

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**GERAÇÃO DE VIAGENS DE CARGA EM
EMPREENDIMENTOS EM CONSTRUÇÃO: UM
ESTUDO PARA BELO HORIZONTE**

Rafael Tagliatti Herédia

Belo Horizonte

2018

Rafael Tagliatti Herédia

**GERAÇÃO DE VIAGENS DE CARGA EM
EMPREENDIMENTOS EM CONSTRUÇÃO:
UM ESTUDO PARA BELO HORIZONTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientadora: Prof. Dra. Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2018

H542g

Herédia, Rafael Tagliatti.

Geração de viagens de carga em empreendimentos em construção
[manuscrito] : um estudo para Belo Horizonte / Rafael Tagliatti Herédia. –
2018.

xii, 124 f., enc.: il.

Orientadora: Leise Kelli de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Escola de Engenharia.

Apêndices: f.121-124.

Bibliografia: f. 112-120.

1. Transportes - Teses. 2. Transportes - Belo Horizonte (MG) - Teses.
3. Distribuição de mercadorias - Teses. 4. Planejamento urbano - Teses.
5. Construção civil - Teses. I. Oliveira, Leise Kelli de. II. Universidade
Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 656(043)



FOLHA DE APROVAÇÃO

**GERAÇÃO DE VIAGENS DE CARGA EM EMPREENDIMENTOS EM
CONSTRUÇÃO: UM ESTUDO PARA BELO HORIZONTE**

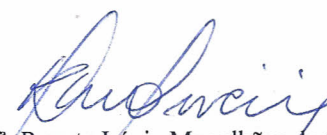
RAFAEL TAGLIATTI HERÉDIA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES.

Aprovada em 05 de dezembro de 2018, pela banca constituída pelos membros:


Prof.^a Leise Kelli de Oliveira - Orientadora
UFMG


Prof. Bruno Vieira Bertoncini
UFC


Prof.^a Renata Lúcia Magalhães de Oliveira
CEFET-MG

Belo Horizonte, 5 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à DEUS, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais, Fátima e Willian (em memória), que me ensinaram as lições mais valiosas da vida: educação, caráter e dignidade. Vocês são exemplos formidáveis de seres humanos, capazes de inspirar os melhores sentimentos às pessoas ao redor.

Às minhas irmãs, Amanda e Karina pelo apoio ao meu crescente desenvolvimento.

À minha esposa Tâmara, pelo amor, pela paciência, confiança e compreensão demonstrados todos os dias.

À todos os professores do curso pela orientação e pelos ensinamentos.

Aos membros da banca Renata e Bruno por terem gentilmente aceitado o convite de fazer parte desse trabalho.

À BHTRANS pela compreensão e incentivo à realização desse mestrado.

À minha orientadora Prof. Leise Kelli Oliveira, agradeço pela paciência, pela orientação, pelos ensinamentos técnicos e valores humanos transmitidos.

*“Não ganhe o mundo e perca sua alma;
sabedoria é melhor que prata e ouro”.*

Bob Marley *in* Zion Train

RESUMO

HERÉDIA, Rafael Tagliatti. **Geração de Viagens de Carga em Empreendimentos em Construção: um estudo para Belo Horizonte** 140f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

O desenvolvimento econômico das cidades está intimamente relacionado à distribuição urbana de mercadorias dos diversos setores industriais. Entretanto, tais atividades também geram impactos negativos que podem ser mitigados quando se conhece o comportamento dos fluxos de carga. Logo, torna-se evidente a importância dos modelos de geração de viagem de carga para o planejamento urbano. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de modelos de geração de viagem de carga para empreendimentos em construção na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil. Para embasar o estudo foi realizada uma revisão sistemática e bibliométrica da literatura sobre geração de viagens de carga para melhor compreensão dos conceitos e métodos utilizados. A abordagem metodológica deste trabalho inicia-se com a definição do objetivo, escopo e horizonte de tempo, bem como as variáveis dependentes e independentes a serem utilizadas no estudo. A fase de identificação dos empreendimentos foi planejada a partir de uma planilha de controle de obras da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e a amostra foi definida considerando as 604 obras que solicitaram autorização para construção no ano de 2017. Para obtenção de dados foi elaborado um questionário e uma pesquisa de campo foi conduzida com os responsáveis por receber as mercadorias nas obras. Foram aplicados 105 questionários em obras situadas nas nove regionais que compõem a cidade de Belo Horizonte. Posteriormente, prosseguiu-se com as análises estatísticas dos dados e determinação da correlação entre as variáveis, assim como o desenvolvimento de 190 modelos de regressão linear e regressão linear generalizada. Os modelos foram validados utilizando métodos estatísticos. Analisando os modelos desenvolvidos, conclui-se que os modelos com melhor acurácia na predição de viagem de carga para obras civis são os modelos lineares que utilizam área construída e número de funcionários como variáveis explicativas.

Palavras-chave: modelos de geração de viagem de carga, distribuição urbana de mercadorias, construção civil.

ABSTRACT

The economic development of cities is closely related to the urban distribution of goods of various industrial segments. However, such activities also generate negative impacts that can be mitigated when the behavior of load flows is known. Then it becomes evident the importance of freight trip generation models for urban planning. In this context, the objective of this paper is the development of freight trip generation models for construction sites in the city of Belo Horizonte, Minas Gerais - Brazil. It was performed a systematic and bibliometric literature review about freight trip generation for a better understanding of the concepts and methods. The methodological approach of this work begins with the definition of the objective, scope and time horizon, as well as the dependent and independent variables to be used in the study. The identification of the constructions was made based on Belo Horizonte City Hall control and the sample was defined considering the 604 constructions that requested authorization for building in 2017. The data were obtained from the application of a questionnaire answered by those responsible for receiving the goods. A total of 105 questionnaires were applied in nine zones that compose the Belo Horizonte city. Subsequently, a statistical analysis of the data was performed and the degree of correlation between the variables was determined, as well as the development of 190 linear models and generalized linear models. The models were validated using statistical methods. Analyzing the models developed, it is concluded that the models with best accuracy in the prediction of freight trip generation for civil works are the linear models that use constructed area and number of employees as explanatory variables.

Keywords: freight trip generation models, urban distribution of goods, construction industry.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL	3
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	5
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
2	REVISÃO SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA SOBRE MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS DE CARGA.....	6
2.1	A LITERATURA SOBRE GERAÇÃO DE VIAGENS DE CARGA	13
3	ABORDAGEM METODOLÓGICA	34
3.1	DEFINIÇÃO DE OBJETIVO, ESCOPO E HORIZONTE DE TEMPO.....	34
3.2	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES E INDEPENDENTES	34
3.3	IDENTIFICAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS NA ÁREA DE ESTUDO	35
3.4	OBTENÇÃO DE DADOS	36
3.5	CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DAS OBRAS	39
3.6	ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE OS DADOS	42
3.7	DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS	43
3.8	VALIDAÇÃO DOS MODELOS.....	45
4	RESULTADOS	52
4.1	ANÁLISE DE DADOS.....	52
4.2	MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGEM DE CARGA.....	55
4.2.1	<i>Estatística descritiva dos dados.....</i>	<i>56</i>
4.2.2	<i>Correlação entre as variáveis</i>	<i>63</i>
4.2.3	<i>Modelos lineares de atração de veículos de carga.....</i>	<i>67</i>
4.2.4	<i>Modelos lineares generalizados de atração de veículos de carga</i>	<i>78</i>

4.2.5	<i>Modelos lineares de produção de veículos de carga</i>	85
4.2.6	<i>Modelos lineares generalizados de produção de veículos de carga</i>	95
4.2.7	<i>Discussão e análise dos modelos validados</i>	101
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
	REFERÊNCIAS	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Evolução do número de trabalhos publicados entre 1994-2017.....	7
Figura 2-2: Bases de dados e o número de artigos sobre geração de viagens de carga.....	8
Figura 2-3: Periódicos e o respectivo número de artigos sobre geração de viagens de carga....	9
Figura 2-4: Autores com maior número de publicações.	10
Figura 2-5: Origem dos dados dos artigos publicados.	11
Figura 2-6: Métodos mais recorrentes no desenvolvimento de modelos de geração de viagens.	11
Figura 2-7: Variáveis explicativas recorrentes.	12
Figura 3-1: Localização das obras.	39
Figura 4-1: Serviço predominante nas obras (a) e estrutura utilizada na construção (b).	53
Figura 4-2: Dias da semana com predominância de entregas (a) e horário predominante de entregas.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Resumo dos artigos	29
Tabela 3-1: Caracterização das regionais administrativas de Belo Horizonte.	36
Tabela 3-2: Principais informações obtidas com o questionário.	37
Tabela 3-3: Distribuição das obras pelas regionais e número de obras visitadas.	38
Tabela 3-4: Caracterização das fases da obra.	40
Tabela 4-1: Bairros em que foram aplicados o questionário,	52
Tabela 4-2: Número da amostra considerando a estrutura utilizada na construção e a fase das obras.	56
Tabela 4-3: Estatística descritiva dos dados utilizados nos modelos.	57
Tabela 4-4: Correlação de Pearson.	64
Tabela 4-5: Modelos lineares de atração de viagens de carga.	70
Tabela 4-6: Modelos lineares generalizados de atração de viagens de carga.	80
Tabela 4-7: Modelos lineares de produção de viagens de carga.	87
Tabela 4-8: Modelos lineares generalizados de produção de viagens de carga.	96
Tabela 4-9: Modelos lineares validados (β = intercepto; p-v = p-valor; *99% de confiabilidade).	102
Tabela 4-10: Modelos lineares de geração de viagens de carga (β = intercepto; p-v = p-valor; *99% **95% de confiabilidade).	103
Tabela 4-11: Variáveis utilizadas nos melhores modelos preditivos com critérios de validação (Modelos lineares simples).	104

Tabela 4-12: Variáveis utilizadas nos melhores modelos preditivos com critérios de validação (Modelos lineares generalizados).	105
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AIC - *Akaike Information Criterion* (Critério de Informação de Alaike)

Area – Área construída

BHTRANS - Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte

BP – Teste de Bresch Pagan (Multiplicador de Lagrange)

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

EQM - Erro Quadrático Médio

FIESP – Federação de Indústrias de Estado de São Paulo

FTA - *Freight Trip Attraction* (Atração de Viagens de Carga)

FTS - *Freight Tour Synthesis* (Síntese de Rotas de Carga)

GLM – *Generalized Linear Model* (Modelo Linear Generalizado)

GV – Geração de Viagem

GVC – Geração de Viagem de Carga

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ID – Identificação

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

ITE - *Institute of Transportation Engineers* (Instituto dos Engenheiros de Transportes)

KOLMAP - *Kocaeli Logistics Master Plan* (Plano Mestre de Logística da cidade de Kocaeli)

LBCS - *Land-Based Classification Standards* (Padrão de Classificação Terrestre)

LM – *Linear Model* (Modelo Linear)

LOOCV – *Leave-one-out Cross Validation* (Validação Cruzada)

LSP - *Logistics Service Providers* (Provedores de Serviços Logísticos)

LTG - *Large Urban Freight Traffic Generators* (Grandes Geradores de Tráfego de Carga Urbano)

Metrobel - Companhia de Transportes Urbanos da Região Metropolitana de Belo Horizonte

MGVC – Modelo de Geração de Viagem de Carga

NCFRP 25 - *National Cooperative Freight Research Program Project 25* (Cooperativa Nacional de Projeto de Pesquisa de Transporte de Carga)

NETS - *National Employment Time Series* (Histórico Nacional de Empregos)

Nfunc – Número de Funcionários

NHTS - *National Travel Survey* (Pesquisa Nacional de Viagens)

Npav – Número de Pavimentos

Nund – Número de Unidades

NYCZR - *City of New York Zoning Resolution* (Resolução do Zoneamento da Cidade de Nova York)

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PGV - Polos Geradores de Viagens

PGVs-Carga - Polos Geradores de Viagens de Carga

PIB – Produto Interno Bruto

QRFM - *Quick Response Freight Manual* (Manual de Pesquisa Rápida sobre Transporte de Carga)

R² - Coeficiente de Determinação

REQM - Raiz do Erro Quadrático Médio

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro

SIC - *Standard Industrial Classification* (Classificação Industrial Padrão)

SIGESP - Portal de Informações e Serviços da cidade de Belo Horizonte

STA - *Shopping Trip Attraction* (Atração de Viagens relacionado à compras)

TRB – *Transportation Research Board* (Conselho de Pesquisa sobre Transporte)

VC – Validação Cruzada

W – Teste de Shapiro Wilk

χ^2 - Teste Qui-quadrado

1 INTRODUÇÃO

O deslocamento de pessoas e mercadorias é uma atividade essencial para funcionamento e desenvolvimento de áreas urbanas. Com o crescimento populacional cresce também o número de viagens, seja por meio do transporte coletivo ou individual. O aumento do número de veículos em circulação sem o devido planejamento urbano ocasionam uma série de problemas relacionados à segurança e fluidez do tráfego. Além disso, o congestionamento viário é um fenômeno recorrente na maioria das metrópoles brasileiras. A população é prejudicada devido ao aumento nos tempos de viagem, conflito entre veículos e pedestres e, conseqüentemente, aumento na probabilidade de acidentes, bem como elevação do consumo de combustível e da emissão de poluentes (RAMOS, 2015).

Em qualquer centro urbano, para que as atividades sociais e econômicas aconteçam, faz-se necessária a movimentação de pessoas e mercadorias (MELO, 2002). Nesse contexto, o transporte urbano de carga sustenta o estilo de vida nas áreas urbanas se relacionando diretamente ao crescimento, ao desempenho e a sustentabilidade dos setores econômicos. O transporte urbano de carga disponibiliza mercadorias aos diferentes setores da economia, servindo à indústria e às atividades de comércio, bem como permite a coleta dos resíduos gerados a partir dessas atividades. Sua operação impacta diretamente a economia de uma região, tanto em termos de geração de renda, como de criação e manutenção de empregos (FERREIRA, 2015). Nesse sentido, pode-se dizer que a movimentação de pessoas e mercadorias têm uma relação intrínseca, visto que as viagens por motivo compras são estimuladas pela oferta de mercadorias.

Dablanc (2007) define a movimentação urbana de mercadorias como fluxos constantes entrando, atravessando e deixando as áreas urbanas. As pessoas necessitam de acesso aos bens de consumo, como: alimentos, medicamentos, vestuário e outros produtos, bem como precisam do suporte de serviços, como por exemplo a coleta de resíduos residenciais, hospitalares e industriais. Tais atividades comprovam a importância do transporte de carga urbana (PRATA e ARRUDA 2007).

O transporte de cargas é essencial no estilo de vida praticado pelo mundo moderno. Entretanto, as autoridades locais não possuem conhecimento sobre a dinâmica do fluxo de

cargas em seu território, logo não são capazes de estabelecer medidas que minimizem o impacto do transporte de carga no ambiente urbano (DABLANC, 2007; LAWSON *et al.*, 2012). Apesar disto, o funcionamento eficiente de um sistema de transporte de carga é uma condição essencial para a competitividade econômica. Contudo, por mais que a redução de custos e de tempos de viagem melhorem o desenvolvimento econômico e social de uma região, a atividade ainda exerce um impacto significativo sobre o sistema viário urbano (LAWSON *et al.*, 2012).

De acordo com Gasparini, Campos e D'Agosto (2007), a distribuição de mercadorias provoca um complexo fluxo de veículos no meio urbano devido à diversidade de atividades realizadas em regiões centrais das cidades, em polos periféricos ou dentro das regiões metropolitanas. Dessa forma, necessita-se estudar a geração de viagem de cargas advindas das atividades econômicas humanas (considerando número de veículos ou volume de carga), no intuito de minimizar as externalidades de cada atividade. Os modelos de geração de viagens de carga estimam o número de viagens produzidas (originadas na zona de tráfego em estudo) e atraídas (aquelas cujo destino é a zona), com base em variáveis que refletem características de uma região, atentando à dinâmica do espaço urbano e observando, sobretudo, as atividades desenvolvidas na região e os principais eixos de deslocamentos diários (GASPARINI, 2008; LAWSON *et al.*, 2012).

Para o tratamento dos impactos operacionais e ambientais, devem ser analisados os tipos de viagens produzidas e atraídas pelas atividades desenvolvidas em uma cidade, identificando os principais polos que geram estes movimentos, denominados polos geradores de viagem. Polos Geradores de Viagens (PGV) são definidos como empreendimentos cujas atividades realizadas conseguem atrair e/ou produzir viagens de forma significativa a ponto de impactar os componentes do espaço. Especificamente, os PGVs Carga podem ser definidos como empreendimentos com capacidade de atração e/ou produção de viagens de veículos de carga (GONÇALVES *et al.*, 2012). Dessa forma, os estudos e modelagens de PGVs-Carga são de grande importância para um melhor planejamento urbano. Devido ao grande volume de viagens atraídas e/ou produzidas, os PGVs causam reflexos negativos na circulação viária em seu entorno imediato e, em alguns casos, prejudicam a acessibilidade da região, além de agravarem as condições de segurança de veículos e pedestres (DENATRAN, 2001).

Kneib *et al.* (2006) e Facchini (2006) afirmam que a implantação de PGVs no espaço urbano provoca tanto impactos positivos, ao possibilitar o desenvolvimento e valorizar áreas influenciadas por ele, quanto negativos, por afetar o desempenho da mobilidade e da acessibilidade na área onde está instalado. Congestionamentos e o aumento no número de acidentes, relacionados ao aumento na circulação de veículos, tanto de carga como de passeio, podem ser citados como principais efeitos indesejáveis da implantação e operação dos PGVs, além da deterioração das condições ambientais nas áreas de influência e entorno dos PGVs, em função do maior nível de poluição sonora, visual e do ar.

Sabendo-se da escassez de estudos relacionados à geração de viagens de carga no Brasil, fazem-se necessárias pesquisas que abordem o tema de modo a analisar a movimentação de carga urbana e os estabelecimentos que geram um grande volume de viagens de carga, seja atraindo ou produzindo tais viagens. Sendo assim, esta dissertação tem como foco as viagens de veículos de carga atraídas e produzidas por empreendimentos em fase de construção localizados no município de Belo Horizonte, considerando que uma obra civil gera um volume significativo de viagens de caminhões para a garantia da produção no processo construtivo do empreendimento.

1.1 Setor da construção civil

Amorim (1995) e Mello (2007) afirmam que a indústria da construção civil abrange diversos setores industriais, como: mineração, siderurgia do aço, metalurgia do alumínio e do cobre, vidro, cerâmica, madeira, plásticos, equipamentos elétricos e mecânicos, fios e cabos e diversos prestadores de serviços, como escritórios de projetos, serviços de engenharia, empreiteiros entre outros, sendo assim pode-se afirmar que a cadeia de abastecimento das obras civis é complexa.

Na construção civil encontra-se uma grande diversificação de materiais empregados para realização de diferentes serviços. Para confecção de um elemento ou um serviço são necessários diversos materiais que vão desde os mais simples, como areia de rio, a produtos com processos tecnológicos variados envolvendo indústrias de tecnologia de ponta e capital intensivo, como cimento, siderurgia, indústria química, entre outros. Pode-se afirmar que uma das características marcantes do setor é sua heterogeneidade e seu processo manufaturado

com uso intensivo de mão de obra (DECONCIC, 2008). Como é notório a necessidade de um grande número de veículos de carga para transportar o material necessário para garantir a atividade da construção, pode-se entender os canteiros de obras com polos geradores de viagens de carga.

Segundo a FIESP (2017), o faturamento do setor da construção (em âmbito nacional) alcançou R\$975 bilhões no ano de 2016. Desse valor, 46,9% referem-se a obras e serviços de construção. O valor adicionado (PIB) da cadeia produtiva somou R\$471,5 bilhões, sendo que 64% estavam associados às atividades de construção civil, 10% à indústria de materiais, máquinas e equipamentos para construção e 9% às atividades de comercialização destes. Os serviços relacionados às atividades dos escritórios de engenharia e arquitetura, ensaios e análises de materiais, serviços de apoio a construção e atividades de manutenção predial e de condomínios correspondem a 17% do PIB da cadeia produtiva da construção. O número de empregos no setor da construção civil alcançou 11,7 milhões na média de 2016, equivalente a 13% da força de trabalho ocupada no país. Desse total, 70% das pessoas estavam ocupadas em atividades da construção (construtoras, autoconstrução e reformas). Ressalta-se que houve queda de 12,4% no faturamento da cadeia produtiva da construção civil em 2016 na comparação com o ano de 2015, e o PIB da cadeia produtiva caiu 7,5% na mesma comparação (FIESP, 2017).

Os estudos abordados pela literatura apresentam modelos de geração de viagem de PGVs Carga em empreendimentos cujas atividades-fim já foram definidas e encontram-se em operação, dessa forma, a análise fica limitada ao funcionamento do empreendimento já concebido. Neste estudo, deseja-se analisar a geração de viagens de carga em empreendimentos em fase de construção. Percebe-se que uma instalação em construção tem capacidade de gerar uma grande quantidade de viagens de carga devido à necessidade de abastecimento da obra com insumos relacionados a construção. Portanto, os estudos referentes ao comportamento das viagens atraídas pelo setor da construção civil são relevantes e precisam ser analisados de modo a reduzir as externalidades do empreendimento em fase de construção.

1.2 Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como premissa responder à questão-chave que motivou este estudo: “Qual é o modelo preditivo que melhor estima o número de viagens de veículos de carga geradas por obras do setor da construção civil”? As possíveis hipóteses de resposta para essa pergunta são que os métodos de mínimos quadrados ordinários podem ser utilizados para associar variáveis explicativas ao fenômeno em questão, podendo gerar modelos de regressão linear que o representem. Ainda, o número de viagens de veículos de carga geradas por obras do setor da construção civil tem natureza linear.

Diante do exposto, o objetivo geral desta pesquisa é determinar um modelo matemático para estimar o número de viagens atraídas e produzidas em empreendimentos em construção em Belo Horizonte.

Como objetivo específico pretende-se:

- identificação das possíveis variáveis explicativas capazes de representar o fenômeno;
- desenvolvimento de questionário para obtenção de dados referentes à geração de viagem de carga;
- desenvolver modelos de atração e produção de viagens baseados em entregas por meio de regressão linear e regressão linear generalizada;
- discutir se o fenômeno modelado tem comportamento linear.

1.3 Estrutura da dissertação

Além deste capítulo introdutório, outros quatro capítulos compõem este trabalho. Uma revisão bibliométrica e sistemática da literatura é apresentada no Capítulo 2. Essa revisão fundamenta a abordagem metodológica proposta para esta pesquisa, apresentada no capítulo 3. A análise de dados e os modelos desenvolvidos obtidos com a aplicação das etapas metodológicas propostas são apresentados no capítulo 4. Por fim é apresentada a conclusão do trabalho no capítulo 5.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA SOBRE MODELOS DE GERAÇÃO DE VIAGENS DE CARGA

A revisão bibliográfica tem como objetivo analisar as obras científicas disponíveis que tratam do assunto do estudo em desenvolvimento. Na revisão da literatura são explicitados os principais conceitos e termos técnicos a serem utilizados na pesquisa, bem como possibilita o embasamento teórico e metodológico para o desenvolvimento do projeto. Sendo assim, os trabalhos apresentados nesse capítulo abordam, direta ou indiretamente, o tema geração de viagem de carga com estudos de caso em cidades de vários países.

Essa revisão da literatura é apresentada como uma revisão sistemática e bibliométrica sobre modelos de geração de viagens de carga. Para a revisão sistemática da literatura foi desenvolvido um protocolo de revisão, baseado em Ferreira (2016), em que foram estabelecidos critérios de identificação de trabalhos, detalhando a forma como foram coletados, a base de dados consultada e palavras-chaves utilizadas na busca, bem como os tipos de trabalhos procurados. Além disso, foram estabelecidos critérios de seleção, inclusão e exclusão dos trabalhos, de modo a filtrar o conteúdo encontrado e cumprir o objetivo da revisão.

Os critérios utilizados para revisão sistemática foram divididos em três etapas. Na primeira etapa é identificada a fonte de dados, as palavras-chave e os tipos de trabalho. Neste trabalho foram utilizadas as seguintes fontes de pesquisa: *Science Direct*, *Web of Knowledge* e *Scopus (Elsevier)* através do Portal de Periódicos da CAPES, *Google Acadêmico*, *ResearchGate* e *Transportation Research Board (TRB)*. As palavras-chave utilizadas nos campos de busca foram: geração de viagens de carga, *freight trip generation*, *freight trip generation models*. Os tipos de trabalho considerados foram: artigos científicos, relatórios técnicos, livros, teses e dissertações.

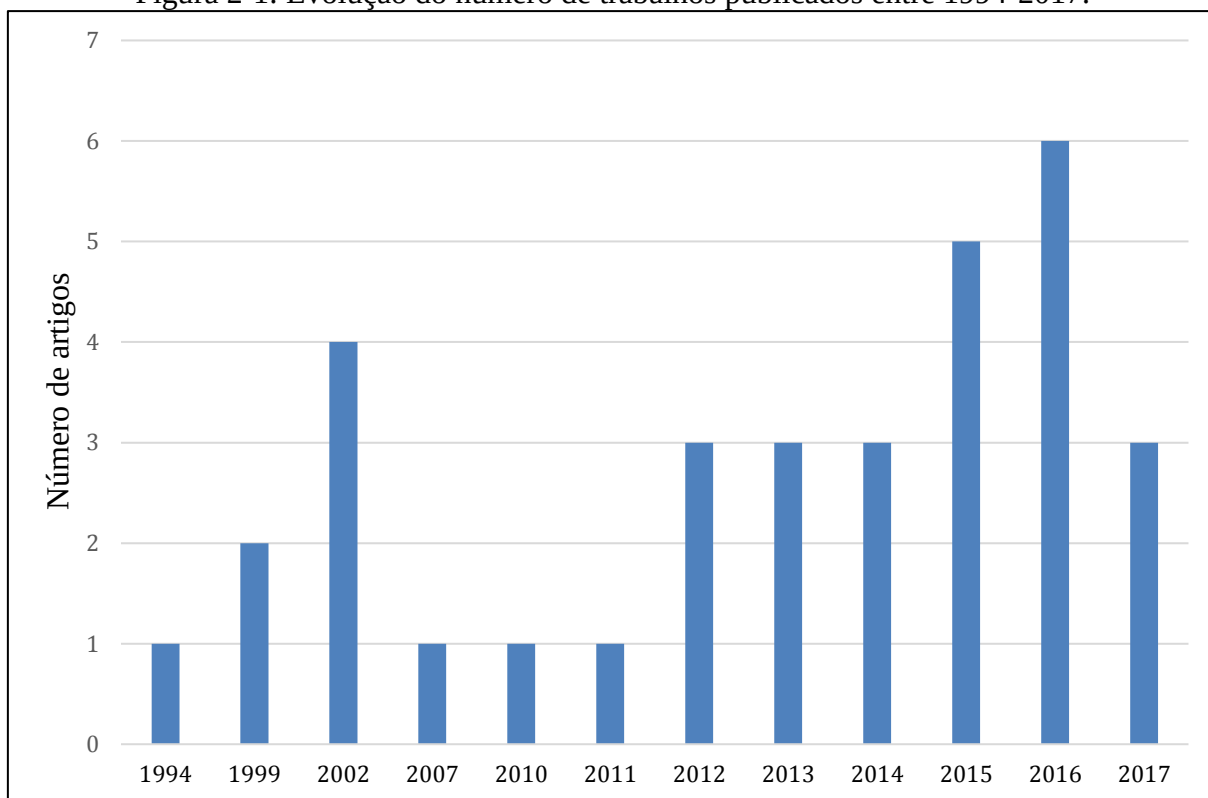
Na segunda etapa, trata-se da seleção dos trabalhos. A partir da leitura dos resumos dos trabalhos, foram selecionados aqueles com a seguinte abordagem temática: modelos de geração de viagem de carga (tema específico deste estudo), gerenciamento de demanda de carga (por estar relacionado à geração de viagens de carga) e distribuição urbana de mercadorias (devido à relação entre padrões de desenvolvimento urbano e viagens de carga).

A terceira etapa trata-se da filtragem dos trabalhos, com exclusão de trabalhos que não se relacionam com o tema proposto e inclusão de outros que abordam o tema de forma a contribuir com o estudo. Adicionalmente, foi realizada a estratégia “bola de neve” (*snowballing*), que consiste em pesquisar trabalhos a partir das referências dos artigos obtidos.

Como resultado desse método, 63 trabalhos foram identificados pelas palavras-chave, sendo 12 redundantes (apareciam em mais de uma base), restando 51 artigos. Após a análise dos resumos, 25 foram incluídos na revisão sistemática. Ainda, 8 trabalhos foram identificados pela estratégia bola de neve, totalizando 33 artigos utilizados para a revisão da literatura.

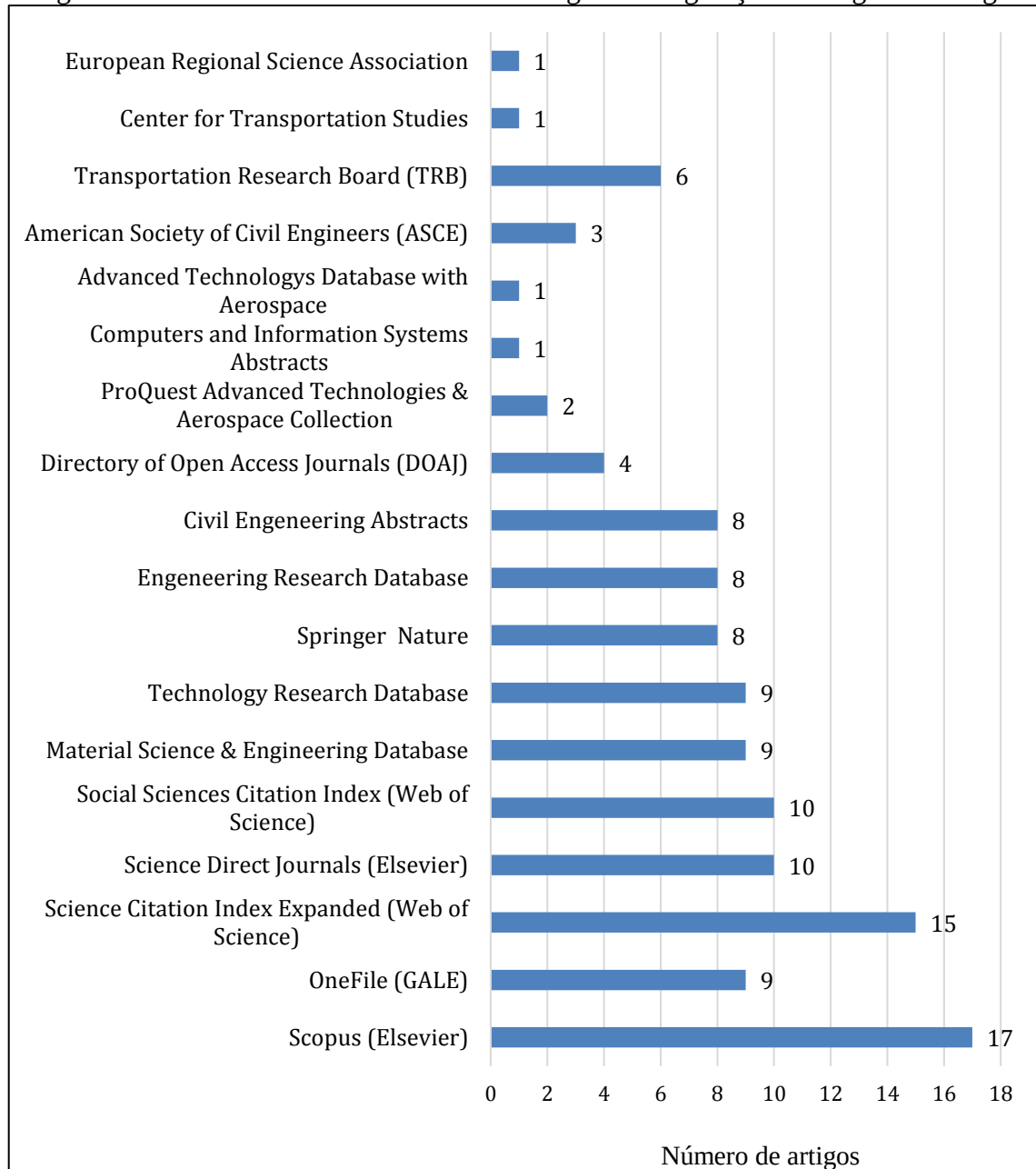
Na Figura 2-1 é apresentado o número de trabalhos sobre geração de viagens de carga publicados no período de 1994 a 2017. Os trabalhos dos anos 1994 e 1999 foram incluídos a partir da estratégia bola de neve. Destaca-se o ano de 2002 com quatro artigos publicados. Nota-se também um crescimento de trabalhos publicados nos últimos anos, principalmente a partir de 2014.

Figura 2-1: Evolução do número de trabalhos publicados entre 1994-2017.



Na Figura 2-2 são apresentadas as bases e o respectivo número de publicações. Ressalta-se que alguns trabalhos estão disponíveis em mais de uma base. Dentre elas destaca-se *Scopus* (17 artigos) e *Web of Science* (15 artigos) com o maior número de artigos.

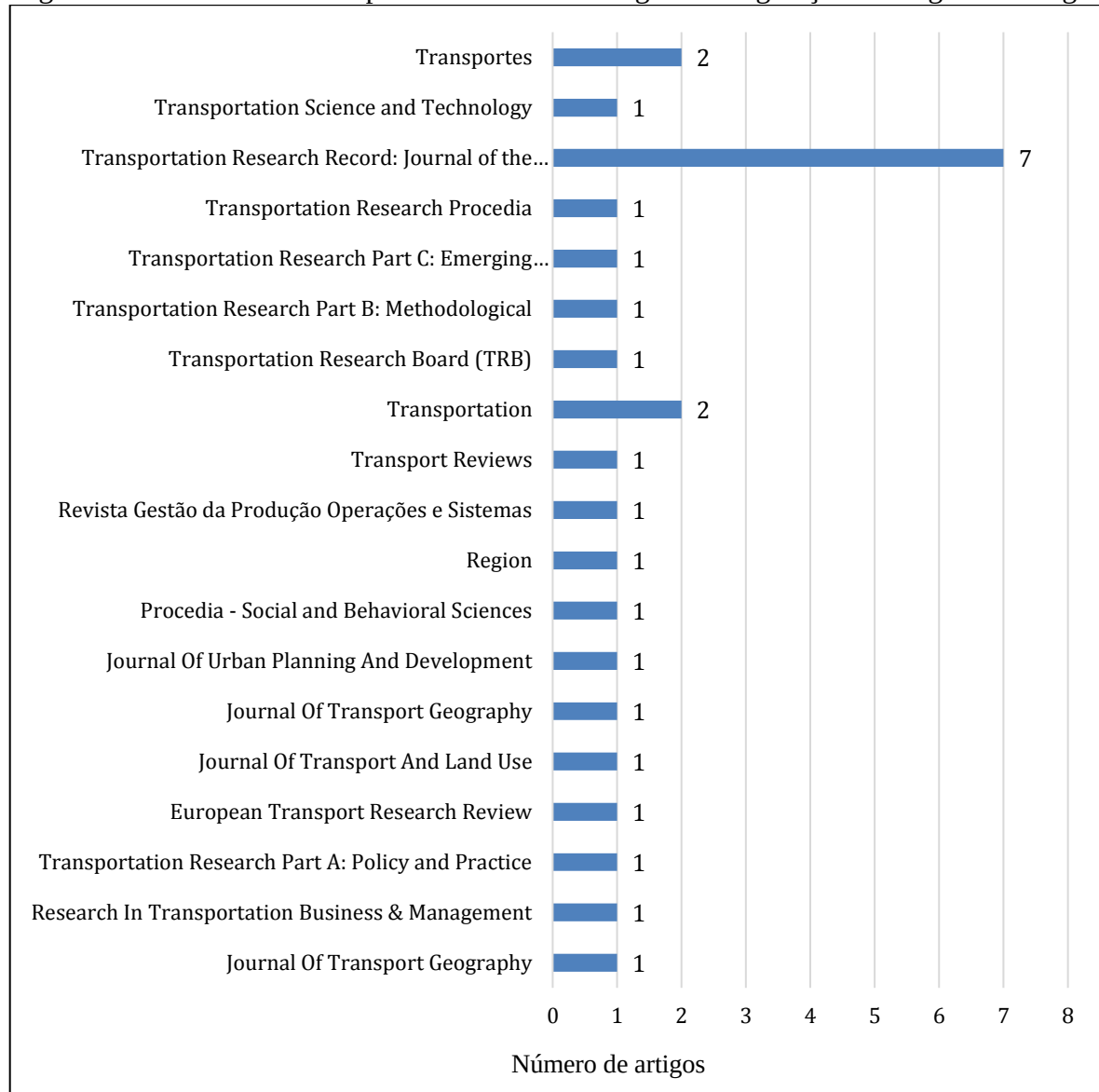
Figura 2-2: Bases de dados e o número de artigos sobre geração de viagens de carga.



Na Figura 2-3 são apresentados os periódicos em que os artigos foram publicados. No total, são 24 periódicos, sendo que dois (*Transportation* e *Transportes*) publicaram dois artigos cada. A *Transportation Research* publicou três artigos, sendo um na categoria A (Política e

Prática), um na categoria B (Metodologia) e um na categoria C (Tecnologias Emergentes). Destaca-se o periódico *Journal of the Transportation Research Board*, que publicou 7 artigos. Os pesquisadores brasileiros publicaram artigos em três diferentes periódicos: *Transportes*, *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas* e *Region*.

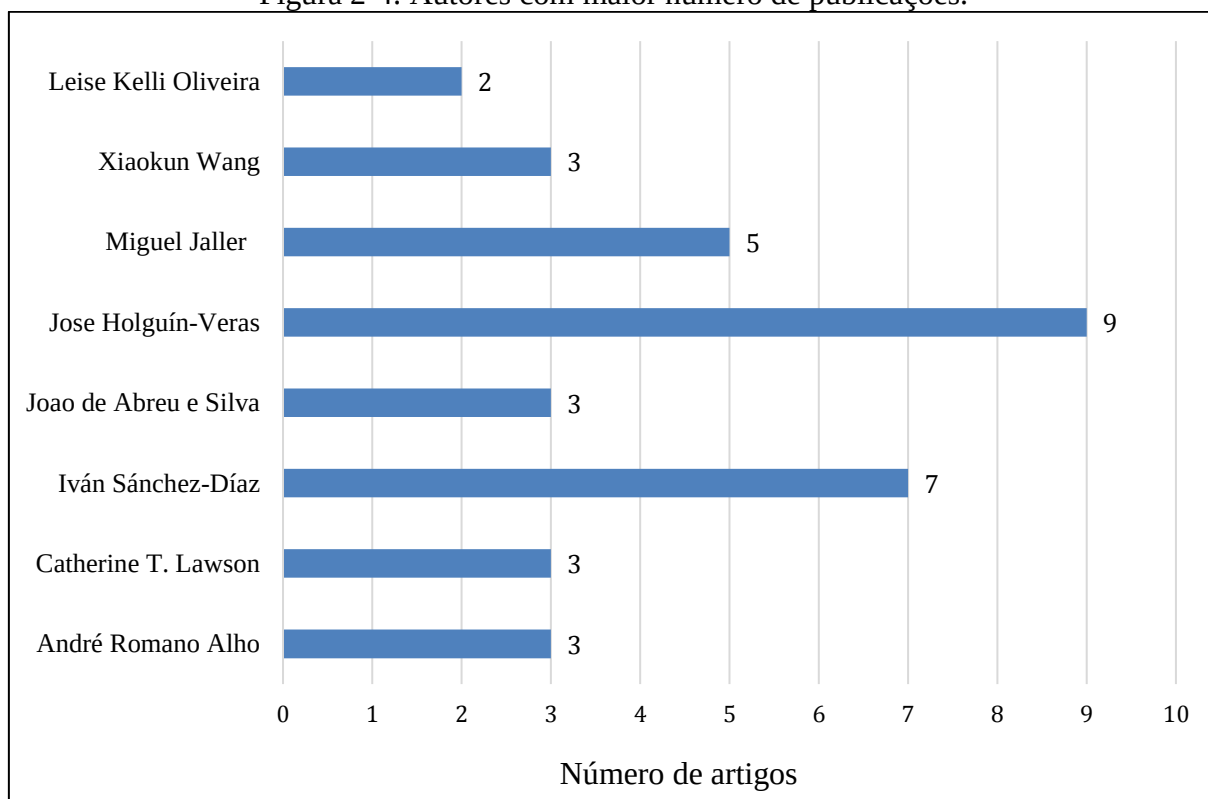
Figura 2-3: Periódicos e o respectivo número de artigos sobre geração de viagens de carga.



Os artigos foram publicados por 54 autores de diversas nacionalidades. Os oito autores com maior número de publicação são apresentados na Figura 2-4. Destaca-se José Holguín-Veras e Iván Sánchez-Díaz que publicaram nove e sete artigos respectivamente, sendo que

trabalharam juntos em seis artigos. André Romano Alho e João de Abreu e Silva também trabalharam juntos e publicaram três artigos.

Figura 2-4: Autores com maior número de publicações.



Na Figura 2-5 é apresentada a localidade em que os estudos de geração de viagem de carga foram realizados. Em geral, os artigos foram desenvolvidos para cidades norte-americanas (16). Ainda, foram identificados quatro artigos com dados brasileiros e outros três dissertações de mestrado com aplicações para cidades brasileiras. Destaca-se ainda um artigo que abordou como tema uma revisão dos modelos de geração de viagem de carga.

Na Figura 2-6 são apresentados os métodos mais utilizados para desenvolvimento dos modelos de geração de viagem de carga. Nota-se que o método de regressão linear foi o mais explorado nos estudos. As variáveis explicativas dos modelo são outra informação relevante obtida na pesquisa bibliográfica e apresentada na Figura 2-7. Para tentar explicar o fenômeno da geração de viagens de carga os estudos relacionaram, em sua maioria, o número de funcionários, o tamanho do estabelecimento (área) e o número de empregos.

Figura 2-5: Origem dos dados dos artigos publicados.

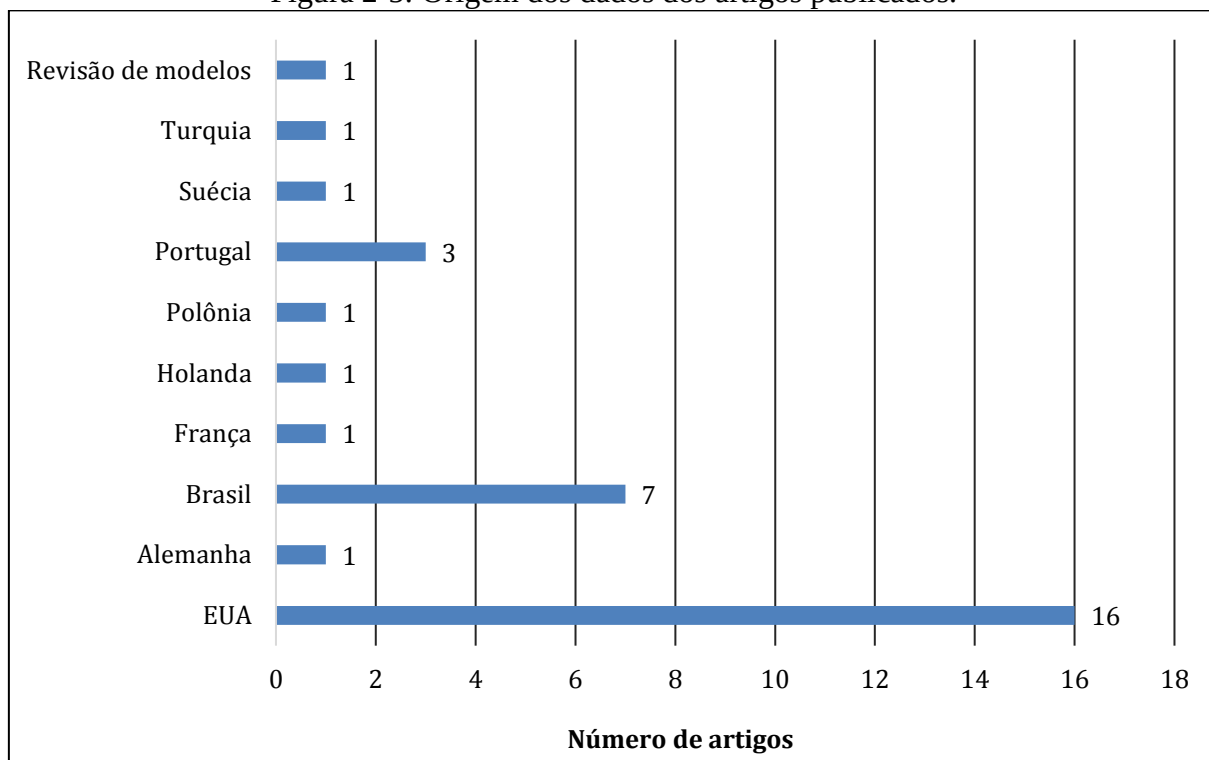


Figura 2-6: Métodos mais recorrentes no desenvolvimento de modelos de geração de viagens.

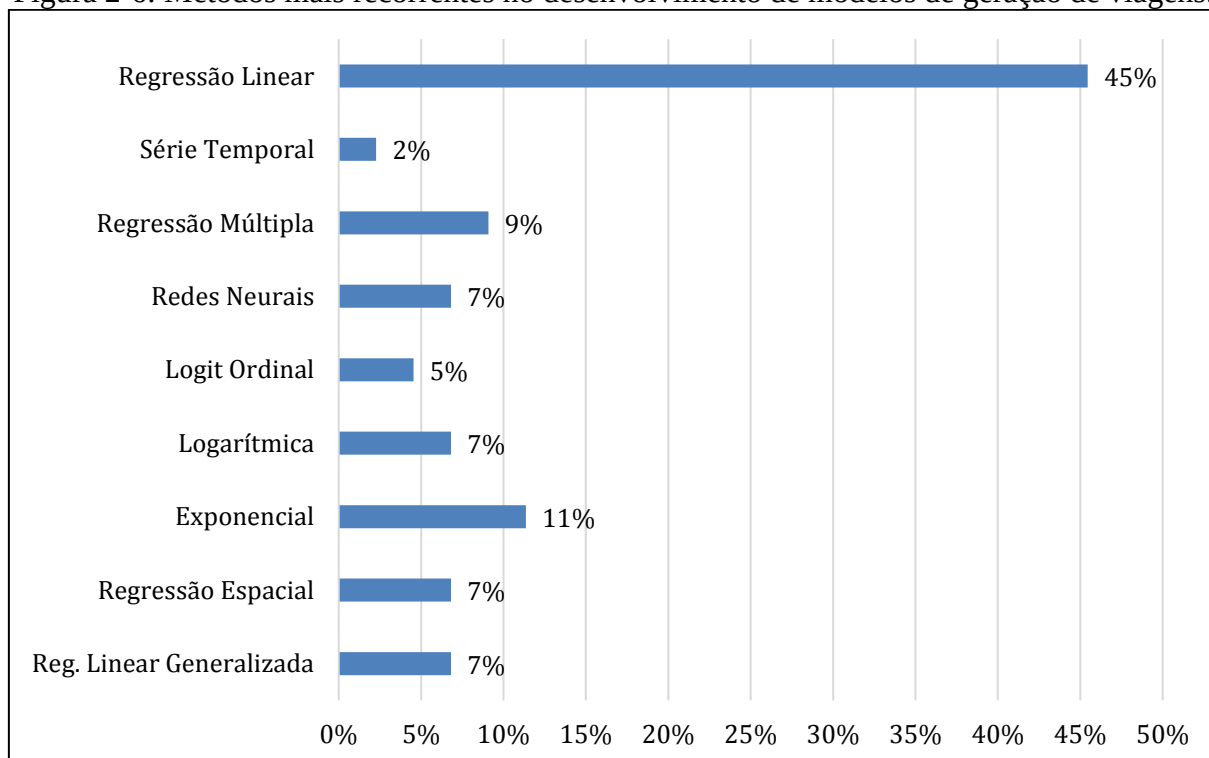
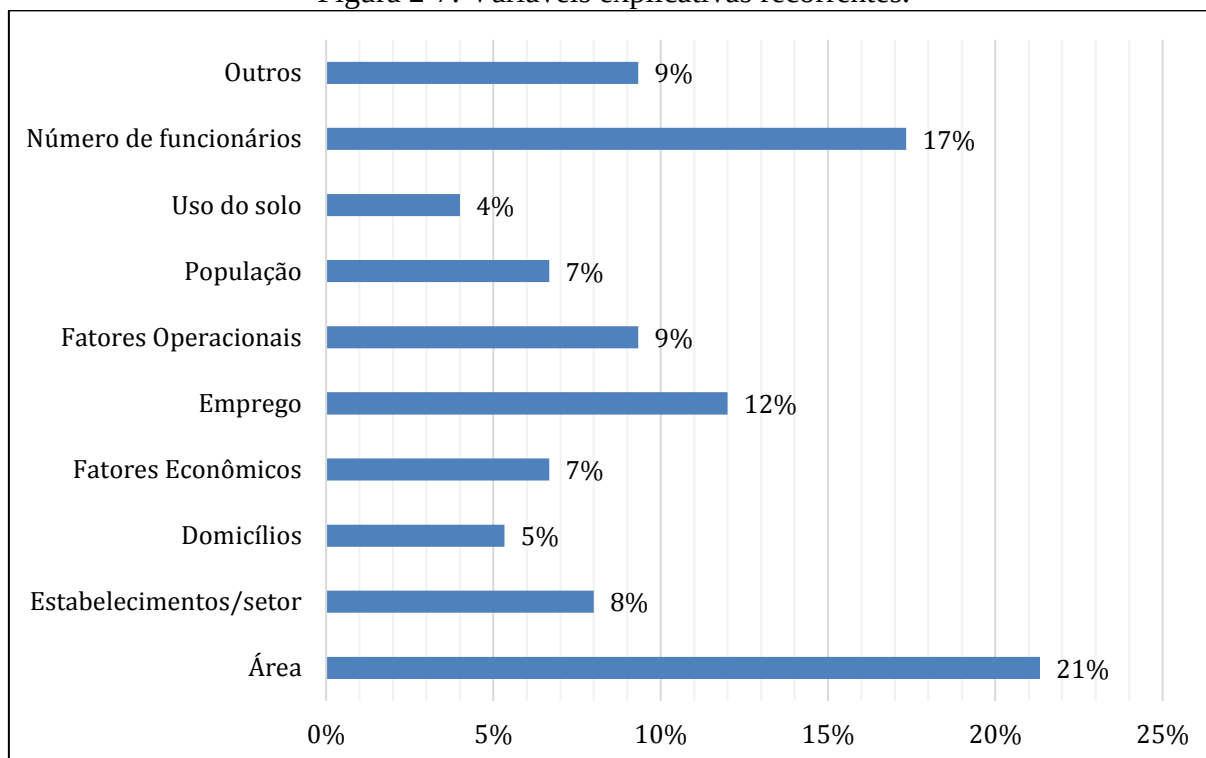


Figura 2-7: Variáveis explicativas recorrentes.



Na próxima subseção são detalhados os estudos aqui sintetizados. É necessário ressaltar a importância das pesquisas que envolvem modelos de geração de viagem de carga. Tais modelos são ferramentas analíticas indispensáveis para estimar os fluxos urbanos de mercadorias em determinada região (ALHO e SILVA, 2014). Os resultados fornecidos pelos modelos influenciam diretamente a eficiência do planejamento urbano, contribuindo para melhorar/minimizar problemas relacionados ao trânsito.

Apesar do número considerável de pesquisas sobre geração de viagem de carga, percebem-se poucos estudos desenvolvidos nesta área no Brasil, quando comparado com países como os Estados Unidos. Enquanto os países desenvolvidos dispõem de dados abundantes sobre distribuição de carga por meio de seus órgãos, as cidades brasileiras não possuem informações dos fluxos de mercadorias urbanas. Logo, torna-se importante dar continuidade às pesquisas usando como estudo de caso as cidades brasileiras. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de geração de viagens de carga para o setor da construção civil na cidade de Belo Horizonte. Tal setor nunca foi explorado individualmente, apesar de aparecer no trabalho de Iding (2002) como um dos setores investigados. Este estudo pode

contribuir com o planejamento urbano, de modo a subsidiar a proposição de medidas mitigadoras que envolvem a operação de carga e descarga de materiais nos canteiros de obra e a entrada e saída de caminhões.

2.1 A literatura sobre geração de viagens de carga

Tadi e Balbach (1994) analisam características, não residenciais, relacionados ao uso do solo para desenvolver modelos de geração de viagem de caminhão para cidade de Fontana, Estados Unidos. O objetivo do estudo foi determinar o nível de impacto do tráfego de caminhões em ruas locais e arteriais da cidade, bem como obter dados relevantes a serem utilizados em estudos de índices de tráfego e contribuir com uma base de dados atualizada para futuros dimensionamentos de infraestrutura. Para determinar as taxas de viagem de veículos de carga dos setores industriais estudados, foram coletados dados em 21 locais diferentes, bem como informações sobre veículos de passageiros e caminhões, de acordo com o número de eixos. A coleta de dados consistiu em realizar contagens “manuais” de 10 horas e contagens automáticas (por meio de máquinas) de 24 horas em cada um dos 21 locais. A variável independente utilizada nos modelos foi a área construída e a variável dependente foi o número de viagens de caminhões. O método utilizado foi a regressão linear, considerando viagens diárias. Os autores apresentaram as taxas segregando o dia da semana e os horários das viagens e concluíram que o tráfego de caminhões, geralmente, é maior nos períodos de pico da tarde, correspondendo a 30% do volume total diário de veículos.

Black (1999) apresenta modelos de geração de viagem de carga para o estado de Indiana, Estados Unidos. O autor analisou os fluxos de entrada, saída e entre os 92 municípios do estado, além de um total de 145 nós que representam municípios de estados vizinhos em decorrência do fluxo de bens e materiais que estão passando por Indiana. Foi identificado um conjunto de 18 grupos de mercadorias e foi desenvolvido um modelo para cada um. Os modelos foram gerados, a partir de regressão linear, utilizando como variáveis explicativas o número de empregos por setor, população total, número total de empregos, receita bruta recebida na agricultura e número total de empregos na indústria. A variável dependente foi a quantidade de carga atraída e produzida por setor.

Marra (1999) apresenta um estudo sobre movimentação urbana de cargas buscando identificar padrões de demanda por mercadorias, utilizando dados da cidade de Campinas, Brasil. O autor desenvolveu modelos de geração de viagem de carga usando dados relacionados ao volume de carga transportada. Para aquisição dos dados foi realizada uma pesquisa de campo em domicílios visando determinar a demanda mensal por mercadorias, relacionando tal demanda com indicadores socioeconômicos da população. Nessa pesquisa apresentaram-se, também, os tipos de uso do solo que implicam em maior geração de viagens de cargas urbanas, as principais mercadorias em circulação e os veículos de carga mais utilizados. A variável dependente utilizada no modelo foi o volume de carga transportada por mês e as variáveis independentes foram o nível de renda nos bairros, número de moradores/empregados no domicílio e área do imóvel. Na correlação das variáveis o autor utilizou regressão linear, logarítmica, exponencial e polinomial. Os resultados indicaram que o modelo de regressão linear correlaciona bem o volume de cargas demandados em cada bairro e suas respectivas áreas médias dos imóveis e seu número médio de moradores ou empregados. No caso da correlação entre a demanda mensal de cargas e o nível de renda médio de cada bairro, concluiu-se que a curva exponencial foi a que melhor se ajustou aos valores.

Inding *et al.* (2002) apresentam um modelo de geração de viagem de carga que considera as diferenças entre setores da indústria, para obter uma relação entre as características da empresa e o tráfego de mercadorias. O número de funcionários e a área da empresa foram utilizadas como variáveis independentes. O estudo foi realizado em nível nacional e o tamanho inicial da amostra foi de 10 mil pesquisas: 5 mil empresas foram abordadas na parte ocidental densamente povoada da Holanda (conhecida como *Randstad*) e 5 mil em outras regiões do país. Apenas as empresas com pelo menos 5 funcionários foram incluídas na população pesquisada. O trabalho resultou em um conjunto único de estatísticas sobre os padrões de transporte de mercadorias produzidos por empresas de vários setores da indústria. A importância relativa das variáveis independentes varia fortemente entre os setores. A análise de regressão fornece uma base para estimar a quantidade de viagens geradas por empresas individuais e, quando isso não é possível, o número médio de viagens geradas por empresas em setores específicos da indústria pode servir para o mesmo propósito.

Allen (2002) apresenta modelos regionais de previsão de caminhões para o Conselho Metropolitano de Baltimore, Estados Unidos. Segundo o autor, as agências responsáveis pelo transporte demonstraram interesse em renovar os dados sobre movimento de mercadorias como parte do planejamento intermodal e decidiu atualizar seus modelos sobre caminhões, já que utilizavam estimativas de viagens de caminhões baseadas em dados com mais de 30 anos. A pesquisa utilizou dados de contagens de caminhões. O número de viagens de caminhões médios e pesados foram consideradas como variáveis dependentes. O número de empregos no setor industrial e no setor de varejo, a oferta de empregos em escritórios e o número de residências foram consideradas como variáveis independentes. O resultado foi um processo que apresentou sensibilidades razoáveis para as principais variáveis de entrada (número de emprego e residências) e a validação apresentou elevada precisão quando comparado com os dados de entrada.

Melo (2002) apresenta modelos de viagem de carga existentes na literatura e desenvolve modelos de geração de viagens de carga para estabelecimentos comerciais e empresas de transporte na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Os dados utilizados foram obtidos a partir de questionários aplicados em 78 estabelecimentos divididos em seis segmentos (supermercados; vestuário; comércio varejista; bares e restaurantes; material de construção; combustível) no setor comercial. Para as empresas de transporte foram aplicados questionários em 20 empresas divididas em 4 segmentos (carga geral; combustível; carga própria; alimentação). A autora utilizou como variável explicativa a área dos estabelecimentos comerciais, relacionando esta variável com o número de viagens de veículos de carga (variável dependente). Para as empresas de transporte foram consideradas variáveis independentes: frota da empresa, horas trabalhadas e distância percorrida. Foi utilizada regressão linear no desenvolvimento dos modelos e os resultados encontrados apresentam modelos com alto poder de predição.

Silva e Waisman (2007) desenvolvem um modelo de geração de viagens de caminhões para bares e restaurantes no bairro da Mooca, em São Paulo. As informações sobre o comportamento das viagens e a caracterização do uso do solo foram coletadas por meio de pesquisa de campo em trinta estabelecimentos comerciais. As variáveis explicativas utilizadas foram área do estabelecimento e o número de funcionários. Nos 30 estabelecimentos

pesquisados, a área variou de 60 a 500 m² e de 2 a 17 funcionários por estabelecimento. Os dados permitiram verificar que, de um modo geral, a variável dependente (quantidade média semanal de viagens de caminhões) está relacionada com as variáveis independentes. Os autores ressaltam que os resultados obtidos se restringem à região e ao tipo de atividade/uso de solo estudado.

Gasparini (2008) analisa a movimentação de veículos de carga para *shopping centers* e supermercados e desenvolveu modelos de geração de viagem de carga, para os segmentos citados, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Tais empreendimentos são classificados como Polos Geradores de Viagem (PGV) e considerados de grande porte no meio urbano. Para obtenção de dados sobre a movimentação de veículos de carga, em termos de volume, tipos de veículos e duração das viagens, assim como das características dos empreendimentos, foi realizada uma pesquisa de campo na qual aplicou-se entrevista em 21 supermercados e 7 *shopping centers*. Para ambos segmentos as variáveis dependentes foram: volume total de viagens no período de “pico”, volume total de viagens no período “fora pico” e volume total de viagens. Já as variáveis independentes foram: área construída, volume médio de clientes, área bruta locável, número de empregados, vagas de estacionamento e área de vendas (para *shopping centers*). Para supermercados foram: volume médio de clientes, número de empregados e vagas de estacionamento. Os modelos foram desenvolvidos usando regressão linear. As taxas de viagens para cada mil metros quadrados de área construída em *shopping centers* foram entre 0,57 e 0,89 nos dias de pico. No caso dos supermercados, observou-se também nos dias de pico, taxas de viagens de: 1,14 (hipermercados), 1,71 (superlojas) e 3,04 (convencionais).

Souza *et al.* (2010) apresentam uma revisão sobre modelos de geração de viagem para polos geradores de viagem de carga. Os autores pesquisaram os modelos utilizados na literatura ao longo dos anos e identificaram os autores, locais estudados, as variáveis utilizadas, bem como os modelos gerados. Eles pesquisaram 25 trabalhos, sendo 4 nacionais e 21 internacionais. Esses estudos foram publicados entre 1974 e 2008, sendo que foram identificados três publicações em 2002, a maior dentre os anos pesquisados. Os autores observaram dois tipos de modelagem de viagens de carga. Modelos baseados em volume de viagens, que têm seu foco no fluxo de veículos e os modelos baseados em volume de carga que têm o foco na

quantidade de carga transportada medida em toneladas, ou em qualquer outra unidade de peso. Os trabalhos pesquisados aplicaram, em sua maioria, regressão linear na modelagem e as variáveis dependentes foram o número de viagens de veículos ou a quantidade de carga. Dentre os estudos pode-se destacar que a variável independente mais recorrente foi o número de empregados do setor estudado. Outras variáveis independentes foram população (total ou da região em estudo), áreas (total e construída), número de docas, volume médio de clientes, área bruta locável, área de vendas, número de vagas no estacionamento, volume médio de clientes, entre outros. Os autores concluem que o impacto dos polos geradores de viagem de carga no sistema viário quanto ao uso e ocupação do solo é diferenciado, dependendo da região e do porte do empreendimento.

Holguín-Veras *et al.* (2012) analisam a influência do tamanho do empreendimento e a validade das taxas constantes de geração de viagem de carga (GVC). Os autores processaram um conjunto de dados com cerca de 400 transportadores e 400 receptores na região metropolitana de Nova York, Estados Unidos (que inclui cidades do Estado de Nova York e de Nova Jersey). O processo de modelagem foi realizado com foco em modelos lineares simples baseados no emprego como única variável independente, pois poderiam ser comparados diretamente com as taxas de GVC constantes amplamente utilizadas. O método dos mínimos quadrados ordinários foram usados para estimar os modelos. A produção de carga (viagens de caminhão feitas por dia) e a atração de carga (entregas recebidas por dia) foram as variáveis dependentes. Os estabelecimentos foram classificados por códigos padrões de classificação industrial (*Standard Industrial Classification* – SIC) e agrupados em oito setores. Os resultados questionam as práticas de modelagem da demanda de carga há muito estabelecidas e sugerem a necessidade de um exame abrangente dos dados de geração de viagem de carga para garantir que os modelos sejam validados e os correspondentes procedimentos de agregação sejam adequados. Deve-se analisar geração de carga (GC) e geração de viagem de carga (GVG) de modos diferentes, uma vez que GC se baseia em decisões logísticas, enquanto GVC é determinado pela economia (produção e consumo).

Thomas *et al.* (2012) apresentam um estudo para o estado de Utah, Estados Unidos. Eles utilizaram dados públicos de fluxo de mercadorias e identificaram uma boa correlação entre o fluxo de mercadorias e o tipo de uso do solo, por meio de dados que descrevem as

características de uso particular do solo, como dados de emprego, dados de padrão de negócios e dados salariais foram utilizados. Os autores desenvolveram dois modelos usando regressão múltipla. Como variáveis independentes para o modelo I, foram utilizadas 25 classificações de emprego por setor. Os fatores relacionados ao emprego foram utilizados pelos modelos de previsão de viagens de carga em todo o estado. Os fluxos de mercadorias produzidos, atraídos e distribuídos em Utah tornaram-se variáveis dependentes. No modelo II, 68 fatores contribuintes foram utilizados como variáveis independentes, incluindo 21 variáveis relacionadas a estabelecimentos, 11 variáveis relacionadas ao número de empregos, 11 relacionadas a salários e 25 variáveis relacionadas a empregos em setores específicos. Os fluxos de mercadorias produzidos, atraídos e distribuídos em Utah foram variáveis dependentes no Modelo II, assim como no Modelo I. As estimativas geradas pelos modelos criados foram comparadas com os valores de fluxo de mercadorias encontrados em 2007, na *Commodity Flow Survey*. Entretanto, os valores estimados e os valores encontrados na pesquisa de 2007 mostram que os modelos subestimaram o fluxo de mercadorias em alguns municípios.

Holguín-Veras *et al.* (2012) avaliam e definem formas de melhorar a transferibilidade dos modelos de geração de viagem de carga (MGVC). Eles apresentaram as principais premissas que devem orientar o desenvolvimento dos MGVC e avaliaram a transferibilidade de duas formas diferentes. O primeiro é através das análises de quão bem os MGVC são capazes de estimar o fluxo real de viagens de carga em vários casos de validação. O segundo é através de MGVC econométricos que avaliam a significância estatística de variáveis binárias que representam locais geográficos específicos. Os autores utilizaram os modelos desenvolvidos pelo *National Cooperative Freight Research Program Project 25* (NCFRP 25), *Quick Response Freight Manual* (QRFM) e, pelo *Institute of Transportation Engineers' Trip Generation Manual* (ITE). Os resultados mostram que, os modelos desenvolvidos como parte do projeto NCFRP 25 "*Freight Trip Generation and Land Use*" possuem melhor capacidade de previsão do que os incluídos em outras compilações. Os procedimentos de correção sintética melhoram a transferibilidade e nenhum efeito de localização está presente nos dados do teste.

Lawson *et al.* (2012) analisam os efeitos do uso do solo e do número de funcionários na geração de viagens de carga (GVC). Os autores utilizaram dados da cidade de Nova York, Estados Unidos, e aplicaram três técnicas diferentes: taxas de geração de viagem, mínimos quadrados ordinários e análise discriminante múltipla. A classificação do uso do solo foi realizada a partir de três códigos diferentes que foram utilizadas associadas aos dados de número de funcionários para gerar os modelos. Os autores concluíram que os modelos classificados pelo *City of New York Zoning Resolution* (NYCZR) e *Land-Based Classification Standards* (LBCS) forneciam uma alternativa melhor às taxas de viagem quando comparadas ao manual do ITE (*Institute of Transportation Engineers*), pois forneceram estimativas mais precisas para atração de carga. Os melhores modelos foram selecionados considerando o teste-t e a Raiz do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Squared Error* - REQM). Para 73% dos modelos NYCZR, um coeficiente constante produz os melhores modelos de GVC. Para 18% dos modelos, a GVC depende do emprego e para 9% dos modelos, o melhor resultado é obtido através de um modelo que combina um coeficiente constante e a taxa de emprego.

Jaller *et al.* (2013) apresentam modelos de geração de viagem de carga baseada na área dos estabelecimentos. Além disso, os autores avaliaram o desempenho da variável independente área do estabelecimento *versus* número de funcionários em modelos desenvolvidos previamente pelos autores. São utilizadas duas amostras de dados de geração de viagem de carga de empresas receptoras e operadoras em Nova York e Nova Jersey, Estados Unidos. Os dados foram coletados entre 2006 e 2012, para realizar a validação externa dos modelos. No total, cerca de 380 empresas receptoras de diferentes segmentos da indústria em Manhattan e Brooklyn foram entrevistadas. Os dados sobre distribuição de mercadorias coletados incluem número de entregas diárias, caminhões, emprego e vendas, entre outros. Os resultados indicam que existe uma forte correlação entre o emprego e a área, mas tal relação depende da definição do setor do estabelecimento. Os resultados mostram que a maior correlação entre emprego e área corresponde à área comercial. De acordo com as descobertas anteriores, um grande número de indústrias têm padrões constantes de atração de viagem de carga e de transporte de mercadorias (produção de viagens), independentemente do tamanho da empresa (medido por níveis de emprego ou área).

Kulpa (2013) desenvolve modelos de geração de viagens de carga para caminhões leves e pesados, na Polônia. O autor utilizou duas fontes de dados: estudo abrangente de viagens na área metropolitana de Cracóvia com dados do ano de 2007 e outro na cidade de Poznań com dados do ano 2000. O conjunto de dados desenvolvidos foram utilizados para estimar equações de geração de viagem, aplicando regressão linear e não linear, bem como redes neurais artificiais. Para os dois tipos de caminhões (leves e pesados), os melhores resultados foram obtidos usando o número de habitantes como variável independente. A variável independente que apresentou pior desempenho foi o número de empregados na agricultura. A regressão múltipla e as redes neurais artificiais são mais complexas e, dependendo do número de variáveis explicativas, podem dar melhores resultados. No entanto, na verificação dos modelos, especialmente para redes neurais artificiais e modelos de regressão múltipla os resultados apresentaram maiores erros.

Jaller *et al.* (2013) desenvolvem um método para estimar a demanda de estacionamento de carga através do uso de modelos de geração de viagens de carga e dados de estacionamento com base em características físicas da infraestrutura viária, para Nova York, Estados Unidos. Os autores abordaram estratégias para o gerenciamento da demanda de estacionamento para carga e descarga desenvolvido por agências governamentais e outras organizações. A demanda de estacionamento é expressa em função da geração de viagens de carga de estabelecimentos individuais, e a disponibilidade de estacionamento é estimada como uma função das dimensões do espaço e das características dos veículos comerciais. Os resultados têm importantes implicações de planejamento pois indicam que não há áreas de estacionamento suficientes para o transporte de mercadorias. O *déficit* de estacionamento se traduz em violações de estacionamento e em maiores distâncias percorridas desnecessariamente pelos veículos de carga em busca de local para estacionar.

Alho e Silva (2014) desenvolvem modelos de geração de viagem de carga com base em uma pesquisa sobre distribuição de mercadorias no comércio varejista da cidade de Lisboa, Portugal. Os dados que alimentaram a pesquisa foram extraídos de um questionário aplicado em 604 estabelecimentos. A relação das possíveis variáveis independentes com o número total de entregas semanais foi investigado. As variáveis clássicas foram escolhidas com base na literatura, mas também exploraram-se novas variáveis explicativas. Os diversos conjuntos de

variáveis foram modelados sob regressão linear e regressão generalizada. As variáveis independentes utilizadas foram tamanho do estabelecimento, área de vendas, área do armazém, número de funcionários e número de fornecedores. Os autores exploraram possíveis variáveis explicativas como: cadeia de fornecimento, proporção de moradias e imóveis, densidade dos moradores, densidade do estabelecimento de mercadorias, entre outros. Foram realizados vários testes para avaliar a qualidade dos resultados. A análise das variáveis mostrou que aquelas mais comumente utilizadas em aplicações práticas não eram necessariamente os melhores preditores de demanda. O número de funcionários foi consistentemente um melhor preditor do que a área do estabelecimento. Os modelos de regressão linear apresentaram melhores capacidades de previsão, quando comparados aos modelos generalizados. Em geral, as capacidades preditivas de qualquer um dos modelos com a metodologia escolhida foram inferiores ao que é considerado aceitável para uma aplicação prática.

Sánchez-Díaz *et al.* (2014) analisam a atração de viagens de carga e as relações com as principais características do ambiente urbano. Usando dados de estabelecimentos comerciais, os autores exploraram a influência dos atributos do mercado, bem como do uso da rede (malha rodoviária) e de uso do solo. Na pesquisa foram utilizados dados de 343 estabelecimentos de cinco setores industriais diferentes em Nova York, Estados Unidos. A evidência empírica sugere que a localização dos estabelecimentos, relacionada ao seu valor de mercado e a largura da rua, desempenham um papel importante na atração de viagens de carga e que as indústrias de varejo localizadas em zonas de alto emprego tendem a produzir altas taxas de atração de viagens de carga por empregado. Os resultados da análise econométrica e os testes de especificação mostram que os modelos de atração de viagens de carga são melhor representados com uma função não-linear quando se utiliza o número de empregos e outras variáveis de localização. Outro fato interessante é que a atração de viagens de carga é melhor modelada usando modelos não-lineares para todos os setores da indústria.

Sánchez-Díaz *et al.* (2015) apresentam um modelo de geração de viagens de carga urbana para estimar os fluxos de carga usando fontes de dados secundárias, por exemplo, contagens de tráfego, reduzindo a necessidade de pesquisas dispendiosas. A capacidade do modelo para replicar os valores reais foi avaliada usando a região de Denver, Estados Unidos. O modelo,

referido como Resumo das Viagens de Carga (*Freight Tour Synthesis* - FTS), melhora as técnicas atuais, incorporando o comportamento dependente do tempo (baseado em turnos) para veículos de carga. O modelo estima o conjunto mais provável de fluxos em turnos, dado um conjunto de estimativas de geração de carga, um conjunto de contagens de tráfego por intervalo de tempo e o custo total de transporte de mercadorias na rede.

Alho e Silva (2015) investigam as atividades dos veículos de carga que atendem o comércio de varejo urbano na cidade de Lisboa, Portugal. O artigo apresenta formulação, desenvolvimento, aplicação e análise estatística de uma pesquisa sobre distribuição de mercadorias baseada em estabelecimentos com uma amostra de 604 empreendimentos de diversos setores. Várias análises estatísticas foram realizadas para as distribuições das respostas da pesquisa, como as correlações de Spearman, parcelas de linha/dispersão e regressões lineares e mínimos quadrados. Os autores concluíram que o desenvolvimento de um modelo de previsão do total de veículos que atendem um estabelecimento para fins de descarga é um desafio, devido a natureza dinâmica do cronograma de entrega. Observou-se que, usualmente, os responsáveis pelas entregas definem o dia e a hora da mesma, logo as relações entre os modelos de previsão de total de viagens geradas por um estabelecimento e as variáveis explicativas mais abordadas na literatura (tipo de indústria, número de funcionários, área de vendas) são fracas. As parcelas de dispersão confirmaram que existem apenas alguns casos em que muitos itens são recebidos em poucas entregas, ou de poucos fornecedores, sugerindo que a consolidação de carga requer mais pesquisas. Como as previsões podem estar associadas a erros, é necessário um cuidado especial com previsões que visem a análise de políticas.

Wang e Zhou (2015) abordaram a geração de viagens de carga a partir de compras do comércio eletrônico. Os autores utilizaram dados da Pesquisa Nacional de Viagens (*National Travel Survey* - NHTS) dos Estados Unidos para investigar as viagens de carga geradas por unidades residenciais na cidade de Nova York. Um modelo de escolha binária e um modelo binomial negativo foram usados para identificar os impactos das variáveis relacionadas à pessoas, famílias e regiões específicas na frequência de entrega domiciliar. A estimativa de viagens de carga geradas por unidades residenciais também foi comparada às viagens de carga geradas pelos estabelecimentos comerciais. Os resultados mostraram que fatores individuais,

familiares e regionais são influentes para a frequência de entrega domiciliar. Os usuários frequentes da Internet, mulheres, pessoas brancas e pessoas com nível de ensino superior tendem a receber mais entregas de mercadorias. Os resultados indicaram que as viagens de carga geradas por unidades residenciais têm uma magnitude comparável às viagens geradas pelas empresas. O número total de viagens de carga geradas pelos estabelecimentos comerciais é de 9,25 milhões para a área de estudo. As entregas domiciliares representam cerca de 31% das viagens de carga geradas por empresas.

Jaller *et al.* (2015) apresentam procedimentos para identificar e quantificar o papel desempenhado pelos grandes geradores de tráfego de mercadorias urbanas como contribuintes do tráfego de caminhões em áreas metropolitanas. Embora os portos, terminais de contêineres e outros locais industriais sejam geralmente associados a grandes geradores de viagens de caminhão, eles representam apenas uma pequena proporção do total de viagens produzidas e atraídas em grandes áreas metropolitanas. Os autores exploraram o papel de *clusters* de negócios ou edifícios comuns na geração de grande volume de tráfego urbano de mercadorias (*Large Urban Freight Traffic Generators – LTG`s*) na cidade de Nova York, Estados Unidos. Embora diferentes procedimentos selecionem LTG`s de diferentes perspectivas, com diferentes classificações, todos os procedimentos indicam que, embora sejam limitados em número, os LTG`s são extremamente influentes em termos de atividade geral de carga urbana. Conclui-se que um número limitado de edifícios e estabelecimentos que produzem e atraem um grande número de viagens de caminhões podem ser facilmente identificados e possuem um grande potencial para ajudar a melhorar a eficiência das entregas de carga em áreas urbanas.

Sánchez-Díaz *et al.* (2015) analisam a geração de viagens de carga de estabelecimentos que apenas recebem mercadorias (receptores) e intermediários de carga (estabelecimentos que recebem e enviam mercadorias). Os padrões de produção de carga e de viagem de carga de estabelecimentos em diferentes setores da indústria foram comparados usando modelos de geração de carga. O estudo de caso deste trabalho foi a cidade de Nova York, Estados Unidos. Os dados utilizados são dos anos de 2006 e 2012 e contam com informações de mais de 380 empresas receptoras de diferentes segmentos da indústria. As análises indicaram diferenças importantes entre a produção e a atração entre os estabelecimentos dos diversos segmentos da

indústria e entre receptores puros e intermediários. Como resultado, os modelos econométricos foram estimados para identificar estabelecimentos intermediários. A forma como os estabelecimentos de transporte de mercadorias operam, a sua posição ao longo da cadeia de abastecimento e a indústria a que pertencem afetam a forma como podem internalizar os benefícios e custos operacionais e externos.

Günay *et al.* (2016) apresentam uma abordagem de modelagem condicional para modelos de geração de viagem de carga para uma categoria específica de caminhão chamada *tractortrailers*. Os dados utilizados foram obtidos do *Kocaeli Logistics Master Plan (KOLMAP)* - Plano Diretor de Logística da província de Kocaeli (Turquia) no período de agosto a dezembro de 2011. Os autores identificaram que a principal fraqueza em outros estudos que tratavam de viagens de carga foi a inadequação do sistema de classificação utilizado para agrupar estabelecimentos comerciais em um conjunto de classes padronizadas. Assim, um experimento foi conduzido para criar grupos de sítios logísticos que possuíam características homogêneas de geração de viagem de carga. Eles observaram que a categoria de veículo *tractortrailers* apresentava zero viagens, então para resolver este problema foi proposta e testada uma modelagem "condicional". As variáveis independentes utilizadas no estudo foram a área e o número de empregos dos estabelecimentos, além do setor industrial e informações operacionais. Posteriormente, os modelos desenvolvidos usando a nova abordagem foram comparados com os modelos obtidos usando apenas regressão linear. Os resultados indicaram que a criação de grupos homogêneos de sítios logísticos foi possível. A nova abordagem de modelagem condicional que foi aplicada aos *tractortrailers* apresentou melhor desempenho do que a modelagem de regressão linear.

Alho e Silva (2016) testam e comparam quatro metodologias (Análise de Classificação Cruzada, Análise de Classificação Múltipla, Modelo Linear Generalizado e Modelo Logit Ordinal) para prever a geração de viagens de carga. O objetivo do estudo era aprimorar modelos de geração de viagens de carga, contribuindo assim para melhorar o planejamento urbano. A principal fonte de dados foi uma pesquisa sobre distribuição de mercadorias baseada em estabelecimentos, que reuniu dados de 604 estabelecimentos de varejo na cidade de Lisboa, Portugal. As variáveis independentes selecionadas foram a categoria industrial, o número de funcionários e a área do estabelecimento de varejo. A semelhança nos resultados

entre a análise de classificação múltipla e os métodos de partição sugere que, para estabelecimentos relativamente pequenos, a variação no número de funcionários para cada categoria de indústria é uma aproximação razoável para a previsão de entregas semanais. A análise permitiu a conclusão de que a contribuição variável se modifica de acordo com a metodologia de modelagem escolhida. Existe pouca variabilidade na qualidade das previsões dependendo do modelo selecionado, mas uma melhoria considerável nas previsões corretas pode ser conseguida reduzindo a variabilidade da variável dependente.

Sánchez-Díaz (2016) explora as deficiências relacionadas a distribuição de mercadorias dos estabelecimentos comerciais urbanos e os impactos no tráfego usando dados coletados dos estabelecimentos da cidade de Gotemburgo, Suécia. O autor apresenta modelos estatísticos, desenvolvidos utilizando regressão linear e modelo de escolha discreta, para estimar o número de viagens de mercadorias produzidas e atraídas por semana, além da atração de viagens analisando a mercadoria (peso e volume). Ainda, os modelos são desenvolvidos com o objetivo de auxiliar o planejamento e as políticas urbanas, de modo que as variáveis explicativas são selecionadas com base na adequação e disponibilidade. Uma pesquisa obteve dados sobre o número de viagens de entrega (atraídas) e o número de viagens de saída (produzidas) dos estabelecimentos em uma semana típica. Dados como a quantidade de carga atraída para o estabelecimento, o tipo de veículos que realiza a entrega, o número de fornecedores, o número de funcionários, a área do estabelecimento e a política de pedidos e estoque, entre outros foram coletados. Os resultados mostram que o comércio varejista de produtos perecíveis têm a maior geração de viagem de carga por estabelecimento, seguidos por escritórios do setor público e estabelecimentos de educação, varejistas de produtos não perecíveis e restaurantes.

Ferreira e Silva (2016) analisam modelos de geração de viagem de carga para identificar variáveis explicativas e métodos matemáticos frequentemente utilizados em modelos anteriores e selecionar, dentre as encontradas, variáveis que podem ser usadas para auxiliar na compreensão do fluxo de cargas, considerando o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Os autores realizaram uma revisão sistemática e bibliométrica da literatura e identificaram variáveis explicativas relacionadas ao estabelecimento, como número de funcionários, área construída, número de lojas, entre outras. Variáveis relacionadas à

parâmetros socioeconômicos da região também foram observados, como: população, número de domicílios e empregos na região. Dos 25 trabalhos analisados 21 apresentaram como variável dependente o número de viagens, enquanto somente quatro utilizaram volume de carga. Foram utilizados os métodos de taxas de geração de viagem e regressão linear para criação de modelos de geração de viagem de carga para região metropolitana do Rio de Janeiro. Os resultados mostraram que domicílios e população são variáveis explicativas que apresentaram melhor relação com o fluxo de cargas.

Oliveira *et al.* (2016) desenvolvem modelos de geração de viagens de carga que incluem mercados e supermercados, além dos bares, restaurantes em Belo Horizonte, Brasil. Os dados foram obtidos através de pesquisa de campo. A área e o número de funcionários foram utilizados como variáveis explicativas. A variável dependente neste estudo foi número de veículos de carga atraídos pelo empreendimento. Utilizou-se regressão linear para modelagem do fenômeno. Os resultados mostram que uma concentração de empreendimentos em uma determinada região implica em um elevado número de veículos de carga realizando entregas, podendo reduzir a mobilidade da região e seu entorno. Uma comparação com modelos existentes foi realizada e identificou-se semelhanças (supermercados) e divergências (bares e restaurantes), destacando a necessidade de modelos locais. A análise espacial permitiu identificar áreas com maior concentração de estabelecimentos e viagens de veículos de carga e podem ser utilizados como subsídio para definição de políticas públicas.

Oliveira *et al.* (2017a) apresentam os resultados de um modelo de geração de viagem de carga desenvolvido para bares e restaurantes em Belo Horizonte, Brasil. Da mesma forma que Oliveira *et al.* (2016), os dados necessários para o desenvolvimento do modelo foram obtidos a partir de um questionário, com informações sobre tipo de mercadoria, frequência, tempo operacional, local de carga e descarga de mercadorias, tamanho do estabelecimento e número de funcionários. A coleta de dados foi realizada via entrevistas, conduzidas com o gerente do estabelecimento ou um membro técnico responsável pelas operações logísticas. Foram entrevistados 300 estabelecimentos. O estudo teve como foco o setor de bares e restaurantes da cidade de Belo Horizonte, que representa 42% do número de entregas em uma área que contém a grande maioria de estabelecimentos comerciais e problemas de mobilidade urbana. Os modelos foram desenvolvidos através de regressão linear simples, correlacionando:

número de viagens versus área do estabelecimento; número de viagens versus número de empregados; número de viagens versus dia de operação do estabelecimento. Os resultados dos modelos de geração de viagem foram analisados em conjunto com outros dados geográficos, como dados demográficos, densidade da rede rodoviária e dados socioeconômicos.

Boarnet *et al.* (2017) examinam a relação entre padrões de desenvolvimento espacial urbano e viagens de carga em Los Angeles, Estados Unidos. Usando os dados da *National Employment Time Series* (NETS), identificaram *clusters* de emprego na área metropolitana de Los Angeles. Os autores desenvolveram um modelo de regressão que estima a atividade de carga em função das características geográficas, os *clusters* de emprego, medidas de emprego nas proximidades, acesso à rede rodoviária e proximidade de instalações de transporte intermodal. Os resultados indicaram que o emprego é um fator importante da atividade de carga. Entretanto, os *clusters* de emprego têm um efeito independente sobre a atividade de carga. Os resultados desse estudo sugerem que pesquisas adicionais sobre estrutura espacial urbana e atividade de carga devem avaliar os efeitos dos *clusters* de emprego e como sua composição e características específicas do emprego estão associadas às atividades de carga no nível metropolitano.

Gonzalez-Felú e Peris-Pla (2017) avaliam as relações entre atratividade do comércio de varejo, tanto de carga quanto de compras, geradas em áreas urbanas de Lyon, França. A estrutura proposta implementa uma atração de viagem de carga (*Freight Trip Attraction - FTA*) e um modelo de atração de viagem de compras (*Shopping Trip Attraction - STA*) modelados a partir de regressão linear. As variáveis explicativas demográficas foram: população e número de domicílios da seção considerada; densidade populacional e densidade do agregado familiar. As variáveis explicativas socioeconômicas foram: número de estabelecimentos; número de supermercados e grandes polos comerciais; número de hipermercados e lojas similares; número de funcionários nas pequenas e médias empresas, supermercados e hipermercados e presença de um shopping, apresentado como uma variável binária. Os resultados mostram que as taxas de FTA e STA têm uma relação direta com a atratividade do varejo.

Rolko e Friedrich (2017) apresentam os resultados intermediários de um estudo empírico sobre as localidades Provedoras de Serviços de Logística (*Logistics Service Providers – LSP*)

na Alemanha. A distribuição de mercadorias geradas por redes alemãs de caminhão-carga é estimado em um nível agregado. O método de coleta de dados conciliou informações sobre os padrões espaciais e estruturais dos locais alocáveis ao setor de logística alemão e o transporte de carga. O número de viagens de carga gerados pelos LSP's são altamente relevantes para o setor de transporte e as políticas de planejamento do uso do solo. Os dados utilizados no estudo continham informação de 2.809 locais de LSP's. Foram obtidas informações representativas da estrutura dos locais LSP para os atributos: área de operações logísticas e empregos. Além disso, a aplicação das taxas de geração de carga provou ser bem sucedida. O estudo mostrou que o setor foi capaz de gerar cerca de 71,8% da tonelagem total de carga transportada.

Na Tabela 2-1 é apresentado um resumo dos estudos. Pode-se perceber que outros países investem em pesquisas no setor de geração de viagem de carga, que podem contribuir com o planejamento das políticas urbanas voltadas para distribuição de mercadorias, de modo a propor medidas que beneficiem todos os envolvidos. As pesquisas possibilitam estimativas de fluxos de veículos pesados, sendo assim o poder público pode tomar medidas para minimizar problemas no trânsito, como delimitação correta dos estacionamentos de carga e descarga; tamanho, horários e rotas permitidas aos caminhões entre outros.

Além disso, observa-se que em geral, os modelos apresentados na revisão da literatura são de natureza linear e os mesmos não verificam os pressupostos de linearidade. Nesse estudo é proposto uma análise de linearidade dos modelos. A análise da linearidade de um modelo é importante para verificar se os requisitos de modelagem foram atendidos (Washington *et al.*, 2010). Apesar de ser uma teoria consolidada na econometria (Washington *et al.*, 2010), a verificação dos pressupostos de linearidade não tem sido considerada nos modelos de geração de viagens.

Por fim, na Tabela 2-1, apenas Iding *et al.* (2002) desenvolveram modelos para a indústria de construção civil, contudo ainda não é observado na literatura modelos para empreendimentos em construção. Ainda, este estudo focou um setor que tem importância para no Brasil (e provavelmente em outros países), que gera um número significativo de viagens e, nem sempre, considera a internalização das áreas de carga e descarga. Portanto, os resultados deste estudo podem subsidiar políticas públicas direcionadas para este setor.

Tabela 2-1: Resumo dos artigos

Autor(es)	Ano	Local de Aplicação	Objetivo do Estudo	Variáveis Dependentes	Variáveis Independentes	Setor	Método
R.R. Tadi e P. Balbach	1994	Fontana, EUA	Fornecer indicadores de geração de viagens de cargas para diferentes usos de solo	Número de viagens de caminhões leves e pesados (por dia)	Área construída	Armazéns; terminais industriais; comércio de caminhões	Regressão linear
W. R. Black	1999	Indiana, EUA	Elaborar um modelo de geração de viagens de carga a nível estadual	Volume de carga atraída e produzida por setor	Número de empregos total, na indústria e por setor; população total; receita bruta recebida na agricultura	Diversos	Regressão Múltipla
C. Marra	1999	Campinas, Brasil	Estudar os fluxos de carga e elaborar modelo GVC	Volume de carga transportada por mês	Nível de renda nos bairros, número de moradores/empregados no domicílio e área do imóvel	Regional	Regressão linear, logarítmica e exponencial
M.H.E. Iding; W.J. Meester; L. A. Tavasszy	2002	Holanda	Elaborar um modelo de geração de viagens de carga	Volume de viagens atraídas e produzidas por setor	Área dos estabelecimentos (em m ²) e número de funcionários	Diversos	Regressão linear
W. G. Allen	2002	Baltimore, EUA	Elaborar um modelo de geração de viagens de carga para caminhões médios e pesados	Volume de viagens atraídas e produzidas por setor	Número de empregos e residências	Indústria; Comércio Varejista; Escritórios	Regressão linear
I. C. B. Melo	2002	Rio de Janeiro, Brasil	Desenvolver modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de veículos de carga	Área; frota da empresa; horas trabalhadas; distância percorrida	Empresas de transporte e lojas comerciais	Regressão linear

A. Gasparini	2002	Rio de Janeiro, Brasil	Desenvolver modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga (hora pico, fora pico e total)	Área construída, volume médio de clientes, área bruta locável, número de empregados, vagas de estacionamento e área de vendas	Supermercados e Shopping Centers	Regressão linear
M.R. Silva; J. Waisman	2007	São Paulo, Brasil	Elaborar modelos de GVC para bares e restaurantes	Número de viagens de caminhões	Área dos estabelecimentos (em m ²) e número de funcionários	Bares e restaurantes	Regressão linear
C.D.R. Souza; S.D. Silva; M.A. D'agosto	2010	Brasil	Revisão dos modelos de geração de viagem de carga	---	---	---	---
J. Holguín-Veras; M. Jaller; L. Destro;	2011	Nova York, EUA	Elaborar modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de caminhões por dia	Número de funcionários	Diversos	Regressão linear
T.G. Jin; M. Saito; D.L. Eggett	2012	Utah, EUA	Elaborar modelos de geração de viagem de carga	Fluxo de mercadorias atraídas, produzidas e distribuídas	Estabelecimentos, número de empregos, salários, empregos em setores específicos	Diversos	Regressão múltipla
J. Holguín-Veras; I. Sánchez-Díaz; C. Lawson	2012	Nova York, EUA	Avaliar a transferibilidade de modelos de geração de viagem de carga	---	---	---	---
C. Lawson; J. Holguín-Veras; I. Sánchez-Díaz;	2012	Nova York, EUA	Analisar os efeitos do uso do solo e do número de funcionários na geração de viagens de carga	Número de viagens de carga atraídas	Número de funcionários nos setores	Diversos	Regressão linear; Mínimos quadrados ordinários; Análise discriminante múltipla

M. Jaller; C. Lawson; J. Holguín-Veras; I. Sánchez-Díaz	2013	Nova York; Nova Jersey, EUA	Elaborar e avaliar modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga atraídas	Área dos estabelecimentos (em m ²) e número de funcionários	Diversos	Regressão linear
T. Kulpa	2013	Cracóvia e Poznań, Polônia	Elaborar modelos de geração de viagem de carga para caminhões leves e pesados	Número de viagens de carga	Número de habitantes, número de empresas (diversos setores), emprego (total), emprego (diversos setores)	Diversos	Regressão linear, múltipla e redes neurais
M. Jaller; J. Holguín- Veras; S.D. Hodge	2013	Nova York, EUA	Elaborar método de previsão de demanda de estacionamento para veículos de carga a partir de MGVC	---	---	---	---
A.R. Alho; J.A. Silva	2014	Lisboa, Portugal	Elaborar modelos de geração de viagem de carga para veículos de carga	Número de viagens de carga	Área do estabelecimento; área de vendas; área do armazém; número de funcionários; número de fornecedores	Diversos	Regressão linear e generalizada
I. Sánchez-Díaz; J. Holguín-Veras; X. Wang	2014	Nova York, EUA	Elaborar modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga atraídas	Atributos do mercado, uso da rede (malha rodoviária) e uso do solo	Diversos	Regressão não-linear
R. Lim; Z. Qian; H.M. Zhang	2014	Califórnia, EUA	Elaborar modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga atraídas e produzidas	População, emprego, área agrícola, vendas de culturas e dados de consumo de energia	Diversos	Regressão linear
I. Sánchez-Díaz; J. Holguín-Veras; X. Ban	2015	Denver, EUA	Elaborar modelos de geração de viagem de carga considerando turnos de entrega	---	---	---	---

A.R. Alho; J.A. Silva	2015	Lisboa, Portugal	Investigar a atividade de veículos de carga em estabelecimentos de varejo urbano	---	---	---	---
X. Wang; Y. Zhou	2015	Nova York, EUA	Analisar a geração de viagens de carga (residenciais) a partir de compras virtuais	Número de entregas residenciais	Dados relacionados a pessoas, famílias e regiões	E-commerce	Modelo de escolha binária e um modelo binomial negativo
M. Jaller; X. Wang; J. Holguín-Veras	2015	Nova York, EUA	Analisar a importância de grandes instalações na geração de viagens de carga	---	---	---	---
M. Jaller, I. Sánchez-Díaz; J. Holguín-Veras	2015	Nova York, EUA	Análise e desenvolvimento de modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga de receptores puros e intermediários de carga	Área e número de funcionários	Diversos	Logit Binário e Modelo discreto contínuo
G. Günay; G. Ergün; I. Gökaşar	2016	Kocaeli, Turquia	Desenvolver modelos de viagens de carga para <i>tractortrailers</i>	Número de viagens de entrada e saída	Área, número de funcionários, dados operacionais e setor da indústria	Diversos	Regressão linear
A.R. Alho; J.A. Silva	2016	Lisboa, Portugal	Comparar 4 metodologias de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga	Setor industrial, o número de funcionários e a área do estabelecimento	Diversos	Regressão linear e generalizada
I. Sánchez-Díaz	2016	Gotemburgo, Suécia	Desenvolver modelos de viagens de carga	Número de viagens de carga	Área, número de funcionários e setor da indústria	Diversos	Regressão linear e generalizada
B.L.G. Ferreira; M.A.V. Silva	2016	Rio de Janeiro, Brasil	Revisão e desenvolvimento de modelo de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga	Empregos, população e número de residências	Diversos	Regressão linear

L.K. Oliveira; R.L.M. Oliveira; C.M.F. Ramos; D.G. Ebias	2016	Belo Horizonte, Brasil	Desenvolvimento de modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga	Área e número de funcionários	Bares, restaurantes, mercados e supermercados	Regressão linear
L.K. Oliveira; R.A.A. Nobrega; D.G. Ebias; B.G.S. Corrêa	2017	Belo Horizonte, Brasil	Desenvolvimento de modelos de geração de viagem de carga	Número de viagens de carga	Área e número de funcionários	Bares e restaurantes	Regressão linear
M.G. Boarnet; A. Hong; R. Santiago-Bartolomei	2017	Los Angeles, EUA	Analisar a relação entre padrões de desenvolvimento espacial urbano e viagens de carga.	Número de viagens de carga	Área da região hexagonal utilizada no estudo, número de funcionários e dados do uso do solo	Diversos	Regressão não-linear
J. Gonzalez-Feliu; C. Peris-Pla	2017	Lyon, França	Analisar a atração de viagens de carga do comércio de varejo e shoppings	---	---	---	---
K. Rolko; H. Friedrich	2017	Alemanha	Analisar os padrões de distribuição espacial dos Provedores de Serviços de Logística	---	---	---	---

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para um bom gerenciamento da mobilidade urbana é necessário utilizar instrumentos que contribuam para a identificação da atração e produção de viagens de veículos de carga por polos geradores de viagem. Dada a importância da estimativa do número de viagens de veículos de carga para identificação do impacto da atividade no tráfego urbano, este trabalho baseou-se na metodologia utilizada por Oliveira *et al.* (2016) para elaboração de modelos de geração de viagens de carga para obras em construção. As etapas que descrevem as atividades realizadas para elaboração dos modelos são apresentadas na próxima seção.

3.1 Definição de objetivo, escopo e horizonte de tempo

Os modelos de geração de viagem de carga, tema deste estudo, podem ser utilizados como instrumentos capazes de contribuir com o planejamento urbano de transporte, conforme proposto por Oliveira *et al.* (2016). Para tanto, tem-se como objetivo estimar a geração de viagens de veículos de carga para estabelecimentos em construção em Belo Horizonte. O setor analisado foi escolhido devido à escassez de trabalhos específicos para o segmento e o grande volume de caminhões que circulam na cidade com propósito de transportar os insumos da construção até os locais específicos. Esse segmento atrai inúmeras viagens de veículos de grande porte, bem como produz viagens a partir do descarte de rejeitos da construção. As obras estão distribuídas por todas as regiões da cidade. Assim, em função da sua área de abrangência e importância, o objetivo da pesquisa é analisar o comportamento das entregas de mercadorias (atração) e das viagens de caminhões que retiram os resíduos na construção civil (produção) e desenvolver modelos de atração e produção de viagens de carga que possibilitem estimar o número de viagens semanais, ressaltando características operacionais do setor.

3.2 Definição das variáveis dependentes e independentes

Nesta etapa são definidas as variáveis que são utilizadas no trabalho. No transporte de carga, as viagens geradas podem ser estimadas em termos de número de viagens (ou veículos) ou quantidade de carga transportada. Os modelos desenvolvidos neste estudo têm como objetivo estimar o número de viagens de veículos de carga, logo a variável dependente é o número de viagens geradas (atração, no caso de mercadorias recebidas e produção, no caso da retirada de resíduos) do segmento analisado em um determinado período de tempo. No caso deste estudo,

mais especificamente, trata-se o número de viagens de carga semanais para empreendimentos em construção.

Os resultados da revisão bibliométrica indicam que a área do empreendimento (21%) e número de funcionários (17%) são as variáveis mais empregadas em estudos sobre modelos de geração de viagens de carga (MGVC). Ainda, Alho e Silva (2014) ratificam que essas variáveis são clássicas nos modelos de geração de viagens de carga. Sendo assim, área construída das edificações e o número de funcionários foram as variáveis selecionadas para estudo. Como variáveis explicativas alternativas foram utilizadas o número de pavimentos da edificação e o número de unidades, sejam residenciais ou comerciais.

3.3 Identificação dos empreendimentos na área de estudo

Nesta etapa identificam-se os empreendimentos que são objeto do estudo. Por meio de um contato com o setor de atendimento da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, foi solicitada uma manifestação de Lei de Acesso a Informação junto à Controladoria-geral do Município e Subcontroladoria de Transparência e Prevenção da Corrupção. O órgão municipal respondeu à solicitação e indicou o link de acesso na página da Internet, www.pbh.gov.br, em que se encontrava a planilha nomeada “Relatório de Projetos de Edificação Aprovados 2017”. Na planilha constam os dados referentes à localização dos empreendimentos em construção, as obras iniciadas em cada mês, bem como a data de solicitação de alvará, o tipo de projeto dentre outras informações. Como o foco deste estudo é a geração de viagens de carga em empreendimentos em construção, foram filtradas as obras de reforma e regulamentação de imóveis, restando apenas projetos que iniciaram a partir de um terreno “vazio”.

Neste trabalho foram pesquisadas obras em todas as regionais administrativas que compõem a cidade de Belo Horizonte para garantir a análise de dados em nível municipal e não apenas dados centralizados em uma região específica. Sobre a área de estudo, Belo Horizonte é um dos principais centros urbanos brasileiros com uma população estimada de 2,523 milhões de habitantes (IBGE, 2017), distribuídos por 333,3 km² e densidade demográfica de 7.127 hab./km². Belo Horizonte é dividida em nove regionais administrativas (Venda Nova, Norte, Noroeste, Nordeste, Pampulha, Leste, Oeste, Centro-Sul e Barreiro), cujas características, como área, população e densidade populacional, estão apresentadas na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Caracterização das regionais administrativas de Belo Horizonte.

Regional	Habitantes	Área (km ²)	Densidade populacional (hab/km ²)
Barreiro	282.582	53,60	5272,1
Centro-sul	270.607	31,85	8496,3
Leste	250.951	27,98	8968,9
Nordeste	290.947	39,46	7373,2
Noroeste	334.104	30,17	11074,0
Norte	213.208	33,67	6332,3
Oeste	285.005	36,06	7903,6
Pampulha	185.316	51,21	3618,7
Venda Nova	262.431	29,27	8965,9
TOTAL	2.375.151	333,27	7126,8

3.4 Obtenção de dados

Nesta etapa são definidas as informações necessárias para desenvolver os modelos de geração de viagens de carga para obras civis. Um questionário foi elaborado (Apêndice A) com questões objetivas de modo a obter os dados para o desenvolvimento do estudo. Na Tabela 3-2 são apresentados os principais dados obtidos por meio do questionário.

Inicialmente, é obtido endereço completo da obra. Posteriormente, são adquiridas informações relacionadas às características do empreendimento e do serviço, como o tipo (obra residencial, comercial, industrial, mista ou outro), o número total de apartamentos e unidades comerciais, o tipo de estrutura utilizada na construção, a área total construída da edificação, o número de pavimentos, serviço predominante, número de funcionários atual e número máximo previsto, além dos serviços de terraplanagem que, em geral, geram um elevado número de viagens de caminhões. Na seção das características da operação de recebimento de mercadoria com perguntas como: número médio de entregas semanais, tipo de veículo utilizado nas entregas, sobre a existência de entregas fixas, número médio de retirada de caçambas de entulho na semana, dias e horários mais comuns para entrega, local de estacionamento dos veículos para descarga dos materiais, a duração da descarga e se houve solicitação junto à Prefeitura para delimitação de vaga temporária de carga e descarga em frente a obra.

Tabela 3-2: Principais informações obtidas com o questionário.

Informações do empreendimento	- Endereço
Características do empreendimento	- Tipo da obra; - Quantidade de unidades residenciais e comerciais; - Estrutura utilizada na construção; - Área total construída; - Número de pavimentos; - Número de funcionários; - Serviço predominante no momento da pesquisa.
Características da operação (recebimento de carga)	- Número médio de entrega semanais; - Tipo de veículo utilizado nas entregas; - Existência de entregas fixas agendadas; - Média de retirada de caçambas com resíduos; - Dias e horários mais comuns para entregas; - Local onde os veículos estacionam; - Tempo médio de duração da descarga dos materiais; - Se houve requisição de placa de vaga de carga e descarga;

Para obtenção dos dados, o planejamento inicial era enviar o questionário, via e-mail, às construtoras que atuam na cidade de modo a obter o máximo de dados possível, com uma grande diversidade de obras e área de abrangência. Entretanto, devido ao “não retorno” dos e-mails com respostas, optou-se pela pesquisa de campo, visitando as obras e entrevistando os responsáveis pelo recebimento dos insumos, podendo ser o engenheiro, estagiário, mestre de obra, almoxarife ou técnico de edificações. Percebeu-se ao longo das pesquisas que o profissional mais apto a responder eram os mestres de obra devido à vivência diária e nível de envolvimento com os serviços realizados.

Para definição da amostra foram utilizados dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, contendo informações de obras do período de janeiro a dezembro 2017. Após a filtragem das obras, exclusivamente de construção, foram contabilizadas 604 obras no ano de 2017 em Belo Horizonte. O planejamento da pesquisa foi elaborado considerando uma dispersão amostral entre as nove regionais administrativas que compõem a cidade de Belo Horizonte. Considerando a população finita de 604 obras, é necessário aplicar o questionário em ao menos 83 obras, o que representa uma amostra com 95% de confiabilidade com 10%

de erro. Sendo assim, como planejamento inicial foram programadas 10 pesquisas por regional, totalizando o mínimo de 90 questionários. Durante a realização da pesquisa de campo foram aplicados 105 questionários, ultrapassando a amostra mínima em 16,7%. Na Tabela 3-3 é apresentado o número de obras existentes por regional e o número de obras visitadas.

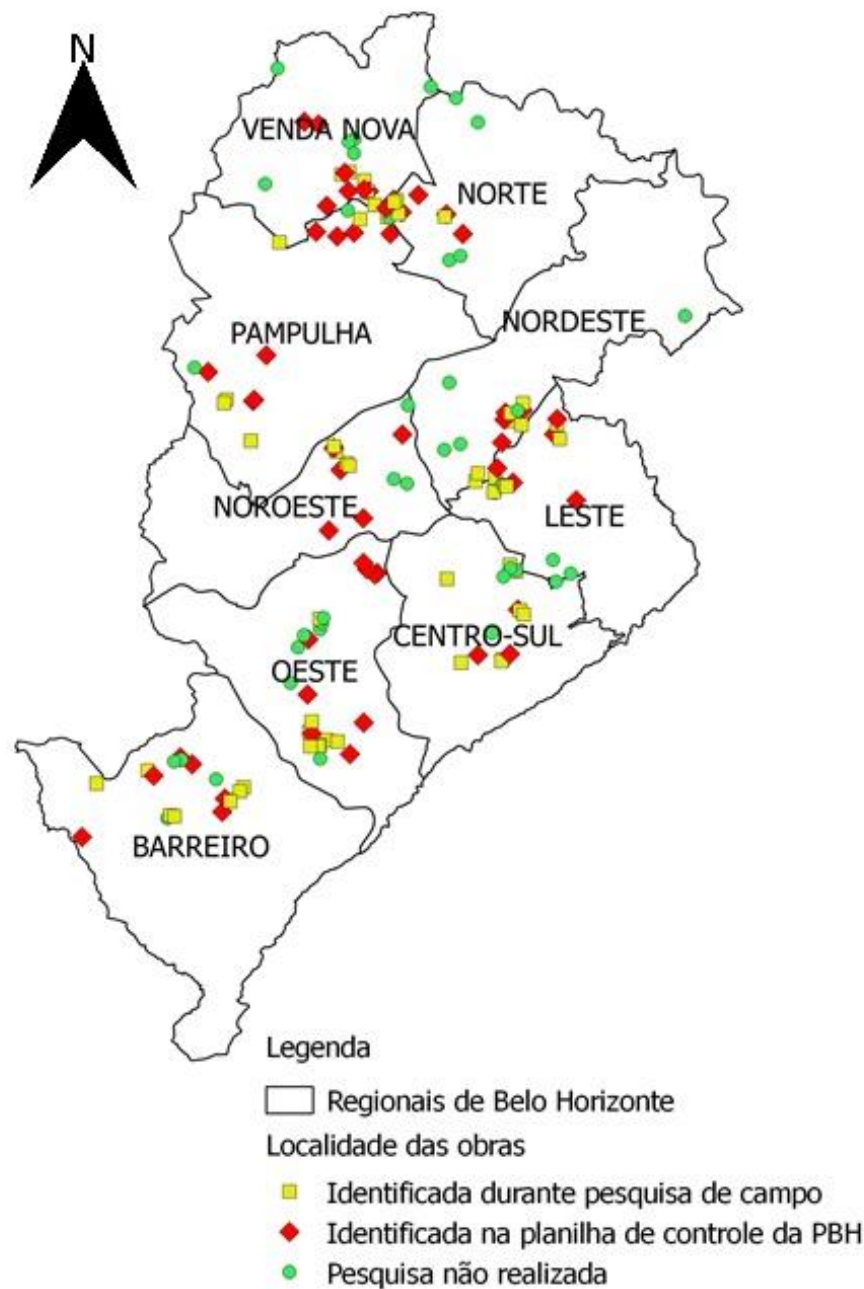
Tabela 3-3: Distribuição das obras pelas regionais e número de obras visitadas.

Regional	Número de obras que solicitaram alvará de construção pela Prefeitura	Número de obras Visitadas	Porcentagem pesquisada
Barreiro	50	13	26,00%
Centro-sul	119	11	9,24%
Leste	44	11	25,00%
Nordeste	32	10	34,38%
Noroeste	69	11	14,49%
Norte	42	11	26,19%
Oeste	74	12	16,22%
Pampulha	119	13	10,92%
Venda Nova	55	13	23,64%
TOTAL	604	105	100,00%

Dos 90 empreendimentos listados na fase de identificação apenas 54% das obras estavam realmente em construção, nos outros 46% foram encontradas apenas lotes vagos (as obras não haviam se iniciado até a data da entrevista), obras paralisadas ou concluídas. Logo foram aplicados questionários em obras na mesma regional para compor a amostra necessária para o estudo.

Na Figura 3-1 é apresentada a localização das obras e sua dispersão. Conforme a legenda, os empreendimentos em vermelho são as obras identificadas na planilha de controle da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) durante o planejamento da pesquisa e que estavam realmente em construção. Os pontos em verde são obras que foram identificadas na planilha da PBH, mas que não foi possível realizar a pesquisa por motivos como obra paralisada (sem ninguém no local), não quiseram responder ao questionário, não havia obra no endereço listado na data da pesquisa e obra já concluída. Os pontos em amarelo foram obras identificadas durante a pesquisa de campo.

Figura 3-1: Localização das obras.



3.5 Caracterização das fases das obras

Durante a aplicação do questionário foi perguntado sobre a atividade predominante na obra no dia da pesquisa. No questionário existem cinco opções sobre as atividades predominantes e o entrevistado pode optar por responder “outros serviços” e descrevê-lo. Essa parte da pesquisa é importante para tornar mais específico em qual momento da construção realiza-se mais viagens de veículos de carga, seja recebimento de mercadorias ou retirada de resíduos, e

também relacionar o número de funcionários em cada etapa, logo é necessário descrever os serviços que se enquadram dentro de cada uma das cinco fases estipuladas na pesquisa. Na Tabela 3-4 são apresentadas as fases da obra, as atividades desenvolvidas em cada fase, bem como os insumos normalmente recebidos.

Essas informações são relevantes, pois os modelos serão desenvolvidos de acordo com a fase em que o empreendimento se encontra. A quantidade de funcionários também está relacionada aos serviços que estão sendo realizados na obra, podendo variar de acordo com a etapa. A correlação entre a fase e o número de funcionários possibilita uma análise mais específica para os modelos gerados a partir da variável explicativa número de funcionários.

Tabela 3-4: Caracterização das fases da obra.

Fase da Obra	Atividades	Produtos transportados
Fundação	- montagem do canteiro de obra; - retirada de solo para nivelamento do terreno ou criação de platôs onde serão construídas as edificações; - aterro e compactação de solo para nivelamento do terreno ou criação de platôs onde serão construídas as edificações; - construção de estruturas de contenção de taludes (muros de contenção, muros de arrimo, parede diafragma, cortina atirantada, entre outros); - escavação de valas para fundação rasa ou profunda (sapatas isoladas, sapatas corridas, radier (rasas); tubulões e estacas diversas (profundas); - montagem de armadura e fôrmas de peças estruturais referentes à fundação ou estrutura de contenção de taludes; - concretagem de peças estruturais referentes à fundação ou estrutura de contenção de taludes; - montagem de fôrmas e armaduras, concretagem da mesoestrutura (blocos de coroamento).	madeira, aço, solo, concreto, agregados graúdos e miúdos, contêineres, diversas ferramentas e equipamentos, equipamentos de segurança para os funcionários entre outros.

Tabela 3 4: Caracterização das fases da obra (continuação).

Fase da Obra	Atividades	Produtos transportados
Estrutura	- montagem de fôrmas de pilares, vigas e laje; - montagem de armadura de peças estruturais; - escoramento das fôrmas; - concretagem das peças estruturais; - lançamento de condutos flexíveis para instalação elétrica; - desforma das peças estruturais; - montagem de aparalixo e telas de proteção; - montagem de guardacorpo para locais com risco de queda.	madeira, aço, concreto, material para escoramento, diversas ferramentas e equipamentos, equipamentos de segurança para os funcionários entre outros
Alvenaria e instalações	- construção das paredes; - produção de argamassas; - lançamento de tubulação hidráulica e de esgoto; - lançamento de condutos flexíveis para instalação elétrica	tijolos e blocos, diversos tipos de areia, cimento, cal, tubulação hidráulica e de esgoto, material elétrico, ferramentas e equipamentos, equipamentos de segurança para os funcionários entre outros.
Revestimento	- aplicação de chapisco nas paredes internas e externas; - aplicação de emboço nas paredes internas; - aplicação de reboco nas paredes externas; - aplicação de gesso nas paredes internas; - aplicação de massa corrida nas paredes internas; - aplicação de contrapiso; - impermeabilização de lajes de áreas molhadas; - instalação de pisos e azulejos; - produção de argamassas; - montagem e desmontagem de andaimes.	diversos tipos de areia, cimento, cal, gesso, massa corrida, andaimes, pisos e azulejos cerâmicos, argamassas prontas, material para impermeabilização, diversas ferramentas e equipamentos, equipamentos de segurança para os funcionários entre outros
Acabamento	- instalação de portas; - instalação de janelas; - pintura das paredes; - rejunte de peças cerâmicas; - lançamento de fiação; - instalação de tomadas e interruptores; - montagem de quadro de distribuição; - instalação de louças sanitárias; - limpeza da obra.	rejunte, portas, janelas, peças sanitárias, material elétrico, tintas e material de pintura, vidro, alumínio, telhas, diversas ferramentas e equipamentos, equipamentos de segurança para os funcionários entre outros.

3.6 Análise da correlação entre os dados

A análise de correlação entre variáveis tem como objetivo a determinação da força do relacionamento entre duas observações emparelhadas. O termo correlação remete literalmente à forma como dois ou mais valores estão relacionados, pois indica até que ponto os valores de uma variável estão relacionados com os de outra. Há muitos casos em que pode existir um relacionamento entre duas variáveis (STEVENSON, 1981). As análises de correlação são úteis em trabalhos exploratórios, quando deseja-se identificar as variáveis correlacionadas, possibilitando assim a seleção dessas variáveis para o estudo.

Neste trabalho, faz-se necessária uma aplicação de análise de correlação entre as variáveis dependentes (número de viagens atraídas e produzidas) e as variáveis explicativas (área construída, número de funcionários, número de pavimentos e número de unidades). Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis será aplicado o coeficiente de correlação de Pearson (r), valor que quantifica o grau de correlação de variáveis. O matemático e estatístico Karl Pearson (1857 – 1936) desenvolveu esta técnica que “mensura” o grau de relacionamento entre duas variáveis contínuas, denominado coeficiente de correlação “ r de Pearson”. Tal técnica é válida apenas se rígidas hipóteses foram atendidas, são elas:

- Tanto x como y são variáveis aleatórias contínuas, ou seja, ao contrário da análise de regressão, não se aceita selecionar certos valores de x e depois avaliar y , tanto y como x devem variar livremente;
- Distribuição normal bivariada: a distribuição de frequência conjunta, ou seja, distribuição de valores dos pares x, y é normal.

Segundo Stevenson (1981), o coeficiente de correlação tem duas propriedades que caracterizam a natureza de uma relação entre duas variáveis. A primeira é quanto ao sinal (positivo ou negativo) e a segunda é a magnitude. Quando se lançam os valores de x e y em um gráfico de dispersão e determina-se uma equação de regressão linear, obtém-se o coeficiente angular da reta de regressão; o sinal desse coeficiente será o mesmo do coeficiente de correlação. A magnitude de r representa quão próximos da reta estão os pontos individuais. Os valores de r variam de -1,00 a +1,00, quanto mais próximo das extremidades maior será a proximidade dos pontos a reta, enquanto que os valores mais próximos de 0 sugerem maior dispersão. Para r positivo tem-se uma relação diretamente proporcional entre as variáveis, isto é, valores, altos ou baixos, de x implicam em valores (altos ou baixos) de y e vice versa. Para

r negativo tem-se uma relação inversamente proporcional entre as variáveis, ou seja, valores altos de x implicam valores baixos de y e vice versa. Para r igual a zero tem-se baixa relação entre as variáveis, logo alguns valores altos estão em correspondência com valores baixos e altos e valores baixos estão em correspondência com valores altos e baixos (sem proporcionalidade).

Para aplicação do coeficiente de correlação de Pearson deve-se aplicar o conceito de momento-produto da análise estatística. O termo “momento-produto” apresenta a maneira em que se combinam dados emparelhados para obter o coeficiente de correlação. Deseja-se correlacionar o número de viagens de carga ao tamanho dos empreendimentos em construção (área em m²), ao número de funcionários, ao número de pavimentos e o número de unidades, bem como analisar a correlação entre as variáveis explicativas para compor os modelos lineares múltiplos.

O cálculo do coeficiente de correlação de Pearson é dado pela equação (1).

$$r = \frac{\sum z_x \times \sum z_y}{n - 1} \quad (1)$$

em que:

$$z_x = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \quad z_y = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y}$$

- x_i é o valor de x ($x_1, x_2, x_3, \dots x_i$)
- $\bar{x}$ é a média dos valores de x;
- s_x é o desvio padrão dos valores de x;
- y_i é o valor de y ($y_1, y_2, y_3, \dots y_i$)
- $\bar{y}$ é a média dos valores de y;
- s_y é o desvio padrão dos valores de y;
- $\sum z_x$ é a somatória do produto-momento de x;
- $\sum z_y$ é a somatória do produto-momento de y;
- n é o número da amostra;
- r é o coeficiente de correlação de Pearson.

3.7 Desenvolvimento de modelos de geração de viagens

Neste estudo foi aplicado análise de regressão linear e regressão linear generalizada como abordagem metodológica. Os modelos de regressão buscam uma correlação matemática entre as variáveis explicativas e a variável dependente ou variável resposta. Segundo Messeti (2013), a análise de regressão consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo

de verificar a existência de uma relação funcional entre a variável dependente com uma ou mais variáveis independentes, ou seja, consiste na obtenção de uma equação que tenta explicar a variação da variável dependente pela variação da variável independente.

A regressão linear simples constitui uma tentativa de estabelecer uma equação matemática linear (linha reta) que descreva o relacionamento entre duas variáveis. Existem várias formas em que as equações de regressão são utilizadas, como em casos na qual duas variáveis medem aproximadamente o mesmo fenômeno, porém uma das variáveis é difícil ou dispendiosa de se obter, enquanto que a outra não. A finalidade de uma equação de regressão é estimar valores de uma variável, com base em valores conhecidos da outra (STEVENSON, 1981).

As equações de regressão buscam explicar valores de uma variável em termos da outra, ou seja, pode-se supor uma relação de causa e efeito entre duas variáveis. Entretanto, é necessário que a lógica de uma relação causal provenha de teorias externas ao âmbito da estatística. A análise de regressão apenas indica qual relacionamento matemático pode existir, se existir algum. Outra aplicação da regressão está relacionada a predição de valores futuros de uma variável.

Uma equação linear apresenta coeficiente angular (a) e cota (b) onde a reta corta o eixo y , representado pela equação genérica (2):

$$y = a.x \pm b \pm \varepsilon \quad (2)$$

em que:

- a e b são valores que se determinam com base nos dados amostrais;
- b é a cota da reta em $x = 0$;
- a é o coeficiente angular;
- a variável y é a variável que deve ser predita (dependente);
- a variável x é a variável preditora (independente);
- ε é o erro aleatório.

Diversas situações reais são explicadas por meio de equações lineares e estas são amplamente usadas devido à facilidade de aplicação e interpretação dos resultados. Ainda, esta técnica é a mais utilizada para modelar a geração de viagens de carga segundo Oliveira *et al.* (2018).

Segundo Cordeiro e Demetrio (2013), a regressão linear generalizada é uma extensão dos modelos clássicos de regressão e foi concebida por Nelder e Wedderburn em 1972. Eles unificaram um conjunto de técnicas estatísticas estudadas de forma segregada e formularam

uma classe de modelos de regressão. Esses modelos envolvem uma variável dependente ou variável resposta univariada, variáveis explanatórias e uma amostra aleatória de n observações independentes, sendo que a variável dependente, componente aleatória do modelo, tem uma distribuição que pertence à família de distribuições normal ou gama ou normal inversa para dados contínuos, binomial para proporções e Poisson ou binomial negativa para contagens. As variáveis explicativas entram na forma de uma estrutura linear, constituindo a componente sistemática do modelo. A ligação entre os componentes aleatório e sistemático é feita por meio de uma função de ligação que deve ser adequada.

Os modelos de regressão linear generalizada apresentam a seguinte forma:

$$Y = Z.\beta \pm \varepsilon \quad (3)$$

em que Y é a componente aleatória do modelo, Z é uma matriz de dimensão $n \times p$ de especificação do modelo (em geral a matriz de covariáveis X com um primeiro vector unitário), associada a um vector $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p)$ de parâmetros, e ε é um vector de erros aleatórios com distribuição que se supõe $N_n(0, \sigma^2 I)$;

Os modelos lineares generalizados obtêm estimativas de verossimilhança máxima dos parâmetros usando um algoritmo de mínimos quadrados ponderados iterativamente. Esses modelos estimam parâmetros, de modo que os mesmos sejam ajustados e otimizados por meio das iterações. Pode-se usar, por exemplo, um modelo linear generalizado para estudar a relação entre anos de experiência de um profissional (variável contínua não negativa), e sua participação em um programa de treinamento opcional (variável binária), para prever se seus produtos atendem às especificações (variável binária). A variável anos de experiência e treinamento são variáveis preditoras, enquanto o atendimento ou não das especificações é a variável resposta categórica (CORDEIRO e DEMETRIO, 2013).

3.8 Validação dos modelos

Para a validação dos modelos foram utilizados diversos testes estatísticos que atestam a capacidade preditiva dos modelos ao nível de confiabilidade de 95%. Tais testes comprovam que os modelos atendem aos principais pressupostos de linearidade.

Os principais pressupostos de linearidade são dispersão linear dos dados, média dos erros igual a zero, homocedasticidade dos resíduos, autocorrelação entre os erros e normalidade dos

resíduos (WASHINGTON *et al.*, 2010). Para avaliar a linearidade e se a média dos erros é igual a zero utilizou-se o gráfico *Residuals versus Fitted*. A homocedasticidade dos resíduos é verificada pelo teste de Breusch-Pagan (BREUSCH e PAGAN, 1979), sendo que hipótese básica é que o modelo é homocedástico, isto é, existe variância constante nos resíduos ao nível de significância estipulado, $P[\chi^2] > \alpha$; para isso deve-se ter o p-valor do teste de Breusch-Pagan maior que o nível de significância (p-valor $> 0,05$). A normalidade dos resíduos é verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, cuja hipótese básica é que a amostra provenha de uma população normal e que os resíduos estejam distribuídos conforme função normal. Rejeita-se a hipótese básica se o resultado do teste for $P[W_{\text{calculado}}] < P[W_{\alpha}]$, sendo que $P[W_{\alpha}]$ é dado pelo nível de significância, logo deve-se ter o p-valor do teste de Shapiro-Wilk maior que o α estipulado, no caso desse estudo p-valor $> 0,05$.

A capacidade preditiva do modelo é avaliada pelo teste qui-quadrado, raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) e pela técnica de validação cruzada (HYNDMAN, 2006; ARLOT e CELISSE, 2010). Neste estudo, utilizou-se o processo *Leave One-Out Cross Validation* (LOOCV), cujo procedimento é apresentado por Arlot e Celisse (2010).

Para validação dos modelos de regressão linear, será verificado se os estimadores dos coeficientes são não-viesados e têm variância mínima através do teste-t (MAIA, 2017). A hipótese básica é que o estimador é significativo para o modelo para um $t < 0,05$. O coeficiente de determinação (R^2) será utilizado para identificar a proporção da variabilidade da variável dependente que é explicada pela variável independente do modelo. Quanto mais próximo de um, melhor o modelo. Contudo, a significância das escalas depende muito da natureza da variável dependente (MAIA, 2017). A análise de variância (ANOVA – teste f) permite verificar se o modelo contribui para explicar a variável dependente (Y).

Em relação ao modelo de regressão linear generalizado, o hat-value (c-hat) identifica os pontos influentes no modelo. Os estimadores dos modelos de regressão linear generalizada são validados pelo teste qui-quadrado de Pearson (χ^2), utilizado para determinar se existe diferença significativa entre os valores esperados em um modelo preditivo e os valores observados no conjunto de dados. (SATORRA e BENTLER, 2001).

O critério de informação de Akaike (AIC) é utilizado para classificar os modelos (AKAIKE, 1974). Alternativamente, Hurvich e Tsai (1995) propuseram o AICc indicado para pequenas

amostras com distribuição normal, sendo um critério mais adequado para a escolha de um modelo (DAVISON, 2001). Burnham e Anderson (2002) recomendam utilizar o AIC para selecionar modelos quando o número de observações é pelo menos 40 vezes maior que o número de parâmetros.

Cada um dos testes é explicado na sequência. O nível de confiabilidade estipulado para validação dos modelos é de 95%. Como explicado acima, os modelos devem seguir os principais pressupostos de linearidade para serem validados.

O teste-t de Student é um teste de hipótese que utiliza conceitos estatísticos para rejeitar ou aceitar uma hipótese nula quando a estatística de teste segue uma distribuição normal. Usualmente, quando a estatística segue uma distribuição normal, mas não se conhece a variância da população, utiliza-se a variância amostral e, com esse ajuste, a estatística de teste passa a seguir uma distribuição t de Student (CARRASCO e LEMES, 2014).

O teste-t é o método mais utilizado para se avaliar as diferenças entre as médias entre dois grupos. Este parâmetro compara a média de uma amostra com a de uma população. Definindo as hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_a) para realizar um teste de hipóteses são encontradas diferentes situações de acordo com o problema em estudo. Um teste de hipóteses está sujeito a erros. Podem aparecer erros classificados como tipo I: ocasião que se rejeita H_0 quando H_0 é verdadeira, ou erro tipo II: quando aceita-se H_0 e H_0 é falsa. No caso deste estudo, o teste-t valida estatisticamente os modelos considerando o nível de confiança.

O valor-p está relacionado ao grau de confiança dos resultados obtidos em uma pesquisa estatística. Na prática, o valor-p representa a chance ou a probabilidade do resultado observado na pesquisa (utilizando variáveis específicas) ser devido ao acaso, ou a outros fatores não observados e não aos fatores que estão sendo estudados. O valor-p deve estar abaixo do nível de significância pré-estabelecido para garantir a confiabilidade dos resultados, esse parâmetro é o menor nível de significância com que se rejeita uma hipótese nula (WASSERSTEIN e LAZAR, 2016).

O teste Z é um teste de hipótese que utiliza conceitos estatísticos para rejeitar ou aceitar uma hipótese nula quando a estatística de teste segue uma distribuição normal e a variância da população é conhecida. O teste z é capaz de determinar se a diferença entre a média da

amostra e da população é grande o suficiente para ser significativa estatisticamente (LANNA, 2004).

O coeficiente de determinação (denotado como R^2) é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico com os valores observados em um conjunto de dados. O R^2 é usado para avaliar a qualidade do ajuste do modelo desenvolvido, ou seja, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. O valor do coeficiente de determinação varia de zero a um, sendo que quanto mais próximo de um melhor (CAMERON, 1997).

O teste-F é um teste de verificação de igualdade de variâncias para a hipótese nula de que duas populações normais têm a mesma variância. Esse teste é usado na comparação de modelos estatísticos que foram ajustados a um conjunto de dados, a fim de identificar o modelo que melhor se ajusta à população da qual os dados foram amostrados. Para um modelo de regressão, quanto maior o valor de F, melhor é o modelo, pois significa que os quadrados médios do modelo são maiores que os quadrados médios residuais (BOX, 1953).

A raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) é um parâmetro utilizado para mensurar a acurácia de um modelo de regressão. O REQM é a raiz quadrada do somatório dos erros quadráticos calculados entre a diferença dos valores estimados por um modelo e os valores amostrais observados. Tal parâmetro é sensível à *outliers* (pontos muito distantes da curva) e quando usado na comparação de modelos deve-se optar por modelos com menor REQM (HYNDMAN, 2006).

O teste de Shapiro-Wilk determina se os resíduos gerados a partir de uma regressão linear estão normalmente distribuídos. Ele é capaz de detectar afastamentos da normalidade de um conjunto de dados devido à assimetria, curtose ou ambos. Esse teste de normalidade é usado para determinar se um conjunto de dados de uma dada variável aleatória, é bem modelada por uma distribuição normal ou não. A regressão linear só deve ser usada se os erros são normais, logo, caso o teste aponte que esta premissa é inválida, os resultados da regressão não devem ser usados. O valor do teste de Shapiro Wilk, denotado como W, varia de zero e um. Valores próximos a zero indicam rejeição da normalidade, enquanto valores próximos a um indicam normalidade dos dados (RAZALI e WAH, 2011).

O teste de Breusch-Pagan é um teste estatístico que tem como objetivo testar a hipótese nula de que existe homocedasticidade nos dados. Homocedasticidade é a hipótese de que os erros

entre valor observado e valor estimado de um modelo tenha média zero e variância constante quando se faz um modelo estatístico a partir de observações de um conjunto de dados. Sendo assim, esse teste é usado para verificar se as variâncias dos erros são iguais ou diferentes (no caso da variância dos erros ser diferente denomina-se heterocedasticidade). O teste é indicado para grandes amostras e quando a suposição de normalidade nos erros é assumida (BREUSCH e PAGAN, 1979).

Denotado como teste χ^2 , o teste qui-quadrado é utilizado para determinar se existe diferença significativa entre os valores esperados em um modelo preditivo e os valores observados em um conjunto de dados. O teste qui-quadrado é calculado a partir da soma de erros quadráticos, ou através da variância da amostra. As estatísticas de teste que seguem uma distribuição qui-quadrada surgem de uma suposição de que os dados são independentes e normalmente distribuídos (SATORRA e BENTLER, 2001).

O teste c-hat é um parâmetro que verifica se há superdispersão entre a variância observada e a variância dos resultados de um modelo preditivo. Os modelos de regressão linear generalizada com distribuição de Poisson e binomial não possuem um parâmetro para a variância e geralmente atribui-se o valor fixo de variância igual a um, ou seja, a média é igual a variância. Tratando-se de modelos preditivos, existem casos em que as previsões teóricas não coincidem com os dados observados, sendo assim quando a variância observada é maior que a variância de um modelo teórico, verifica-se uma superdispersão. Valores de c-hat maiores que um indicam superdispersão, ou seja, variância maior que a média. Para c-hat menor que um tem-se subdispersão, neste caso recomenda-se manter o valor de c-hat igual a um. Valores muito maiores que um ($c\text{-hat} > 4$) ou muito menores que um ($c\text{-hat} < 1$) indicam falta de ajuste do modelo (FLETCHER, 2011).

O critério de informação de Akaike (AIC) é uma medida relativa da qualidade de ajuste de um modelo de evento aleatório. O critério oferece uma medida relativa das informações perdidas, quando um determinado modelo é utilizado para descrever um fenômeno real (AKAIKE, 1974). O AIC é um critério que avalia a qualidade do ajuste do modelo paramétrico estimado pelo método da máxima verossimilhança.

Além do critério de informação de Akaike (AIC) convencional, tem-se ainda AICc para amostras pequenas (com $n < 30$). Nestes casos pode existir uma probabilidade substancial de

que a AIC selecione modelos com muitos parâmetros, superajustando os modelos. O AICc é essencialmente o AIC com um termo de penalidade extra para o número de parâmetros. Quando o tamanho da amostra tende ao infinito o termo de penalidade extra converge para zero, logo AICc converge para AIC (BURNHAM e ANDERSON, 2002).

O AIC é um teste para seleção de modelos, mas não considera significância ou valor-p. A partir de modelos desenvolvidos utilizando um conjunto de dados, pode-se classificá-los de acordo com o seu AIC, sendo que quanto menor o valor de AIC, melhor será o modelo. A partir do valor de AIC pode-se classificar modelos, mas não se deve atribuir um valor acima do qual um determinado modelo é rejeitado (EMILIANO, 2009). Neste trabalho o critério de informação de Akaike é utilizado para comparação dos modelos desenvolvidos a partir de diferentes variáveis independentes. Após a validação de um modelo, deve-se analisar o poder de predição do mesmo. Para tanto, utiliza-se a validação cruzada (VC) que é amplamente difundida devido à sua simplicidade. A validação cruzada tem como premissa dividir os dados, uma ou várias vezes, para estimar o risco de predição de cada modelo. Parte dos dados (a amostra de treinamento) é usada para treinar cada modelo e a parte restante (a amostra de validação) é usada para estimar o risco do modelo. A validação cruzada aponta o modelo com o menor risco estimado. Comparado com outros métodos de validação, a validação cruzada evita sobreposição, uma vez que a amostra de treinamento é independente da amostra de validação.

Dentre as técnicas de validação cruzada, neste estudo utilizou-se o *Leave-one-out Cross Validation* (LOOCV). A partir de um conjunto de dados - variáveis independentes (x) e variáveis dependentes (y) – gera-se um gráfico de dispersão e uma equação linear, ou seja, o modelo de regressão. O método LOOCV consiste na exclusão de um par de variáveis (x_1, y_1), que é chamada conjunto de validação. Os outros pares de variáveis são mantidos e gera-se uma nova equação (que desconsidera o par (x_1, y_1) excluído), este conjunto é denominado conjunto de treinamento. Com o novo modelo calcula-se o valor de $\hat{y}_1$ a partir do valor original de x_1 . O processo segue com a retirada do próximo par de variáveis (x_2, y_2) mantendo-se as demais variáveis e calculando o valor de $\hat{y}_2$. Devido à exclusão do par de variáveis que não foi utilizado no processo de ajuste do modelo, o erro quadrático $EQ_1 = (y_1 - \hat{y}_1)^2$ fornece uma estimativa pouco tendenciosa para o teste de erro.

Repete-se as iterações do método até que todas as variáveis sejam retiradas, novas equações sejam geradas e os erros quadráticos sejam calculados. Ao final do processo calcula-se o erro quadrático médio (EQM), dado pelas médias dos n erros quadráticos calculados no processo. Para comparação dos modelos utiliza-se como parâmetro a raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM). O modelo que apresenta o menor valor de REQM é o modelo com melhor desempenho preditivo. O LOOCV não é recomendado quando se tem um conjunto de dados muito extenso, pois serão realizadas tantas iterações quanto o número de observações (ARLOT e CELISSE, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2017b), sendo por este motivo utilizado neste estudo.

A análise de correlação, o desenvolvimento dos modelos e as os testes de validação foram desenvolvidos no R versão 3.4.4, lançada em 15 de março de 2018, que encontra-se disponível no endereço eletrônico <https://www.r-project.org/>.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados que caracterizam os empreendimentos em construção em Belo Horizonte, bem como os modelos desenvolvidos.

4.1 Análise de dados

Neste estudo foram aplicados questionários em 105 empreendimentos em construção. Na Tabela 4-1 é apresentado os bairros onde foram coletados os dados. Em sua maioria, as entrevistas foram conduzidas com os mestres de obra.

Tabela 4-1: Bairros em que foram aplicados o questionário,

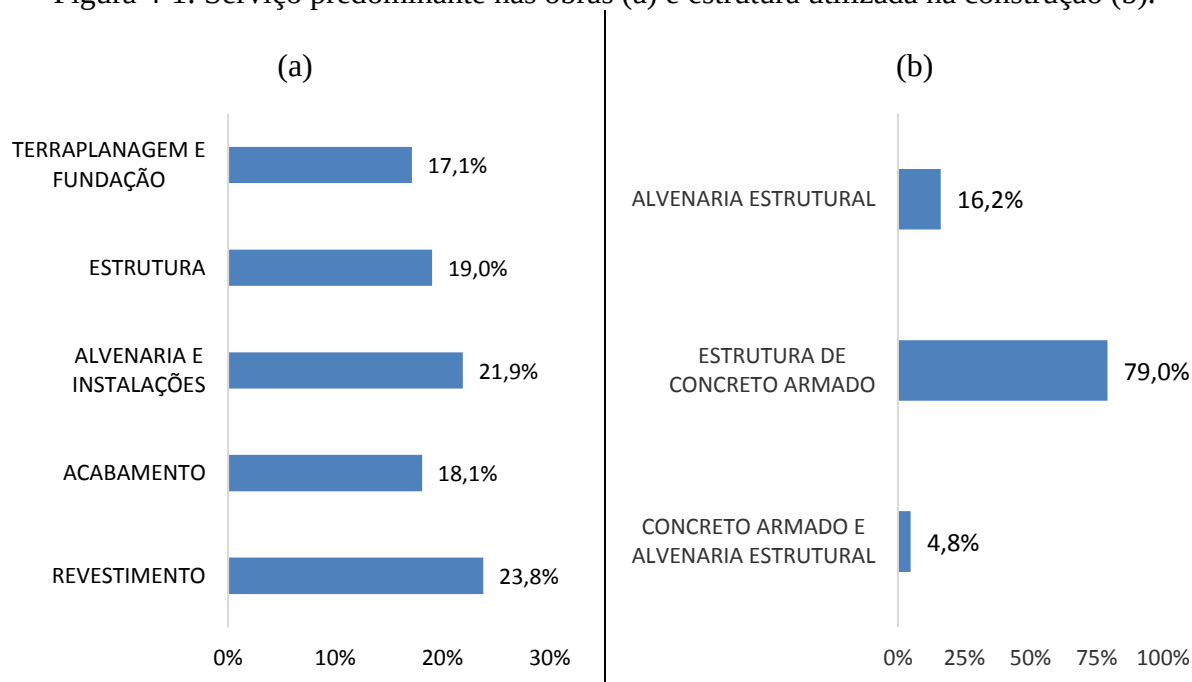
Regional	Bairro	Quantidade	Regional	Bairro	Quantidade
BARREIRO	Flavio M. Lisboa	1	NORTE	Planalto	1
	Milionários	3		Vila Clovis	1
	Barreiro	4		Planalto	8
	Araguaia	1		Floramar	1
	Santa Cruz	2	OESTE	Buritis	4
	Marilândia	1		Palmeiras	3
	Tirol	1		Prado	2
CENTRO-SUL	Carlos Prates	1		Marajó	1
	Santa Efigênia	2		Salgado Filho	1
	Serra	3		Jardim América	1
	Anchieta	1	PAMPULHA	Itapoã	1
	Cruzeiro	2		Santa Branca	2
	Sion	2		Santa Amélia	2
LESTE	Esplanada	1		Copacabana	1
	Sagrada Família	6		Paquetá	1
	Santa Ines	4		Castelo	4
NORDESTE	União	3		Alípio De Melo	1
	Cidade Nova	5		Santa Terezinha	1
	Concórdia	2	VENDA NOVA	Santa Monica	2
NOROESTE	Prado	2		São João Batista	7
	Padre Eustáquio	1		Santa Branca	1
	Carlos Prates	1		Candelária	1
	Aparecida	1		Leticia	1
	Alto Caiçaras	5		Piratininga	1
	Parque Pedro II	1			

Dentre os 105 empreendimentos pesquisados, 23,8% dos entrevistados declararam que o serviço de revestimento era o predominante na obra no momento da pesquisa, outros 19% estavam na fase de construção da estrutura, 18,1% na fase de acabamento. Na fase de construção da alvenaria e instalações eram 21,9% e na fase de fundação eram 17,1% conforme Figura 4-1 (a).

Dos 105 empreendimentos, 79,0% são construídos em estrutura de concreto armado, 16,2% em alvenaria estrutural e apenas 4,8% utilizam estrutura mista, isto é, parte em concreto armado e parte em alvenaria estrutural - Figura 4-1 (b).

Obras residenciais são maioria com 87,6% das obras pesquisadas, apenas 3,8% são obras exclusivamente comercial e obras mistas (possuem lojas no primeiro piso e unidades residenciais nos demais andares) são 8,6%.

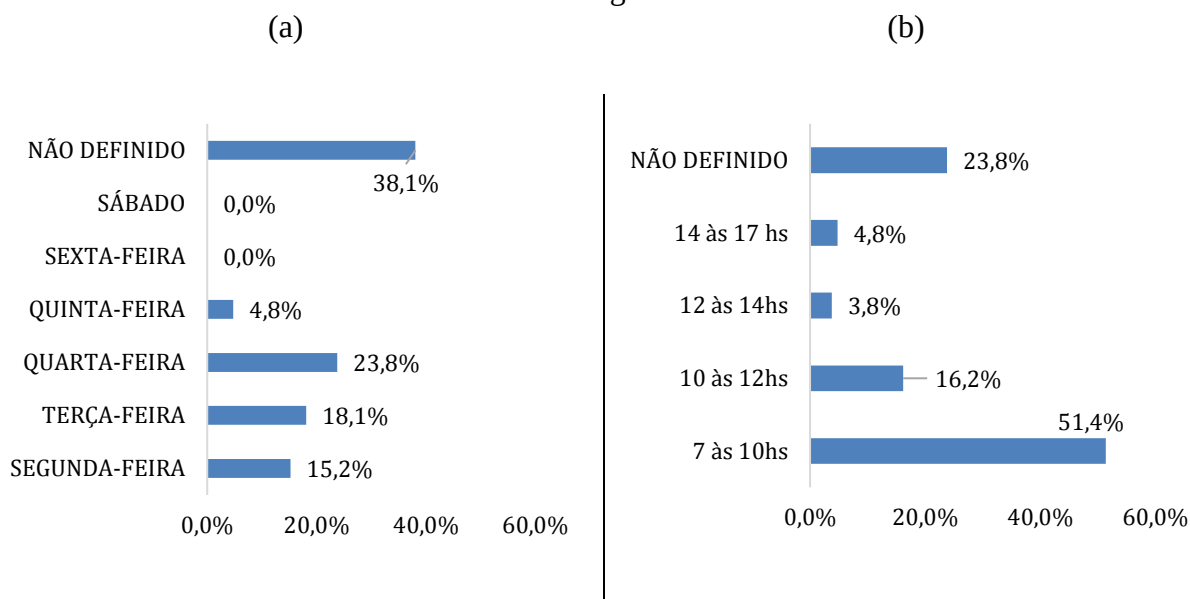
Figura 4-1: Serviço predominante nas obras (a) e estrutura utilizada na construção (b).



Sobre o dia mais recorrente para o recebimento de materiais, 15,2% afirmaram receber produtos na segunda-feira, 18,1% na terça-feira, 23,8% na quarta-feira e 4,8% na quinta-feira. A sexta-feira e o sábado não foram apontados como dia mais recorrente para o recebimento de materiais. Outros 38,1% não souberam especificar um dia em que há maior frequência de entregas (Figura 4-2 (a)).

Sobre o período de entrega mais frequente para o recebimento de mercadorias, 51,4% afirmaram receber as entregas entre 7 e 10 horas da manhã, 16,2% entre 10 e 12 horas, apenas 3,8% afirmaram receber entre 12 e 14 horas e 4,8% entre 14 e 17 horas. Outros 23,8% não souberam especificar a faixa horária de recebimento. Estas informações estão apresentadas na Figura 4-2 (b).

Figura 4-2: Dias da semana com predominância de entregas (a) e horário predominante de entregas.



Dos 105 entrevistados, 78,1% afirmaram que os veículos de entrega estacionam na rua em frente a obra para realização de descarga de materiais e apenas 10,5% estaciona na rua em vaga sinalizada. Os veículos que estacionam dentro do canteiro de obras são apenas 11,4%, sendo em sua maioria obras na fase inicial (fundação).

Apenas cinco empreendimentos solicitaram, junto a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, a placa de demarcação de vaga de carga e descarga temporária para obras, destas cinco obras quatro estão situadas na regional Centro-sul. Dessas vagas, duas contemplam um veículo de carga (cerca de 15 metros), duas contemplam dois veículos de carga (cerca de 30 metros) e uma contempla quatro veículos (cerca de 60 metros).

Sobre o tempo de descarga dos materiais, 21,9% dos entrevistados admitiram que a duração média é cerca de 30 minutos, 17,1% admitiram ser 40 minutos, 11,4% afirmaram ser 45 minutos, 39,0% afirmaram que a descarga dura cerca de uma hora, 4,8% admitiram durar 90 minutos e 5,7% afirmaram ser 120 minutos.

Em relação ao tipo de veículo, 36,2% afirmaram receber mercadorias em caminhões leves (de 6 a 10 toneladas), 48,6% em caminhões médios (de 10 a 15 toneladas), 13,3% em caminhões semi-pesados (de 15 a 40 toneladas) e 1,9% em caminhões semi-leves (de 3,5 a 6 toneladas). Apenas 22% dos entrevistados afirmaram receber entregas fixas, sendo que nesses casos, uma obra recebia duas entregas fixas por semana, outra recebia quatro entregas fixas por semana e 21 recebiam uma entrega fixa semanal.

Das obras pesquisadas, 45,7% relataram retirada e/ou depósito de material escavado durante o serviço de terraplanagem do terreno onde a edificação seria construída. Normalmente, utiliza-se caminhões com capacidade de transporte de 8m³ de solo. Sobre a duração das obras, constatou-se que das obras pesquisadas 40,0% tem duração de aproximadamente dois anos.

4.2 Modelos de geração de viagem de carga

Para desenvolvimento dos modelos, os dados foram segregados conforme o tipo de estrutura utilizado na construção (estrutura de concreto armado, estrutura de alvenaria estrutural e estrutura mista) e a fase de construção da obra. Após a análise dos dados constatou-se que das 105 obras pesquisadas, 83 são construídas em estrutura de concreto armado, dessas 18 estavam na fase de fundação. A Tabela 4-2 sintetiza essas informações e apresenta os possíveis modelos, partindo do princípio de ter-se uma amostra mínima de cinco empreendimentos (Oliveira *et al.*, 2017b).

Para os empreendimentos construídos em alvenaria estrutural, é importante ressaltar que não foram encontradas obras, durante a pesquisa, na fase de fundação. A fase de construção da estrutura foi desconsiderada devido ao fato de que nesse tipo de edificação as cargas são suportadas pelas paredes, logo a construção da alvenaria também é a estrutura da edificação. Partindo do princípio de ter pelo menos cinco empreendimentos por fase, foi possível desenvolver modelos de geração de viagens para as obras em concreto armado (nas cinco fases de construção) e para as obras em alvenaria estrutural na fase de construção da alvenaria e instalações e na fase de revestimento. Não foi possível desenvolver nenhum modelo para obras com estrutura mista.

Tabela 4-2: Número da amostra considerando a estrutura utilizada na construção e a fase das obras.

Tipo	Fundação	Estrutura	Alvenaria e Instalações	Revestimento	Acabamento
Concreto Armado	18	20	12	18	15
Alvenaria Estrutural	0	0	8	5	4
Estrutura Mista	0	0	3	2	0

4.2.1 Estatística descritiva dos dados

Na Tabela 4-3 é apresentada a estatística descritiva dos dados dos empreendimentos em construção, considerando as diferentes fases das obras. As variáveis dependentes e independentes são apresentadas de acordo com sua distribuição, valores mínimos e máximos e médias.

Para estruturas de concreto armado, em fase de fundação, tem-se uma média de 2,9 viagens atraídas por semana referentes ao recebimento de materiais. Já para a retirada de resíduos da construção (serviço responsável pela produção de viagens de veículos de carga) constatou-se que das 18 obras pesquisadas, 15 afirmaram não retirar resíduos, logo as obras apresentam zero viagens semanais tornando a média dessas viagens baixa (0,17 por semana). A obra que mais recebe entregas durante a semana relatou sete recebimentos semanais. Outro fato relevante é a grande diferença entre a área construída mínima e máxima.

Na fase de construção da estrutura observa-se uma maior média de entregas semanais (5,2 por semana). Nessa etapa a retirada de resíduos já é expressiva, apresentando 2,05 viagens por semana. A obra com mais recebimentos apontou dez viagens de veículos de carga por semana. Também nota-se uma grande diferença entre a área construída mínima e máxima.

As viagens atraídas são mais expressivas na fase de construção da alvenaria e instalações e na fase de revestimento, ambas apresentando média superior a quatro viagens semanais. A média de viagens produzidas também é expressiva sendo maior que duas viagens por semana, também nas fases especificadas. Ressalta-se ainda a discrepância de valores de mínimo e máximo no número de unidades e na área construída para a fase de revestimento.

Tabela 4-3: Estatística descritiva dos dados utilizados nos modelos.

Tipo	Fase	Descrição da Variável	Nome da Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Média
Concreto Armado	Fundação	Número de viagens atraídas	Atracão	1,00	2,00	3,00	3,00	7,00	2,89
		Número de viagens produzidas	Produção	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,17
		Número de unidades	Nund	1,00	6,00	8,00	10,75	90,00	14,78
		Área construída	Area	422,30	652,70	871,90	1495,60	12000,30	1772,10
		Número de pavimentos	NPav	2,00	4,25	5,50	6,75	21,00	6,44
		Número de funcionários	Nfun	5,00	6,00	7,50	9,75	17,00	8,22
	Estrutura	Número de viagens atraídas	Atracão	2,00	4,00	5,00	6,00	10,00	5,20
		Número de viagens produzidas	Produção	1,00	1,00	2,00	3,00	4,00	2,05
		Número de unidades	Nund	4,00	6,00	12,50	20,00	28,00	13,20
		Área construída	Area	554,80	1043,40	2185,10	3029,70	11466,40	2672,60
		Número de pavimentos	NPav	3,00	5,00	8,00	11,00	15,00	8,30
		Número de funcionários	Nfun	8,00	15,00	18,00	21,25	25,00	17,65

Tipo	Fase	Descrição da Variável	Nome da Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Média
Concreto Armado	Alvenaria e Instalações	Número de viagens atraídas	Atracão	3,00	3,00	4,00	5,75	8,00	4,75
		Número de viagens produzidas	Produção	1,00	2,00	2,00	3,00	5,00	2,42
		Número de unidades	Nund	1,00	11,00	14,00	18,50	32,00	14,25
		Área construída	Area	399,00	807,50	1094,50	2831,10	3999,10	1774,00
		Número de pavimentos	NPav	4,00	4,00	5,50	8,50	14,00	6,92
		Número de funcionários	Nfun	8,00	9,75	14,50	19,25	23,00	14,67
	Revestimento	Número de viagens atraídas	Atracão	2,00	3,00	4,00	5,00	12,00	4,44
		Número de viagens produzidas	Produção	1,00	1,00	2,00	3,00	5,00	2,33
		Número de unidades	Nund	3,00	6,00	8,00	14,75	117,00	15,44
		Área construída	Area	356,10	571,30	954,50	1807,40	13403,20	1842,50
		Número de pavimentos	NPav	2,00	4,00	6,00	7,00	27,00	6,83
		Número de funcionários	Nfun	8,00	9,75	14,50	19,25	23,00	14,67

Tipo	Fase	Descrição da Variável	Nome da Variável	Mínimo	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Máximo	Média
Concreto Armado	Acabamento	Número de viagens atraídas	Atracão	2,00	2,50	4,00	4,00	8,00	3,60
		Número de viagens produzidas	Produção	1,00	1,50	2,00	2,00	3,00	1,93
		Número de unidades	Nund	4,00	6,00	8,00	16,50	51,00	13,73
		Área construída	Area	354,90	610,90	812,40	1313,90	6878,80	1480,10
		Número de pavimentos	NPav	2,00	4,00	5,00	8,50	15,00	6,87
		Número de funcionários	Nfun	7,00	8,00	8,00	13,00	15,00	10,00
Alvenaria Estrutural	Alvenaria e Instalações	Número de viagens atraídas	Atracão	2,00	2,75	4,00	5,00	6,00	3,88
		Número de viagens produzidas	Produção	1,00	1,00	2,00	2,25	4,00	2,00
		Número de unidades	Nund	2,00	7,50	9,00	10,50	20,00	9,50
		Área construída	Area	345,50	621,10	945,80	1122,00	1598,40	931,50
		Número de pavimentos	NPav	2,00	5,00	5,50	6,25	7,00	5,38
		Número de funcionários	Nfun	9,00	11,50	13,50	16,50	19,00	13,88

Tipo	Fase	Descrição da Variável	Nome da Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Média
Alvenaria Estrutural	Revestimento	Número de viagens atraídas	Atracão	2,00	3,00	3,00	4,00	5,00	3,40
		Número de viagens produzidas	Produção	1,00	2,00	2,00	3,00	5,00	2,60
		Número de unidades	Nund	4,00	5,00	8,00	10,00	64,00	18,20
		Área construída	Area	424,70	581,60	757,10	1086,00	3308,40	1231,60
		Número de pavimentos	NPav	2,00	4,00	4,00	4,00	5,00	3,80
		Número de funcionários	Nfun	6,00	6,00	8,00	15,00	17,00	10,40
Todas as obras	---	Número de viagens atraídas	Atracão	1,00	3,00	4,00	5,00	12,00	4,11
		Número de viagens produzidas	Produção	0,00	1,00	2,00	3,00	5,00	1,86
		Número de unidades	Nund	1,00	6,00	8,00	16,00	117,00	13,75
		Área construída	Area	284,80	674,20	997,20	2160,50	13403,20	1769,70
		Número de pavimentos	NPav	2,00	4,00	6,00	8,00	27,00	6,71
		Número de funcionários	Nfun	5,00	8,00	12,00	17,00	27,00	12,86

Tipo	Fase	Descrição da Variável	Nome da Variável	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Média
Todas as obras em concreto armado	---	Número de viagens atraídas	Atracão	1,00	3,00	4,00	5,00	12,00	4,13
		Número de viagens produzidas	Produção	0,00	1,00	2,00	2,00	5,00	1,74
		Número de unidades	Nund	1,00	6,00	8,00	17,00	117,00	14,28
		Área construída	Area	354,90	674,40	1058,80	2512,30	13403,20	1951,90
		Número de pavimentos	NPav	2,00	4,00	6,00	8,50	27,00	7,12
		Número de funcionários	Nfun	5,00	8,00	12,00	18,00	27,00	12,89
Todas as obras em alvenaria estrutural	---	Número de viagens atraídas	Atracão	2,00	3,00	4,00	4,00	6,00	3,59
		Número de viagens produzidas	Produção	1,00	2,00	2,00	3,00	5,00	2,35
		Número de unidades	Nund	2,00	6,00	8,00	12,00	64,00	13,00
		Área construída	Area	284,80	585,90	898,10	1086,00	3308,40	1023,40
		Número de pavimentos	NPav	2,00	4,00	5,00	6,00	8,00	4,94
		Número de funcionários	Nfun	5,00	9,00	12,00	15,00	19,00	11,76

Nas obras em concreto armado na fase de acabamento tem-se uma distribuição mais uniforme dos dados com os valores médios próximos aos valores de mediana. Uma diferença considerável entre máximo e mínimo aparece no número de unidades. A média de viagens, tanto atraídas quanto produzidas, mostra-se menor do que nas fases anteriores, exceto para fase de fundação.

Para as obras em alvenaria estrutural, na fase de construção de alvenaria e instalações, percebe-se também uma distribuição mais uniforme dos dados. Destaque para diferença entre máximo e mínimo na variável área construída. Ainda nas obras em alvenaria estrutural, agora na fase de revestimento, nota-se valores próximos entre média e mediana, exceto para as variáveis área construída e número de unidades que apresentam grande diferença entre valores máximos e mínimos.

Considerando todos os empreendimentos, independente do tipo ou fase, tem-se que a média de atração de viagens supera quatro viagens semanais e a produção é próxima a duas viagens por semana. Como essa análise aborda todos os dados, percebe-se a diferença entre os valores de mínimo e máximo em todas as variáveis.

Considerando apenas as obras em concreto armado, percebe-se que a média de atração e produção de viagens apresenta valores próximos às médias globais (que considera todos os dados) devido ao fato do mesmo representar 79% do total de obras pesquisadas.

Considerando todas as obras em alvenaria estrutural, nota-se valores médios de atração de viagens menores que a média global e média de viagens produzidas maior que a média global. A obra que mais atrai viagens apresenta seis viagens por semana e mínimo de duas. Para produção de viagens, o mínimo foi uma e máximo de cinco viagens semanais.

Nesse estudo foram feitas pesquisas para obtenção de dados, nesses casos é importante realizar a análise de estatística descritiva, pois a mesma possibilita o resumo, a descrição e a compreensão de dados de uma distribuição usando medidas de tendência central (média, mediana e moda), medidas de dispersão (valores mínimo e máximo, desvio padrão e variância), percentis, quartis e decis, e medidas de distribuição (achatamento e simetria da curva de distribuição). Portanto, a estatística descritiva cumpre sua função facilitando uma análise prévia dos dados.

4.2.2 Correlação entre as variáveis

Na Tabela 4-4 é apresentada a correlação de Pearson. Os dados das obras em concreto armado em fase de fundação apresentam uma boa correlação entre o número de viagens semanais (variável dependente) atraídas e as variáveis explicativas, todos os valores acima de 0,8. Já a variável dependente referente a produção de viagens, ou seja, o número de caçambas de resíduos semanais, o grau de correlação é baixo, sendo o melhor valor 0,21 (relação entre número de caçambas e número de unidades). Destaca-se que das 18 obras pesquisadas duas afirmaram retirar uma caçamba por semana e outra afirmou retirar uma caçamba a cada mês. Outro fato interessante é que a correlação de Pearson é positiva para todas as variáveis explicativas, isto é, à medida que as variáveis aumentam o número de viagens também aumenta (relação diretamente proporcional).

Os dados das obras em concreto armado em fase de estrutura apresentam uma boa relação entre número de viagens atraídas e área construída (0,91). Para viagens produzidas a melhor relação é com número de funcionários (0,63).

Para as obras em concreto armado em fase de construção de alvenaria e instalações, percebe-se uma boa correlação entre o número de viagens atraídas e área construída (0,94). Já a variável dependente número de caçambas retiradas possui melhor relação com o número de funcionários (0,78).

Para as obras em concreto armado em fase de revestimento, percebe-se uma boa correlação entre a variável dependente, viagens atraídas, e todas as variáveis explicativas (todas acima de 0,8), sendo a melhor relação com a área construída 0,90. Para a variável dependente, viagens produzidas, a melhor correlação é com o número de funcionários (0,69).

Para as obras em concreto armado em fase de acabamento nota-se alto grau de correlação entre a variável independente área construída tanto com o número de viagens atraídas (0,90) quanto com o número de viagens produzidas (0,70).

Para as obras construídas em alvenaria estrutural na fase de alvenaria e instalações nota-se uma boa correlação entre o número de viagens atraídas, área construída (0,90) e número de funcionários (0,85). Já a variável dependente viagens produzidas possui melhor relação com a área construída (0,65) e grau de correlação nulo com número de unidades. Dentre as variáveis explicativas, a variável número de pavimentos apresenta baixo grau de correlação com área

construída, número de funcionários e número de unidades. Para as obras construídas em alvenaria estrutural na fase de revestimento percebe-se uma boa correlação entre o número de viagens atraídas, área construída (0,89) e número de funcionários (0,93). A relação entre número de pavimentos e viagens atraídas é praticamente nula. O número de viagens produzidas possui boa correlação com todas as variáveis, exceto número de pavimentos (0,39). Dentre as variáveis explicativas, a variável número de pavimentos apresenta baixo grau de correlação com área construída, número de funcionários e número de unidades.

Considerando todos os dados, independente do tipo ou fase, nota-se que existe boa correlação entre a atração de viagens com área construída e número de funcionários. Para a produção de viagens, a variável que melhor se relaciona é o número de funcionários, com grau de correlação igual a 0,6. Dentre as variáveis explicativas nota-se baixo grau de correlação entre o número de funcionários e número de unidades.

Analizando a correlação entre as variáveis apenas das obras construídas em concreto armado, percebe-se boa correlação entre área construída e número de funcionários com a atração de viagens. Já a produção só apresenta um grau de correlação razoável com o número de funcionários. Será desenvolvido um modelo utilizando o número de funcionários associado ao número de unidades devido ao baixo grau de correlação entre essas duas variáveis explicativas.

Para as obras construídas em alvenaria estrutural, percebe-se baixa correlação entre algumas combinações de variáveis explicativas, portanto serão desenvolvidos modelos que associam número de unidades com número de pavimentos, número de unidades com número de funcionários, área construída com número de pavimentos e número de funcionários com número de pavimentos. Para atração de viagens tem-se boa correlação apenas com o número de funcionários e para produção apenas com a área construída.

Tabela 4-4: Correlação de Pearson.

Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Concreto armado em fase de fundação	Atração	1,000					
	Produção	0,290	1,000				
	Nund	0,860	0,206	1,000			
	Área	0,881	0,077	0,943	1,000		
	Npav	0,874	0,022	0,920	0,959	1,000	

	Nfun	0,890	0,189	0,865	0,899	0,931	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Concreto armado em fase de estrutura	Atração	1,000					
	Produção	0,657	1,000				
	Nund	0,737	0,485	1,000			
	Área	0,905	0,627	0,614	1,000		
	Npav	0,725	0,625	0,645	0,648	1,000	
	Nfun	0,723	0,630	0,739	0,621	0,671	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Concreto armando em fase de alvenaria e instalações	Atração	1,000					
	Produção	0,695	1,000				
	Nund	0,671	0,761	1,000			
	Área	0,941	0,700	0,714	1,000		
	Npav	0,916	0,671	0,653	0,930	1,000	
	Nfun	0,847	0,776	0,768	0,944	0,858	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Concreto armando em fase de revestimento	Atração	1,000					
	Produção	0,578	1,000				
	Nund	0,879	0,545	1,000			
	Área	0,904	0,554	0,997	1,000		
	Npav	0,891	0,625	0,958	0,966	1,000	
	Nfun	0,852	0,691	0,624	0,664	0,741	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Concreto armando em fase de acabamento	Atração	1,000					
	Produção	0,694	1,000				
	Nund	0,423	0,409	1,000			
	Área	0,899	0,698	0,395	1,000		
	Npav	0,733	0,550	0,789	0,714	1,000	
	Nfun	0,601	0,397	0,469	0,532	0,743	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Alvenaria estrutural em fase de alvenaria e instalações	Atração	1,000					
	Produção	0,367	1,000				
	Nund	0,705	-0,051	1,000			

	Área	0,900	0,652	0,525	1,000		
	Npav	0,268	0,167	0,335	0,370	1,000	
	Nfun	0,848	0,544	0,592	0,966	0,398	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Alvenaria estrutural em fase de revestimento	Atração	1,000					
	Produção	0,839	1,000				
	Nund	0,798	0,913	1,000			
	Área	0,890	0,936	0,982	1,000		
	Npav	-0,120	0,391	0,144	0,095	1,000	
	Nfun	0,932	0,909	0,747	0,830	0,192	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Todos as obras	Atração	1,000					
	Produção	0,542	1,000				
	Nund	0,589	0,327	1,000			
	Área	0,797	0,360	0,774	1,000		
	Npav	0,724	0,360	0,753	0,838	1,000	
	Nfun	0,802	0,596	0,438	0,589	0,633	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Obras em concreto armado	Atração	1,000					
	Produção	0,601	1,000				
	Nund	0,636	0,293	1,000			
	Área	0,831	0,397	0,794	1,000		
	Npav	0,769	0,438	0,821	0,849	1,000	
	Nfun	0,814	0,653	0,461	0,607	0,670	1,000
Tipo e Fase da obra	Variáveis	Atração	Produção	Nund	Área	Npav	Nfun
Obras em alvenaria estrutural	Atração	1,000					
	Produção	0,456	1,000				
	Nund	0,450	0,670	1,000			
	Área	0,641	0,789	0,917	1,000		
	Npav	0,216	0,250	0,144	0,225	1,000	
	Nfun	0,729	0,410	0,393	0,635	0,376	1,000

4.2.3 Modelos lineares de atração de veículos de carga

Na Tabela 4-5 estão apresentados os modelos desenvolvidos pela técnica de regressão linear referentes às viagens atraídas pelos empreendimentos em construção em suas fases específicas.

Dentre os quatro modelos desenvolvidos para a fase de fundação, o melhor é o modelo linear simples que utiliza o número de funcionários como variável explicativa (LM4). O fato desse modelo ser o melhor já era esperado, pois na verificação da correlação entre os dados este foi o que obteve o maior grau de correlação. Os testes estatísticos mostraram que os dados provêm de uma amostra com distribuição normal e a variância dos resíduos são iguais (homocedasticidade). Ainda, o ajuste entre o modelo e os valores observados é de 79% ($R^2 = 0,792$) com nível de confiabilidade de 99% ($p\text{-valor} < 0,05$). A raiz do erro quadrático médio (REQM) e a técnica de LOOCV apresentam os menores valores entre os modelos. O critério de informação de Akaike, usado para classificar os modelos também é o melhor ($AIC = 40,14$).

Para os empreendimentos construídos em estrutura de concreto armado, que estão na fase de construção da estrutura, o modelo que apresenta os melhores índices estatísticos é o modelo que utiliza a área construída como variável explicativa (LM06). Esse modelo atende o teste de variância das médias (teste f), apresenta homocedasticidade e normalidade dos resíduos. O nível de confiabilidade é de 99%, com R^2 igual à 0,819 e AIC igual à 53,44, valor este bem abaixo dos outros modelos. A variável área construída é a que apresenta melhor correlação com o número de viagens atraídas segundo o teste de correlação de Pearson.

Na fase de construção da alvenaria e instalações, o modelo com os melhores resultados também é o modelo que utiliza a variável independente área construída (LM10). Esse modelo é superior aos demais em todos os parâmetros analisados. O pior modelo é o que utiliza o número de unidades como variável explicativa se diferenciando dos demais no nível de confiabilidade que é de 95%, sendo que os outros três modelos alcançaram 99%.

Mais uma vez a área construída aparece como variável mais propícia a explicar o fenômeno de atração de viagens, agora na fase de revestimento. O melhor modelo (LM14) apresenta nível de confiabilidade de 99%, ajuste entre modelo e dados observados de 82% e AIC igual à 57,10. Utilizando-se a técnica de validação cruzada, pode-se concluir que esse modelo não

pode ser usado de forma genérica devido ao alto valor no LOOCV. Apenas o LM13 (Nund) e LM14 foram validados em todos os testes.

Para obras em concreto armado em fase de acabamento, o melhor modelo utiliza área construída como variável independente (LM18 - $R^2 = 0,809$; p-valor $< 0,05$; AIC = 35,83), seguido do modelo que associa número de unidades à área construída (LM21 - $R^2 = 0,815$; p-valor $< 0,05$; AIC = 37,40). Apesar do LM21 apresentar melhor ajuste que o LM18, o modelo que utiliza somente área construída apresenta melhor valor de AIC.

Para os empreendimentos construídos em alvenaria estrutural na fase de alvenaria e instalações, o modelo que utiliza área construída como variável explicativa (LM24) é o que obteve os melhores resultados, seguido do modelo que relaciona o número de pavimentos associado à área construída (LM27). Apesar do LM27 apresentar melhor ajuste que o LM24 ($R^2 = 0,815$ e $R^2 = 0,811$ respectivamente), o modelo que utiliza duas variáveis apresenta AIC = 22,15, enquanto LM24 tem AIC = 20,36.

Dos modelos para as obras construídas em alvenaria estrutural em fase de revestimento, aquele que utilizou o número de pavimentos associado ao número de funcionários (LM35) obteve melhor resultado. Apenas os modelos LM31, LM33 e LM35 apresentam variância entre as médias iguais, os outros modelos são heterocedásticos (teste f). Os resíduos dos modelos apresentam variância constante (homocedasticidade segundo teste de Breusch-pagan). Todos os modelos são provenientes de amostras normalmente distribuídas.

Quando se analisam os dados dos 105 empreendimentos, sem considerar o tipo ou a fase, tem-se que o melhor é o modelo que utiliza a variável área construída associada ao número de funcionários (LM41). Esse modelo provém de uma amostra com distribuição normal e apresenta variância homocedástica para as médias e resíduos. O coeficiente de determinação (R^2) mostra que aproximadamente 80% da variação do número de viagens atraídas semanalmente pode ser explicado pelas duas variáveis explicativas com nível de significância de 1%. O critério de informação de Akaike apresentou o melhor resultado (AIC = 266,4), sendo o segundo melhor modelo com AIC = 306,5. O teste t de student apresenta nível de confiabilidade de 95%, tanto nos coeficientes angulares da equação, quanto no intercepto.

Analisando todas as obras em concreto armado (independentemente da fase) não foi possível determinar o melhor modelo, pois nenhum foi validado a partir dos testes estatísticos. Os modelos não atendem aos parâmetros de normalidade e/ou variância dos resíduos.

Para as obras em alvenaria estrutural, apesar de terem sido desenvolvidos oito modelos (quatro simples e quatro múltiplos), o melhor modelo foi desenvolvido utilizando apenas o número de funcionários como variável explicativa (LM51). Esse modelo provém de uma distribuição normal e os valores de LOOCV e REQM são os menores dentre os modelos, confirmando seu maior poder de predição.

Tabela 4-5: Modelos lineares de atração de viagens de carga.

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de fundação	LM1	Número de viagens atraídas	Nund	0,06	6,747	4,70E-06*	45,52	0,740	44,17	BP=1,29 pvalor=0,26	W=0,97 pvalor=0,81	0,56	0,70
			intercepto	2,08	9,787								
	LM2		Area	0,0005	7,44	1,40E-06*	55,37	0,776	41,50	BP=0,002 pvalor=0,96	W=0,93 pvalor=0,20	2,04	0,65
			intercepto	2,08	10,63								
	LM3		Npav	0,30	7,203	2,10E-06*	51,88	0,764	42,40	BP=0,53 pvalor=0,47	W=0,96 pvalor=0,66	0,57	0,67
			intercepto	0,97	3,107								
	LM4		Nfun	0,44	7,807	7,60E-07*	60,96	0,792	40,14	BP=1,41 pvalor=0,24	W=0,96 pvalor=0,69	0,49	0,63
			intercepto	-0,69	-1,427								
Estrutura de concreto armando em fase de estrutura	LM5	Número de viagens atraídas	Nund	0,19	4,621	2,12E-04*	21,35	0,543	71,94	BP=2,35 pvalor=0,13	W=0,92 pvalor=0,11	2,08	1,26
			intercepto	2,67	4,299								
	LM6		Area	0,0007	9,014	4,30E-08*	81,25	0,819	53,44	BP=0,00 pvalor=0,99	W=0,97 pvalor=0,72	1,25	0,79
			intercepto	3,40	12,404								
	LM7		Npav	0,38	4,468	2,97E-04*	19,96	0,526	72,66	BP=0,01 pvalor=0,91	W=0,90 pvalor=0,05	1,97	1,28
			intercepto	2,05	2,667								
	LM8		Nfun	0,29	4,442	3,15E-04*	19,73	0,523	72,78	BP=1,73 pvalor=0,19	W=0,97 pvalor=0,66	2,05	1,29
			intercepto	0,11	0,090								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de alvenaria e instalações	LM9	Número de viagens atraídas	Nund	0,17	2,859	1,70E-02**	8,17	0,450	49,08	BP=0,61 pvalor=0,44	W=0,95 pvalor=0,64	2,85	1,46
			intercepto	2,36	2,463								
	LM10		Area	0,002	8,780	5,17E-06*	77,08	0,885	30,27	BP=0,95 pvalor=0,33	W=0,92 pvalor=0,26	0,60	0,67
			intercepto	2,16	5,965								
	LM11		Npav	0,55	7,233	2,82E-05*	52,31	0,840	34,29	BP=0,37 pvalor=0,54	W=0,97 pvalor=0,89	0,90	0,79
			intercepto	0,95	1,643								
	LM12		Nfun	0,32	5,028	5,16E-04*	25,28	0,717	41,12	BP=1,02 pvalor=0,31	W=0,97 pvalor=0,85	1,52	1,05
			intercepto	0,12	0,123								
Estrutura de concreto armando em fase de revestimento	LM13	Número de viagens atraídas	Nund	0,08	7,367	1,60E-06*	54,28	0,772	61,03	BP=0,004 pvalor=0,95	W=0,90 pvalor=0,07	21,89	1,12
			intercepto	3,18	9,721								
	LM14		Area	0,0007	8,451	2,70E-07*	71,42	0,817	57,10	BP=0,17 pvalor=0,68	W=0,93 pvalor=0,17	12,95	1,00
			intercepto	3,10	10,460								
	LM15		Npav	0,39	7,856	7,00E-07*	61,72	0,794	59,22	BP=0,001 pvalor=0,98	W=0,80 pvalor=0,01	1,44	1,06
			intercepto	1,79	4,170								
	LM16		Nfun	0,31	6,499	7,34E-06*	42,23	0,725	64,41	BP=7,46 pvalor=0,01	W=0,95 pvalor=0,35	2,40	1,23
			intercepto	0,24	0,329								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de acabamento	LM17	Número de viagens atraídas	Nund	0,05	16,84	1,16E-01#	2,83	0,179	57,71	BP=0,19 pvalor=0,66	W=0,80 pvalor=0,01	2,98	1,36
			intercepto	2,93	5,322								
	LM18		Area	0,0008	7,420	5,05E-06*	55,06	0,809	35,83	BP=3,27 pvalor=0,07	W=0,94 pvalor=0,33	0,51	0,65
			intercepto	2,39	9,802								
	LM19		Npav	0,30	3,880	1,90E-03*	15,05	0,537	49,13	BP=6,23 pvalor=0,01	W=0,98 pvalor=0,96	1,97	1,02
			intercepto	1,58	2,659								
	LM20		Nfun	0,30	2,709	1,79E-02**	7,34	0,361	53,95	BP=2,83 pvalor=0,09	W=0,90 pvalor=0,09	2,16	1,20
			intercepto	0,57	0,488								
	LM21		Nund	0,009	0,595	4,08E-05*	26,34	0,815	37,40	BP=4,54 pvalor=0,10 df = 2	W=0,94 pvalor=0,39	0,55	0,65
			Area	0,0008	6,411								
			intercepto	2,30	7,984								
	LM22		Nund	0,021	0,708	5,34E-02##	3,78	0,386	55,34	BP=4,59 pvalor=0,10 df = 2	W=0,93 pvalor=0,26	3,63	1,17
			Nfun	0,26	2,014								
			intercepto	0,71	0,588								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Alvenaria estrutural em fase de alvenaria e instalações	LM23	Número de viagens atraídas	Nund	0,20	2,438	5,06E-02##	5,94	0,498	28,16	BP=0,65 pvalor=0,42	W=0,99 pvalor=0,99	2,45	0,97
			intercepto	2,00	2,313								
	LM24		Area	0,003	5,066	2,30E-03*	25,66	0,811	20,36	BP=1,37 pvalor=0,24	W=0,92 pvalor=0,43	0,53	0,59
			intercepto	0,93	1,475								
	LM25		Npav	0,25	0,682	5,21E-01#	0,47	0,072	33,07	BP=0,12 pvalor=0,73	W=0,99 pvalor=0,99	4,94	1,31
			intercepto	2,56	1,279								
	LM26		Nfun	0,34	3,927	7,74E-03*	15,42	0,720	23,48	BP=1,76 pvalor=0,19	W=0,91 pvalor=0,34	0,92	0,72
			intercepto	-0,79	-0,643								
	LM27		Npav	-0,07	-0,365	1,46E-02**	11,04	0,815	22,15	BP=2,43 pvalor=0,30 df = 2	W=0,86 pvalor=0,11	0,86	0,59
			Area	0,003	4,488								
			intercepto	1,21	1,181								
	LM28		Npav	-0,08	-0,321	3,94E-02**	6,61	0,726	25,32	BP=4,69 pvalor=0,10 df = 2	W=0,92 pvalor=0,40	1,92	0,71
			Nfun	0,35	3,451								
			intercepto	-0,56	-0,376								
	LM29		Npav	0,03	0,108	1,78E-01#	2,49	0,499	30,14	BP=1,09 pvalor=0,58 df = 2	W=0,99 pvalor=0,99	5,92	0,97
Nund		0,19	2,063										
intercepto		1,85	1,126										

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Alvenaria estrutural em fase de revestimento	LM30	Número de viagens atraídas	Nund	0,04	2,295	1,06E-01#	5,27	0,637	15,32	BP=0,55 pvalor=0,46	W=0,91 pvalor=0,48	2,48	0,61
			intercepto	2,76	6,092								
	LM31		Area	0,0009	3,375	4,33E-02**	11,39	0,792	12,55	BP=0,57 pvalor=0,45	W=0,99 pvalor=0,96	5,61	0,47
			intercepto	2,35	5,700								
	LM32		Npav	-0,13	-0,210	8,47E-01#	0,04	0,015	20,31	BP=0,76 pvalor=0,38	W=0,96 pvalor=0,77	7,26	1,01
			intercepto	3,88	1,655								
	LM33		Nfun	0,20	4,440	2,12E-02**	19,71	0,868	10,26	BP=1,52 pvalor=0,22	W=0,95 pvalor=0,74	0,41	0,37
			intercepto	1,29	2,463								
	LM34		Npav	-0,22	-0,712	1,66E-01#	5,01	0,834	13,42	BP=0,52 pvalor=0,77 df = 2	W=0,87 pvalor=0,28	6,81	0,42
			Area	0,0009	3,139								
			intercepto	3,14	2,615								
	LM35		Npav	-0,32	-2,178	3,92E-02**	24,53	0,961	6,18	BP=3,46 pvalor=0,18 df = 2	W=0,93 pvalor=0,62	0,22	0,20
			Nfun	0,22	6,952								
			intercepto	2,38	3,895								
	LM36		Npav	-0,25	-0,606	3,07E-01#	2,26	0,693	16,48	BP=1,48 pvalor=0,48 df = 2	W=0,97 pvalor=0,88	14,37	0,57
Nund		0,04	2,104										
intercepto		3,68	2,295										

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Todas as obras	LM37	Número de viagens atraídas	Nund	0,07	7,396	3,90E-011*	54,70	0,347	390,89	BP=3,97 pvalor=0,05	W=0,95 pvalor=0	2,41	1,51
			intercepto	3,17	16,23								
	LM38		Area	0,0007	13,38	2,20E-16*	179,20	0,635	329,81	BP=10,74 pvalor=0	W=0,97 pvalor=0,04	1,41	1,13
			intercepto	2,90	20,17								
	LM39		Npav	0,35	10,64	2,20E-16*	113,20	0,524	357,74	BP=4,36 pvalor=0,04	W=0,98 pvalor=0,06	1,75	1,29
			intercepto	1,75	6,852								
	LM40		Nfun	0,27	13,62	2,20E-16*	185,50	0,643	327,46	BP=16,91 pvalor=0	W=0,97 pvalor=0,02	1,32	1,12
			intercepto	0,65	2,339								
	LM41		Area	0,0004	9,163	2,20E-16*	209,50	0,804	266,40	BP=5,78 pvalor=0,06 df = 2	W=0,99 pvalor=0,81	0,76	0,83
			Nfun	0,17	9,389								
			intercepto	1,16	5,416								
	LM42		Nund	0,03	4,990	2,20E-16*	126,70	0,713	306,53	BP=10,62 pvalor=0,01 df = 2	W=0,97 pvalor=0,04	1,09	1,00
			Nfun	0,23	11,41								
			intercepto	0,74	2,945								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Obras em concreto armado	LM43	Número de viagens atraídas	Nund	0,07	7,412	1,07E-10*	54,93	0,404	312,52	BP=3,72 pvalor=0,05	W=0,94 pvalor=0	2,51	1,53
			intercepto	3,07	13,80								
	LM44		Area	0,0007	13,45	2,20E-16*	180,90	0,691	258,09	BP=11,73 pvalor=0	W=0,97 pvalor=0,03	1,39	1,10
			intercepto	2,79	17,59								
	LM45		Npav	0,37	10,82	2,20E-16*	117,0	0,591	281,31	BP=4,01 pvalor=0,05	W=0,96 pvalor=0,01	1,71	1,27
			intercepto	1,52	5,438								
	LM46		Nfun	0,28	12,61	2,20E-16*	159,10	0,663	265,29	BP=16,52 pvalor=0	W=0,97 pvalor=0,03	1,43	1,15
			intercepto	0,54	1,718								
	LM47		Nund	0,04	5,230	2,20E-16*	119,10	0,749	242,88	BP=9,75 pvalor=0,01 df = 2	W=0,97 pvalor=0,05	1,09	1,00
Nfun		0,23	10,47										
intercepto		0,66	2,417										
Obras em alvenaria estrutural	LM48	Número de viagens atraídas	Nund	0,04	1,949	7,02E-02##	3,80	0,202	56,35	BP=0,16 pvalor=0,69	W=0,95 pvalor=0,42	1,76	1,06
			intercepto	3,10	8,308								
	LM49		Area	0,001	3,232	5,58E-03*	10,45	0,411	51,20	BP=1,51 pvalor=0,22	W=0,98 pvalor=0,91	1,76	0,91
			intercepto	2,45	5,799								
	LM50		Npav	0,15	0,859	4,04E-01#	0,74	0,05	59,37	BP=0,39 pvalor=0,53	W=0,97 pvalor=0,81	1,65	1,16
			intercepto	2,85	3,141								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Obras em alvenaria estrutural	LM51	Número de viagens atraídas	Nfun	0,21	4,129	8,93E-04*	17,05	0,532	47,28	BP=0,10 pvalor=0,75	W=0,90 pvalor=0,07	0,82	0,82
			intercepto	1,17	1,875								
	LM52		Nund	0,04	1,798	1,67E-01#	2,04	0,226	57,84	BP=1,30 pvalor=0,52 df = 2	W=0,97 pvalor=0,74	1,84	1,05
			Npav	0,11	0,652								
			intercepto	2,59	3,019								
	LM53		Nund	0,02	1,002	3,03E-03*	9,03	0,563	48,11	BP=0,35 pvalor=0,84 df = 2	W=0,92 pvalor=0,14	1,07	0,79
			Nfun	0,18	3,403								
			intercepto	1,21	1,936								
	LM54		Area	0,001	2,975	2,31E-02**	4,99	0,416	53,04	BP=1,58 pvalor=0,45 df = 2	W=0,98 pvalor=0,97	2,63	0,91
			Npav	0,05	0,365								
			intercepto	2,22	2,906								
	LM55		Nfun	0,21	3,840	4,64E-03*	8,08	0,536	49,14	BP=2,43 pvalor=0,30 df = 2	W=0,92 pvalor=0,17	1,02	0,81
			Npav	-0,05	-0,344								
			intercepto	1,31	1,708								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

4.2.4 Modelos lineares generalizados de atração de veículos de carga

Na Tabela 4-6 estão apresentados os modelos desenvolvidos pela técnica de regressão linear generalizada (que utiliza técnica de Poisson) referentes às viagens atraídas pelos empreendimentos em construção em suas fases específicas. Considerando o critério de informação de Akaike (AIC), os modelos lineares simples são superiores aos modelos lineares generalizados.

Na análise dos modelos desenvolvidos para a fase de fundação, tem-se o GLM04, que utiliza o número de funcionários como variável explicativa como melhor modelo com base no critério de informação de Akaike ($AIC = 58,6$), teste qui-quadrado ($\chi^2 = 2,78$), na técnica de validação cruzada ($LOOCV = 0,67$) e também na acurácia do modelo ($REQM = 0,62$). Todos os modelos são válidos estatisticamente, apresentando nível de confiabilidade de 99%.

Na fase de construção da estrutura, o modelo que apresentou melhor acurácia na predição foi o GLM06 com $REQM$ igual à 1,01, AIC igual a 77,4 e χ^2 igual à 3,96 ($p\text{-valor} = 1,0$). Esse modelo utiliza a variável área construída como variável independente. O nível de confiabilidade dos modelos é de 99%.

Na fase de construção da alvenaria e instalações, o modelo com os melhores resultados também é o modelo que utiliza a variável independente área construída (GLM10). Esse modelo é superior aos demais em todos os parâmetros analisados. O pior modelo é o que utiliza o número de unidades como variável explicativa.

Na fase de revestimento em empreendimentos construídos em concreto armado o modelo com melhor acurácia na predição é o que utiliza número de funcionários como variável explicativa (GLM16 - $AIC = 65,5$; $REQM = 0,92$; $LOOCV = 1,44$). O pior modelo utiliza número de unidades para explicar o fenômeno de atração de viagens em construções.

Para obras em concreto armado em fase de acabamento, o melhor modelo é o que utiliza área construída como variável independente (GLM18 - $AIC = 52,87$; $REQM = 0,7$; $LOOCV = 1,18$). Esse é o único modelo com 99% de confiabilidade, tanto no coeficiente angular e no intercepto que compõe a equação (com base no $z\text{-valor}$). O pior modelo é o que utiliza o número de unidades como variável explicativa.

Para os empreendimentos construídos em alvenaria estrutural na fase de alvenaria e instalações, o melhor modelo utiliza área construída como variável explicativa (GLM22 – AIC = 30,33). O segundo melhor utiliza o número de funcionários, tendo AIC igual à 30,63. O pior modelo é o que utiliza número de pavimentos como variável independente (AIC = 33,11). Destaca-se o modelo que utiliza o número de unidades como variável explicativa, pois apresentou LOOCV igual à 11,76, indicando que esse modelo não deve ser replicado para qualquer situação com as mesmas condições de contorno.

Para as obras construídas em alvenaria estrutural em fase de revestimento, o melhor modelo foi o que utilizou o número de funcionários como variável explicativa (GLM28 – AIC = 19,58 e REQM = 0,36). Destaca-se o modelo GLM26, que utiliza a área construída como variável independente, devido ao alto valor de REQM no teste de validação cruzada.

Dentre os modelos de regressão generalizada, considerando todas as obras independente de seu tipo ou fase, tem-se que o melhor modelo é o que utiliza o número de funcionários com variável independente (GLM32). Esse modelo teve melhor desempenho em todos os parâmetros estatísticos analisados com nível de confiabilidade de 99%.

Para todas as obras em concreto armado (independente da fase) o modelo com melhor acurácia na predição é o GLM36, em que a variável independente é o número de funcionários. A variável número de unidades é a que pior explica a atração de viagens para obras de construção.

Quando se analisa todas as obras construídas em alvenaria estrutural (sem considerar as fases), o melhor modelo também é o que utiliza o número de funcionários como variável explicativa (GLM40). Esse modelo apresenta os menores valores no teste de qui-quadrado e na raiz quadrada do erro quadrático médio, bem como menor valor de AIC (60,10).

Os valores de $c\text{-hat}$ não apontam dispersão dos dados, sendo $c\text{-hat}$ menor que um para todos os modelos. O critério de informação de Akaike corrigido (AICc) também apresentou valores condizentes com os AIC's calculados, e quando comparados entre modelos de mesma tipologia e fase, os melhores modelos são mantidos.

Tabela 4-6: Modelos lineares generalizados de atração de viagens de carga.

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de fundação	GLM1	Número de viagens atraídas	Nund	0,01	2,845*	59,63	60,43	0,23	$\chi^2 = 3,70$ p-valor = 1,0	0,84	0,72
			intercepto	0,82	4,643*						
	GLM2		Area	0,0001	2,893*	59,65	60,45	0,23	$\chi^2 = 3,72$ p-valor = 1,0	85,75	0,76
			intercepto	0,83	4,848*						
	GLM3		Npav	0,07	2,907*	59,39	60,19	0,22	$\chi^2 = 3,48$ p-valor = 1,0	6,34	0,73
			intercepto	0,55	2,287*						
	GLM4		Nfun	0,12	2,990*	58,59	59,39	0,17	$\chi^2 = 2,78$ p-valor = 1,0	0,67	0,62
			intercepto	0,05	0,138#						
Estrutura de concreto armado em fase de estrutura	GLM5	Número de viagens atraídas	Nund	0,04	2,667*	79,25	79,96	0,35	$\chi^2 = 6,23$ p-valor = 1,0	2,51	1,32
			intercepto	1,14	5,095*						
	GLM6		Area	0,0001	3,249*	77,36	78,07	0,22	$\chi^2 = 3,96$ p-valor = 1,0	7,71	1,01
			intercepto	1,35	9,403*						
	GLM7		Npav	0,07	2,630*	79,46	80,17	0,37	$\chi^2 = 6,65$ p-valor = 1,0	2,02	1,29
			intercepto	1,03	3,845*						
	GLM8		Nfun	0,06	2,627*	79,01	79,71	0,33	$\chi^2 = 6,00$ p-valor = 1,0	2,01	1,26
			intercepto	0,56	1,260#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de alvenaria e instalações	GLM9	Número de viagens atraídas	Nund	0,03	2,090*	49,11	50,44	0,50	$\chi^2 = 4,95$ p-valor = 0,93	2,63	1,43
			intercepto	1,04	3,543*						
	GLM10		Area	0,0003	2,878*	45,13	46,46	0,08	$\chi^2 = 0,80$ p-valor = 1,0	0,47	0,57
			intercepto	0,98	3,720*						
	GLM11		Npav	0,10	2,810*	45,90	47,24	0,16	$\chi^2 = 1,60$ p-valor = 1,0	1,38	0,83
			intercepto	0,80	2,479*						
	GLM12		Nfun	0,07	2,603*	46,39	47,72	0,20	$\chi^2 = 2,04$ p-valor = 1,0	1,11	0,90
			intercepto	0,52	1,180#						
Estrutura de concreto armado em fase de revestimento	GLM13	Número de viagens atraídas	Nund	0,01	3,922*	69,51	70,31	0,44	$\chi^2 = 6,97$ p-valor = 1,0	9,73	1,27
			intercepto	1,27	9,363*						
	GLM14		Area	0,0001	4,035*	68,81	69,61	0,38	$\chi^2 = 6,15$ p-valor = 1,0	10,0	1,22
			intercepto	1,25	9,152*						
	GLM15		Npav	0,06	4,029*	68,54	69,34	0,39	$\chi^2 = 6,27$ p-valor = 1,0	41,03	1,20
			intercepto	1,05	6,112*						
	GLM16		Nfun	0,07	3,950*	65,51	66,31	0,16	$\chi^2 = 2,61$ p-valor = 1,0	1,44	0,92
			intercepto	0,46	1,502#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de acabamento	GLM17	Número de viagens atraídas	Nund	0,01	1,285*	57,36	58,36	0,60	$\chi^2 = 7,81$ p-valor = 0,90	3,96	1,38
			intercepto	1,10	5,496#						
	GLM18		Area	0,0002	2,678*	52,87	53,87	0,18	$\chi^2 = 2,34$ p-valor = 1,0	1,18	0,70
			intercepto	0,99	5,298*						
	GLM19		Npav	0,07	2,214**	54,27	55,27	0,29	$\chi^2 = 3,77$ p-valor = 0,99	2,37	1,03
			intercepto	0,74	2,507**						
	GLM20		Nfun	0,08	1,819##	55,65	56,65	0,42	$\chi^2 = 5,48$ p-valor = 0,98	2,18	1,19
			intercepto	0,46	0,938#						
Estrutura de alvenaria estrutural em fase de alvenaria e instalações	GLM21	Número de viagens atraídas	Nund	0,05	1,378#	31,59	33,99	0,36	$\chi^2 = 2,19$ p-valor = 0,95	11,76	1,05
			intercepto	0,88	2,175**						
	GLM22		Area	0,001	1,749##	30,33	32,73	0,16	$\chi^2 = 0,99$ p-valor = 0,99	0,66	0,63
			intercepto	0,56	1,083#						
	GLM23		Npav	0,07	0,525#	33,11	35,51	0,60	$\chi^2 = 3,62$ p-valor = 0,82	6,05	1,33
			intercepto	0,99	1,369#						
	GLM24		Nfun	0,09	1,645#	30,63	33,03	0,21	$\chi^2 = 1,29$ p-valor = 0,99	0,81	0,69
			intercepto	0,10	0,119#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Estrutura de alvenaria estrutural em fase de revestimento	GLM25	Número de viagens atraídas	Nund	0,01	0,976#	19,99	25,99	0,21	$\chi^2 = 0,62$ p-valor = 0,96	24,34	0,62
			intercepto	1,04	3,164*						
	GLM26		Area	0,0002	1,087#	19,78	25,78	0,14	$\chi^2 = 0,43$ p-valor = 0,98	113,34	0,51
			intercepto	0,93	2,378**						
	GLM27		Npav	-0,04	-0,148#	20,85	26,85	0,51	$\chi^2 = 1,53$ p-valor = 0,82	36,19	1,01
			intercepto	1,36	1,433#						
	GLM28		Nfun	0,06	1,139#	19,58	25,58	0,08	$\chi^2 = 0,23$ p-valor = 0,99	0,35	0,36
			intercepto	0,58	0,905#						
Todas as obras	GLM29	Número de viagens atraídas	Nund	0,01	5,468*	399,26	399,38	0,60	$\chi^2 = 61,53$ p-valor = 1,0	2,55	1,56
			intercepto	1,24	20,40*						
	GLM30		Area	0,0001	7,325*	381,22	381,33	0,39	$\chi^2 = 40,14$ p-valor = 1,0	1,96	1,30
			intercepto	1,19	19,43*						
	GLM31		Npav	0,06	6,808*	384,76	384,88	0,44	$\chi^2 = 45,07$ p-valor = 1,0	2,05	1,36
			intercepto	0,95	10,80*						
	GLM32		Nfun	0,06	7,506*	367,68	367,80	0,27	$\chi^2 = 27,57$ p-valor = 1,0	1,24	1,08
			intercepto	0,56	4,241*						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Obras em concreto armado	GLM33	Número de viagens atraídas	Nund	0,01	5,519*	318,20	318,35	0,63	$\chi^2 = 51,10$ p-valor = 1,0	2,86	1,61
			intercepto	1,23	18,07*						
	GLM34		Area	0,0001	7,171*	301,51	301,66	0,38	$\chi^2 = 31,20$ p-valor = 1,0	2,05	1,31
			intercepto	1,16	16,69*						
	GLM35		Npav	0,07	6,787*	303,84	303,99	0,43	$\chi^2 = 35,10$ p-valor = 1,0	2,22	1,37
			intercepto	0,91	9,137*						
	GLM36		Nfun	0,06	7,143*	291,46	291,61	0,27	$\chi^2 = 22,10$ p-valor = 1,0	1,28	1,09
			intercepto	0,53	3,610*						
Obras em alvenaria estrutural	GLM37	Número de viagens atraídas	Nund	0,009	1,158#	62,46	63,32	0,38	$\chi^2 = 5,65$ p-valor = 0,99	3,13	1,08
			intercepto	1,15	6,696*						
	GLM38		Area	0,0003	1,651##	61,24	62,09	0,29	$\chi^2 = 4,33$ p-valor = 1,0	6,54	0,97
			intercepto	1,00	4,477*						
	GLM39		Npav	0,04	0,561#	63,35	64,21	0,43	$\chi^2 = 6,38$ p-valor = 0,98	1,66	1,17
			intercepto	1,07	2,666*						
	GLM40		Nfun	0,06	1,880##	60,10	60,96	0,20	$\chi^2 = 3,03$ p-valor = 1,0	0,72	0,77
			intercepto	0,57	1,397#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

4.2.5 Modelos lineares de produção de veículos de carga

Na Tabela 4-7 estão apresentados os modelos desenvolvidos pela técnica de regressão linear referentes às viagens produzidas pelos empreendimentos em construção em suas fases específicas.

Quando se analisa a produção de viagens na fase de fundação, nota-se que nenhum dos modelos apresentou nível de confiabilidade maior que 30%. Isso deve-se ao fato de que nessa fase a produção de resíduos é mínima, consequentemente não há retirada de caçambas de entulhos, portanto o número de viagens geradas é zero. Dos 18 entrevistados, 15 não apontaram retiradas semanais, um apontou uma retirada por mês e apenas dois afirmaram uma retirada de caçamba com entulhos por semana. Devido à esse fato, poderiam ser gerados modelos considerando a produção de viagens a partir dos serviços de terraplanagem (serviços de retirada de solo para nivelamento do terreno). Entretanto, as variáveis explicativas não explicariam o modelo, pois as viagens produzidas, nesse caso, estão relacionadas com a conformidade do terreno em que a edificação será construída, independente da área construída, ou número de funcionários, ou pavimentos ou unidades. Outro fator limitante seria que durante a pesquisa foram obtidos valores de viagens relacionadas ao serviço de terraplanagem, tanto na atração (material para aterro) e produção (retirada de material), não sendo possível segregar o que seria atração e o que seria produção. Portanto, os modelos desenvolvidos para essa fase de obra devem ser desconsiderados por não serem representativos.

Na fase de construção da estrutura, o melhor modelo foi o que utilizou a área construída como variável explicativa (LM6), seguido do modelo que utilizou o número de unidades (LM5). Os modelos que utilizam o número de pavimentos e número de funcionários não foram validados pelos testes estatísticos.

Dentre os quatro modelos desenvolvidos para obras em fase de construção da alvenaria e instalações (em concreto armado), o que utiliza área construída e número de funcionários não foram validados pelos testes, restando apenas os modelos que utilizam número de pavimentos e número de unidades. Segundo o critério de informação de Akaike o melhor modelo é o que utiliza o número de unidades como variável independente (LM9).

Na fase de revestimento, em empreendimentos construídos em concreto armado, o modelo com melhor acurácia na predição é o que utiliza número de funcionários como variável explicativa (LM16), sendo o único modelo com distribuição normal dos resíduos, com nível de confiabilidade de 99%.

Para obras em concreto armado em fase de acabamento, o melhor modelo utiliza área construída (LM18) como variável independente e apresenta nível de confiabilidade de 99%, proveniente de uma amostra com distribuição normal, com variância constante das médias e dos resíduos (homocedasticidade).

Analisando os empreendimentos construídos em alvenaria estrutural, na fase de alvenaria e instalações, não é possível determinar o melhor modelo, pois nenhum deles apresenta nível de confiabilidade de 95%. O modelo que utiliza área construída como variável explicativa (LM24 – AIC = 24,28), apresenta nível de confiabilidade 92%.

Já para as obras construídas em alvenaria estrutural em fase de revestimento, o melhor modelo utiliza o número de pavimentos associado à área construída como variável explicativa, com 95% de confiabilidade.

Dentre os modelos de regressão linear, considerando todas as obras, independente de seu tipo ou fase, tem-se que o melhor modelo utiliza o número de funcionários com variável independente (LM40). Esse foi o único modelo validado dentre seis desenvolvidos, eles não atendem aos parâmetros de normalidade e/ou variância dos resíduos.

Para todas as obras em concreto armado (independente da fase) não foi possível determinar um melhor modelo, devido ao fato de nenhum modelo atender ao teste de Breusch-Pagan (variância dos resíduos).

Quando se analisam todas as obras construídas em alvenaria estrutural (sem considerar as fases), o melhor modelo utiliza área construída como variável explicativa (LM49), sendo proveniente de uma amostra de dados com distribuição normal e apresenta variância constante das médias e dos resíduos.

Tabela 4-7: Modelos lineares de produção de viagens de carga.

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de fundação	LM1	Número de viagens produzidas	Nund	0,002	0,410	6,87E-01#	0,17	0,01	21,36	BP=0,19 pvalor=0,67	W=0,53 pvalor=0	0,25	0,37
			intercepto	0,14	1,248								
	LM2		Area	0,00001	0,152	8,81E-01#	0,02	0,001	21,52	BP=0,05 pvalor=0,82	W=0,49 pvalor=0	0,39	0,37
			intercepto	0,16	1,401								
	LM3		Npav	-0,005	-0,197	8,46E-01#	0,04	0,002	21,50	BP=0,06 pvalor=0,80	W=0,49 pvalor=0	0,18	0,37
			intercepto	0,20	1,117								
	LM4		Nfun	0,01	0,285	7,80E-01#	0,08	0,005	21,46	BP=0,12 pvalor=0,73	W=0,52 pvalor=0	0,19	0,37
			intercepto	0,09	0,309								
Estrutura de concreto armando em fase de estrutura	LM5	Número de viagens produzidas	Nund	0,07	2,288	3,45E-02**	5,23	0,225	60,40	BP=1,252 pvalor=0,26	W=0,92 pvalor=0,08	1,10	0,94
			intercepto	1,11	2,387								
	LM6		Area	0,0003	3,408	3,14E-03*	11,61	0,392	55,55	BP=0,001 pvalor=0,97	W=0,93 pvalor=0,13	0,87	0,84
			intercepto	1,33	4,611								
	LM7		Npav	0,19	3,299	3,99E-03*	10,88	0,377	56,05	BP=6,46 pvalor=0,01	W=0,97 pvalor=0,82	0,89	0,85
			intercepto	0,51	1,013								
	LM8		Nfun	0,14	3,391	3,26E-03*	11,50	0,390	55,63	BP=6,01 pvalor=0,01	W=0,97 pvalor=0,75	0,88	0,84
			intercepto	-0,48	-0,625								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de alvenaria e instalações	LM9	Número de viagens produzidas	Nund	0,11	3,709	4,05E-03*	13,76	0,579	32,28	BP=0,54 pvalor=0,46	W=0,94 pvalor=0,53	0,77	0,72
			intercepto	0,87	1,839								
	LM10		Area	0,0006	3,103	1,12E-02**	9,63	0,491	34,57	BP=5,16 pvalor=0,02	W=0,93 pvalor=0,35	1,19	0,80
			intercepto	1,32	3,051								
	LM11		Npav	0,23	2,860	1,70E-02**	8,18	0,450	35,49	BP=2,49 pvalor=0,11	W=0,93 pvalor=0,41	1,05	0,83
			intercepto	0,84	1,373								
	LM12		Nfun	0,16	3,891	3,00E-03*	15,14	0,602	31,60	BP=4,37 pvalor=0,04	W=0,96 pvalor=0,73	0,85	0,70
			intercepto	0,007	0,010								
Estrutura de concreto armando em fase de revestimento	LM13	Número de viagens produzidas	Nund	0,03	2,693	1,60E-02**	7,25	0,312	58,31	BP=1,22 pvalor=0,27	W=0,88 pvalor=0,03	2,00	1,04
			intercepto	1,91	6,278								
	LM14		Area	0,0002	2,765	1,38E-02**	7,64	0,323	58,01	BP=1,10 pvalor=0,29	W=0,88 pvalor=0,03	1,60	1,03
			intercepto	1,88	6,193								
	LM15		Npav	0,15	3,251	5,00E-03*	10,57	0,398	55,90	BP=0,57 pvalor=0,45	W=0,89 pvalor=0,04	1,24	0,97
			intercepto	1,33	3,400								
	LM16		Nfun	0,13	3,537	2,74E-03*	12,51	0,439	54,64	BP=1,54 pvalor=0,21	W=0,98 pvalor=0,95	1,10	0,93
			intercepto	0,59	1,075								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de acabamento	LM17	Número de viagens produzidas	Nund	0,02	1,615	1,30E-01#	2,61	0,167	34,25	BP=0,66 pvalor=0,42	W=0,88 pvalor=0,04	0,68	0,62
			intercepto	1,64	6,510								
	LM18		Area	0,0003	3,513	3,82E-03*	12,34	0,487	26,98	BP=0,08 pvalor=0,78	W=0,88 pvalor=0,05	0,60	0,49
			intercepto	1,51	8,300								
	LM19		Npav	0,10	2,373	3,37E-02**	5,63	0,302	31,59	BP=0,21 pvalor=0,65	W=0,90 pvalor=0,11	0,46	0,57
			intercepto	1,24	3,762								
	LM20		Nfun	0,09	1,558	1,43E-01#	2,43	0,157	34,43	BP=0,07 pvalor=0,79	W=0,97 pvalor=0,90	0,53	0,62
			intercepto	1,02	1,683								
	LM21		Nund	0,008	0,717	1,42E-02**	6,20	0,508	28,35	BP=0,86 pvalor=0,65 df = 2	W=0,89 pvalor=0,07	0,80	0,48
			Area	0,0003	2,884								
			intercepto	1,43	6,700								
	LM22		Nund	0,02	0,990	2,24E-01#	1,70	0,221	35,25	BP=3,13 pvalor=0,21 df = 2	W=0,92 pvalor=0,16	0,88	0,60
			Nfun	0,06	0,910								
			intercepto	1,12	1,821								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Alvenaria estrutural em fase de alvenaria e instalações	LM23	Número de viagens produzidas	Nund	-0,01	-0,126	9,04E-01#	0,02	0,003	28,68	BP=0,17 pvalor=0,68	W=0,88 pvalor=0,20	2,64	1,00
			intercepto	2,10	2,351								
	LM24		Area	0,002	2,106	7,98E-02##	4,43	0,425	24,28	BP=1,15 pvalor=0,28	W=0,97 pvalor=0,86	1,07	0,76
			intercepto	0,44	0,541								
	LM25		Npav	0,11	0,416	6,92E-01#	0,17	0,03	28,48	BP=0,26 pvalor=0,61	W=0,88 pvalor=0,18	2,10	0,99
			intercepto	1,40	0,931								
	LM26		Nfun	0,16	1,590	1,63E-01#	2,53	0,296	25,89	BP=1,49 pvalor=0,22	W=0,94 pvalor=0,59	1,30	0,84
			intercepto	-0,19	-0,136								
	LM27		Npav	-0,06	-0,237	2,44E-01#	1,90	0,431	26,19	BP=0,64 pvalor=0,73 df = 2	W=0,95 pvalor=0,69	1,54	0,75
			Area	0,002	1,883								
			intercepto	0,67	0,508								
	LM28		Npav	-0,04	-0,143	4,11E-01#	1,07	0,299	27,86	BP=2,08 pvalor=0,35 df = 2	W=0,94 pvalor=0,64	1,89	0,84
			Nfun	0,17	1,392								
			intercepto	-0,08	-0,044								
	LM29		Npav	0,14	0,447	9,01E-01#	0,11	0,04	30,37	BP=0,77 pvalor=0,68 df = 2	W=0,86 pvalor=0,11	6,31	0,98
			Nund	-0,03	-0,260								
			intercepto	1,49	0,891								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Alvenaria estrutural em fase de revestimento	LM30	Número de viagens produzidas	Nund	0,05	3,874	3,05E-02**	15,00	0,833	14,28	BP=0,78 pvalor=0,38	W=0,95 pvalor=0,73	18,91	0,55
			intercepto	1,62	3,974								
	LM31		Area	1,13	2,661	1,95E-02**	21,05	0,875	12,83	BP=0,93 pvalor=0,33	W=0,94 pvalor=0,64	1,59	0,48
			intercepto	0,001	4,588								
	LM32		Npav	0,54	0,736	5,15E-01#	0,54	0,153	22,41	BP=0,31 pvalor=0,58	W=0,86 pvalor=0,25	8,11	1,25
			intercepto	0,54	0,188								
	LM33		Nfun	0,26	3,769	3,27E-02**	14,20	0,826	14,51	BP=2,50 pvalor=0,11	W=0,93 pvalor=0,58	1,16	0,57
			intercepto	-0,14	-0,179								
	LM34		Npav	0,42	2,388	3,24E-02**	29,88	0,968	8,09	BP=0,24 pvalor=0,89 df = 2	W=0,67 pvalor=0,05	1,74	0,24
			Area	0,001	7,093								
			intercepto	-0,43	-0,614								
	LM35		Npav	0,31	0,881	1,26E-01#	6,96	0,874	14,87	BP=4,22 pvalor=0,12 df = 2	W=0,94 pvalor=0,65	1,33	0,48
			Nfun	0,25	3,388								
			intercepto	-1,20	-0,822								
	LM36		Npav	0,37	1,189	9,76E-02##	9,25	0,902	13,60	BP=1,16 pvalor=0,56	W=0,94 pvalor=0,64	10,41	0,42
Nund		0,05	3,919										
intercepto		0,26	0,220										

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Todas as obras	LM37	Número de viagens produzidas	Nund	0,03	3,512	6,63E-04*	12,33	0,107	339,47	BP=16,27 pvalor=0	W=0,97 pvalor=0,03	1,54	1,18
			intercepto	1,51	9,874								
	LM38		Area	0,0002	3,918	1,61E-04*	15,35	0,130	336,76	BP=11,40 pvalor=0	W=0,97 pvalor=0,02	1,50	1,17
			intercepto	1,49	10,05								
	LM39		Npav	0,12	3,912	1,64E-04*	15,30	0,129	336,80	BP=4,76 pvalor=0,03	W=0,99 pvalor=0,37	1,45	1,17
			intercepto	1,07	4,645								
	LM40		Nfun	0,13	7,538	1,93E-11*	56,83	0,356	305,21	BP=2,80 pvalor=0,09	W=0,99 pvalor=0,58	1,05	1,01
			intercepto	0,14	0,546								
	LM41		Area	0,00001	0,137	1,84E-10*	28,15	0,356	307,19	BP=7,69 pvalor=0,02 df = 2	W=0,99 pvalor=0,62	1,13	1,01
			Nfun	0,13	5,981								
			intercepto	0,15	0,561								
	LM42		Nund	0,006	0,927	1,21E-10*	28,80	0,361	306,33	BP=17,81 pvalor=0 df = 2	W=0,99 pvalor=0,79	1,13	1,00
			Nfun	0,13	6,367								
			intercepto	0,15	0,611								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Obras em concreto armado	LM43	Número de viagens produzidas	Nund	0,02	2,762	7,10E-03*	7,63	0,09	273,93	BP=10,14 pvalor=0	W=0,97 pvalor=0,03	1,66	1,22
			intercepto	1,42	8,058								
	LM44		Area	0,0002	3,894	2,02E-04*	15,16	0,156	267,16	BP=8,80 pvalor=0,01	W=0,97 pvalor=0,07	1,53	1,17
			intercepto	1,32	7,908								
	LM45		Npav	0,13	4,391	3,38E-05*	19,28	0,192	263,68	BP=7,35 pvalor=0,01	W=0,98 pvalor=0,28	1,41	1,14
			intercepto	0,78	3,107								
	LM46		Nfun	0,14	7,763	2,20E-11*	60,26	0,427	235,24	BP=4,63 pvalor=0,03	W=0,99 pvalor=0,50	1,43	0,96
			intercepto	-0,11	-0,428								
	LM47		Area	0,00001	0,012	2,18E-10*	29,76	0,427	237,24	BP=7,67 pvalor=0,02 df = 2	W=0,99 pvalor=0,50	1,07	0,96
			Nfun	0,14	6,126								
			intercepto	-0,11	-0,407								
Obras em alvenaria estrutural	LM48	Número de viagens produzidas	Nund	0,05	3,491	3,28E-03*	12,19	0,448	48,43	BP=0,01 pvalor=0,95	W=0,97 pvalor=0,80	0,84	0,84
			intercepto	1,66	5,609								
	LM49		Area	0,001	4,970	1,68E-04*	24,70	0,622	41,99	BP=0,01 pvalor=0,94	W=0,93 pvalor=0,19	0,64	0,70
			intercepto	1,02	3,169								
	LM50		Npav	0,16	1,001	3,33E-01#	1,00	0,06	57,44	BP=0,05 pvalor=0,82	W=0,93 pvalor=0,22	1,50	1,10
			intercepto	1,54	1,798								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	Teste-f	R²	AIC	Teste Breusch-Pagan	Teste Shapiro-Wilk	LOOCV	REQM
Obras em alvenaria estrutural	LM51	Número de viagens produzidas	Nfun	0,11	1,742	1,02E-01#	3,04	0,168	55,40	BP=1,64 pvalor=0,20	W=0,96 pvalor=0,66	1,39	1,04
			intercepto	1,06	1,335								
	LM52		Nund	0,05	3,298	1,14E-02**	6,27	0,472	49,66	BP=0,05 pvalor=0,97 df = 2	W=0,98 pvalor=0,98	0,88	0,82
			Npav	0,10	0,801								
			intercepto	1,17	1,733								
	LM53		Nund	0,05	2,851	1,12E-02**	6,30	0,474	49,62	BP=1,93 pvalor=0,38 df = 2	W=0,98 pvalor=0,90	0,95	0,82
			Nfun	0,05	0,825								
			intercepto	1,78	1,805								
	LM54		Area	0,001	4,611	9,89E-04*	11,81	0,628	43,73	BP=0,29 pvalor=0,87 df = 2	W=0,93 pvalor=0,24	0,70	0,69
			Npav	0,05	0,460								
			intercepto	0,80	1,379								
	LM55		Nfun	0,10	1,409	2,51E-01#	1,53	0,179	57,18	BP=2,81 pvalor=0,25 df = 2	W=0,97 pvalor=0,88	1,75	1,03
			Npav	0,07	0,427								
			intercepto	0,83	0,850								

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

4.2.6 Modelos lineares generalizados de produção de veículos de carga

Na Tabela 4-8 estão apresentados os modelos desenvolvidos pela técnica de regressão linear generalizada referentes às viagens produzidas pelos empreendimentos em construção em suas fases específicas.

Para os modelos de produção de viagens desenvolvidos na fase de fundação, observa-se os mesmos problemas citados para os modelos lineares.

O número de funcionários como variável explicativa resultou em modelos com melhor acurácia para obras em estrutura de concreto armado na fase de construção da estrutura (GLM08), na fase de construção da alvenaria e instalações (GLM12), na fase de revestimento. (GLM16); obras em alvenaria estrutural em fase de revestimento (GLM28); todas as obras (GLM32); obras em concreto armado (GLM36).

A área construída como variável independente resultou em modelos com melhor acurácia para obras em concreto armado em fase de acabamento (GLM18), obras em alvenaria estrutural na fase de alvenaria e instalações (GLM22) e obras em alvenaria estrutural (GLM38).

O modelo GLM36 (obras em concreto armado) apresentou os menores valores de AIC, teste qui-quadrado, validação cruzada e raiz quadrada do erro quadrático médio.

Os valores de $c\text{-hat}$ não apontam dispersão dos dados, sendo $c\text{-hat}$ menor que um para todos os modelos. O critério de informação de Akaike corrigido (AICc) também apresentou valores condizentes com os AIC's calculados, e quando comparados entre modelos de mesma tipologia e fase, os melhores modelos são mantidos.

Tabela 4-8: Modelos lineares generalizados de produção de viagens de carga.

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de fundação	GLM1	Número de viagens produzidas	Nund	0,01	0,390#	20,62	21,42	0,93	$\chi^2 = 14,96$ p-valor = 0,60	0,60	0,37
			intercepto	-1,93	-2,705*						
	GLM2		Area	0,00003	0,146#	20,73	21,53	0,93	$\chi^2 = 14,95$ p-valor = 0,60	0,14	0,37
			intercepto	-1,85	-2,653*						
	GLM3		Npav	-0,03	-0,190#	20,71	21,51	0,93	$\chi^2 = 14,95$ p-valor = 0,60	0,20	0,37
			intercepto	-1,59	-1,372#						
	GLM4		Nfun	0,05	0,274#	20,68	21,48	0,93	$\chi^2 = 14,93$ p-valor = 0,60	0,30	0,37
			intercepto	-2,22	-1,309#						
Estrutura de concreto armado em fase de estrutura	GLM5	Número de viagens produzidas	Nund	0,03	1,578#	62,81	63,51	0,48	$\chi^2 = 8,58$ p-valor = 0,98	1,09	0,94
			intercepto	0,24	0,687#						
	GLM6		Area	0,0001	2,062**	61,67	62,38	0,42	$\chi^2 = 7,58$ p-valor = 0,99	1,80	0,87
			intercepto	0,42	1,822##						
	GLM7		Npav	0,09	2,036**	61,16	61,87	0,36	$\chi^2 = 6,51$ p-valor = 1,0	0,96	0,86
			intercepto	-0,06	-0,131#						
	GLM8		Nfun	0,08	2,075**	60,62	61,33	0,31	$\chi^2 = 5,62$ p-valor = 1,0	0,90	0,83
			intercepto	-0,71	-0,968#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de alvenaria e instalações	GLM9	Número de viagens produzidas	Nund	0,04	1,887##	38,82	40,16	0,22	$\chi^2 = 2,24$ p-valor = 1,0	0,58	0,67
			intercepto	0,23	0,544#						
	GLM10		Area	0,0002	1,716#	39,34	40,67	0,27	$\chi^2 = 2,66$ p-valor = 0,99	1,44	0,82
			intercepto	0,41	1,136#						
	GLM11		Npav	0,08	1,647##	39,68	41,01	0,32	$\chi^2 = 3,20$ p-valor = 0,99	1,10	0,86
			intercepto	0,26	0,581#						
	GLM12		Nfun	0,07	1,898##	38,54	39,87	0,20	$\chi^2 = 1,98$ p-valor = 1,0	0,88	0,69
			intercepto	-0,18	-0,290#						
Estrutura de concreto armado em fase de revestimento	GLM13	Número de viagens produzidas	Nund	0,01	1,880##	60,29	61,09	0,57	$\chi^2 = 9,18$ p-valor = 0,93	60,76	1,04
			intercepto	0,69	3,785*						
	GLM14		Area	0,0001	1,915##	60,18	60,98	0,57	$\chi^2 = 9,08$ p-valor = 0,94	19,47	1,04
			intercepto	0,69	3,701*						
	GLM15		Npav	0,04	2,133**	59,43	60,23	0,53	$\chi^2 = 8,45$ p-valor = 0,96	7,98	1,00
			intercepto	0,51	2,155**						
	GLM16		Nfun	0,05	2,273**	57,97	58,77	0,41	$\chi^2 = 6,54$ p-valor = 0,99	1,06	0,93
			intercepto	0,05	0,124#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Estrutura de concreto armado em fase de acabamento	GLM17	Número de viagens produzidas	Nund	0,01	0,771#	45,05	46,05	0,23	$\chi^2 = 3,04$ p-valor = 0,99	0,89	0,63
			intercepto	0,51	1,879##						
	GLM18		Area	0,0001	1,305#	44,12	45,12	0,16	$\chi^2 = 2,10$ p-valor = 1,0	2,00	0,52
			intercepto	0,46	1,836##						
	GLM19		Npav	0,05	1,037#	44,58	45,58	0,20	$\chi^2 = 2,56$ p-valor = 1,0	0,49	0,57
			intercepto	0,31	0,790#						
	GLM20		Nfun	0,05	0,749#	45,06	46,06	0,23	$\chi^2 = 3,05$ p-valor = 1,0	0,52	0,62
			intercepto	0,20	0,300#						
Alvenaria estrutural em fase de alvenaria e instalações	GLM21	Número de viagens produzidas	Nund	-0,005	-0,103#	27,91	30,31	0,67	$\chi^2 = 4,01$ p-valor = 0,78	4,10	1,00
			intercepto	0,74	1,361#						
	GLM22		Area	0,0008	1,292#	26,24	28,64	0,36	$\chi^2 = 2,15$ p-valor = 0,95	1,03	0,73
			intercepto	-0,13	-0,177#						
	GLM23		Npav	0,06	0,334#	27,80	30,20	0,67	$\chi^2 = 4,02$ p-valor = 0,78	2,62	0,99
			intercepto	0,37	0,374#						
	GLM24		Nfun	0,08	1,079#	26,73	29,13	0,44	$\chi^2 = 2,66$ p-valor = 0,91	1,32	0,83
			intercepto	-0,45	-0,400#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Alvenaria estrutural em fase de revestimento	GLM25	Número de viagens produzidas	Nund	0,02	1,656##	18,60	24,60	0,28	$\chi^2 = 0,85$ p-valor = 0,93	3,38	0,58
			intercepto	0,57	1,427#						
	GLM26		Area	0,0004	1,698##	18,45	24,44	0,23	$\chi^2 = 0,69$ p-valor = 0,95	3,46	0,53
			intercepto	0,41	0,868#						
	GLM27		Npav	0,23	0,732#	20,51	26,51	1,03	$\chi^2 = 3,08$ p-valor = 0,54	2,13	1,29
			intercepto	0,05	0,041#						
	GLM28		Nfun	0,10	1,652**	18,24	24,24	0,18	$\chi^2 = 0,53$ p-valor = 0,97	0,91	0,50
			intercepto	-0,18	-0,230#						
Todas as obras	GLM29	Número de viagens produzidas	Nund	0,01	5,203*	335,49	335,60	0,75	$\chi^2 = 77,72$ p-valor = 0,98	1,57	1,20
			intercepto	0,47	3,038*						
	GLM30		Area	0,0001	3,341*	333,81	333,93	0,74	$\chi^2 = 76,63$ p-valor = 0,98	1,57	1,19
			intercepto	0,46	5,056*						
	GLM31		Npav	0,05	3,379*	333,19	333,31	0,75	$\chi^2 = 77,38$ p-valor = 0,98	1,48	1,18
			intercepto	0,26	1,978**						
	GLM32		Nfun	0,07	5,543*	312,88	313,00	0,60	$\chi^2 = 62,11$ p-valor = 1,0	1,07	1,01
			intercepto	-0,32	-1,642#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

Tipo	ID Modelo	Variável Dependente	Variável Independente	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui-quadrado	LOOCV	REQM
Obras em concreto armado	GLM33	Número de viagens produzidas	Nund	0,41	3,869*	265,76	265,91	0,86	$\chi^2 = 69,68$ p-valor = 0,83	1,67	1,23
			intercepto	0,01	2,544**						
	GLM34		Area	0,0001	3,426*	261,45	261,60	0,80	$\chi^2 = 65,08$ p-valor = 0,92	1,61	1,19
			intercepto	0,36	3,328*						
	GLM35		Npav	0,06	3,833*	258,71	258,86	0,77	$\chi^2 = 62,35$ p-valor = 0,95	1,48	1,17
			intercepto	0,10	0,625#						
	GLM36		Nfun	0,08	5,622*	239,62	239,77	0,60	$\chi^2 = 48,69$ p-valor = 1,0	0,99	0,97
			intercepto	-0,56	-2,397**						
Obras em alvenaria estrutural	GLM37	Número de viagens produzidas	Nund	0,02	1,996**	54,98	55,83	0,37	$\chi^2 = 5,49$ p-valor = 0,99	1,38	0,85
			intercepto	0,61	2,837*						
	GLM38		Area	0,0004	2,362**	53,57	54,44	0,27	$\chi^2 = 4,09$ p-valor = 1,0	3,25	0,75
			intercepto	0,39	1,410#						
	GLM39		Npav	0,07	0,762#	57,70	58,56	0,60	$\chi^2 = 8,98$ p-valor = 0,91	1,52	1,10
			intercepto	0,50	0,980#						
	GLM40		Nfun	0,05	1,247#	56,73	57,58	0,49	$\chi^2 = 7,39$ p-valor = 0,97	1,39	1,03
			intercepto	0,29	0,573#						

*99% de confiabilidade; **95% confiabilidade; ##90% de confiabilidade; #abaixo de 90%;

4.2.7 Discussão e análise dos modelos validados

Neste capítulo apresentam-se os modelos validados dentre os 190 modelos desenvolvidos. Foram 55 modelos de regressão linear para atração de viagens e mais 55 para produção, totalizando 110 modelos. Para regressão linear generalizada foram desenvolvidos 40 modelos para atração e 40 modelos para produção, totalizando 80 modelos. Desses 190 modelos foram extraídos os 40 melhores segundo critério de informação de Akaike (AIC) antes do processo de validação.

O processo de validação consiste em avaliar se os modelos atendem aos pressupostos de linearidade. Para tal os modelos devem atender aos parâmetros estatísticos: teste t de Student, teste de normalidade de Shapiro-Wilk, teste de homocedasticidade de Breusch-Pagan e teste f (ANOVA), todos com nível de confiabilidade maior que 95% (p-valor).

Os 40 melhores modelos referem-se as cinco fases das obras em concreto armado (fundação, estrutura, alvenaria e instalações, revestimento e acabamento), mais duas fases das obras em alvenaria estrutural (alvenaria e instalações e revestimento), mais todas as obras em concreto armado, mais todas as obras em alvenaria estrutural e todas as obras independente da fase ou tipo. Logo, tem-se 10 tipologias para regressão linear atração, mais 10 tipologias para regressão linear produção, mais 10 para regressão linear generalizada atração e mais 10 para regressão linear generalizada produção. De posse dos 40 melhores modelos seguiu-se o processo de validação. Na Tabela 4-9 são apresentados os modelos lineares simples validados, bem como a variável explicativa que gerou o modelo.

Tabela 4-9: Modelos lineares validados (β = intercepto; p-v = p-valor; *99% de confiabilidade).

Tipo/Fase ID do modelo	X_i	Valor Estimado	Teste-t	p-valor	ANOVA	R^2	AIC	Teste Breusch- Pagan (BP)	Teste Shapiro- Wilk (W)	LOOCV	RSME
Atração de viagens											
Concreto Armado Estrutura LM1	Area	0,0007	9,01	4,30E-08*	81,25	0,82	53,4	BP=0,00	W=0,97	1,25	0,79
	β	3,40	12,40					p-v = 0,99	p-v = 0,72		
Concreto Armado Alvenaria e instalações LM2	Area	0,002	8,78	5,17E-06*	77,08	0,89	30,3	BP=0,95	W=0,92	0,60	0,67
	β	2,16	5,97					p-v = 0,33	p-v = 0,26		
Concreto Armado RevestimentoLM3	Area	0,0007	8,45	2,70E-07*	71,42	0,82	57,1	BP=0,17	W=0,93	12,95	1,00
	β	3,10	10,46					p-v = 0,68	p-v = 0,17		
Concreto Armado Acabamento LM4	Area	0,0008	7,42	5,05E-06*	55,06	0,81	35,8	BP=3,27	W=0,94	0,51	0,65
	β	2,39	9,80					p-v = 0,07	p-v = 0,33		
Geral LM5	Area	0,0004	9,16	2,20E-16*	209,5	0,80	266,4	BP=5,78	W=0,99	0,76	0,83
	Fun	0,17	9,39					p-v = 0,06	p-v = 0,81		
	β	1,16	5,42					df = 2			
Produção de viagens											
Concreto Armado Estrutura LM6	Area	0,0003	3,41	3,14E-03*	11,61	0,39	55,6	BP=0,001	W=0,93	0,87	0,84
	β	1,33	4,61					p-v = 0,97	p-v = 0,13		
Concreto Armado Acabamento LM7	Area	0,0003	3,51	3,82E-03*	12,34	0,49	27,0	BP=0,08	W=0,88	0,60	0,49
	β	1,51	8,30					p-v = 0,78	p-v = 0,05		
Alvenaria Estrutural GERAL LM8	Area	0,001	4,970	1,68E-04*	24,7	0,62	42,0	BP=0,01	W=0,93	0,64	0,70
	β	1,02	3,17					p-v = 0,94	p-v = 0,19		

Analisando os modelos de regressão linear simples tem-se que dos 20 melhores modelos (dez para atração e dez para produção) apenas oito foram validados, sendo que cinco deles são modelos lineares de atração e três de produção de viagens. O modelo que considera todos os empreendimentos independente da fase ou tipo utilizou a variável número de funcionários associada à área construída. Os demais modelos utilizaram a área construída como variável explicativa.

Tem-se ainda outros seis modelos validados a partir da regressão linear generalizada, sendo cinco de atração e um de produção de viagens, dentre os 20 melhores avaliados pelo AIC. Na Tabela 4-10 são apresentados os modelos validados. Para as obras em concreto armado na fase de estrutura, alvenaria e instalações e acabamento a variável explicativa que gerou os modelos com melhor poder preditivo para atração de viagens foi a área construída. Já a variável número de funcionários apresentou melhores modelos para todas as obras (independente do tipo/fase) na atração de viagens. Essa variável apresentou também melhores modelos para todas as obras em concreto armado tanto na atração, quanto na produção de viagens.

Tabela 4-10: Modelos lineares de geração de viagens de carga (β = intercepto; p-v = p-valor; *99% **95% de confiabilidade).

Tipo/Fase ID do modelo	X _i	Valor estimado	z-valor	AIC	AICc	c-hat	Teste qui- quadrado	LOOCV	RMSE
Atração de viagens									
Concreto Armado Estrutura GLM1	Area	0,0001	3,25*	77,4	78,1	0,22	$\chi^2 = 3,96$ p-v = 1,0	7,71	1,01
	β	1,35	9,40*						
Concreto Armado Alvenaria e instalações GLM2	Area	0,0003	2,88*	45,1	46,5	0,08	$\chi^2 = 0,80$ p-v = 1,0	0,47	0,57
	β	0,98	3,72*						
Concreto Armado Acabamento GLM3	Area	0,0002	2,68*	52,9	53,9	0,18	$\chi^2 = 2,34$ p-v = 1,0	1,18	0,70
	β	0,99	5,30*						
GERAL GLM4	Fun	0,06	7,51*	367,7	367,8	0,27	$\chi^2 = 27,57$ p-v = 1,0	1,24	1,08
	β	0,56	4,24*						
Concreto Armado GERAL GLM5	Fun	0,06	7,14*	291,5	291,6	0,27	$\chi^2 = 22,10$ p-v = 1,0	1,28	1,09
	β	0,53	3,61*						
Produção de viagens									
Concreto Armado GERAL GLM6	Fun	0,08	5,62*	239,6	239,8	0,60	$\chi^2 = 48,69$ p-v = 1,0	0,99	0,97
	β	-0,56	2,40**						

Como complemento, é apresentado na Tabela 4-11 e na Tabela 4-12 uma síntese das variáveis que geraram os melhores modelos (mesmo os que não foram validados) e os critérios de validação. Desses 40 melhores modelos, dois foram desconsiderados (modelos linear e generalizado de produção de viagens na fase de fundação das obras em concreto armado), logo restam 38 melhores modelos. A variável número de funcionários apareceu em 18 deles (47,4%), a área construída apareceu em 16 deles (42,1%) e outros quatro modelos utilizaram variáveis associadas (10,5%).

Tabela 4-11: Variáveis utilizadas nos melhores modelos preditivos com critérios de validação (Modelos lineares simples).

Método	Tipo	Fase	Variável Explicativa	Validadores				
				Teste t	Teste f	p-valor	BP	W
Modelos lineares de atração	Concreto armado	Fundação	Nfun	x	✓	✓	✓	✓
		Estrutura	Area	✓	✓	✓	✓	✓
		Alvenaria e instalações	Area	✓	✓	✓	✓	✓
		Revestimentos	Area	✓	✓	✓	✓	✓
		Acabamento	Area	✓	✓	✓	✓	✓
		Todas	Nfun + Nund	✓	✓	✓	x	✓
	Alvenaria estrutural	Alvenaria e instalações	Area	x	✓	✓	✓	✓
		Revestimentos	Npav + Nfun	x	✓	x	✓	✓
		Todas	Nfun	x	✓	✓	✓	✓
	---	Todas as obras	Area + Nfun	✓	✓	✓	✓	✓
Modelos lineares de produção	Concreto armado	Fundação	Desconsiderado	---	---	---	---	---
		Estrutura	Area	✓	✓	✓	✓	✓
		Alvenaria e instalações	Nfun	x	✓	✓	x	✓
		Revestimentos	Nfun	x	✓	✓	✓	✓
		Acabamento	Area	✓	✓	✓	✓	✓
		Todas	Nfun		✓	✓	x	✓
	Alvenaria estrutural	Alvenaria e instalações	Area	x	x	x	✓	✓
		Revestimentos	Npav + Area	x	✓	✓	✓	✓
		Todas	Area	✓	✓	✓	✓	✓
	---	Todas as obras	Nfun	x	✓	✓	✓	✓

BP = Teste de Breusch-Pagan; W = Teste de Shapiro Wilk.

Tabela 4-12: Variáveis utilizadas nos melhores modelos preditivos com critérios de validação (Modelos lineares generalizados).

Método	Tipo	Fase	Variável Explicativa	Validadores		
				z valor	c-hat	χ^2
Modelos lineares generalizados de atração	Concreto armado	Fundação	Nfun	x	✓	✓
		Estrutura	Area	✓	✓	✓
		Alvenaria e instalações	Area	✓	✓	✓
		Revestimentos	Nfun	x	✓	✓
		Acabamento	Area	✓	✓	✓
		Todas	Nfun	✓	✓	✓
	Alvenaria estrutural	Alvenaria e instalações	Area	x	✓	✓
		Revestimentos	Nfun	x	✓	✓
		Todas	Nfun	x	✓	✓
	---	Todas as obras	Nfun	✓	✓	✓
Modelos lineares generalizados de produção	Concreto armado	Fundação	Desconsiderado	---	---	---
		Estrutura	Nfun	x	✓	✓
		Alvenaria e instalações	Nfun	x	✓	✓
		Revestimentos	Nfun	x	✓	✓
		Acabamento	Area	x	✓	✓
		Todas	Nfun	✓	✓	✓
	Alvenaria estrutural	Alvenaria e instalações	Area	x	✓	✓
		Revestimentos	Nfun	x	✓	✓
		Todas	Area	x	✓	✓
	---	Todas as obras	Nfun	x	✓	✓

χ^2 = Teste Qui-quadrado.

Analisando os modelos lineares desenvolvidos para atração de viagens, percebe-se que a variável explicativa área construída apresentou os melhores modelos nas fases de construção da estrutura, construção da alvenaria e instalações, revestimento e acabamento (obras em concreto armado) e na fase de construção da alvenaria para obras em alvenaria estrutural. O número de funcionários proporcionou os melhores modelos para a fase de fundação em obras em concreto armado e para obras em alvenaria estrutural independente da fase. Considerando todas as obras, o modelo com melhor ajuste utiliza as variáveis área construída associada com o número de funcionários. Para todas as obras em concreto armado, o melhor modelo também utilizou uma associação de variáveis, são elas: número de funcionários e número de unidades.

Para as obras em alvenaria estrutural em fase de revestimento, o modelo com melhor ajuste utilizou o número de funcionários associado ao número de pavimentos.

Na análise dos modelos lineares generalizados desenvolvidos para atração de viagens, percebe-se que a variável explicativa área construída apresentou os melhores modelos nas fases de construção da estrutura, construção da alvenaria e instalações e acabamento para obras em concreto armado e na fase de construção da alvenaria e instalações para obras em alvenaria estrutural. O número de funcionários proporcionou os melhores modelos para as outras classificações, são elas: todas as obras (independente da fase); todas as obras em concreto armado; todas as obras em alvenaria estrutural; obras em concreto armado na fase de fundação e revestimento; obras em alvenaria estrutural na fase de revestimento.

Analizando os modelos lineares desenvolvidos para produção de viagens, nota-se que a variável explicativa área construída apresentou os melhores modelos nas fases de construção da estrutura e acabamento (obras em concreto armado), para todas as obras em alvenaria estrutural e na fase de construção da alvenaria e instalações. O número de funcionários proporcionou os melhores modelos para a fase de construção da alvenaria e instalações, fase de revestimento, para todas as obras em concreto armado e todas as obras independente da fase ou tipo. Os modelos para a fase de fundação foram desconsiderados e para as obras em alvenaria estrutural na fase de revestimento o melhor modelo utilizou o número de pavimentos associado à área construída.

Na análise dos modelos lineares generalizados desenvolvidos para produção de viagens, nota-se que a variável explicativa área construída apresentou os melhores modelos para as fases de acabamento, para todas as obras em alvenaria estrutural e na fase de construção da alvenaria e instalações. O número de funcionários proporcionou os melhores modelos para obras em concreto armado na fase de construção da estrutura, construção da alvenaria e instalações e revestimento; todas as obras em concreto armado, todas as obras independente da fase e para a fase de revestimento em obras em alvenaria estrutural. Os modelos para a fase de fundação foram desconsiderados.

Em geral, os modelos desenvolvidos com a variável explicativa número de unidades ou número de pavimentos foram os que obtiveram pior ajuste, sendo que essas variáveis não proporcionaram nenhum modelo com melhor ajuste. Elas aparecem nos melhores modelos apenas associadas com outras variáveis, tanto na atração quanto na produção de viagens.

Os resultados apresentados anteriormente permitem concluir:

- Número de funcionários e área construída são as variáveis independentes com melhor poder de predição na geração de viagens de carga em obras civis;
- As variáveis independentes exploratórias, número de unidades e número de pavimentos, são as que obtiveram modelos com piores ajustes;
- Dos cinco modelos validados pelo método de regressão linear para atração de viagens, quatro utilizaram apenas a variável área construída como variável explicativa e um modelo utilizou a associação da área construída com o número de funcionários;
- Dos cinco modelos validados pelo método de regressão linear generalizada para atração de viagens, três utilizaram a variável área construída como variável explicativa e dois utilizaram o número de funcionários;
- Dos três modelos validados pelo método de regressão linear para produção de viagens, todos utilizaram a área construída como variável explicativa;
- O modelo validado pelo método de regressão linear generalizada para produção de viagens utilizou o número de funcionários como variável explicativa;
- Do total de 14 modelos validados, 71,4% utilizaram área construída, 21,4% utilizaram número de funcionários e 7,2% utilizaram área construída associada ao número de funcionários como variável explicativa.
- Dentre os quatro melhores modelos que utilizam duas variáveis independentes, o número de funcionários aparece em três deles e a área construída aparece em dois;
- Quando se comparam os modelos lineares e lineares generalizados (tanto para atração quanto para produção) entre os 40 melhores modelos percebe-se que os modelos lineares são superiores aos generalizados em 100% dos casos pelos critérios de validação adotados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como proposta central modelar a geração de viagens de carga para empreendimentos em construção tendo como estudo de caso a cidade de Belo Horizonte. Como mostrado no capítulo 3, a estrutura metodológica foi dividida em diversas etapas, partindo da elaboração do questionário; obtenção da localização das obras; escolha das variáveis a serem utilizadas; definição do tamanho da amostra; aplicação da pesquisa e tabulação dos dados; divisão das etapas da obra e suas características; análise do comportamento da atração e da produção de viagens de veículos de carga pelo setor; desenvolvimento e validação dos modelos de geração de viagens de carga utilizando os métodos de regressão linear simples e generalizado.

Foram identificadas 604 obras de construção nas nove regionais administrativas do município de Belo Horizonte através de planilha de controle de alvarás de construção fornecido pela Prefeitura. Foram realizadas 105 entrevistas em obras residenciais (em sua maioria), comerciais e mistas e extraídos dados para desenvolvimento dos modelos. Os dados coletados durante as pesquisas foram analisados utilizando estatística descritiva.

Foram desenvolvidos 190 modelos preditivos de geração de viagem entre modelos lineares simples e lineares generalizados, sendo 85 de atração e 85 de produção. Dos 40 melhores modelos definidos a partir do critério de informação de Akaike (AIC), apenas 14 modelos foram validados estatisticamente.

Os modelos desenvolvidos para obras em concreto armado na fase de fundação não foram validados para atração de viagens. Para produção, os modelos foram desconsiderados devido ao fato da ausência de viagens nessa fase.

Três modelos foram validados para obras na fase de construção da estrutura, em obras em concreto armado. A variável que melhor explicou a atração de viagens foi a área construída (para ambos métodos), com o modelo linear sendo superior ao generalizado devido aos critérios de validação adotados. Analisando a produção de viagens, a variável que melhor explicou o fenômeno também foi a área construída no método de regressão linear; o modelo linear generalizado não foi validado.

Analizando a fase de construção da alvenaria e instalações, para obras em concreto armado, tanto para o modelo linear quanto para o modelo generalizado a variável que melhor explica a atração de viagens é a área construída. Os modelos desenvolvidos para produção de viagens não foram validados.

Para obras em concreto armado, na fase de revestimento, apenas um modelo foi validado. Esse modelo utilizou a área construída como variável explicativa utilizando a regressão linear simples para explicar a atração de viagens. Os modelos lineares generalizados (tanto para atração, quanto para produção) e os modelos lineares para produção de viagens não foram validados.

Para as obras em concreto armado na fase de acabamento tem-se três modelos validados, todos utilizaram a área construída como variável explicativa para ambos métodos (regressão linear simples e generalizada) tanto na atração quanto na produção, sendo o modelo linear superior ao generalizado. O modelo de regressão linear generalizada para produção de viagens nessa fase não foi validado.

Os modelos desenvolvidos para obras construídas em alvenaria estrutural, tanto na fase de construção de alvenaria e instalações, quanto na fase de revestimento não foram validados pelos teste estatísticos.

Na análise da atração de viagens, considerando todas as obras independente de tipo ou fase, a associação das variáveis área construída com o número de funcionários gerou o melhor modelo linear. Para o modelo linear generalizado a variável número de funcionários foi a melhor preditora. Os modelos desenvolvidos para produção de viagens não foram validados pelos testes estatísticos.

Não foram validados modelos utilizando o método de regressão linear simples para obras em concreto armado (independente da fase), tanto para atração quanto para produção de viagens. Já para a regressão linear generalizada foram validados dois modelos (um para atração e um para produção) que utilizaram o número de funcionários como variável explicativa.

Para todas as obras construídas em alvenaria estrutural, apenas um modelo foi validado. Tal modelo foi desenvolvido a partir do método de regressão linear simples para produção de viagens e utilizou área construída como variável explicativa. O modelo linear simples

(atração) e os modelos lineares generalizados (atração e produção) não foram validados estatisticamente.

De forma geral os modelos lineares apresentaram-se superiores aos generalizados para estimar o número de viagens na construção civil, seja atração ou produção. Dentre as variáveis utilizadas para explicar o fenômeno de geração de viagem no setor, as variáveis tidas como clássicas pela literatura foram as que obtiveram melhores resultados (área construída e número de funcionários). As variáveis exploratórias, número de pavimentos e número de unidades (que estão relacionadas às características do setor), mostraram-se pouco relevantes para os modelos, exceto quando são associadas às variáveis “clássicas”.

Esse estudo pode ser aplicado, dentro do planejamento urbano, durante a avaliação de RIC`s (Relatório de Impacto de Circulação). Esses relatórios são produzidos por empresas privadas que prestam consultoria na área de engenharia de tráfego. Quando há uma grande mudança ou construção de um grande empreendimento em uma região, a BHTRANS exige da empresa responsável pelo empreendimento o Relatório de Impacto na Circulação, que posteriormente é avaliado pela BHTRANS e a empresa é obrigada a realizar ações mitigadoras referentes às mudanças realizadas na região. Frequentemente a BHTRANS avalia os relatórios e propõem as medidas mitigadoras. Esse estudo torna possível propor medidas mitigadoras durante a reforma ou construção do empreendimento e não só após a sua conclusão.

Frente a dados básicos, como área construída e número de funcionários, pode-se aplicar os modelos de geração de viagens para os empreendimentos em construção de forma genérica ou até mesmo de forma mais específica, considerando se a estrutura da edificação é em concreto armado ou alvenaria estrutural. Pode-se, ainda, optar pela geração do número de viagens considerando as fases especificadas nesse estudo e atualizar o número de chegada e saída (por semana) de caminhões conforme a obra avança.

Os resultados demonstraram a importância dos modelos para a cidade, no que tange o planejamento urbano, principalmente na área central onde os problemas são agravados devido ao intenso fluxo veicular e de pedestres. Por fim, a comparação entre as técnicas para modelagem da geração de carga utilizando regressão linear e regressão linear generalizada, no caso analisado neste trabalho, mostrou que os modelos utilizando regressão linear simples apresentam o melhor ajuste e, conseqüentemente, a melhor precisão preditiva.

Para futuros estudos, sugere-se considerar o contexto espacial e o desenvolvimento de modelos geograficamente ponderados que considerem variáveis socioeconômicas na modelagem do fenômeno estudado.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. *A new look at the statistical model identification*. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v.19, n.6, p.716-723, 1974.

ALHO, André Romano; SILVA, João de Abreu e. Lisbon's Establishment-based Freight Survey: revealing retail establishments' characteristics, goods ordering and delivery processes. **European Transport Research Review**, v. 7, n. 2, p.18-29, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s12544-015-0163-7>.

ALHO, André Romano; SILVA, João de Abreu e. Modeling retail establishments' freight trip generation: a comparison of methodologies to predict total weekly deliveries. **Transportation**, v. 44, n. 5, p.1195-1212, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s11116-016-9700-z>.

ALHO, André; SILVA, João de Abreu e Freight-Trip Generation Model. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2411, p.45-54, 2014. <http://dx.doi.org/10.3141/2411-06>.

ALLEN, W. G. Development of Truck Models. Transportation Consultant, Mitchells, Virginia, 2002.

AMORIM, S. R. L. Tecnologia, Organização e Produtividade na Construção. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 1995.

ARLOT, Sylvain; CELISSE, Alain. *A survey of cross-validation procedures for model selection*. **Statistics Surveys**, v. 4, p.40-79, 2010. <http://dx.doi.org/10.1214/09-ss054>.

AZEVEDO, Sérgio de; GUIA, Virgínia Rennó dos Mares. *O Novo Arranjo Institucional da Região Metropolitana de Belo Horizonte: Avanços e Desafios*. Revista Paranaense de Desenvolvimento, n.119, p.41-64, 2010.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2018. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prodabel-detalha-tamanho-e-numero-de-bairros-das-regionais>, publicado em 28 de março de 2018. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

BLACK, W. R. Commodity Flow Modeling. Transportation Research Board / National Research Council. Number E-C011, 1999.

BOARNET, Marlon G.; HONG, Andy; SANTIAGO-BARTOLOMEI, Raul. Urban spatial structure, employment subcenters, and freight travel. **Journal of Transport Geography**, v. 60, p.267-276, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.03.007>.

BOX, George. Edward. P. Non-Normality And Tests On Variances. **Biometrika**, v. 40, n.3-4, p.318-335, 1953. <http://dx.doi.org/10.1093/biomet/40.3-4.318>.

BREUSCH, Trevor S.; PAGAN, Adrian R. A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. **Econometrica**, v. 47, n. 5, p.1287-1294, 1979. <http://dx.doi.org/10.2307/1911963>.

BURNHAM, Kenneth P.; ANDERSON, David R. **Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach**. 2. ed. Fort Collins: Springer, 515 p. 2002.

CAMERON, A. Colin; WINDMEIJER, Frank A. An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models. **Journal of Econometrics**, v. 77, n. 2, p.329-342, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/s0304-4076\(96\)01818-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0304-4076(96)01818-0).

CARRASCO, Cleber Giuglioli; LEMES, Thiago Santana. *Uma avaliação do erro tipo II no uso do teste t-student*. **C.q.d.- Revista Eletrônica Paulista de Matemática**, v. 3, p.07-16, 2014. <http://dx.doi.org/10.21167/cqdv3201423169664cgctsl0716>.

CORDEIRO, Gauss M.; DEMÉTRIO, Clarice G. B. **Modelos Lineares Generalizados e Extensões**. 2013. 493 f. Departamento de Estatística e Informática, UFRPE. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, USP.

DABLANC, L. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. **Transportation Research Part A**, n. 41, p. 280-285, 2007.

DAVISON, A. C. (2001), *Biometrika Centenary: Theory and General Methodology*. **Biometrika**, 88, pp. 13-52.

DECONCIC – Departamento da Indústria da Construção/FIESP. **Proposta de Política Industrial para construção civil** - Edificações. São Paulo, 2008. 170p.

DENATRAN. **Manual de Procedimentos para o Tratamento de Polos Geradores de Tráfego**. Departamento Nacional de Trânsito, Ministério da Justiça, Brasília, DF, 2001.

EMILIANO, Paulo César. **Fundamentos e aplicações dos critérios de informação: Akaike Bayesiano**. 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FACCHINI, D. (2006) **Análise dos “GAPS” de percepção dos atores envolvidos no transporte urbano de carga em Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FERREIRA, Beatriz Lagnier Gil; SILVA, Marcelino Aurélio Vieira da. Truck trips in urban areas and its relation to socioeconomic variables. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 11, n. 4, p.197-212, 2016. <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v11i4.1566>.

FERREIRA, Beatriz. L.G.; SILVA, Marcelino A.V. da; **Análise de geração de viagens de carga em área urbana**. In: ANPET – XXIX Congresso Nacional De Pesquisa Em Transporte, 2015, Ouro Preto, MG.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. “Forte queda dos investimentos em obras leva setor a responder por 8,6% do PIB do país”. 2018. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/cai-participacaodacadeiaproductiva-da-construcao-na-atividade-economica-do-brasil>. Publicado pela Agência Indusnet Fiesp em 16 de março de 2017. Acesso em: 21 de agosto de 2018.

FLETCHER, David. J. Estimating overdispersion when fitting a generalized linear model to sparse data. **Biometrika**, v. 99, n. 1, p.230-237, 2011. <http://dx.doi.org/10.1093/biomet/asr083>.

GASPARINI, A. **Atratividade do transporte de carga para polos geradores de viagem em áreas urbanas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, RJ. 2008

GASPARINI, André; CAMPOS, Vânia B. G.; D'AGOSTO, Márcio A. **Atratividade do transporte de carga para polos geradores de viagens em áreas urbanas**. In: XXI ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2007, Rio de Janeiro. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes. Rio de Janeiro: ANPET, 2007, v. 1.

GONÇALVES, Fábio dos S.; LEMOS, Diana S. da C. P. da S.; KNEIB, Erika C.; PORTUGAL, Licínio da S. **Caracterização dos Polos Geradores de Viagens**. In: PORTUGAL, Licínio da S. (Org.). Polos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental: Modelos e Taxas de Geração de Viagens. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. Cap1, p. 3-41.

GONZALEZ-FELIU, Jesus; PERIS-PLA, Carlos. Impacts of retailing attractiveness on freight and shopping trip attraction rates. **Research In Transportation Business & Management**, v. 24, p.49-58, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.07.004>.

GÜNAY, Gürkan; ERGÜN, Gökmen; GÖKAŞAR, İlgin. Conditional Freight Trip Generation modelling. **Journal Of Transport Geography**, v. 54, p.102-111, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.05.013>.

HOLGUÍN-VERAS, José; JALLER, Miguel; DESTRO, Lisa; BAN, Xuegang; LAWSON, Catherine; LEVINSON, Herbert S. Freight Generation, Freight Trip Generation, and Perils of Using Constant Trip Rates. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2224, p.68-81, 2011.. <http://dx.doi.org/10.3141/2224-09>.

HOLGUÍN-VERAS, José; SÁNCHEZ-DÍAZ, Iván; LAWSON, Catherine T.; JALLER, Miguel; CAMPBELL, Shama; LEVINSON, Herbert S.; SHIN, Hyeon-Shic. Transferability of Freight Trip Generation Models. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2379, p.1-8, 2013. <http://dx.doi.org/10.3141/2379-01>.

HURVICH, C. M. e TSAI, C. L. (1995), Selection for Extended Quasi-Likelihood in Small Samples. **Biometrics**, 51, pp. 1077-1084.

HYNDMAN, Rob J.; KOEHLER, Anne B.. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal Of Forecasting**, v. 22, n. 4, p.679-688, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticasnovportal/porcidadeestadoestatisticas.html?t=destaque=3106200>. Acesso em: 06 de agosto de 2018.

IDING, M.H.E.; W. J. Meester e L. A. Tavasszy (2002) **Freight trip generation by firms**. Paper for the 42nd European Congress of the Regional Science Association Dortmund.

JALLER, Miguel; HOLGUÍN-VERAS, José; HODGE, Stacey. Parking in the City: Challenges for Freight Traffic. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2379, p.46-56, 2013. <http://dx.doi.org/10.3141/2379-06>.

JALLER, Miguel; HOLGUÍN-VERAS, José; SÁNCHEZ-DÍAZ, Iván; LAWSON, Catherine T. **Area Based Freight Trip Generation Models**. Transportation Research Board (TRB) 93rd Annual Meeting, Washington, D.C. 2013.

JALLER, Miguel; SÁNCHEZ-DÍAZ, Iván; HOLGUÍN-VERAS, José. Identifying Freight Intermediaries. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2478, p.48-56, 2015. <http://dx.doi.org/10.3141/2478-06>.

JALLER, Miguel; WANG, Xiaokun (cara); HOLGUIN-VERAS, Jose. Large urban freight traffic generators: Opportunities for city logistics initiatives. **Journal Of Transport And Land Use**, v. 8, n. 1, p.51-67, 2015. <http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.2015.406>.

JIN, Thomas G.; SAITO, Mitsuru; EGGETT, Dennis L.. Developing County-Level Commodity-Flow Models Incorporating Land-Use Characteristics and Economic Factors for Utah. **Journal Of Urban Planning And Development**, v. 138, n. 1, p.35-42, 2012. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)up.1943-5444.0000093](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000093).

KNEIB E. C., SILVA P. C. M. e TACO P. W. G. **Identificação e Avaliação de Impactos na Mobilidade: Análise Aplicada a Polos Geradores de Viagem**. Documento de trabalho - Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2006.

KULPA, Tomasz. Freight Truck Trip Generation Modelling at Regional Level. **Procedia - Social and Behavioral Science**. v.8, n.111, p. 197-202, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.052>.

LANNA, Antônio. Eduardo. **Elementos de estatística e probabilidades**. In: Tucci, C.E.M (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. UFRGS, ABRH, Porto Alegre, Brasil. p. 79-176. 2004

LAWSON, Catherine, T.; HOLGUÍN-VERAS, José; SÁNCHEZ-DIAZ, Iván; JALLER, Miguel; CAMPBELL, Shama; POWERS, Erica L. Estimated Generation of Freight Trips Based on Land Use. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2269, p. 65-72, 2012. <http://dx.doi.org/10.3141/2269-08>.

LIM, Robert; QIAN, Zhen; ZHANG, H.M. Development of a Freight Demand Model with an Application to California. **Transportation Science and Technology**, v. 3, n. 1, p.19-38, 2014.

MAIA, A. G. (2017). Econometria: conceitos e aplicações. Editora Saint Paul: São Paulo.

MARRA, C. **Caracterização de demanda de movimentações urbanas de carga**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

MELLO, L. C. B. B. **Modernização das pequenas e médias empresas de Construção Civil: impactos dos programas de melhoria da gestão da qualidade**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense. 2007.

MELO, Inez C. B. de. **Avaliação de demanda por transporte de carga em áreas urbanas**. 2002. 173 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2002.

MESSETI, Ana Verginia Libos. Análise de correlação e regressão. Curso de especialização “Lato Sensu” em estatística. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

OLIVEIRA, Leise Kelli; NOBREGA, Rodrigo Afonso de Albuquerque; EBIAS, Daniel Gonçalves; CORRÊA, Bruno Gomes e Souza. Analysis of Freight Trip Generation Model for Food and Beverage in Belo Horizonte (Brazil). **Region**, v. 4, n. 1, p.17-30, 2017a. <http://dx.doi.org/10.18335/region.v4i1.102>.

OLIVEIRA, Leise Kelli; OLIVEIRA, Renata Lúcia Magalhães de; RAMOS, Cláudia Márcia de Fátima; EBIAS, Daniel Gonçalves. Modelo de geração de viagens de carga em áreas urbanas: um estudo para bares, restaurantes e supermercados. **Transportes**, v. 2, n. 24, p.53-67, 2016. <http://dx.doi.org/10.4237/transportes.v24i2.1058>.

OLIVEIRA, Leise Kelli; SILVA, Ana Sara Spindola da; TOLENTINO, André da Cunha Melo; RACHID, Arthur Henrique Farias de Souza; BERTONCINI, Bruno Vieira; LIMA, Jessica Helena de; BRACARENSE, LÍlian dos Santos Fontes Pereira; OLIVEIRA, Renata Lúcia Magalhães de. **Análise Comparativa de Técnicas de Modelagem da Geração de Viagens de Carga**. In: XXXII ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, Gramado. 2018

OLIVEIRA, Leise Kelli; STUBBS Luciana Carneiro de Moraes; GONTIJO, Nebai Tavares; OLIVEIRA, Renata Lúcia Magalhães. Proposição de modelos de geração de viagens para Belo Horizonte. **Transportes**, v. 25, n. 2, p.137-155. 2017b. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v25i2.1243>.

PRATA, Bruno de A.; ARRUDA, João B. F. **Avaliação do transporte de cargas na cidade de Fortaleza sob o enfoque da logística urbana: diagnóstico e proposição de intervenções**. In: ANPET – CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2007, Rio de Janeiro, RJ. Anais do XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte. Rio de Janeiro, 2007.

RAMOS, C. M. F. **Características Operacionais e Geração de Viagens de Carga para Supermercados**. 2015. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte e Trânsito), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

RAZALI, Nornadiah. Mohd, WAH Yap Bee. Power comparisons of Shapiro–Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson–Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, v. 2, 21–33, 2011.

ROLKO, Kevin; FRIEDRICH, Hanno. Locations of Logistics Service Providers in Germany - The basis for a new freight transport generation model. **Transportation Research Procedia**, v. 25, p.1061-1074, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.479>.

SÁNCHEZ-DÍAZ, Iván. Modeling urban freight generation: A study of commercial establishments' freight needs. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 102, p.3-17, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.035>.

SÁNCHEZ-DÍAZ, Iván; HOLGUÍN-VERAS, José; WANG, Xiaokun. An exploratory analysis of spatial effects on freight trip attraction. **Transportation**, v. 43, n. 1, p.177-196, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11116-014-9570-1>.

SÁNCHEZ-DÍAZ, Iván; HOLGUÍN-VERAS, José; BAN, Xuegang (Jeff). A time-dependent freight tour synthesis model. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 78, p.144-168, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2015.04.007>.

SATORRA, Albert; BENTLER, Peter M. A scaled difference chi-square test statistic for moment structure analysis. **Psychometrika**, v. 66, n. 4, p.507-514, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02296192>.

SILVA, Marcos Roberto, WAISMAN, Jaime. (2007) **Cargas urbanas: estudo exploratório sobre a geração de viagens de caminhões em bares e restaurantes**. In: 16º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, Maceió.

SOUZA, Cristiane Duarte Ribeiro de; SILVA, Suellem Deodoro; D'AGOSTO, Márcio Almeida. Modelos de geração de viagem para polos geradores de viagens de cargas. **Transportes**, v. 18, n. 1, p.46-57, 2010. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v18i1.396>.

STEVENSON, Willian J. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1981. Editora Harbra. 498 p.

TADI, R.R.; BALDACK P. Truck Trip Generation characteristics of Nonresidential land uses. **ITE Journal**, v 64 n.7. p.43-47, 1994.

TANIGUCHI, Eiichi; THOMPSON, Russell G.; YAMADA, Tadashi. Recent Trends and Innovations in Modelling City Logistics. **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, v. 125, p.4-14, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1451>.

WANG, Xiaokun (cara); ZHOU, Yiwei. Deliveries to residential units: A rising form of freight transportation in the U.S.. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 58, p.46-55, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2015.07.004>.

WASHINGTON, S.; KARLAFTIS, F.; MANNERING, M. (2010). Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. Chapman & Hall/CRC: Boca Raton.

WASSERSTEIN, Ronald L.; LAZAR, Nicole A. *The ASA's Statement on p-values: Context, Process, and Purpose*. **The American Statistician**, v. 70, n. 2, p.129-133, 2016.
<http://dx.doi.org/10.1080/00031305.2016.1154108>

APÊNDICE A

Entregas em Obras Civis: Um estudo exploratório

Esta pesquisa tem objetivo de coletar dados para analisar o número de entregas em obras civis. A pesquisa é parte integrante de uma dissertação de Mestrado do Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da UFMG. A pesquisa faz parte dos estudos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa TRANSLOG City, sob responsabilidade da Prof. Leise Kelli de Oliveira. Mais informações sobre o grupo de pesquisa podem ser obtidas em www.translogcity.com

*Obrigatório

1. Endereço de e-mail *

Informações sobre a obra:

2. Logradouro *

3. Número *

4. Bairro *

5. Cidade *

6. UF

7. Qual tipo de empreendimento? *

Marcar apenas uma opção.

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Misto
- Outro: _____

8. Se a obra for residencial, qual o número total de apartamentos?

9. Se a obra for residencial, qual o número de quartos por unidade?

10. Se a obra for comercial, número total de lojas/escritórios?

11. Qual a estrutura construtiva do empreendimento? *

Marcar apenas uma opção.

- Estrutura em concreto armado
- Alvenaria estrutural
- Estrutura em aço
- Estrutura pré-moldada
- Outro: _____

12. Qual é a área total construída prevista no projeto do empreendimento (em metros quadrados)? *

13. Qual é o número total de pavimentos? *

14. Qual é a duração estimada da obra (em meses)? *

15. Atualmente, qual é o serviço predominante na obra? *

Marcar apenas uma opção.

- Fundação
- Estrutura
- Alvenaria e instalações (elétrica e hidráulica)
- Revestimento (interno e externo) e contrapiso
- Acabamento e pintura
- Outro: _____

16. Na fase atual, qual o número de funcionários? *

17. Qual é a estimativa do número máximo de funcionários na obra? *

18. Houve serviço de terraplenagem na obra? *

Marcar apenas uma opção.

- Sim
- Não

19. Se sim, qual foi o volume retirado de terra (m³)?

20. Qual foi a capacidade média dos caminhões (m³) que retiraram a terra?

21. Qual foi o número de caminhões utilizados para retirar a terra?

22. Qual o número médio de entregas semanais na obra (incluindo qualquer tipo de produto entregue para a execução da obra)? *

23. Qual o tipo de veículo predominante nas entregas? *

Marcar apenas uma opção.

- Moto
- Van
- VUC (até 3 toneladas)
- Caminhão semi-leve (3,5 a 6t)
- Caminhão leve (6 a 10t)
- Caminhão médio (10 a 15t)
- Caminhão semi-pesado (15 a 40t)
- Caminhão pesado (mais de 40 t)
- Outro: _____

24. Qual o número médio semanal de caçambas de entulho que são retiradas da obra? *

25. Existem entregas fixas semanais na obra? *

Marcar apenas uma opção.

- Sim
- Não

26. Se sim, quantas entregas semanais?

27. Qual é dia da semana com maior recebimento de produtos? *

Marque todas que se aplicam.

- Segunda-feira
- Terça-feira
- Quarta-feira
- Quinta-feira
- Sexta-feira
- Sábado

28. Qual é o período mais comum para o recebimento das entregas?

Marque todas que se aplicam.

- De 7 às 10hs
- De 10 às 12hs
- De 12 às 14hs
- De 14 às 17hs
- Outro: _____

29. Onde os veículos estacionam para fazer a descarga?

Marcar apenas uma oval.

- Na rua em frente à obra
- Na rua em vaga sinalizada

- Dentro do canteiro de obras
- Outro:_____

30. Quanto tempo , em média, dura a descarga?

31. Houve solicitação à Prefeitura para demarcação de vaga de carga e descarga para a obra?*

Marcar apenas uma opção.

- Sim
- Não
- Não sei

32. Se sim, para quantos caminhões estacionados simultaneamente?