modelo, o desenvolvimento do modelo de simulação, a verificação e a validação do modelo e a análise dos resultados. Como resultados, verificou-se que a terça-feira e a quarta-feira serão os primeiros dias a se observar a lotação do estacionamento, após o aumento de 30% da taxa de chegada de carros de passeio. Verificou-se ainda a lotação desse estacionamento quando a taxa de ocupação alcançou percentagem igual ou superior a 67%.

Palavras Chave: simulação - modelo computacional - capacidade - taxa de ocupação - Promodel

1. INTRODUÇÃO

O conceito de capacidade muitas vezes remete a algo estático, como a capacidade de um recipiente. Para Slack *et al.* (2007), apenas isto não descreve a capacidade. Segundo o autor, para o conceito de capacidade ser completo, é necessário incorporar a função tempo. Assim, define-se capacidade como o máximo nível de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo que um processo pode realizar em condições normais de operação.

Conceitua-se o planejamento e o controle dessa capacidade como tarefas que determinam a capacidade efetiva de uma operação produtiva, de forma que essa operação possa responder a sua demanda. Isto normalmente significa decidir como a operação deve reagir a flutuações na demanda. Se o nível de demanda estiver próximo ao nível máximo de capacidade, há um risco maior dessa demanda não ser atendida (Gaither e Fraizer, 2001).

A capacidade de uma operação pode ser estudada com o auxílio de técnicas e ferramentas de simulação computacional. De acordo com Harrel *et al.* (2002), a simulação é uma das técnicas mais eficientes e mais utilizadas no estudo, análise, desenho e melhoria de operações, de modo a prever como o sistema sob investigação responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno. Neste contexto, o objetivo deste estudo é determinar a taxa de ocupação de um estacionamento, com o auxílio de uma ferramenta de simulação, em diferentes dias da semana e turnos de atividades. Esse estacionamento localiza-se em um campus da Universidade Federal Fluminense no município de Volta Redonda-RJ. Além da taxa de ocupação atual, objetiva-se determinar essa taxa em cenários com aumento percentual da taxa de chegada de carros de passeio ao campus. É necessário identificar ainda quando haverá a lotação do estacionamento associada à taxa de ocupação.

Como hipótese a ser verificada, imagina-se que os dias de maior fluxo de veículos no campus sejam terça-feira, quarta-feira e quinta-feira. Assim, este estudo tem a pretensão de auxiliar no planejamento de expansão do campus no sentido de aumento da oferta de cursos e de turmas. Ao aumentar essa oferta, o número de acessos ao estacionamento pode também aumentar, de tal maneira que este poderá em muitos momentos estar lotado.

Para o alcance do objetivo proposto, foi possível estruturar um método composto por cinco etapas. Essas etapas envolvem a definição do objetivo do estudo, motivo pelo qual um modelo de simulação será desenvolvido, a definição das distribuições de probabilidade dos dados do modelo, como tempo entre chegadas e tempos de operação, o desenvolvimento do modelo computacional em uma ferramenta de simulação, a verificação e validação do modelo segundo seu comportamento quando em processamento e, por fim, a análise dos resultados.

Neste sentido, este artigo apresenta em sua seção (2) conceitos associados à simulação, além de abordar os modelos computacionais. Em sua seção (3), são apresentadas as principais ferramentas de simulação computacional. A seção (4) é voltada a apresentar o procedimento para construção do modelo computacional e análise de resultados. Na seção (5), aplica-se o procedimento, considerando o estacionamento de um campus da Universidade Federal Fluminense localizado no município de Volta Redonda-RJ. Finalmente, são apresentadas as considerações finais, envolvendo limitações do trabalho e sugestões para novos estudos.

2. SIMULAÇÃO E MODELOS COMPUTACIONAIS

De acordo com Schriber (1974), simulação implica a modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real, numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo. Por sua vez, Pegden *et al.* (1991) menciona que simulação é o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos

com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.

Neste contexto, a simulação tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite a analistas, dos mais diversos seguimentos, verificar ou encaminhar soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente. Apesar de ser largamente utilizada na manufatura, a simulação passou a ser utilizada também em diversos prestadores de serviços, como empresas bancárias, hospitais, aeroportos, empresas de transporte de cargas, de passageiros e laboratórios de pesquisa (Saliby, 1999).

No processo de simulação, é necessária a construção de um modelo que pode ser um modelo computacional. Segundo Shannon (1975), esse modelo é um programa de computador cujas variáveis representam o comportamento dinâmico e estocástico do sistema real. De acordo com Krajewski *et al.* (2009), a partir do modelo desenvolvido, pode-se manipular algumas variáveis como forma de simular diversos cenários possíveis. De um modelo geral, Mourtzis *et al.* (2014) cita duas características dos modelos de simulação que devem ser comentadas: tempo de mudança e aleatoriedade. Quanto ao tempo de mudança, os modelos podem ser estáticos ou dinâmicos. Os modelos dinâmicos diferentemente dos modelos estáticos são dependentes do tempo, isto é, os parâmetros do modelo se alteram ao longo do tempo. Com relação à aleatoriedade, os modelos podem ser determinísticos ou estocásticos. Os modelos estocásticos apresentam parâmetros que seguem uma distribuição de probabilidade, diferentemente dos modelos determinísticos. Desta maneira, os modelos estocásticos podem apresentar resultados diferentes em cada rodada de simulação.

3. FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

De acordo com Law e Kelton (2000) e Ramos (2014), há um crescimento da utilização de ferramentas de simulação computacional. Esse crescimento deve-se, sobretudo, a atual facilidade de uso, além da sofisticação dos ambientes de desenvolvimento de modelos computacionais, aliadas ao crescente poder de processamento das estações de trabalho. Contando com interfaces gráficas cada vez mais amigáveis, destinadas as mais diversas plataformas, e, principalmente, fazendo intenso uso da animação dos sistemas que estão sendo simulados, ferramentas de simulação estão sendo utilizadas, não apenas em empresas, mas em Universidades para o aprendizado na área de simulação.

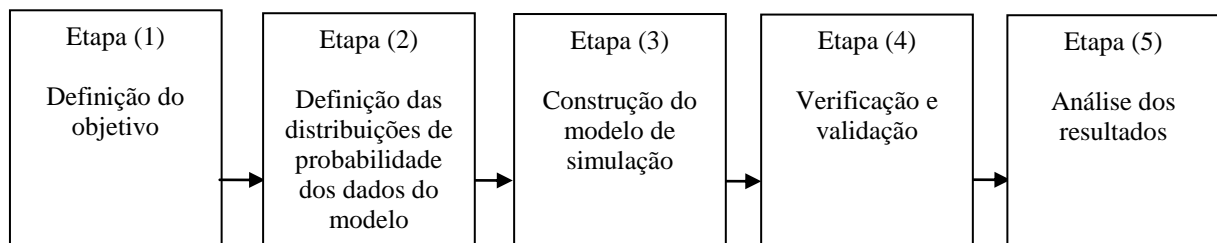
De acordo com Bergue (2000), as ferramentas de simulação mais conhecidas, com interfaces gráficas que permitem visualização das simulações, são: Arena, Automod, Micro Saint e Promodel. No Brasil, as ferramentas de simulação mais populares são o Arena e o Promodel. Essas ferramentas são utilizadas por grandes empresas. No caso do Promodel, é possível citar: CSN, Votorantim, Gerdau, Fiat, Volkswagen, Ambev, Coca-Cola, Petrobras, Ipiranga, Dell, Siemens, Bosch, Correios, Grupo Libra e Vale. Tanto o *software* Arena quanto o *software* Promodel são desenvolvidos para Windows, com interface gráfica intuitiva e orientada a objeto. Apresentam fácil visualização da lógica construída, além da separação dos principais elementos de modelagem, proporcionando maior flexibilidade e ampliando as possibilidades de modelagem (Antônio, 2006; Ramírez-Granados *et al.* 2014).

Segundo Sakurada e Miyake (2003), a ferramenta Arena permite a construção de modelos computacionais por meio da seleção do módulo que contém as características do processo a ser modelado. Utilizando os *templates* disponibilizados pela ferramenta Arena, o usuário pode extrair um módulo (construção por blocos), localizá-lo no sistema analisado e parametrizá-lo de acordo com as características do sistema. Os autores citam ainda que a ferramenta Promodel possui características voltadas para a manufatura, mas sua flexibilidade de programação permite aplicações em diversas áreas. Citam ainda que a ferramenta Promodel é um dos simuladores mais flexíveis, devido a sua capacidade de construir lógicas

complexas, além de apresentar bons recursos de análise estatística, interface simples, recursos de paradas baseadas em calendário, turnos de trabalho e múltiplas replicações de simulação.

4. PROCEDIMENTO

De acordo com Brighenti (2006), o método nos trabalhos de simulação busca sistematizar as etapas de seu desenvolvimento, aumentando a integração entre ferramenta, modelador e usuário, e evitando desperdício de tempo, dinheiro e resultados frustrantes. Neste sentido, o procedimento proposto foi estruturado com base nas etapas de simulação citadas nos trabalhos de Santos *et al.* (2004), Sakurada e Miyake (2009), Soares *et al.* (2011), Pereira e Costa (2012), Lin e Chiu (2015) e Loaiza *et al.* (2015). Esse procedimento foi estruturado em cinco etapas. A Figura 1 apresenta essas etapas: (1) definição do objetivo, (2) definição das distribuições de probabilidade dos dados do modelo, (3) construção do modelo de simulação, (4) verificação e validação e (5) análise dos resultados. Espera-se ao final da aplicação do procedimento concluir sobre o estudo de capacidade de uma operação, em diferentes cenários, utilizando uma ferramenta de simulação para obter a taxa de ocupação dessa operação.



Fonte: elaborado pelos autores com base em Santos *et al.* (2004), Sakurada e Miyake (2009), Soares *et al.* (2011), Pereira e Costa (2012), Lin e Chiu (2015) e Loaiza *et al.* (2015).

Figura 1: Componentes do procedimento proposto.

Na Etapa (1), deve-se buscar entender o sistema real. Ao entender o sistema real, é possível identificar as tecnologias, pessoas e processos envolvidos. Em seguida, deve-se determinar o objetivo da simulação como, por exemplo, encontrar a taxa de ocupação em diferentes cenários, encontrar o tempo médio de fila de determinada matéria-prima e testar diferentes arranjos físicos. Nesta etapa, define-se ainda o *software* de simulação a ser utilizado.

Na Etapa (2), deve-se coletar os dados que alimentarão o modelo computacional a ser construído na próxima etapa. Segundo Leemis (2001), existem duas abordagens de coletas de dados. Na primeira abordagem, os dados necessários estão à disposição para a coleta imediata. Na segunda abordagem, o pesquisador deve coletar dados envolvendo pessoas, tecnologias e processos que fazem parte do sistema real a ser estudado. De um modo geral, Vincent (1998) destaca o cuidado a ser tomado no processo de coleta para evitar erros que podem comprometer os resultados da simulação.

Depois de obtido esses dados, é necessário verificar sua distribuição de probabilidade. Há diversos tipos de distribuições probabilísticas, que se dividem entre distribuições discretas com variáveis que podem ser contadas e distribuições contínuas, quando a variável pode ser obtida por instrumento de medida.

Dentre as distribuições de probabilidade discretas mais comuns, é possível citar: distribuição de Bernoulli, Binomial, Hipergeométrica e de Poisson. Dentre as distribuições contínuas, cita-se: distribuição Uniforme, Exponencial, Beta, Gama, Weibull e Normal (Bussab e Morettin, 2010; Sweeney *et al.*, 2013; Triola, 2013). Dessas distribuições, destaca-se: (1) distribuição de Poisson que apresenta modelo que descreve probabilisticamente a

sequência de um grande número de fenômenos independentes entre si, cada um com probabilidade de sucesso muito pequena; (2) distribuição exponencial com variáveis aleatórias que só assumem valores positivos e, geralmente, representam tempos decorridos entre ocorrências sucessivas de um processo de Poisson e (3) distribuição Normal que se trata de uma distribuição teórica de frequências, em que a maioria das observações se situa em torno da média (centro da distribuição) e diminui gradual e simetricamente no sentido dos extremos.

Após obter os dados coletados em campo, para se determinar qual a distribuição que melhor se adere a esses dados, realiza-se um teste de aderência estatístico. Um desses testes é o teste qui-quadrado, proposto inicialmente em 1863 por Abbé e mais tarde estudada por Pearson. Segundo Guimarães (2008), esse teste busca comprovar se a frequência observada (obtida a partir de coleta de dados em campo) difere significativamente da frequência esperada (obtida a partir da função densidade de probabilidade da distribuição em teste).

Esse teste de aderência pode ser realizado ainda a partir de *software* estatístico, muitas vezes disponível como um módulo em ferramentas de simulação. Alguns desses *softwares* são: ExpertFit, BestFit e StatFit. Após realizar o teste de aderência nesses *softwares*, os parâmetros da distribuição de probabilidade podem ser copiados para o modelo de simulação. Se verificado que os dados não se aderem a nenhuma distribuição de probabilidade teórica, algumas ferramentas de simulação permitem a criação de distribuições específicas para esses dados que podem ser lidas e processadas pelo modelo desenvolvido na ferramenta.

Na Etapa (3), a ferramenta escolhida na Etapa (1) será utilizada para construção do modelo de simulação. Para essa construção, deve-se associar adequadamente os elementos da ferramenta aos componentes do sistema real. Como exemplo, no caso da ferramenta Promodel, os elementos principais são, conforme Ramos (2014) e Sakurada e Miyake (2003): (1) locais - elementos fixos (estacionários) onde as operações acontecem; (2) entidades - elementos que sofrem as ações no sistema, podendo ser objetos animados, como pessoas, ou inanimados, como formulários de papel, peças e pallets; (3) chegadas - definem-se parâmetros como local da chegada, quantidade, frequência e distribuições de probabilidade da entidade no sistema e (4) processos - definem as interligações entre os locais, os tempos de operação, os recursos necessários, a lógica de movimentação e os roteamentos de entidades.

Há ainda outros elementos que podem ser utilizados para aprimorar o modelo de simulação, como (1) recursos - elementos necessários para a operação das entidades, como equipamentos de transporte ou recursos humanos; (2) rede de caminhos - definem o caminho pelo qual os recursos se movimentam e as inter-relações desses recursos com os locais e as entidades; (3) gráficos de fundo - ícones ou desenhos meramente ilustrativos não recebendo comandos de programação; (4) variáveis - pode ser utilizada na construção de contadores ou qualquer variável que precisa ser mostrada em tela; (5) atributos - utilizados para atribuir características a entidades; (6) distribuições do usuário - permite que o usuário insira a distribuição observada em campo e (7) macros - substituem entradas atuais, como a capacidade de um local para que sejam montados vários cenários variando essa capacidade.

No caso da ferramenta Arena, o modelo de simulação pode ser construído utilizando-se os seguintes elementos: (1) estações de trabalho - etapas de processo representadas por módulos; (2) conectores - definem o fluxo do sistema; (3) informações - como durações, distâncias e velocidades inseridas em cada bloco de processo; (4) entidade - sofrem transformação ao longo dos processos; (5) variáveis - modificadas ou utilizadas pelas entidades, como total de produtos produzidos e (6) atributos - atribuem características ao produto, como sua cor.

Na Etapa (4), o primeiro passo é processar o modelo computacional. Se a ferramenta indicar a ocorrência de erros, estes devem ser eliminados. Após obter um modelo sem erros de

processamento, realizam-se rodadas de simulação a fim de verificar se os resultados obtidos no modelo computacional são coerentes com o sistema real. Se não existir essa coerência, o modelo deve ser reformulado e, em caso contrário, pode ser validado. Nesta Etapa, deve-se ainda definir os cenários a serem analisados. Segundo Soares (2011), diferentes cenários podem ser experimentados a partir da alteração de parâmetros de um modelo de simulação.

Na Etapa (5), realiza-se a análise dos resultados do modelo. Geralmente esses resultados são apresentados em relatório gerado pela ferramenta depois de finalizada a rodada de simulação. Como forma de organizar essas informações, sugere-se elaborar gráficos e tabelas para facilitar a análise. Por fim, deve-se assegurar que as conclusões alcançadas estejam em consonância com o objetivo estabelecido na Etapa (1).

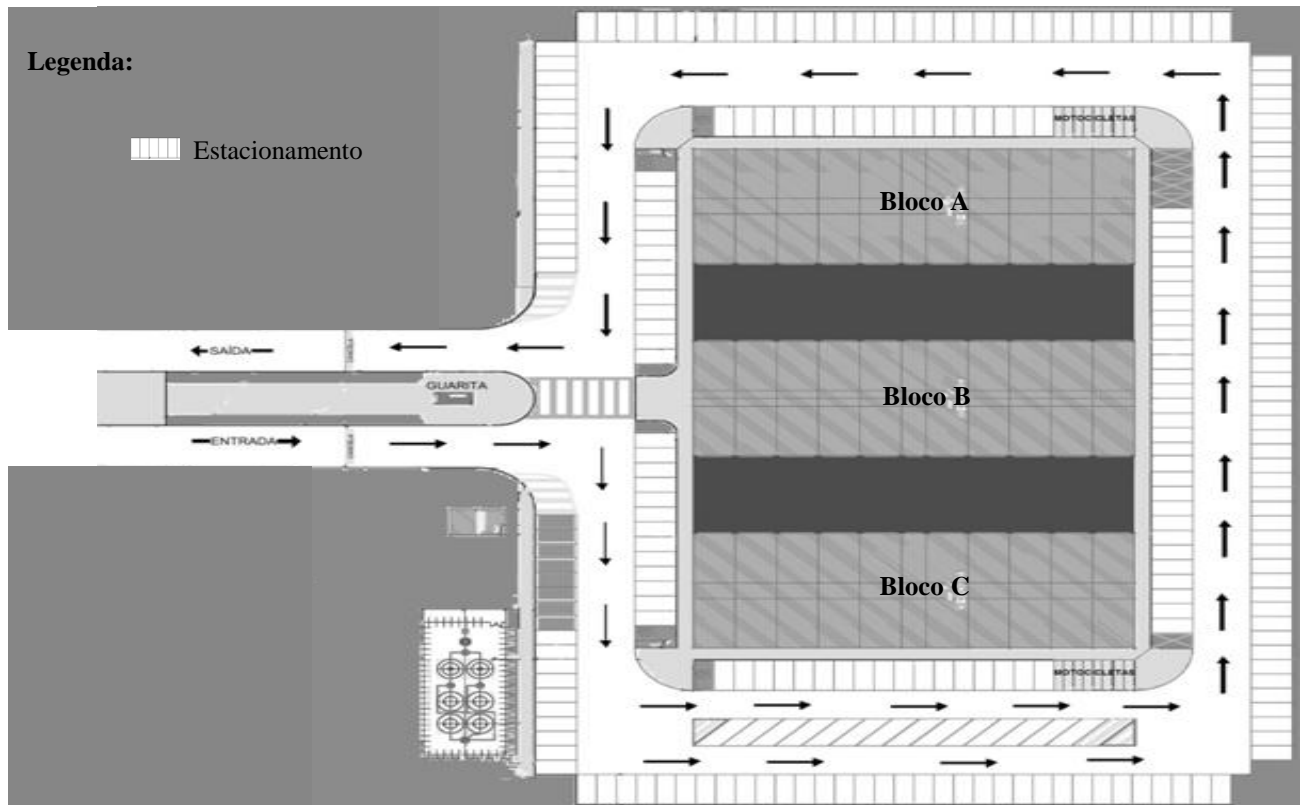
5. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

O procedimento proposto será aplicado no estudo de capacidade do estacionamento do campus Universitário da Universidade Federal Fluminense localizado no bairro Atterrado no município de Volta Redonda - RJ. Esse campus é composto de dois Institutos, o ICHS - Instituto de Ciências Humanas e Sociais (localizado no bloco A dos prédios) e o ICEX - Instituto de Ciências Exatas (localizado no bloco C dos prédios). Somados, esses dois Institutos ofertam treze cursos de graduação presencial, dois cursos de graduação à distância, três cursos de pós-graduação *lato sensu* à distância, oito cursos de pós-graduação *stricto sensu* de mestrado e dois de doutorado, diversos projetos de pesquisa, desenvolvimento acadêmico e de extensão. O campus atende cerca de 2.600 usuários presenciais.

5.1. ETAPA (1) - DEFINIÇÃO DO OBJETIVO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

O estacionamento em estudo é utilizado por alunos, professores e técnicos administrativos do campus universitário. São disponibilizadas 244 vagas para carros de passeio, quatro vagas de carros de passeio para portadores de necessidades especiais, 24 vagas para motocicletas e uma área destinada à parada do ônibus da Universidade.

O campus universitário em estudo inicia suas atividades às 7h00min e encerra suas atividades às 23h00min (não é permitido que nenhum veículo permaneça no campus após esse horário). A entrada no estacionamento acontece por meio de uma passagem que liga a via pública ao portão de entrada do campus. Essa passagem segue pelo portão até uma cancela de entrada. Os usuários utilizam seus cartões de identificação para ativar um totem que, validando a identificação do usuário, abre a cancela. A cancela pode ser aberta ainda de forma manual, por meio de um comando ativado pelos guardas do campus que atuam na guarita. A Figura 2 apresenta a planta do campus e o sentido do fluxo de tráfego (anti-horário) dos veículos.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 2: Planta do campus universitário em estudo e fluxo de veículos.

Após a entrada na cancela, os usuários iniciam a busca por vagas disponíveis. As vagas preferenciais são aquelas mais próximas ao prédio onde o usuário mantém suas atividades. A via de passagem do estacionamento (entre as vagas) é ampla e permite aos usuários manobrar seus carros de passeio sem grandes obstáculos para estacionar.

Esses carros permanecem estacionados enquanto o usuário pratica suas atividades. Ao final das atividades, os usuários buscam seus veículos no estacionamento, manobram o veículo para fora da vaga e seguem para a cancela de saída. Essa cancela funciona de forma similar a cancela de entrada. Assim, também pode ser acionada de forma automática ou manual. Ao passar pela cancela de saída, o usuário segue pela passagem de carros até a via pública.

É necessário destacar que há planos de expansão para esse campus que incluem a criação de seis novas turmas de pós-graduação e ainda a criação de mais três cursos de graduação presencial. Assim sendo, cabe estudar se o número de carros de passeio que acessam o campus ultrapassa a capacidade do estacionamento após aumento da oferta de turmas. Isto pode ser concluído a partir da determinação da taxa de ocupação do estacionamento em diferentes dias da semana e turnos de atividades e em diferentes cenários que variam a partir da taxa de chegada dos carros de passeio ao campus. Ressalta-se que o estudo não abordará o fluxo de motocicletas, ônibus e vagas para portadores de necessidades especiais.

Para determinar a taxa de ocupação do estacionamento, será utilizado o *software* de simulação Promodel. Os dados coletados em campo serão inseridos na ferramenta, além da elaboração do modelo computacional. Além de ser adequado para construção e simulação do modelo do estacionamento, o Promodel pode ser acessado na Universidade em sua versão para estudante.

5.2. ETAPA (2) - DEFINIÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

No modelo em estudo, é necessário conhecer (1) as distribuições de probabilidade do número de carros de passeio que acessam o campus por minuto e (2) as distribuições de probabilidade de tempos em que esses veículos permanecem estacionados. A fim de determinar essas distribuições, coletou-se esses tempos na semana de 11/01/2016 a 15/01/2016 (segunda-feira a sexta-feira). No caso dos tempos entre chegadas, foram utilizadas imagens captadas por uma câmera que focaliza a entrada do estacionamento. Assim, a partir das imagens, foi possível contar a quantidade de carros que acessaram o campus em intervalos de vinte minutos. A Tabela 1 apresenta o número de carros com acesso na segunda-feira (11/01/2016).

Tabela 1: Número de carros que acessaram o campus na segunda-feira (11/01/2016).

Horário Manhã	Número de carros de passeio	Horário Tarde	Número de carros de passeio	Horário Noite	Número de carros de passeio
07h00min	08	12h00min	08	18h00min	18
07h20min	02	12h20min	12	18h20min	22
07h40min	04	12h40min	04	18h40min	24
08h00min	14	13h00min	03	19h00min	17
08h20min	11	13h20min	16	19h20min	12
08h40min	06	13h40min	18	19h40min	15
09h00min	25	14h00min	10	20h00min	33
09h20min	23	14h20min	10	20h20min	08
09h40min	21	14h40min	12	20h40min	06
10h00min	08	15h00min	09	21h00min	02
10h20min	17	15h20min	06	21h20min	03
10h40min	10	15h40min	10	21h40min	10
11h00min	08	16h00min	05	22h00min	02
11h20min	06	16h20min	06	22h20min	00
11h40min	13	16h40min	05	22h40min	00
(-)	(-)	17h00min	12	23h00min	00
(-)	(-)	17h20min	06	(-)	(-)
(-)	(-)	17h40min	12	(-)	(-)

(-) não se aplica. Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 2 apresenta o número de carros de passeio que acessaram o campus nos cinco dias da semana em análise. Verifica-se que quarta-feira é o dia com o maior número de entradas. A Tabela 2 apresenta ainda as distribuições de probabilidade do número de carros de passeio que acessaram o campus por minuto. A partir da utilização da ferramenta Statfit, foi possível verificar que não há indícios para rejeitar a hipótese nula dos dados de números de veículos se ajustarem à distribuição de probabilidade discreta de Poisson. A partir da determinação das distribuições, estas serão utilizadas como entrada do modelo a ser construído na Etapa (3).

Além de determinar os tempos entre chegadas, como forma de aperfeiçoar o modelo, optou-se por inserir característica ao carro de passeio no processo de chegada: carro do tipo A

e carro do tipo C. Os carros do Tipo A terão preferência em estacionar nas vagas próximas ao Bloco A e o mesmo raciocínio para os carros do tipo C. Há ainda o bloco B, mas esse bloco comporta atividades administrativas (biblioteca, auditório, setor de informática, infraestrutura e financeiro). Por meio de observação do fluxo de carros, definiu-se quanto de cada carro terá preferência pelas vagas próximas ao bloco A e ao bloco C. A Tabela 2 apresenta a quantidade de carros em porcentagem. Observou-se ainda que as vagas preenchidas primeiro são aquelas mais próximas à entrada dos blocos (vagas localizadas em frente das cancelas de entrada e de saída). Conforme o estacionamento passa a ficar mais ocupado, as vagas na lateral dos blocos vão sendo preenchidas e, por último, são preenchidas as vagas atrás dos prédios.

Tabela 2: Distribuição de probabilidade do número de carros que chegam por minuto.

Dia da semana	Manhã	Tarde	Noite	Total
	07h00min a 12h00min	12h00min a 18h00min	18h00min a 23h00min	
Segunda-feira	Nº de carros = 176 Poisson ($\lambda = 0,59$)	Nº de carros = 164 Poisson ($\lambda = 0,46$)	Nº de carros = 172 Poisson ($\lambda = 0,53$)	512 (-)
Terça-feira	Nº de carros = 217 Poisson ($\lambda = 0,73$)	Nº de carros = 230 Poisson ($\lambda = 0,64$)	Nº de carros = 226 Poisson ($\lambda = 0,70$)	673 (-)
Quarta-feira	Nº de carros = 224 Poisson ($\lambda = 0,74$)	Nº de carros = 264 Poisson ($\lambda = 0,73$)	Nº de carros = 260 Poisson ($\lambda = 0,82$)	748 (-)
Quinta-feira	Nº de carros = 234 Poisson ($\lambda = 0,78$)	Nº de carros = 247 Poisson ($\lambda = 0,69$)	Nº de carros = 257 Poisson ($\lambda = 0,81$)	738 (-)
Sexta-feira	Nº de carros = 199 Poisson ($\lambda = 0,66$)	Nº de carros = 192 Poisson ($\lambda = 0,53$)	Nº de carros = 169 Poisson ($\lambda = 0,53$)	560 (-)
Carro tipo A	30%	50%	80%	(-)
Carro tipo C	70%	50%	20%	(-)

(-) não se aplica. λ : taxa de chegada média de carros de passeio (em carros de passeio por minuto).

Fonte: elaborado pelos autores.

Por fim, é necessário determinar as distribuições de probabilidade de tempos em que os carros de passeio permanecem estacionados. Para isto, foi utilizada a base de dados de um relatório técnico produzido por discentes do campus em 2015. O objetivo da elaboração desse relatório foi identificar problemas pertinentes ao deslocamento enfrentados por usuários do campus. Os questionários foram respondidos por 1.252 usuários, dentre eles, técnicos administrativos, alunos presenciais e professores. Este continha questões sobre o meio de transporte utilizado, além de indagar sobre o horário habitual de chegada e de saída, em cada dia da semana, de cada usuário, por turno. De posse desses tempos, o próximo passo foi utilizar a ferramenta Statfit para verificar a distribuição de probabilidade de tempos de estacionamento. Em todos os dias e turnos, foi rejeitada a hipótese nula de ajuste dos dados de tempos a qualquer das distribuições de probabilidade teóricas contínuas. Neste caso, a distribuição dos dados de tempos será inserida no modelo como distribuições específicas, chamadas no Promodel de distribuições do usuário. A Tabela 3 apresenta essas distribuições.

Tabela 3: Distribuições do usuário dos tempos de estacionamento por dia e por turno.

Item (horas)	Segunda			Terça			Quarta			Quinta			Sexta		
	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N
2	29%	10%	13%	15%	8%	7%	18%	5%	3%	12%	10%	12%	12%	15%	10%
4	60%	45%	87%	69%	35%	93%	50%	30%	97%	41%	45%	88%	52%	45%	90%
6	11%	45%	0%	16%	57%	0%	32%	65%	0%	47%	45%	0%	36%	40%	0%

M: manhã; T: tarde; N: noite. Fonte: elaborado pelos autores.

5.3. ETAPA (3) - CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

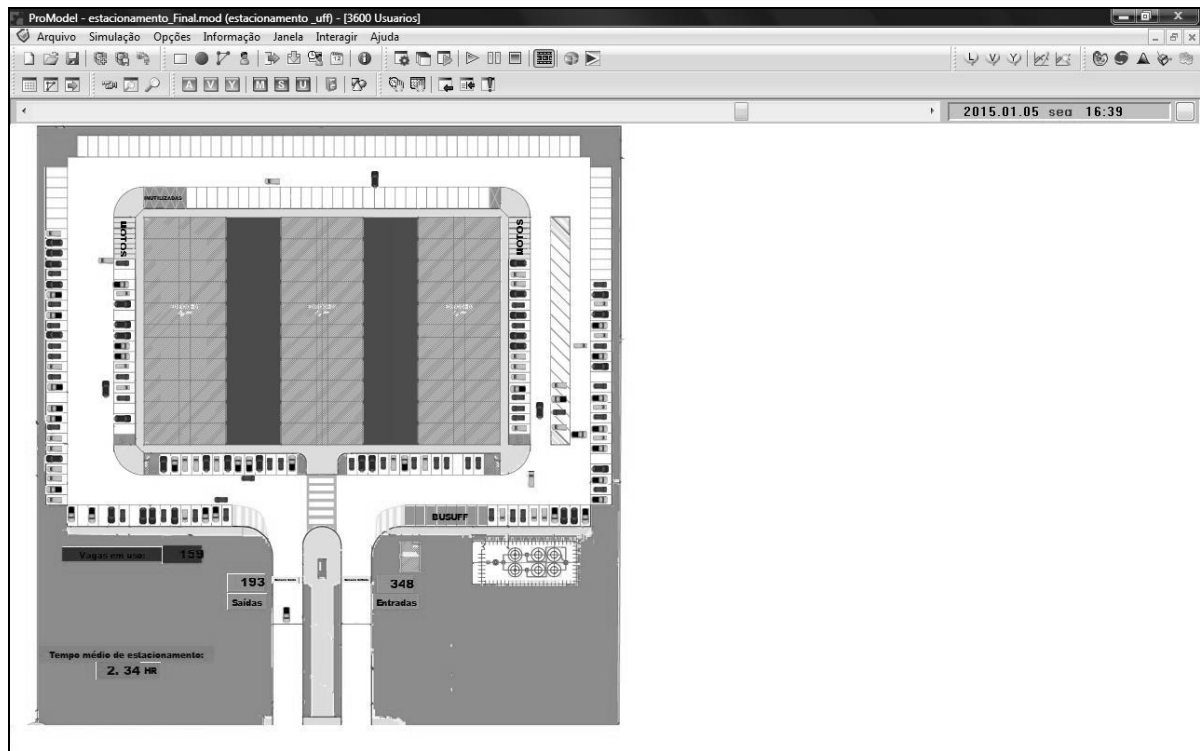
O modelo será construído em ambiente computacional da ferramenta Promodel. Os principais elementos de construção são: Chegadas, Entidades, Locais e Processos. Alguns elementos secundários foram utilizados a fim de aperfeiçoar o modelo de simulação. São eles: Variáveis, Atributos, Gráficos de Fundo, Distribuições do Usuário, Rede de caminhos, além de Macros necessárias para definir cenários. A Tabela 4 apresenta mais detalhes sobre esses elementos.

Tabela 4: Elementos do Promodel utilizados para construir o modelo de simulação.

Elemento no Promodel	Observações
Chegadas	Um único cadastro de chegada opera no modelo. A quantidade de carros de passeio que chegam é gerada por uma sub-rotina que define a quantidade de acordo com o dia da semana e a hora atual do tempo da simulação. A chegada ocorre infinitas vezes, a primeira ocorrência acontece às 07h00min. Após a primeira chegada, novas chegadas acontecem em intervalos de vinte minutos no tempo da simulação.
Entidades	Há apenas uma entidade: carro de passeio.
Locais	Os locais utilizados foram: cancela de entrada, cancela de saída e mais 11 locais representando os blocos de vagas. O estacionamento como um todo foi dividido em blocos de locais para permitir direcionar os carros após a chegada de acordo com a preferência pela vaga (carros do tipo A e carros do tipo C).
Processos	Na cancela de entrada, associa-se o atributo (tipo de carro A ou tipo C) à entidade carro. Logo após o carro leva trinta segundos para acionar a cancela e segue a rota estipulada até a vaga. A velocidade de deslocamento é de 20 km/hora. O carro movimenta-se por uma rede de caminhos.
Variáveis	Foram utilizadas variáveis para indicar no decorrer da execução o número total de entrada de carros, número total de saída de carros, a quantidade atual de vagas em uso e o tempo médio de estacionamento.
Atributos	Utilizado para associar a cada carro seu tipo: A ou C. A taxa para a estipulação de cada um dos tipos é definida a partir de um elemento de Distribuição do Usuário e varia ao longo do dia.
Gráficos de fundo	Foi utilizada a planta baixa do campus de 2010 com ajustes para atualização.
Distribuições do Usuário	Relacionam em uma tabela um conjunto de valores (taxas de chegada ou tempos de estacionamento) e suas probabilidades de ocorrência.
Rede de caminhos	Caminhos opcionais que os carros podem percorrer. Força as entidades carros a se locomoverem apenas na rede que simula o trajeto real dos carros.
Macros	Utilizada para a construção de cenários. Necessária para a mudança do parâmetro “taxa de chegada”. Em cada cenário, há uma taxa de chegada.

Fonte: elaborado pelos autores.

Cabe destacar ainda a quantidade de carros que chega à cancela de entrada, definida a partir da construção de uma sub-rotina com operações lógicas (IF-THEN-ELSE). Essas operações checam o horário e a data atuais da simulação para identificar o turno e, assim, identificar a distribuição de probabilidade da Tabela 2 a ser aplicada na chegada de carros de passeio. A Figura 3 apresenta a imagem do modelo em operação após sua construção.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 3: Imagem do modelo de simulação construído na ferramenta Promodel.

Outra sub-rotina elaborada no campo de processos utiliza as mesmas operações lógicas agora para identificar o tempo que o carro permanecerá estacionado. Essa sub-rotina cuida ainda para que às 23h00min todos os carros saiam do campus (encerramento das atividades).

Por fim, é necessário citar as lógicas de movimentação também programadas no campo de processos do Promodel. Essas lógicas definem o trajeto da entidade de um local atual para um próximo local do fluxo. Definem ainda o tempo de trajeto e como esse trajeto será realizado. No caso do modelo em análise, definiu-se nessa lógica que a entidade carro seguiria o trajeto passando por uma rede de caminhos pré-estabelecida. Com isto, foi possível aperfeiçoar o modelo tornando-o mais próximo do sistema real.

5.4. ETAPA (4) – VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Após o desenvolvimento do modelo na ferramenta Promodel, este foi processado (utiliza-se o termo “rodar” o modelo). Alguns erros de programação foram verificados, como (1) erros no processo de chegada, (2) não inserção no processamento de um dos locais do estacionamento e (3) erros na programação das variáveis para mostrar na tela o tempo médio de estacionamento. Neste processo de verificação, os erros foram corrigidos.

No caso (1), a programação do processo de chegada não estava contemplando o comando “return”. Esse comando foi inserido para retornar o valor da quantidade de carros que acessam o campus para alimentar o cadastro de chegadas. Sobre o caso (2), o estacionamento foi particionado em blocos de vagas. Um desses blocos, que não estava

considerado na programação, foi inserido na construção de processos do Promodel. Por fim, no caso (3), considera-se que a variável tempo médio de estacionamento é definida pelo quociente entre o tempo de estacionamento de cada veículo e o número total de saídas desses veículos. O número total de saídas estava sendo calculado depois do comando para calcular a variável de tempo médio de estacionamento. Isto foi corrigido alterando a ordem de execução dos cálculos na programação: primeiro o cálculo do número total de saídas dos veículos e depois o cálculo do tempo médio de estacionamento.

Após a verificação do modelo, realizou-se seu processo de validação. Para validar o modelo foi necessário observar todo seu processamento e os resultados fornecidos pela ferramenta Promodel. A partir desse processamento, observou-se: (1) variável “vagas em uso” alcançava valores superiores ao número total (244 vagas); (2) os carros permaneciam no estacionamento após as 23h00min; (3) chegada de carros após as 22h00min e durante a madrugada; (4) a taxa de ocupação do estacionamento na terça-feira a noite estava baixa em relação aos outros dias em estudo e (5) os aspectos gráficos precisavam ser ajustados para aperfeiçoar o modelo.

No caso (1), o contador mostrado na tela, construído a partir de uma variável, representava a diferença entre a quantidade de carros que acessaram e que saíram do campus. Desta maneira, o contador considerava os carros em trajeto e os carros na cancela como se estivessem ainda estacionados. Para aperfeiçoar o contador, alterou-se a programação para que a contagem iniciasse no momento do acesso a algum bloco de vagas e terminasse imediatamente após a saída da vaga. Sobre o caso (2), foi necessário incluir uma regra de programação para forçar a saída de todos os carros do estacionamento até às 23h00min. Essa regra funciona a partir de comandos de lógica condicional. Se o tempo atribuído de estacionamento for superior ao tempo que resta para o fechamento do campus, então atribui-se um novo tempo de estacionamento ao carro. O novo tempo de estacionamento será igual ao tempo que resta para o fechamento do campus. No caso (3), observou-se a necessidade de inserir uma regra de programação com a finalidade de impedir a chegada de carros no período de 22h00min até as 06h00min do dia seguinte. Essa regra opera a partir de duas condições. Se o tempo da simulação for superior a 22h00min e inferior a 06h00min, a regra atribui zero à quantidade de carros que chegam ao campus. Sobre o caso (4), as regras de programação relacionadas à quantidade de chegadas de carros foram verificadas, pois o relatório final apontava uma taxa baixa de ocupação do estacionamento na terça-feira à noite. Identificou-se um erro de falta de sinal na programação. Este erro limitava a chegada de carros apenas ao horário de 22h00min. A partir da inserção do sinal de menor (<) foi possível gerar chegadas de carros no intervalo das 18h00min até às 22h00min. Por fim, no caso (5), observou-se durante a execução da simulação que os ícones dos carros se movimentavam e estacionavam sempre no mesmo sentido. No momento do estacionamento, alguns carros estacionavam de lado. Os ajustes de sentido foram implementados com a finalidade de deixar o modelo mais visualmente próximo da realidade e mais organizado graficamente.

Após os ajustes realizados, necessários no processo de verificação e de validação, nesta etapa, deve-se ainda definir os cenários de análise. Com o objetivo de verificar a taxa de ocupação do estacionamento em cenários de expansão do campus em estudo, o parâmetro definido para ser alterado ao longo dos cenários será a taxa de chegada dos carros. Neste sentido, propõe-se considerar oito cenários. Em cada um desses cenários, a taxa de chegada será elevada de acordo com um percentual, com inicial elevação de 10%, 20% em seguida, até elevar essa taxa em 80%. Em cada dia da semana e em cada turno, será possível determinar a taxa de ocupação do estacionamento por cenário.

5.5. ETAPA (5) – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a verificação e a validação do modelo de simulação do estacionamento, executou-se novamente o modelo com o intuito de obter o relatório de dados gerado pelo Promodel. A partir desse relatório, foi possível obter informações sobre o estado dos locais (locais de estacionamento, cancela de entrada e cancela de saída), sobre o estado da entidade (carro de passeio), sobre as variáveis construídas no modelo, dentre outras estatísticas. Foi possível obter ainda informações sobre a quantidade de carros estacionados em média por hora e por dia. Após obter essa quantidade e conhecendo-se a capacidade total do estacionamento por hora, calculou-se a taxa de ocupação por turno e por dia, conforme apresenta a Tabela 5.

Tabela 5: Taxas de ocupação do estacionamento por turno e por dia.

Dia	Turno	Cenários (aumentando percentualmente a taxa de chegada)							
		01	02	03	04	05	06	07	08
		+10%	+20%	+30%	+40%	+50%	+60%	+70%	+80%
Segunda	Manhã	24%	27%	32%	30%	34%	36%	37%	39%
	Tarde	44%	46%	51%	56%	55%	62%	60%	59%
	Noite	52%	62%	68%	66%	75%	87%	83%	84%
Terça	Manhã	41%	41%	44%	45%	48%	56%	59%	53%
	Tarde	72%	68%	82%	87%	89%	93%	93%	93%
	Noite	82%	71%	88%	92%	92%	93%	93%	93%
Quarta	Manhã	36%	39%	39%	40%	42%	50%	53%	49%
	Tarde	64%	69%	73%	82%	79%	88%	86%	91%
	Noite	82%	82%	90%	92%	92%	93%	92%	92%
Quinta	Manhã	38%	41%	44%	45%	47%	55%	61%	62%
	Tarde	67%	75%	74%	81%	85%	83%	91%	91%
	Noite	69%	60%	80%	85%	90%	90%	91%	92%
Sexta	Manhã	32%	36%	36%	47%	40%	50%	55%	56%
	Tarde	46%	57%	60%	70%	66%	78%	76%	80%
	Noite	51%	52%	53%	60%	59%	62%	61%	73%

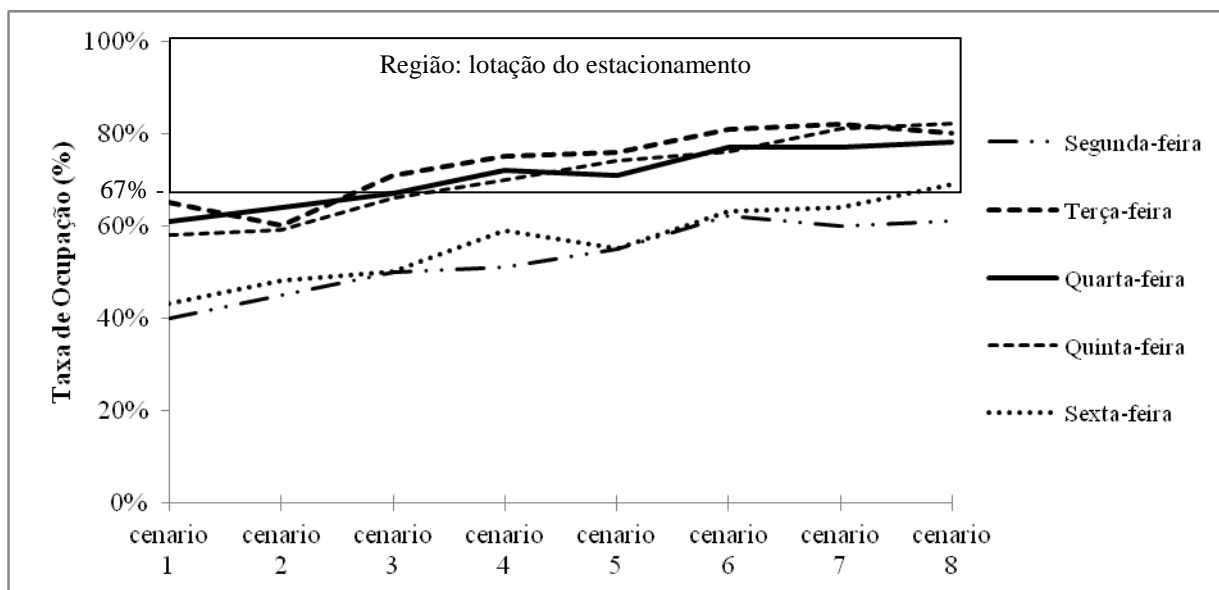
Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 5 apresenta ainda as taxas de ocupação do estacionamento em cada um dos outros sete cenários com aumentos percentuais aplicados à taxa de chegada atual. De um modo geral, a taxa de ocupação aumenta ao longo dos cenários. No entanto, há exceções, pois se deve considerar a aleatoriedade tanto da taxa de chegada (segue uma distribuição de Poisson) quanto do tempo de estacionamento de cada carro (segue uma distribuição do usuário construída no Promodel). Isto pode ser observado na segunda-feira no turno da manhã: a taxa de ocupação no cenário 04 (30%) é menor do que a taxa de ocupação no cenário 03 (32%).

Sobre a Tabela 5, ressalta-se também a menor taxa de ocupação: 24% no cenário 01 na segunda-feira de manhã. Já a maior taxa (93%) é observada na terça-feira e na quarta-feira a partir do cenário 06. Adicionalmente, observa-se que esses dois dias apresentam as maiores taxas de ocupação em comparação com os outros dias da semana. Nesses dois dias, destaca-se a alta taxa de ocupação nos turnos da tarde e da noite já no cenário 01.

No entanto, conhecer apenas a taxa de ocupação não é suficiente para identificar a lotação do estacionamento (o problema em questão). Neste sentido, verificou-se a formação de filas na cancela de entrada. A formação dessa fila indica a lotação do estacionamento. Além de verificar os dados obtidos (tempo médio na fila) a partir do relatório gerado pelo Promodel, observou-se o modelo durante a execução da simulação. Foi possível identificar os dias e cenários em que ocorreu a lotação do estacionamento.

Calculou-se a taxa de ocupação média por dia e por cenário e associou-se essas taxas as informações de ocorrência de fila na cancela de entrada. Verificou-se a ocorrência de filas em altas taxas de ocupação. A Figura 4 apresenta o crescimento das taxas médias de ocupação por dia ao longo dos cenários.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 4: Taxa de ocupação do estacionamento por dia e por cenário.

Constatou-se por meio de observação, a ocorrência de filas na cancela de entrada, e consequentemente a lotação do estacionamento, para uma taxa de ocupação média no dia igual ou superior a 67%. A Figura 4 apresenta uma região de lotação do estacionamento. A curva de terça-feira e a curva de quarta-feira demonstram que há lotação do estacionamento nesses dias a partir do cenário 03 (depois deste cenário, essas curvas encontram-se dentro da região de lotação). Assim sendo, conclui-se que um aumento de 30% da taxa de chegada de veículos de passeio acarretará lotação do estacionamento na terça-feira e quarta-feira.

A curva de quinta-feira atinge a região de lotação a partir do cenário 04. Conclui-se ainda que a curva de segunda-feira não entra na região de lotação em nenhum dos cenários em estudo. Por fim, a curva de sexta-feira atinge a região de lotação apenas no último cenário. Abrindo a análise por turno, verifica-se a ocorrência de primeira lotação no turno da noite a partir do cenário 03. A partir do cenário 05, observa-se a lotação também no turno da tarde e, a partir do cenário 06, há lotação também no turno da manhã.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi determinar a taxa de ocupação de um estacionamento em diferentes dias da semana e turnos de atividades, além de identificar sua lotação considerando um conjunto de cenários construídos a partir da elevação da taxa de chegada atual. Este objetivo foi alcançado a partir da ferramenta de simulação Promodel. Averigua-se que a terça-feira e a quarta-feira serão os primeiros dias a se observar a lotação do estacionamento, após o

aumento de 30% da taxa de chegada de carros. O motivo para essa elevação da taxa de chegada pode ser um possível aumento da quantidade de usuários, que acessam o campus a partir de carros de passeio, em virtude do aumento do número de cursos presenciais ou aumento de vagas dos cursos já existentes.

Este estudo estabeleceu ainda uma hipótese: os dias de maior fluxo de veículos no campus são terça-feira, quarta-feira e quinta-feira. Essa hipótese foi confirmada após a análise do modelo de simulação. A partir da taxa de ocupação e da fila na cancela de entrada, constatou-se sobre a lotação do estacionamento. Verificou-se que com taxas de ocupação igual ou superior a 67% havia a ocorrência dessa lotação. Essas conclusões puderam ser obtidas por meio de um procedimento composto por cinco etapas. Na Etapa (3), utilizou-se a ferramenta Promodel para a construção do modelo de simulação. Destaca-se que a ferramenta utilizada é de uma versão estudante, apresentando limitações de número de locais e de outras funcionalidades.

Contudo, isto não foi um fator limitante para a programação e a construção do modelo. Essa limitação apenas atrapalhou a melhoria do modelo em relação aos aspectos gráficos, como a rotação dos carros para o trajeto em diferentes direções.

Ainda sobre as limitações do estudo, é necessário citar que as conclusões foram pautadas em um modelo computacional, que se comporta como, mas não é o sistema real. Destaca-se ainda que os resultados foram gerados a partir de dados de entrada referentes a um determinado período (uma semana) e que não foram consideradas outras semanas de modo a realizar uma comparação para verificar diferenças acentuadas de taxas de chegada. Os dados de tempo de estacionamento foram obtidos em outro período e não na semana em que foram verificadas as taxas de chegada dos carros. Esses dados também não foram obtidos com medições em campo e sim obtidos por meio de entrevista disponível já realizada pela Universidade.

Para novos estudos, a ferramenta de simulação Promodel pode ser aplicada em diversos casos, seja na fabricação de um bem ou produção de um serviço. Em universidades, recomenda-se o estudo de fluxos de estudantes em um restaurante, fluxos de documentos em uma secretaria e atendimento a alunos em uma loja copiadora. Sugere-se ainda, com o intuito de comparação, estudar o comportamento de um estacionamento a partir da teoria das filas. No caso tratado neste estudo, o modelo do estacionamento seria de fila única com atendimento múltiplo (cada vaga seria um atendente). Por fim, destaca-se que o modelo de simulação desenvolvido poderá ser utilizado em planejamentos de expansão do campus. A mudança dos dados de entrada como taxa de chegada e tempo de estacionamento poderá ser facilmente realizada.

7. REFERÊNCIAS

- ANTÔNIO, D. G.** Práticas e iniciativas da gestão da cadeia de suprimentos em software de simulação. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'oeste, São Paulo, 2006.
- BERGUE, L. X.** Análise das potencialidades do uso da ferramenta de simulação computacional em operações logísticas: estudo de caso em um armazém geral. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2000.
- BRIGHENTI, J. R. N.** Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 2006.
- BUSSAB, W. O., MORETTIN, P. A.** Estatística básica. 6ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2010.
- GAITHER, N., FRAIZER, G.** Administração da Produção e Operações. 8ª Edição. São Paulo: Thomson Pioneira, 2001.

- HARREL, C. R., MOTT, J. R. A., BATEMAN, R. E., BOWDEN, R. G., GOGG, T. J.** Simulação: Otimizando os sistemas. 2ª Edição. São Paulo: IMAM, 2002.
- KRAJEWSKI, L., RITZMAN, L., MALHOTRA, M.** Administração de produção e Operações. 8ª Edição. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2009.
- LAW, A. M. E KELTON, W. D. X.** Simulation Modeling and Analysis. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEEMIS, L.** Input Modeling Techniques for Discrete-Event Simulations. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, New Jersey, 2001, pp. 62-73.
- LIU, S., CHIU, K.** An evaluation of recycling schemes for waste dry batteries e a simulation approach. Journal of Cleaner Production, v. 93, 2015, pp. 330-338.
- LOAIZA, M. E. B., SARMIENTO, G. C., CORREA, J. H. R.** Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en Promodel utilizando path networks type crane. Tecnura, v. 19, n. 44, 2015, pp. 133-144.
- MOURTZIS, D., DOUKAS, M., BERNIDAKI, D.** Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. Procedia CIRP, v. 25, 2014, pp. 213-229.
- PEGDEN, C. D., AHANNON, R. E., SADOWSKI, R. P.** Introduction to simulation using SIMAN, 2nd, McGraw-Hill, NY, 1991.
- PEREIRA, C. R., COSTA, M. A. B.** Um modelo de simulação de sistemas aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 4, 2012, pp. 972-1001.
- RAMOS, D. F.** Modelagem e Simulação de Sistemas de Produção. Universidade de Santo Amaro, 2014. Disponível em: <<http://www.unisa.br/conteudos/11342/f1412493238/apostila/apostila.pdf>>. Acesso em: 21 janeiro 2016.
- RAMÍREZ-GRANADOS, M., HERNÁNDEZ, J. E., & LYONS, A. C.** A Discrete-event Simulation Model for Supporting the First-tier Supplier Decision-Making in a UK's Automotive Industry. Journal of Applied Research and Technology, v.12, n.5, 2014, pp. 860-870.
- SAKURADA, N., MIYAKE, D. I.** Estudo comparativo de softwares de simulação de eventos discretos aplicados na modelagem de um exemplo de Loja de Serviços. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Ouro Preto, MG, 2003.
- SAKURADA, N., MIYAKE, D. I.** Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. Revista Gestão da Produção, São Carlos, v. 16, n. 1, 2009, pp. 25-43.
- SALIBY, E.** Tecnologia de informação: Uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas. Centro de Estudos em Logística, 1999. Disponível em: <www.cel.coppead.ufjf.br/fs-public.htm>. Acesso em 05 Janeiro 2016.
- SANTOS, C. C. M., LEAL JUNIOR, I. C., FERREIRA FILHO, V. J. M.** A utilização da simulação para análise e escolha de modal de transporte. In: XI SIMPEP - Bauru, SP, 2004.
- SCHRIBER, T. J.** Simulation using GPSS, Wiley, NY, 1974.
- SHANNON, R. E.** Systems simulation: the art and science, Prendice-Hall, Englewood Cliffs, 1975.
- SLACK, N., JOHNSTON, R., CHAMBERS, S.** Administração da Produção. 2ª Edição. São Paulo: Atlas, 2007.
- SOARES, J. P. M., LEMOS, F. O., ARAÚJO, C. L. K., HANSEN, P. B.** A contribuição da simulação computacional para a análise sistêmica da reestruturação de *layout* e otimização de recursos na manufatura celular: estudo de caso em uma célula de uma empresa do ramo automotivo. Produto & Produção, v. 12, n. 3, 2011, pp. 49-68.
- SWEENEY, D. J., WILLIAMS, T. A., ANDERSON, D. R.** Estatística aplicada à administração e economia. 3ª Edição. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- TRIOLA, M. F.** Introdução à estatística: atualização da tecnologia. 11ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- VINCENT, S.** Input data analysis. In: Banks, J. (ed.) Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice. New York: John Wiley & Sons, Inc., 870p, 1998.