



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina



**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE UM ESTACIONAMENTO
UNIVERSITÁRIO UTILIZANDO A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL:
ESTUDO DE CASO DE UMA UNIVERSIDADE NO NORTE DO
PARANÁ**

LONDRINA

2019

ALESSANDRO FELIPE CAMARGO

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE UM ESTACIONAMENTO
UNIVERSITÁRIO UTILIZANDO A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL:
ESTUDO DE CASO DE UMA UNIVERSIDADE NO NORTE DO
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Bruno Samways dos Santos

LONDRINA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA CAPACIDADE DE UM ESTACIONAMENTO UNIVERSITÁRIO UTILIZANDO A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ESTUDO DE CASO DE UMA UNIVERSIDADE NO NORTE DO PARANÁ

POR

ALESSANDRO FELIPE CAMARGO

Esta Monografia foi apresentada às 15 horas do dia 18 de novembro de 2019 como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores relacionados abaixo. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho: **APROVADO.**

Prof. Dr. Erico Daniel Ricardi Guerreiro (UTFPR-LD)
Banca Examinadora

Prof. Me. Tiago Bernardino Vargas (UTFPR-LD)
Banca Examinadora

Prof. Me. Bruno Samways dos Santos (UTFPR-LD)
Presidente da Banca Examinadora
Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de pedir desculpas a todas as pessoas nas quais eu possa ter esquecido de mencionar nesses poucos parágrafos. Entretanto estejam certos de minha gratidão, pois mesmo em pensamento nunca irei esquecer de cada contribuição por menor que tenha sido.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Bruno Samways Dos Santos, por todo o comprometimento do início ao fim com meu trabalho e principalmente por aceitar me orientar mesmo sabendo das dificuldades quando o procurei.

Aos meus colegas de universidade que de alguma maneira contribuíram com meu trabalho.

Ao meu grande amigo Douglas Cavalcante, que desde o início desse projeto me ajudou e motivou, tornando possível a conclusão do mesmo.

À minha família a qual me deu suporte e apoio durante todos esses anos, sempre me incentivando e acreditando em mim.

À Tereza Elizabet Trecenti e ao Nelson de Toledo por terem acreditado em mim e me dado apoio do início ao fim de minha graduação.

Enfim, a todos que por algum motivo contribuíram para a realização dessa pesquisa e em minha formação.

RESUMO

Tendo em vista os diversos problemas que podem ser gerados pela limitação da capacidade em um estacionamento e o crescente aumento de veículos circulantes, a simulação se mostra uma importante ferramenta no estudo da capacidade, tornando possível a criação de cenários, assim como uma melhor compreensão do estado atual. Neste contexto, o presente trabalho abordou o uso da simulação na análise da capacidade de um estacionamento em uma universidade localizada no norte do Paraná. Para isso, realizou-se uma coleta de dados que viabilizou a criação de um modelo que reproduzisse o real funcionamento do estacionamento para que em seguida fossem criados e analisados possíveis cenários limitantes à capacidade. Tais cenários foram idealizados a partir da hipótese de um aumento na demanda por vagas resultante da mudança de período em um dos cursos de graduação oferecidos pela universidade. Os dados analisados foram coletados no período de uma semana com cinco dias letivos (das 7h às 18h40min), tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel® e simuladas em ambiente FlexSim®. Como resultados do estudo, verificou-se que em nenhum dos cenários criados houve o registro de veículos que não conseguiram estacionar ou mesmo uma ocupação média maior que 38% das vagas disponíveis, não havendo assim indícios que confirmem qualquer limitação da capacidade no estacionamento da universidade.

Palavras-chave: Capacidade. Simulação. Estacionamento. Cenários. Universidade.

ABSTRACT

Considering that many problems can be generated by capacity limitation in a parking lot and the increasing number of vehicles, the simulation is an important tool for the capacity study, making possible the creation of scenarios as well as a better understanding of the current state. In this context, the present work approached the use of simulation in the analysis of parking capacity in a university located in northern Paraná. For this, a data collection was made that enabled the creation of a model that reproduced the actual operation of the parking lot. For that, possible scenarios limiting the capacity were created and analyzed. Such scenarios were idealized from the hypothesis of an increase in the demand for parking lot resulting from the change of period in one of the undergraduate courses offered by the university. The data analyzed were collected within a week with five school days (from 7am to 6.40pm), tabulated in Microsoft® Excel spreadsheets and simulated in FlexSim® environment. As a result of the study, it was found that in none of the scenarios created there were the registration of vehicles that could not park or even an average occupancy greater than 38% of available parking lots, thus, there is no evidence to confirm any limitation of university parking capacity.

Keywords: Capacity. Simulation. Parking lot. Scenarios. Universities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação modelo de simulação	20
Figura 2 – Estacionamento visto por satélite.....	25
Figura 3 – Amostra layout do modelo.....	30
Figura 4 - Fluxograma de decisão do motorista	32
Figura 5 – Dashboards FlexSim®	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Trecho do anexo III da lei nº 12.236	14
Quadro 2 – Dimensões mínimas para vagas	15
Quadro 3 - Informações resumidas sobre os trabalhos correlatos	24
Quadro 4 – Descrição objetos FlexSim®	29
Quadro 5 - Comparativo entre cenários	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cenários atuais.....	35
Tabela 2 – Novos cenários.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO GERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 ESTACIONAMENTOS	13
2.1.1 Dimensionamento de Estacionamentos.....	14
2.2 CAPACIDADE.....	15
2.2.1 Planejamento e Gerenciamento da Capacidade.....	16
2.3 SIMULAÇÃO	17
2.3.1 Modelos	19
2.4 TRABALHOS CORRELATOS.....	20
3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
4 METODOLOGIA.....	27
4.1 COLETA DE DADOS	27
4.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS	28
4.3 DEFINIÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE.....	29
4.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	30
4.5 CRIAÇÃO DE NOVOS CENÁRIOS	33
4.6 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS.....	42
ANEXO A - Imagem do modelo de simulação construído no FlexSim®	46

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana tem se tornado um dos grandes problemas nas cidades brasileiras, fato esse que pode ser atribuído ao crescente aumento no número de veículos em circulação no país somado a limitação do espaço físico nas cidades.

Segundo o Departamento de Trânsito do Paraná (DETRAN-PR) em 2019, somente no estado do Paraná existe uma frota com aproximadamente 7.296.744 veículos circulantes, um aumento de mais de 3% com relação ao ano anterior e que só vem crescendo com o passar dos anos.

Esse aumento de veículos nas cidades acaba gerando um aumento expressivo na demanda por estacionamentos, o que resulta em diversos problemas, como congestionamentos, vias superlotadas, aumento na poluição ambiental, entre outros. E com o crescimento contínuo da população, o problema acaba por se agravar cada vez mais. (BANERJEE; AL-QAHERI, 2011).

Para o caso específico de estacionamentos em universidades esse problema pode ser visto de forma análoga. Segundo Sweet e Ferguson (2019), as universidades representam grandes polos geradores de viagens, pois criam grande concentração de tráfego, por serem grandes centros estudantis e geradores de empregos.

Desta maneira assim como nas grandes cidades, o crescimento das universidades acaba gerando um aumento na demanda por vagas dentro dos estacionamentos universitários, acarretando em problemas devido a limitação da capacidade nos estacionamentos.

Indo ao encontro desse problema, a simulação, busca através de uma análise das variáveis que atuam no estacionamento, compreender melhor o cenário atual para que assim possa ser feito um gerenciamento eficiente da capacidade. Cabe ressaltar ainda, que uma das maiores vantagens da simulação é a economia de recursos, pois trabalhar com problemas de grande complexidade geralmente é inviável sem a simulação. (VO; WAERDEN; WETS, 2016).

Desta forma a simulação é uma importante ferramenta no estudo da capacidade, pois possibilita compreender melhor os processos envolvidos nos estacionamentos, identificando filas e congestionamento e alertando assim uma possível demanda excedente à capacidade. (SCHULZ *et al*, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho visa responder à seguinte questão: **Como a simulação de cenários pode auxiliar na análise da capacidade de estacionamentos universitários?**

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a capacidade por meio da simulação de cenários no estacionamento de uma universidade pública localizada no norte do Paraná.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar todas as características envolvidas para a simulação de estacionamentos;
- Levantar dados relacionados ao estacionamento da universidade para as simulações;
- Simular os cenários que possam caracterizar as situações possíveis no estacionamento;
- Comparar os resultados obtidos entre todos os cenários analisados.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo Klappenecker, Lee e Wesh (2014) procurar por uma vaga pode resultar em muito mais do que apenas desperdício de tempo. Quando um motorista inicia sua busca por uma vaga, automaticamente está despendendo tempo, combustível, deslocamento e ainda emitindo gases nocivos à atmosfera.

Vo, Waerden e Wets (2016) também alertam para a influência que a busca por vagas pode ter em acidentes, sendo responsável desde pequenas colisões até incidentes mais graves.

Outro ponto importante é que devido à crescente demanda por estacionamentos, a busca por soluções que satisfaçam essa demanda tem se tornado frequente. A expansão da capacidade muitas das vezes parece ser a opção mais óbvia, entretanto para isso são necessários diversos recursos como, financeiros, humanos e tempo. (VO; WAERDEN; WETS, 2016).

A simulação computacional se apresenta como importante ferramenta no estudo de problemas envolvendo a capacidade. Sua eficiência se dá pelo fato de possibilitar, tanto a análise de cenários atuais, como possíveis cenários que venham a surgir, auxiliando assim propostas de melhoria e otimização da capacidade. (HARRIS; DESSOUKY, 1997).

Desta forma, seja em uma grande metrópole ou no estacionamento de uma pequena universidade, o estudo da capacidade desempenha um papel importante na elaboração de um planejamento adequado que evite assim futuros problemas relacionados a este tema.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho se divide em sete seções.

A seção 1 compreende a introdução, objetivos geral e específicos, assim como a justificativa.

A seção 2 compreende o referencial teórico, onde foram apresentados os assuntos mais relevantes à pesquisa, como estacionamentos, capacidade, simulação e trabalhos correlatos.

A seção 3 apresenta a descrição do estacionamento em estudo.

A seção 4 transcorre sobre a metodologia utilizada no trabalho.

A seção 5 apresenta os resultados e discussões.

A seção 6 elenca as considerações finais.

A seção 7 exhibe todas as referências utilizadas no trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo discorre sobre as características de estacionamentos, análise da capacidade, simulação e alguns trabalhos correlatos.

2.1 ESTACIONAMENTOS

Um estacionamento pode ser descrito como um conjunto de vagas que tem por objetivo abrigar veículos de forma temporária, acomodando-os assim apenas por determinado período. (BRASILEIRO; DE ASCENÇÃO; ROSIN, 2014).

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), em seu anexo I, estacionamento pode ser definido como “imobilização de veículos por tempo superior ao necessário para embarque ou desembarque de passageiros.” (BRASIL, 1997).

Estacionamentos são classificados principalmente em função da sua localização, podendo esses serem em locais públicos ou privados. Estacionamentos públicos são aqueles onde qualquer automóvel pode fazer sua utilização, desde que obedeça às restrições que nele possam ser impostas, como horário de estacionamento, taxas para uso de vagas, tempo máximo de permanência do veículo no local e até mesmo o tipo do veículo. Existem casos especiais em que alguns estacionamentos são regulamentados por lei para uso de veículos exclusivos, como ambulâncias, táxis, ônibus e demais veículos que prestem serviços à comunidade. (ELIAS, 2001).

Já os estacionamentos privados são destinados ao uso particular, surgindo principalmente devido ao excesso de demanda por vagas que não consegue ser absorvida pelos estacionamentos públicos. Surgem assim estacionamentos voltados para exploração comercial, como garagens e parques de estacionamento e até mesmo integrados a estabelecimentos comerciais, como lojas, supermercados e shoppings. (ELIAS, 2001).

2.1.1 Dimensionamento de Estacionamentos

Quando se projeta um estacionamento o principal objetivo é utilizar da melhor forma possível o espaço físico disponível, entretanto quando se trata do dimensionamento, existem normas e regulamentações a serem seguidas, podendo essas variar de acordo com o país, estado ou município onde está situado o estacionamento. (DUVANOVA *et al.*, 2016)

No município de Londrina, no norte do Paraná a Lei nº 12.236 de Uso e Ocupação do Solo, de Janeiro de 2015, determina o número mínimo de vagas destinadas ao estacionamento de veículos de acordo com o local e uso. Um trecho relativo à categoria de edificações para fins educacionais, pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Trecho do anexo III da lei nº 12.236

CATEGORIA	USO / OCUPAÇÃO	NÚMERO DE VAGAS PARA ESTACIONAMENTO OU GARAGEM
Edificações para fins educacionais	Instituição de Ensino Pré-Escolar	1 vaga a cada 70m ² de área construída
	Instituição de Ensino Fundamental (1 ^a a 9 ^a séries)	1 vaga a cada 60m ² de área construída
	Instituição de Ensino Médio (1 ^o ao 3 ^o colegial)	1 vaga a cada 50m ² de área construída
	Instituição de Ensino Superior	1 vaga a cada 30m ² de área construída
	Instituição de Ensino Profissionalizante, Técnico, Supletivo, Pré-vestibular e de Idiomas	1 vaga a cada 50m ² de área construída

Fonte: Londrina (2015).

Com relação as dimensões das vagas dos estacionamentos o Código de Obras e Edificações do Município de Londrina, de 2011 determina algumas medidas mínimas a serem adotadas de acordo com o tipo da vaga. As medidas podem ser vistas no Quadro 2, todas dadas em metros.

Quadro 2 – Dimensões mínimas para vagas

DIMENSÕES	ÂNGULO		
	30°	45°	90°
Largura	2,30	2,30	2,30
Comprimento	4,60	4,60	4,60
Espaço de manobra	4,00	3,50	5,00

Fonte: Autor (2019).

A legislação também aborda a necessidade da destinação de vagas para pessoas portadoras de necessidades especiais.

De acordo com a Lei Federal nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000 e a Lei Federal 10.741, datada de 1 de outubro de 2003, fica estabelecida a obrigatoriedade da destinação em estacionamentos de uso público de 2% das vagas para pessoas portadoras de deficiência e 5% das vagas para uso exclusivo de idosos.

2.2 CAPACIDADE

De acordo com Peinaldo e Graeml (2007), o termo capacidade mencionado de forma isolada acaba sendo associado a algo estático, fixo. Entretanto, por mais que essa medida possa ser útil em muitas situações, ela deve ser entendida apenas como um limite superior ou uma restrição à capacidade. Assim, para que o conceito de capacidade fique completo é necessário muitas vezes incorporar a dimensão tempo, transformando esse valor estático em uma medida dinâmica. Utilizando-se do exemplo presente neste trabalho, um estacionamento pode ser descrito como capaz de acomodar 300 veículos, porém o mesmo tem capacidade para processar mais de 2400 veículos, dado um período de oito horas, onde cada veículo permanece no máximo uma hora estacionado.

Moreira (2012, p. 137) define capacidade como a “quantidade máxima de produtos e serviços que podem ser produzidos em uma unidade produtiva, em um dado intervalo de tempo”. Reforçando assim que a capacidade é uma medida que se refere a um limite superior no qual uma unidade produtiva pode suportar,

entendendo-se por unidade produtiva, tanto uma máquina como, um hospital, uma fábrica ou mesmo um estacionamento. (MOREIRA, 2012).

Essa associação do tempo à capacidade é muito importante, principalmente no setor de serviços, no qual determinar a capacidade geralmente não é tarefa simples, devido à natureza intangível presente nos serviços e ao fato da maioria dos casos, a capacidade estar ligada diretamente ao nível das instalações. Assim, pode-se concluir que a capacidade nas organizações de serviço está associada a uma quantidade máxima que uma atividade de valor pode atingir, através de um nível preestabelecido de mão de obra, equipamento e instalações. (LOVELOCK, 1992).

2.2.1 Planejamento e Gerenciamento da Capacidade

A capacidade tem como objetivo principal, oferecer suporte para que a demanda possa ser suprida. Dessa forma, um planejamento eficiente, assim como um gerenciamento da capacidade se fazem fundamentais para que a demanda possa ser satisfeita.

O planejamento da capacidade envolve decisões extremamente importantes que afetam diretamente as organizações e seus processos a longo prazo. Sua importância se inicia na fase do projeto, onde devem ser consideradas as implicações que as presentes decisões venham a ter no futuro. Portanto, uma visão a nível macro é essencial, considerando potenciais demandas, espaço físico necessário, mão de obra disponível e até mesmo o cumprimento de normas técnicas e legislações, como leis de zoneamento de terras, código de obras, regulamento de acesso a deficientes, requisitos de segurança, entre outras. (PULLMAN; RODGERS, 2010).

Jakubovskis (2017) reforça a importância das decisões de planejamento a longo prazo, principalmente envolvendo localização e ampliações, pois essas estão diretamente relacionadas aos fatores econômicos e ao atendimento da demanda e conseqüentemente, a competitividade nas organizações.

Grande parte dos modelos de planejamento de capacidade partem de ideias genéricas utilizadas para produtos. No entanto, no setor de serviços, fatores como a localização e a incerteza na demanda tornam-se ainda mais preponderantes ao

planejamento, pois devido à capacidade ser utilizada somente quando solicitada pela demanda é praticamente impossível a utilização de estoques para absorver flutuações na demanda. O fato de serviços serem consumidos quase que instantaneamente após sua produção também inviabiliza seu envio para o atendimento de outros mercados, como ocorre no setor de bens. (BERMAN; GANZ; WAGNER, 1994).

Dessa forma o planejamento da capacidade não envolve apenas o dimensionamento de instalações e processos, mas uma análise aprofundada dos fatores associados à demanda e suas implicações a longo prazo. De forma similar, o gerenciamento da capacidade busca planejar a gestão da capacidade disponível à curto prazo.

A principal dificuldade na gestão da capacidade no setor de serviços está vinculada principalmente a dois fatores, perecibilidade dos serviços citada anteriormente, e incerteza na demanda. Diferente do setor de bens, o setor de serviços é impossibilitado de utilizar de estoques para absorver as flutuações nas demandas, dessa forma, precisa utilizar de outras estratégias para tentar sincronizar capacidade e demanda. (ADENSO-DÍAZ; GONZÁLEZ-TORRE; GARCÍA, 2002).

Existem inúmeras políticas utilizadas na gestão da capacidade a curto prazo, no entanto elas basicamente seguem duas abordagens, gerenciamento da demanda com a capacidade disponível, na qual se utiliza de métodos de previsão de demanda e políticas de mercado, e através do gerenciamento da oferta de capacidade, utilizando a alocação de recursos buscando flexibilizar a capacidade. (ADENSO-DÍAZ; GONZÁLEZ-TORRE; GARCÍA, 2002).

2.3 SIMULAÇÃO

Para definir simulação, primeiro é necessário introduzir o conceito de sistema, o qual segundo Law e Kelton (1991) pode ser interpretado como um conjunto de entidades que agem e interagem entre si com um objetivo em comum, como máquinas, pessoas ou mesmo uma instalação ou processo. Um sistema pode ser classificado como discreto ou contínuo, de modo que em um sistema contínuo as variáveis de estado mudam continuamente com o tempo, diferente de um sistema

discreto, onde as variáveis de estado se alteram mediante a ocorrência de eventos, em pontos separados no tempo. Utilizando-se do exemplo do presente trabalho, pode-se dizer que as variáveis do sistema (estacionamento) como número de vagas ocupadas e veículos aguardando vagas, se alteram quando um veículo entra ou sai do sistema, caracterizando um evento.

Simulação então pode ser descrita como uma técnica científica de gerenciamento, utilizada para analisar e compreender sistemas complexos, através da reprodução do seu comportamento ao longo do tempo, por meio de um modelo. (WINSTON, 2004).

Segundo Da Silva *et al* (2011, p. 3) “a proposta da simulação é produzir dados que, quando analisados, identificarão importantes aspectos do sistema estudado, auxiliando na explicação, compreensão e melhoria do mesmo.”

De acordo com Saidabad e Taghizadeh (2015) a simulação é uma imitação do comportamento de um sistema ao longo do tempo, na qual é possível analisar grandes períodos em poucos segundos, através do uso de modelos computacionais, possibilitando assim investigar cenários e consequências de possíveis alterações que venham a ser realizadas no sistema.

A simulação pode ser comparada a um processo de amostragem, onde através de uma amostra é possível se obter boas estimativas sobre a população. O modelo de simulação seria uma amostra, a qual teria a função de representar o comportamento do sistema (população), visando obter boas estimativas do comportamento do sistema, a partir de diversas execuções da simulação, o que seria equivalente a aumentar o número de amostras para atingir resultados mais próximos dos reais. (WINSTON, 2004).

Atualmente existem diversos *softwares* que auxiliam no processo de simulação, possibilitando análises detalhadas através de interfaces gráficas, trazendo mais simplicidade e eficiência ao processo de simulação, como por exemplo o Arena®, o ProModel® e o FlexSim®. (LIMA *et al*, 2015).

2.3.1 Modelos

A simulação é uma abordagem experimental que envolve a construção de um modelo que imite o comportamento do sistema de interesse, buscando resumir seu funcionamento para melhor compreensão do mesmo. (BANKS, 2000). Um modelo é uma representação de um sistema de forma simplificada para realização de estudos que seriam impraticáveis ou impossíveis no sistema real, devido a fatores econômicos, de segurança ou mesmo legais. Um bom exemplo são projetos e sistemas que muitas das vezes existem apenas em conceito. (WHITE; INGALLS, 2009).

Segundo Da Silva *et al* (2011, p. 4) “o modelo de simulação busca absorver o comportamento do sistema real com todas as suas aleatoriedades, e assim representar virtualmente com base nestes dados de entrada de modo que o modelo seja o mais representativo possível”.

Vale destacar que modelos muito simples, podem ser estudados de forma analítica, através de métodos matemáticos, como álgebra e cálculo. Entretanto, grande parte dos sistemas atualmente possuem grande complexidade, fazendo-se necessário o uso de simulação para obtenção de resultados satisfatórios. (LAW; KELTON, 1991).

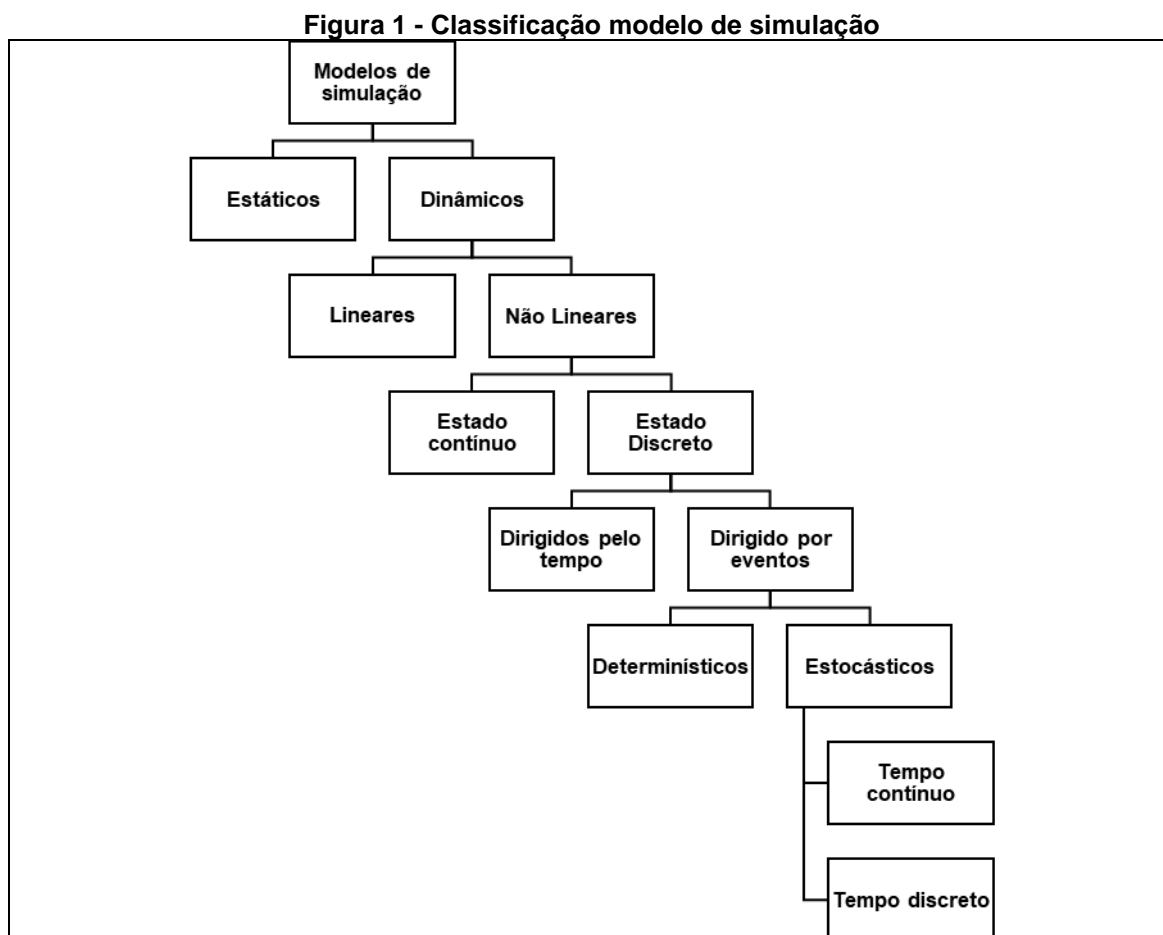
Modelos podem ser classificados de acordo com as características que apresentam. Por exemplo, com relação ao tempo, pode-se classificar modelos em Estáticos ou Dinâmicos. Em um modelo estático, o tempo não desempenha papel relevante, devido ao mesmo representar um ponto fixo no tempo, enquanto um modelo dinâmico é totalmente dependente do tempo, pois tem como objetivo analisar o comportamento de sistemas ao longo do tempo. (GAVIRA, 2003).

Outra maneira de se classificar modelos é através do tipo de variável analisada de acordo com sua variação no tempo, podendo essa ser Contínua ou Discreta. O modelo contínuo, apresenta uma variável que muda continuamente ao longo do tempo na simulação e discreta uma variável que se modifica de maneira finita, contável ao longo do tempo. (GAVIRA, 2003).

Existem ainda os modelos Determinísticos ou Estocásticos, que se diferem pelo estado de suas variáveis, de maneira que em um modelo Determinístico não existem variáveis aleatórias, sendo as variáveis de entrada conhecidas resultando em um conjunto de saída único. Já o modelo estocástico trabalha com variáveis

aleatórias devido a seus parâmetros seguirem uma distribuição de probabilidade, resultando conseqüentemente em saídas aleatórias, gerando assim resultados estimados e não exatos. (GAVIRA, 2003).

Existem diversas classificações de modelos que, variam de acordo com o autor. A Figura 1, representa a variedade de classificações relacionadas a modelos.



Fonte: Gavira (2003)

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Nesta seção estão descritos os trabalhos mais relevantes encontrados na literatura que embasaram tanto a fundamentação teórica como a metodologia deste trabalho.

Groke *et al.* (2017) utilizaram simulação, para realização de um estudo de capacidade no estacionamento de uma universidade em Volta Redonda – RJ. O objetivo principal foi determinar a taxa de ocupação do estacionamento em

diferentes dias e turnos da semana, além de analisar diversos cenários criados a partir da elevação da taxa de chegada de veículos. O processo de simulação foi estruturado em cinco etapas (definição do objetivo, definição das distribuições de probabilidade, construção do modelo de simulação, verificação e validação, e análise dos resultados). O *software* utilizado foi o ProModel® e os resultados obtidos mostraram que em dois dias da semana (terça e quarta-feira) pode-se observar uma maior lotação, mas em geral a partir de uma taxa de ocupação de 67% já é possível identificar a formação de filas nos demais dias e cenários, caracterizando a lotação do estacionamento.

Harris e Dessouky (1997), aplicaram simulação através da linguagem SIMAN para avaliar futuras opções de layout para um estacionamento em uma universidade de Miami. O principal objetivo do trabalho foi maximizar a disponibilidade de vagas e reduzir o número de motoristas que desistem de estacionar. No estacionamento da universidade são utilizadas *tags* para delimitar as áreas das vagas e através da manipulação dessas *tags* foram propostos três projetos alternativos de layout, os quais foram analisados e comparados junto ao layout atual. O estudo concluiu através dos resultados da simulação que o melhor projeto seria o terceiro, pois reduziria o número de carros que desistem de estacionar e ainda incentivaria os estudantes de graduação a utilizarem o serviço de metrô.

Michelon *et al.* (2011) analisam o problema de filas no estacionamento de um templo religioso no município de São Paulo. O problema deu-se devido à ocorrência de dois cultos seguidos no domingo e o objetivo principal do trabalho foi utilizar o método de simulação no estudo e análise do processo de formação de filas no estacionamento do templo. Utilizou-se o *software* Arena 12.0 para desenvolver a simulação de um modelo conceitual que havia sido criado inicialmente e assim conduzir três tipos de experimentos. Através da análise do tempo médio na fila e fila máxima em cada um dos experimentos, os autores concluíram que a opção de adiantar o término do primeiro culto em 20 minutos seria a melhor alternativa para o problema, já que a mesma apresentou resultados de redução de 49% no tamanho da fila máxima e 44% no tempo médio de fila.

Schulz *et al.* (2015) realizaram um estudo de capacidade através de simulação em um estacionamento de uma universidade do litoral de Santa Catarina. O estacionamento é administrado por uma concessionária terceirizada, porém vinha

enfrentando grande insatisfação dos usuários, devido à alta demanda por vagas, o que resultava em problemas como, superlotação, dificuldades para encontrar vagas e desrespeito as áreas exclusivas/reservadas. Assim, o objetivo principal do trabalho foi analisar o cenário atual, identificando filas, gargalos e atrasos e assim desenvolver um modelo que melhore o funcionamento do estacionamento, aumentando a satisfação dos usuários. Através do *software* Arena 14.7 foi realizada a simulação do cenário inicial, onde observou-se que a principal causa dos problemas é a falta de gerenciamento da ocupação do estacionamento, evidenciados pelo alto número de carros que saem sem estacionar ou permanecem aguardando vagas. Após a simulação do novo modelo, pôde-se observar um aumento no número de carros que saem sem estacionar, o que pôde ser explicado pelo fato dos usuários não perderem mais tempo à procura de vagas quando o estacionamento já está lotado, resultando assim em uma redução significativa no fluxo de veículos dentro do estacionamento e conseqüentemente um aumento na satisfação dos usuários.

Ribeiro, Pinto e Peixoto (2016) apresentaram um estudo sobre um subsistema de acesso e regresso do aeroporto regional de Uberlândia. O estudo buscou oportunidades de melhoria na infraestrutura de entrada e saída de veículos no aeroporto, pois esse subsistema desempenha papel fundamental para o bom funcionamento do aeroporto como um todo. O principal problema nesse subsistema acontece quando ocorre a saída ou chegada de voos devido ao intenso fluxo de veículos que buscavam embarcar ou desembarcar passageiros. Dessa forma, os autores utilizaram simulação (via *software* Arena) aliada à teoria de filas para analisar o comportamento do subsistema e sugerir alternativas que amenizem o problema. Os resultados apresentaram uma maior utilização da área identificada no estudo como A1, pois esta era mais próxima aos portões de acesso do aeroporto. Por meio da análise desses problemas, foram criados três cenários, onde o primeiro simulou a construção de cinco novas vagas em A1, o segundo considerou a presença de um fiscal, com finalidade de inibir motoristas de estacionarem irregularmente e o terceiro propunha a adição de uma via de acesso ao subsistema. A partir de dados fictícios, os cenários foram classificados através do uso das vagas irregulares, sendo o cenário dois considerado o melhor, pois reduziu significativamente o uso de vagas irregulares (55%), seguido do cenário três (44%).

Vo, Waerden e Wets (2016) utilizaram um estudo de caso realizado por Waerden *et al.* (2003), em um grande estacionamento na cidade de Eindhoven (Holanda) para desenvolver uma microssimulação de movimentos de motoristas no estacionamento. O principal objetivo foi compreender melhor os movimentos dos motoristas, assim como seus efeitos no gerenciamento do estacionamento usando a ferramenta NetLogo. Através das informações obtidas no estudo do estacionamento em Eindhoven, calculou-se a taxa com que os carros entravam no estacionamento e criou-se as regras de movimento da simulação, destacando três fatores como principais influentes nas escolhas de vagas (pagamento do ingresso, sexo do motorista e tamanho do carro). Quatro cenários foram criados com a mesma proporção de tamanho de carros, necessidade de ingressos e sexo do motorista. Os resultados mostraram que a duração máxima do estacionamento, assim como o limite de velocidade afetavam diretamente a eficiência do estacionamento, de modo que o aumento da velocidade ajudava os veículos a economizarem tempo para encontrar vagas, mas diminuía-se a ocupação média do estacionamento.

De Sousa e Wolff (2018) utilizaram a simulação na análise e avaliação do problema de rotatividade de veículos em um pátio de estacionamento na faculdade Estácio de São Luís – MA. O objetivo do trabalho foi estudar a demanda de vagas na faculdade e a satisfação dos usuários do estacionamento buscando ao final proporcionar aos gestores da instituição uma gama de propostas de melhoria. Inicialmente foram coletados dados através da aplicação de questionários aos usuários, onde por meio de uma amostra puderam-se extrair os dados necessários para criação do modelo de simulação computacional. Utilizando o *software* Arena pôde-se simular e analisar o comportamento do cenário atual, o qual apresentou alta taxa de utilização, gerando filas e congestionamentos. Em seguida foram propostos dois cenários, criados a partir de mudanças no layout e capacidade do estacionamento, os quais geraram resultados positivos apontando para a possibilidade de uma eficiente melhora no cenário atual.

As informações mais relevantes sobre os trabalhos correlatos utilizados nesse trabalho encontram-se sumarizadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Informações resumidas sobre os trabalhos correlatos

Autores	Objetivos	Software utilizado
Groke <i>et al.</i> (2017)	Determinar a taxa de ocupação de um estacionamento universitário em diferentes dias e turnos da semana, além de analisar diversos cenários criados a partir da elevação da taxa de chegada de veículos	ProModel®
Harris e Dessouky (1997)	Analisar projetos de layout para um estacionamento universitário afim de maximizar a disponibilidade de vagas e reduzir o número de motoristas que desistem de estacionar	SIMAN
Michelon <i>et al.</i> (2011)	Utilizar a técnica de simulação no estudo e analisar o processo de formação de filas no estacionamento de um templo	Arena®
Schulz <i>et al.</i> (2015)	Analisar o cenário atual de um estacionamento universitário, identificando filas, gargalos e atrasos e assim desenvolver um modelo que melhore o funcionamento do estacionamento, aumentando a satisfação dos usuários	Arena®
Ribeiro, Pinto e Peixoto (2016)	Analisar oportunidades de melhoria na infraestrutura de entrada e saída de veículos em um aeroporto	Arena®
Vo, Waerden e Wets (2016)	Compreender melhor os movimentos dos motoristas, assim como seus efeitos no gerenciamento do estacionamento usando a ferramenta NetLogo	NetLogo
De Sousa e Wolff (2018)	Analisar o pátio do estacionamento de uma universidade buscando elencar oportunidades de melhoria	Arena®

Fonte: Autor (2019).

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estacionamento estudado neste trabalho localiza-se em uma universidade no norte do Paraná e pode ser dividido em três níveis dispostos ao longo da rampa de acesso, os quais se ramificam em seis áreas de estacionamento separadas pela rampa. O primeiro nível é reservado exclusivamente para professores e servidores do campus, mas também acaba sendo utilizado por idosos e pessoas com deficiência por proporcionar um acesso facilitado aos blocos. O segundo nível é destinado a alunos e pode ser utilizado nas duas extremidades, proporcionando vagas em 90 graus em ambas e ainda espaço para um fluxo de carros nos dois sentidos. O terceiro nível foi liberado recentemente e também é destinado a alunos, porém nele as vagas são dispostas em apenas uma das extremidades, devido ao espaço ser menor e para que se consiga manter o fluxo nos dois sentidos.

Cabe ressaltar que as vagas do estacionamento não possuem delimitação, cabendo aos usuários julgarem a melhor distância entre os carros na hora de estacionar seus veículos.

A Figura 2 mostra o campus visto por satélite, os retângulos vermelhos destacam as duas áreas de estacionamento do primeiro nível, os verdes as do segundo nível e as azuis do terceiro nível.

Figura 2 – Estacionamento visto por satélite



Fonte: Google Earth (2019)

Tanto a entrada como a saída de veículos do campus ocorrem por uma passagem que liga a via pública ao campus. Para entrar no campus o veículo necessita ainda de um adesivo, que identifica o usuário como aluno ou servidor da universidade, o qual é verificado por guardas na entrada. Após adentrar o campus o usuário segue pela rampa que dá acesso as áreas de estacionamento, optando por um dos três níveis, tanto do lado direito como esquerdo da rampa. Após escolher o nível o usuário inicia o processo de busca por uma vaga, onde estaciona seu veículo, o qual permanece na vaga até o usuário encerrar suas atividades no campus.

4 METODOLOGIA

Para realização deste trabalho algumas etapas fundamentais foram desenvolvidas, partindo da coleta de dados e em seguida foram definidas as distribuições de probabilidade, as quais foram implementadas na construção do modelo computacional. Por fim foram criados e simulados os novos cenários, possibilitando então a análise e comparação com o estado inicial.

4.1 COLETA DE DADOS

Inicialmente coletaram-se os dados que seriam necessários para criação do modelo computacional, como horários de entrada e saída de veículos os quais seriam transformados posteriormente em distribuições de probabilidade para representar a entrada e o tempo estacionado de cada veículo. Essa coleta foi realizada no estacionamento do campus na semana de 23/09/2019 a 27/09/2019 (segunda-feira a sexta-feira), iniciando as 7 horas da manhã (horário que marca o início do período matutino) e terminando às 18 horas e 40 minutos (horário de transição para o período noturno).

Os dados foram coletados por meio do registro das placas e horários de entrada e saída dos veículos de forma manual, sendo posteriormente tabulados para meio digital para que pudessem ser tratados. Cabe ressaltar que foram excluídos os veículos de professores, servidores e quaisquer outros que não fossem de alunos, pois o estudo busca analisar apenas os níveis dois e três do estacionamento, destinados aos alunos. Outro ponto importante que deve ser mencionado é que a partir das 18 horas, apenas registravam-se as saídas de veículos, pois nesse horário inicia-se a chegada de alunos do período noturno que em muitos casos chegam mais cedo para jantar no restaurante do campus, acabando assim por afetar os dados coletados uma vez que o estudo busca analisar o comportamento dos alunos dos períodos matutino e vespertino.

Os dados referentes às entradas de veículos não necessitaram de tratamento, pois os adesivos de identificação de veículos dos alunos e servidores do campus são diferentes, permitindo no momento do registro já realizar essa

separação entre os dois tipos de veículos. Dessa forma, apenas foi necessário agrupar os carros de acordo com os respectivos horários de entrada.

Para a obtenção do tempo estacionado dos veículos, foram associados os horários de entrada e saída de cada placa anotada, onde através da diferença entre os dois encontrou-se o tempo em que o veículo permaneceu no estacionamento. Entretanto, na semana em que foi realizada a coleta, um portão utilizado para serviços permaneceu aberto em determinados momentos para que alguns veículos que trabalhavam em obras no campus pudessem circular sem atrapalhar o fluxo de veículos da entrada, o que acabou possibilitando a saída de alguns veículos sem que houvesse o registro. Dessa forma, as placas que não tiveram um horário de saída associado a um de entrada, foram excluídas. Também foram desprezados veículos que permaneceram por menos de vinte minutos estacionados, pois em alguns casos o veículo apenas adentrava o campus afim de deixar o estudante ou até mesmo para alguma atividade momentânea, como entregar um documento, por exemplo.

4.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS

A principal ferramenta utilizada nesse estudo foi o software de simulação FlexSim® 2019, o qual possibilitou a criação e simulação do modelo, assim como a análise dos dados e construção de cenários. O FlexSim® (FlexSim Software Products, Inc., disponível em: <https://www.flexsim.com/pt/>) é disponibilizado pela universidade e conta com uma interface simples e amigável ao usuário possibilitando a criação desde modelos mais simples, até os mais avançados. Dessa forma, optou-se por utilizar o FlexSim®, devido a sua simplicidade e o fato da universidade possuir a licença do *software*.

Através de uma superfície de simulação o *software* busca reproduzir a disposição física do sistema modelado, utilizando objetos classificados em três categorias principais (*Flow items*, *Fixed Resources* e *Task Executors*) que podem representar desde produtos, máquinas e estoques, até esteiras, robôs, empilhadeiras, entre outros.

Para este trabalho, pode-se destacar seis objetos como os mais relevantes na construção do modelo, sendo esses *Flow itens*, *Source*, *Queue*, *Processor*, *Conveyor* e *Sink*. O Quadro 4 apresenta de forma resumida a descrição de cada um desses objetos.

Quadro 4 – Descrição objetos FlexSim®

Objetos	Descrição
<i>Flow itens</i>	Objetos que se movem pelo modelo, podendo representar produtos, caixas e etc.
<i>Source</i>	Responsável pela criação de <i>flowitens</i> e sua inserção no modelo
<i>Queue</i>	Armazena <i>flowitens</i> até que possam ser enviados para outro objeto, representando uma fila ou mesmo estoques
<i>Processor</i>	Tem a função de processar <i>flowitens</i> , agindo como máquinas, executadores de processos dentro do modelo
<i>Conveyors</i>	Representam esteiras, que tem função de guiar os <i>flowitens</i> pelo modelo
<i>Sink</i>	Responsável por remover os <i>flowitens</i> do modelo

Fonte: Autor (2019).

O programa ainda possibilita a análise de dados estatísticos em tempo real, através de coletores de dados chamados *Dashboards* que podem ser inseridos no modelo, possibilitando análises como, tempo médio de processamento de determinado produto, tempo ocioso de uma máquina, entre outras.

Outro importante recurso disponibilizado pelo FlexSim® é o ExpertFit, um *software* de aderência estatística que possibilita analisar e testar dados reais, associando-os a distribuições de probabilidade ou mesmo criando uma distribuição empírica através dos dados fornecidos pelo usuário.

4.3 DEFINIÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE

Com os dados ajustados realizaram-se testes de aderência estatísticos no *software* ExpertFit, os quais apontaram o uso de distribuições empíricas como sendo a melhor opção, já que a maioria das análises não obteve resultados satisfatórios utilizando a comparação com outras distribuições.

Entretanto, após alguns testes pode-se perceber que as distribuições referentes as entradas não representavam satisfatoriamente os dados coletados.

Dessa forma, optou-se por utilizar uma função do próprio *software* de simulação que possibilitou determinar os horários que ocorreriam as chegadas e a quantidade de veículos que chegaria naqueles determinados horários, representando assim de forma fiel os dados coletados.

Ao contrário das distribuições de entrada, as de tempo de permanência dos veículos mostraram-se coerentes com os dados coletados, sendo assim utilizadas as distribuições empíricas fornecidas pelo ExpertFit.

4.4 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Após a construção do processo de chegada e das distribuições de permanência dos veículos para cada um dos cinco dias da semana, iniciou-se a criação do layout de simulação no FlexSim®.

O modelo buscou representar da melhor forma possível o funcionamento real do estacionamento estudado, buscando simular desde a disposição física das vagas até o comportamento dos motoristas. A Figura 3 exibe uma parte do layout criado. O layout do modelo pode ser visto de forma mais completa no ANEXO A.

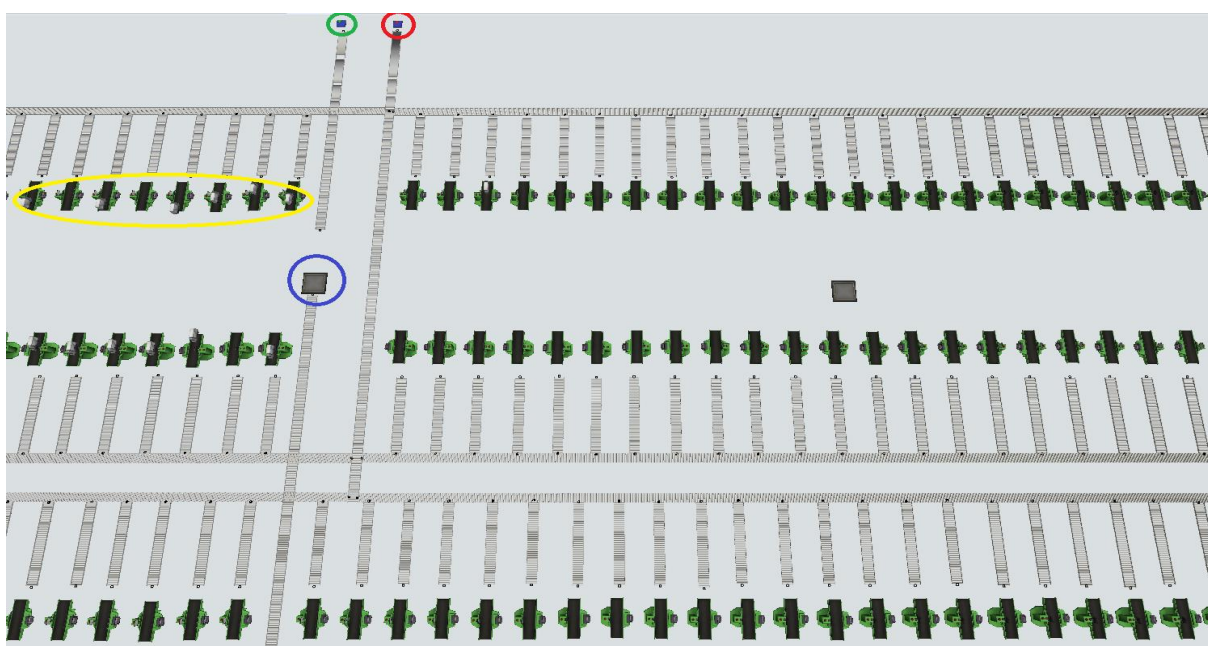
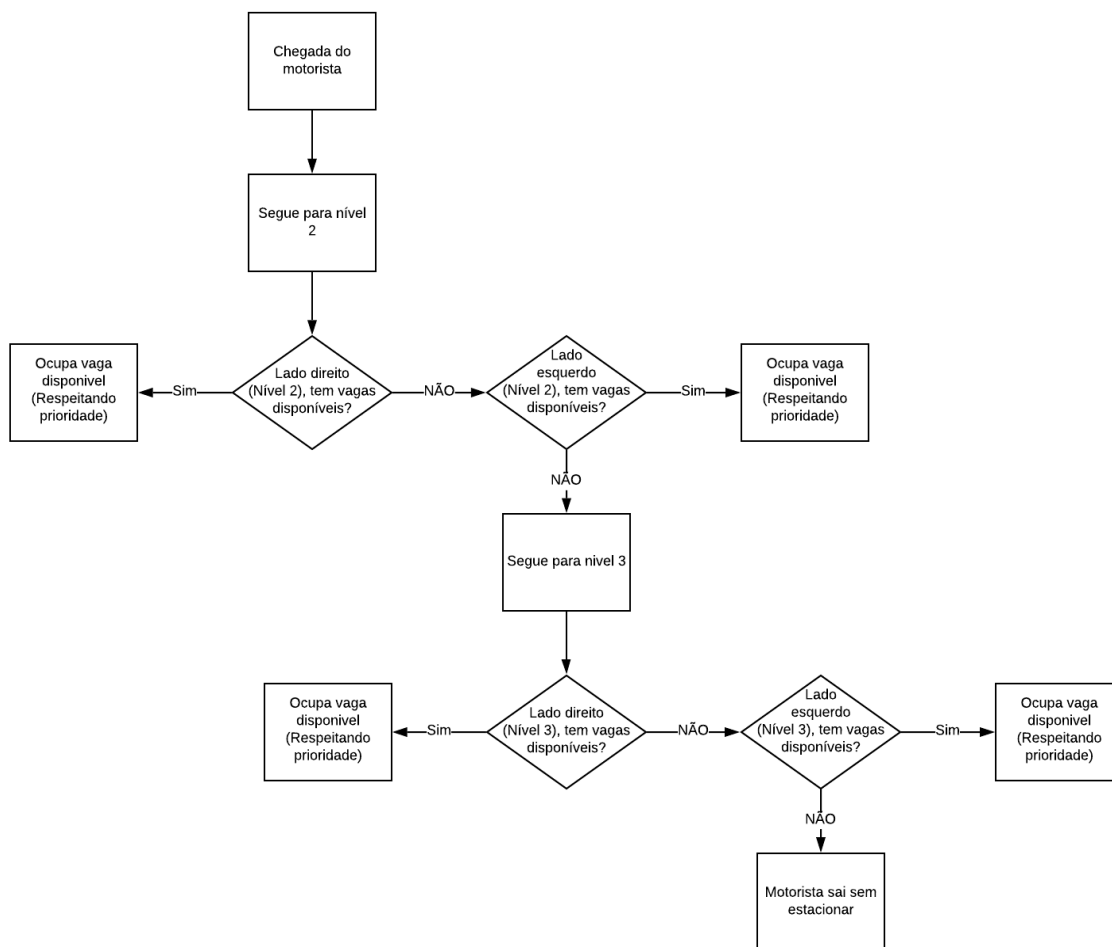


Figura 3 – Amostra layout do modelo
Fonte: Autor (2019).

A entrada foi representada no modelo com um *Source* (circulado em verde), o qual tinha a função de criar e inserir os veículos no modelo, respeitando os horários das chegadas e quantidades em cada um dos dias. O deslocamento dos veículos foi representado em sua maior parte por *Conveyors* (Esteiras prateadas dispostas por todo layout), possibilitando assim utilizar distâncias reais e ainda estabelecer uma velocidade padrão de deslocamento para os veículos. As distâncias, assim como a determinação da quantidade máxima de vagas atual do estacionamento (395 vagas) foi possível através da análise da planta baixa do campus.

As *Queue* (circuladas em azul) foram utilizadas em processos de decisão, como escolha do nível e área de estacionamento pelo motorista. O processo de decisão foi idealizado de forma a simular o comportamento observado no estacionamento de maneira que ao adentrar no campus, o motorista segue pela rampa até chegar ao segundo nível, onde analisa a disponibilidade de vagas do lado direito, optando preferencialmente pelas vagas próximas a rampa ou escadas de acesso aos blocos, caso essas vagas estejam ocupadas ele opta por outras vagas e caso todas as vagas do lado direito estejam lotadas ele opta pelo lado esquerdo, buscando preferencialmente vagas perto da rampa e no fim da extensão dessa área, por ficarem próximas ao restaurante universitário e alguns laboratórios. Caso o motorista chegue e os dois lados do segundo nível estejam lotados, ele imediatamente segue para o terceiro nível, buscando vagas do lado direito, optando preferencialmente por vagas próximas à rampa ou às escadas de acesso. Se todas as vagas do lado direito estiverem lotadas o motorista opta pelo lado esquerdo, buscando preferencialmente vagas próximas a rampa. Por fim, caso o motorista chegue ao terceiro nível e não encontre nenhuma vaga disponível, ele segue sem estacionar, buscando vagas fora do campus. Esse processo é representado por um *Sink* que registra o número de veículos que saíram sem estacionar. Esse processo de decisão pode ser exemplificado no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma de decisão do motorista



Fonte: Autor (2019).

As vagas foram representadas através de *Processors* (circuladas em amarelo), de maneira que o tempo de processamento simulasse o tempo de permanência dos veículos no estacionamento e para representar o deslocamento do veículo até a vaga, utilizou-se o tempo de setup como sendo o tempo que o veículo levaria a partir da rampa até a vaga, considerando uma velocidade de 3 metros por segundos e as distâncias obtidas através da planta baixa do campus. Depois de utilizar a vaga o veículo segue para um *Sink* que registra o número de veículos que estacionaram.

Com a criação dos modelos, realizaram-se algumas simulações para a verificação do funcionamento do mesmo, analisando se os objetos, lógicas e distribuições estavam funcionando da maneira correta. Cabe ressaltar que a partir de um modelo inicial foram criadas cinco variações, cada um representando um dos

cinco dias da semana observados, de modo que se alterava apenas os processos de entrada e as distribuições de tempo de permanência dos veículos.

O tempo de simulação foi parametrizado para parar em 42 mil segundos, representando o tempo decorrido das 7h até 18h40min.

4.5 CRIAÇÃO DE NOVOS CENÁRIOS

O campus em estudo oferece seis cursos de graduação (Engenharia Ambiental, Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Engenharia Química e Licenciatura em Química) e um tecnólogo (Tecnologia em Alimentos), sendo quatro graduações com período integral e duas mais o tecnólogo no período noturno.

O presente estudo teve foco no período integral por representar o período de maior fluxo de veículos no campus. Dessa maneira decidiu-se levantar a hipótese de um dos cursos noturnos (Engenharia de produção) ser transferido para o período integral para analisar qual seria o impacto desse aumento na demanda por vagas.

Para testar essa hipótese, foram criados outros cinco cenários (um para cada dia da semana). Esses cenários foram baseados nos cenários iniciais, porém com o acréscimo de 129 veículos que representam os alunos de Engenharia de Produção que tem seus carros registrados na universidade (dados obtidos na secretaria, pelo cadastro do adesivo de controle).

Para inserir esses 129 veículos nos modelos, foi realizado um sorteio de horários seguindo uma distribuição simples de frequência acumulada, de maneira que horários com maior incidência de veículos entrantes possuiriam maior probabilidade de serem sorteados.

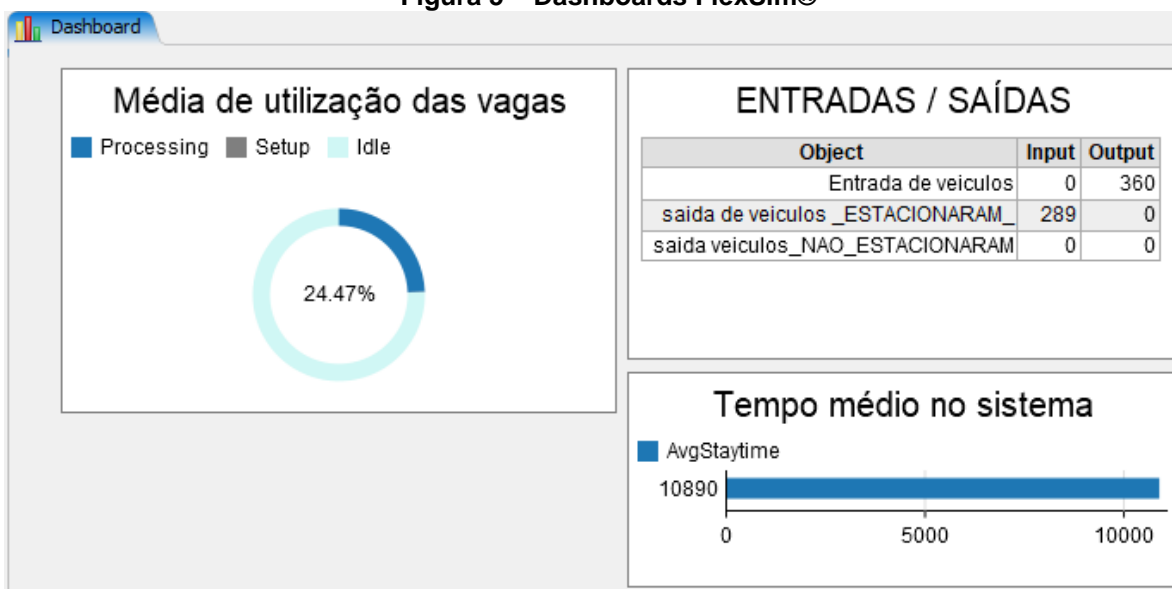
4.6 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Por fim, foram simulados todos os cenários utilizando dez computadores para analisar se haveria variabilidade nos resultados. As análises foram realizadas a partir dos *Dashboards* (ferramenta do FlexSim® que possibilita inúmeras análises

estatísticas descritivas). Algumas informações também foram obtidas através da observação do modelo, como formação de filas e taxa de ocupação em determinados horários, obtida através da interrupção da simulação e contagem das vagas ocupadas no momento (diferença de entrada e saídas de veículos, menos veículos dispersos pelo layout).

As estatísticas coletadas do modelo foram: média em que as vagas foram utilizadas, quantidade de veículos que entraram no sistema, quantidade de veículos que saíram e estacionaram, quantidade de veículos que saíram sem estacionar e tempo médio em que os veículos permaneceram no sistema. Alguns desses dados estatísticos obtidos foram convertidos de maneira a tornar mais simples seu entendimento, como exemplo a média de utilização das vagas, a qual foi multiplicada pelo total de vagas disponíveis (395 vagas) expressando assim a ocupação média de vagas no estacionamento. Outra estatística convertida foi o tempo médio no sistema, o qual foi transformado de segundos para horas, buscando facilitar sua visualização para a interpretação. A Figura 4 mostra um exemplo dos Dashboards utilizados.

Figura 5 – Dashboards FlexSim®



Fonte: Autor (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a simulação, obtiveram-se os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 e Quadro 5 a seguir. A Tabela 1 exhibe os resultados dos cenários atuais, enquanto a Tabela 2 reúne os dados obtidos através dos novos cenários. O Quadro 5 faz um comparativo dos dias e cenários em diferentes horários.

Tabela 1 – Cenários atuais

Cenários	Dados obtidos nas simulações				
	Entradas de veículos	Veículos que estacionaram	Veículos que não estacionaram	Ocupação média do estacionamento (vagas)	Média de tempo estacionado (horas)
Segunda Atual	360	290	0	103	3h 18min
Terça Atual	351	284	0	111	3h 36min
Quarta Atual	356	278	0	111	3h 36min
Quinta Atual	343	268	0	115	3h 48min
Sexta Atual	335	270	0	103	3h 30min

Fonte: Autor (2019).

Através dos dados da Tabela 1, é possível tirar algumas conclusões sobre o comportamento atual do sistema. Inicialmente pode-se observar um grande número de entradas de veículos em todos os cenários, o que pode dar a impressão de que o estacionamento está no limite da sua capacidade. Entretanto, um fato que deve ser explicado (pois não fica evidente através dos dados) é que essas entradas muitas das vezes são de um mesmo veículo que chega em determinado horário, realiza suas atividades no campus e sai, retornando mais tarde para outras atividades, como por exemplo os alunos que saem para almoçar e em seguida retornam para as aulas. Essa falsa impressão se confirma observando que em nenhum dos dias houve veículos que saíram sem estacionar, mostrando que o sistema atual não atinge sua capacidade limite. Outro ponto que reforça essa afirmação é o fato de a ocupação média do estacionamento não ser maior do que 115 vagas, o que representa pouco mais de 29% da capacidade limite (cenário de quinta-feira).

Pode-se observar também que há uma diferença entre as entradas e saídas de veículos nos cenários, isso pode ser explicado devido a alguns alunos pertencentes aos períodos matutino e vespertino cursarem matérias no período noturno também. Por fim, a última coluna da tabela indica a média de tempo em que os veículos permaneceram no estacionamento. Dessa maneira, é possível concluir que baseado nos dados apresentados, o sistema atual está longe de atingir sua capacidade limite.

A seguir, a Tabela 2 apresenta as mesmas informações, porém agora para os cenários que testam a hipótese do curso de Engenharia de Produção mudar para o período integral.

Tabela 2 – Novos cenários

Cenários	Dados obtidos nas simulações				
	Entradas de veículos	Veículos que estacionaram	Veículos que não estacionaram	Ocupação média do estacionamento (vagas)	Média de tempo estacionado (horas)
Segunda Novo	489	387	0	136	3h 12min
Terça Novo	480	379	0	147	3h 30min
Quarta Novo	485	376	0	150	3h 30min
Quinta Novo	472	360	0	151	3h 42min
Sexta Novo	464	370	0	139	3h 18min

Fonte: Autor (2019).

Com relação à entrada de veículos, os novos cenários apresentam um número ainda maior de entradas, aumentando ainda mais a falsa impressão de que o sistema está próximo de sua capacidade limite. No entanto, esse fato se deve ao acréscimo de 129 veículos aos cenários, com intuito de representar os veículos dos alunos do curso de engenharia de produção ingressantes no período integral. Cabe ressaltar que muitas das vezes, um único veículo é responsável por mais de uma entrada, o que mostra que esses números obtidos poderiam ser ainda maiores, agravando mais essa impressão de excesso de capacidade.

Dessa forma, outros indicadores se fazem extremamente importantes na análise da simulação, como por exemplo o número de veículos que não estacionaram, o qual apesar do acréscimo de 129 novas entradas, continuou zero

em todos os cenários. Outro fator que reforça mais uma vez essa constatação é a ocupação média do estacionamento que em nenhum dos novos cenários ultrapassou 151 vagas (aproximadamente 38% da capacidade limite). De forma análoga aos cenários anteriores, também é possível notar que nessa tabela há uma diferença entre entradas e veículos que saíram após estacionar (veículos que estacionaram). A explicação para isso como já citado anteriormente, é o fato de alguns alunos cursarem matérias no período noturno. Com relação à média de tempo estacionado, não houve grandes alterações devido ao fato de que os novos cenários seguem uma mesma distribuição de probabilidade dos cenários anteriores.

Além dessa análise geral dos cenários, o Quadro 5 apresenta a comparação da ocupação do estacionamento entre os dias e cenários nos horários de início e término de cada período em estudo (matutino e vespertino).

Quadro 5 - Comparativo entre cenários

Dia	Cenário	Matutino				Vespertino			
		7h30		12h50		13h00		18h20	
		Vagas ocupadas	Taxa ocupação	Vagas ocupadas	Taxa ocupação	Vagas ocupadas	Taxa ocupação	Vagas ocupadas	Taxa ocupação
Segunda	Atual	24	6%	82	21%	94	24%	83	21%
	Novo	29	7%	115	29%	133	34%	109	28%
Terça	Atual	27	7%	96	24%	106	27%	80	20%
	Novo	42	11%	140	35%	147	37%	102	26%
Quarta	Atual	18	5%	90	23%	97	25%	92	23%
	Novo	32	8%	135	34%	145	37%	116	29%
Quinta	Atual	33	8%	98	25%	101	26%	88	22%
	Novo	47	12%	143	36%	149	38%	119	30%
Sexta	Atual	39	10%	91	23%	91	23%	78	20%
	Novo	56	14%	136	34%	140	35%	98	25%

Fonte: Autor (2019).

A análise do quadro será pautada por cada um dos dias, visando uma maior clareza.

Iniciando pelos dois cenários de segunda-feira é possível observar tanto no atual como no novo uma maior ocupação no período vespertino, havendo uma concentração maior de veículos no estacionamento principalmente no início do período, às 13h. Comparando os dois cenários pode-se observar um aumento de até 10% na ocupação, que ocorre às 13h, causado pelo aumento de um curso no período.

Os cenários de terça-feira também apresentam uma maior concentração de veículos no período vespertino, principalmente em seu início às 13h, chegando a até 37% da capacidade limite no cenário novo. Comparando o cenário atual e novo, também é possível ver grandes aumentos principalmente próximos à transição de período, chegando a 11% no fim do período matutino as 12h50min.

Quarta-feira possui a menor ocupação registrada, sendo essa no início do período matutino, cerca de 5% no cenário atual, o que acaba aumentando para 8% no cenário novo com o acréscimo de mais um curso. Assim como os outros dias, quarta-feira também possui uma maior ocupação no período vespertino, destacando-se ainda no início do período um aumento significativo de 12% na taxa de ocupação do cenário atual para o novo.

Na quinta-feira pode ser observado no cenário novo as 13h a maior ocupação dentre todos os cenários, sendo 38% da capacidade limite, o que representa cerca de 150 vagas, um aumento de 12% com relação ao cenário atual.

Sexta-feira se destaca por ter as maiores ocupações no início do período matutino as 7h30min, tanto no cenário atual como no novo. Em contrapartida, possui as menores ocupações ao fim do período vespertino as 18h20min, mostrando um comportamento dos alunos, que preferem evitar aulas em horários mais próximos ao fim da tarde às sextas feiras.

De forma geral é possível observar uma maior ocupação do estacionamento no período vespertino em todos os cenários, a qual mesmo com um aumento significativo de 129 veículos nos novos cenários, não passou de 38% da capacidade limite, reforçando assim as análises realizadas nas Tabelas 1 e 2.

Outro ponto comum observado em todos os cenários é uma baixa ocupação do estacionamento no início do período matutino às 7h30min, isso pode ser explicado pelo comportamento dos alunos observado durante a coleta de dados, que evitam as primeiras aulas da manhã após os períodos iniciais da graduação, quando não há possibilidade de alteração da grade curricular. Essa situação também é agravada pelo fato, de nos períodos iniciais da graduação, normalmente os alunos não possuem habilitação, utilizando assim o ônibus como principal meio de transporte.

Por fim, após a análise de todos os dados apresentados é possível concluir sobre o estacionamento em estudo, que em nenhum dos casos houve o atingimento

do limite da capacidade, o que foi constatado pelo fato de não haver veículos que deixaram o estacionamento sem estacionar.

Outro indicador importante é ocupação do estacionamento que, tanto nos horários analisados como na média, não ultrapassou 38% da capacidade limite, mostrando que mesmo com um curso a mais, ainda seria possível suprir a demanda por vagas no período integral.

Entretanto, alguns pontos importantes devem ser ressaltados. O fato de ter se optado por um processo de chegada fixo ao invés de uma distribuição, acabou excluindo a aleatoriedade na entrada de veículos, simulando assim exatamente o processo de chegada observado no campus. Isso acabou por limitar possíveis picos de capacidade em determinados horários, assim como uma análise mais ampla através da reprodução dos cenários por diversas vezes.

Com relação ao tempo em que os veículos permanecem no estacionamento realizaram-se simulações em dez computadores distintos no laboratório da universidade, onde acabou se concluindo que não haveria aleatoriedade, pois apesar de ter sido utilizada uma distribuição criada no próprio *software*, a média de permanência dos veículos foi sempre a mesma. Porém em comparação com os dados observados na etapa de coleta, elas tiveram resultados coerentes.

Por fim, deve-se destacar a possibilidade de os resultados obtidos não refletirem o comportamento visto atualmente no estacionamento devido ao estacionamento real não possuir delimitação de vagas. Com isso, pode-se ter um número menor de vagas disponíveis do que as consideradas no modelo simulado e, conseqüentemente, aparenta uma capacidade menor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início deste trabalho, observou-se os diversos problemas que podem ser acarretados pela falta de capacidade em um estacionamento, trazendo a simulação como importante ferramenta a ser utilizada na análise de cenários, buscando assim compreender e identificar possíveis problemas no estacionamento em estudo.

Dessa maneira, através da simulação tornou-se possível compreender melhor o funcionamento do estacionamento da universidade, criando possíveis cenários e analisando seus impactos.

Os cenários foram criados a partir da hipótese do curso de engenharia de produção ser transferido do período noturno para o integral, objetivando analisar se esse aumento na demanda por vagas acarretaria em um fator limitante à capacidade, o que acabou não se confirmando, já que mesmo com um aumento de 129 veículos, nenhum dos cenários teve uma ocupação média de vagas maior que 38% ou mesmo veículos que saíram sem estacionar.

Dessa forma, foi possível concluir que tanto nos cenários atuais como nos novos cenários criados, não houve evidências de lotação do estacionamento. Tais conclusões só puderam ser obtidas, através de cinco etapas fundamentais, coleta de dados, definição das distribuições de probabilidade, construção e verificação do modelo, criação de novos cenários e análise dos resultados.

Contudo, o trabalho encontrou algumas limitações, como o fato de não haver delimitações de vagas no estacionamento real, o que torna os resultados modelo um pouco menos realistas. Na coleta de dados, houve um problema com relação aos registros de saída de alguns veículos, ocasionado pela abertura de um portão de serviços no campus, o que causou uma diminuição do número de dados para criação da distribuição de tempo de permanência. Outro fator que acabou limitando de certa maneira o estudo, foi a ausência de aleatoriedade tanto no processo de entrada, como nas distribuições de permanência.

Destaca-se ainda que todas as análises foram baseadas em dados de apenas uma semana de registros, o que acaba por não representar de forma tão fiel o comportamento do sistema em estudo ao longo do tempo.

Por fim, recomenda-se para futuros estudos nessa mesma vertente, trabalhar com uma amostra maior de dias, assim como utilizar outros métodos para

analisar a capacidade, como por exemplo a teoria de filas, para que haja uma comparação entre os resultados obtidos. Outra sugestão é a ampliação da análise, levando em consideração possíveis tempos de cancelas ou mesmo estender a análise realizada para todos os níveis do estacionamento, verificando a possível influência de um nível na lotação de outro. Sugere-se também a utilização de distribuições de probabilidade que possibilitem a inserção de aleatoriedade no modelo, buscando uma análise mais ampla.

REFERÊNCIAS

ADENSO-DÍAZ, B.; GONZÁLEZ-TORRE, Pilar; GARCÍA, Virginia. A capacity management model in service industries. **International Journal Of Service Industry Management**, [s.l.], v. 13, n. 3, p.286-302, ago. 2002.

BANERJEE, Soumya; AL-QAHERI, Hameed. An intelligent hybrid scheme for optimizing parking space: A Tabu metaphor and rough set based approach. **Egyptian Informatics Journal**, [s.l.], v. 12, n. 1, p.9-17, mar. 2011.

BANKS, Jerry. Introduction to simulation. In: Winter Simulation Conference. 2000, Orlando. **Proceedings...** Orlando: Association for Computing Machinery, 2000. p. 9-16.

BERMAN, Oded; GANZ, Zvi; WAGNER, Janet M.. A stochastic optimization model for planning capacity expansion in a service industry under uncertain demand. **Naval Research Logistics**, [s.l.], v. 41, n. 4, p.545-564, jun. 1994.

BRASIL. **Código de Transito Brasileiro** – Lei nº 9.503, 1997.

BRASIL. Lei. 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 dez. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l10098.htm. Acesso em 02 ago. 2019.

BRASIL. Lei. 10.741, de 01 de outubro de 2003. Dispõe sobre o Estatuto do Idoso e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 out. 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10741.htm. Acesso em 02 ago. 2019.

BRASILEIRO, Luzenira Alves; ASCENÇÃO, Camila Ferreira de; ROSIN, Thales Alexandre. Áreas de estacionamento para veículos de carga e descarga. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [s.l.], v. 2, n. 10, p.19-30, 2014.

DA SILVA, Marcos V. L.; MEDEIROS, Cristina P.; FREIRE, Agnaldo.; MONTEIRO, Renato R. Utilização da modelagem e simulação de eventos discretos como ferramenta para análise de proposições de otimizações em processos industriais: o caso de uma indústria de computadores. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 31., 2011, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: ABEPRO, 2011.

DE SOUSA, Wellington S.; WOLFF, Marlon P. M. Simulação computacional via plataforma arena dedicada a otimização da rotatividade de veículos em pátio de estacionamento. **E-Revista Facitec**, Brasília, v.9, n.1, p. 1-7, 2018.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ (DETRANPR). Disponível em: <http://www.detrان.pr.gov.br>. Acesso em 22 julho. 2019.

DUVANOVA, Irina.; SIMANKINA, Tatyana.; SHEVCHENKO, Anastasia.; MUSORINA, Tatiana.; YUFEREVA, Anna. Optimize the Use of a Parking Space in a Residential Area. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 165, p.1784-1793, 2016.

ELIAS, Antonio Carlos Cardoso. **Estacionamento rotativo pago em via pública: racionalização do uso da via x disposição do usuário em pagar pelo serviço**. 2001. 121f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FLEXSIM. **FlexSim**, 2019. Produtos. Disponível em: <https://www.flexsim.com/pt/flexsim/>. Acesso em: 19 de outubro de 2019.

GAVIRA, Muriel O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GROKE, Luis F.; DO NASCIMENTO, Iara L.; GUABIROBA, Ricardo C. S.; GARCIA, Vanessa S. Estudo da capacidade de um estacionamento a partir de simulação computacional: caso de um campus da Universidade Federal Fluminense. *In*: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 14, 2017, Resende. **Anais...** Resende: AEDB, 2017.

HARRIS, John M.; DESSOUKY, Yasser. A simulation approach for analyzing parking space availability at a major university. *In*: Winter Simulation Conference. 1997. Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: Association for Computing Machinery, 2000. p. 1195-1198.

JAKUBOVSKIS, Aldis. Flexible production resources and capacity utilization rates: A robust optimization perspective. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 189, p.77-85, jul. 2017.

KLAPPENECKER, Andreas; LEE, Hyunyoung; WELCH, Jennifer L.. Finding available parking spaces made easy. **Ad Hoc Networks**, [s.l.], v. 12, p.243-249, jan. 2014.

LAW, Averill M.; KELTON, David W. **Simulation Modeling and Analysis**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LIMA, Hadriel T.; MAIA, Jorge L. G.; MEZA, Edwin B. M.; VIANNA, Dalessandro S.; MEZA, Maximo C. M. Aplicação da simulação discreta para melhoria do gerenciamento de incidentes de sistemas de informações em uma empresa do setor de petróleo e gás. *In*: SIMPOSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. 12., 2015, Resende. **Anais...Resende: AEDB**, 2015.

LONDRINA. Lei. 11.381, de 21 de novembro de 2011. Institui o Código de Obras e Edificações do Município de Londrina. **Jornal Oficial**, Londrina, PR, 25 nov. 2011. Disponível em: http://ippul.londrina.pr.gov.br/images/legislacao-urbanistica/lei_11381_2011_codigo_de_obras.pdf. Acesso em 02 ago. 2019.

LONDRINA. Lei. 12.236, de 29 de janeiro de 2015. Dispõe sobre o Uso e a Ocupação do Solo no Município de Londrina e dá outras providências. **Jornal Oficial**, Londrina, PR, 02 fev. 2015. Disponível em: http://ippul.londrina.pr.gov.br/images/legislacao-urbanistica/lei_12236_2015-compilada-30-05-19.pdf. Acesso em 02 ago. 2019.

LOVELOCK, Christopher. Seeking synergy in service operations: Seven things marketers need to know about service operations. **European Management Journal**, [s.l.], v. 10, n. 1, p.22-29, mar. 1992.

MICHELON, Edson R. S.; LOPES, Celso J. R.; ANDRADE, Luiz A. C. G.; BOTTER, Rui C. Análise de políticas mitigadoras de fila aplicadas num estacionamento no município de São Paulo utilizando simulação estocástica de eventos discretos. *In*: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 31, 2011, Belo Horizonte. **Anais... Belo Horizonte: ABEPRO**, 2011.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

PEINADO, Jurandir.; GRAEML, Alexandre. R. **Administração da Produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007

PULLMAN, Madeleine; RODGERS, Svetlana. Capacity management for hospitality and tourism: A review of current approaches. **International Journal Of Hospitality Management**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.177-187, mar. 2010.

RIBEIRO, Hugo A. S.; PINTO, Kleber C. R.; PEIXOTO, Nathane E. S. Análise do Processo de Entrada e Saída de Veículos no Aeroporto Regional de Uberlândia: Um Modelo de Simulação. **GEPROS**, v, 12, n. 4, p. 320-343, out-dez/2017.

SAIDABAD, Alireza Abedi; TAGHIZADEH, Houshang. Performance and Improvement of Production Line Function Using Computer Simulation (Case Study: An Iron Foundry). **American Journal Of Computational Mathematics**, [s.l.], v. 05, n. 04, p.431-446, 2015.

SCHULZ, Letícia.; BROCH, Everton Y.; SANTANA, André L. M.; JUNIOR, OVIDIO F. P. S. Uso de simulação computacional como ferramenta para mapeamento de um Sistema rotativo de veículos. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 22, 2015, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2015.

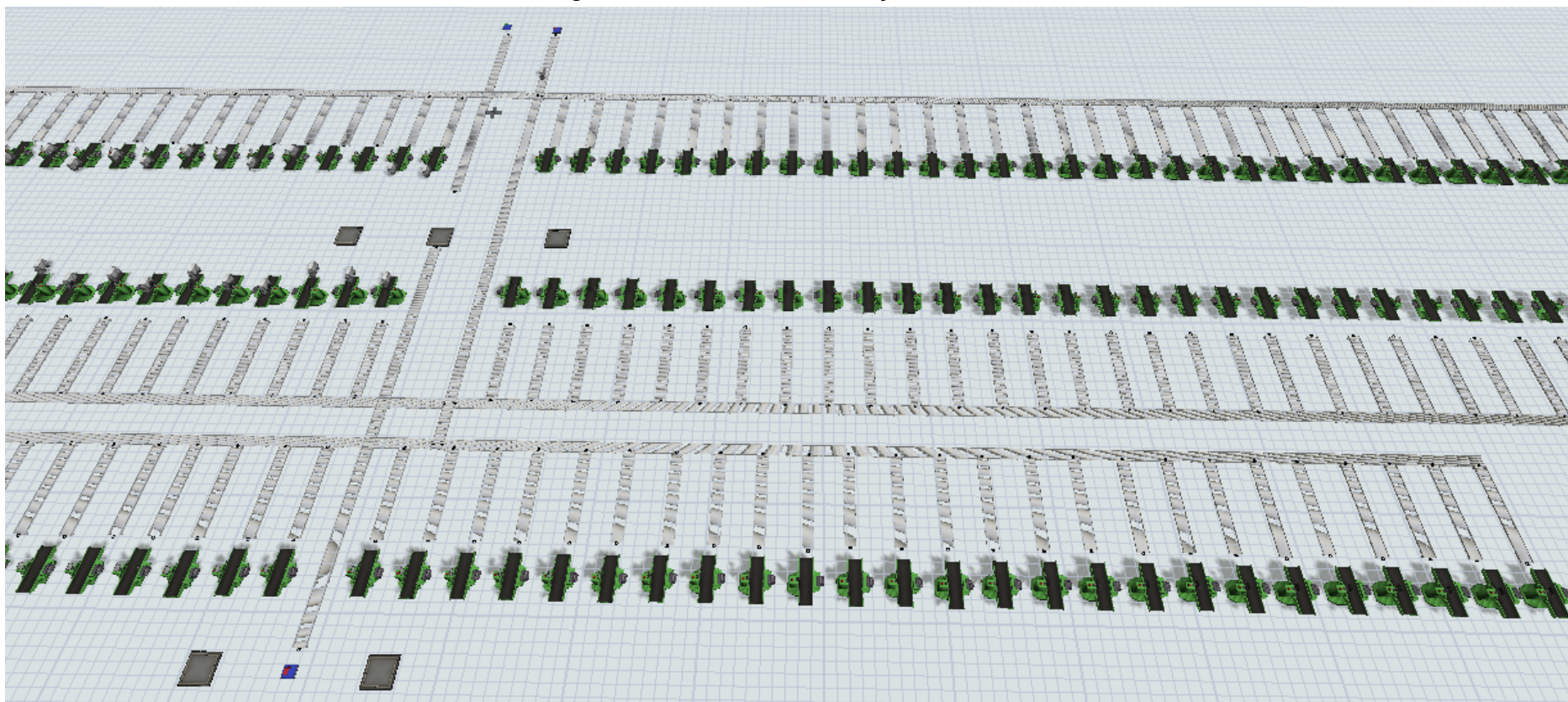
SWEET, Matthias N.; FERGUSON, Mark R.. Parking demand management in a relatively uncongested university setting. **Case Studies On Transport Policy**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.453-462, jun. 2019.

VO, Thi Thuy An; WAERDEN, Peter van Der; WETS, Geert. Micro-simulation of Car Drivers' Movements at Parking Lots. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 142, p.100-107, 2016.

WHITE, K. Preston; INGALLS, Ricki G. Introduction to simulation. *In*: Winter Simulation Conference, 2009, Austin. **Proceedings...** Austin: Association for Computing Machinery, 2009. p. 12-23.

WINSTON, Wayne L. **Operations research: applications and algorithms**. 4. ed. California: Duxbury Press, 2004.

ANEXO A - Imagem do modelo de simulação construído no FlexSim®



Fonte: Autor (2019).