UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO

RICARDO AUGUSTO OLIVEIRA SANTOS

IMPACTOS DA DISPONIBILIDADE DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES SOBRE A PRODUTIVIDADE DA ECONOMIA

Belo Horizonte
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Ciências Econômicas
Departamento de Ciências Administrativas
Centro de Pós-graduação e Pesquisas em Administração

RICARDO AUGUSTO OLIVEIRA SANTOS

IMPACTOS DA DISPONIBILIDADE DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES SOBRE A PRODUTIVIDADE DA ECONOMIA

VERSÃO FINAL

Tese apresentada ao Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito à obtenção do título de Doutor em Administração.

Área de concentração: Gestão de Operações e Logística.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Silveira Martins

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro V. M. do Amaral

Belo Horizonte
2022

Ficha Catalográfica

Santos, Ricardo Augusto Oliveira.
S237i Impactos da disponibilidade dos sistemas de transportes sobre a
2022 produtividade da economia [manuscrito] / Ricardo Augusto Oliveira Santos. – 2022.
156 f., il. e tabs.

Orientador: Ricardo Silveira Martins.
Coorientador: Pedro Vasconcelos Maia do Amaral.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração.
Inclui bibliografia (f. 143-152) e anexo.

1. Armazenamento e transporte de cargas – Teses. 2. Econometria – Teses. 3. Geografia econômica - Teses. I. Martins, Ricardo Silveira. II. Amaral, Pedro Vasconcelos Maia do. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração. IV. Título.

CDD: 658

Elaborado por Leonardo Vasconcelos Renault CRB-6/2211
Biblioteca da FACE/UFMG. – LVR/103/2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS EM ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TESE

ATA DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM ADMINISTRAÇÃO do Senhor **RICARDO AUGUSTO OLIVEIRA SANTOS**, REGISTRO Nº 297/2022. No dia 25 de julho de 2022, às 13:00 horas, reuniu-se remotamente, por videoconferência, a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo Colegiado do Centro de Pós Graduação e Pesquisas em Administração do CEPEAD, em 14 de julho de 2022, para julgar o trabalho final intulado "**Impactos da disponibilidade dos sistemas de transportes sobre a produvidade da economia"**, requisito para a obtenção do **Grau de Doutor em Administração,** linha de pesquisa: **Gestão de Operações e Logística.** Abrindo a sessão, o Senhor Presidente da Comissão, Prof. Dr. Ricardo Silveira Martins, após dar conhecimento aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa do candidato. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

(x) APROVAÇÃO

( ) REPROVAÇÃO

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Senhor Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 25 de julho de 2022.

Prof. Dr. Ricardo Silveira Martins
ORIENTADOR - CEPEAD/UFMG

Prof. Dr. Pedro Vasconcelos Maia do Amaral
Coorientador - CEDEPLAR/UFMG

Prof. Dr. Marco Aurélio Marques Ferreira
DAD/UFV

Prof. Dr. Peter Fernandes Wanke
COPPEAD/UFRJ

Prof. Dr. Cárliton Vieira dos Santos
Depto. de Economia/UEPG

Profª. Drª. Andréa Souza Santos

COPPE/UFRJ

Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Silveira Mar ns**, **Chefe de departamento**, em 25/07/2022, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Cárliton Vieira dos Santos**, **Usuário Externo**, em 25/07/2022, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Pedro Vasconcelos Maia do Amaral**, **Chefe de departamento**, em 25/07/2022, às 16:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Marco Aurelio Marques Ferreira**, **Usuário Externo**, em 26/07/2022, às 18:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Peter Fernandes Wanke**, **Usuário Externo**, em 29/07/2022, às 09:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Andréa Souza Santos**, **Usuária Externa**, em 02/08/2022, às 19:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1607323** e o código CRC **C3D7DED9**.

Referência: Processo nº 23072.242333/2022-80 SEI nº 1607323

Dedico aos meus pais,
irmã e à minha esposa,
pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde e sabedoria para essa jornada. Aos meus pais, Maria Inês e Fernando, e a minha irmã Laura, pela presença, pela força, pela disponibilidade e pelo amor, muito compreendido pela minha ausência nos últimos anos que dediquei a esse trabalho. Vocês foram fundamentais para esse processo.

À minha esposa, Lorena, que entendeu os diversos momentos de dedicação exclusiva para a realização deste trabalho, em inúmeros finais de semanas depreendidos. Agradeço por estar presente nos momentos mais difíceis (madrugadas) compreendendo e tolerando minhas ansiedades, impaciências e inseguranças.

Ao professor Dr. Ricardo Silveira Martins, pela confiança, pela parceria e pelo privilégio do compartilhamento de seus conhecimentos nestes últimos anos de aprendizado intenso.

Ao professor Dr. Pedro Vasconcelos Maia do Amaral, pelo compartilhamento de seus conhecimentos em econometria espacial e aprendizado intenso.

Ao Ms. Charliston Moreira, pelo compartilhamento do banco de dados da matriz origem-destino de Minas Gerais em parceria com Agência Metropolitana de Belo Horizonte, Luciano Medrado do Sindicato das Empresas de Transportes de Carga e Logística de Minas Gerais pelo apoio e interesse na pesquisa.

A Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais - CODEMIG pelo apoio concedido à estudos e capacitação, o qual este trabalho contribui com novas perspectivas de investimento público em infraestrutura a partir do conhecimento presente nesse trabalho.

A todos os amigos e funcionários do CEPEAD. Em especial ao Antônio, Roberta, e Simone, cuja presença e compartilhamento de conhecimento foi importante durante o curso.

Ciência é conhecimento organizado.
Sabedoria é vida organizada.
Immanuel Kant

RESUMO

Os impactos da disponibilidade dos sistemas de transporte de carga como rodovias, ferrovias, aeroportos, portos e dutovias sobre a produtividade da atividade econômica existem, e até então não foram constatados. Esse efeito intriga políticos e pesquisadores e é debatida constantemente, em função da importância para o crescimento econômico Índice de Produtividade Logistica (WB, 2007), Global Competitiviness Index (WEF, 2009) e estudos de Barilla et al. (2020), Nilsen et al., (2017a), Mitra et al. (2016) e Cantos et al. (2005) não relacionam essa relação para o transporte de cargas levando em consideração aspectos espaciais/geográficos, conduzindo a compreensões viesadas e/ou equivocadas. Esse trabalho contribui com a aplicação de modelo matemático baseado em econometria espacial para avaliar a disponibilidade de infraestrutura de transportes e os possíveis impactos na atividade econômica. Utilizou-se do conceito econômico da Produtividade Total dos Fatores (PTF) como medida de disponibilidade da infraestrutura das modalidades de transporte de carga na atividade econômica. Como metodologia complementar, utilizou-se a modelagem não-paramétrica da Análise Envoltória de Dados - DEA para identificar a *performance* entre as unidades de análise e a relevância das modalidades de transportes apontado oportunidades de melhoria no transporte de carga em relação a atividades econômicas de interesse. Constatou-se que, os achados metodológicos contribuem para identificar o impacto por modalidade do sistema de transportes de carga e o efeito na atividade econômica de interesse. Permitiu ainda, comparações de produtividade entre regiões geográficas, no âmbito da disponibilidade de infraestrutura para os sistemas de transportes de carga para atividades econômicas regionais. Como resultado da metodologia proposta, a região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) do estado de Minas Gerais, constatou-se estatisticamente a formação de *cluster* econômico (variável PIB) entre os municípios Belo Horizonte, Contagem, Nova Lima e Santa Luzia para o ano de 2017, além cluster investimentos em infraestrutura de transportes para Contagem, Ribeirão das Neves, Vespasiano e Santa Luzia e de cluster de trabalhadores em transportes para Belo Horizonte e Contagem. As modalidades de transporte rodoviária, ferroviária, aérea e dutoviária não apresentaram significância estatística para a formação de *clusters* regionais de transportes. A atividade econômica da Indústria extrativista apresentou dependência espacial regional (modelo de LAG) com PTF (9,13%) para RMBH e relevância para as variáveis de investimento em infraestrutura e para o transporte nas modalidades rodoviária e aérea. A indústria da transformação apresentou PTF (9,5%), comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas apresentou PTF (7,8%), transporte, armazenagem e correios apresentou PTF (10,15%) e a construção apresentou PTF (10,6%), cujo modelos não apresentaram dependência espacial, e foram estimados pelo modelo de Mínimo Quadrados Ordinários (MQO). Ao comparar o desempenho municipal para a disponibilidade de infraestrutura dentre sistemas de transportes da RMBH, os municípios que apresentam melhores indicadores para infraestrutura existente foram, em ordem Betim, Nova Lima, Contagem, Belo Horizonte e Santa Luzia.

Palavras-chave: Disponibilidade de infraestrutura. Transporte de carga. Produtividade total dos fatores. Geografia econômica. Econometria espacial. Análise envoltória de dados.

ABSTRACT

The impacts of the availability of cargo transport systems such as highways, railways, airports, ports, and pipelines on the productivity of economic activity exist, and so far, have not been verified. This effect intrigues politicians and researchers and is constantly debated, due to the importance of economic growth Logistic Productivity Index (WB, 2007), Global Competitiveness Index (WEF, 2009), and studies by Barilla et al. (2020), Nilsen et al., (2017a), Mitra et al. (2016) and Cantos et al. (2005), that do not relate this relationship to cargo transport, taking into account spatial/geographical aspects, leading to biased and/or mistaken understandings. This work contributes to the application of a mathematical model based on spatial econometrics to assess the availability of transport infrastructure and the possible impacts on economic activity. The economic concept of Total Factor Productivity (TFP) was used as a measure of the availability of the infrastructure of the modalities of cargo transport in economic activity. As a complementary methodology, the non-parametric modeling of Data Envelopment Analysis - DEA was used to identify the performance between the units of analysis and the relevance of the modes of transport, pointing out opportunities for improvement in cargo transport in relation to economic activities of interest. It was found that the methodological findings contribute to identifying the impact of the modality of the freight transport system and the effect on the economic activity of interest. It also allowed productivity comparisons between geographic regions, within the scope of infrastructure availability for cargo transport systems for regional economic activities. As a result of the proposed methodology, in the metropolitan region of Belo Horizonte (RMBH) in the state of Minas Gerais, it was statistically found the formation of an economic cluster (variable GDP) between the municipalities Belo Horizonte, Contagem, Nova Lima, and Santa Luzia for the year 2017, in addition to cluster investments in transport infrastructure for Contagem, Ribeirão das Neves, Vespasiano and Santa Luzia and a cluster of transport workers for Belo Horizonte and Contagem. The modes of road, rail, air, and pipeline transport did not show statistical significance for the formation of regional transport clusters. The economic activity of the Extractive Industry showed regional spatial dependence (LAG model) with TFP (9.13%) for RMBH and relevance for the variables of investment in infrastructure and for transport in the road and air modes. The manufacturing industry presented TFP (9.5%), commerce; repair of motor vehicles and motorcycles presented TFP (7.8%), transport, storage, and mail presented TFP (10.15%), and construction presented TFP (10.6%), whose models did not show spatial dependence, and were estimated by the Ordinary Least Squares (OLS) model. When comparing the municipal performance for the availability of infrastructure among the transport systems of the RMBH, the municipalities that present the best indicators for existing infrastructure were, in order, Betim, Nova Lima, Contagem, Belo Horizonte, and Santa Luzia.

Keywords: Infrastructure disposability. Cargo transport. Total productivity factor. Economic geography. Spatial econometrics. Data envelopment analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configuração de clusters dos temas de interesse na pesquisa.....25

Figura 2 - Pertinência cronológica do tema 25

Figura 3 - Configuração geográfica da Região Metropolitana de Belo Horizonte.....51

Figura 4 - Mapa rodoviário de Minas Gerais.....52

Figura 5 – Principais rodovias federais e estaduais na Região Metropolitana de Belo Horizonte - 2022.....54

Figura 6 - Mapa ferroviário da região metropolitana de Belo Horizonte 55

Figura 7 - Aeródromos regulares 56

Figura 8 - Dutovias no Estado de Minas Gerais 57

Figura 9 - Comparativo entre matrizes de peso para a região metropolitana de Belo Horizonte 69

Figura 10 - Comparativo das interconexões espacial da matriz de peso a partir do centroide 70

Figura 11 - Municípios da RMBH com maior PIB em 2017. 82

Figura 12 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica da indústria extrativista, em 2017, na RMBH 83

Figura 13 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica da indústria da transformação, em 2017, na RMBH.....84

Figura 14 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica do comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas, em 2017, na RMBH 85

Figura 15 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica do Transporte, armazenagem e correio, em 2017, na RMBH 86

Figura 16 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica da construção, em 2017, na RMBH.....87

Figura 17 - Estatística do I de Moran para o PIB dos municípios da RMBH – ano 2017.....89

Figura 18 - Estatística do I de Moran para o PIB e investimentos em infraestrutura nos municípios da RMBH – ano 2017 90

Figura 19 - Estatística do I de Moran para o PIB e trabalhadores em transportes nos municípios da RMBH – ano 2017 91

Figura 20 - Estatística do I de Moran para o PIB e para o transporte rodoviário de carga dos municípios da RMBH – ano 2017 92

Figura 21 - Estatística do I de Moran para o PIB e para o transporte ferroviário de carga dos municípios da RMBH – ano 2017 94

Figura 22 - Estatística do I de Moran para o PIB e para o transporte aéreo de carga dos municípios da RMBH – ano 2017 95

Figura 23 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga, referente a indústria extrativista em 2017 – percentual.....98

Figura 24 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente a indústria da transformação em 2017 - percentual 101

Figura 25 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente ao comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, em 2017 – percentual 104

Figura 26 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente ao transporte, armazenagem e correios em 2017 – percentual 106

Figura 27 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente à construção, em 2017 – percentual 109

Figura 28 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica da indústria extrativista – 2017 111

Figura 29 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica da indústria de transformação – 2017 114

Figura 30 – Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas – 2017 117

Figura 31 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica do transporte, armazenagem e correios – 2017 120

Figura 32 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica da construção – 2017 124

Figura 33 – Representação dos municípios com maior taxa de produtividade e eficiência no transporte de carga da RMBH, no ano de 2017 135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Palavras-chave e termos usados no levantamento de literatura.....23

Tabela 2 – Periódicos de pesquisa e respectivos fatores de impacto.....24

Tabela 3 - Trabalhos intrinsecamente pertinentes ao tema de pesquisa.....29

Tabela 4 – Formulação para retornos variados de escala com orientação ao produto 76

Tabela 5 - Produto Interno Bruto do ano 2017 para os municípios da RMBH – em mil reais78

Tabela 6 - Carga transportada na RMBH por modalidade em 2017 –toneladas. 79

Tabela 7 – Volume transportado por modalidade de transporte e por atividade econômica na RMBH em 2017 – em toneladas.....80

Tabela 8 - Volume transportado por modalidade de transporte e por município da RMBH para o ano 2017 – em toneladas.....81

Tabela 9 - Comparativo de modelos espaciais: produtividade econômica da indústria extrativista a partir das modalidades de transporte da RMBH – em 2017.....97

Tabela 10 – Comparativo de modelos espaciais: Produtividade econômica da indústria da transformação a partir das modalidades de transporte da RMBH, em 2017.....100

Tabela 11 - Comparativo de modelos espaciais: Produtividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas a partir das modalidades de transporte da RMBH, em 2017 103

Tabela 12 - Comparativo de modelos espaciais: produtividade econômica do transporte, armazenagem e correios a partir das modalidades de transporte da RMBH em 2017.....105

Tabela 13 - Comparativo de modelos espaciais: Produtividade econômica da construção a partir das modalidades de transporte da RMBH, em 2017 108

Tabela 14 - Eficiência no transporte de carga municipal da RMBH para indústria extrativista – ano de 2017.....112

Tabela 15 - Eficiência no transporte de carga municipal da RMBH para indústria da transformação – ano de 2017 115

Tabela 16 – Eficiência no transporte de carga municipal da RMBH para comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas – ano de 2017 118

Tabela 17 – Eficiência produtiva no transporte de carga municipal da RMBH para transporte, armazenagem e correios – ano de 2017 121

Tabela 18 - Eficiência produtiva no transporte de carga municipal da RMBH para construção – ano de 2017.....123

Tabela 19 - Comparativo de resultados: taxa de produtividade e eficiência no transporte de cargas para atividades econômicas da RMBH para o ano de 2017. 137

Sumário

1. INTRODUÇÃO 15

1.1 O problema de investigação 17

1.2 Objetivo da pesquisa 19

1.3 Justificativa 19

1.4 Contribuições 26

1.5 Estrutura da Tese 28

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 30

2.1 Investimentos em infraestrutura de sistemas de transportes 30

2.2 Demanda por infraestrutura de transportes e a atividade econômica 33

2.2.1 Localização da atividade econômica e formação de clusters geográficos 37

2.3 Disponibilidade de infraestrutura de transportes e produtividade econômica 40

2.3.1 Principais indicadores de performance logística 41

2.3.2 Fatores que afetam a produtividade dos sistemas de transportes 43

2.4 – Produtividade total dos fatores 47

3 METODOLOGIA 50

3.1 Objeto de estudo – caracterização do transporte de cargas na RMBH 50

3.1.1 Região metropolitana de Belo Horizonte 51

3.1.2 Transporte rodoviário na região metropolitana de Belo Horizonte 52

3.1.3 Transporte ferroviário na região metropolitana de Belo Horizonte 54

3.1.4 Transporte aéreo na região metropolitana de Belo Horizonte 55

3.1.5 Transporte dutoviário na região metropolitana de Belo Horizonte 56

3.2 Coleta e tratamento dos dados 58

3.2 Proposta metodológica 63

3.2.1 Produtividade econômica por modelagem espacial e autocorrelação 63

3.2.2 Análise Envoltória de Dados 74

4 RESULTADOS 77

4.1 Análise descritiva dos dados 77

4.2 Análise espacial exploratória dos dados 82

4.3 Dependência espacial 88

4.3.1 Autocorrelação espacial – I de Moran univariado e bivariado 88

4.3.2 Produtividade total dos fatores 95

4.3.2.1 Produtividade total dos fatores para indústria extrativista 96

4.3.2.2 Produtividade total dos fatores para indústria da transformação 99

4.3.2.3 Produtividade total dos fatores para o comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas 102

4.3.2.4 Produtividade total dos fatores para o transporte, armazenagem e correio 104

4.3.2.5 Produtividade total dos fatores para a construção 107
4.4 Análise Envoltória de Dados no transporte de carga na RMBH 110
4.4.1 Eficiência no transporte de carga para indústria extrativista 110
4.4.2 Eficiência no transporte de carga para indústria da transformação 113
4.4.3 Eficiência no transporte de carga para o comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas 116
4.4.4 Eficiência no transporte de carga para transporte, armazenagem e correios 119
4.4.5 Eficiência no transporte de carga para construção 122
4.5 Discussão dos resultados 125
4.5.1 Produtividade econômica para a RMBH – regional 126
4.5.1 Taxa de produtividade e eficiência em transportes dos municípios da RMBH 134
4.5 Implicações 138
5 CONCLUSÕES 141
REFERÊNCIAS 143

1. INTRODUÇÃO

Embora muitos estudos abordem a relação da infraestrutura dos sistemas de transportes com o crescimento econômico e desenvolvimento, algumas lacunas ainda existem para esta a compreensão nos estudos de Barilla *et al. (*2020), Nilsen *et al.*, (2017a), Mitra *et al.* (2016) e Cantos *et al.* (2005). Lacunas em sistemas de transportes em relação à atividade econômica, frente a como são estabelecidas e como as variáveis se relacionam. Os desafios estão na mensuração do impacto da disponibilidade da infraestrutura de transportes e sua relevância para a economia. A infraestrutura dos sistemas de transportes desempenha um papel relevante para a atividade econômica, proporcionado pela redução dos custos de transportes. Custos esses refletidos pela acessibilidade, qualidade da capilaridade e qualidade de rodovias, ferrovias, aeroportos, portos e dutovias.

Neste contexto é que organizações mundiais buscam compreender em que medida a atividade econômica está relacionada à disponibilidade de infraestrutura de transportes. O Banco Mundial (*World Bank* – WB) criou o índice de produtividade logística (LPI), em 2007, para quantificar níveis de *performance* logística, mas não aborda exclusivamente a infraestrutura das modalidades em transportes de carga. Corrobora à necessidade de compreensão, o *Global Competitiveness Index* (GCI) criado em 2009 pelo *World Economic Forum* (WEF) que, analisa a infraestrutura dos sistemas de transportes indiretamente, incorporando variáveis sociais junto a variáveis dos sistemas de transportes. Ambos, não consideram especificamente a infraestrutura dos sistemas de transportes e sua relação de impacto direto à atividade econômica.

Embora estudos recentes têm buscado esta compreensão, não há aporte analítico para a avaliação crítica da relação da infraestrutura dos sistemas de transportes com a atividade econômica. Os modelos possuem restrições significativas à compreensão específica da produtividade, pois não analisam em conjunto a composição do sistema de transportes de cargas e excluem o sistema aéreo de forte impacto para produtos de alto valor agregado, como eletrônicos (BARILLA *et al.*, 2020). Desconsideram ainda os custos de transportes agregados (NILSEN *et al*., 2017), e inserem como variáveis explicativas outros setores de infraestrutura não relacionados diretamente ao transporte de carga, como o de telecomunicações (MITRA *et al.,* 2016). Até então, nenhum dos estudos citados e presentes na revisão de literatura consideram os impactos do sistema de transporte por dutos em atividades econômicas. Diante disso, a compreensão especifica do impacto da disponibilidade de infraestrutura dos sistemas de transporte de cargas na atividade econômica ainda carece de compreensão.

Consta-se, então, que as instituições internacionais WB e WEF, junto dos estudos recentes de de Barilla *et al. (*2020), Nilsen *et al.*, (2017a), Mitra *et al.* (2016) e Cantos *et al.* (2005), desconsideram explorar exclusivamente a infraestrutura das modalidades de transporte de cargas. A ausência dessa exploração pode conduzir a compreensões viesadas e equivocadas quando se busca compreender em que medida a disponibilidade da infraestrutura para sistemas de transporte de cargas afeta a atividade econômica.

A disponibilidade de infraestrutura para sistemas de transporte permite acessibilidade (BANISTER; BERECHMAN, 2003), podendo intensificar a atratividade local e regional (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017), que, indiretamente, podem motivar investimentos (ASCHAUER, 1989a, b). Nesse sentido que, a disponibilidade de infraestrutura para sistemas de transportes intriga formuladores de políticas públicas e pesquisadores e é debatida constantemente como indutora ao desenvolvimento econômico. Sabe-se que a relação do desenvolvimento econômico é compreendida pela disponibilidade física de infraestrutura econômica, tais como rodovias, ferrovias e estações, portos e aeroportos, energia, linhas de transmissão e telecomunicações (GANELLI; TERVALA, 2010).

Empresas para serem competitivas, têm a localização como fator de decisão para se instalarem e permanecer no local. As empresas buscam entregar valor aos clientes, por meio da integração, coordenação e relacionamento de suas redes de suprimentos. As decisões de configuração e localização estão diretamente refletidas em custos logísticos. Por exemplo, no Brasil, os custos agregados logísticos (transporte, armazenagem e serviços administrativos) correspondem a 7,6% da receita líquida de empresas (ILOS, 2016). Tamanho impacto que, se comparado em termos de contas nacionais, os custos com transporte equivalem a 12,7% do Produto Interno Bruto (PIB), muito superior aos 7,8% dos Estados Unidos (ILOS, 2016).

Os altos custos logísticos reduzem a competitividade geral de empresas multinacionais instaladas no Brasil, tais como LafargeHocim, Ford Brasil, Sony, LG e Mercedes Benz, que, mesmo amparadas por incentivos ficais e tributários, encerraram suas operações no Brasil por dificuldades em competir globalmente (UOL, 2021). Além disso, em alguns casos, como a Ford Brasil, transferiu a produção ao país vizinho, Argentina. Não somente aos custos logísticos, é preciso observar a qualidade da infraestrutura dos sistemas de transportes. Wanke, (2009) reitera que discussões sobre a qualidade da infraestrutura de transportes são de senso comum no Brasil, e que, majoritariamente, discutem-se a infraestrutura de transporte na modalidade rodoviária.

1.1 O problema de investigação

Uma das lacunas relevantes está na compreensão de como a produtividade total da economia é impactada pela disponibilidade da infraestrutura dos sistemas de transportes, em termos de atratividade, capilaridade e qualidade dos sistemas de transportes. Nesse contexto, Krugman (1991) evidenciou a importância de desenvolver modelos econômicos que permitem avaliar a relação entre a atividade econômica e sua distribuição geográfica / espacial, configurando a proposição teórica para a nova geografia econômica. Krugman verificou que a atividade econômica não é distribuída de forma homogênea no espaço. Fujita *et al.* (2002) posteriormente verificou que a concentração espacial se baseia em economias de escala e custos de transportes. Constatou ainda que a escolha da localização está ligada ao fornecimento de insumos e acesso ao mercado consumidor. Estudos recentes, relacionados à transportes no contexto da nova geografia econômica, buscam analisar o efeito entre a atividade econômica e sua configuração espacial.

Constantemente, essas lacunas são debatidas no meio acadêmico e social como subsídio de políticas públicas indutora para incentivo e atração empresas para determinadas localidades. No entanto, as conclusões são controversas sobre o impacto de investimentos em infraestrutura dos sistemas de transportes e seus efeitos na economia. Os estudos que analisam especificamente infraestrutura para o sistema de transporte de cargas e o efeito na economia abordam, em sua maioria, a relevância do investimento com capital público ou privado. Logo, verificam que investimentos em infraestrutura de transportes promovem efeitos diretos e indiretos. O impacto direto é percebido em reduções de custos totais, aumento da produtividade geral, estímulo a atração de novos investimentos e suporte ao desenvolvimento de inovações tecnológicas. Indiretamente, os investimentos em infraestrutura são intensivos em mão de obra, demandam grande volume de insumos no médio e longo prazo. Essa relação, influencia a concentração populacional junto da atividade comercial e industrial. A intensificação dos efeitos reflete nas transações econômicas e sociais locais, induzindo o crescimento econômico local (ARBUÉS; BAÑOS; MAYOR, 2015; COSCI; MIRRA, 2018; PIKE; RODRÍGUEZ-POSE; TOMANEY, 2016; QI *et al.*, 2020; XU; WANG, 2017).

É nesse sentido que este trabalho se insere, pois se preocupa em medir a relação da disponibilidade dos sistemas de transportes de cargas e seu impacto na atividade econômica em termos de produtividade. O estudo de Banister e Berechman (2003), já apontou que a infraestrutura de transporte permite a acessibilidade da mão de obra, fluxo de mercadorias e de insumos da atividade econômica local. Dessa forma, a acessibilidade física incentiva e atrai empresas a se instalarem localmente. Em decorrência disso, observa-se o aumento dos

níveis de emprego, aumento do fluxo da mão de obra e crescimento populacional. Portanto, a relação positiva da acessibilidade promove atratividade geográfica da atividade econômica local (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017). A atratividade local baseia-se nas decisões de localização espacial, as quais as empresas têm de analisar além do transporte, a disponibilidade de mão de obra e insumos, as condições de mercado, conhecimento industrial, as condições operacionais, as políticas do governo vigentes, a estrutura de impostos e taxas, o clima e a sociedade (BADRI, 2007).

A produtividade tem relações variadas na economia, a saber: de capacidade de desempenho, de efetividade econômica e de transformação produtiva (ANDERSSON *et al*. 1989). Atribui-se à produtividade, a capacidade produtiva de utilização de recursos para produzir bens e insumos, ou seja, capacidade de transformação de insumos em produtos (STABLER, 1996). É nesse sentido que se busca compreender como fatores de produção (máquinas, equipamentos, tecnologias, pessoas e capital) impactam a produção, pois somente investimentos em fatores de produção não propiciam a produtividade.

Os efeitos de investimentos em infraestrutura de transporte são percebidos na intensificação das transações econômicas, reflexo do fluxo de mercadorias e de passageiros (CHAOJI YANG, 2017; XU; WANG, 2017), que estimulam o crescimento populacional e favorece a aglomeração de empresas, formando *clusters* locais (FUJITA; KRUGMAN; VENABLES, 2002). O aumento do fluxo de mercadorias e de pessoas em mesmo espaço físico demandam mais investimentos em infraestrutura de transportes, em função da implantação ou ampliação de terminais, rodovias e ferrovias (FANG, 2016). Isso reforça a correlação positiva da infraestrutura com crescimento da atividade econômica local. A infraestrutura de transporte é condição para o crescimento econômico (WEF, 2009), uma vez que altera os níveis de emprego e renda médios locais, intensificando o crescimento econômico no curto prazo (WANG, KAILAI; CHEN, 2020). No entanto, não é possível assegurar que haverá desenvolvimento econômico a partir de investimento em infraestrutura (YANG, CHAOJI; MA, 2017; YII KJ, BEE KY, CHEAM WY, CHONG YL, 2018).

O crescimento econômico é compreendido pelos fatores tangíveis e intangíveis de produção da atividade econômica local. A eficácia e o desempenho da atividade econômica permitem analisar disparidades regionais a partir de fatores intangíveis como capital humano, capital social e tecnológico (DETTORI; MARROCU; PACI, 2012). Dos fatores tangíveis, Morrison e Schwartz (1996) verificaram que a infraestrutura de transporte é necessária e determinante para o crescimento econômico, refletindo positivamente em *performance* e produtividade local. Assim, analisar a produtividade permite a identificação do impacto quantitativo na

atividade econômica e conduzir políticas de favorecimento à atividade econômica local (MUANKANG; OUMAR; OKI, 2020).

Diante do exposto, mesmo após a criação dos índices *Logistics Performance Index* (LPI) e a competitividade mensurada pelo *Global Competitiveness Index* (GCI) e dos estudos recentes não explicam o efeito e o impacto da disponibilidade dos sistemas de transportes de carga na atividade econômica. Este trabalho contribui com o método de mensuração para a disponibilidade dos sistemas de transportes em termos de produtividade total da atividade econômica. Logo, **este estudo oferecer uma contribuição para a análise mais complexa das relações entre transporte e produtividade, por meio de um modelo que contempla simultaneamente todos os sistemas de transporte, com parâmetros definidos para suporte da econometria espacial.**

1.2 Objetivo da pesquisa

1.2.1 Objetivo geral

Analisar em que medida a disponibilidade da infraestrutura dos modos de transporte de carga impactam a produtividade de atividades econômicas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar a relação da infraestrutura dos modos de transporte de cargas e com as atividades econômicas.
- Propor modelo para mensurar a produtividade total dos fatores dos sistemas de transportes de carga para atividades econômicas de interesse.
- Mensurar a produtividade total dos fatores relacionado a sistemas de transportes de cargas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) – abordagem regional.
- Mensurar a taxa de produtividade para os municípios da RMBH – abordagem local.

1.3 Justificativa

Conforme Muankang *et. al.* (2020) a produtividade total dos fatores quantifica e qualifica fatores produtivos presente na atividade econômica. Mensurar a produtividade econômica a partir da infraestrutura dos sistemas de transportes permite direcionar investimentos como política pública, incentivando modalidades de transporte específicas, ampliando capacidade instalada ou favorecendo (subsídios financeiros e/ou fiscais) para novas empresas em

determinadas localidades. Nesse sentido, diversos estudos também abordam o investimento (capital) em infraestrutura com origem pública (DA CRUZ; MARQUES, 2011; MITRA; SHARMA; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2016), seja privado (ÁLVAREZ; BLÁZQUEZ, 2014; BARILLA *et al.*, 2020; CANTOS; GUMBAU-ALBERT; MAUDOS, 2005) misto, por meio de Parceria Público Privada (PPP) (WEI; GUO; WANG, 2020), ou por capital estrangeiro de instituições (YANG, DONG; WANG, 2018).

Os pesquisadores desse contexto temático convergem para o impacto positivo de investimentos em infraestrutura de transporte, refletidos no crescimento da atividade econômica, como na agricultura (FOUSEKIS, 1997; RADA, 2013; SAPUTRI *et al.*, 2019), nas indústrias (BARILLA *et al.*, 2020; CALIENDO *et al.*, 2018; DESTEFANIS; SENA, 2005; KHANNA; SHARMA, 2018; MITRA; SHARMA; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2016; YEAPLE; GOLUB, 2007), em serviços (BOISSO; GROSSKOPF; HAYES, 2000; DA CRUZ; MARQUES, 2011; KHANNA; SHARMA, 2018; YANG, GAOJU *et al.*, 2020) e no setor público (DA CRUZ; MARQUES, 2011; KHANNA; SHARMA, 2018). Especificamente para a infraestrutura de sistemas de transportes, os investimentos são feitos em novas instalações ou na ampliação de modalidades de transporte, em ampliação de terminais de carga para integração intermodal, em manutenção da infraestrutura existente que refletem positivamente na produtividade ou que permitem a redução de custos operacionais em armazenagem e estoque (BANISTER; BERECHMAN, 2003; BAUM-SNOW *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a compreensão do impacto da disponibilidade dos sistemas de transportes sobre a produtividade econômica pode ser utilizada como direcionador de políticas públicas. Isso, na medida que pode incentivar e conduzir empresas a se instalarem em determinadas localidades, produzindo efeitos diretos e indiretos na economia local, demandando mão de obra, suprimentos e infraestrutura de transporte para realizar transações com fornecedores e relacionar-se com instituições locais e regionais, ao interagir localmente, realizam transações econômicas e operacionais formando agrupamentos transacionais regionais, ou cluster de negócios.

Clusters de negócio é a característica dada ao agrupamento formados por diferentes empresas. Não somente a proximidade geográfica de empresas são característica para a formação de clusters, mas também o compartilhamento mútuo de recursos operacionais, comerciais, tecnológicos, de conhecimentos e / ou de habilidades que visam a competitividade no mercado (DELGADO, 2015). Como clusters são formados por diferentes empresas, distintas e especificas são as demandas por sistemas de transportes para insumos, produtos e mercadorias.

Diferentes necessidades em infraestrutura de transportes, é relevante que haja disponibilidade de infraestrutura e acessibilidade para a redução de custos. Isso porque, a disponibilidade e acessibilidade intensificam a busca pela competitividade por transações locais, corroboram para o crescimento da atividade econômica (NILSEN *et al.*, 2017a). De modo geral, quando agrupadas geograficamente próximas, as empresas compartilham a infraestrutura local para obter maior competitividade e tempo de resposta ao mercado (BULIS, 2013 ; HSIEH, 2014; LIU, 2017). Muitos dos estudos nessa área concentram-se na relação da acessibilidade local, mensurando o impacto no desempenho operacional para empresas locais (HU, 2003; KOTLYAROVA, 2017; LI, 2012; LIU, 2017; WANG, 2011; ZHOU, 2011; BAUER, 2010; HANAOKA, 2011; KREUTZBERGER *et al.*, 2003; PRANDTSTETTER *et al.*, 2016).

No entanto, discutir somente a acessibilidade local é uma empreitada limitada, pois há a necessidade de compreender a atratividade local da infraestrutura de transportes (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017), que a partir da disponibilidade, caminha junto dos fatores decisórios e incentivadores de empresas a se instalarem em determinadas localidades. A disponibilidade de infraestrutura para sistemas de transportes influência as decisões de localização, pois as empresas configuram sua rede de suprimentos direcionadas ao desempenho. A busca de desempenho operacional, financeiro e comercial é reflexo das operações e dos sistemas de transportes, à medida que empresas competem no mercado, compartilhando a mesma infraestrutura de transporte para o fluxo de cargas e de passageiros. Isto é observado pela competição operacional por custos, qualidade, confiabilidade, velocidade e flexibilidade (SLACK, 1993). A localização geográfica afeta o desempenho das empresas em termos de eficiência e produtividade (AIELLO; PUPO; RICOTTA, 2014).

Outro fato importante se dá ao objeto de estudo, ao contexto brasileiro, que carece de compreensão sobre a disponibilidade dos sistemas de transportes e seu impacto na produtividade da economia. Para Silva *et. al*. (2009) os investimentos em infraestrutura de transporte no Brasil são muito inferiores a demanda. Salienta que, é necessário investimentos privados para proporcionar ganhos de produtividade, pois o volume de investimento público é inferior à necessidade. Nesse sentido, observou-se que investimentos públicos esparsos geograficamente em infraestrutura explicou a localização da indústria brasileira entre 1970 e 1980, pois geraram desequilíbrios de atratividade sob a perspectiva regional, conforme analisado em Souza (2002).

Desse modo, conduziu-se o levantamento de trabalhos pertinentes sobre o tema a fim de reduzir possíveis vieses. Utilizou-se a técnica metodológica de amostragem “bola de neve”

(*snowball sampling*) para inclusão de artigos relevantes para além do assunto pesquisado, proporcionando maior robustez e transparência ao processo de seleção de trabalhos (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003), aplicado à área de pesquisa em operações e logística. Essa técnica foi escolhida por permitir a inclusão de trabalhos relacionados ao tema que não estejam na base de dados, trabalhos que utilizam outros termos no título e resumo. A pesquisa teve início com a seleção de trabalhos e documentos disponíveis para a consulta nos principais repositórios de artigos acadêmicos, base de dados *Web of Science* e *Scopus*, disponíveis pelo sistema da CAPES. Em ambos os repositórios, são registrados e publicados os principais documentos e conhecimento em operações e logística.

O levantamento de literatura principal buscou compreender como é tratado o assunto da produtividade da logística de cargas a partir da infraestrutura de transportes. Assim, utilizou-se as palavras-chaves que retratam o assunto em inglês, tais como *"logistic", "total factor productivity", "transport infrastructure", "Regional" e "Productivity".* Utilizou-se também a combinação dessas palavras a fim de aumentar a seleção de documentos (Tabela 1). No entanto, não foi utilizado o 'indexador booleano' "OR" para as combinações de palavras, pois esse altera as condições específicas de pesquisa, passando a considerar as palavras individualmente, que, consequentemente, aumentam exponencialmente o número de documentos a serem verificados e que divergem do objeto de estudo. A pesquisa concentrou-se no *abstract* de todos os documentos disponíveis em 16/11/2021.

A combinação de palavras-chaves da Tabela 1 sobre o assunto retornou 991 documentos com a união dos dados de cada repositório. A união dos repositórios contém documentos, como artigos, livros, *working papers* e anais de congressos. Após a exclusão dos documentos duplicados (contidos no mesmo repositório e em ambos os repositórios), também foram retirados os documentos que não continham o registro acadêmico do *Digital Object Identifier* (DOI), restando o número significativo de 415 documentos (exclusão de 576 documentos). Para maior aderência aos objetivos de pesquisa e relevância ao tema, realizou-se novamente a busca pelas palavras-chaves nos *abstracts*, nos títulos e nas palavras-chaves dos documentos; restaram, assim, 158 documentos (exclusão de 257 documentos). Por fim, procedeu-se com a verificação de pertinência ao assunto com a leitura dos artigos, restando 64 documentos de relevância ao tema da pesquisa (exclusão de 94 documentos) – vide Anexo A. Após a leitura dos documentos, somente quatro deles foram considerados pertinentes e aderentes ao objeto de pesquisa descritos na Tabela 3.

Avaliando brevemente a pertinência e a relevância dos 64 trabalhos selecionados, verifica-se que os artigos foram publicados em revistas de alto fator de impacto e contribuição acadêmica.

A revista com maior fator de impacto, calculado a partir do número de citações, segundo a classificação disponível de 2018, na base *Web of Science Citation,* é o *Journal Transport Review*, com fator de 6,648. A Tabela 2 apresenta os dez *journals* com maior fator de impacto internacional disponíveis e sua referência para com a qualificação Capes para o quadriênio 2013 a 2016.

Aprofundando no assunto, foi utilizado o *software VOSviwer 1.6* para realizar a análise de redes das 239 palavras-chaves encontradas nos documentos. Foram classificadas 16 palavras-chaves, as quais são relacionadas a partir da frequência que são utilizadas entre os artigos. É possível destacar que emergem três palavras principais mais utilizadas nos artigos como palavra-chave, *Total Factor Productivity, Economic Growth* e *Infrastructure* (Figura 1).

Tabela 1 – Palavras-chave e termos usados no levantamento de literatura

Palavras-chaves e Indexadores booleanos	Número de Documentos	
	Web of Science	*Scopus*
AB=(logistic AND Total Factor Productivity AND Transport infrastructure AND Regional)	0	0
AB=(logistic AND Total Factor Productivity AND Infrastructure AND Regional)	1	1
AB=(logistic AND Total Factor Productivity AND Transport AND Regional)	1	1
AB=(logistic AND Total Factor Productivity AND Transport AND infrastructure)	2	2
AB=(logistic AND Total Factor Productivity AND Transport infrastructure)	2	2
AB=(logistic transport AND Total Factor Productivity)	4	8
AB=(logistic Infrastructure AND Total Factor Productivity)	8	11
AB=(logistic AND Total Factor Productivity AND Infrastructure)	8	11
AB=(Infrastructure transport AND Total Factor Productivity)	13	22
AB=(Infrastructure AND Total Factor Productivity)	177	266
AB=(Transport AND Total Factor Productivity)	185	266
Subtotal	**401**	**590**
Total	**991**	
Remanescentes - pós união de bases, exclusão de duplicados e sem registro DOI	**415**	
Remanescentes - pós seleção palavras de interesse no abstract	**158**	
Total de Revisados - pós pertinência ao assunto	**64**	

Fonte: Elaborado pelo autor.
Nota: Consulta em 16/11/2021 - *Web of Science* - Período 1945 à 2021

Ainda na Figura 1, destacam-se as três relações principais, agrupadas em *cluster* a partir da frequência em que são utilizadas, bem como sua relação interdependente com outras palavras. A primeira relação pode ser verificada a partir do tamanho dos círculos em cada grupo, segmentados em *Total Factor Productivity, Economic Growth e Infraestructure* e suas relações. A segunda relação verifica-se a interconexão das palavras, formando o assunto ao qual está relacionada, por exemplo: *Total Factor Productivity* está mais relacionado à *data*

envelopment analysis e à *manufactoring; Economic Growth* está relacionado à indústria, investimentos, infraestrutura de transportes e agricultura. *Infraestructure* relaciona-se à produtividade, eficiência, índice de Malmiquist e à mudança técnica. Por fim, na terceira relação, é possível verificar a relação de interdependência das demais palavras-chaves e como elas estão relacionadas direta e indiretamente entre si.

Tabela 2 – Periódicos de pesquisa e respectivos fatores de impacto

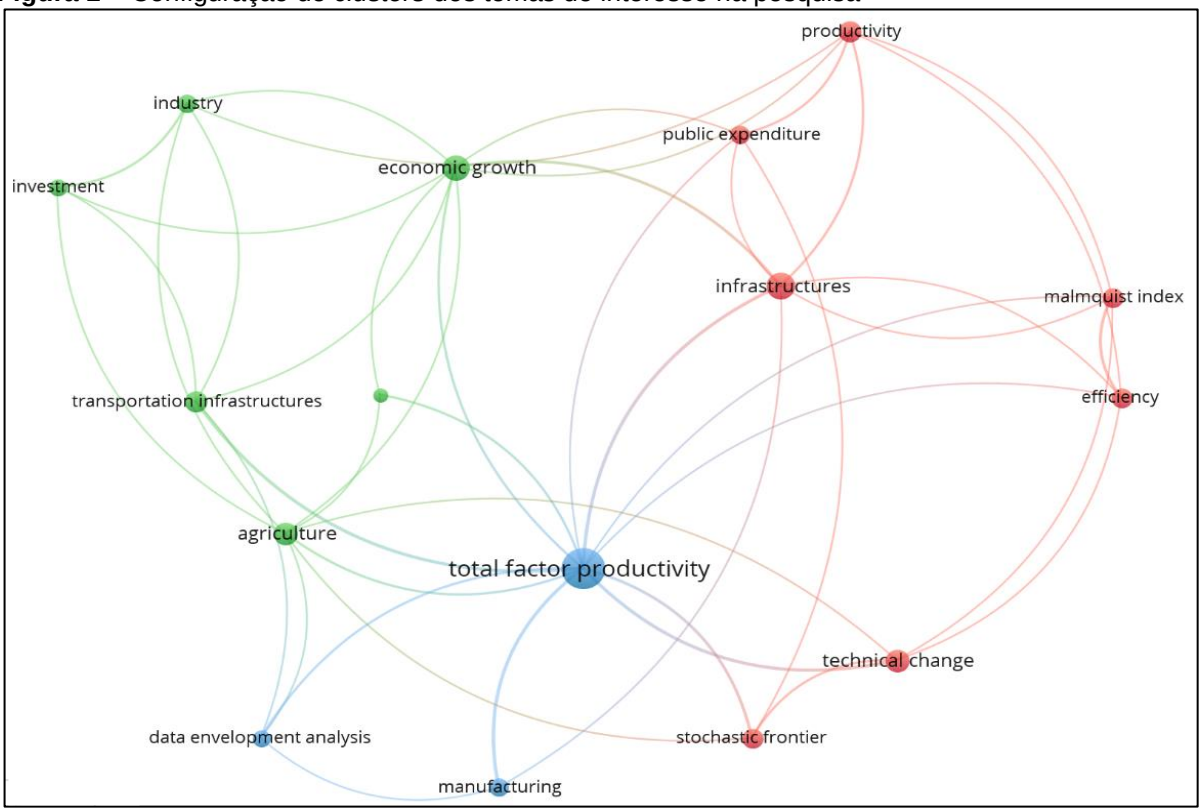
Periódicos	Número Artigos entre os 64	Citation Factor *Web of Science* 2018	Qualificação Capes 2013 -2016
Transport Reviews	2	6,648	A2
Journal Of Economic Studies	2	4,767	A1
Review Of Economic Studies	1	4,767	A1
Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review	1	4,253	*
Food Policy	1	3,788	B2
Transportation Research Part A-Policy And Practice	3	3,693	*
Transport Policy	2	3,190	A1
Regional Studies	2	3,074	A1
Regional Science And Urban Economics	3	2,092	A1
Papers In Regional Science	2	2,020	A2

Fonte: Elaboração do autor.
Nota: **Journal* não disponível na base de dados Capes.

Oportunamente, adentrando na análise, verificou-se, cronologicamente, a evolução dos assuntos tratados na literatura (Figura 2). Considerou-se, assim, analisar a relevância do assunto no tempo junto de sua pertinência. Constatou-se, então, que o *Total Factor Productivity* é assunto recorrente na literatura recente, pois está atribuído a *transport infraestructure, data envelopment analysis, manufacturing* e *infrastructure investments.* Apesar de relevante, verifica-se uma tendência de não se pesquisar mais a relação de *economic growth, technical change, stochastic frontier* para com o *total fator productivity* na atualidade.

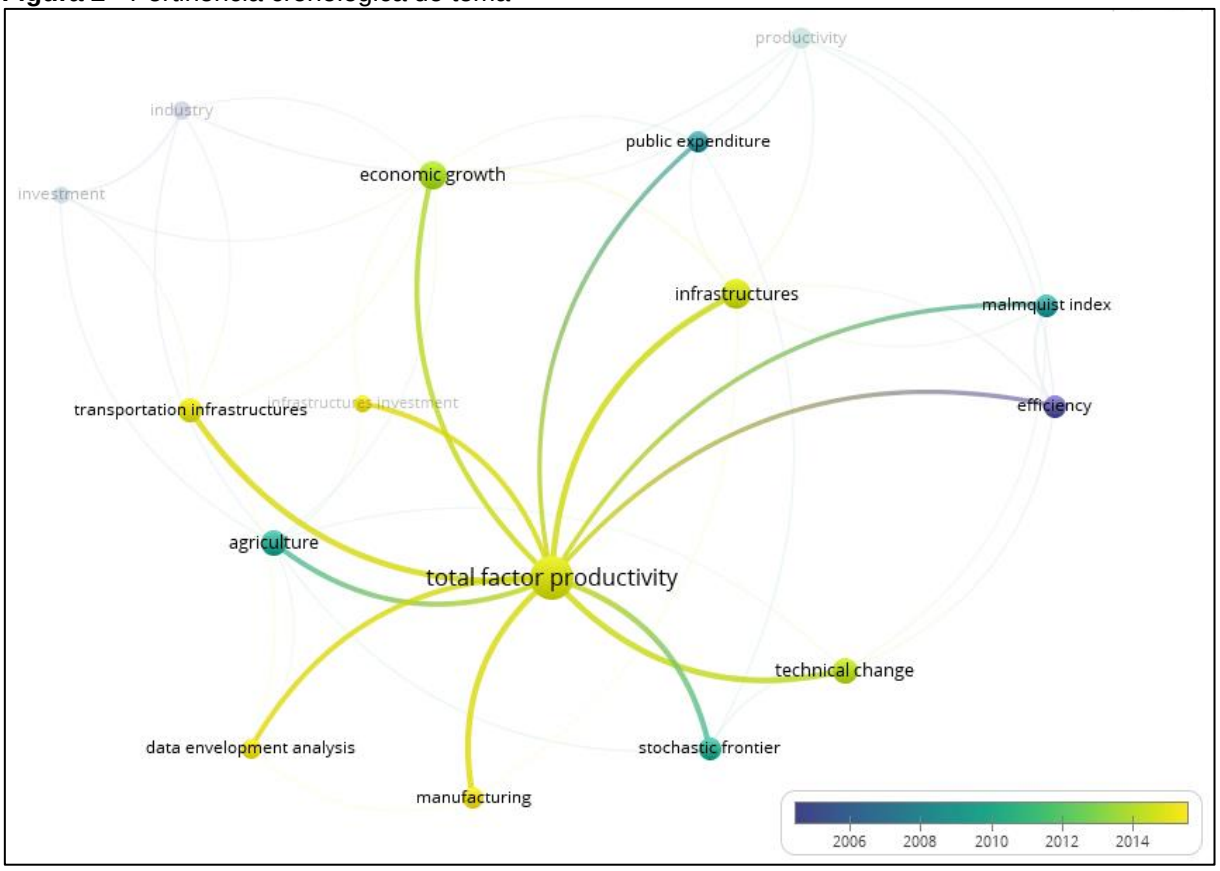
Após análise dos 64 documentos que passaram pela triagem metodológica, verificou-se que somente quatro foram aderentes e correlacionados em sua íntegra ao tema desta pesquisa, relacionam e analisam a infraestrutura conjunta dos sistemas de transportes com produtividade da atividade econômica regional. São trabalhos recentes que visam contribuir para a compressão do impacto da infraestrutura na produtividade econômica, conforme Tabela 3.

Figura 1 – Configuração de *clusters* dos temas de interesse na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, *software VOSviwer 1.6.*

Figura 2 - Pertinência cronológica do tema



Fonte: Elaborado pelo autor.

É nesse sentido que persiste a carência de estudos na literatura que buscam compreender a influência específica da infraestrutura de sistema de transportes de carga e seu impacto na atividade econômica. É possível concluir, com esse resultado, que poucos trabalhos estão intrinsicamente relacionados ao assunto, o que favorece oportunidades de contribuição para a literatura sobre o assunto. Em segundo lugar, também é possível verificar o ineditismo do assunto para a academia, uma vez que é objeto de pesquisa nos últimos anos, conforme Figura 2, a partir de 2016.

É importante ressaltar que, mesmo diante de poucos estudos ligados ao objeto de pesquisa, os demais 60 artigos não foram excluídos da revisão literária, pois contribuíram para a discussão do assunto e do tema, especificamente. Os textos, sem dúvida, contribuíram para o aprofundamento sobre o assunto, por exemplo, sobre as discussões e análise da produtividade de investimentos em infraestrutura econômica e sua relação à transportes. Ademais, distinto do objetivo de analisar conjuntamente a produtividade logística nas modalidades de transportes, os demais artigos realizam análises comparativas da produtividade em setores específicos da logística, a saber: o de transporte, como de rodovias com três artigos (ÁLVAREZ; BLÁZQUEZ, 2014; MONTOLIO; SOLÉ-OLLÉ, 2009; YANG, DONG; WANG, 2018); ferrovia, com três artigos (FERREIRA, LUIS; OTWAY, 1993; GRAHAM *et al.*, 2003; MIZUTANI; USAMI, 2016); portos, com quatro artigos (CHANG; TOVAR, 2014; ESTACHE; DE LA FE; TRUJILLO, 2004; ONWUEGBUCHUNAM, 2014; YE; QI; XU, 2020); aeroportos, com quatro artigos (BALLIAUW *et al.*, 2016; CAHILL; PALCIC; REEVES, 2017; CAVES; CHRISTENSEN; TRETHEWAY, 1983; FORSYTH, 2001). Logo, esses trabalhos permitiram aprofundar na revisão e seleção de *proxies* que refletem a produtividade dos sistemas de transporte em cada setor. Importante ressaltar que, na pesquisa, não se constatou nenhuma abordagem referente à produtividade de transporte por dutos.

No tocante à relação da literatura e a sociedade, este trabalho em pauta reforça e corrobora a visão de Wanke (2009), pois, dos 64 artigos verificados, nenhum, até então, havia buscado compreender o impacto da produtividade da infraestrutura dos sistemas de transporte de cargas para a atividade econômica.

1.4 Contribuições

É relevante a proposição do modelo para mensurar o impacto da disponibilidade dos sistemas de transportes de carga na produtividade econômica, pois contribui para a academia, diante do exposto, existe essa lacuna. Isso, de certo, baseia-se no conceito de acessibilidade (BANISTER; BERECHMAN, 2003) e na atratividade local (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017)

que são diferentes do conceito baseado nos princípios do *marketing* para a logística em transportes (LUBERA, 2019). Sustenta-se nas contribuições da teoria da dependência de recursos (*Resource Dependence Theory – RDT*) e, principalmente, na Teoria de Localização (*Localization Economic Theory*), uma vez que as empresas decidem se instalar em determinados locais de acordo com seus interesses. Interesses esses baseados em maior ou menor grau entre as teorias, ou de forma difusa a partir da combinação entre elas para obter vantagem competitiva.

De maneira específica, as contribuições justificam-se de modo a preencher as lacunas encontradas na literatura, tais como: (1) o cálculo do impacto da disponibilidade dos sistemas de transportes na produtividade econômica (MORRISON; SCHWARTZ, 1996); (2) corroborar para a compreensão da atratividade, baseada em acessibilidade (BANISTER; BERECHMAN, 2003) e atratividade (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017) local, diferente do conceito baseado no *marketing* (LUBERA, 2019); (3) complementar e aprofundar na análise produtividade em sistemas de transportes a partir da relação espacial proposta por Barilla *et al. (*2020) e estudo das variáveis de transporte com a inclusão do sistema de dutos, não inclusos nos estudos de Nilsen *et al.*, (2017a), Mitra *et al.* (2016) e Cantos *et al.* (2005); (4) mensurar o produtividade total dos fatores para os atividades econômicas de interesse por meio da disponibilidade dos sistemas de transportes de cargas da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH; e (5) a inexistência de trabalhos que abordam e quantificam a relação do impacto do sistema de transporte por dutos como parte do sistema de transporte de cargas.

Este trabalho, portanto, contribui para suprir as lacunas teóricas e aplicadas, uma vez que mensura a produtividade da economia a partir da disponibilidade da infraestrutura para sistemas de transporte de cargas. A maioria dos estudos encontrados analisaram a produtividade em relação a infraestrutura econômica (GANELLI; TERVALA, 2010) relevando analisar a produtividade da disponibilidade dos sistemas de transportes, e especificamente o de cargas. Busca-se nesta pesquisa tratar da produtividade no transporte de cargas, uma vez que esse reflete diretamente na redução de custos totais, colaboração entre empresas, redução do *leadtime* e compartilhamento de informações (HU, 2003; KOTLYAROVA, 2017; LI, 2012; LIU, 2017; WANG, 2011; ZHOU, 2011; BAUER, 2010; HANAOKA, 2011; KREUTZBERGER *et al.*, 2003; PRANDTSTETTER *et al.*, 2016.

Além da relevância acadêmica em qualificar e quantificar o impacto disponibilidade da infraestrutura de transporte, também contribui para o interesse da administração pública, com a análise da infraestrutura disponível na RMBH. A aglomeração industrial local pode ser classificada e identificada como *clusters* de negócios, que em economias com carência em

infraestrutura torna-se necessária para o direcionamento de investimentos, políticas de incentivo e subsídios ao crescimento econômico local. Subsídios para além de recursos financeiros, pois o investimento em infraestrutura física tem maior impacto na produtividade (ALBANESE; DE BLASIO; LOCATELLI, 2020).

Do ponto de vista social e econômico, o estudo contribui para sustentar políticas públicas de investimentos, que ainda carecem de compreensão. Políticas que, de modo geral, necessitam de suporte para verificar em que medida suas infraestruturas do sistema de transportes cargas existentes impactam e promovem os efeitos esperados no incentivo e na manutenção de empresas locais e regionais. Contribui-se na assistência e no direcionamento de políticas públicas locais e regionais, fornecendo o suporte de informações para leis e incentivos à atração e manutenção de empresas no crescimento econômico local.

Diversas são as regiões e municípios que concedem benefícios anteriores (incentivar) e posteriores (manutenção) para a instalação industrial e comercial. Por exemplo, a indústria de eletroeletrônicos em Manaus / AM, a indústria automobilística em Betim / MG, Camaçari / BA e Resende / RJ, a metalurgia e siderurgia em Belo Horizonte / MG, Sabará / MG, Nova Lima / MG, Contagem / MG e Betim / MG, a indústria química em Santo André / SP, São Bernardo / SP e São Caetano do Sul / SP e a indústria petroquímica no Rio de Janeiro / RJ, Niterói / RJ e Itaboraí / RJ.

1.5 Estrutura da Tese

Este trabalho constitui-se de cinco seções, contando com a parte introdutória – seção 1. Na seção subsequente, apresenta-se a fundamentação teórica – seção 2, em que foram consolidadas as abordagens teóricas, evidências empíricas e discussões acerca da relação econômica com a infraestrutura dos sistemas de transportes de carag, subdividida em quatro pontos principais. Em seguida, na seção 3, delineia-se a metodologia e a modelagem econométrica. Os resultados foram apresentados em seguida, na seção 4; e, por fim, a conclusão – seção 5.

Tabela 3 - Trabalhos intrinsecamente pertinentes ao tema de pesquisa

AUTOR	CLUSTER ANALISADO	METODOLOGIA			VARIÁVEL DEPENDENTE		VARIÁVEL INDEPENDENTE		SPILLOVER EFFECTS	RESULTADO
		FUNÇÃO	MÉTODO	DADOS	VARIÁVEL	PROXY	VARIÁVEIS	PROXY		
Cantos *et al*. (2005)	- Agricultura - Indústria - Construção - Serviços	Função de Produção Cobb-Douglas x Fator Total de Produção – PTF		Painel - cross section	Produção	PIB	- Capital - Trabalho - Transporte*	- Investimento privado - Emprego - *Rodovia - *Portos - *Aeroportos - *Ferrovias	- Variável instrumental	- Efeito positivo para rodovias e aeroportos.
Mitra *et al.* (2016)	- Comida e bebida -Têxtil - Químicos - Mineral não-metálico - Metais - Máquinas - Transporte de equipamentos - Manufaturados	Função de Produção Cobb-Douglas para Fator Total de Produção – PTF	GMM	Painel	Produção	PIB	- Capital - Trabalho - Transporte*	- Investimento público - Emprego - *Rodovia - *Portos - *Aeroportos - *Ferrovias	- Variável instrumental	- Efeito positivo da infraestrutura no crescimento econômico.
Nilsen *et al*. (2017)	- Agricultura - Pesca - Manufatura - Construção - Transporte - Hotelaria - Atacadista - Serviços	Função de Produção Cobb-Douglas para Fator Total de Produção – PTF			Produção	PIB	- Capital - Trabalho - Transporte*	- Investimento público - Emprego - *Custo de transporte	- Matrix de Pesos	- Aglomeração de empresas; a produtividade depende do setor para ser positiva ou negativa.
Barilla *et al*. (2020)	- Províncias	Função de Produção Cobb-Douglas para Fator Total de Produção – PTF	Modelo de Durbin Espacial	Painel	Produção	PIB	- Capital - Trabalho - Transporte*	- Investimento privado - Emprego - *Rodovia - *Portos - *Ferrovias	- Matrix de Pesos	- Setor de logística tem alta capacidade de resiliência e inovação, impacta positivamente no desenvolvimento econômico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diversos estudos discutem a relação da atividade econômica e da infraestrutura de transportes como estratégia para o crescimento econômico. No entanto, é de interesse acadêmico e social compreender o impacto da disponibilidade dos sistemas de transportes sobre a atividade econômica, isto é para além das atividades básicas de produção, distribuição e consumo de bens e serviços. Em locais de economias desenvolvidas, os estudos explicam a dispersão geográfica dos negócios por meio da disponibilidade de infraestrutura local. Todavia, em economias emergentes, os estudos não conseguem explicar a relação da disponibilidade de infraestrutura e localização da atividade econômica com as mesmas condições. Assim, é preciso conhecer os aspectos que favorecem os investimentos, a demanda, localização, a disponibilidade dos sistemas de transportes e por fim a produtividade da economia.

2.1 Investimentos em infraestrutura de sistemas de transportes

A definição mais abrangente para a infraestrutura econômica tem sua base nos serviços públicos a serem prestados pelo Estado. A Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Cepal) consolida sua compreensão, considerando a infraestrutura econômica como serviços públicos o abastecimento de água, energia elétrica, gás natural, coleta de resíduos, tecnologia da informação e comunicação, drenagem, irrigação e a disponibilidade logística como rodovias, ferrovias e portos (SÁNCHEZ, 2009). Acrescenta-se essa compreensão da Cepal à disponibilidade de infraestrutura da logística dos aeroportos (SIQUEIRA, 2009).

Investimentos em infraestrutura econômica, especificamente nos sistemas de transportes, dão considerável suporte ao crescimento das atividades econômicas de forma endógena (FARHADI, 2015). A disponibilidade da infraestrutura de transportes permitem suportar as relações comerciais existentes entre empresas, incentivando novas transações (BARRO, 1990). Investimentos direcionados à infraestrutura de transportes devem ser compatíveis às políticas e definições governamentais, pois o direcionamento de investimentos públicos em regiões carentes de infraestrutura tem resultados positivos na produção, induzindo taxas positivas para o retorno do capital privado (ASCHAUER, 1989b).

Assim sendo, a relação entre investimento em infraestrutura de transportes e crescimento econômico se dá no longo prazo. O efeito é visto a partir da intensificação das transações econômicas de consumo, refletidas diretamente no fluxo de mercadorias no longo prazo (DESTEFANIS; SENA, 2005; XU; WANG, 2017; YANG, CHAOJI; MA, 2017), o que estimula

o crescimento populacional local e a aglomeração industrial (FUJITA; KRUGMAN; VENABLES, 2002). O aumento do fluxo de mercadorias demanda investimentos em infraestrutura de transportes, seja pela implantação, seja pela ampliação de terminais, rodovias e ferrovias (FANG, 2016). Nesse sentido, investimentos primários em infraestrutura tem correlação positiva com o desenvolvimento da atividade econômica local, mas não asseguram que haverá desenvolvimento econômico (YANG; CHAOJI; MA, 2017; YII KJ; BEE KY; CHEAM WY; CHONG YL, 2018). A infraestrutura de transporte é condição para o crescimento econômico, uma vez que altera os níveis de emprego e renda em médio e em longo prazo e, em alguns casos, intensifica a atividade econômica no curto prazo (WANG, KAILAI; CHEN, 2020), que também não necessariamente refletem em ganhos de produtividade econômica (MORRISON; SCHWARTZ, 1996).

Os investimentos em transportes tangem os interesses sociais, econômicos e ambientais, com características de serviços públicos. Serviços públicos, nesse contexto, que vão além do abastecimento de água, energia elétrica, gás natural, coleta de resíduos, tecnologia da informação e comunicação, drenagem, irrigação e a disponibilidade logística – rodovias, ferrovias, aeroportos e portos (SANCHES JUNIOR, 2008). Resultados de pesquisas apontam que os investimentos em infraestrutura de transporte geram maior retorno e mais benefícios sociais e ambientais que financeiros (BADASSA; SUN; QIAO, 2020; HUNTER *et al.*, 2020; VENEZIA; PIZZUTILO, 2020). Por tudo isso, independente da origem do capital, os investimentos devem ser orientados por políticas e agências públicas.

Investimentos em infraestrutura de transportes são intensivos em mão de obra no curto prazo e demandam grande volume de insumos no médio e longo prazo para manutenções e reparos. Indiretamente, influenciam positivamente a concentração populacional e a aglomeração da atividade comercial e industrial (ALBANESE; DE BLASIO; LOCATELLI, 2020). A intensificação do fluxo de pessoas e de mercadorias na infraestrutura de transporte reflete no crescimento econômico (ARBUÉS; BAÑOS; MAYOR, 2015; COSCI; MIRRA, 2018; PIKE; RODRÍGUEZ-POSE; TOMANEY, 2016; QI *et al.*, 2020; XU; WANG, 2017)

Os investimentos em infraestrutura de transporte permitem a disponibilidade e a acessibilidade das movimentações físicas de produtos e pessoas. Isso porque realiza o suporte físico para as transações comerciais e operacionais locais. Isso pode ser observado a partir do transporte de matéria prima, mão de obra, produtos semiacabados e acabados (SONAGLIO *et al.*, 2010). Os recursos financeiros aplicados em sistemas de transportes permitem ganhos de eficiência no sistema produtivo, na remuneração dos fatores de emprego e renda. Esses recursos são reflexos do impacto positivo de rendimentos crescentes e de

externalidades positivas na atividade econômica quando tem-se investimentos em infraestrutura de transporte (FARHADI, 2015).

O efeito dos investimentos primários em infraestrutura de transportes também refletem socialmente, permitindo o acesso e o deslocamento de pessoas e passageiros, corroborando para a acessibilidade (BANISTER; BERECHMAN, 2003). Os investimentos em infraestrutura favorecem mobilidade, permitindo ganhos de produtividade laboral e de mercado (GRAHAM, 2014), além de favorecer a concentração de mão de obra local, concentração populacional e a aglomeração comercial e industrial.

A partir da acessibilidade, é possível observar o aumento dos níveis de emprego, aumento do fluxo da mão de obra e crescimento populacional, pois o local torna-se atrativo. A relação positiva da acessibilidade com a atratividade fomenta, desse modo, a economia local (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017). O desempenho proporcionado pela acessibilidade permite a competitividade de empresas locais e contribui para a redução de custos de transportes, por reduzir o *lead time* (GUNASEKERA; ANDERSON; LAKSHMANAN, 2008; LI, FENG; LI, 2018) e a redução de estoques (BEAUDOIN; FARZIN; LAWELL, 2015; SPERANZA, 2018). O desempenho também é percebido ao longo da cadeia de suprimentos, pois as empresas configuram sua rede para além da gestão de transportes nos locais onde se instalam – em função da acessibilidade, dos níveis de estoques, o quanto produzir e os recursos financeiros disponíveis, informações, competitividade tecnológica e mercado consumidor, demanda por bens e serviços (WU, CHUNSHANG, 2019).

No entanto, investir recursos financeiros em infraestrutura de transportes também pode ter efeitos insignificantes ou até negativos para a atividade econômica (ANSAR *et al.*, 2016; EVANS; KARRAS, 1994; JIANG; JIANG; ZHENG, 2020), com perda de produtividade (BOARNET, 1996), e perda de atratividade (MORENO; LÓPEZ-BAZO, 2007) ao não refletir em níveis de crescimento econômico desejados. Muitos desses casos são observados em investimentos secundários vultuosos em infraestrutura de transporte em países desenvolvidos. Isso porque, como apontam Banister e Berechman (2003), esses casos tendem a não surtir grandes impactos a partir de investimentos primários de novos terminais e redes de transportes já existentes, se comparado a países em desenvolvimento carentes de terminais e de acessibilidade locais para passageiros e mercadorias.

É importante enfatizar, como sustenta Badri (2007), que os investimentos em infraestrutura de transportes são um dos fatores de decisão de localização de empresas, que são baseadas em fatores internos e externos. Fatores internos tangem ao transporte, mão de obra, insumos,

mercado, conhecimento industrial, facilidades, governo e política, estrutura de impostos e taxas, clima e sociedade. Os fatores externos relacionam-se ao ambiente externo em que empresa está inserida como política externa de outros países, competitividade global, legislação governamental e fatores econômicos.

A disponibilidade, a acessibilidade e a atratividade incentivam empresas a aglomerarem localmente formando *clusters*, compartilhando capacidade em infraestrutura e transporte (BULIS; SKAPARS, 2013; HSIEH, 2014; LIU; LI; SI, 2017), podendo formar *clusters* regionais e internacionais que compartilham interesses operacionais, comerciais, tecnológicos, de recursos, de conhecimentos ou de habilidades técnicas (DELGADO; PORTER; STERN, 2015), para competitividade no mercado (NING; XU; ZHANG, 2019). Contudo, nesse sentido, os *clusters* são compostos por diferentes indústrias e segmentos que, consequentemente, demandam diferentes necessidades de infraestrutura de transporte de cargas (NILSEN et al., 2017a), como por exemplo: tecnologia e saúde (alto valor agregado e baixo volume) demandam aeroportos, mineração, siderurgia e agronegócios (baixo valor agregado e alto volume) demandam ferrovias e portos, que também não impedem de demandarem infraestrutura rodoviária.

2.2 Demanda por infraestrutura de transportes e a atividade econômica

O crescimento e concentração populacional no meio intensificam o uso da infraestrutura disponível, seja pelo transporte de passageiros e mercadorias, seja pelos bens de consumo. Essa interação também pode ser observada por meio da ocupação do solo, dos sistemas de transportes, das transações econômicas e das relações sociais. As interações sociais e econômicas geram necessidade de deslocamento de passageiros e mercadorias, configurando a demanda por deslocamento. Interações de necessidades são distintas de deslocamentos individuais ou coletivos de pessoas e mercadorias pela infraestrutura física disponível. Os deslocamentos individuais são realizados a pé, em bicicletas, em motocicletas, em veículos de passeio, em barcos ou em conjunto, por coletivos, como utilitários, caminhões, ônibus, metrôs, trens, balsas e aviões que configuram, em parte, o sistema de mobilidade ou de transporte urbano (MARRA, 2000).

De forma agregada, a demanda por deslocamento é qualificada como de pessoas / residentes ou de mercadorias / produtos / carga. Esses deslocamentos são classificados como rotineiros, empresariais, eventuais ou contínuos. Os deslocamentos rotineiros possuem a característica residencial, tais como correios, gás, coleta de lixo. Os deslocamentos empresariais estão relacionados aos insumos industriais, tais como coleta de resíduos industriais, matéria prima,

combustíveis. Os deslocamentos eventuais possuem a característica residencial, como móveis, alimentos e encomendas; e empresariais, como de máquinas e de materiais de construção. Por fim, os deslocamentos contínuos podem ser residenciais e empresariais, como água, energia elétrica, telefone e comunicação de dados (MARRA, 2000). A demanda por transporte depende da população e da atividade econômica local que pode variar com a infraestrutura de transporte disponível (POLZIN; CHU, 2014). A concentração populacional promove o efeito crescente na demanda por transportes, pois intensifica o transporte de passageiros e o consumo de bens e serviços. O aumento da demanda por transporte (deslocamentos) intensifica o uso da infraestrutura de transporte local disponível.

Nesse sentido, torna-se complexa a interação da demanda por deslocamentos junto da infraestrutura de transportes disponível. A infraestrutura de transporte requer constantes adequações de capacidade para atender à crescente demanda por deslocamento de bens e de passageiros. Esses investimentos são classificados em primários e secundários. O investimento primário é caracterizado pela instalação ou implementação inicial de infraestrutura; e o secundário classifica-se por melhorias, adaptações, ampliações nos sistemas já existentes de mobilidade urbana, tais como rodovias, ferrovias, vias navegáveis, aeroportos, terminais, túneis, pontes e portos (BANISTER; BERECHMAN, 2003).

Nesse contexto, a economia contemporânea fundamenta a economia geográfica na teoria dos retornos crescentes, custos de transportes e nos fatores de produção. A teoria de retornos crescentes sustenta o desenvolvimento continuado crescente espacial a partir da concentração e comportamento econômico local (FUJITA *et al.*, 2002). Marshall (1920) analisou a relação de concentração econômica espacial em distritos industriais e comprovou que as aglomerações das atividades econômicas locais podem ser em razão do excesso de conhecimento, habilidades ou competências técnicas concentradas e da interação em cadeia de grandes mercados locais. Marshall deparou-se com dificuldades de modelagem econômica agregada, solucionadas por Dixit e Stiglitz (1977). O modelo Dixit-Stiglitz de concorrência monopolista (*monopolistic competition model*) apresentou consistentemente uma modelagem que explicou as escolhas individuais e agregadas sob rendimentos crescentes de produção em determinada localidade, mesmo com limitações monopolísticas.

Interações das atividades econômicas entre organizações produzem externalidades locais, apontado em Thünen (1826), referente à relação dos custos de transporte com a produção local. O modelo demonstrou que os custos com transporte produzem diferentes rendimentos de produção local, que espacialmente são representados por anéis concêntricos a partir do ponto de concentração. Os rendimentos diferentes são explicados pela variação no valor do

uso da terra que circunda a concentração central, as cidades. Assim, o custo de transporte apresenta diferentes valores para cada anel em torno da centralidade. Posteriormente, Alonso (1964) provou quantitativamente que esse fenômeno verifica-se em modelagens de cidades monocêntricas, ou seja, cidades com único local de concentração de atividades econômicas. Mesmo assim, nem Thünen nem Alonso conseguiram explicar o surgimento da concentração, o surgimento das cidades, pois assumiram previamente a existência de retornos crescentes para a intensificação dos centros locais de atividade econômica.

Henderson (1974) analisou e complementou o estudo de Thünen (1826), verificando que os centros de atividades econômicas locais, as cidades, possuem intensidades diferentes de concentração econômica no espaço. Cidades com economia de escala crescentes proporcionam vantagens e especificidades favoráveis à intensificação da atividade industrial em virtude da localização. Opostamente, em economias estagnadas ou decrescentes, independentemente do tipo de atividade e produção industrial, as cidades são conduzidas a um tamanho médio. Logo, Henderson (1974) concluiu que a intensificação da atividade econômica local favorece o crescimento e a configuração do tamanho ótimo das cidades.

No entanto, as contribuições realizadas, até então, não eram capazes de explicar os espaços geográficos existentes com mais de um local de concentração de atividade econômica. Ao analisar cidades e regiões policêntricas, Fujita (1982) verificou que as cidades possuem força “centrípeta”, à medida que a intensificação das atividades econômicas caminha em sentido ao centro. Esse efeito é produzido a partir da demanda por mão de obra pelo deslocamento de trabalhadores para o centro econômico. A demanda por mão de obra concentrada geograficamente favorece o surgimento de aglomerações populacionais, dando origem às cidades. O mesmo ocorre em sentido oposto, uma força “centrifuga” à descentralização econômica, a fim de evitar os altos custos dos aluguéis, que influência o trabalhador a migrar para fora. Assim, Fujita (1982) contribuiu para consolidar a explicação do surgimento das cidades a partir de Thünen (1826).

Aprofundando na análise da atividade econômica local, Pred (1966) verificou que a renda expendida em bens de consumo não é constante nas cidades, mas que, de forma agregada, depende da concentração econômica regional. Baseado na teoria dos retornos crescentes, ampliada a economia agregada local, com muitos produtores e muitos consumidores locais, confirmou a relação direta: quanto maior o consumo local, maior é variedade de produtos e serviços disponíveis localmente. Delgado *et al*. (2015) foi adiante nessa discussão, sustentando que um mercado economicamente desenvolvido consegue manter organizações industriais localmente, em função do volume de transações econômicas.

Para compreender, então, os fatores econômicos que incentivam as indústrias a se instalarem em determinadas cidades, Harris (1954) observou que indústrias se instalam próximas ao mercado potencial, levando em consideração os custos de produção de mão de obra e custos com transporte de matéria prima e produtos acabados. Desse modo, o autor concluiu, com base no poder de compra, que regiões altamente industrializadas proporcionam elevado potencial de mercado. Essa conclusão foi baseada considerando os custos de transportes e produção decrescentes, uma vez que as indústrias se inter-relacionavam em economias concorrenciais. Entretanto, como também observa Conrad (2005), em economias locais, com intenso controle governamental, os custos tendem a não ter grandes diferenças.

Nesse contexto, a intensificação da atividade econômica local foi explicada pelo fluxo circular da renda entre famílias e organizações que realizam transações cotidianas, compartilhando escolhas e, consequentemente, definindo onde consumir e onde produzir (LEONTIEF, 1928; SAMUELSON, 1991). A partir dessa interação, concentrações populacionais, econômicas e geográficas favorecem a formação de aglomerações sociais em centros residenciais, comerciais, industriais e agrícolas. A concentração social em um mesmo espaço geográfico favorece o surgimento de povoados, distritos e cidades, que, em si, criam o ambiente sustentável e crescente para o desenvolvimento econômico e social (FUJITA, 2002).

Scott (2000) verificou as produções acadêmicas dos últimos 50 anos em economia regional, e, especificamente, a geografia econômica. Observou a abordagem de três vertentes principais, análise espacial / geográfica da atividade econômica local, economia política e por interações regionais globais. Ressaltou as recentes discussões sobre o comportamento econômico concentrado geograficamente e a concepção da localização da atividade econômica como estratégica. Desde o estudo pioneiro de Thünen (1826), quase dois séculos atrás, para explicar a formação das cidades, diversos autores, tais como Marshall (1920), Christaller (1933), Losch (1954), Harris (1954), Alonso (1964), Pred (1966), Dixit e Stiglitz (1977), Fujita (1985) e Fujita *et al.* (2002), contribuíram para a compreensão, modelagem e explicação sobre o movimento de desenvolvimento das atividades econômicas locais que configuram as cidades que restam hoje.

Uma vez configurada a concentração populacional configurando as cidades, tem-se em conjunto o desenvolvimento da atividade econômica, que se localiza de maneiras distintas geograficamente. Diversos são os fatores de localização de empresas em cidades: transporte, mão de obra, insumos, mercado, conhecimento industrial, facilidades, governo e política, estrutura de impostos e taxas, clima e sociedade (BADRI, 2007). Nesse sentido, é relevante

verificar como é o processo de configuração da atividade econômica e a classificação para a formação *clusters* nesses espaços geográficos.

2.2.1 Localização da atividade econômica e formação de clusters geográficos

Cluster é a denominação ou classificação de organizações agrupadas que compartilham externalidades mutuamente. Os clusters podem ser definidos, segmentados ou classificadas sob diferentes condições, informações ou relacionamento (FUJITA et al., 2002; PORTER, 2003). Diferentes empresas compõem os *clusters* de negócio, e, consequentemente, distintas ou específicas são as necessidades da demanda de infraestrutura de transportes para a movimentação de insumos, produtos e mercadorias. A economia regional busca compreender essas características e fatores econômicos em virtude de sua localização geográfica. Dessa maneira, aglomerar ou segmentar comercialmente ou industrialmente os agentes econômicos e organizações, segundo suas características compartilhadas ou similares, possibilita identificar a presença de *clusters* locais.

Delgado *et al*. (2015) utiliza como premissa para *clusters* as concentrações geográficas relacionadas a indústrias e instituições associadas, que são formados pela aglomeração de indústrias que compartilham externalidades com interesses operacionais, comerciais, tecnológicos, habilidades, conhecimentos ou recursos. As aglomerações não necessariamente são formadas geograficamente por indústrias e empresas do mesmo segmento ou similaridade. As aglomerações são formadas segundo interesse próprio em fornecer ou produzir competitivamente a vários mercados distintos (PORTER, 2003; KETELHOHN, 2003).

Identificada a configuração de *clusters* locais, Delgado *et al.* (2015) afirma que as organizações compartilham informações, estrutura e tecnologia, trazendo adaptação e resposta rápida às necessidades do mercado. Chen e Chih Cheng (2014) verificou que respostas rápidas ao mercado por organizações configuradas em *clusters* caracterizam forte competitividade entre organizações. Posteriormente, Hales (2016) desenvolveu seu trabalho para compreender a *performance* operacional dessas organizações. Contudo, esses trabalhos pressupõem a pré-existência de *clusters* locais.

Entender a industrialização a partir de sua localização espacial remete também a analisar como são formadas e desenvolvidas atividades industriais geograficamente localizadas. Porter (2003) argumentou a necessidade de se analisar historicamente o desenvolvimento da indústria local para a compreensão e a composição da formação econômica atual. O

conhecimento histórico permitiria dar suporte a novos incentivos de desenvolvimento econômico local. As organizações diante dessa perspectiva definiriam novas estratégias, objetivando a competitividade. Woodburn (2004) observou que as estratégias de competitividade podem ser baseadas na localização geográfica estratégica de produção, armazenagem, transporte e no potencial de mercado.

Christopher (1998) enfatizou que as empresas mais competitivas no mercado recebem suporte da configuração operacional a partir de sua rede de suprimentos. Para serem competitivas no mercado, Hales (2016) ressaltou também que as empresas precisam atender aos clientes e realizar investimentos em fatores, tais como escala operacional, infraestrutura, localização, nível de serviço, taxas, legislação, estrutura institucional, recursos financeiros, reputação e preço. Assim, identificar e classificar os *clusters* em fatores e as suas características similares entre organizações desempenha um papel importante para buscar o desenvolvimento econômico local (PORTER, 2003).

De acordo com Delgado *et al*. (2015) os *clusters* podem ser definidos em grupo de indústrias, concentradas em uma região geográfica, relacionadas por características comuns, tais como habilidades, tecnologia e demanda, entre outras. Estudos recentes buscam compreender a melhor forma de se classificar o agrupamento de *cluster* industriais, separando e categorizando as organizações, de acordo com os seus segmentos industriais, utilizando-se de métodos quantitativos e qualitativos (CHEN, 2014 ; GRUBIŠIĆ *et al*. 2016 ; KWAK *et al*., 2018 ; LI, 2012; GUAN, 2012 ; MOSHTARI, 2017). Nesse sentido, os efeitos da aglomeração de empresas em determinada localidade podem ser divididos em duas categorias principais, atividades econômicas similares e localização das atividades econômicas (NILSEN *et al.*, 2017a).

Outros estudos como os de Bulis (2013) e Liu (2017) classificou os *clusters* industriais a partir da similaridade geográfica, dos quais verificaram que, em alguns casos, empresas próximas beneficiam a capacidade em infraestrutura e operações logísticas compartilhadas, por exemplo, o transporte. Tais benefícios foram encontrados mesmo em indústrias de segmentos diferentes. Além da classificação e segmentação industrial, Chen *et al.* (2015), Ning *et al.* (2019), Rong (2015), Wang *et al.* (2011) e Shaw (2012) investigaram a dinâmica operacional, o relacionamento, a capabilidade e a colaboração entre empresas classificadas nos mesmos *clusters* industriais.

Além de estudos geograficamente locais, Kwak (2018) destacou-se por analisar fenômenos da cadeia de suprimentos em *clusters* distantes geograficamente, verificando os riscos

atribuídos a informações, relacionamento entre agentes e atividades operacionais internacionais. Em relação ao objeto de estudo e aplicação da técnicas de classificação e conceitos, as pesquisas recentes apontam para estudos avaliativos em navios, portos, rodovias e sistemas tecnológicos (GRUBISIC, 2016; XU, 2015; BULIS, 2013) e para análises integradas da cadeia de suprimentos referentes ao desempenho de utilização de rodovias, ferrovias e portos (KOTLYAROVA, 2017; LIU, 2017; LI, 2012; WANG, 2011; ZHOU, 2011, HU, 2003), também apontados em Santos e Martins (2020).

Nesse sentido, Porter (2003) baseou seu estudo em identificar com base histórica e quantificar a *performance* de regiões econômicas, utilizando os fatores de mão de obra, salário e patentes para analisar empresas em determinadas localidades. Identificou que essas empresas compartilham atividades operacionais, comerciais, tecnológicas, de habilidades, de conhecimentos e de recursos com o objetivo de reduzir custos, trocar experiências e a competir no mercado com mais chances de sucesso. Bulis (2013), Hsieh (2014) e Liu (2017) contribuíram com a questão, classificando os *clusters* de negócios a partir da proximidade geográfica. Verificaram que, em alguns casos, empresas próximas beneficiavam-se da capacidade em infraestrutura e operações logísticas pelo compartilhamento de transportes. Tais benefícios foram encontrados em *clusters* de segmentos diferentes a partir do compartilhamento da mesma infraestrutura de transporte.

Os estudos abordam majoritariamente o desempenho das atividades operacionais relacionadas ao transporte rodoviário. Esses estudos analisam o desempenho individual da infraestrutura para transporte de cargas em rodovias, ferrovias, aeroportos e portos (HU, 2003; KOTLYAROVA, 2017; LI, 2012; LIU, 2017; WANG, 2011; ZHOU, 2011).

Os estudos relacionaram os fatores de localização geográfica isoladamente junto das atividades econômicas por meio da infraestrutura de transporte local. A contribuição de Badri (2007) corrobora isso, identificando os principais fatores de decisão para a localização geográfica. Identificou os fatores internos, tais como transporte, mão de obra, insumos, mercado, conhecimento industrial, facilidades, governo e política, estrutura de impostos e taxas, clima e sociedade. O autor também identificou fatores externos à empresa, como a política externa de outros países, a competitividade global, a legislação governamental e outros fatores econômicos. O estudo identifica os fatores, todavia não contribui em que medida qualitativamente e/ou quantitativamente esses fatores de decisão de localização geográfica estão relacionados aos *clusters* de negócios e a infraestrutura de transporte local.

Delgado *et al.* (2015), por sua vez, utilizou-se das contribuições de Ellison *et al* (2010), para propor um algoritmo para qualificar e quantificar os *clusters* de negócios nos Estados Unidos. Verificou-se, porém, que a modelagem proposta se adequa para explicar a composição e formação dos *clusters* de negócios, mas não considerou a disponibilidade de infraestrutura. O resultado disso indicou que os *clusters* econômicos não necessariamente se localizam na mesma região, podendo se localizar dispersos regionalmente ou globalmente. Trabalhos anteriores a esse, como o de Wu, (2010), constatou que os *clusters* distantes geograficamente se relacionam pela rede de suprimentos, considerando a disponibilidade de infraestrutura de transporte.

As redes de suprimentos são baseadas em decisões de localização, configuradas para maior acessibilidade à produção, armazenagem, transporte e mercado consumidor. Os relacionamentos podem ser identificados por meio dos fluxos transacionais de insumos e produtos, configurados na matriz de origem / destino. A matriz permite identificar o fluxo entre regiões de matéria prima, bens e produtos realizados por empresas em determinado período. A matriz tem sido utilizada amplamente em estudos logísticos para identificação qualitativa e quantitativa da interação regional entre empresas, tal como no estudo de Delgado *et al*, (2015).

2.3 Disponibilidade de infraestrutura de transportes e produtividade econômica

Empresas competem entre si a partir da cadeia de suprimentos (HARLAND, 1996), configuram essa rede buscando maximizar valor à medida que minimizam seus custos (CHRISTOPHER, 2017). Além disso, segundo Skinner (1969) e Porter (1997), elas configuram estratégias operacionais a fim de obter vantagens competitivas, executando diferentes atividades e processos em relação a seus concorrentes, de modo a gerar valor aos clientes. Slack (1993) e Croxton *et al.* (2001) completam que elas competem por custos, qualidade, confiabilidade, velocidade e flexibilidade. Desenvolvem e realizam a gestão de relacionamentos ao longo da rede de suprimentos, interagindo processos intraorganizacional (MENTZER *et al.*, 2001). Delgado, Porter e Stern (2015) também colocam que elas trocam entre si informações, estrutura, tecnologia, trazendo adaptação e resposta rápida às necessidades do mercado. Nesse sentido, como já dito, as empresas tendem a compartilhar operações logísticas e infraestrutura de transporte a fim de obter melhor *performance* (BULIS; SKAPARS, 2013; HSIEH, 2014; LIU, LI; SI, 2017).

É neste sentido que este estudo buscou verificar o impacto e o reflexo resultante da disponibilidade da infraestrutura de transportes quanto à atividade econômica, mensurando,

assim, o impacto na produtividade, tanto positivo quanto negativo. Conceitualmente, é preciso observar que, em operações e logística, *performance* é diferente de produtividade. *Performance* em logística está atribuída à eficiência, ao desempenho de indicadores de processos operacionais, como nível de serviço, *lead time, turnover*, estoques, e financeiros, como custos, investimentos, orçamentos. Produtividade está relacionada à relação de capacidade de desempenho, à relação de efetividade econômica de transformação produtiva (ANDERSSON *et. al.* 1989). Atribui-se à produtividade, a eficácia, por meio da capacidade produtiva de utilização de recursos para produzir bens e insumos, ou seja, capacidade de transformação de insumos em produtos (STABLER, 1996).

De acordo com Lynch e Cross (1995), a produtividade dos fatores pode ser dividida em três grupos principais: (1) fator parcial pela razão de produção e insumos únicos; (2) fator total pela razão de produção e insumos do valor agregado líquido; e (3) fator total pela razão de produção e insumos do valor agregado em todos os produtos e insumos. Desse modo, a produtividade é representada pela taxa de produção ou taxa de transformação, por meio da razão entre produto e insumo. A exemplo, de forma genérica, conforme coloca Stabler (1996), tem-se a variável de produto, a *proxy* de produção total, e para variáveis de insumos, o somatório de *proxies* de capital, trabalho, materiais e demais insumos.

Dessa forma, os estudos recentes contribuem para o desenvolvimento de métodos para a análise da relação da infraestrutura econômica e da atividade econômica, especificamente os apresentados na Tabela 3, que diferem do presente trabalho com o foco específico nos modos de transporte de carga. No entanto, os métodos consensuais e mais aceitos mundialmente são o *Global Competitiveness Index* (GCI), do Fórum Econômico Mundial, e o *Logistics Performance Index* (LPI), do Banco Mundial, já mencionados, que serão apresentados a seguir com suas implicações e limitações, que não refletem diretamente na análise da infraestrutura de transportes junto à atividade econômica.

2.3.1 Principais indicadores de performance logística

Na tratativa de contribuir para a compreensão da *performance* logística, tem-se o índice desenvolvido pelo Fórum Econômico Mundial, o *Global Competitiveness Index* (GCI), que, indiretamente, tem em sua composição a análise da infraestrutura. O indicador também é considerado como ferramenta de *benchmarking* internacional como índice comparativo de competitividade, voltado a qualificar países na tentativa de incentivar investimentos externos. O índice incorpora 12 eixos principais, com variáveis econômicas e sociais, tais como instituições, infraestrutura, telecomunicações, estabilidade macroeconômica, saúde,

habilidades, mercado, mercado de trabalho, sistema financeiro, tamanho do mercado, dinâmica de negócios e capabilidade, conforme Apêndice C do índice na versão 4.0 (WORLD ECONOMIC FÓRUM, 2018).

Especificamente quanto à infraestrutura, o GCI avalia a qualidade de rodovias, a qualidade da infraestrutura rodoviária, densidade de tráfego de ferrovias, eficiência no serviço de transporte férreo de passageiros, conectividade entre aeroportos, eficiência no serviço de transporte aéreo de passageiros, competitividade linear de navios, eficiência no serviço de transporte marítimo de passageiros, acesso à eletricidade, qualidade do fornecimento de energia, exposição à água potável contaminada e confiabilidade do abastecimento de água (WORLD ECONOMIC FÓRUM, 2018). Nesse sentido, o indicador considera o conceito amplo de infraestrutura, relacionada à infraestrutura econômica (GANELLI; TERVALA, 2010) e comumente utilizado nos estudos acadêmicos (AIELLO; PUPO; RICOTTA, 2014; ALBALA-BERTRAND; MAMATZAKIS, 2007; ARIF; JAVID; KHAN, 2021; BOISSO; GROSSKOPF; HAYES, 2000; BRONZINI; PISELLI, 2009; DESTEFANIS; SENA, 2005; FAIÑA; LOPEZ-RODRIGUEZ; MONTES-SOLLA, 2018; FARHADI, 2015; FOUSEKIS, 1997; JIANG; JIANG; ZHENG, 2020; KHANNA; SHARMA, 2018; LA FERRARA; MARCELLINO, 2000; MITRA; SHARMA; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2016; MITRA; VAROUDAKIS; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2002; SHARMA; SEHGAL, 2010; TAN; HUANG; WOO, 2016; YANG; GAOJU *et al.*, 2020; YEAPLE; GOLUB, 2007; ZHANG, XUEWEI; ZONG, 2019). Consequentemente, o GCI não analisa intrinsecamente a relação da infraestrutura de transportes com a atividade econômica.

Nesse contexto, com a finalidade de analisar especificamente a infraestrutura logística, o *World Bank* desenvolveu o *Logistics Performance Index* (LPI), com o primeiro estudo realizado em 2007 que visou compreender e comparar os efeitos da logística em determinados países e regiões. Como já dito, indicador é considerado uma ferramenta de *benchmarking* internacional, como índice de avaliação da *performance* logística, pois tem em sua premissa avaliar a infraestrutura de transportes e informações da cadeia de suprimentos. No último estudo realizado pelo WB, em 2018, foram comparadas as *performances* de 160 países, cujos *surveys* foram dados pelo *feedback* operacional que tem como base operadores logísticos globais, despachantes de carga e transportadoras com dados quantitativos de desempenho. O LPI tem como objetivo medir o desempenho logístico na cadeia de suprimentos de um país, permitindo a comparação com duas perspectivas diferentes, a internacional e a nacional (WORLD BANK, 2021).

O LPI tem como base avaliar seis eixos principais que buscam representar o desempenho da cadeia de suprimentos como: alfândega (eficiência no processo aduaneiro), infraestrutura (qualidade da infraestrutura de telecomunicações, informática e transporte), facilidade de embarques internacionais (competitividade em custos), qualidade e competência logística (localização e rastreamento de carga), pontualidade (a partir da frequência em que prazos são cumpridos). Os respondentes atribuem pontuações na escala de 0 a 5 para as distintas perguntas que qualificam os eixos. Após a equipe técnica do LPI realiza o processamento de dados, e aplicação de pesos, utilizam a metodologia da Análise do Componente Principal para a mensuração do indicador (WORLD BANK, 2021).

Diversas são as limitações e fragilidades apontadas na literatura para a mensuração do LPI. Isso se dá pela visão abrangente internacional com amplas áreas da logística e limitada ao relacionar superficialmente aspectos tecnológicos ou de infraestrutura (MARTÍ; PUERTAS; GARCÍA, 2014). Ademais, não conseguem representar intrinsecamente o desempenho logístico por considerar somente grandes operadores logísticos, sendo assim, países peninsulares ou que não realizam comércio marítimo tendem a limitar as respostas e consequentemente o indicador (ARVIS *et al.*, 2016). Quanto à metodologia de mensuração paramétrica, outra questão relevante está presente no pressuposto da correlação entre investimento em infraestrutura e impacto positivo no desempenho logístico, o que não acontece na prática (GUNER; COSKUN, 2012). Intensificam-se, então, as fragilidades, a incorporação de pesos praticamente iguais para avaliarem todos os países, produzindo viés na estimativa ao considerar que países subdesenvolvidos têm o mesmo desempenho proporcional que países desenvolvidos (REZAEI; VAN ROEKEL; TAVASSZY, 2018).

Mesmo com as implicações do CGI e do LPI, esses são índices amplamente utilizados, de referência internacional, com diversas contribuições acadêmicas para complementar e analisar diferentes perspectivas. No entanto, ainda persiste lacunas como, não explicar a relação da produtividade econômica a partir da disponibilidade da infraestrutura de transportes. Em face das contribuições que este trabalho se propõe a dar, principalmente ao LPI, visa-se, então, aprofundar, especificamente, na relação e impacto da infraestrutura de transportes e seu reflexo na atividade econômica.

2.3.2 Fatores que afetam a produtividade dos sistemas de transportes

Boa parte dos estudos analisam o desempenho da logística relacionado à infraestrutura de transportes disponível, avaliando o impacto individual da infraestrutura de transporte disponível de rodovias, ferrovias, aeroportos e portos (HU, 2003; KOTLYAROVA, 2017; LI,

2012; LIU, 2017; WANG, 2011; ZHOU, 2011). Outros exploram o desempenho logístico integrado ou intermodal (BAUER, 2010; HANAOKA, 2011; KREUTZBERGER *et al.*, 2003; PRANDTSTETTER *et al.*, 2016), mas divergem sobre o efeito positivo e negativo da infraestrutura em sistemas de transporte, pois o efeito do desempenho é local, remetendo à acessibilidade (BANISTER; BERECHMAN, 2003) e à atratividade (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017), corroborando controvérsias na discussão de investimento em infraestrutura de transporte. Para minimizar essas controvérsias de desempenho (no sentido de eficiência), é necessária a compreensão da produtividade (no sentido de eficácia), pois pode-se haver efeito da eficiência (desempenho positivo local), sem que haja eficácia (produtividade econômica nula ou até negativa) da relação entre a infraestrutura de transportes e a atividade econômica.

Há impacto positivo da infraestrutura de transporte quanto à instalação ou ampliação de terminais de carga para integrar modalidades, tais como o rodoviário e o ferroviário, com reflexo no prazo de produção e na redução de custos de armazenagem (BANISTER, 2003), além da redução direta de custos em transportes e no *lead time* de entregas (GUNASEKERA; ANDERSON; LAKSHMANAN, 2008; LI; FENG; LI, 2018) e em níveis de estoques (BEAUDOIN; FARZIN; LAWELL, 2015; SPERANZA, 2018). Contrariamente, também pode ter impacto insignificante positivo e / ou negativo na atividade econômica (ANSAR *et al.*, 2016; EVANS; KARRAS, 1994; JIANG; JIANG; ZHENG, 2020), com perda de produtividade decorrente da baixa capacidade instalada (BOARNET, 1996) e perda de atratividade das condições locais (MORENO; LÓPEZ-BAZO, 2007).

Montolio e Solé-Ollé (2009) buscaram analisar a produtividade da infraestrutura de transportes na modalidade de rodovias, avaliando a relação da disponibilidade em termos de extensão e intensidade de tráfego. Os autores concluíram que os investimentos em infraestrutura rodoviária no longo-prazo têm efeito positivo na produtividade local e são mais intensos em regiões economicamente ativas. Contudo, verificaram também que intensidade de tráfego (fluxo de veículos) ao ponto de congestionamento tem efeito negativo na produtividade econômica. Ainda assim, relevam o volume de carga transportada em termos de capacidade da via.

Álvarez e Bláquez (2014) verificaram que o sistema de transporte rodoviário, a partir do valor financeiro investido ao longo do tempo, tem efeitos decrescentes, evidenciando o impacto irregular e positivo da produtividade nos anos iniciais e terminando negativo ao longo do período de estudo. Concluíram também que locais com concentração de atividade econômica interconectadas geograficamente afetam regiões periféricas, próximas à área de

concentração. Yang e Wang (2018) com base na densidade de rodovias, relativa (km/km²), verificaram que regiões economicamente concentradas e com maior densidade de rodovias atraem mais investimentos estrangeiros do que regiões de baixa densidade de rodovias em rodovias da rota da seda na China. Nesses estudos do transporte pela modalidade rodoviária, evidenciaram-se a produtividade relacionada à capacidade de transporte de carga na infraestrutura existente.

A produtividade da infraestrutura de transporte férreo é obtida com escala para grandes volumes de carga – comum para economias ou localidades de produção e transporte de *commodities* ou com presença da indústria da transformação (FERREIRA; OTWAY, 1993). Ferreira e Otway (1993) verificaram que mão de obra, número de vagões e operações e média distância afetam positivamente a produtividade. Verificaram também que a baixa produtividade do transporte ferroviário está relacionada à baixa densidade de tráfego, topografia irregular de terrenos e curtas distâncias operacionais para a modalidade férrea. Grahm *et al.* (2003), verificou que a combinação do transporte de cargas e de passageiros na mesma malha ferroviária contribuem para ganhos de produtividade, principalmente no meio urbano.

Grahm *et al.* (2003), também verificou que o número de empregados, o número de locomotivas disponíveis, a extensão da malha e o número de estações em operação têm efeito positivo na produtividade do transporte ferroviário de passageiros em locais de atividade econômica intensiva, como é o caso em áreas urbanas. Ressaltam ainda que, em casos de escassez de recursos financeiros para investimentos, a produtividade é maior em áreas de atividade econômica intensa do que em áreas periféricas, propiciando inviabilidades e reduções de extensão da rede férrea.

O fator carga transportada por quilômetro representa uma medida de produtividade para a rede férrea, fácil de ser mensurada, intuitiva quando há limite de dados (OUM; WATERS; YU, 1999), além do número de locomotivas por quilômetro, custo por locomotiva quilômetro (MIZUTANI; USAMI, 2016; NASH; SHIRES, 2000).

No caso da infraestrutura aérea, é imprescindível a intensificação econômica local, cuja produtividade é refletida no volume transportado de carga por aeronave. Outro fator de produtividade relaciona-se à expansão da capacidade operacional, com a extensão da rota e da desregulamentação do setor aéreo. Esses fatores foram observados nos Estados Unidos em 1976 e impactaram positivamente o crescimento da produtividade aérea (CAVES; CHRISTENSEN; TRETHEWAY, 1983).

A produtividade aérea está relacionada à disponibilidade de voos, cresce quando cresce a extensão de rotas (amplia as combinações de transporte) e quando há aumento do volume de carga transportada por aeronave – *load fator*, além da combinação do transporte de carga junto a passageiros, configurando economias de escala. Investimentos em infraestrutura aérea no curto e médio prazo podem apresentar baixa produtividade, pois o retorno econômico de investimentos em ativos aéreos são esperados no longo prazo (BALLIAUW *et al.*, 2016; CAHILL; PALCIC; REEVES, 2017).

A produtividade portuária, por sua vez, é afetada positivamente pelo crescimento de carga transportada em *containers*, e na capacidade operacional de embarque e desembarque de grandes navios comerciais nas instalações portuarias (CHANG; TOVAR, 2014). Estache *et al*., (2004), bem como Ye, Qi e Xu (2020), também verificaram que a regulamentação afeta a produtividade operacional portuária, mensurada a partir de: capital; *proxy* da área disponível para movimentação de carga e trabalho; *proxy* trabalhadores portuários por tonelada de carga; investimentos em infraestrutura; capacidade operacional; equipamentos; número de docas e extensão da área do pátio, e sistemas de informação afetam positivamente a produtividade portuária.

Como derradeiro exemplo sobre a produtividade das modalidades de transportes, a que é feita por dutos é mensurada também pelo volume transportado, com elevada automação e baixo custo de manutenção. Operacionalmente, apresenta maior segurança que outras modalidades, por exemplo, o transporte rodoviário e ferroviário; e custos de instalação muito superiores à rodovia no curto prazo, em que sua viabilidade econômica se realiza no longo prazo (GOFF; PARIL; SHIH, 2000). Ressalta-se, neste modelo, a operação intermitente, bem como o número de interconexões fixas (baixa mobilidade), pois são submetidas a diferentes legislações locais do uso e propriedade do solo para diferentes produtos transportados no estado sólido, pastoso, líquido, gasoso ou em cápsulas, e a dificuldade do transporte de produtos para longas distâncias – extensão do duto (EGBUNIKE; POTTER, 2011; WU, AI-XIANG *et al.*, 2018).

2.4 – Produtividade total dos fatores

A produtividade é, pois, mensurada a partir da combinação dos insumos para transformar em produto, ou seja, maximizar as unidades de produção a partir da minimização de unidades de insumos (JIANG; JIANG; ZHENG, 2020; LIU, ZHIQIANG, 2000). Desse modo, o impacto da decomposição da produtividade na economia tem implicações diferentes para cada região e setor, pois depende dos fatores de acumulação e ganhos de produtividade (WONG, 1999).

A compreensão da relação da atividade econômica e da disponibilidade da infraestrutura de transportes tem como foco quantificar a produtividade para este trabalho. A produtividade se alicerça na relação de eficiência em transformar insumos em produto, proposto inicialmente por Leontief (1951). Segundo o autor, essa seria a função de produção com a substituição perfeita de capital por trabalho. A partir dos anos de 1950, a academia concentrou-se em desenvolver teorias e métodos de cálculo para a produtividade, desenvolvendo, o conceito de Produtividade Total dos Fatores (PTF). De acordo com Albanese, de Blasio e Locatelli (2020), a PTF mensura o fator de produtividade a partir da relação final do produto, da combinação do capital, trabalho e materiais como insumos. A mensuração da PTF pode indicar as diferenças econômicas entre regiões a fim de que se estabeleça comparações e ações possam ser tomadas posteriormente (MUANKANG; OUMAR; OKI, 2020).

É nesse sentido que este estudo propõe medir e compreender as implicações da disponibilidade da infraestrutura de transportes na atividade econômica, mensurando o impacto em termos de produtividade. Atribui-se à produtividade, a eficiência, por conta da capacidade produtiva de utilização de recursos para se produzir bens e insumos, ou seja, capacidade de transformação de insumos em produtos por meio dos fatores (STABLER, 1996, já citado).

Nesse contexto, La Ferrara e Marcellino (2000) compararam diferentes metodologias e técnicas para mensurar a PTF a partir do impacto dos investimentos em infraestrutura na atividade econômica. Verificaram que os distintos métodos de estimação da função de produção ou da função de custos para os mesmos dados têm os estimadores com resultados diferentes. Apesar dos valores dos estimadores serem distintos por causa das distintas técnicas de cada método (valores diferentes), ao analisar separadamente as variáveis, concluíram que os efeitos convergiam para a mesma interpretação.

A rodutividade Total dos Fatores é como ficou conhecido, na literatura sobre esse assunto, o “resíduo de Solow”. Solow (1957) demonstrou que o crescimento da economia não podia ser

explicado apenas pelo crescimento do capital e do trabalho, mas por outra fonte de crescimento (resíduo). Para isso, o modelo supõe que a tecnologia é exógena, assumindo que todas as observações têm o mesmo processo tecnológico e não são afetadas por efeitos externos *ad hoc.*

No modelo proposto por Solow (1957), admite-se uma função de produção agregada que descreve a relação de produção (Y) e fatores de produção como capital (K) e trabalho (L). Quanto à função de produção, a forma mais comum utilizada nos estudos é a função do tipo Cobb-Douglas, exceção da função de elasticidade de substituição constante (CES). Essa, por sua vez, com características de elasticidade de substituição entre os fatores é igual 1 quando adotado retornos constantes de escala. Logo, se assumirmos a função do tipo Cobb-Douglas não expandida temos:

$$Y_t = A_t f(K_t, L_t)$$

em que Y_t representa o produto no tempo *t,* K_t e L_t são os fatores de produção que, respectivamente representam capital e trabalho. A_t representa a tecnologia no tempo t. Aplicando a diferencial na equação anterior, e dividindo ambos os lados por Y e omitindo a notação temporal, temos:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{A}}{A} + \frac{\partial Y}{\partial K}\frac{K}{Y}\frac{\dot{K}}{K'} + \frac{\partial Y}{\partial L}\frac{L}{Y}\frac{\dot{L}}{L'}$$

Em que para uma variável X qualquer, $\dot{X} = \frac{dX}{dt}$. Assim, admite-se pela teoria da firma que os fatores de produção são remunerados de acordo com seus produtos marginais. Normalizando o preço do produto como equivalente à unidade, e fazendo *r* e *w* os preços dos insumos capital e trabalho, respectivamente, tem-se $\partial Y/\partial K = r$ e $\partial Y/\partial L = w$. Dessa forma temos:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Y}{\partial K}\dfrac{K}{Y} = \dfrac{rK}{Y} = S_{k'} \\ \dfrac{\partial Y}{\partial K}\dfrac{L}{Y} = \dfrac{wL}{Y} = S_{l'} \end{cases}$$

Em que $S_{k'}$e $S_{l'}$ representam a participação do capital e do trabalho no valor do produto. Rearranjando a equação e definido a variável X como $\bar{X} = \dot{X}/X$, tem-se que:

$$\bar{A} = \bar{Y} - S_{k'}\bar{K} - S_{l'}\bar{L}$$

O termo a esquerda $\bar{A}$ representa a PTF, calculada como parte do crescimento do produto que não é explicada pelo crescimento dos insumos. Analogamente, se assumirmos a função do tipo Cobb-Douglas com retornos crescentes de escala temos:

$$Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}$$

Que então pode ser escrita como:

$$A = \frac{Y}{K^{\alpha}L^{1-\alpha}}$$

A é a PTF, para todo 0 < α < 1. Cada fator de produção prevê um fluxo de tecnologia produtiva a partir do estoque acumulado de investimentos passados. Esse fluxo produtivo constitui a medida adequada da produtividade. Assim, a PTF indica a eficiência com que a economia combina a totalidade de seus insumos e recursos para gerar produto. Logo, a PTF representa o indicador de progresso tecnológico da economia.

Diversos são os efeitos e implicações da PTF. Primeiramente, em virtude de a PTF ser o resíduo da função de produção, em termos fixos, ela aumenta na mesma proporção que a produtividade dos fatores de produção. Em segundo, ainda por ser o resíduo da função, à medida que os fatores de produção crescem (em termos de aumento no valor e / ou na parcela de contribuição), a PTF (resíduo ou parcela não explicada da função) tende a se reduzir. Terceiro, ao introduzir novos termos na equação, a PTF tende a reduzir seu valor, consequentemente, diminui a parcela não explicada da relação dos fatores de produção e a produção. Por fim, em quarto, por ser resíduo, pode apresentar viés na identificação e separação dos efeitos de ganhos de produtividade de erros de estimação (JONES; VOLLARTH, 2015; PENHA, 2014).

3 METODOLOGIA

Nesta seção, são apresentados os procedimentos adotados de forma sistemática para a execução do estudo proposto. Esses procedimentos dizem respeito às características do objeto, a seleção do método e suas especificidades paramétricas para a análise dos dados. Para a concisão e clareza, a metodologia está dividida em tópicos: (3.1) caracterização do objeto de estudo; (3.2) coleta e tratamento dos dados; (3.3) análise dos dados; (3.3.1) modelagem espacial e autocorrelação; (3.3.2) Análise envoltória de dados – DEA.

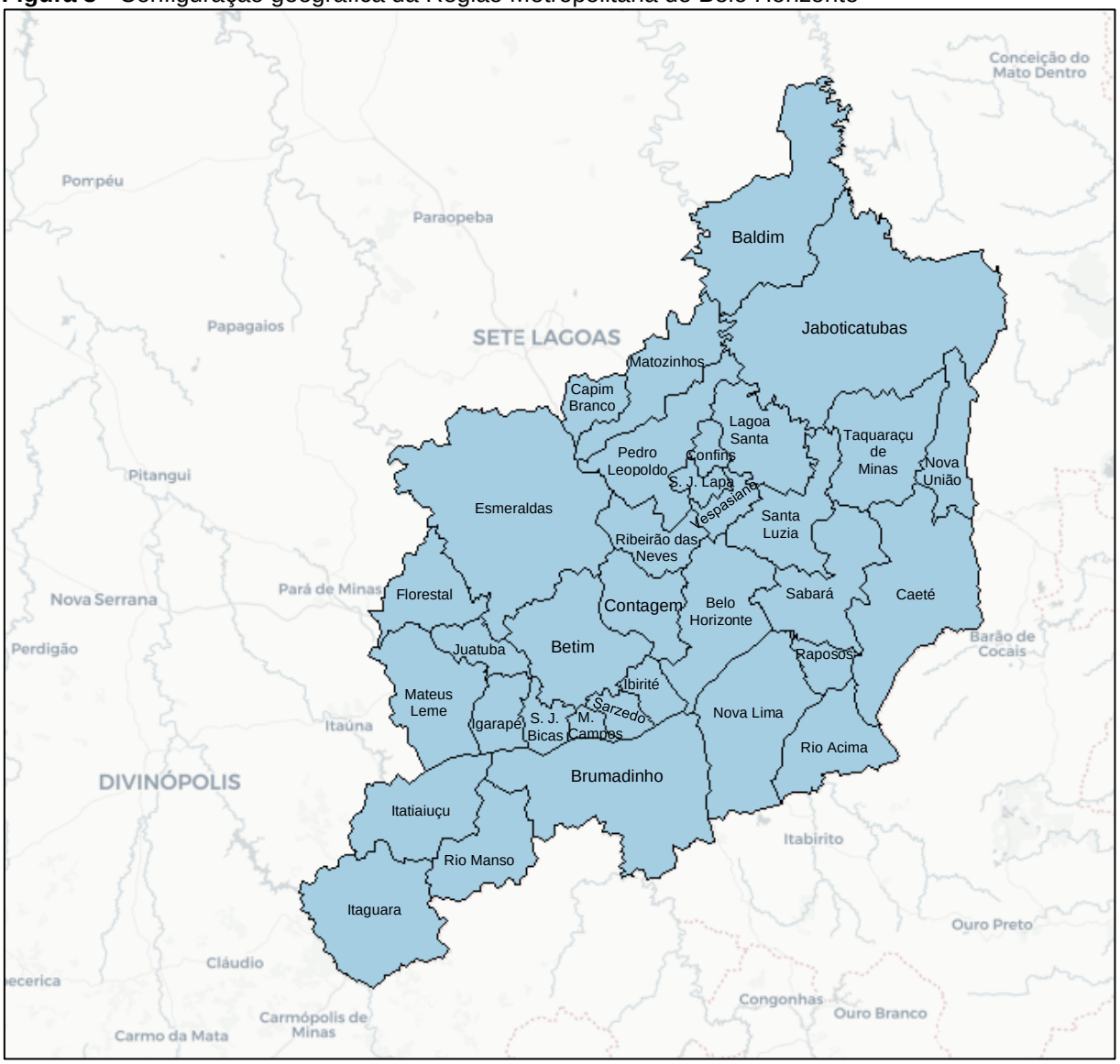
Este estudo é classificado, conforme Gil (2008), como descritivo, pois objetiva a observação, abordagem do problema e procedimentos. É nesse sentido que se observa a espacialização do transporte de cargas e sua relação com a atividade econômica. Observar, ordenar, registrar e analisar dados de forma quantitativa a partir da coleta de dados preexistente (dados secundários), *ex-post facto,* sem modificá-los. Além disso, conforme as definições de Creswell (2021), o estudo utiliza-se de métodos estatísticos e matemáticos para o tratamento e análise de dados, configurando uma abordagem quantitativa. A unidade em análise figura-se à produtividade das atividades econômicas de interesse e a unidade de observação figura-se na disponibilidade municipal de infraestrutura para sistemas de transportes de carga.

3.1 Objeto de estudo – caracterização do transporte de cargas na RMBH

O objetivo deste trabalho, como já colocado, é a compreensão do impacto da disponibilidade da infraestrutura de transporte de cargas na atividade econômica. O estudo adotou como objeto de pesquisa a região metropolitana de Belo Horizonte dado a parceria do Núcleo de Pesquisa em Logística Urbana e Mobilidade – URBLOG, situado no Departamento de Administração da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Nesse sentido, a unidade de análise são os 34 municípios dessa região. Esses municípios são interligados pela infraestrutura de transportes, em que estão presentes nas modalidades rodoviária, ferroviária, aeroviária e dutoviária. A modalidade portuária, lacustre, não está presente em nenhum dos 34 municípios da região metropolitana de Belo Horizonte. Os municípios utilizam majoritariamente o sistema de rodovias e estradas como meio de transporte de cargas, interligando outras cidades fora da região metropolitana, como Juiz de Fora, Governador Valadares, João Monlevade e Ipatinga. Também se verifica a utilização híbrida de modalidades, onde há rodovia e ferrovia para o transporte de minérios e produtos semiacabados (bobinas e fios de aço). Outros municípios, como Uberlândia, Confins e Montes Claros, utilizam sistemas híbridos de transporte, como rodoviário e aéreo, para o transporte de carga. É nesse sentido que este trabalho contribui, mensurando o impacto do fluxo de

carga transportado pela infraestrutura disponível em cada sistema de transporte na atividade econômica.

Figura 3 - Configuração geográfica da Região Metropolitana de Belo Horizonte

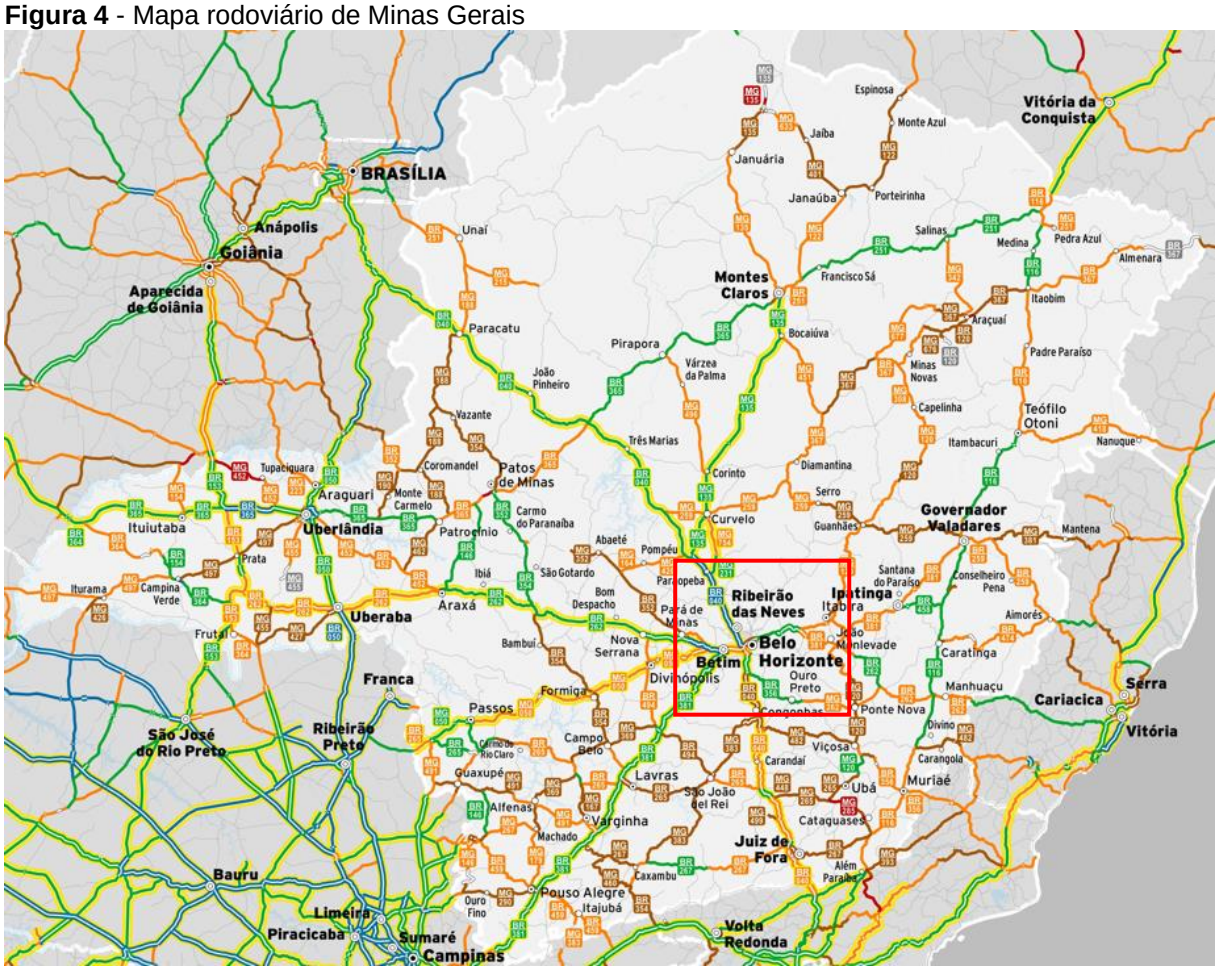


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.1 Região metropolitana de Belo Horizonte

A região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é composta de 34 municípios, que se distribuem geograficamente, conforme a Figura 3, formada pelos municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Caeté, Confins, Contagem, Esmeraldas, Ibirité, Igarapé, Juatuba, Lagoa Santa, Mário Campos, Mateus Leme, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa, Sarzedo, Vespasiano, Nova União, Taquaraçu de Minas, Itaguara, Itatiaiuçu, Rio Manso, Florestal, Baldim, Capim Branco, Jaboticatubas e Matozinhos.

Figura 4 - Mapa rodoviário de Minas Gerais



Fonte: DERMG (2020).

3.1.2 Transporte rodoviário na região metropolitana de Belo Horizonte

Para analisar a região metropolitana de Belo Horizonte, é preciso compreender sua participação no estado de Minas Gerais. Minas Gerais tem a maior malha rodoviária do Brasil, número equivalente a 16%, quando somado as rodovias estaduais, federais e municipais, totalizando, aproximadamente, 272 mil quilômetros, vide Figura 4 (TEMPO, 2021). Em função de a localização da capital Belo Horizonte situar-se geograficamente no centro do estado, a infraestrutura rodoviária expandiu as principais rodovias de forma radial e troncal a partir do centro (TORRES, 2015). Na avaliação anual do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER/MG), realizada em outubro de 2020, para condições de trafegabilidade, estimou-se que 61,4% da malha rodoviária analisada apresentou condições boas, 29,6% regular e 8,4% ruim (DERMG, 2020).

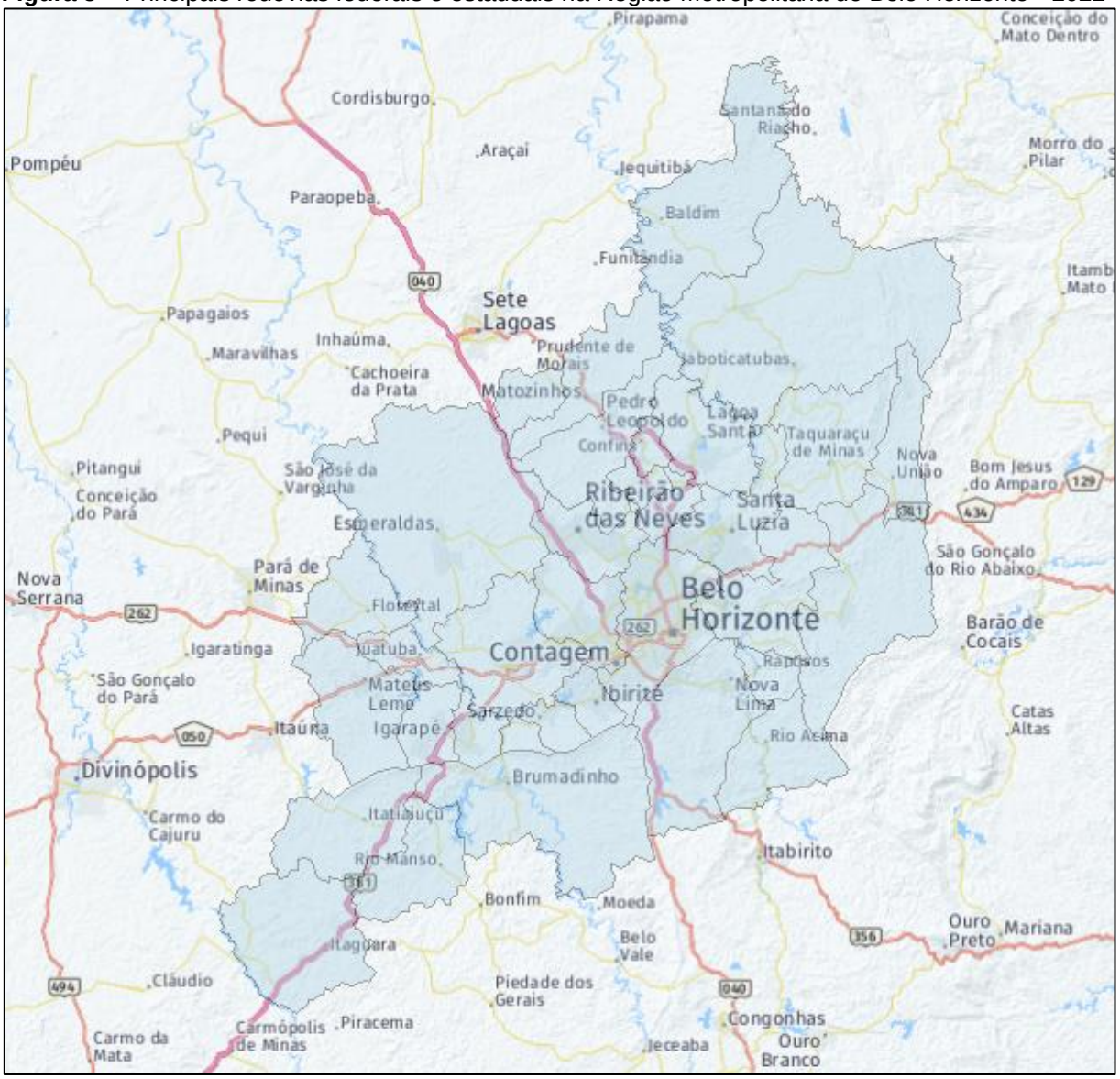
A frota de veículos automotores do estado, no ano de 2020, dividiu-se em 6,5 milhões de automóveis, número equivalente a 54,7%, seguido por motocicletas: 2,6 milhões de unidades,

proporcionais a 22,1%; 1,5 milhão de utilitários, 12,5%; 435 mil caminhões, 3,6%; 132 mil ônibus, 1,1%; e 5,8% de outros (MI, 2020). A Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (ARMBH) realizou, em 2017, a matriz de origem e destino de cargas para o estado. Verificou-se que 37,3% do volume de carga transportada no estado se dá entre a região metropolitana de Belo Horizonte, entre as cidades de Betim, Contagem, Belo Horizonte e Itabirito. Após a região metropolitana de Belo Horizonte, verificou-se volumes vultuosos com origem no Campo das Vertentes, com destino a Belo Horizonte, e de origem em Contagem e Betim, com destino ao Vale do Rio Doce.

Os municípios com infraestrutura rodoviária de trânsito rápido ou arteriais, de acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível são os que apresentam em seu território as rodovias “BR” (de jurisdição federal) e rodovias “MG” (de jurisdição estadual). Ademais, outros apresentam vias coletoras das rodovias “MG” (de jurisdição estadual), destinadas a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade e via local (de jurisdição municipal), caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas, segundo o Código Brasileiro de Trânsito (2022).

Logo, é possível identificar a presença dessas infraestruturas de transporte rodoviário nos municípios: como Belo Horizonte (BR-040, BR381, BR-262, MG-10, MG-20, MG-30, MG-040, MG-262, MG-806): Betim (BR-381, BR-262, MG-040, MG-050, MG-060, MG-155); Brumadinho (MG-040); Caeté (BR-381, MG-262, MG-435); Confins (MG-10, MG-424, MG-800); Contagem (BR-262, MG-808); Esmeraldas (MG-432, MG-060, MG-808); Ibirité (MG-040); Igarapé (BR-381); Juatuba (BR 262, MG-050, MG-818); Lagoa Santa (MG-10, MG-800); Mário Campos (MG-040, MG-155); Mateus Leme (BR-262, MG-050); Nova Lima (BR-040, BR-356, MG-030); Pedro Leopoldo (MG-424); Raposos (MG-150); Ribeirão das Neves (BR-040, MG-006, MG-424); Rio Acima (MG-030); Sabará (BR-381, MG-262); Santa Luzia (MG-020, MG-145, MG-433); São Joaquim de Bicas (BR-381); São José da Lapa (MG-424); Sarzedo (MG-040); Vespasiano (MG-010, MG-424); Nova União (BR-381); Taquaraçu de Minas (MG-900); Itaguara (BR-381, MG-040); Itatiaiuçu (BR-381, MG-431); Rio Manso (MG-381); Florestal (BR-262, MG-1, MG-818); Baldim (MG-323); Capim Branco (MG-424); Jaboticatubas (MG-10, MG-20, MG-323); e Matozinhos (MG-424).

Figura 5 – Principais rodovias federais e estaduais na Região Metropolitana de Belo Horizonte - 2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3 Transporte ferroviário na região metropolitana de Belo Horizonte

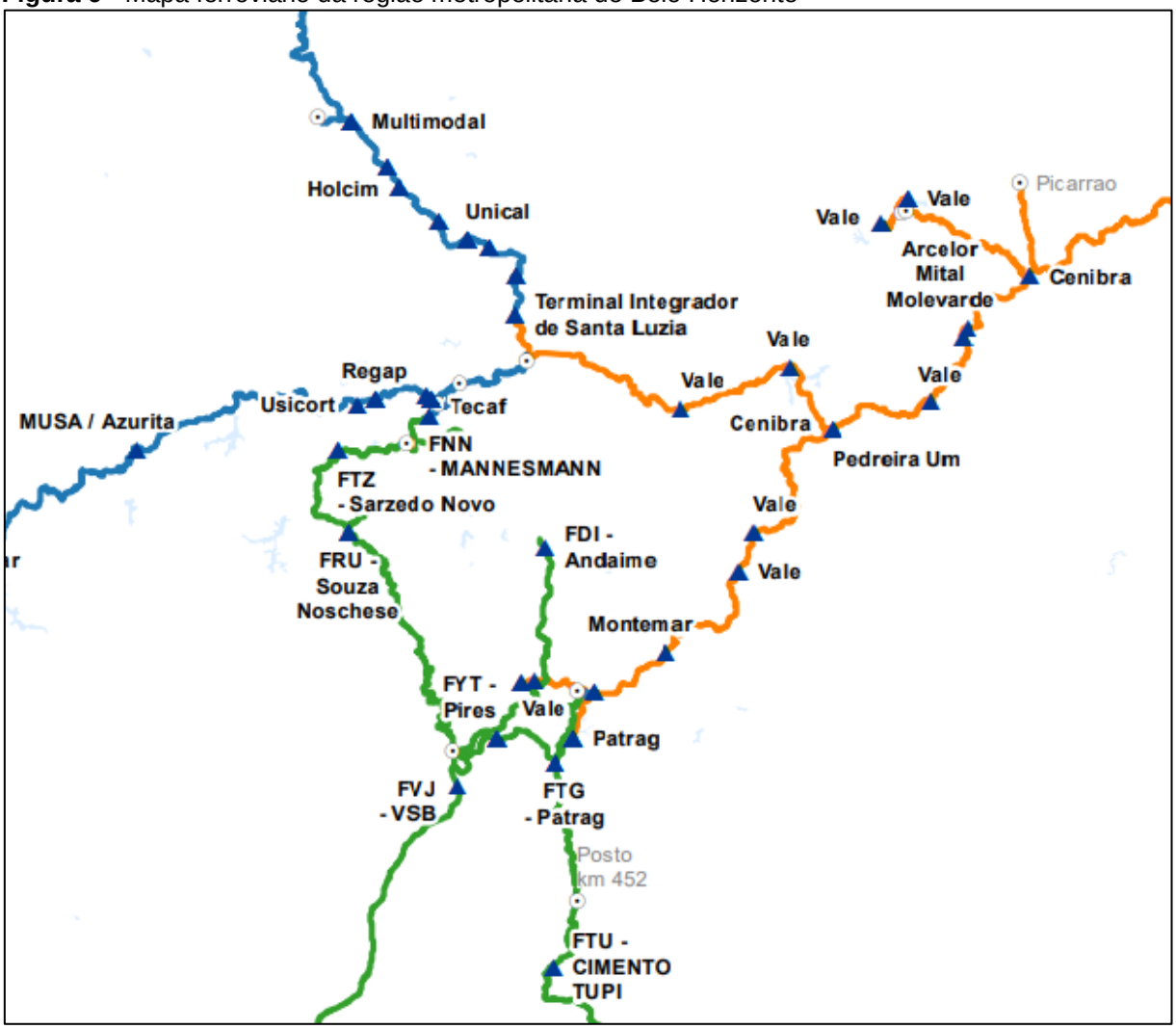
A malha ferroviária do estado é a maior do país, com 5 mil quilômetros de extensão, apesar de 1,5 mil quilômetros abandonados. Em termos relativos, correspondente a 16,3% de extensão de malha ferroviária abandonada, abrangendo 35,7% (180 dos 853) municípios do estado de Minas Gerais (G1, 2021). Atualmente a ferrovia é utilizada com três fins, turismo / recreativo (cidades de Ouro Preto à Mariana, Tiradentes à São João Del Rei), transporte de passageiro (cidades de Belo Horizonte, MG, à Vitória, ES) e para o transporte de cargas em diversas cidades (GEMG, 2021).

No transporte de cargas, conforme a base de dados do ano de 2021, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), com origem e destino no próprio estado, 37,9% do volume de

carga transportada no estado pelas linhas férreas deu-se entre os municípios de Patrocínio (origem) e Contagem (destino); seguida da cidade da origem de Itaúna e Santa Luzia, com destino à cidade de Intendente Câmara, representando 26 % (ANTT, 2020).

Na RMBH, encontram-se registrados terminais de carga e descarga ferroviária de administração privada, em 2017, representados na Figura 6, registrados na ANTT, com operações nos municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Confins, Contagem, Itatiaiuçu, Mateus Leme, Matozinhos, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa, Sarzedo e Vespasiano.

Figura 6 - Mapa ferroviário da região metropolitana de Belo Horizonte



Fonte: ANTT (2017).

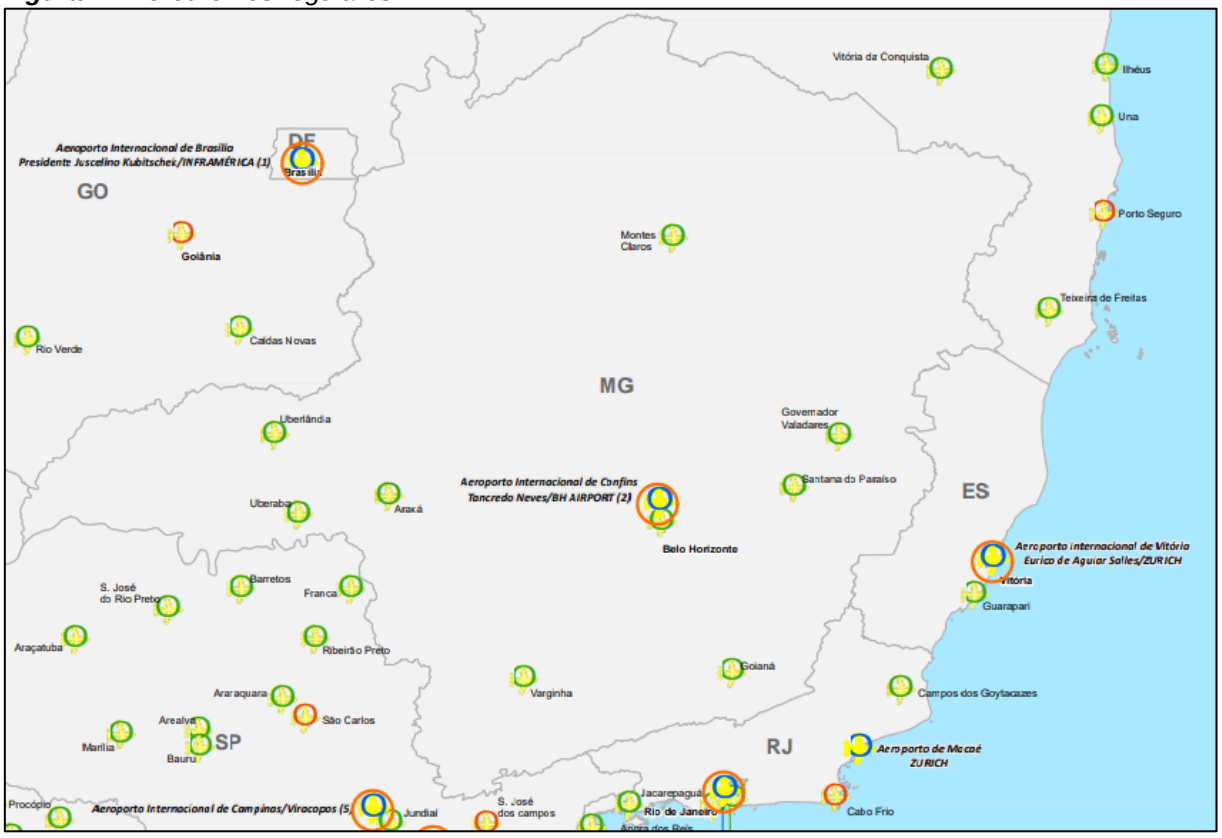
3.1.4 Transporte aéreo na região metropolitana de Belo Horizonte

O estado de Minas Gerais conta com 161 aeroportos privados, 69 públicos e 11 aeródromos, vide Figura 7, dos quais somente o aeroporto de Confins e de Goianá possuem infraestrutura

física e fiscal (importação e exportação) para a movimentação de cargas. Segundo a base de dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), em 2020, 93,5% da carga movimentada pelo setor aéreo no estado de Minas Gerais teve como destino na cidade de Confins, 10,9 milhões de toneladas; seguido de 511 mil toneladas na cidade de Uberlândia, 4,3%; e Montes Claros, 0,8%. Estas cargas, foram originadas principalmente nos aeroportos operantes nas cidades de Guarulhos/SP e Campinas/SP (ANAC, 2021).

Na RMBH, o transporte de carga aérea se dá majoritariamente no município de Confins (Aeroporto Tancredo Neves); e no município de Belo Horizonte (Aeroporto Carlos Drummond de Andrade). Note-se que ambos os aeroportos atendem toda a região metropolitana.

Figura 7 *- Aeródromos regulares*



Fonte: Adaptado do Ministério da Infraestrutura (2021).

3.1.5 Transporte dutoviário na região metropolitana de Belo Horizonte

Por fim, o estado de Minas Gerais possui o sistema de dutovias, Figura 8, que, hoje, transporta combustíveis: a Petrobras com etanol entre Itumbiara, GO, e Uberlândia, MG; Gás Natural Gasmig, entre Betim, MG, e Duque de Caxias, RJ (357 km de extensão e capacidade para 712 milhões de metros cúbicos); Minério de Ferro da empresa Mananbi S.A., que liga

Conceição do Mato Dentro, MG, a Linhares, ES (512 km de extensão e capacidade para 25 milhões de toneladas ano), da Anglo American, que interliga Conceição do Mato Dentro, MG, e São João da Barra, RJ (529 km de extensão e capacidade de 26,5 milhões de toneladas ano), da Sul América Metais, de Grão Mogol, MG, a Ilhéus, BA (482 km de extensão e capacidade de 25 milhões de toneladas ano) e da Samarco, ligando Ouro Preto, MG, a Anchieta, ES, com dois dutos (um de 396 km e outro de 398 km de extensão, com capacidade para 22 mil toneladas ano. Atualmente os dutos mineiros são privados; na RMBH, somente o município de Betim opera no transporte de gases e combustíveis por dutos. Mesmo diante dos altos investimentos; Ibram (2012) projetou que o custo de transporte de minério por dutos (U$ 1,00) pode ser até 18 vezes inferior ao custo de transporte por ferrovia (U$ 18,00) por tonelada).

Figura 8 *- Dutovias no Estado de Minas Gerais*

Fonte: Adaptado de EPL, 2021.

3.2 Coleta e tratamento dos dados

Foram coletados dados secundários (preexistentes), *ex-post facto,* sem modificá-los. Os dados primários foram gerados a partir da consolidação das notas fiscais emitidas pelas empresas instaladas no estado de Estado de Minas Gerais. As notas fiscais contêm informações referentes ao município de origem, ao município de destino, Classificação Nacional de Atividade Econômica (CNAE), o peso e o valor, entre outras informações. No entanto, para fins de compartilhamento e sigilo das informações financeiras e fiscais previsto em lei, os valores em reais das notas fiscais não foram compartilhados. Os dados são gerados pela Secretaria de Estado de Minas Gerais (SEFAZ), a partir da parceria com a Agência Metropolitana de Belo Horizonte.

Para garantir o sigilo das informações, os dados foram compartilhados e extraídos da base de dados da SEFAZ, no ano de 2019, referentes às cargas transportadas no ano de 2017, em função do sigilo econômico e fiscal. A base de dados está no formato de tabela, contém os 34 municípios da região metropolitana de Belo Horizonte com origem e destino, o CNAE-2 de atividade econômica e o peso faturado. A partir da consolidação de notas ficais de diferentes modalidades de transportes, tem-se a referência de transporte de carga faturada para as modalidades rodoviária, ferroviária, aérea e dutoviária.

Os dados disponibilizados pela SEFAZ, especificamente o CNAE-2 das atividades, foram disponibilizados com três dígitos, possibilitando a qualificação de grupos econômicos específicos, totalizando 39 setores, como laticínios, extração de minério de ferro, extração de pedra areia e argila, fabricação de calçados, etc. No entanto, este estudo optou por abordar o CNAE-2 com um digito, de forma mais genérica à atividade econômica, referente à 21 sessões de atividades, como indústria extrativista, indústria de transformação, construção, etc. Justifica-se utilizar o CNAE-2 com um digito neste estudo por conta das limitações de produção e transporte, pois: não são todos os municípios da região metropolitana de Belo Horizonte que contam com determinados setores econômicos e, consequentemente, segmentação da variável Produto Interno Bruto (PIB) por município para cada uma das 21 seções para o ano de 2017. Para fins de aplicabilidade metodológica e interesse social, foram analisadas as cinco maiores sessões de atividades econômicas geradoras de carga na região metropolitana de Belo Horizonte que, para mais detalhes, podem ser conferidas na Tabela 8.

As cinco maiores atividades econômicas geradoras de carga na RMBH, de acordo com a classificação do CNAE-2 de um digito, são em ordem de carga são as atividades econômicas da indústria extrativista, indústria da transformação, comércio, reparação de veículos

automotores e motocicletas, transporte, armazenagem e correios e, por fim, a da construção civil (IBGE, 2022).

Compõem a seção da indústria extrativista as divisões de atividades econômicas:
- Extração de carvão mineral,
- Extração de petróleo e gás natural,
- Extração de minerais metálicos,
- Extração de minerais não metálicos e atividades de apoio à extração de minerais.

Compõem a seção do transporte, armazenagem e correios as divisões do:
- Transporte terrestre,
- Transporte aquaviário,
- Transporte aéreo,
- Armazenamento e atividades auxiliares dos transportes
- Correios e outras atividades de entrega.

Compõem a seção do comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas as divisões das atividades econômicas relacionadas a:
- Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas,
- Comércio por atacado (exceto veículos automotores e motocicletas, comércio varejista).

Compõem a seção da construção as divisões das atividades econômicas relacionadas à construção:
- Edifícios,
- Obras de infraestrutura
- Serviços especializados para construção.

Compõem a seção da indústria de transformação as divisões econômicas:
- Fabricação de produtos alimentícios,
- Fabricação de bebidas,
- Fabricação de produtos do fumo,
- Fabricação de produtos têxteis, confecção de artigos do vestuário e acessórios,
- Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro,
- Artigos para viagem e calçados,
- Fabricação de produtos de madeira,
- Fabricação de celulose, papel e produtos de papel,
- Impressão e reprodução de gravações,

- Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis,
- Fabricação de produtos químicos,
- Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos,
- Fabricação de produtos de borracha e de material plástico,
- Fabricação de produtos de minerais não metálicos,
- Metalurgia,
- Fabricação de produtos de metal (exceto máquinas e equipamentos),
- Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos,
- Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos,
- Fabricação de máquinas e equipamentos,
- Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias,
- Fabricação de outros equipamentos de transporte (exceto veículos automotores),
- Fabricação de móveis,
- Fabricação de produtos diversos, manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos.

A tabela primária de dados contém 1,2 milhão de linhas, tornando inviável a manipulação de dados no *Microsoft Excel*. Assim, optou-se por utilizar o *software Microsoft Access* para realizar a compilação de dados, realizando o somatório de linhas de mesma informação de origem, destino, modalidade e CNAE. Após esse agrupamento, a base de dados contou com 37.406 linhas. Verificou-se as modalidades de transporte disponibilizada, e constatou-se que não havia dados referentes ao transporte de carga por dutos. Para suprir a deficiência, foram acrescentados os dados referentes ao transporte de carga por dutos, disponíveis em relatórios de movimentação e transporte de cargas da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), para o ano de 2017. Logo, com a inserção dos dados sobre os dutos, a base de dados passou a ter 37.441 linhas

Para fins de composição da movimentação de carga por município, foi adicionada à denominação ‘origem e destino’, a carga / peso oriundos fora da região metropolitana tanto para a origem quanto para o destino, respeitando o CNAE 2.0 e a modalidade de transporte. Por exemplo, para a cessão de atividade econômica da construção: origem São Paulo e destino Belo Horizonte, a carga / peso transportado foi adicionada à origem conhecida, o município de Belo Horizonte. O inverso também ocorreu quando a origem foi o município de Belo Horizonte e o destino foi São Paulo, a carga / peso transportado foi adicionado ao município de Belo Horizonte. Nesse sentido, não há perda de volume / carga movimentada (nem pela origem, nem destino), configurando a análise somente para os 34 municípios da região metropolitana de Belo Horizonte.

Outro ajuste realizado refere-se ao *missing value*, seja pela origem, seja pelo destino e / ou pelo CNAE. Ajustou-se a base de dados no conceito de movimentação de carga agregada por município, tanto na origem quanto para o destino. Por exemplo, se o *missing value* foi na origem, o volume transportado para o destino fica no destino (a cidade de destino movimentou determinado volume), assim como o inverso, se o *missing value* está no destino, o volume fica na origem (a cidade de origem movimentou determinado volume). Quanto ao *missing value* na especificação da atividade econômica pelo CNAE, foi criado a categoria "não identificado" para acomodar o volume movimentado, o qual não fará parte da análise neste trabalho. O *missing value* é oriundo da base dados "original", disponibilizada pela SEFAZ-MG, que não detém todas as informações providas de outros estados minuciosamente, nem pelos diferentes campos na nota fiscal, cadastro de empresas, nem pelos registros cadastrais obsoletos.

Para medir efeito da produtividade da infraestrutura do sistema de transportes disponível, foi utilizada como *proxy* a variável 'peso em toneladas para o ano de 2017'. Essa variável mensura o fluxo transportado de insumos, produtos e mercadoria por cada modalidade de transporte. Entretanto, a base de dados fornecida pelo SEFAZ considerou a *proxy* 'peso em toneladas em média dia / útil'. Em virtude disso, multiplicou-se a variável por 252 dias úteis, conforme calendário oficial para o ano de 2017, obtendo a referência de carga / peso transportada anualmente. Mesmo diante desse procedimento de anualização da variável 'peso por modalidade município', verificou-se que, ainda assim, alguns munícipios e modalidades não tinham informações. Para fins econométricos, foi adicionado o valor de 1 quilo a cada variável com valor zero. Justifica-se adotar tal procedimento para viabilizar a aplicação do logaritmo neperiano Ln, em ln 0 que tende ao infinito (impossibilita a transformação/cálculo), ao contrário do ln 1, que é 0, descrito na cessão 3.2.1 da modelagem econométrica espacial.

Quanto à variável 'Capital', considerou-se as despesas municipais em obras de infraestrutura municipal, que majoritariamente são aplicadas no sistema rodoviário para manutenção e expansão, e que alguns casos específicos também contemplam recursos oriundos do estado e da federação, cujas informações estão disponíveis no Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais (TCEMG) para o mesmo ano. Foram adicionados também valores despendidos pontuais pela jurisdição Estadual e Federal, por exemplo, recursos oriundos do governo federal, investimento de 756 milhões no aeroporto Tancredo Neves, localizado no município de Confins, não contido na declaração de despesas municipais. Logo, a *proxy* do capital é composta de investimentos, despesas e manutenções para com a infraestrutura das

modalidades de transportes. Para os dados referentes ao trabalho, considerou-se o número de empregados registrados no Ministério do Trabalho que desempenham as atividades em cada CNAE respectivo, disponível na base de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Nenhuma das variáveis, neste estudo, é objeto de discussão aprofundada, uma vez que a literatura as discute exaustivamente, do quais, como abordado e discutido anteriormente, ambas têm efeitos positivos na produtividade.

Para representar a atividade econômica, adotou-se a variável de produção agregada, que a *proxy* se utilizou do PIB. A *proxy* retrata a produção de todos os bens e serviços produzidos na economia e, respectivamente, para cada unidade de análise, ou seja, o PIB municipal. Então, foi utilizado o PIB calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A *proxy* do PIB é utilizada em diversos estudos que analisam e retratam a atividade econômica. Para fins de estudo e aplicação do cálculo proposto de produtividade em infraestrutura de transportes, foram selecionadas as cinco maiores atividades econômicas em termo de transporte de carga. Assim, a *proxy* PIB municipal está em reais e retrata o valor financeiro de todos os bens e serviços produzidos pela economia que, para fins deste estudo, encontra-se segmentado por município para o ano de 2017. Para fins de aderência à pesquisa, a *proxy* PIB foi segmentada pelos setores de atividade econômica e, para este estudo, foi considerado somente a parcela financeira relativa à atividade geradora de carga, correspondente à parcela financeira da indústria e da atividade agrícola em cada município da região metropolitana de Belo Horizonte.

3.2 Proposta metodológica

Metodologicamente, a análise de dados foi dividida na proposta paramétrica para estimação da produtividade econômica por modelagem de autocorrelação e espacial, Índice de Moran para identificação de clusters espaciais e metodologia complementar não paramétrica por meio da análise envoltória de dados.

3.2.1 Produtividade econômica por modelagem espacial e autocorrelação

Esse trabalho considerou, diferentemente da compreensão do índice LPI, do Banco Mundial (WB, 2007), e do GCI, do *WEF* (WEF, 2009), do sentido infraestrutura econômica, compreendida por rodovias, ferrovias e estações, portos e aeroportos, energia, linhas de transmissão, telecomunicações (GANELLI; TERVALA, 2010), bem como a maioria dos estudos encontrados na literatura (AIELLO *et. al*, 2014; ALBALA *et al*., 2007; ARIF *et al*., 2021; BOISSO *et al*. 2000; BRONZINI; PISELLI, 2009; DESTEFANIS, 2005; FAIÑA *et al.*, 2018; FARHADI, 2015; FOUSEKIS, 1997; JIANG *et al*., 2020; KHANNA; SHARMA, 2018; LA FERRARA; MARCELLINO, 2000; MITRA *et al*., 2016; MITRA *et al*. 2002; SHARMA; SEHGAL, 2010; TAN *et al*., 2016; YANG *et al.*, 2020; YEAPLE, 2007; ZHANG *et al.*, 2019), a infraestrutura dos sistemas de transportes de carga tais como rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e dutovias. Este trabalho contribui e aprofunda no suporte e análise da infraestrutura de transporte de cargas, corroborando aos estudos recentes na literatura (BARILLA *et al.*, 2020; CANTOS *et al*., 2005; MITRA *et al*., 2016; NILSEN *et al.*, 2017a) com nova proposta metodológica técnica para mensurar a PTF.

Estudos mais recentes utilizam a abordagem espacial, incorporando características de diferenças regionais geográficas incorporadas pela matriz de pesos (BARILLA *et al.*, 2020). É nesse sentido que a econometria espacial tem vantagens técnicas frente à econometria tradicional, por tratar a dependência e heterogeneidade espacial, a partir da incorporação de características espaciais específicas de cada região (ANSELIN, 2013). Justifica-se, assim, utilizar métodos econométricos espaciais, uma vez que a localização por meio do espaço geográfico tem influência na atividade econômica e, consequentemente, afeta a produtividade. No entanto, na literatura, é possível encontrar diferentes técnicas para mensurar a PTF, como em Alvares e Blaques (2014), que utilizam o *Data Envelopment Analysis* (DEA) no primeiro estágio não paramétrica e a Função de Produção Cobb-Douglas paramétrica. Outros autores utilizam para o mesmo cálculo a modelagem econométrica gravitacional, ou de centralidade, que analisa os dados de forma independente (RAMASWAMY; CHOUTAGUNTA; SAHU, 2021). Também estudos que utilizam a função

econométrica de produção baseada na estimativa de custos, utilizando-se de pesos para incorporar distintas variáveis na modelagem (NILSEN *et al.*, 2017b), e outros que estimam a PTF por regressão (MITRA; SHARMA; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2016).

A função de produção capta a relação econômica de transformação de insumos em produto, há na literatura diversas análises em diferentes eixos relevantes, como na agricultura (FOUSEKIS, 1997; MENDES; TEIXEIRA; SALVATO, 2009; RADA, 2013; SAPUTRI *et al.*, 2019), nas indústrias (BARILLA *et al.*, 2020; CALIENDO *et al.*, 2018; DESTEFANIS; SENA, 2005; DETTORI; MARROCU; PACI, 2012; KHANNA; SHARMA, 2018; MITRA; SHARMA; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2016; YEAPLE; GOLUB, 2007), em serviços (BOISSO; GROSSKOPF; HAYES, 2000; DA CRUZ; MARQUES, 2011; KHANNA; SHARMA, 2018; YANG, GAOJU *et al.*, 2020) e setor público (DA CRUZ; MARQUES, 2011; KHANNA; SHARMA, 2018).

Entre os autores intrinsecamente pertinentes ao objeto de pesquisa, Tabela 3, utilizam para o cálculo da PTF a função de produção Cobb-Douglas. Diante da função de produção, a maioria dos estudos utiliza variáveis instrumentais (CANTOS; GUMBAU-ALBERT; MAUDOS, 2005; MITRA; SHARMA; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2016; NILSEN *et al.*, 2017b), para incorporar as distintas características geográficas (BARILLA *et al.*, 2020).

Esse estudo utiliza como base a formulação expandida proposta por Barilla *et al.* (2020) e a incorporação do transporte na modalidade de dutos ainda não utilizado na literatura. Para analisar o impacto da disponibilidade da infraestrutura de transporte, tem-se a inclusão das modalidades de transporte como insumo, ou seja, as combinações de infraestrutura refletem os níveis de produção na atividade econômica. Assim, este estudo propõe mensurar o seguinte modelo proposto na Equação 1:

$$f.: \ Y_i = FTP_i(K_i L_i I_i) \tag{1}$$

Em que: Y representa a produção total em termos de PIB; K, o capital; L, o trabalho; e I, a disponibilidade de infraestrutura, representada pelas modalidades de transportes para cada *i* regiões. Essa proposição é baseada e adaptada de Ferreira e Malliagros (1998), considerando $\ln(PIB_t) = \Phi \ln(I_t)$ e $\ln(FTP) = \eta \ln(I_t)$ que as elasticidades dos coeficientes sejam positivos em $\Phi > 0$ e $\eta > 0$. Para medir a PTF não observada, estimando a PTF como resíduo da função Cobb-douglas, proposto por Barilla (2020). Assim, com o foco na compreensão restrita da infraestrutura de transportes, este trabalho assume a modelagem econômica tendo suas variáveis descritas e representada pelas modalidades de transportes, como rodovia:

ROD; ferrovia: *FER*; aeroportos: *era*; portos: *POR*; e dutovias: *DUT*; além do capital *K* e do trabalho L. Assim, pode-se reescrever a equação (1) como:

$$Y_i = FTPT_i\, f(K_i, L_i, ROD_i, FER_i, AER_i, POR_i, DUT_i) \quad (2)$$

O PTFT representa o progresso técnico produtivo do impacto das variáveis de transporte, simultaneamente, na economia. Frisa-se que as variáveis estão no formato de vetores K (k = 1,...,k). A fim de operacionalizar e de mensurar a partir de distintas variáveis, minimizando os efeitos estatísticos de colinearidade entre as variáveis, endogenia e de possível heterocedasticidade, aplicou-se logaritmo em ambos os lados da equação (2).

$$lnY_i = lnFTPT_i \sum_{k=1}^{K} \beta_i(lnK_i, lnL_i, lnROD_i, lnFER_i, lnAER_i, lnPOR_i, lnDUT_i) \quad (3)$$

Reescrevendo a equação (3) de forma sucinta, considerando $y_i = lnY_i$ e a descrição da equação (1), tem-se:

$$y_i = ftpt_i + \beta_1 K_i + \beta_2 L_i + \beta_3 rod_i + \beta_4 fer_i + \beta_5 aer_i + \beta_6 por_i + \beta_7 dut_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

A $ftpt_i = lnFTPT_i$ é interpretada como progresso técnico e *i* (município) para o período. A equação (4) tem o erro residual ε_i, com distribuição normal *iid N~(0,* σ_v^2*)*, com média e variância σ^2 (zero), a qual espera-se mensurar o erro ou ruído estatístico para a presença de efeitos espaciais. Assim, pode-se ir além e mensurar a taxa de produtividade H_i ao relacionar $H_i = (Y_i/Y*_i) * 100$, em que Y_i $PIB\ Real\ e\ Y*_i$ PIB Estimado.

É nesse sentido que os estudos recentes apontam para a incorporação de fatores de dependência geográfica / espacial, até então, não capitado na equação (6), que variam em cada observação *i*, em sua região geográfica. A inserção espacial permite analisar áreas geográficas especificas, bem como a relação de impacto com as demais localidades. Diversos e heterogêneos são os impactos de produtividade da infraestrutura na atividade econômica. Entende-se que a produtividade seja reflexo de variáveis heterogêneas, tais como comércio regional, fatores da terra e estrutura local, migração populacional e da relação de produção entre setores. Mesmo diante da complexidade, a produtividade econômica agregada pode ser decomposta na relação regional e na relação setorial. A relação regional envolve as relações comerciais intrassetoriais, com custos para pequenas e grandes distâncias. A parte setorial está relacionada à interação de insumos e produtos, dependência física da localização, que

pode ser influenciada por impostos e políticas regulatórias (CALIENDO *et al.*, 2018; KHANNA; SHARMA, 2018).

Justifica-se utilizar a abordagem espacial por conta das características espaciais do transporte de carga entre cidades e sua relação econômica, uma vez que a infraestrutura do sistema de transporte permita a acessibilidade local. Badri (2007) e Aarhaug e Gundersen (2017) consideram que a infraestrutura seja um fator de decisão da localização geográfica das empresas que, por conseguinte, afetaria a atratividade local. Do mesmo modo, Slack (1993) também considera a localização, pois as empresas competem operacionalmente por custos, qualidade, confiabilidade, velocidade e flexibilidade dos seus produtos e serviços. Assim, as empresas configuram sua rede de suprimentos geograficamente direcionadas ao desempenho. A busca de otimização de desempenhos financeiro e comercial é reflexo da operação e dos sistemas de transportes à medida que as empresas disputam competitividade no mercado, compartilhando a mesma infraestrutura dos sistemas de transporte para o fluxo de cargas e de passageiros.

Nesse sentido, os estudos recentes de Barilla *et al. (*2020), Nilsen *et al.*, (2017a), Mitra *et al.* (2016) e Cantos *et al.* (2005) buscam compreender a interação entre o efeito da infraestrutura disponível do sistema de transportes e a atividade econômica, considerando aspectos geográficos espaciais. Desse modo, este estudo também compartilha dessas observações e considera relevante analisar e incorporar características regionais de distância na estimação dos modelos. Intensifica-se essa relação pelos conceitos de formação das cidades, apresentados por Fujita *et al.* (2002), em que a atividade econômica apresenta a concentração em relação ao local de maior intensidade de transações. Esse efeito também é visto no desenvolvimento regional, à medida que surgem localidades, ou cidades que concentram maior nível de atividade econômica. Considerando os rendimentos crescentes, essas cidades apresentam influência econômica às demais em seu entorno, reforçando a intensificação e a relevância para a atividade econômica regional.

Primeiramente, este estudo assume o princípio da primeira lei da Geografia, também conhecida como lei de Tobler. Refere-se em conhecer o tamanho e a configuração das unidades espaciais, em que “tudo está relacionado com todo o restante, mas o que está mais próximo tem maior relação do que o que está distante”. A dependência espacial tem sua configuração determinada pelo espaço relativo ou localização relativa, destacando a relação e o efeito da distância entre as unidades (ANSELIN, 2001). Ao analisar o impacto da distância e suas características espaciais, torna-se possível analisar a relação entre as regiões em estudo (ANSELIN, 1989). Nesse sentido, na unidade de análise, cidades mais próximas /

fronteiriças tem maior interação econômica pelo transporte de carga que em cidades longínquas.

Entende-se que a análise exploratória dos dados espaciais seja a melhor abordagem para se obter maior compreensão sobre eles. Essa análise se dá por meio do conjunto de técnicas estatísticas que auxiliam e visualizam distribuições espaciais. Logo, é possível identificar regiões com o mesmo padrão de associação espacial e regiões fora do padrão. A análise tem sua estrutura baseada na autocorrelação espacial dos valores de cada variável, em que determinada unidade de espaço tem seus valores intrínsecos estatisticamente similares para a variável em questão (ANSELIN, 2001). Dessa maneira, a análise exploratória permitirá verificar regiões estatisticamente similares, indicando possíveis aglomerações, ou seja, *clusters*. No sentido oposto, os dados espaciais também podem apresentar pontos dispersos ou *outliners* espaciais, ou seja, observações que têm dependência espacial com valores diferentes das observações vizinhas.

Nesse sentido, é preciso incorporar a modelagem econômica e a influência de áreas adjacentes à área principal em análise, considerando as características e fatores geográficos que podem interferir na relação de produtividade. Aplica-se, então, a incorporação espacial na modelagem econômica para avaliar o impacto da infraestrutura de transporte, pois tem-se a dependência entre regiões e / ou indústrias transacionais de comércio, operações, serviços, produtos e insumos junto aos meios de transportes físicos, tais como rodovias, ferrovias, aeroportos, portos e dutos. Na modelagem tradicional, Equação (4), essa não consegue captar apropriadamente os efeitos das interconexões, por conta das características espaciais geográficas não observadas, que, consequentemente, tem seu viés nos estimadores β_i e no erro residual ε_i (BARILLA *et al.*, 2020; BOTTASSO *et al.*, 2014). Assumindo que exista a correlação espacial presente rente às modalidades de transportes, a Equação (4) deverá ser modificada para:

$$y_i = (u_i + \alpha) + x_i\beta + \rho \sum_{j=1}^{N} w_{ij}y_j + \sum_{j=1}^{N} w_{ij}x_{ij}\gamma + \varphi_{it} \tag{5}$$

Em que,

$$\varphi_i = \lambda \sum_{j=1}^{N} w_{ij}\varphi_i + v_i \tag{6}$$

w_{ij} é uma matriz W, não negativa de pesos que representam as características espaciais, composta de dados observáveis e com diagonal zero, uma vez que não se tem relação espacial da própria unidade com ela mesma. A matriz de peso W leva em consideração os efeitos e as interações relacionados à proximidade das unidades, isto é, a relação entre região para com a infraestrutura de transporte. Operacionalmente, é utilizado a inversa da matriz W. As maiores questões ligadas à incorporação dos efeitos espaciais, referem-se à não estacionariedade dos dados e à correlação endógena – *spillover effect* de variáveis. A não estacionariedade das séries de dados causam viés nos estimadores, podendo ser corrigida com técnicas de defasagem, ou com teste de raiz unitária, ou técnicas de cointegração entre variáveis, estimados pelo *Generalized Moment Method* (GMM) (MITRA; SHARMA; VEGANZONES-VAROUDAKIS, 2016).

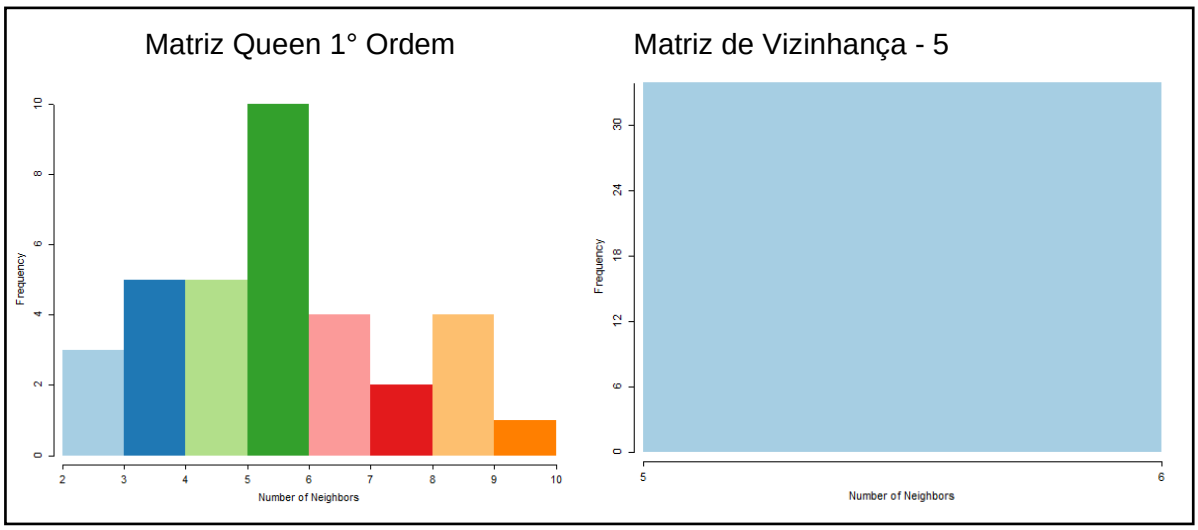
O primeiro efeito da interação espacial $\rho \sum_{j=1}^{N} w_{ij} y_j$ é modelado a partir da inclusão da variável dependente defasada, em que: ρ é o coeficiente do parâmetro espacial autorregressivo. O segundo efeito da interação espacial $\sum_{j=1}^{N} w_{ij} x_{ij} \gamma$ incorpora a interação de variáveis exógenas, espacialmente defasadas, em que γ representa um vetor fixo K, com parâmetros desconhecidos. O termo γ possibilita verificar o grau da correlação espacial entre as unidades próximas da variável dependente com o nível de explicação das variáveis independentes. O terceiro efeito da interação espacial é o erro da estimação φ_i, na Equação (6), a partir da autocorrelação espacial de γ.

Nesse sentido, a escolha da matriz de peso adequada determina a coerência do estudo e a significância dos resultados (ANSELIN, 2005). Assim, este estudo considera a matriz de peso do tipo *Queen* de 1° Ordem. Justifica utilizar a matriz do tipo *Queen* de 1° Ordem ao considerar que os municípios fronteiriços geograficamente se relacionam diretamente com os municípios vizinhos. Corrobora para isso os sistemas de transportes baseados no conceito da 1° Lei da Geografia, em que regiões próximas tendem a ter maior vínculo / transações que regiões distantes. Outra característica presente, que também contribui para essa perspectiva, é o transporte baseado em distância, na relação quilometragem / custo, em que maiores distâncias a serem percorridas aumentam os custos de transportes, o que, consequentemente, desincentiva o relacionamento para médias e grandes distâncias que dependem de vários fatores. Para este estudo, a Figura 9 reforça a escolha da matriz do tipo *Queen* de 1° Ordem à matriz de Vizinhança, com cinco municípios.

Na Figura 9, é possível verificar que a adoção da matriz de peso *Queen* de 1° Ordem apresenta diferentes interconexões para os municípios da região metropolitana de Belo

Horizonte (RMBH). Nesse sentido, por exemplo, há dez municípios da região metropolitana que têm como vizinhos fronteiriços seis municípios. Já na matriz de peso do tipo Vizinhança, cinco, é considerado, portanto, que todos os municípios possuem cinco vizinhos fronteiriços, destoando da realidade geográfica da RMBH. É nesse sentido que a matriz de peso do tipo *Queen* de 1° Ordem tem maior flexibilidade para representar as interconexões entre os municípios, possibilitando maior aderência às transações econômicas e ao transporte de carga da RMBH.

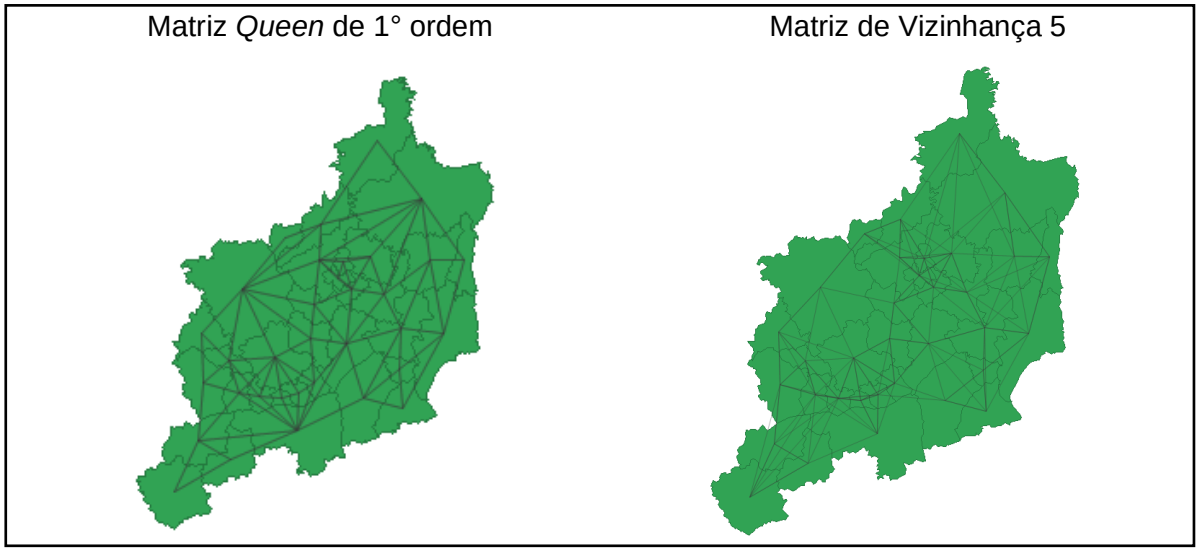
Figura 9 - Comparativo entre matrizes de peso para a região metropolitana de Belo Horizonte



Fonte: Elaborado pelo autor – *software* Geoda.

A Figura 10 apresenta as interconexões geográficas dos municípios da RMBH. Nela é representado o centroide de cada município e sua relação direta com o município vizinho fronteiriço. A título de comparação, isso reforça a escolha da matriz de peso tipo *Queen* de 1° Ordem e que a matriz de peso Vizinhança, de cinco municípios, possui menos interconexões, é rígida para os municípios com mais de cinco vizinhos fronteiriços e menos de cinco vizinhos. A matriz de peso de Vizinhança cinco desconsidera os municípios com mais de cinco fronteiras e subestima os municípios com menos de cinco fronteiras, forçando-os à relações para além da fronteira geográfica / física. Exemplo disso são os municípios de Belo Horizonte e Betim, com oito vizinhos fronteiriços cada, e os municípios de Itaguara e Baldim, com dois vizinhos fronteiriços, ao considerar somente a RMBH.

Figura 10 - Comparativo das interconexões espacial da matriz de peso a partir do centroide



Fonte: Elaborado pelo autor – software Geoda

Para a análise da autocorrelação espacial global entre as unidades de análise, utilizou-se a estatística do I de Moran, bem como o diagrama de dispersão de Moran como metodologia de identificação de configuração espacial e *clusters* espaciais. Isso porque o coeficiente é calculado com base na razão da medida de autocovariância e da variação dos dados. Intrinsecamente, o I de Moran permite analisar a aleatoriedade dos dados (por meio do nível de significância), a concentração das unidades (sinal positivo do I de Moran) e negativo para dispersão (ALMEIDA, 2012). Utilizou-se no trabalho a autocovariância do tipo produto-cruzado, que, matricialmente, pode ser descrita com a equação:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{z_t' W_{ij} z_t}{z_t' z_t} \tag{7}$$

Em que, z_t é o vetor das *n* observações da variável em estudo para o ano t, em desvio da média; *W* é a matriz de peso espacial, sendo W_{ij} os elementos da diagonal principal, constituída por zeros e demais elementos, representando a correlação espacial de cada região *i* com a região S_0. Sua interpretação permite verificar o grau de associação linear entre o vetor z_t dos valores observados e a matriz Wz_t de peso espacial das médias de valores vizinhos (LE GALLO; ERTUR, 2003). Assim, ao verificar a observação, é possível associar a correlação espacial quanto as regiões com alto (baixo) valor da variável analisada tendem a ser agrupadas próximas às regiões de alto (baixo) valor para a mesma variável. Quando a correlação for negativa, regiões com alto (baixo) valor da variável analisada tendem a ser agrupadas próximas às regiões de baixo (alto) valor para mesma variável (ANSELIN, 2001).

Outra característica de relevância frente à análise dos dados espaciais tem a ver com a verificação dos efeitos espaciais, uma vez que esses se manifestam a partir da dependência espacial e da heterogeneidade (ANSELIN, 2013). A dependência espacial é verificada a partir dos valores em que uma variável de interesse está sistematicamente relacionada à localização geográfica. Dependência essa conhecida na econometria espacial como correlação espacial. Assim, assume-se que a hipótese nula seja de independência dos valores, ou seja, há a presença de aleatoriedade espacial nos valores da variável em análise para as regiões vizinhas (ALMEIDA, 2012). Nesse sentido serão realizados os testes de Breusch-Pagan e de White para verificar a presença de heterocedasticidade.

Contudo, o I de Moran não permite identificar a autocorrelação local entre unidades de análise, impossibilitando verificar *clusters* espaciais locais. Ao verificar apenas em nível global, o I de Moran pode emitir a autocorrelação espacial local. Para minimizar esse efeito, foi analisado o G_i local, que verifica em que medida a observação *i* tem seus valores vizinhos estatisticamente similares. Junto ao G_i local, o *Local Indicator of Spatial Association* (LISA) permite analisar cada observação individual por meio da decomposição de indicadores globais. O LISA precisa atender às condições postas, cada observação terá o fator de significância de aglomeração espacial de valores similares estatisticamente à unidade observada, e a soma do LISA de todas as observações são proporcionais ao indicador global de associação espacial (ANSELIN, 1995). De acordo com Anselin (1995), o LISA pode ser calculado a partir do I de Moran Local para uma variável *y* padronizada, observada na região *i*, com z_i, como descrito na equação:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^{J} W_{ij} z_j \qquad (8)$$

Observe-se que o cálculo de I_i incorpora apenas os vizinhos da observação *i,* definidos de acordo com a matriz de pesos espaciais.

Para o cálculo do fator de produtividade econômica para o sistema de transportes de carga, o presente estudo propõe diferentes modelos para verificar se há a presença dos efeitos espaciais. Para todos os modelos propostos, utilizou-se o método de estimação do Multiplicador de Lagrange (ML), em função do pequeno número de observações – 34 –, tornando não factível pressupor características assintóticas de modelagem pelo Método de Momentos Generalizados (GMM).

O MODELO 1, de controle, em que se detecta a relação de dependência espacial, é o modelo de base de comparação para os demais modelos, podendo ser estimado pelo método de regressão mínimos quadrados ordinários – MQO. Com esse modelo, é possível verificar a presença de efeitos espaciais (I de Moran), mas não permite identificar o processo estocástico gerador da autocorrelação (efeitos investigados no Modelo 2, Modelo 3, Modelo 4). A dependência espacial pode ser identificada pela omissão de variáveis, pela correlação espacial nos resíduos ou erros, assumindo distribuição normal dos dados. Utilizou-se, assim, o teste baseado no Multiplicador de Lagrange para identificar a autocorrelação no erro (modelo restrito) e nos resíduos (modelo irrestrito) estimados por MQO quando se rejeita a hipótese nula (assumindo que não há correlação espacial). Ademais, verificou-se a heterocedasticidade dos resíduos, pois isso poderia gerar viés e inconsistências dos estimadores pelo teste de *White*. Este estudo utilizou, dessa forma, o procedimento proposto por Anselin (2005) para a identificação da autocorrelação espacial no modelo. Retirou-se a modalidade de transporte Portos, por não haver a infraestrutura e movimentação de carga oficial (declarada em nota fiscal) na localidade de pesquisa (Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH). Tem-se, então, a proposta da equação 4 do MODELO 1, em que para todos modelos propostos, a denominação PIB representa a variável do Produto Interno Bruto, K representa o investimento de capital, L representa o número de trabalhadores operacionais, *rod* representa a carga transportada pela modalidade rodoviária, *fer* representa a carga transportada pela modalidade ferroviária, *aer* representa a carga transportada pela modalidade aérea, *dut* representa a carga transportada pela modalidade dutoviária e *i* o município observado da RMBH, sendo reescrita em sua forma linear como:

MODELO 1 – Restritivo – Mínimo Quadrado Ordinário – MQO:

$$\ln(PIB_i) = PTF_i + \beta_1 \ln(K)_i + \beta_2 \ln(L)_i + \beta_3 \ln(rod)_i + \beta_4 \ln(fer_i) + \beta_5 \ln(aer_i) + \beta_6 \ln(dut)_i + e_i \quad (9)$$

O MODELO 2, erro espacial, permite verificar o erro relacionado à autocorrelação espacial. Considera-se a dependência espacial residual, determinada pela estrutura autorregressiva de primeira ordem. Assume-se, assim, que a hipótese nula de H_0: o parâmetro do erro autorregressivo espacial é nulo; sendo a hipótese alternativa H_1: o parâmetro do erro autorregressivo espacial não nulo. No caso de rejeição da hipótese nula, conclui-se que seja necessária a inclusão do erro autorregressivo da variável dependente no modelo. Almeida (2012) ressalta uma possível não normalidade na distribuição dos erros. Nesse caso, sugere que o modelo deva ser estimado pelo método generalizado dos momentos ou quase verossimilhança. Caso o MODELO 2 apresente distribuição normal para o erro, basta estimar

por máxima verossimilhança. Então, a proposta da equação 6 para o MODELO 2 tem sua equação reescrita para:

MODELO 2 – Erro – Autocorrelação do Erro Espacial – *Spatial Autorregressive* Complete (SAC):

$$\ln(PIB_i) = PTF_i + \beta_0 \ln(PIB_i) + (I_n - \lambda W)^{-1} u_i + \beta_1 \ln(K)_i + \beta_2 \ln(L)_i + \beta_3 \ln(rod)_i + \beta_4 \ln(fer_i) + \beta_5 \ln(aer_i) + \beta_6 \ln(dut)_i + v_i \quad (10)$$

O MODELO 3, defasado ou *lag*, permite verificar a autocorrelação em relação à dependência espacial temporal. Analisa-se se a variável dependente *y* de uma região é impactada por outra região vizinha, gerando o efeito de transbordamento espacial. Assumisse que a hipótese nula de H_0: o parâmetro da defasagem espacial é nulo; sendo a hipótese alternativa H_1: o parâmetro da defasagem espacial não nulo. No caso de rejeição da hipótese nula, conclui-se que se deva incluir a defasagem espacial da variável dependente no modelo. Almeida (2012) ressalta que os erros podem não seguir uma distribuição normal. Quando isso ocorre, é preciso estimar pelo método das variáveis instrumentais ou quase máximo verossimilhança. Caso contrário, em que há normalidade na distribuição dos erros, pode-se estimar por máxima verossimilhança ou GMM. Logo, a proposta da Equação 4 para o MODELO 3 tem sua equação reescrita para:

MODELO 3 - defasado – autorregressivo espacial - *Spatial Auto-Regressive* (SAR):

$$\ln(PIB_i) = PTF_i + \boldsymbol{\rho} W \ln(PIB_{it-1}) + \beta_1 \ln(K)_i + \beta_2 \ln(L)_i + \beta_3 \ln(rod)_i + \beta_4 \ln(fer_i) + \beta_5 \ln(aer_i) + \beta_6 \ln(dut)_i + v_i \quad (11)$$

O MODELO 4, relação conjunta, incorpora o efeito de transbordamento local, se a variável dependente *y* de uma região é impactada por outra região vizinha e vice-versa. Assume-se, assim, que a hipótese nula de H_0: o efeito de transbordamento é nulo; sendo a hipótese alternativa H_1: o efeito de transbordamento é não nulo. No caso de rejeição da hipótese nula, conclui-se que seja necessária a efeito de transbordamento na variável dependente no modelo. Almeida (2012) destaca que o erro também pode apresentar uma distribuição não normal, devendo ser estimado pelo método de mínimos quadrados em dois estágios. Caso contrário, o MODELO 4 pode ser estimado por máxima verossimilhança ou GMM. Então, a proposta da Equação 7 para o MODELO 4 tem sua equação reescrita para:

MODELO 4 – conjunto – incorpora o de erro e defasagem espacial – *Spatial Autorrgressive Moving Average* (SARMA):

$$\begin{aligned}\ln(PIB_i) = PTF_i + \beta_0 \ln(PIB_i) + \varphi W ln(PIB_i)\beta_1 \ln(K)_i + \beta_2 \ln(L)_i + \beta_3 \ln(rod)_i \\ + \beta_4 \ln(fer_i) + \beta_5 \ln(aer_i) + \beta_6 \ln(dut)_i + \omega_1 \mathrm{Wln}(K)_i + \omega_2 \mathrm{Wln}(L)_i \\ + \omega_3 \mathrm{Wln}(rod)_i + \omega_4 \mathrm{Wln}(fer_i) + \omega_5 \mathrm{Wln}(aer_i) + \omega_6 \mathrm{Wln}(dut)_i + v_i\end{aligned} \quad (12)$$

Almeida (2012) ressalta que, para o MODELO 2 e MODELO 3, seja necessário realizar testes robustos para analisar o efeito da autocorrelação na variável dependente, para evitar o tipo de erro do tipo I – rejeitar a hipótese nula sendo verdadeira. Nesse sentido, basta realizar o teste de Anselin-Kelejian (1997) para analisar o efeito da autocorrelação de forma robusta.

A matriz de pesos espaciais expressa a relação e existência dos vizinhos espaciais. É uma matriz quadrada ***W***, com dimensão ***n x n*** descrita como $\boldsymbol{w_{ij}}$, em que representa a relação espacial da região ***i*** na região ***j***. Logo, em sua forma mais simples, binária, atribui-se pesos 1 para a existência da relação de vizinhança e 0 para a inexistência da relação de vizinhança entre regiões(ANSELIN, 2013). A relação pode ser estabelecida com diversos critérios, como contiguidade, em que a vizinhança se dá por fronteira territorial (do tipo: linear, torre, bispo ou rainha) ou por distância geográfica (euclidiana ou circular), em que regiões mais próximas têm maior interação espacial (ALMEIDA, 2012).

Em função das características da infraestrutura em sistemas de transportes, ou seja, de conectar regiões, este estudo utilizou-se da matriz de pesos baseada na vizinhança, a da proximidade geográfica. Tem-se essa premissa, considerando que o transporte de cargas rodoviário na área tomada como objeto é intenso em até 100 quilômetros entre cidades, de sua origem até seu destino. Ao utilizar a relação espacial rodoviária para o transporte de carga, supre a avaliação da relação espacial presente nos demais modalidades de transporte. Característica essa presente na maior flexibilidade das interconexões para transporte de carga entre regiões. Consequentemente, há vantagens econométricas de estimação, como a garantia de que todas as regiões possuem vizinhos minimizando possíveis ilhas espaciais (ALMEIDA, 2012; ANSELIN, 2013).

3.2.2 Análise Envoltória de Dados

Para melhor interpretação dos resultados e seus impactos individuais, esta pesquisa utilizou-se como complemento a metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA). Isso se deu em função de a metodologia aplicada permitir conhecer os municípios eficientes no transporte em

cada modalidade e possibilitar conhecer municípios *benchmark* de transporte. Essa metodologia baseia-se na eficiência comparativa entre as unidades de análise, em vez de médias. Há diversos benefícios em utilizar a metodologia, que pode ocorrer por meio de modelagem não paramétrica e por otimização da programação linear, que tem o foco em observar a unidade de análise comparativamente às demais, revelando as melhores práticas na fronteira de eficiência (SANTOS, 2018).

O DEA foi desenvolvido por Rhodes e Cooper como metodologia de mensuração de eficiência a partir de técnicas não paramétricas (CHARNES *et al*. , 2013). Charnes, Cooper e Rhodes (1978) publicaram o método conhecido como CCR ou CRS – Modelo de Retorno Constante de Escala. O CCR é baseado na programação matemática generalizada, a partir da eficiência técnica de Farrel (1957), de entrada (insumos), dividido por saída (produto) (CHARNES *et al.,* 2013).

Poucos anos mais tarde, Banker, Charnes e Cooper (1984) (BCC) expandiram o método para analisar o Retorno Variável de Escala (VRS). Esse novo processo permite pressupostos de aumento de insumos / entrada em diferentes taxas de produção / saídas. Em ambos os modelos, CRS ou VRS, é necessária a orientação de otimização para *input* ou *output*, a fim de suposição da escala tecnológica (BOGETOFT, 2012; CHARNES *et al*. , 2013). A suposição tecnológica pode assumir diferentes formas produtivas de retornos distintas como constantes, crescentes e decrescentes de escala. Qualquer negligência na modelagem teórica para a suposição, ou seja, no método de retorno escalar, ou na orientação, podem levar a resultados imprecisos, ruído de dados e observação *outlier* (SAASTAMOINEN *et al*., 2017).

O conceito de eficiência desenvolvido por Farrel (1957) deduziu um coeficiente de razão entre 0 e 1 ou 0% e 100%, comparando uma única saída e entrada. Um valor de pontuação próximo ou igual a 0 apresenta baixa eficiência e perto ou igual a 1 indica a máxima eficiência (RAY *et al.*, 2015). A proporção mede a eficiência relativa por Unidades de Tomada de Decisão (DMU) completa a comparação da transformação virtual em múltiplas saídas e entradas. A eficiência técnica é definida pelas premissas de Pareto, nas quais a razão é formada por uma soma ponderada de saídas, divididas por uma soma ponderada de insumos, em que ambos multiplicam saídas e entradas, respectivamente (CHARNES *et al.* , 2013).

O DEA em ambos os modelos, CRS ou VRS assume que existem DMUs a serem avaliadas. Cada DMU consome diferentes quantidades de insumos para produzir diferentes quantidades de saídas, dado um conjunto de processos tecnológicos. Consome diferentes $X_j = \{x_{ij}\}$

insumos (*i* = 1, ..., *m*) e produz de saídas (r = 1, ... , $Y_j = \{y_{rj}\}m$). Para cada constante *e*, assumimos que são maiores que zero. Para medir o índice de desempenho, a produção de forma de otimização, maximização ou minimização, pesos específicos *e* são inseridos na entrada $x_{ij} y_{rj} v_i u_r$ *i* e saída *r*. Os coeficientes de pontuação ainda estão no intervalo de 0 a 1. A eficiência é medida por cada DMU em análise, que deve ser otimizada, sujeita a restrições. Portanto, sempre, pelo menos, um DMU será eficiente, com 100% de eficiência na melhor capacidade de entrada de transformação em saídas. A fronteira é construída com, pelo menos, uma DMU de 100% de eficiência, como sublinha Ray *et al.* (2015). A eficiência é medida por cada DMU em análise, em uma função que deve ser otimizada, sujeita a restrições. Como exemplo, o modelo VRS assume uma orientação para produto escrito, como na Tabela 4.

Tabela 4 – Formulação para retornos variados de escala com orientação ao produto

Formulação de **Multiplicadores**	Formulação **de Envelopment**
$\theta = \text{Min} \sum_{i=1}^{m} u_i\, y_{j0} + u_0$ Sujeito a, $\sum_{i=1}^{s} v_i\, x_{i,j0} - \sum_{i=1}^{m} u_i\, y_{i,j0} + u_0 \leq 0$ $\sum_{i=1}^{s} v_i\, x_{i,j0} = 1$ $u_i \geq 0 \quad \forall_i = 1, m$ $v_i \geq 0 \quad \forall_i = 1, s$	φ^* = Max φ Sujeito a, $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j X_{ij} \leq \theta X_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m$ $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_{rj} \leq Y_{r0} \; r = 1, 2, \dots, s$ $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ $\lambda_j \geq 0 \; \forall_j = 1, \dots, n$
restrições m+s n+1 variáveis	restrições m+s n+1 variáveis

Fonte: Adaptado de Charnes *et al.* (2013)

A definição de eficiência utilizada pela DEA baseia-se no conceito do fator de produtividade total da engenharia, que utiliza a soma da razão ponderada das saídas divididas pela soma de pesos nos insumos. A programação linear aloca o valor do fator ponderado em outros para maximizar ou minimizar o índice de desempenho de cada DMU analisado (ALLEN *et al.*, 1997). Em função disso, este estudo utilizou o modelo DEA, com orientação a produtos VRS e rendimentos de escala crescente, tendo em vista as contribuições de (LEONTIEF, 1928; SAMUELSON, 1991). Ademais utiliza como *proxy* de insumos o volume em toneladas de carga transportada por distintas modalidades de transporte e o Produto Interno Bruto (PIB) como produto, reflexo da atividade econômica.

.

4 RESULTADOS

Esta seção foi subdividida em cinco partes para melhor compreensão. A primeira parte (4.1) apresenta a análise descritiva dos dados. A segunda (4.2), a análise exploratória de espacialidade. A terceira (4.3) formação de clusters em transportes e a modelagem para dependência espacial. A quarta (4.4), a eficiência no transporte de carga municipal. E a quinta (4.5), a discussão dos resultados e suas implicações.

4.1 Análise descritiva dos dados

A região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é composta de 34 municípios. A Tabela 5 apresenta a variável dependente PIB, do ano de 2017, por município (PIB considerado refere-se às atividades geradoras de transporte de carga, ou seja, a parcela financeira da indústria e da atividade agrícola). Destaca-se a concentração do PIB regional, em que os cinco municípios de maior PIB gerador de carga, Betim (26,79%), Belo Horizonte (26,20%), Contagem (14,14%), Nova Lima (11,91%) e Santa Luzia (2,86%) correspondem, em termos financeiros, a 81,90% na RMBH. Isso, com destaque para os municípios de Betim (26,79%) e de Belo Horizonte (26,20%), que juntos corresponderam, em 2017, a 52,99% do PIB gerador de carga na região.

Outra característica relevante sobre a composição do PIB gerador de carga na RMBH para o ano de 2017, que os municípios de Betim (R$ 20,2 bilhões), Belo Horizonte (R$ 19,8 bilhões), Contagem (R$ 10,6 bilhões) e Nova Lima (R$ 9,0 bilhões) se qualificam acima da média regional (R$ 2,2 bilhões). Se considerarmos a mediana do PIB gerador de carga (R$ 402 milhões) como medida de atenuação dos extremos, 16 municípios (47%) se qualificam acima da mediana para além de Betim, Belo Horizonte, Contagem e Nova Lima, como Brumadinho (R$ 2 bilhões), Sabará (R$ 1 bilhão), Itatiaiuçu (R$ 1 bilhão), Vespasiano (R$ 1 bilhão), Ibirité (R$ 1 bilhão), Juatuba (R$ 973 milhões), Ribeirão das Neves (R$ 744 milhões), Sarzedo (R$ 692 milhões), Matozinhos (R$ 662 milhões), Pedro Leopoldo (R$ 637 milhões), Lagoa Santa (R$ 516 milhões).

Outro ponto relevante ao PIB, somente 4 municípios situam-se acima do valor médio da RMBH (R$ 22.2 Bilhões), Betim, Belo Horizonte, Contagem e Nova Lima. Observou-se a forte variação na variável PIB, uma vez que o desvio padrão em termos é 2,24 vezes superior à média, vide Tabela 5. Quanto à variável investimento em infraestrutura de transportes, tem-se a média da RMBH em R$ 1,2 milhões de reais. Em número de trabalhadores, a RMBH

emprega a média de 2.997 trabalhadores em atividades voltadas especificamente ao transporte de carga metropolitano.

Tabela 5 - Produto Interno Bruto do ano 2017 para os municípios da RMBH – em mil reais

Municípios	PIB (R$ mil)	%	Acumulado (%)	Investimento (R$)	Trabalhadores (Un)
Betim	20.247.550,60	26,79%	26,79%	3.493.289,00	10.329
Belo Horizonte	19.801.791,60	26,20%	52,99%	6.567.913,00	47.094
Contagem	10.689.011,70	14,14%	67,13%	1.859.280,00	19.278
Nova Lima	9.003.534,60	11,91%	79,04%	79.679,00	1.970
Santa Luzia	2.164.356,20	2,86%	81,90%	4.343.125,00	3.090
Brumadinho	2.040.815,40	2,70%	84,60%	100.000,00	433
Sabará	1.689.230,30	2,23%	86,84%	897.687,00	2.843
Itatiaiuçu	1.155.293,20	1,53%	88,37%	203.533,00	57
Vespasiano	1.112.927,00	1,47%	89,84%	2.434.237,00	1.160
Ibirité	1.045.437,90	1,38%	91,22%	1.859.280,00	753
Juatuba	973.054,00	1,29%	92,51%	3.783.642,00	921
Ribeirão das Neves	744.324,00	0,98%	93,49%	1.606.609,00	3.744
Sarzedo	692.744,50	0,92%	94,41%	266.942,00	1.349
Matozinhos	662.662,80	0,88%	95,29%	1.129.439,00	630
Pedro Leopoldo	637.601,30	0,84%	96,13%	1.550.030,00	1.229
Lagoa Santa	516.621,60	0,68%	96,81%	5.969.08,001	740
Mateus Leme	422.747,50	0,56%	97,37%	657.885,00	89
São Joaquim de Bicas*	381.593,10	0,50%	97,88%	1,00	609
Igarapé	271.380,50	0,36%	98,24%	1.504.172,00	754
São Jose da Lapa	267.205,50	0,35%	98,59%	33.291,00	113
Raposos	266.152,10	0,35%	98,94%	178.677,00	6
Esmeraldas	147.851,10	0,20%	99,14%	2.027.316,00	785
Confins	116.313,10	0,15%	99,29%	88.322,00	3.386
Caeté	115.543,60	0,15%	99,45%	1.809.517,00	190
Itaguara	110.540,00	0,15%	99,59%	74.816,00	163
Baldim*	74.328,30	0,10%	99,69%	1,00	21
Mario Campos	43.876,50	0,06%	99,75%	24.105,00	40
Jaboticatubas	39.611,30	0,05%	99,80%	173.041,00	63
Nova União*	37.501,40	0,05%	99,85%	1,00	6
Florestal*	32.224,10	0,04%	99,89%	1,00	13
Rio Manso	29.432,80	0,04%	99,93%	275.783,00	10
Rio Acima	20.656,90	0,03%	99,96%	99.687,00	18
Capim Branco*	16.579,50	0,02%	99,98%	1,00	16
Taquaraçu de Minas*	14.268,50	0,02%	100,00%	1,00	1
Média	2.223.081,20			1.267.364,00	2.997
Mediana	402.170,30			271.362,00	620
Desvio Padrão	4.995.405,60			1.713.392,00	8.483

Fonte: Elaborado pelo autor
(IBGE, 2022)* Municípios com 0 investimentos no ano de 2017 e que tiveram o valor 1 adicionado para fins metodológicos

A Tabela 6 apresenta a carga transportada por cada modalidade de transporte na RMBH. Verifica-se que a modalidade ferroviária (78%) é expressiva para o transporte de carga se comparada à modalidade de transporte rodoviária (22%). No tocante ao transporte aéreo e ao dutoviário, verifica-se que esses não são expressivos se comparados às modalidades de transporte ferroviário e rodoviário.

Tabela 6 - Carga transportada na RMBH por modalidade em 2017 –toneladas.

Modalidades	Total transportado no período (em t)	%
Ferroviário	197.267.890	22,20882%
Rodoviário	56.320.121	77,78904%
Aéreo	5.390	0,00213%
Dutoviário	29	0,00001%
Total	253.593.430	100,00000%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao segmentar as atividades econômicas pelas seções do CNAE 2.0, por modalidade de transporte para a RMBH, tem-se a concentração (79,3%) da carga transportada figurada em cinco atividades econômicas principais: na indústria extrativista (79,9%), indústria da transformação (7,4%), comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas (0,6%), Transporte, armazenagem e correio (0,3%) e construção (0,1%), conforme Tabela 7. Ressalta-se ainda a utilização expressiva do transporte ferroviário para a indústria extrativista e a utilização do transporte rodoviário para a indústria de transformação na RMBH.

Verifica-se nos dados, conforme Tabela 8, que cinco municípios transportam 86,9% do volume de carga da RMBH, com destaque para os municípios de Brumadinho (53,5%), Nova Lima (13,3%), Betim (8,4%), Contagem (5,9%) e Belo Horizonte (5,8%). Também é possível observar a alta concentração de transporte pela modalidade ferroviária da RMBH, distribuída nos municípios de Brumadinho (134 milhões de ton), Nova Lima (32 milhões de ton), Betim (10 milhões de ton), Itatiaiuçu (6 milhões de ton) e Belo Horizonte (3 milhões de ton). Confirma-se ainda para a modalidade de transporte rodoviário o município de Contagem (13 milhões de ton), Belo Horizonte (11 milhões de ton) e Betim (10 milhões de ton).

Tabela 7 – Volume transportado por modalidade de transporte e por atividade econômica na RMBH em 2017 – em toneladas

Atividade Econômica	Rodoviário	Ferroviário	Aéreo	Dutoviário	Total	%
Indústrias extrativas	4.423.841	175.452.153	1	0	179.875.995	70,9%
Indústrias de transformação	13.458.876	5.291.061	271	29	18.750.237	7,4%
Comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas	1.247.312	186.778	25	0	1.434.115	0,6%
Transporte, armazenagem e correio	369.805	309.800	1.111	0	680.715	0,3%
Construção	330.788	0	64	0	330.852	0,1%
Atividades administrativas e serviços complementares	274.744	0	60	0	274.804	0,1%
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	270.347	0	0	0	270.347	0,1%
Informação e comunicação	164.446	0	32	0	164.479	0,1%
Alojamento e alimentação	115.188	0	51	0	115.240	0,0%
Atividades profissionais, científicas e técnicas	49.499	0	23	0	49.522	0,0%
Administração pública, defesa e seguridade social	38.284	0	8	0	38.292	0,0%
Outras atividades de serviços	23.411	0	14	0	23.425	0,0%
Eletricidade e gás	22.749	0	1	0	22.750	0,0%
Educação	4.836	0	2	0	4.838	0,0%
Saúde humana e serviços sociais	2.765	0	151	0	2.916	0,0%
Atividades imobiliárias	2.713	0	0	0	2.713	0,0%
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	2.487	0	5	0	2.492	0,0%
Artes, cultura, esporte e recreação	2.213	0	8	0	2.221	0,0%
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	1.638	0	3	0	1.640	0,0%
Outros não identificados	35.514.178	16.028.098	3.560	0	51.545.836	20,3%
Total	56.320.121	197.267.890	5.390	29	253.593.430	100,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.
Nota: Zeros correspondem à inexistência de transporte de carga oficial.

Tabela 8 - Volume transportado por modalidade de transporte e por município da RMBH para o ano 2017 – em toneladas

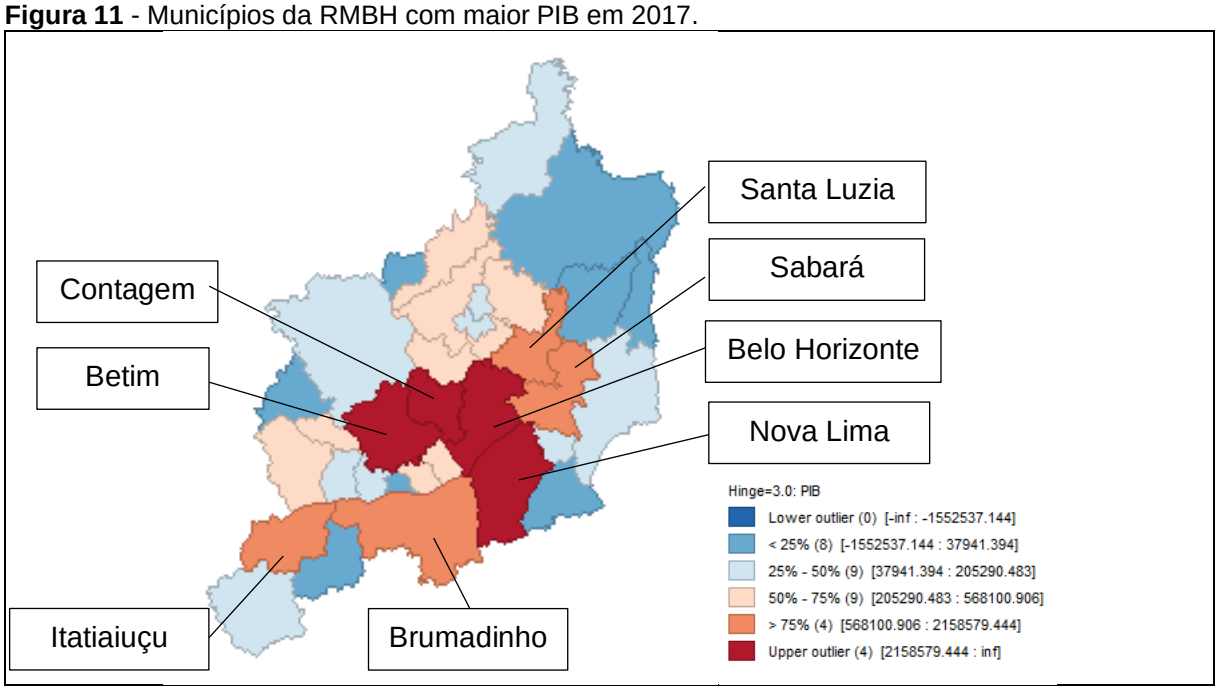
Municípios	Rodovia	Ferrovia	Aéreo	Dutovia	Total	%	Acumulado (%)
Brumadinho	962.704	134.790.808	0	0	135.753.512	53,5%	53,5%
Nova Lima	1.340.285	32.397.288	80	0	33.737.653	13,3%	66,8%
Betim	10.848.431	10.440.983	104	29	21.289.547	8,4%	75,2%
Contagem	13.522.079	1.340.597	721	0	14.863.398	5,9%	81,1%
Belo Horizonte	11.046.233	3.586.936	3.117	0	14.636.286	5,8%	86,9%
Itatiaiuçu	410.321	6.354.708	1	0	6.765.030	2,7%	89,5%
Matozinhos	2.207.557	2.301.006	6	0	4.508.569	1,8%	91,3%
Santa Luzia	2.316.316	1.222.679	23	0	3.539.018	1,4%	92,7%
Pedro Leopoldo	2.391.716	1.013.676	46	0	3.405.438	1,3%	94,0%
Vespasiano	2.523.934	209.449	71	0	2.733.455	1,1%	95,1%
Ribeirão das Neves	2.102.697	0	13	0	2.102.710	0,8%	96,0%
Sabará	1.481.688	152.259	5	0	1.633.953	0,6%	96,6%
Raposos	103.065	1.521.559	1	0	1.624.625	0,6%	97,2%
São José da Lapa	1.106.221	293.408	30	0	1.399.658	0,6%	97,8%
Sarzedo	557.974	682.743	3	0	1.240.720	0,5%	98,3%
Confins	66.400	906.651	1.051	0	974.101	0,4%	98,7%
Ibirité	572.809	0	9	0	572.818	0,2%	98,9%
Juatuba	496.039	0	10	0	496.049	0,2%	99,1%
São Joaquim de Bicas	411.642	5.621	2	0	417.265	0,2%	99,3%
Mateus Leme	349.411	47.520	12	0	396.944	0,2%	99,4%
Caeté	351.576	0	3	0	351.579	0,1%	99,5%
Lagoa Santa	287.694	0	65	0	287.759	0,1%	99,7%
Igarapé	176.394	0	8	0	176.402	0,1%	99,7%
Itaguara	127.524	0	0	0	127.524	0,1%	99,8%
Nova União	120.971	0	0	0	120.971	0,0%	99,8%
Florestal	94.972	0	1	0	94.973	0,0%	99,9%
Esmeraldas	69.200	0	3	0	69.203	0,0%	99,9%
Baldim	64.573	0	0	0	64.573	0,0%	99,9%
Taquaraçu de Minas	50.660	0	1	0	50.661	0,0%	99,9%
Capim Branco	37.801	0	0	0	37.801	0,0%	100,0%
Jaboticatubas	37.116	0	1	0	37.117	0,0%	100,0%
Rio Manso	28.810	0	0	0	28.810	0,0%	100,0%
Rio Acima	28.048	0	1	0	28.049	0,0%	100,0%
Mário Campos	27.260	0	0	0	27.260	0,0%	100,0%
Total	56.320.121	197.267.890	5.390	29	253.593.430	100,0%	

Fonte: Elaborado pelo autor.
Nota: Zeros correspondem a inexistência de transporte de carga oficial.

4.2 Análise espacial exploratória dos dados

A visualização espacial dos dados permite verificar padrões espaciais, ou seja, como estão distribuídos e as possíveis configurações espaciais. Utilizou-se da metodologia de média das variáveis, agrupando os dados por segmentos, com intervalos de até três vezes o interquartil, com base no algoritmo de Jenkins (BOX; JENKINS; REINSEL, 1994). Utilizou-se até três de desvio conforme a característica dos dados, que têm grandes intervalos de concentração, visualizados na Tabela 7 e Tabela 8, em que foram divididos em seis grupos. Nesse sentido, para melhor visualização dos dados, aplicou-se a técnica de *boxplot* no mapa da RMBH para visualização dos dados.

Figura 11 - Municípios da RMBH com maior PIB em 2017.



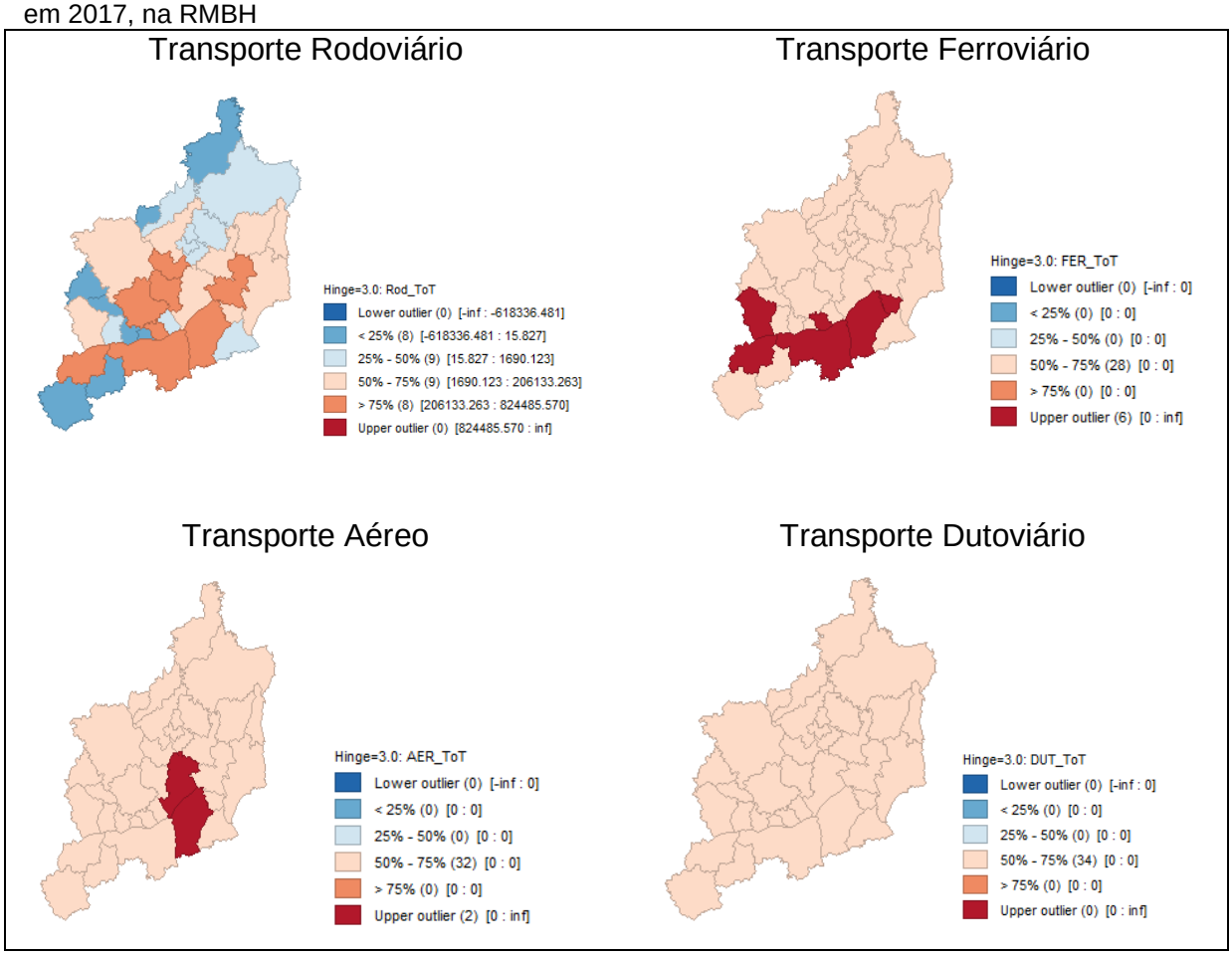
Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda*.

A Figura 11 corrobora a visualização espacial dos dados apresentados na Tabela 5, que denota que os municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem e Nova Lima figuram-se de maior relevância e concentração em termos de PIB gerado de carga para a RMBH. Também é possível observar que, em termos de PIB gerador de carga, a classificação secundária (2° quintil) geradora de carga em termos de PIB à RMBH, estão os municípios de Brumadinho, Itatiaiuçu, Santa Luzia e Sabará.

Na Figura 12, é possível constatar as atividades de transporte de carga provocadas pela indústria extrativista presente na RMBH, por sistema de transporte. Destaca-se o agrupamento de municípios para a modalidade rodoviária, tais como Betim, Brumadinho,

Contagem, Itatiaiuçu, Nova Lima, Ribeirão das Neves, Sarzedo e Sabará. Evidencia-se, também, na modalidade ferroviária o agrupamento dos municípios Brumadinho, Itatiaiuçu, Mateus Leme, Nova Lima, Raposos e Sarzedo. No transporte aéreo, há destaque para os municípios de Belho Horizonte e Nova Lima, conforme o baixo volume transportado, conforme Tabela 8. Já na modalidade dutoviária, na RMBH, não há transporte de carga da indústria extrativista por nenhum município.

Figura 12 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica da indústria extrativista, em 2017, na RMBH

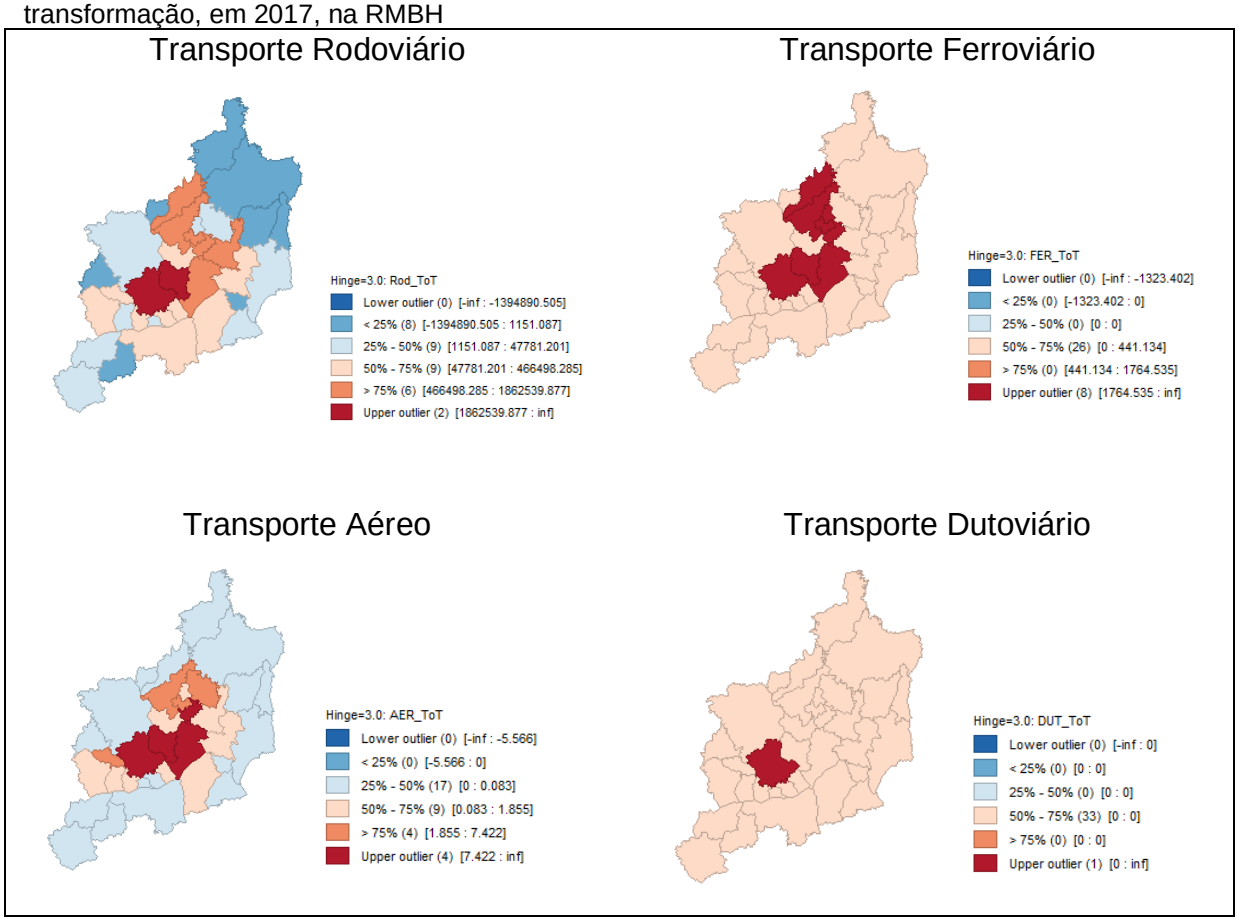


Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda*.

A Figura 13 apresenta a carga transportada na RMBH oriunda da atividade econômica da indústria da transformação por modalidade de transporte. Para a modalidade de transporte rodoviária, tem-se elevada concentração para os municípios de Betim e Contagem. Destaca-se, no quinto quartil, que foram agrupados os municípios de Belo Horizonte, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Santa Luzia, São José da Lapa e Vespasiano. Para a modalidade de transporte ferroviário, é significante o transporte de carga da indústria da transformação nos municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem, Matozinhos, Pedro Leopoldo, São José da Lapa e Vespasiano. No transporte aéreo, apesar do destaque, ressalta-se o baixo volume

transportado, conforme Tabela 8; e destaca-se os municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem e Vespasiano como primários. Como secundário para o aéreo, pode-se agrupar os municípios Juatuba, Pedro Leopoldo, São José da Lapa e Lagoa Santa. Já na modalidade dutoviária, apesar do baixo volume transportado, conforme Tabela 8, há o transporte de carga da indústria de transformação no município de Betim.

Figura 13 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica da indústria da transformação, em 2017, na RMBH

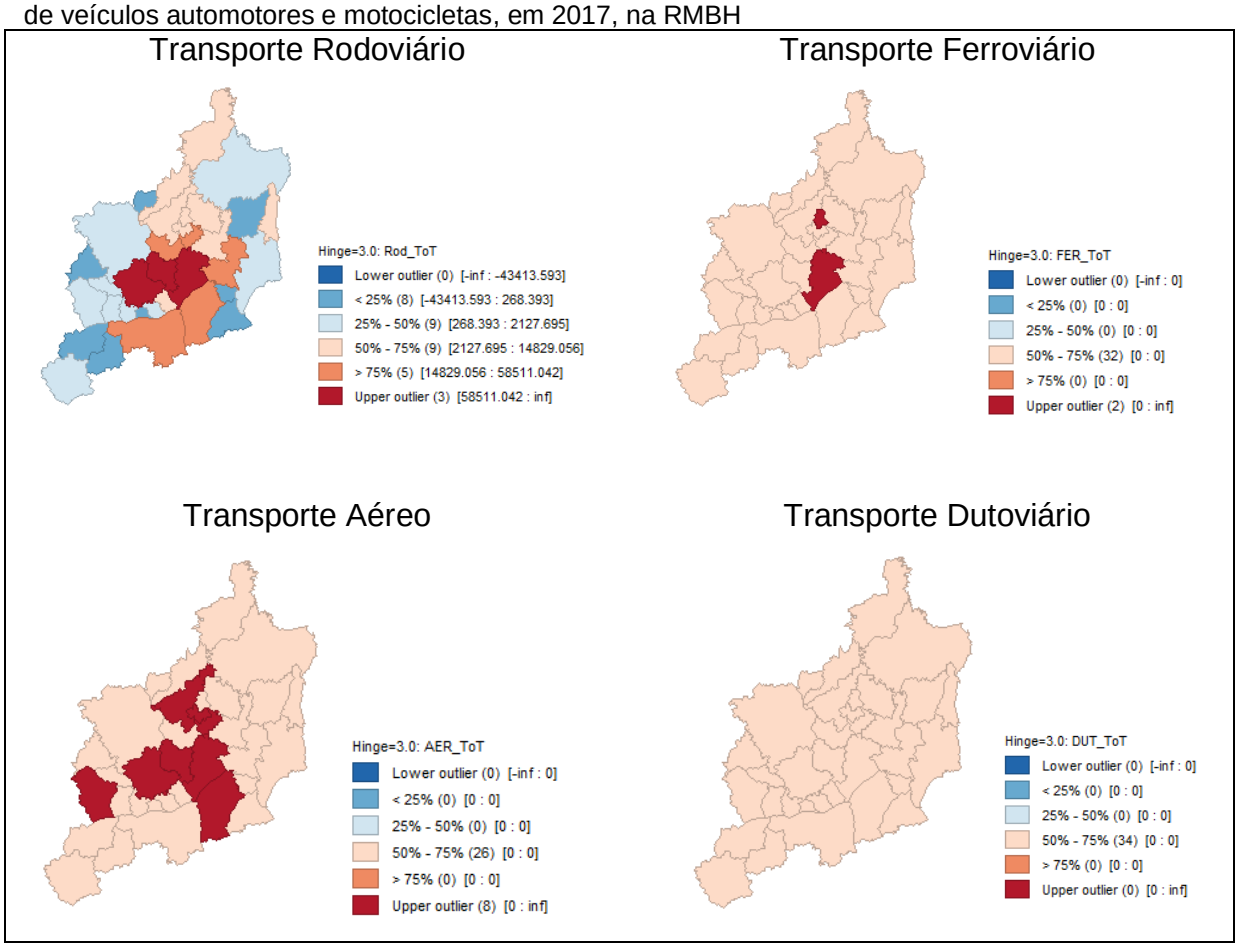


Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

A Figura 14 apresenta a carga transportada na RMBH oriunda da atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas por modalidade de transporte. Para a modalidade de transporte rodoviária, concentra-se o transporte de carga nos municípios de Belo Horizonte, Betim e Contagem. Destaca-se também, secundariamente no quinto quartil, os municípios de Brumadinho, Nova Lima, Ribeirão das Neves, Sabará e Vespasiano. No ferroviário, destaca-se o transporte de carga nos municípios de Belo Horizonte e Confins. No transporte aéreo, apesar do destaque, ressalta-se o baixo volume transportado, conforme Tabela 8; destaca-se os municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem, Mateus Leme, Nova Lima, Pedro Leopoldo, São José da Lapa e Vespasiano. Já

na modalidade dutoviária, na RMBH, não há transporte de carga para a atividade econômica de comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas por nenhum município.

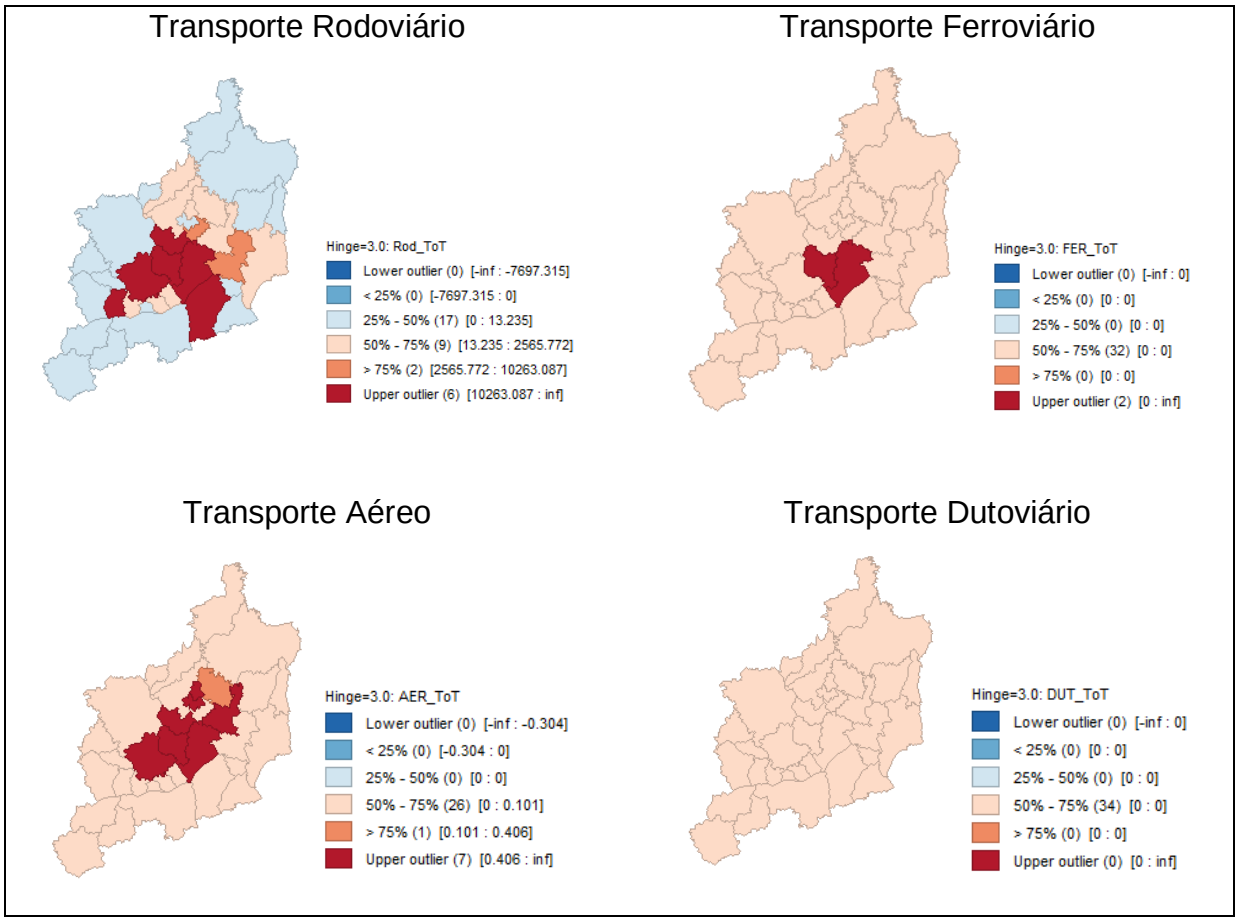
Figura 14 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica do comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas, em 2017, na RMBH



Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

A Figura 15 apresenta a carga transportada na RMBH, oriunda da atividade econômica do transporte, armazenagem e correio por modalidade de transporte. Os municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem, Igarapé, Nova lima e Ribeirão das Neves destacam-se na modalidade rodoviária. No entanto, Sabará e Santa Luzia também se destacam secundariamente no quinto quartil ao transporte, armazenagem e correio na modalidade rodoviária. Nessa modalidade, pode-se destacar os municípios de Belo Horizonte e Contagem. Na modalidade aérea, é relevante observar o agrupamento de vários municípios da RMBH, como Belo Horizonte, Betim, Contagem, Confins, Ribeirão das Neves, Santa Luzia e São José da Lapa. Há um destaque secundário (quinto quartil) para o município de Lagoa Santa. Já na modalidade dutoviária, na RMBH, não há transporte de carga para a atividade econômica relacionada ao transporte, armazenagem e correio por nenhum município.

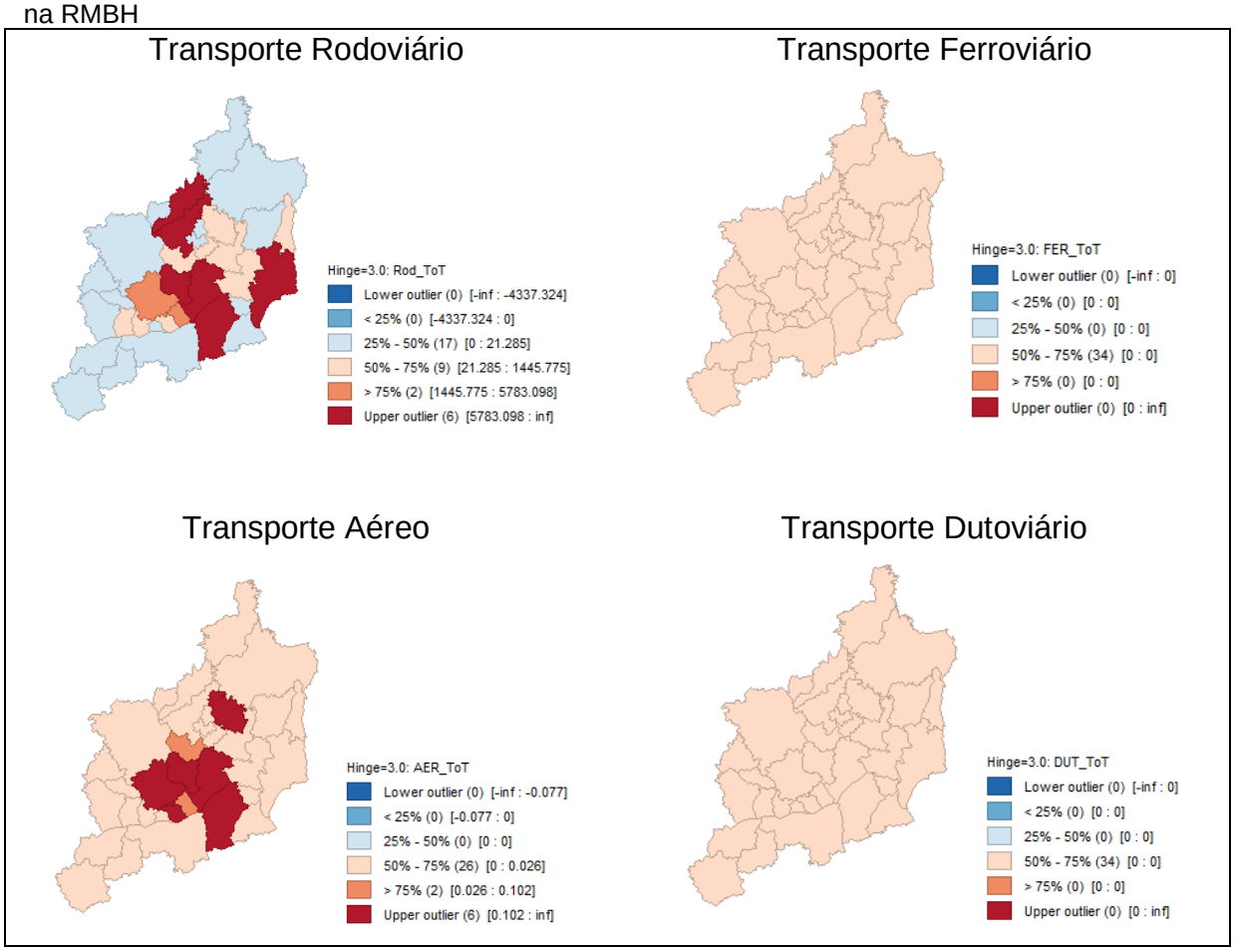
Figura 15 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica do Transporte, armazenagem e correio, em 2017, na RMBH



Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda*.

A Figura 16 apresenta a carga transportada na RMBH oriunda da atividade econômica da construção por modalidade de transporte. Na modalidade de transporte rodoviário, destacam-se os municípios Belo Horizonte, Contagem, Matozinhos, Nova Lima, Pedro Leopoldo e Caeté. No tocante à relevância secundária, quinto quartil, destacam-se os municípios de Betim e Ibirité. Para a modalidade de transporte ferroviária e dutoviária, não há municípios na RMBH que realizam essa modalidade para transporte de carga. Na modalidade aérea, é possível observar o destaque para os municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem, Lagoa Santa, Nova Lima e Sarzedo.

Figura 16 - Transporte de carga por modalidade para a atividade econômica da construção, em 2017, na RMBH



Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

4.3 Dependência espacial

A análise espacial permitiu verificar áreas correlacionadas geograficamente que, neste estudo, buscou-se a compreensão da produtividade refletida nas modalidades de transportes de carga rodoviário, ferroviário, aéreo e dutoviário para a RMBH. Nesse sentido, esta cessão foi subdividida em duas partes, cessão 4.3.1 a que identifica a formação de *clusters* pela autocorrelação espacial por meio da estatística I de Moran e cessão 4.3.2 a produtividade influenciada pela dependência espacial.

4.3.1 Autocorrelação espacial – I de Moran univariado e bivariado

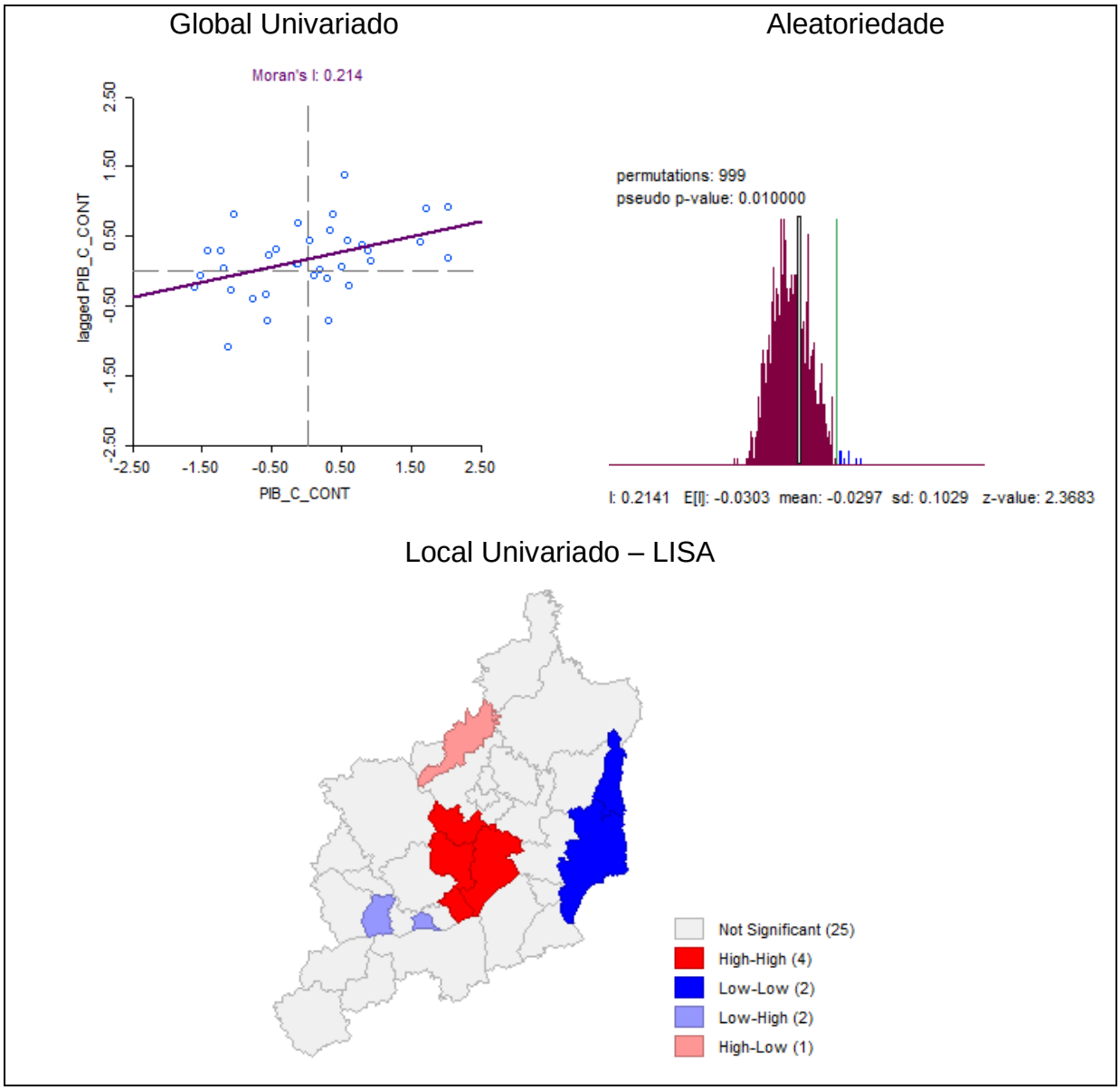
A estatística do I de Moran permite verificar a autocorrelação espacial entre unidades de análise, indicando o grau de associação entre os municípios para determinado parâmetro. O I de Moran global univariado permitiu analisar a aleatoriedade dos dados (por meio do nível de significância), a concentração das unidades (sinal positivo do I de Moran) e negativo para dispersão, sugerido por Almeida (2012). Complementou-se a análise com I Moran Local Univariado (LISA), uma vez que o I de Moran não permitiu a identificação da autocorrelação local entre unidades de análise, o que, consequentemente, impossibilita verificar a formação de *clusters* espaciais locais. Oportunamente, analisou-se I de Moran bivariado para identificar a autocorrelação espacial entre a variável PIB e as demais variáveis que representam a modalidade de transporte de carga na RMBH. Houve exceção da análise para variável dutovia, que está presente somente no município de Betim junto da atividade econômica da indústria da transformação, e que assim, não há razoabilidade em comparar sua interação espacial com ela mesma frente ao I de Moran.

A Figura 17 apresenta a análise da autocorrelação espacial entre municípios da RMBH para a variável PIB. A estatística do I de Moran global univariado, primeiramente, apresentou uma inclinação positiva, com o valor de 0,214, indicando que há associação positiva para o PIB entre os municípios da RMBH. Ao verificar o processo de aleatoriedade da variável PIB (I de Moran global univariado), confirmou-se a presença da autocorrelação espacial positiva em nível de significância de 1% (H0: rejeito a hipótese nula de aleatoriedade espacial), ao simular aleatoriamente o I de Moran global univariado para 999 permutações.

Verifica-se o I moran Local Univariado (LISA) que identifica a formação de *clusters* locais para o PIB dos municípios da RMBH ainda na Figura 17. Verificou-se a formação da relação do tipo Alto-Alto entre os municípios de Belo Horizonte, Contagem, Nova Lima e Santa Luzia, configurando a relação espacial positiva do PIB entre os municípios. Outra formação em

destaque é a relação do tipo Baixo-Baixo entre municípios de Caeté e Nova União, configurando a dispersão.

Figura 17 - Estatística do I de Moran para o PIB dos municípios da RMBH – ano 2017

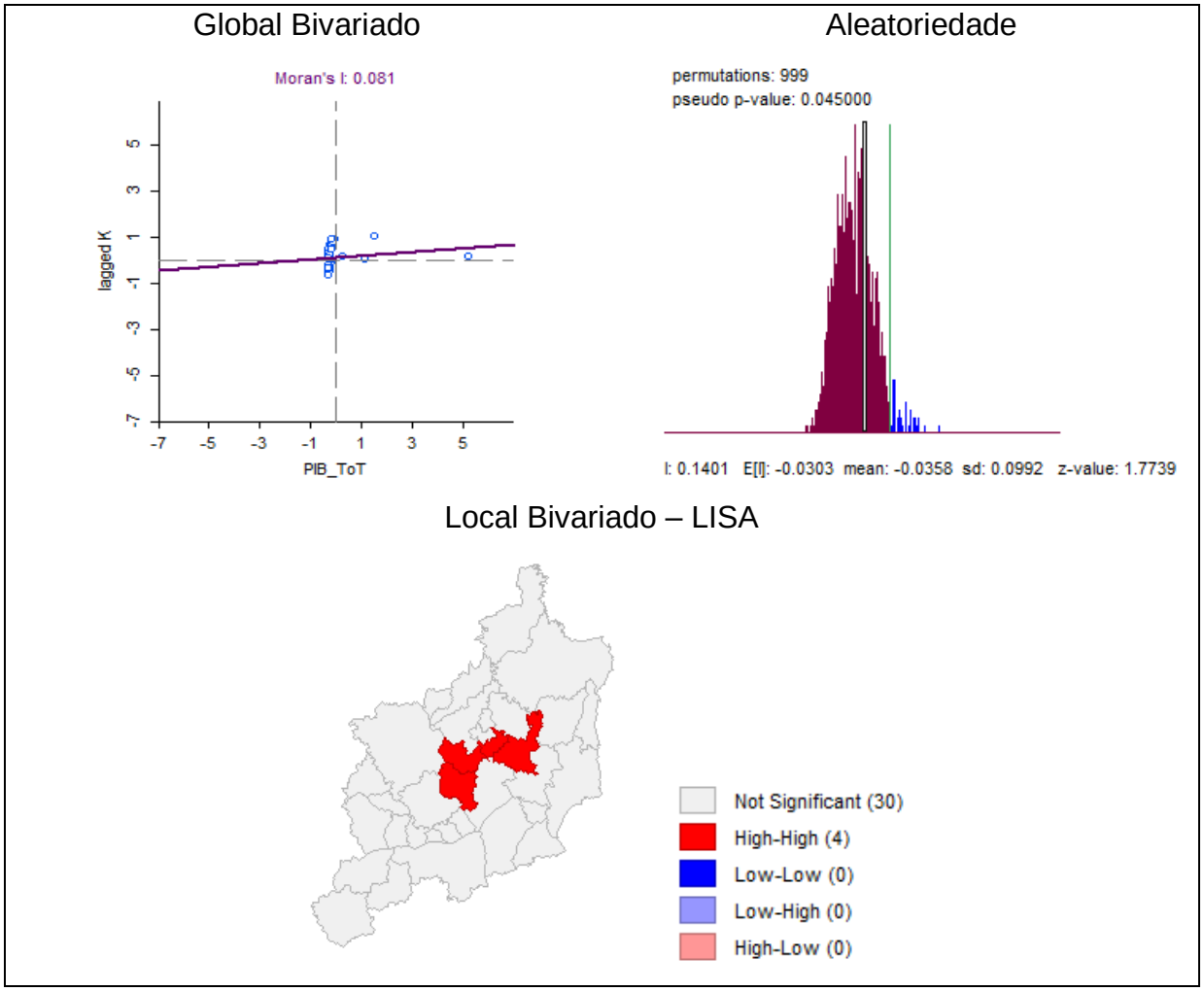


Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

A Figura 18 apresenta a análise da autocorrelação espacial entre municípios da RMBH para a variável PIB, junto da variável de investimentos. A estatística do I de Moran global bivariado, primeiramente, apresentou uma inclinação positiva com o valor de 0,081, indicando que há associação positiva para o PIB e investimentos nos municípios da RMBH. Ao verificar o processo aleatoriedade da variável PIB, junto os investimentos (I de Moran global bivariado), se confirma a presença da autocorrelação espacial positiva em nível de significância de 5% (H0: rejeito a hipótese nula de aleatoriedade espacial), ao simular aleatoriamente o I de Moran

global bivariado para 999 permutações. Logo, é possível afirmar estatisticamente que há autocorrelação positiva entre o PIB e o investimento municipal na RMBH.

Figura 18 - Estatística do I de Moran para o PIB e investimentos em infraestrutura nos municípios da RMBH – ano 2017



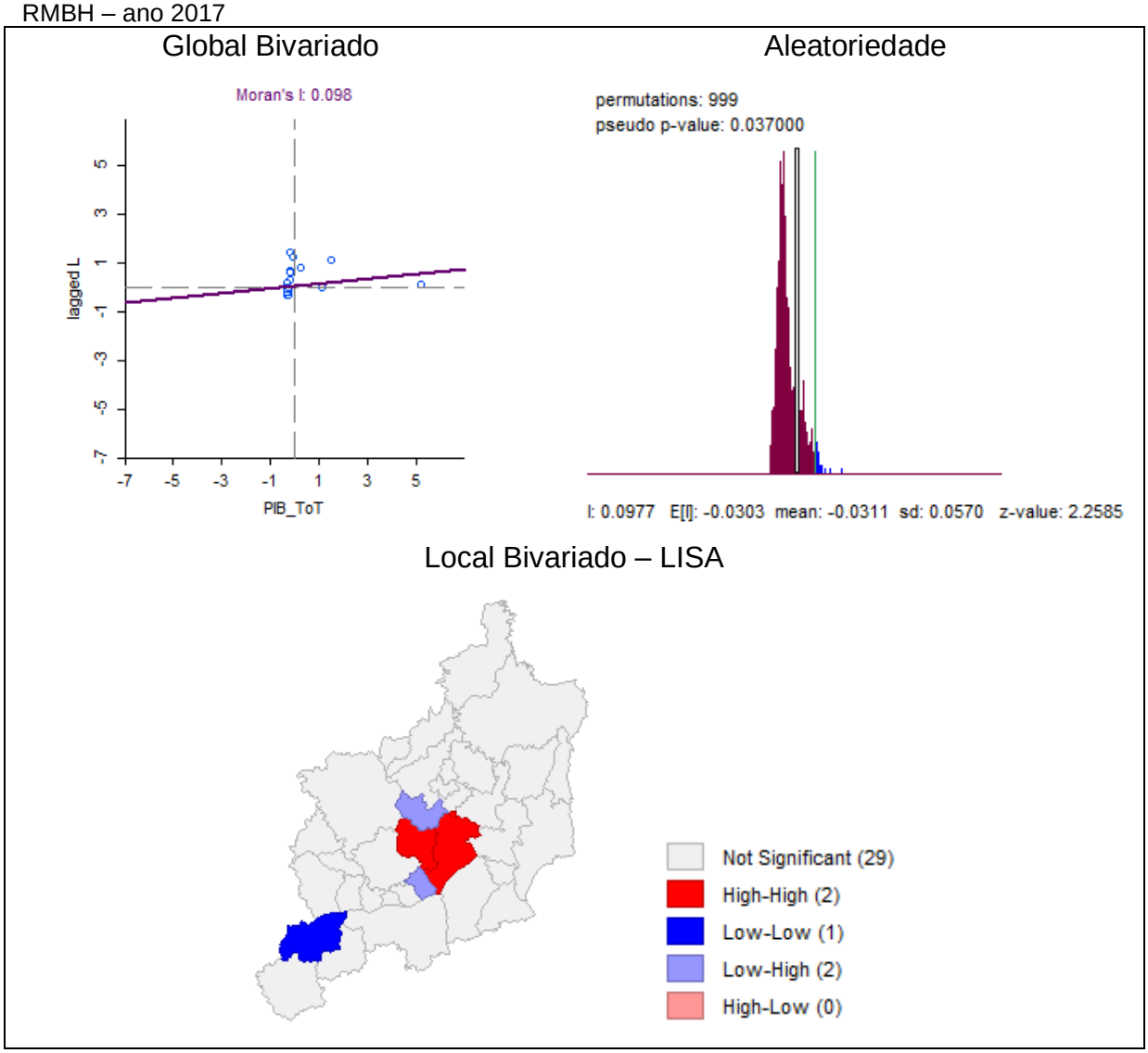
Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

Verifica-se I Moran local bivariado (LISA) que identifica a formação de *clusters* locais para o PIB, junto ao investimento dos municípios da RMBH ainda na Figura 18. Verificou-se a formação da relação do tipo Alto-Alto entre os municípios de Contagem, Ribeirão das Neves, Vespasiano e Santa Luzia, em que é possível afirmar estatisticamente existe a configuração espacial positiva do PIB e o investimento em infraestrutura de transportes desses municípios.

A Figura 19 apresenta a análise da autocorrelação espacial entre municípios da RMBH para a variável PIB, junto da variável de trabalhadores. A estatística do I de Moran global bivariado, primeiramente, apresentou uma inclinação positiva com o valor de 0,0981, indicando que há associação positiva para o PIB e trabalhadores nos municípios da RMBH. Ao verificar o

processo aleatoriedade da variável PIB, junto os investimentos (I de Moran global bivariado), se confirma a presença da autocorrelação espacial positiva em nível de significância de 5% (H0: rejeito a hipótese nula de aleatoriedade espacial), ao simular aleatoriamente o I de Moran global bivariado para 999 permutações. Logo, é possível afirmar estatisticamente que há autocorrelação positiva entre o PIB e o trabalhadores da RMBH.

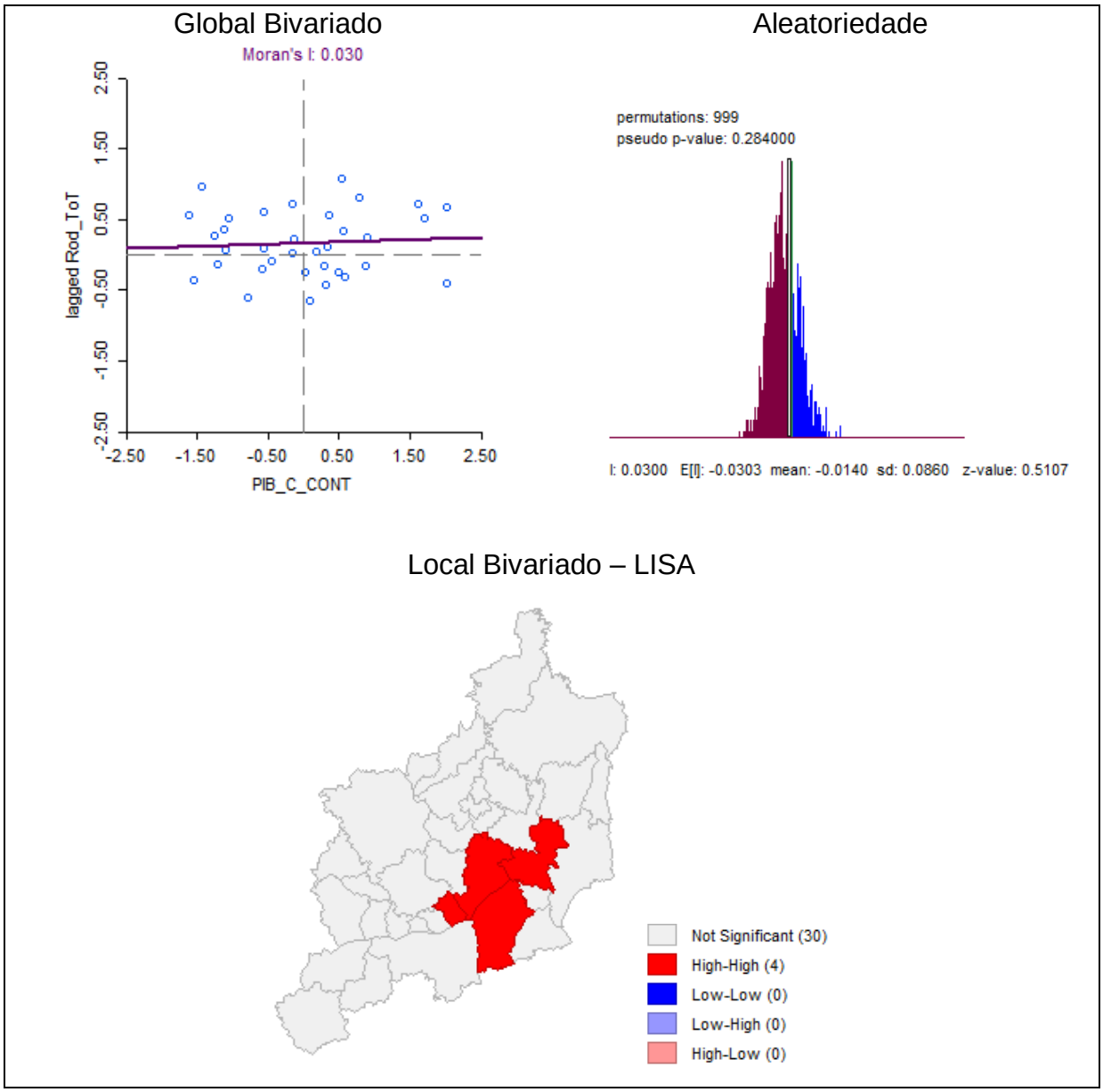
Figura 19 - Estatística do I de Moran para o PIB e trabalhadores em transportes nos municípios da RMBH – ano 2017



Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

Verifica-se I Moran local bivariado (LISA) que identifica a formação de *clusters* locais para o PIB, junto aos trabalhadores dos municípios da RMBH ainda na Figura 19. Verificou-se a formação da relação do tipo Alto-Alto entre os municípios de Belo Horizonte e Contagem, em que é possível afirmar estatisticamente existe a configuração espacial positiva do PIB e trabalhadores em transportes desses municípios.

Figura 20 - Estatística do I de Moran para o PIB e para o transporte rodoviário de carga dos municípios da RMBH – ano 2017



Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

A Figura 20 apresenta a análise da autocorrelação espacial entre municípios da RMBH para a variável PIB, junto da variável da modalidade de transporte rodoviário de carga. A estatística do I de Moran global bivariado, primeiramente, apresentou uma inclinação positiva com o valor de 0,030, indicando que há associação positiva para o PIB e o transporte de carga rodoviária para municípios da RMBH. Ao verificar o processo aleatoriedade da variável PIB, junto ao transporte de carga rodoviária (I de Moran global bivariado), não se confirma a presença da autocorrelação espacial positiva em nível de significância de 1% (H0: rejeito a hipótese nula de aleatoriedade espacial), ao simular aleatoriamente o I de Moran global bivariado para 999

permutações. Logo, não é possível afirmar estatisticamente que há autocorrelação positiva entre o PIB e o transporte de carga rodoviária na RMBH.

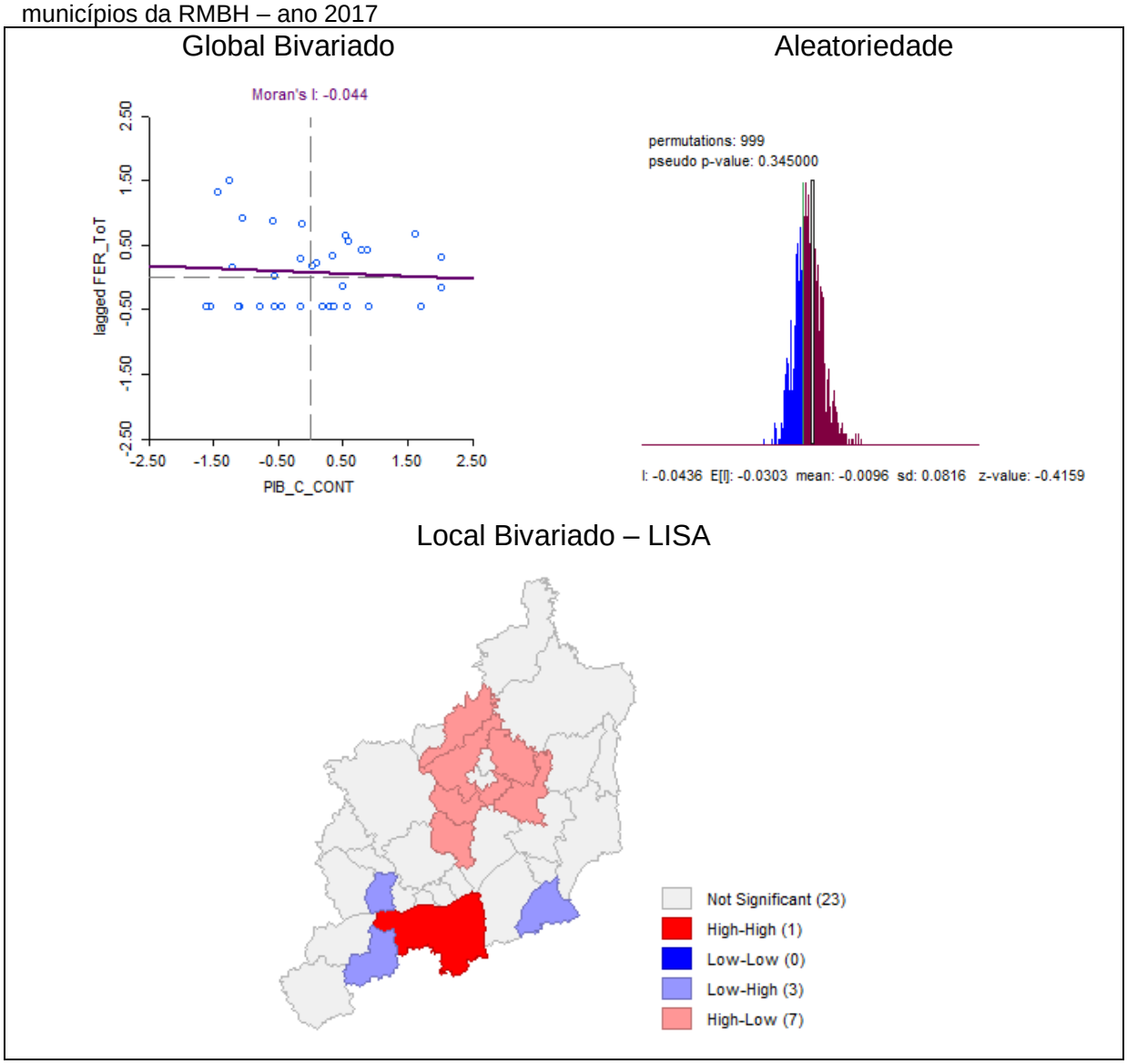
Verifica-se I Moran local bivariado (LISA) que identifica a formação de *clusters* locais para o PIB, junto ao transporte de carga rodoviária dos municípios da RMBH ainda na Figura 20. Verificou-se a formação da relação do tipo Alto-Alto entre os municípios de Belo Horizonte, Ibirité, Nova Lima e Sabará, mas não é possível afirmar estatisticamente a configuração espacial positiva do PIB e o transporte de carga rodoviária para esses municípios.

A Figura 21 apresenta a análise da autocorrelação espacial entre municípios da RMBH para a variável PIB, junto da variável da modalidade de transporte ferroviário de carga. A estatística do I de Moran global bivariado, primeiramente, apresentou uma inclinação negativa com o valor de -0,044, indicando que há associação negativa para o PIB e o transporte de carga ferroviária para municípios da RMBH. Ao verificar o processo aleatoriedade da variável PIB, junto ao transporte de carga ferroviária (I de Moran global bivariado), não se confirma a presença da autocorrelação espacial positiva em nível de significância de 1% (H0: rejeito a hipótese nula de aleatoriedade espacial), ao simular aleatoriamente o I de Moran global bivariado para 999 permutações. Logo, não é possível afirmar, estatisticamente, que há autocorrelação positiva entre o PIB e o transporte de carga ferroviária na RMBH.

Verifica-se, dessa forma, o I Moran local bivariado (LISA) que identifica a formação de *clusters* locais para o PIB, junto ao transporte de carga ferroviária dos municípios da RMBH, ainda na Figura 21. Verificou-se também a formação da relação do tipo Alto-Alto para o município de Brumadinho isoladamente, mas não é possível afirmar estatisticamente a configuração espacial. No entanto, verifica-se a relação Alto-Baixo para os municípios de Contagem, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Santa Luzia, Ribeirão das Neves e Vespasiano. Essa configuração indica desigualdades na região para a relação do PIB, junto ao transporte de carga ferroviária dos municípios da RMBH.

A Figura 22 apresenta a análise da autocorrelação espacial entre municípios da RMBH para a variável PIB, junto da variável da modalidade de transporte aéreo de carga. A estatística do I de Moran global bivariado, primeiramente, apresentou uma inclinação positiva com o valor de 0,195, indicando que há associação positiva para o PIB e o transporte de carga aérea para municípios da RMBH. Ao verificar o processo de aleatoriedade da variável PIB, junto ao transporte de carga aéreo (I de Moran global bivariado), não é possível confirmar a presença da autocorrelação espacial positiva em nível de significância de 1% (H0: rejeito a hipótese nula de aleatoriedade espacial) ao simular aleatoriamente o I de Moran global bivariado para 999 permutações.

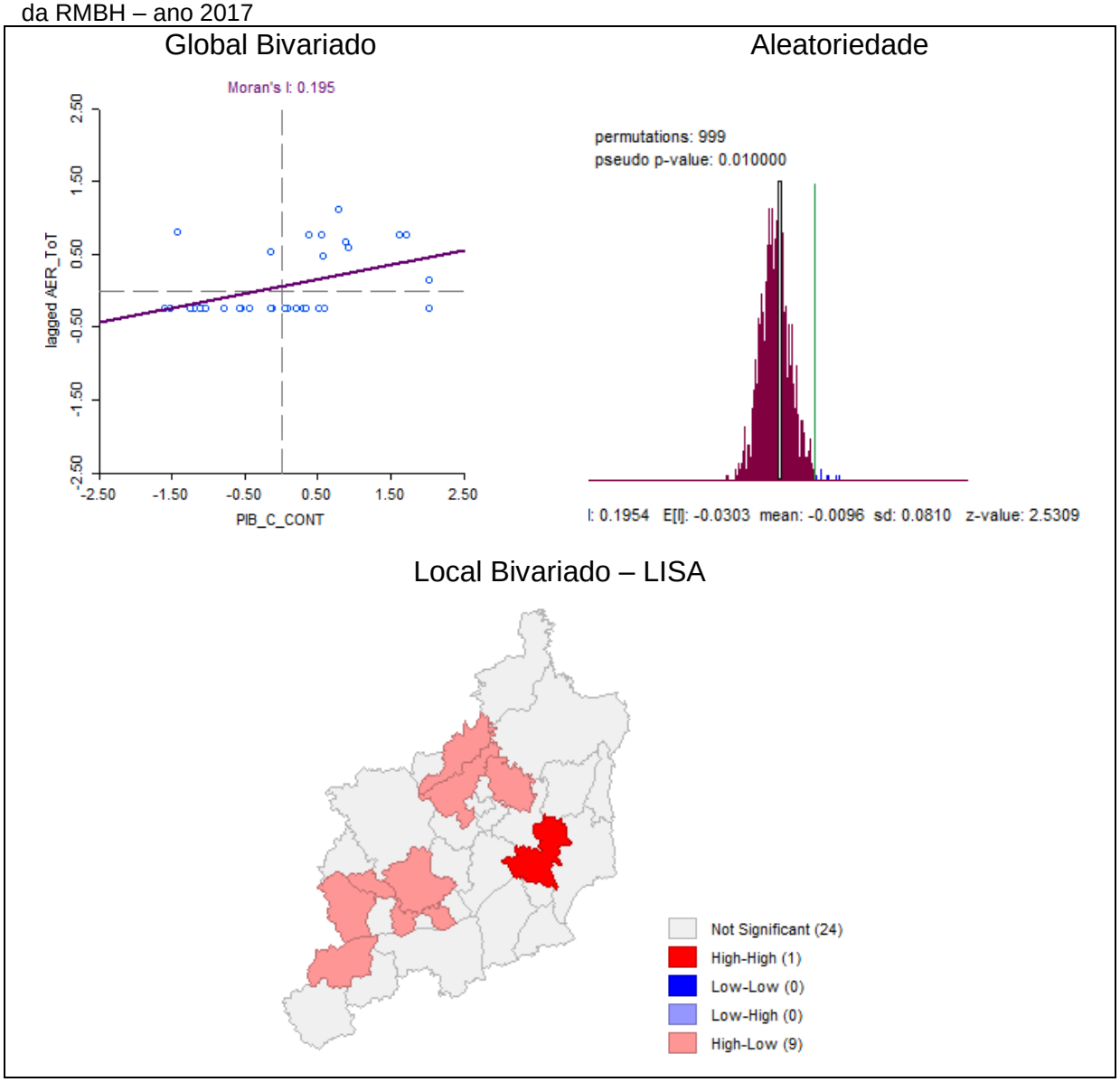
Figura 21 - Estatística do I de Moran para o PIB e para o transporte ferroviário de carga dos municípios da RMBH – ano 2017



Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

Assim, verifica-se o I Moran Local bivariado (LISA) que identifica a formação de *clusters* locais para o PIB, junto ao transporte de carga aérea dos municípios da RMBH, ainda na Figura 22. Verificou-se também a formação da relação do tipo Alto-Alto para o município de Sabará isoladamente. No entanto, não é possível afirmar estatisticamente que há a formação de cluster a partir da relação Alto-Baixo para os municípios de Juatuba, Itatiaiuçu, Lagoa Santa, Mateus Leme, Matozinhos, Pedro Leopoldo, São José de Bicas e Sarzedo.

Figura 22 - Estatística do I de Moran para o PIB e para o transporte aéreo de carga dos municípios da RMBH – ano 2017



Fonte: Elaborado pelo autor – *software Geoda.*

4.3.2 Produtividade total dos fatores

Nesta subseção, apresenta-se a mensuração do impacto na produtividade a partir da carga transportada na infraestrutura das modalidades de transportes rodoviário, ferroviário, aéreo e dutoviário, disponíveis na RMBH. Entretanto, mesmo tendo identificado os processos de autocorrelação espacial do PIB, junto das modalidades de transportes de carga, a estatística do I de Moran não quantifica o impacto conjunto e identifica o processo de autocorrelação espacial das modalidades de transportes de carga no PIB.

Diante disso e frente aos objetivos específicos deste trabalho, estimou-se os modelos econométricos espaciais propostos na cessão 3.2: Equação 9: MODELO 1 – MQO; Equação 10: MODELO 2 – ERRO; Equação 11: MODELO 3 – LAG; e MODELO 12: MODELO 4 – SARMA. A estimação dos modelos foi aplicada para cada uma das cinco atividades econômicas de interesse, das quais se buscou verificar o impacto direto no PIB, considerando a característica geográfica / espacial de vizinhança, a partir do transporte de carga em cada modalidade de transporte presente na RMBH. Foi utilizado especificamente o *software R* e o *Geoda Space* para o cálculo das estimativas econométricas para os modelos espaciais propostos.

Primeiramente, buscou-se identificar a normalidade da variável dependente PIB para o ano de 2017. Foi aplicado o teste de *Shapiro-Wilk*, em que os resultados apresentaram normalidade quanto ao índice de significância de 5% (H0: rejeição da hipótese nula de normalidade - p-value = 0.2045). No entanto, em função do: (1) baixo número da amostra, baseado em 34 observações (municípios da RMBH); e (2) possíveis imprecisões nos estimadores, é razoável e plausível, para a análise de significância estatística dos modelos, utilizar o índice de significância de até 10%, de modo a evitar possível erro do tipo I.

4.3.2.1 Produtividade total dos fatores para indústria extrativista

A Tabela 9 apresenta o comparativo dos modelos espaciais propostos para mensurar a produtividade econômica da indústria extrativista, a partir da carga transportada por modalidade de transporte. Nesse sentido, verificou-se a dependência espacial por meio do teste de autocorrelação espacial do I de Moran no MODELO 1 – MQO. Constatou-se que o p-valor do I de Moran Global, calculado para o MODELO 1 – MQO, sob a hipótese nula de presença de aleatoriedade espacial nos resíduos, com índice de significância de 5%, indica que não se pode rejeitar a hipótese de que há aleatoriedade espacial nos resíduos (p-valor: 0,05 ≥ 0.5541). Nesse sentido, pode-se concluir que, estatisticamente, há dependência ou autocorrelação espacial entre as modalidades de transporte de carga e a atividade econômica para a indústria extrativista na RMBH. Consequentemente, os MODELO 2 – ERRO, o MODELO 3 – LAG e o MODELO 4 – SARMA, propostos para mensurar a dependência espacial da indústria extrativista, junto das modalidades de transportes de carga, são necessários e relevantes para mensurar o impacto da produtividade dos sistemas de transportes.

Nesse sentido, verifica-se que a equação MODELO 3 – LAG é a que apresenta melhor significância no teste LM robusto para LAG (p-valor: 0,10 ≥ 0,07514) para mensurar o impacto

da produtividade das modalidades de transporte de carga na atividade econômica da indústria extrativista, que pode ser descrito como na Equação 13:

$$Ln(\widehat{PIB}) = \frac{5.135039 + 0{,}144958*\widehat{K} + 0{,}132856*\widehat{\text{Rod}} + 7{,}087548*\widehat{\text{Aer}}}{(1-0{,}4379)} \qquad (13)$$

Tabela 9 - Comparativo de modelos espaciais: produtividade econômica da indústria extrativista a partir das modalidades de transporte da RMBH – em 2017

Regressão	Mod. 1 - MQO		Mod. 2 - Erro		Mod. 3 - Lag		Mod. 4 - Sarma	
Intercepto	10.92534	***	11.153003	***	5.135039	***	6.100034	.
Ln_K	0.17074	***	0.120318	***	0.144958	***	0.137265	***
Ln_L	-0.07267		-0.061877		-0.071896		-0.072222	
Ln_Rod	0.13727	.	0.176616	.	0.132856	**	0.149623	**
Ln_Fer	-0.03660		-0.035788		-0.028722		-0.029658	
Ln_Aer	8.02321	**	6.698229	***	7.087548	***	7.038672	***
Ln_Dut	NA		NA		NA		NA	
Lambda	---		0.57348	.	---		0.17321	
Rho	---		---		0.4379	.	0.36595	
Multiple R-squared	0.6694		---		---		---	
Adjusted R-squared	0.6103		---		---		---	
p-value	4.805e-06		---		---		---	
Testes Estatísticos								
Heterocedasticidade (p-value)	0.0529		---		---		---	
Wald test (p-value)	---		0.0006919	.	**0.0039621**	*	---	
LM test autocorrelação resíd. (p-value)	---		---		0.9256		---	
LM test robusto (p-value)	---		0.91010		**0.07514**	.	---	
LR test (p-value)	---		---		---		0.03955	*
I Moran Global								
Observado	0.20561789		---		---		---	
p-value	**0.005541**	**	---		---		---	

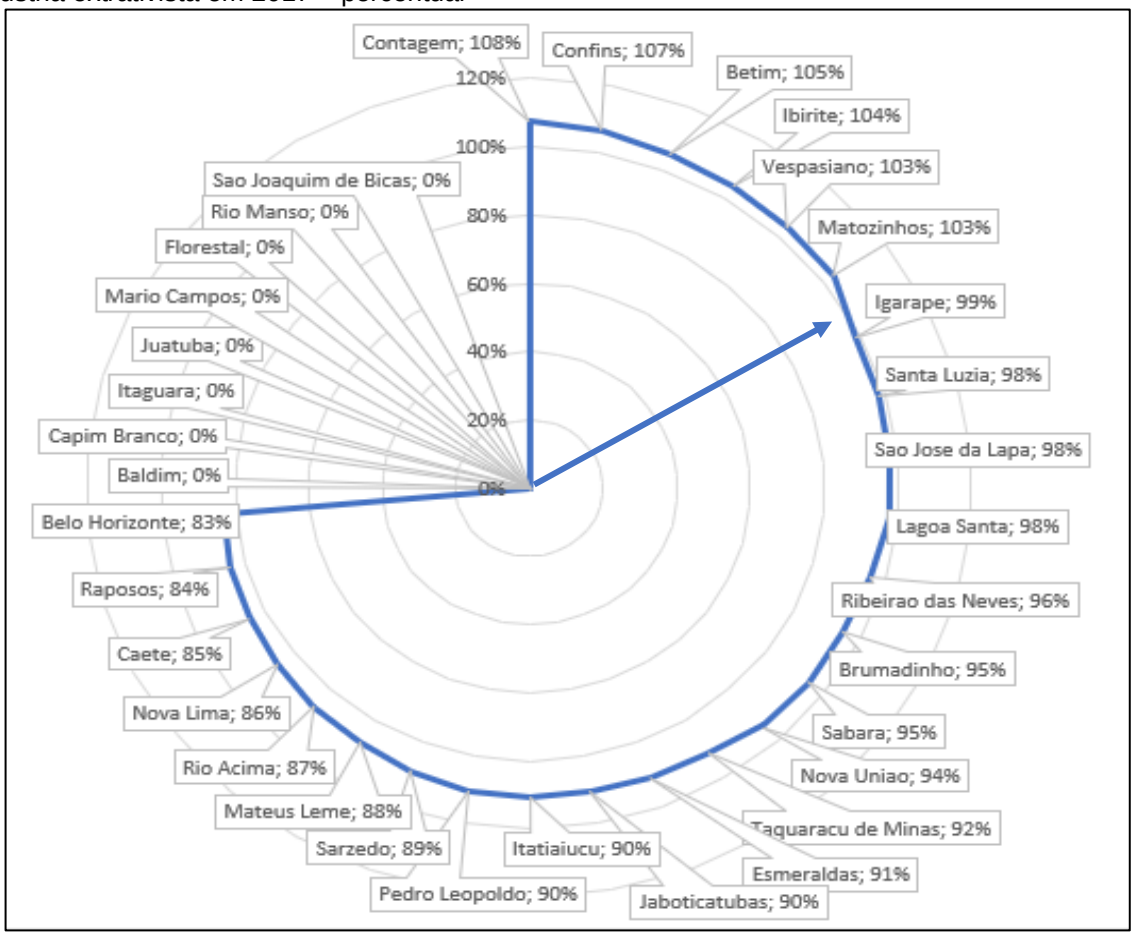
Significância: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Fonte: Elaborado pelo autor – *Software R*
Nota 1: MODELO 1 – MQO foi corrigido com processo de White para heterocedasticidade.
Nota 2: NA - representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

Verificou-se que, para a atividade econômica da indústria extrativista, é significativo estatisticamente, a 10% a variável de investimento, e as dos sistemas rodoviário e aéreo, além dos parâmetros estimados do modelo, como o intercepto o e Rho, vide Tabela 9, os parâmetros de significância. Logo, verifica-se o efeito no PIB, em que a produtividade total dos fatores - PTF na RMBH é de 9,13% (intercepto/1-rho). O efeito total das variáveis no PIB da indústria extrativista para a RMBH é de aumentar (positivamente) em 22,3% quando o investimento (K), e os transportes de cargas rodoviário e aéreo aumentarem conjuntamente em 1%.

Verifica-se, dessa forma, o I Moran local bivariado (LISA) que identifica a formação de clusters locais para o PIB, junto ao transporte de carga ferroviária dos municípios da RMBH, ainda na Figura 21. Verificou-se também a formação da relação do tipo Alto-Alto para o município de Brumadinho isoladamente, mas não é possível afirmar estatisticamente a configuração espacial. No entanto, verifica-se a relação Alto-Baixo para os municípios de Contagem, Lagoa

Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Santa Luzia, Ribeirão das Neves e Vespasiano. Essa configuração indica desigualdades na região para a relação do PIB, junto ao transporte de carga ferroviária dos municípios da RMBH. os efeitos diretos totais individuais, tem-se o investimento (K), com impacto positivo de 0,25% (quando K=1), rodoviário positivo em 0,23% (quando Rod =1) e aéreo positivo em 12,6% (quando Aer = 1). Isso se deu utilizando-se do procedimento do efeito do multiplicador recomendado em Kim *et. al.* (2003) para o impacto global.

Figura 23 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga, referente a indústria extrativista em 2017 – percentual



Fonte: Elaborado pelo autor
Nota: "0" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica

Para a taxa de produtividade individual dos municípios, tem-se a relação $\mathrm{Y_i}$ PIB Real e $\widehat{\mathrm{Y}}_\mathrm{i}$ PIB Estimado $(\mathrm{PIB_i}/\widehat{\mathrm{PIB}}_\mathrm{i}) * 100$ denotados na Figura 23. Nessa figura é possível observar que os municípios de Contagem, Confins, Betim, Ibirité, Vespasiano e Matozinhos desempenham a produtividade acima da média esperada (100%) da RMBH.

4.3.2.2 Produtividade total dos fatores para indústria da transformação

A Tabela 10 apresenta o comparativo dos modelos espaciais propostos para mensurar a produtividade econômica da indústria da transformação, a partir da carga transportada por modalidade de transporte. Constatou-se que o p-valor do I de Moran Global, calculado para o MODELO 1 – MQO, sob a hipótese nula de presença de aleatoriedade espacial nos resíduos, com índice de significância de 10%, indica que não há aleatoriedade espacial nos resíduos (p-valor: 0,10 ≤ 0,73). Portanto, a hipótese traçada acima foi rejeitada. Assim, pode-se concluir que, estatisticamente, não há dependência ou autocorrelação espacial entre as modalidades de transporte de carga e a atividade econômica para a indústria da transformação na RMBH. Consequentemente, o MODELO 2 – ERRO, o MODELO 3 – LAG e o MODELO 4 – SARMA, propostos para mensurar a dependência espacial da indústria de transformação, junto das modalidades de transportes de carga, são desnecessárias ou desprezíveis. Esse argumento pode ser reforçado pelos dados da Tabela 10, na qual é possível verificar que os modelos espaciais propostos não foram estatisticamente significativos.

Nesse sentido, verifica-se que a equação MODELO 1 – MQO que descreve o impacto da produtividade das modalidades de transporte de carga para a atividade econômica da indústria de transformação, pode ser descrita como na Equação 14:

$$Ln\left(\widehat{PIB}\right) = 9{,}50390 + 0{,}07278 * \hat{K} + 0{,}36986 * \hat{L} + 0{,}47927 * \widehat{Aer} \qquad (14)$$

Verificou-se que, para a atividade econômica da indústria de transformação, é significativo estatisticamente à 10% as variáveis de investimento (K), trabalho (L), e o transporte aéreo, além do parâmetro estimado do modelo como o intercepto, vide Tabela 9, para os parâmetros de significância. Logo, pode-se verificar o efeito no PIB, em que a produtividade total dos fatores na RMBH é de 9,5% (intercepto). O efeito total das variáveis no PIB da indústria de transformação para a RMBH, quando conjuntamente ao investimento (K), trabalho (L) e transporte de carga aérea aumentarem conjuntamente em 1%, o PIB da indústria de transformação aumenta (positivamente) em 10,42%. Para os efeitos diretos totais individuais, temos o investimento (K), com impacto positivo de 0,07% (quando K=1), trabalho (L) – positivo em 0,36% (quando T =1), e aéreo – positivo em 0,47% (quando Aer = 1).

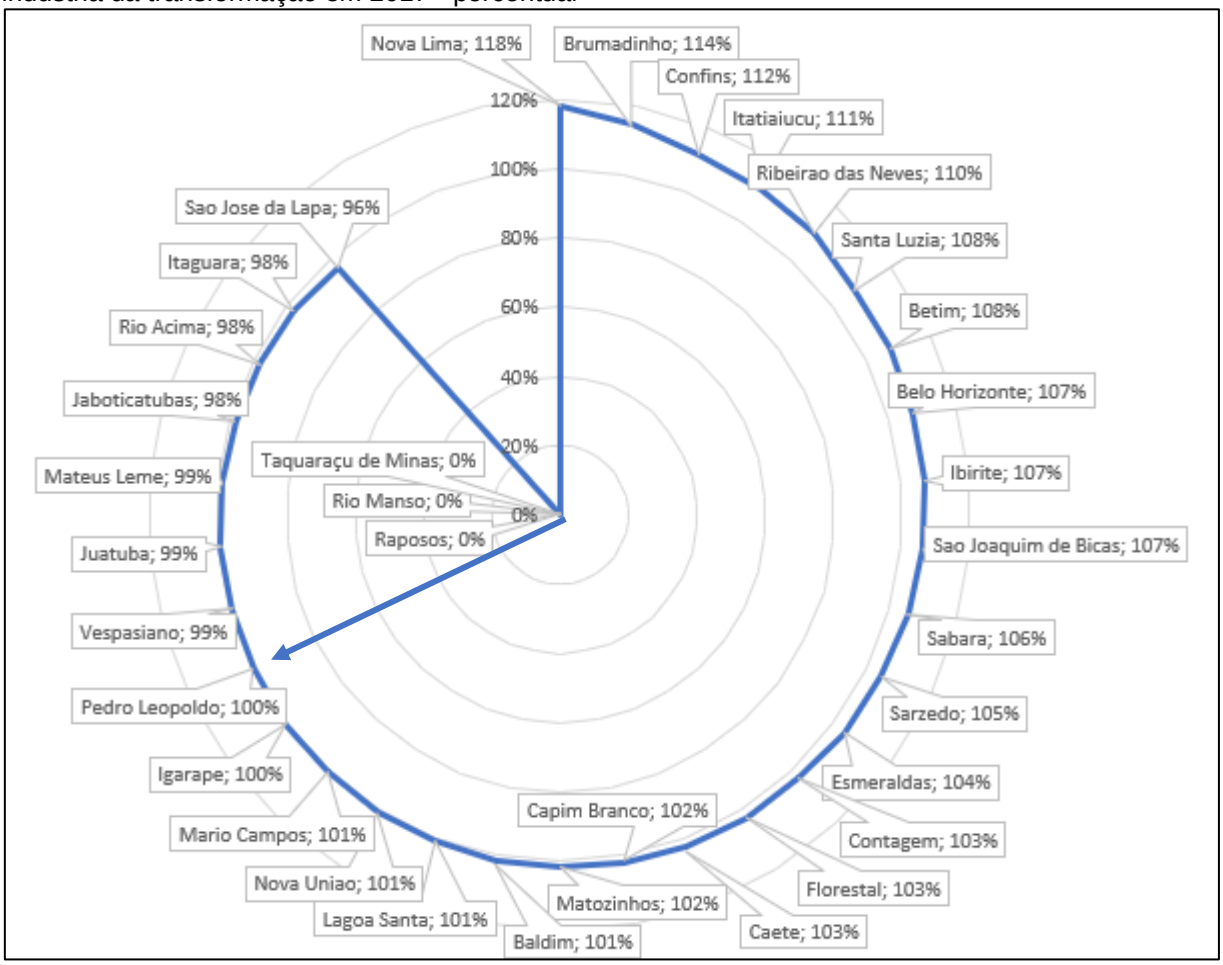
Tabela 10 – Comparativo de modelos espaciais: Produtividade econômica da indústria da transformação a partir das modalidades de transporte da RMBH, em 2017

Regressão	Mod. 1 - MQO		Mod. 2 - Erro		Mod. 3 - Lag		Mod. 4 - Sarma	
Intercepto	9.50390	***	9.738640	***	6.246111	***	6.062251	***
Ln_K	0.07278	*	0.083539	**	0.066834	**	0.080706	.
Ln_L	0.36986	*	0.264713		0.385587	***	0.206976	
Ln_Rod	0.05771		0.092651		0.040651		0.077726	
Ln_Fer	-0.02805		-0.053781	.	-0.016981		-0.055156	.
Ln_Aer	0.47927	*	0.653305	***	0.375655	**	0.613070	***
Ln_Dut	0.22537		0.186014		0.264614		0.132218	
Lambda	---		-0.42727		---		0.80475	
Rho	---		---		0.24489		0.30854	
Multiple R-squared	0.8532		---		---		---	
Adjusted R-squared	0.8206		---		---		---	
p-value	4.721e-10	***	---		---		---	
Testes Estatísticos								
Heterocedasticidade (p-value)	0.0903		---		---		---	
Wald test (p-value)	---		0.12245		0.049707		---	
LM test autocorrelação resí. (p-value)	---		---		0.35958		---	
LM test robusto (p-value)	---		0.9133		0.2966		---	
LR test (p-value)	---		---		---		0.29211	
I Moran Global								
Observado	-0.094930		---		---		---	
p-value	**0.73**		---		---		---	

Significância: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
Fonte: Elaborado pelo autor – *Software R*.
Nota: MODELO 1 – MQO foi corrigido com processo de White para heterocedasticidade.

Para a taxa de produtividade individual aos municípios, tem-se a relação $\mathrm{Y_i}$ PIB Real e $\widehat{\mathrm{Y}}_\mathrm{i}$ PIB Estimado $(\mathrm{PIB_i}/\widehat{\mathrm{PIB}}_\mathrm{i}) * 100$, denotados na Figura 24. É possível observar no gráfico que os municípios de Nova Lima, Brumadinho, Confins, Itatiaiuçu, Ribeirão das Neves, Santa Luzia, Betim, Belo Horizonte, Ibirité, São Joaquim de Bicas, Sabará, Sarzedo, Esmeralda, Contagem, Florestal, Caeté, Capim Branco, Matozinhos, Baldim, Lagoa Santa, Nova União e Mário Campos desempenham a produtividade acima da média esperada (100%) da RMBH.

Figura 24 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente a indústria da transformação em 2017 - percentual



Fonte: Elaborado pelo autor.
Nota: “0” representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

4.3.2.3 Produtividade total dos fatores para o comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas

A Tabela 11 apresenta o comparativo dos modelos espaciais propostos para mensurar a produtividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, a partir da carga transportada por modalidade de transporte. Constatou-se que o p-valor do I de Moran Global, calculado para o MODELO 1 – MQO, sob a hipótese nula de presença de aleatoriedade espacial nos resíduos, com índice de significância de 10%, indica que não há aleatoriedade espacial nos resíduos (p-valor: 0,10 ≤ 0,8734). A hipótese, portanto, foi rejeitada. Conclui-se que, estatisticamente, não há dependência ou autocorrelação espacial entre as modalidades de transporte de carga e a atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas na RMBH. Consequentemente, o MODELO 2 – ERRO, o MODELO 3 – LAG e o MODELO 4 – SARMA, propostos para mensurar a dependência espacial do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, junto das modalidades de transportes de carga, são desnecessários ou desprezíveis. Na Tabela 11, é possível verificar que os modelos espaciais propostos não foram estatisticamente significativos, o que reforça o argumento acima.

Nesse sentido, verifica-se que a equação MODELO 1 – MQO, que propõe o impacto da produtividade das modalidades de transporte de carga para a atividade econômica do comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas, pode ser descrita como na Equação 15:

$$Ln\left(\widehat{PIB}\right) = 7{,}87614 + 0{,}67463 * \hat{L} + 0{,}09291 * \widehat{Rod} \quad (15)$$

Verificou-se que, para a atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, é significativo, estatisticamente, à 10% as variáveis de trabalho (L) e o sistema transporte rodoviário, além do parâmetro estimado do modelo como o intercepto – vide Tabela 11 para os parâmetros de significância. Logo, pode-se verificar o efeito no PIB, em que a produtividade total dos fatores na RMBH é de 7,8% (intercepto). O efeito total das variáveis no PIB no comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas para a RMBH, quando o trabalho (L) e transporte de carga rodoviária aumentarem conjuntamente em 1%, torna o PIB dessa variável (positivamente) em 8,64%. Para s efeitos diretos totais individuais, resta o trabalho (L), com impacto positivo em 0,67% (quando T =1), e o transporte rodoviário, com impacto positivo em 0,09% (quando Rod = 1).

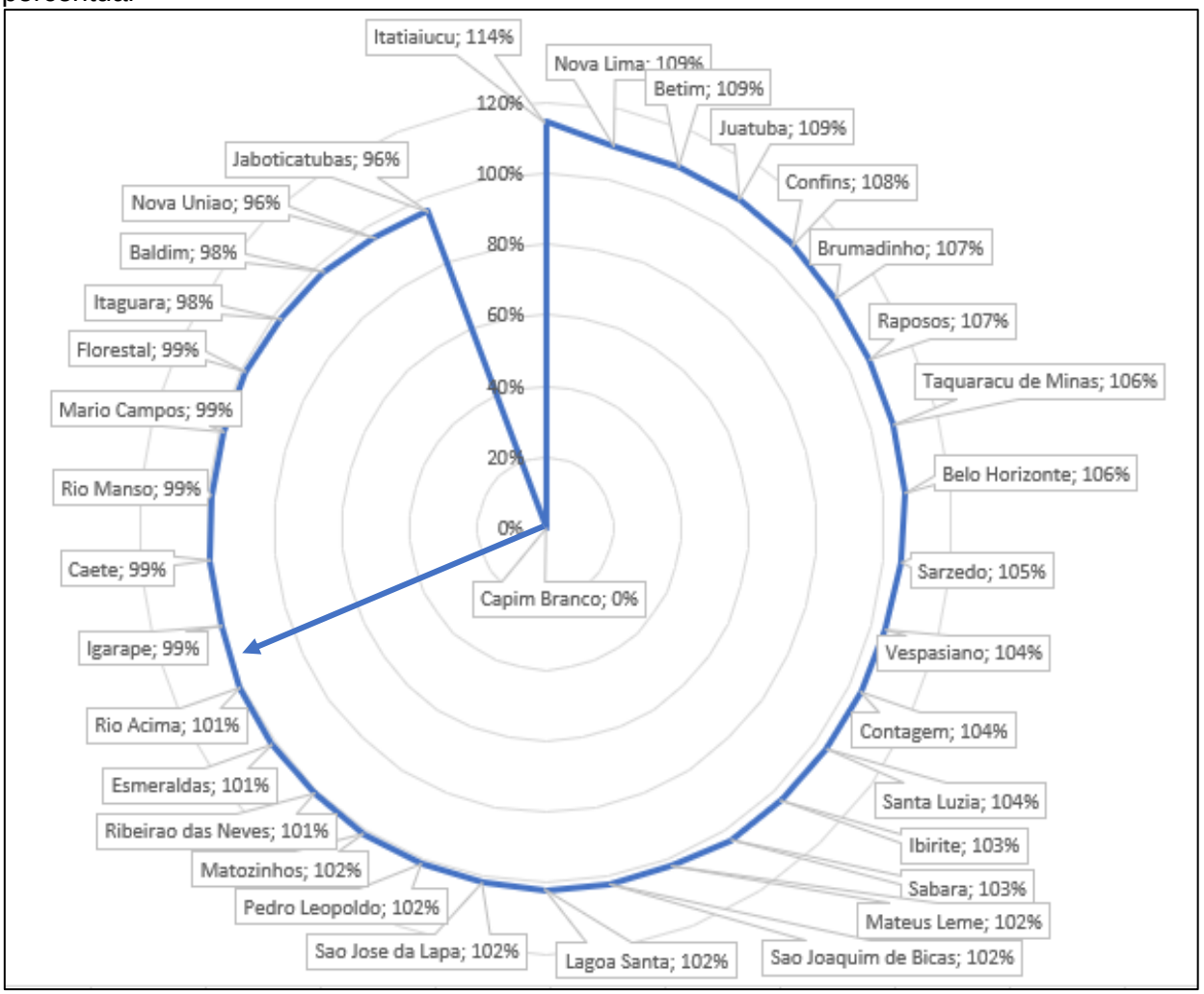
Tabela 11 - Comparativo de modelos espaciais: Produtividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas a partir das modalidades de transporte da RMBH, em 2017

Regressão	Mod. 1 - MQO		Mod. 2 - Erro		Mod. 3 - Lag		Mod. 4 - Sarma	
Intercepto	7.87614	***	7.781693	***	8.86433	***	7.801614	***
Ln_K	0.02961		0.034558		0.024536		0.034437	
Ln_L	0.67463	***	0.671163	***	0.620391	***	0.606753	***
Ln_Rod	0.09291	.	0.102442		0.086676		0.081760	*
Ln_Fer	0.03421		0.035903		0.030261		0.027028	.
Ln_Aer	0.18626		0.171073		0.172221		0.231807	
Ln_Dut	NA		NA		NA		NA	
Lambda	---		-0.58441		---		-0.58317	.
Rho	---		---		-0.07322		-0.001561	
Multiple R-squared	0.9228		---		---		---	
Adjusted R-squared	0.909		---		---		---	
p-value	1.072e-14	***	---		---		---	
Testes Estatísticos								
Heterocedasticidade (p-value)	0.03343		---		---		---	
Wald test (p-value)	---		0.032181		0.5902		---	
LM test autocorrelação resíd. (p-value)	---		---		0.17931		---	
LM test robusto (p-value)	---		0.7818		0.8838		---	
LR test (p-value)	---		---		---		0.24105	
I Moran Global								
Observado	-0.140424		---		---		---	
p-value	**0,8734**		---		---		---	

Significância: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
Fonte: Elaborado pelo autor – *Software R.*
Nota 1: MODELO 1 – MQO foi corrigido com processo de White para heterocedasticidade.
Nota 2: NA - representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

Para a taxa de produtividade individual referente aos municípios, tem-se a relação $\mathrm{Y_i}$ PIB Real e $\widehat{\mathrm{Y}}_\mathrm{i}$ PIB Estimado $(\mathrm{PIB_i}/\widehat{\mathrm{PIB}}_\mathrm{i}) * 100$, denotados na Figura 25. É possível observar nessa figura que os municípios de Itatiaiuçu, Nova Lima, Betim, Juatuba, Confins, Brumadinho, Raposos, Taquaraçu de Minas, Belo Horizonte, Sarzedo, Vespasiano, Contagem, Santa Luzia, Ibirité, Sabará, Mateus Leme, São Joaquim de Bicas, Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Ribeirão das Neves, Esmeraldas e Rio Acima desempenham a produtividade acima da média esperada (100%) da RMBH.

Figura 25 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente ao comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, em 2017 – percentual



Fonte: Elaborado pelo autor
Nota: "0" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica

4.3.2.4 Produtividade total dos fatores para o transporte, armazenagem e correio

A Tabela 12 apresenta o comparativo dos modelos espaciais propostos para mensurar a produtividade econômica do transporte, armazenagem e correio, a partir da carga transportada por modalidade de transporte. Constatou-se que o p-valor do I de Moran Global, calculado para o MODELO 1 – MQO, sob a hipótese nula de presença de aleatoriedade espacial nos resíduos, com o índice de significância de 10%, indica que não há aleatoriedade espacial nos resíduos (p-valor: 0,10 ≤ 0,5036). Portanto, essa hipótese também foi rejeitada. Conclui-se que, estatisticamente, não há dependência ou autocorrelação espacial entre as modalidades de transporte de carga e a atividade econômica do transporte, armazenagem e

correio na RMBH. Consequentemente, o MODELO 2 – ERRO, o MODELO 3 – LAG e o MODELO 4 – SARMA, propostos para mensurar a dependência espacial do transporte, armazenagem e correio, junto das modalidades de transportes de carga, são desnecessários ou desprezíveis. Esse argumento é reforçado pelos dados apresentados na Tabela 12, pelos quais é possível verificar que os modelos espaciais propostos não foram estatisticamente significativos.

Nesse sentido, verifica-se que a equação MODELO 1 – MQO que descreve o impacto da produtividade das modalidades de transporte de carga para a atividade econômica do transporte, armazenagem e correio, pode ser descrita como na Equação 16:

$$Ln\left(\widehat{PIB}\right) = 10{,}15051 + 0{,}49411 * \hat{L} + 0{,}15753 * \widehat{Fer} \qquad (16)$$

Tabela 12 - Comparativo de modelos espaciais: produtividade econômica do transporte, armazenagem e correios a partir das modalidades de transporte da RMBH em 2017

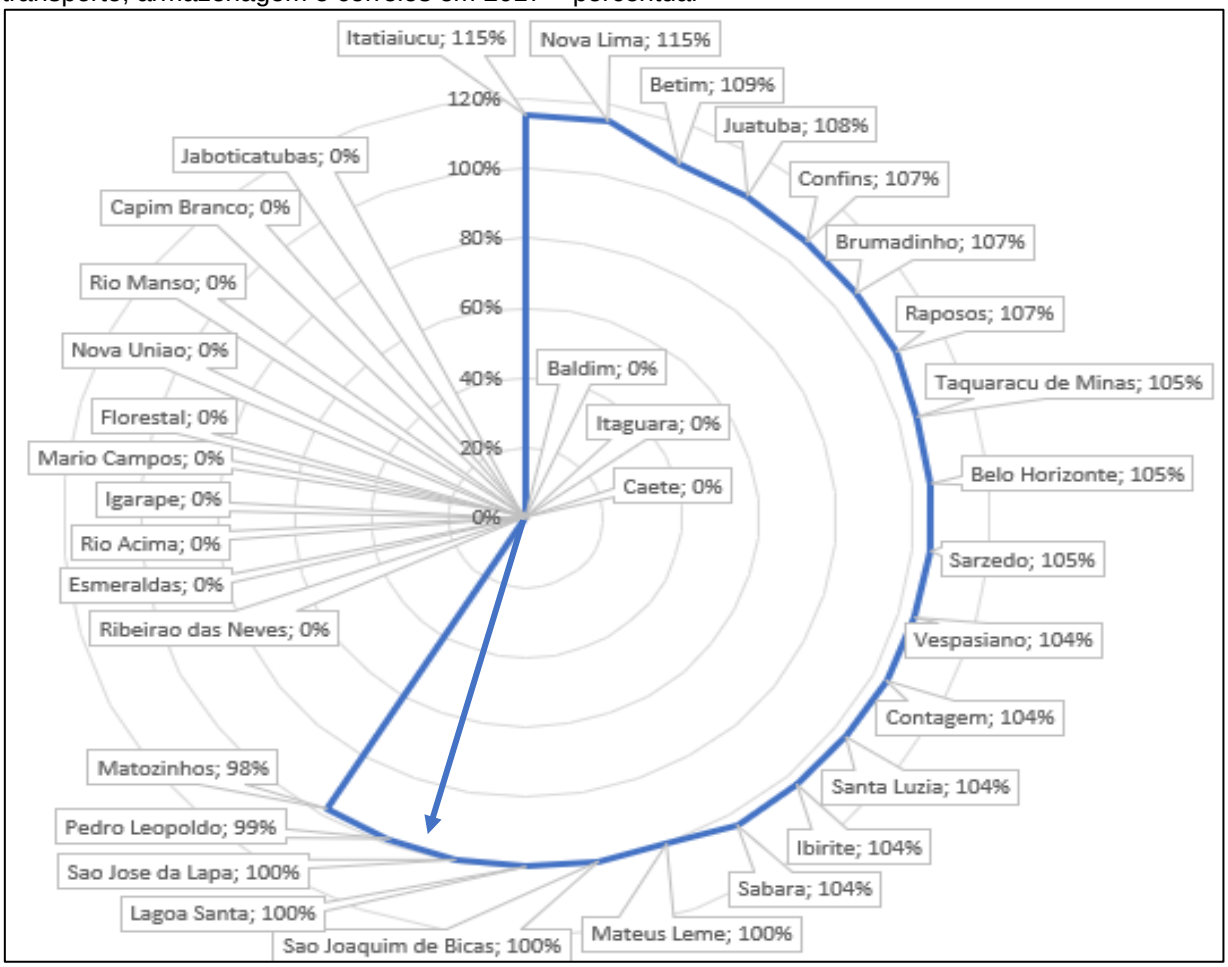
Regressão	Mod. 1 - MQO		Mod. 2 - Erro		Mod. 3 - Lag		Mod. 4 - Sarma	
Intercepto	10.15051	***	10. 13586	***	10.21474	***	9.556722	***
Ln_K	0.04117		0.061562	.	0.040972		0.048334	.
Ln_L	0.49411	***	0.430787	***	0. 494260	***	0.481977	***
Ln_Rod	0.04398		0.084450		0.042278		0.086961	.
Ln_Fer	0.15753	*	0.198524	.	0.15 777	.	0.132850	***
Ln_Aer	-0.06620		-0.119930		-0.064289		-0.028454	.
Ln_Dut	NA		NA		NA		NA	
Lambda	---		-0.12027		---		-0.17556	
Rho	---		---		-0.00453		0.040591	
Multiple R-squared	0.8913		---		---		---	
Adjusted R-squared	0.8719		---		---		---	
p-value	1.23e-12	***	---		---		---	
Testes Estatísticos								
Heterocedasticidade (p-value)	0.0334		---		---		---	
Wald test (p-value)	---		0.65466		0.9792		---	
LM test autocorrelação resíd. (p-value)	---		---		0.042189		---	
LM test robusto (p-value)	---		0.7818		0.8838		---	
LR test (p-value)	---		---		---		0.9620	
I Moran Global								
Observado	-0.026756		---		---		---	
p-value	**0.5036**		---		---		---	

Significância: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Fonte: Elaborado pelo autor – *Software R*
Nota 1: MODELO 1 – MQO foi corrigido com processo de White para heterocedasticidade.
Nota 2 : NA - representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

Verificou-se que, para a atividade econômica do transporte, armazenagem e correio, é significativo, estatisticamente, à 10% as variáveis de trabalho (L) e o sistema transporte ferroviário, além do parâmetro estimado do modelo como o intercepto – vide Tabela 12 para os parâmetros de significância. Logo, verifica-se o efeito no PIB, em que a produtividade total dos fatores na RMBH é 10,15% (intercepto). O efeito total das variáveis no PIB no transporte, armazenagem e correio para a RMBH, quando conjuntamente ao trabalho (L) e transporte de

carga ferroviária aumentarem conjuntamente em 1%, também aumenta (positivamente) em 10,80%. Assim, para os efeitos diretos totais individuais, o trabalho (L), com impacto positivo em 0,49% (quando T =1), e o transporte ferroviário, com impacto positivo em 0,15% (quando Rod = 1).

Figura 26 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente ao transporte, armazenagem e correios em 2017 – percentual



Fonte: Elaborado pelo autor.
Nota: "0" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

Para a taxa de produtividade individual aos municípios, tem-se a relação Y_i PIB Real e $\widehat{Y}_i$ PIB Estimado $(PIB_i/\widehat{PIB}_i) * 100$ denotados na Figura 26. Nesse gráfico, é possível observar os municípios de Itatiaiuçu, Nova Lima, Betim, Juatuba, Confins, Brumadinho, Raposos, Taquaraçu de Minas, Belo Horizonte, Sarzedo, Vespasiano, Contagem, Santa Luzia, Ibirité, Sabará desempenham a produtividade acima da média esperada (100%) da RMBH.

4.3.2.5 Produtividade total dos fatores para a construção

A Tabela 13 apresenta o comparativo dos modelos espaciais propostos para mensurar a produtividade econômica para a construção, a partir da carga transportada por modalidade de transporte. Constatou-se que o p-valor do I de Moran Global, calculado para o MODELO 1 – MQO, sob a hipótese nula de presença de aleatoriedade espacial nos resíduos, com índice de significância de 10%, indica que não há aleatoriedade espacial nos resíduos (p-valor: 0,10 ≤ 0,1453). Novamente, a hipótese foi rejeitada. Conclui-se que, estatisticamente, não há dependência ou autocorrelação espacial entre as modalidades de transporte de carga e a atividade econômica da construção na RMBH. Consequentemente, o MODELO 2 – ERRO, o MODELO 3 – LAG e o MODELO 4 – SARMA, propostos para mensurar a dependência espacial da construção, junto das modalidades de transportes de carga, são desnecessários ou desprezíveis. Esse argumento pode ser reforçado com os dados contidos na Tabela 13, pois, de acordo com eles, é possível verificar que os modelos espaciais propostos não foram estatisticamente significativos.

Nesse sentido, verifica-se que a equação MODELO 1 – MQO que descreve o impacto da produtividade das modalidades de transporte de carga para a construção, pode ser descrita como na Equação 17:

$$Ln\left(\widehat{PIB}\right) = 10{,}06061 + 0{,}11467 * \hat{K} + 0{,}36538 * \hat{L} + 0{,}46169 * \widehat{Aer} \qquad (17)$$

Verificou-se que, para a atividade econômica da construção, é significativo, estatisticamente, à 10% as variáveis de investimento (K), trabalho (L) e o sistema transporte aéreo, além do parâmetro estimado do modelo como o intercepto – vide Tabela 13 para os parâmetros de significância.

Logo, podemos verificar o efeito no PIB, em que a produtividade total dos fatores na RMBH é de 10,06% (intercepto). Assim, para o efeito total das variáveis no PIB na construção, quando, conjuntamente ao investimento (K), trabalho (L) e transporte de carga aérea, aumentarem conjuntamente em 1%, o PIB para a construção também aumenta (positivamente) em 11,00% na RMBH. Assim, para os efeitos diretos totais individuais, temos o investimento, com impacto positivo em 0,11 (quando K = 0), o trabalho (L), com impacto positivo em 0,36% (quando L =1), e o transporte aéreo, com impacto positivo em 0,46% (quando Aer = 1).

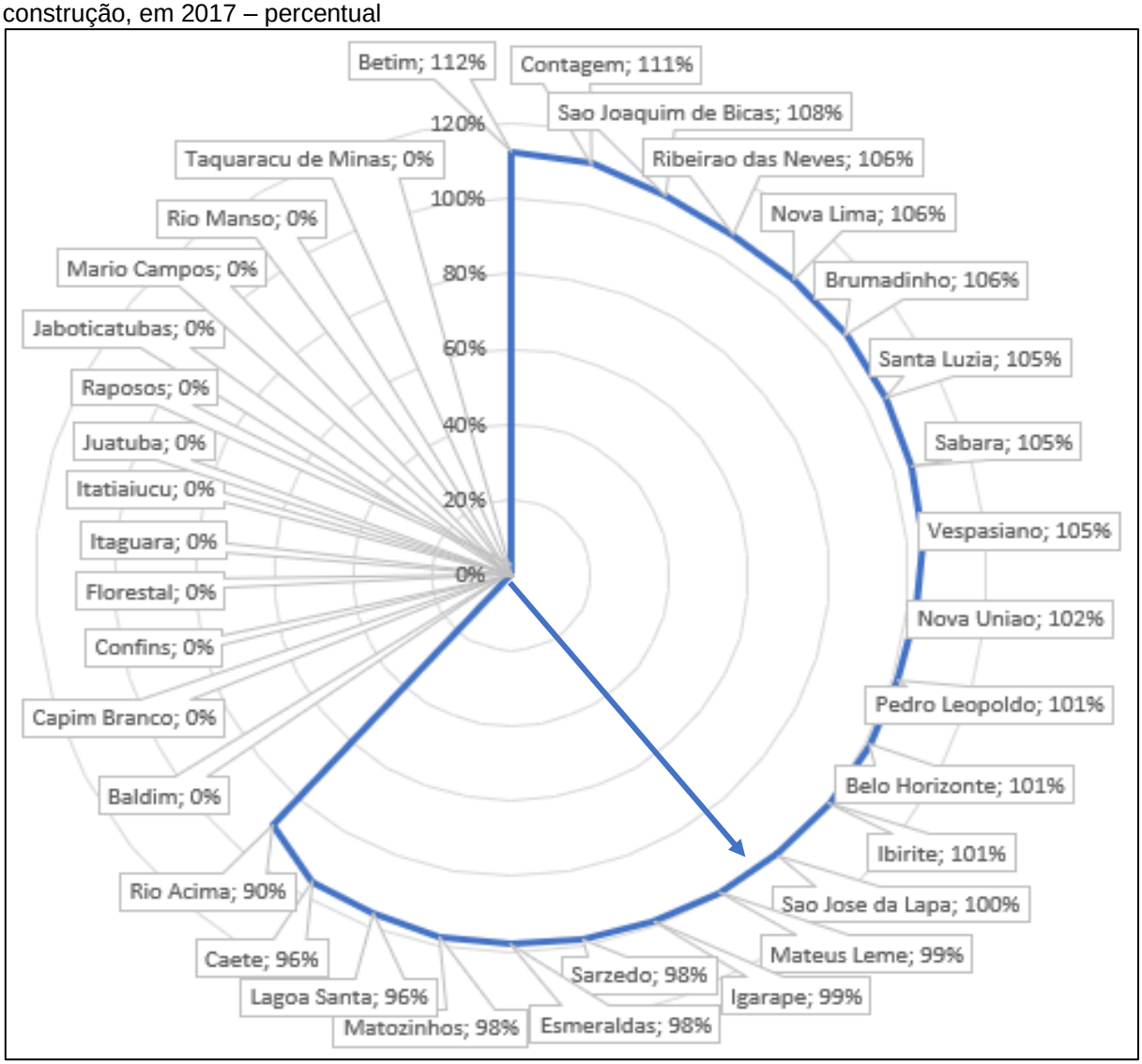
Tabela 13 - Comparativo de modelos espaciais: Produtividade econômica da construção a partir das modalidades de transporte da RMBH, em 2017

Regressão	Mod. 1 - MQO		Mod. 2 - Erro		Mod. 3 - Lag		Mod. 4 - Sarma	
Intercepto	10.06061	***	10.055443	***	10.347169	***	12.046781	***
Ln_K	0.11467	**	0.108166	***	0.113754	***	0.099207	***
Ln_L	0.36538	**	0.378746	***	0.364916	***	0.376540	***
Ln_Rod	0.05027		0.054793		0.050126		0.054479	
Ln_Fer	NA		NA		NA		NA	
Ln_Aer	0.46169	.	0.441871	*	0.464028	*	0.446876	*
Ln_Dut	NA		NA		NA		NA	
Lambda	---		0.22417		---		0.30703	
Rho	---		---		-0.02002		-0.13706	
Multiple R-squared	0.8171		---		---		---	
Adjusted R-squared	0.7919		---		---		---	
p-value	2.57e-10	***	---		---		---	
Testes Estatísticos								
Heterocedasticidade (p-value)	0.0663		---		---		---	
Wald test (p-value)	---		0.34014		0.91093		---	
LM test autocorrelação resíd. (p-value)	---		---		0.30029		---	
LM test robusto (p-value)	---		0.2911		0.4307		---	
LR test (p-value)	---		---		---		0.5704	
I Moran Global								
Observado	0.08008		---		---		---	
p-value	**0.1453**		---		---		---	

Significância: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' '
Fonte: Elaborado pelo autor – *Software R*
Nota 1: MODELO 1 – MQO foi corrigido com processo de *White* para heterocedasticidade.
Nota 2: NA - representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

Para a taxa de produtividade individual referente aos municípios, tem-se a relação Y_i PIB Real e $\widehat{Y}_i$ PIB Estimado $(PIB_i/\widehat{PIB}_i) * 100$, denotados na Figura 27. Por ela, é possível observar que os municípios de Contagem, São Joaquim de Bicas, Ribeirão das Neves, Nova lima, Brumadinho, Santa Luzia, Sabará, Vespasiano, Nova União, Pedro Leopoldo, Belo Horizonte e Ibirité desempenham a produtividade acima da média esperada (100%) da RMBH.

Figura 27 - Taxa de produtividade municipal para as modalidades de transporte de carga referente à construção, em 2017 – percentual



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Análise Envoltória de Dados no transporte de carga na RMBH

Para melhor interpretação dos resultados e seus impactos individuais, esta pesquisa utilizou-se como complemento a metodologia da Análise Envoltória de Dados (DEA). Isso se deu em função de a metodologia aplicada permitir conhecer os municípios eficientes no transporte em cada modalidade e possibilitar conhecer municípios *benchmark* de transporte. Essa metodologia baseia-se na eficiência comparativa entre as unidades de análise, em vez de médias. Assim, retomando rapidamente a metodologia proposta, foi utilizado o modelo de retorno variáveis de escala – VRS com orientação ao produto. Como produto foi utilizado a variável PIB, como insumo as variáveis de rodovia, ferrovia, aéreo e dutovia, e municípios como DMU´s.

4.4.1 Eficiência no transporte de carga para indústria extrativista

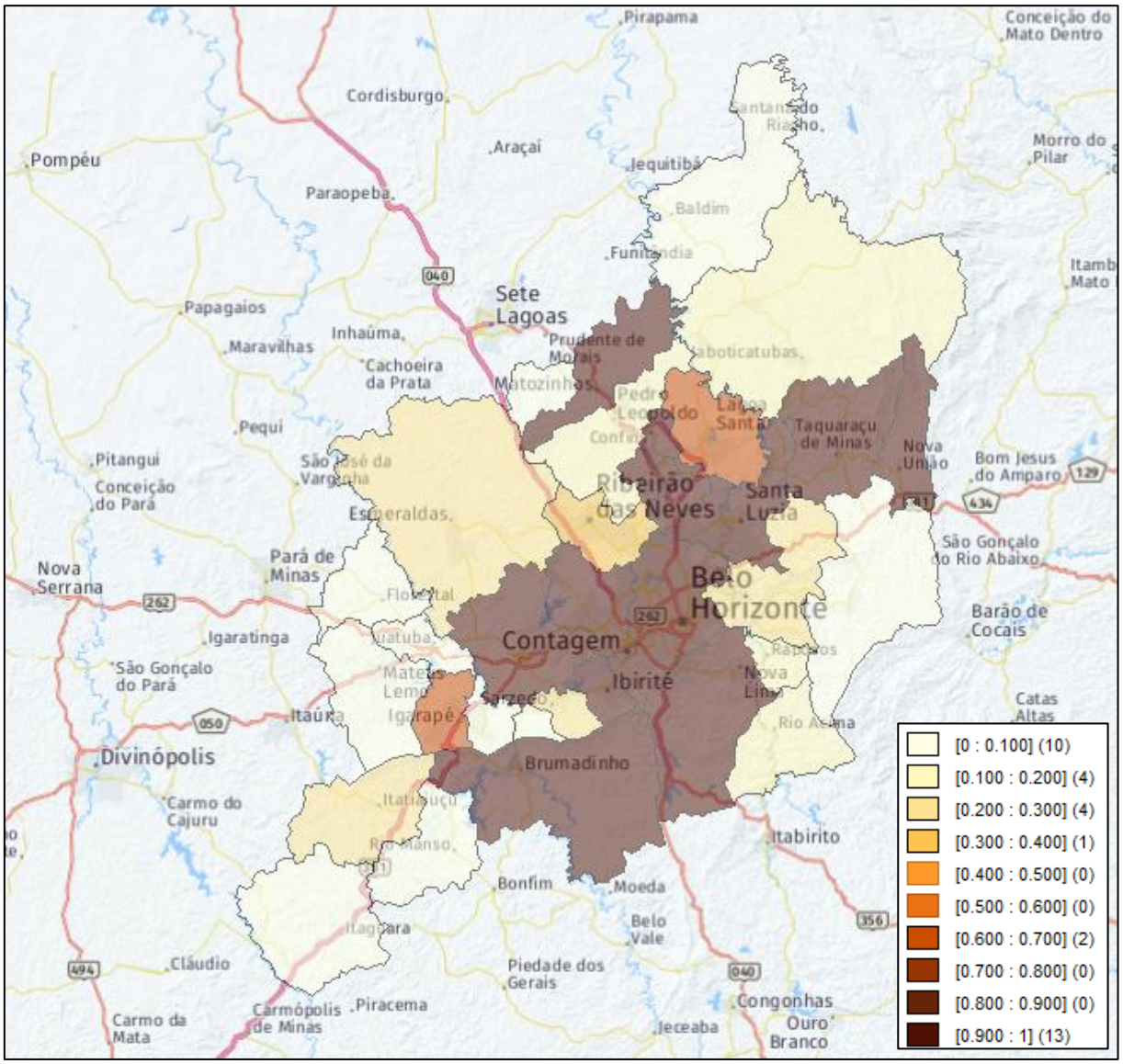
A Tabela 14 apresenta o cálculo de eficiência produtiva por município para o transporte de carga da indústria extrativista. Verifica-se que 38,2% (13/34) dos municípios da RMBH encontram-se na fronteira de eficiência para o transporte de carga relativo à atividade econômica da indústria extrativista, com eficiência de 100% (Tabela 14). Os municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Confins, Contagem, Ibirité, Nova Lima, Santa Luzia, São Jose da Lapa, Vespasiano, Nova União, Taquaraçu de Minas e Matozinhos encontram-se com indicador de eficiência de 100%.

Ao verificar os municípios de referência, ou *benchmarks*, na Tabela 14, observa-se que os municípios eficientes são referência para si e para os municípios ineficientes no transporte de carga da indústria extrativista. Chama atenção o fato de os municípios de Belo Horizonte, Nova Lima e São José da Lapa apresentarem-se eficientes e não são comparáveis aos demais municípios (ausência do município como *benchmark*). Dentre os municípios ineficientes no transporte de carga da indústria extrativista, pode-se tomar como exemplo o de Lagoa Santa (64%), que tem como referência os municípios eficientes de Santa Luzia (0,9%) e Vespasiano (99,1%), vide Tabela 14. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, resta o de Igarapé (60%), cujos municípios de referência são os de Ibirité (6,5%) e Matozinhos (93,5%).

Em sequência, também é observado as metas ou oportunidades para que os municípios ineficientes em transportes na indústria extrativista tornem-se eficientes, dado o investimento em infraestrutura, número de trabalhadores e o transporte de carga. Ainda na Tabela 14 e com o mesmo exemplo do município ineficiente de Lagoa Santa (64%), para se tornar

eficiente, verifica-se a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 2,4 milhões; e aumentar o número de trabalhadores em três pessoas, transportando carga adicional de 508 toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB da indústria extrativista em R$ 2,6 bilhões de reais. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, é o de Igarapé (60%) que, para se tornar eficiente, tem a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 1,1 milhão; aumentar o número de trabalhadores em sete indivíduos, transportando carga adicional de 22 toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB da indústria extrativista em R$ 1,0 bilhão de reais.

Figura 28 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica da indústria extrativista – 2017



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14 - Eficiência no transporte de carga municipal da RMBH para indústria extrativista – ano de 2017

DMU	Eficiência	Benchmarks (Lambdas)										Meta (Targets)					
		Betim	Brumadinho	Confins	Contagem	Ibirité	Matozinhos	Nova União	Santa Luzia	Taquaraçu de Minas	Vespasiano	K (R$)	L (Un)	Rod. (ton)	Aer. (ton)	Fer. (ton)	PIB (R$x1.000)
Belo Horizonte	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65.679.133	5.363	86.726	1	0	88.972.360
Betim	100%	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.493.289	159	489.919	0	0	23.097.018
Brumadinho	100%	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100.000	1.869	711.346	0	134.790.597	1.989.457
Confins	100%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	88.322	0	52	0	0	1.059.650
Contagem	100%	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.859.280	233	527.101	0	0	28.999.261
Ibirité	100%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1.859.280	8	110	0	0	2.170.568
Nova Lima	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.679	2.032	725.474	0	32.331.107	9.117.371
Santa Luzia	100%	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4.343.125	68	21.334	0	0	3.786.547
São J. da Lapa	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.290	28	694	0	0	490.995
Vespasiano	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.434.237	2	320	0	0	2.595.990
Nova União	100%	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	38	102.189	0	0	82.165
Taquaracu M.	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7	30.356	0	0	47.237
Matozinhos	100%	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1.129.439	7	16	0	0	1.003.807
Lagoa Santa	64%	0	0	0	0	0	0	0	0,009	0	0,991	2.451.344	3	508	0	0	2.606.659
Igarapé	60%	0	0	0	0	0,065	0,935	0	0	0	0	1.176.896	7	22	0	0	1.079.675
Ribeirão Neves	36%	0,4401	0	0,5515	0	0	0	0	0	0	0,0084	1.606.609	70	215.668	0	0	10.772.158
Itatiaiuçu	29%	0	0,0471	0	0,1069	0	0	0,8459	0	0	0	203.533	145	176.345	0	6.354.708	3.264.266
Esmeraldas	28%	0	0	0,1723	0,0046	0	0	0	0	0	0,8231	2.027.316	3	2.686	0	0	2.452.141
Sarzedo	21%	0	0,0051	0	0,1433	0	0	0,8516	0	0	0	266.942	75	166.162	0	682.036	4.235.648
Sabará	21%	0	0	0,5573	0,3988	0	0	0	0	0	0,044	897.687	93	210.233	0	0	12.268.606
Jaboticatubas	18%	0	0	0,9638	0,0003	0	0	0	0	0	0,0359	173.041	0	226	0	0	1.123.479
Rio Acima	12%	0	0	0,9949	0,001	0	0	0	0	0	0,0041	99.687	0	575	0	0	1.093.618
Pedro Leopoldo	12%	0	0	0,2811	0,3908	0	0	0	0	0	0,328	1.550.030	92	206.133	0	0	12.483.620
Raposos	11%	0	0,0044	0	0,0959	0	0	0,0373	0	0,8625	0	178.677	38	83.645	0	592.115	2.832.509
Mateus Leme	9%	0	0	0,7031	0,2206	0	0	0	0	0	0,0762	657.885	52	116.362	0	0	7.341.412
Caeté	7%	0	0	0,2096	0,2315	0	0	0	0	0	0,5589	1.809.517	55	122.239	0	0	8.387.687
Baldim	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
Capim Branco	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
Florestal	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
Itaguara	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
Juatuba	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
Mário Campos	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
Rio Manso	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*
São J. de Bicas	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: "*" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

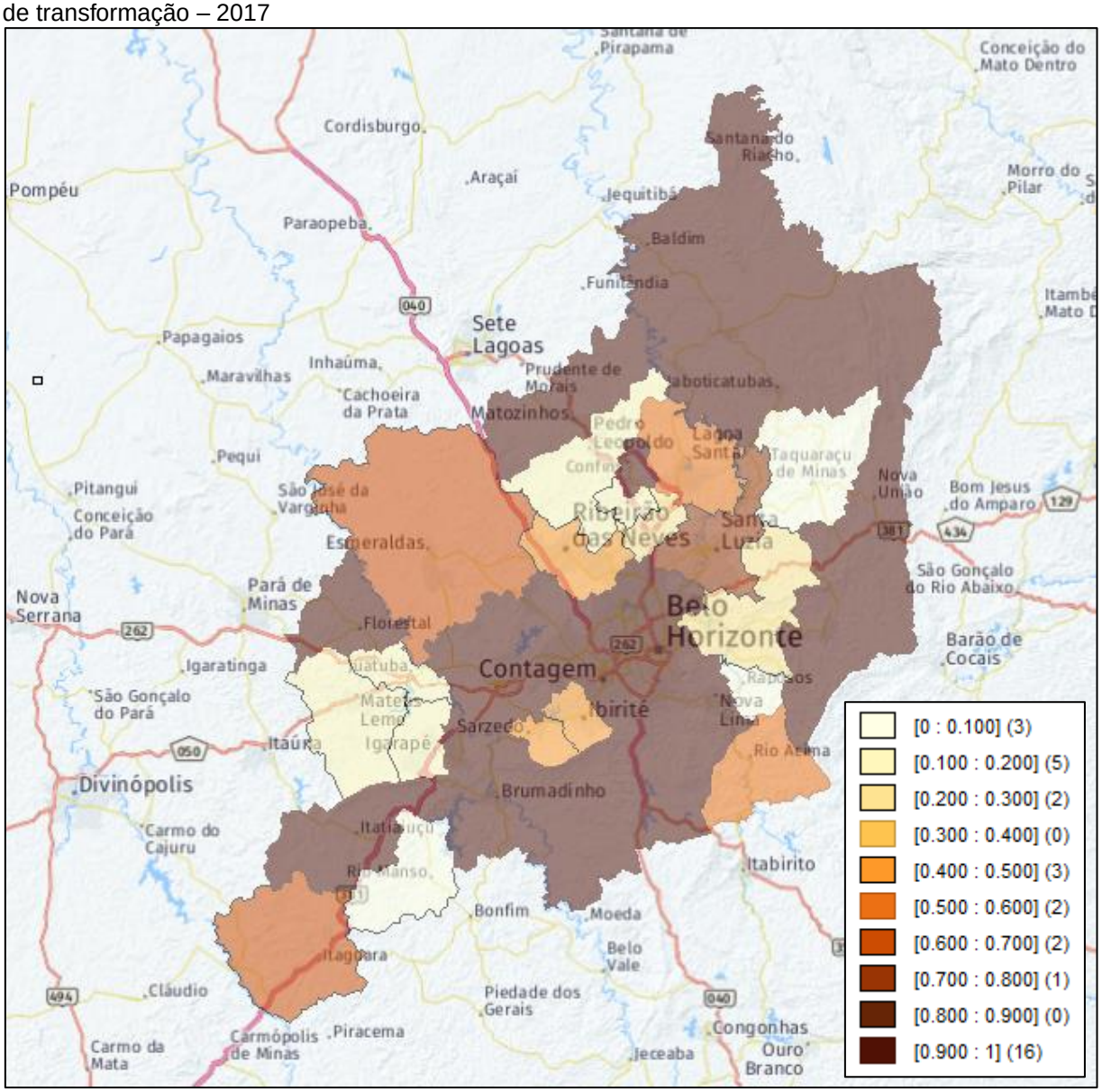
4.4.2 Eficiência no transporte de carga para indústria da transformação

A Tabela 15 apresenta o cálculo de eficiência produtiva por município para o transporte de carga da indústria transformação. Verifica-se que 47,0% (16 em 34) dos municípios da RMBH encontram-se na fronteira de eficiência para o transporte de carga relativo à atividade econômica da indústria de transformação – para a representação geográfica, vide Tabela 15. Os municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Caeté, Confins, Contagem, Mário Campos, Nova Lima, São Joaquim de Bicas, Nova União, Itatiaiuçu, Florestal, Capim Branco, Jaboticatubas e Matozinhos encontram-se com indicador de eficiência de 100%.

Ao verificar os municípios de referência, os *benchmarks*, na Tabela 15 observa-se que os municípios eficientes são referência para si mesmos e para os municípios ineficientes no transporte de carga da indústria de transformação. Chama atenção os municípios de Betim, Confins, Contagem, Nova União e Matozinhos, pois são eficientes e não são comparáveis aos demais municípios (ausência do município como *benchmark*). Aos municípios ineficientes no transporte de carga da indústria de transformação, pode-se tomar como exemplo o de Baldim (98%), cujo município de referência é o município eficiente de Florestal (100%) – vide Tabela 15. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, é o de Santa Luzia (74%), cujos municípios de referência são os de Brumadinho (56,0%) e de Nova Lima (43,9%).

Em sequência, também são observadas as metas ou oportunidades para que os municípios ineficientes em transportes na indústria de transformação tornem-se eficientes, dado o investimento em infraestrutura, número de trabalhadores e o transporte de carga. Ainda na Tabela 15 e, tomando-se o mesmo exemplo do município ineficiente de Baldim (98%), para se tornar eficiente, verifica-se a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 1,0 real; aumentar o número de trabalhadores em 105 indivíduos, transportando carga adicional de quatro toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB da indústria de transformação em R$110 milhões de reais. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, é o município de Santa Luzia (74%) que, para se tornar eficiente, tem a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 91 mil reais; aumentar o número de trabalhadores em 1.506, transportando carga adicional de 126 mil toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB da indústria de transformação em R$ 5,1 bilhões de reais.

Figura 29 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica da indústria de transformação – 2017



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Eficiência no transporte de carga municipal da RMBH para indústria da transformação – ano de 2017

DMU	Eficiência	Benchmarks (Lambdas)										Meta (Targets)						
		Belo Horizonte	Brumadinho	Caeté	Capim Branco	Florestal	Itatiaiuçu	Jaboticatubas	Mário Campos	Nova Lima	São J. Bicas	K (R$)	L (Un)	Rod. (ton)	Aer. (ton)	Fer. (ton)	Dut. (ton)	PIB (R$x1.000)
Belo Horizonte	100%	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65.679.133	46.403	1.043.825	131	54.883	0	88.972.360
Betim	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.493.289	36.963	2.152.318	12	821.236	29	23.097.018
Brumadinho	100%	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100.000	530	184.322	0	0	0	1.989.457
Caeté	100%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.809.517	537	1.151	0	0	0	577.938
Confins	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88.322	206	10.139	0	768.304	0	1.059.650
Contagem	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.859.280	41.775	2.155.813	98	24.299	0	28.999.261
Mário Campos	100%	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	24.105	82	1.719	0	0	0	154.910
Nova Lima	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	79.679	2.750	53.030	1	0	0	9.117.371
São J. de Bicas	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2.490	67.588	0	0	0	602.962
Nova União	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	84	89	0	0	0	82.165
Itatiaiuçu	100%	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	203.533	242	34.103	0	0	0	960.666
Florestal	100%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	105	4	0	0	0	110.075
Capim Branco	100%	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	66	514	0	0	0	86.156
Jaboticatubas	100%	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	173.041	255	197	0	0	0	205.297
Matozinhos	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.129.439	3.976	1.644.326	0	2.301.006	0	1.003.807
Baldim	98%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	105	4	0	0	0	110.075
Santa Luzia	74%	0	0,5602	0	0	0	0	0	0	0,4398	0	91.062	1.506	126.576	0	0	0	5.124.520
Esmeraldas	67%	0	0	0	0	0	0,0703	0,7904	0,0553	0,084	0	159.103	454	7.099	0	0	0	1.003.859
Itaguara	63%	0	0	0	0	0,6324	0,3676	0	0	0	0	74.816	155	12.539	0	0	0	422.740
Lagoa Santa	52%	0	0	0,691	0	0	0	0	0	0,309	0	1.275.029	1.221	17.181	0	0	0	3.216.465
Rio Acima	52%	0	0	0	0,8068	0	0,1932	0	0	0	0	39.320	100	7.003	0	0	0	255.095
Ribeirão Neves	49%	0	0,1665	0	0	0	0	0	0	0,8335	0	83.062	2.380	74.885	1	0	0	7.930.837
Sarzedo	48%	0	0,1475	0	0	0	0,7599	0	0	0,0926	0	176.792	517	58.017	0	0	0	1.867.611
Ibirité	40%	0	0,5189	0	0	0	0	0	0	0,4811	0	90.224	1.598	121.162	0	0	0	5.418.432
Sabará	28%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	79.679	2.750	53.030	1	0	0	9.117.371
Vespasiano	26%	0,012	0	0	0	0	0	0	0	0,988	0	865.616	3.273	64.900	2	658	0	10.074.101
Mateus Leme	18%	0	0,1178	0	0	0	0,5486	0	0	0,3336	0	150.018	1.113	58.111	0	0	0	3.803.143
Igarapé	17%	0	0,0105	0	0	0	0,6275	0	0	0,362	0	157.607	1.153	42.533	0	0	0	3.924.456
Pedro Leopoldo	14%	0,0128	0	0	0	0	0	0	0	0,9872	0	922.467	3.311	65.759	3	705	0	10.143.307
Juatuba	14%	0	0,0464	0	0	0	0	0	0	0,9536	0	80.622	2.647	59.121	1	0	0	8.786.661
São J. da Lapa	12%	0	0	0	0	0,2946	0	0	0	0,4178	0,2876	33.290	1.896	41.595	0	0	0	4.015.080
Raposos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*
Rio Manso	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*
Taquaraçu Minas	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: "*" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

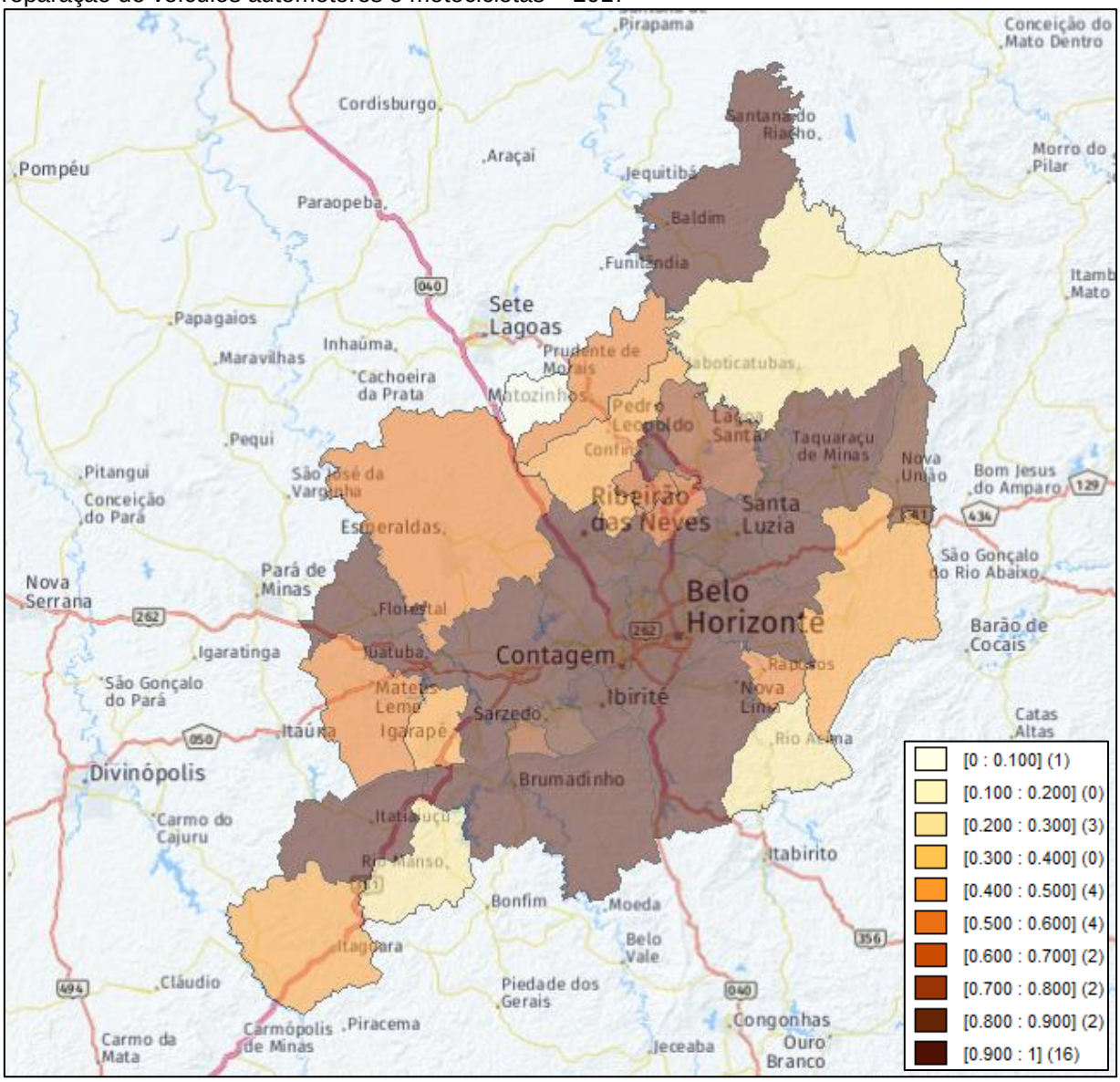
4.4.3 Eficiência no transporte de carga para o comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas

A Tabela 16 apresenta o cálculo de eficiência produtiva por município para o transporte de carga do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas. Verifica-se que 41,1% (14/34) dos municípios da RMBH encontram-se na fronteira de eficiência para o transporte de carga, relativo à atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas – vide Tabela 16. Os municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Confins, Contagem, Ibirité, Juatuba, Nova Lima, Ribeirão das Neves, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, Taquaraçu de Minas, Itatiaiuçu e Florestal encontram-se com indicador de eficiência de 100%.

Ao verificar os municípios de referência, os *benchmarks*, na Tabela 16, observa-se que os municípios eficientes são referência para si e para os municípios ineficientes no transporte de carga do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas. Chama atenção os municípios de Belo Horizonte, Confins e Contagem, que são eficientes e não são comparáveis aos demais (ausência do município como *benchmark*). Para exemplificar os municípios ineficientes, pode-se tomar o de Sabará (98%), cujos municípios eficientes de referência são os de Brumadinho (68,2%), Ribeirão das Neves (20,0%) e Santa luzia (11,6%) – vide Tabela 16. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, é o de Baldim (94%) cujos municípios de referência são os de São Joaquim de Bicas (12,1%) e Taquaraçu de Minas (87,9%).

Em sequência, também são observadas as metas ou oportunidades para que os municípios ineficientes em transportes no comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas tornem-se eficientes, dado o investimento em infraestrutura, número de trabalhadores e o transporte de carga. Ainda na Tabela 16, tomando-se como exemplo de município ineficiente o de Sabará (98%), para se tornar eficiente, verifica-se a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 897,6 milhões de reais; aumentar o número de trabalhadores em 3.221 indivíduos, transportando carga adicional de 22 mil toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB em R$ 2,5 bilhões de reais. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, é o de Baldim (94%) que, para se tornar eficiente, tem a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 1,0 real; aumentar o número de trabalhadores em 115 trabalhadores, transportando carga adicional de 195 toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB em R$ 114 milhões de reais.

Figura 30 – Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas – 2017



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16 – Eficiência no transporte de carga municipal da RMBH para comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas – ano de 2017

DMU	Eficiência	Benchmarks (Lambdas)											Meta (Targets)					
		Betim	Brumadinho	Florestal	Ibirité	Itatiaiuçu	Juatuba	Nova Lima	Ribeirão Neves	Santa Luzia	São J. Bicas	Taquaraçu Minas	K (R$)	L (Un)	Rod. (ton)	Aer. (ton)	Fer. (ton)	PIB (R$x1.000)
Belo Horizonte	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65.679.133	171.360	541.633	13	48.432	88.972.360
Betim	100%	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.493.289	17.341	101.504	2	0	23.097.018
Brumadinho	100%	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.000	1.175	15.944	0	0	1.989.457
Confins	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88.322	430	11.602	0	138.346	1.059.650
Contagem	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.859.280	64.447	355.475	9	0	28.999.261
Ibirité	100%	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.859.280	3.464	2.458	0	0	2.170.568
Juatuba	100%	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3.783.642	702	408	0	0	1.202.426
Nova Lima	100%	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	79.679	5.217	58.025	1	0	9.117.371
Ribeirão Neves	100%	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1.606.609	8.626	48.628	0	0	3.856.169
Santa Luzia	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4.343.125	5.895	13.890	0	0	3.786.547
São J.de Bicas	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	765	1.601	0	0	602.962
Taquaraçu Minas	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	25	1	0	0	47.237
Itatiaiuçu	100%	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	203.533	312	22	0	0	960.666
Florestal	100%	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	212	20	0	0	110.075
Sabará	98%	0	0,6826	0	0	0	0	0	0,2006	0,1168	0	0	897.687	3.221	22.262	0	0	2.573.801
Baldim	94%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1216	0,8784	1	115	195	0	0	114.825
Sarzedo	85%	0	0,0421	0	0,0409	0,917	0	0	0	0	0	0	266.942	477	791	0	0	1.053.470
Nova União	83%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0932	0,9068	1	94	150	0	0	99.054
Lagoa Santa	79%	0	0	0	0,9301	0	0,0699	0	0	0	0	0	1.993.722	3.271	2.315	0	0	2.102.931
Mário Campos	73%	0	0	0,8814	0	0,1184	0	0	0	0	0,0002	0	24.105	224	20	0	0	210.907
Vespasiano	62%	0,0991	0,7737	0	0	0,0967	0	0,0305	0	0	0	0	445.518	2.816	24.161	0	0	4.197.935
São J. da Lapa	60%	0	0,2093	0	0	0,0505	0	0,0262	0	0	0,1402	0,5738	33.290	520	5.084	0	0	815.477
Raposos	53%	0	0	0	0	0,5679	0	0	0	0	0	0,4321	115.596	188	13	0	0	566.014
Mateus Leme	50%	0,0112	0	0	0,1233	0,8059	0,0596	0	0	0	0	0	657.885	915	1.484	0	0	1.372.680
Matozinhos	50%	0	0,8999	0	0	0	0,0675	0	0	0,0326	0	0	486.925	1.297	14.829	0	0	1.994.953
Esmeraldas	50%	0	0	0	0,1307	0,4276	0,3954	0	0	0,0463	0	0	2.027.316	1.137	1.136	0	0	1.345.389
Itaguara	49%	0	0	0,3838	0	0,3676	0	0	0	0	0,2486	0	74.816	386	414	0	0	545.290
Pedro Leopoldo	49%	0,076	0	0	0,2137	0,5029	0,2075	0	0	0	0	0	1.550.030	2.360	8.331	0	0	2.950.767
Igarapé	45%	0	0	0	0,3166	0,4692	0,1972	0	0	0,0171	0	0	1.504.172	1.482	1.106	0	0	1.439.566
Caeté	41%	0	0	0	0,014	0,5639	0,2944	0	0	0,1277	0	0	1.809.517	1.184	1.941	0	0	1.409.701
Rio Acima	26%	0	0	0,088	0	0,4898	0	0	0	0	0,0067	0,4155	99.687	187	23	0	0	503.887
Jaboticatubas	23%	0	0,0007	0	0	0,8499	0	0	0	0	0,1495	0	173.041	380	268	0	0	907.894
Rio Manso	21%	0	0	0	0	0,3798	0	0	0	0	0	0,6202	77.301	134	9	0	0	394.149
Capim Branco	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: "*" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

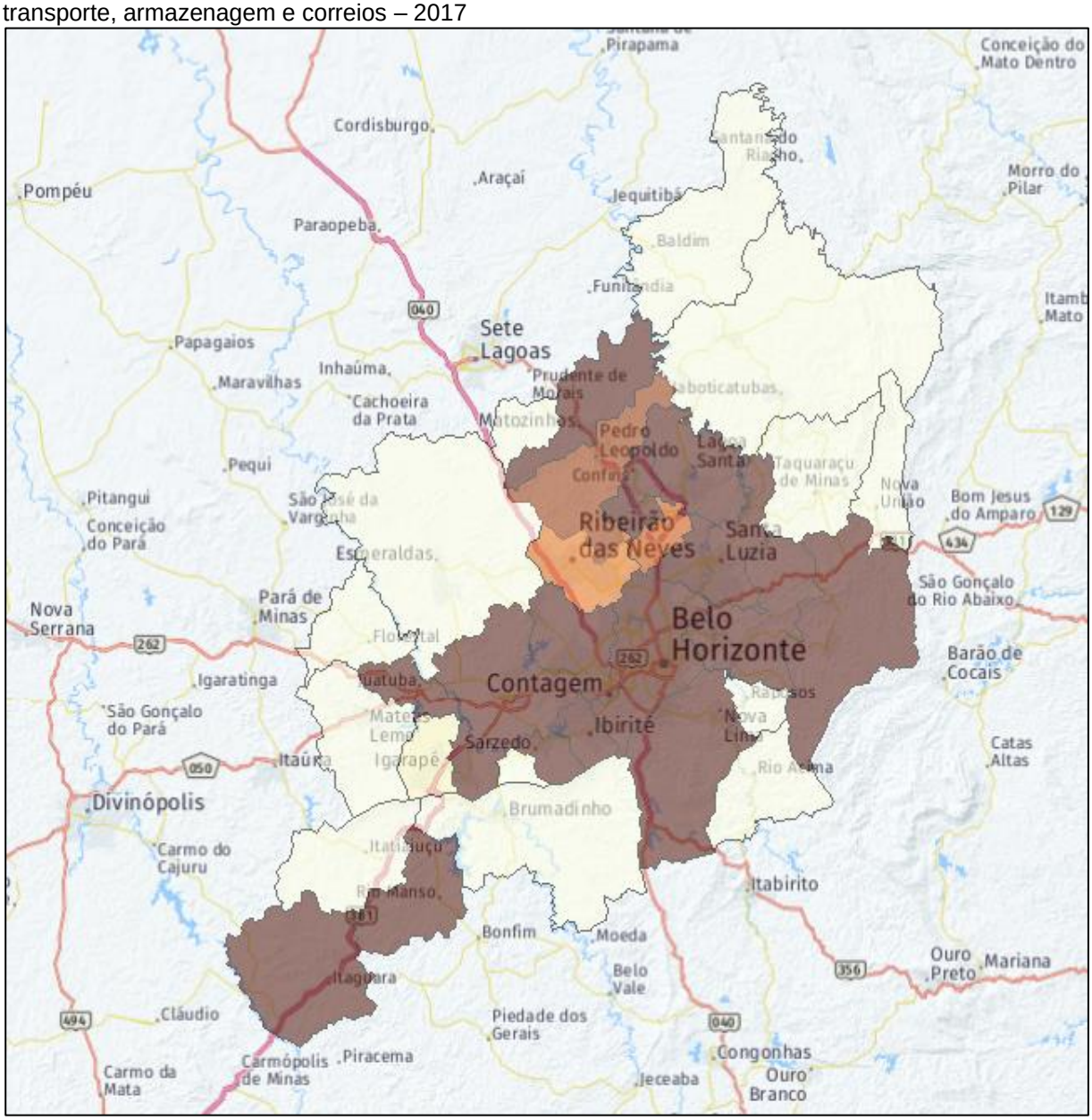
4.4.4 Eficiência no transporte de carga para transporte, armazenagem e correios

A Tabela 17 apresenta o cálculo de eficiência produtiva por município para o transporte de carga na atividade econômica do transporte, armazenagem e correios. Verifica-se que 44,1% (15/34) dos municípios da RMBH encontram-se na fronteira de eficiência para o transporte de carga relativo à atividade econômica do transporte, armazenagem e correios – vide Tabela 17. Os municípios de Belo Horizonte, Betim, Contagem, Ibirité, Juatuba, Lagoa Santa, Nova Lima, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, São Jose da Lapa, Sarzedo, Itaguara, Rio Manso e Matozinhos encontram-se com indicador de eficiência de 100%.

Ao verificar os municípios de referência, os *benchmarks*, na Tabela 17, observa-se que os municípios eficientes são referência para si mesmos e para os municípios ineficientes no transporte de carga na atividade econômica do transporte, armazenagem e correios. Chama atenção os municípios de Belo Horizonte, Contagem, Juatuba, Lagoa Santa, São José da Lapa, Itaguara e Matozinhos, que são eficientes e não são comparáveis aos demais municípios (ausência do município como *benchmark*). Para exemplificar os municípios ineficientes, pode-se tomar o de Caeté (98%), cujos municípios de referência são os eficientes de Ibirité (24,2%) e Rio Manso (75,7%) – vide Tabela 17. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, é o de Confins (98%), cujos municípios de referência são os de Nova Lima (4,4%), São Joaquim de Bicas (63,7%) e Sarzedo (31,7%).

Em sequência, também são observadas as metas ou oportunidades para que os municípios ineficientes em transportes na atividade econômica do transporte, armazenagem e correios tornem-se eficientes, dado o investimento em infraestrutura, número de trabalhadores e o transporte de carga. Ainda na Tabela 17 e, no mesmo exemplo do município ineficiente de Caeté (98%), para se tornar eficiente, verifica-se a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 659 mil reais; aumentar o número de trabalhadores em 190 indivíduos, transportando carga adicional de 100 toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB do transporte, armazenagem e correios em R$ 587 milhões de reais. Outro exemplo e analogamente aos demais municípios ineficientes, é o de Confins (98%) que, para se tornar eficiente, tem a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 88 mil reais; aumentar o número de trabalhadores em 905 trabalhadores, transportando carga adicional de mil toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB do transporte, armazenagem e correios em R$ 1,0 bilhão de reais.

Figura 31 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica do transporte, armazenagem e correios – 2017



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 17 – Eficiência produtiva no transporte de carga municipal da RMBH para transporte, armazenagem e correios – ano de 2017

DMU	Eficiência	Benchmarks (Lambdas)								Meta (Targets)					
		Betim	Ibirité	Nova Lima	Rio Manso	Sabará	Santa Luzia	São J. Bicas	Sarzedo	K (R$)	L (Un)	Rod. (ton)	Aer. (ton)	Fer. (ton)	PIB (R$x1.000)
Belo Horizonte	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Betim	100%	1	0	0	0	0	0	0	0	3.493.289	10.329	57.309	14	0	23.097.018
Contagem	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1.859.280	19.278	182.305	118	12.565	28.999.261
Ibirité	100%	0	1	0	0	0	0	0	0	1.859.280	753	381	0	0	2.170.568
Juatuba	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	3.783.642	921	13	0	0	1.202.426
Lagoa Santa	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	5.969.081	740	14	0	0	1.661.470
Nova Lima	100%	0	0	1	0	0	0	0	0	79.679	1.970	22.274	0	0	9.117.371
Sabará	100%	0	0	0	0	1	0	0	0	897.687	2.843	3.802	0	0	2.525.088
Santa Luzia	100%	0	0	0	0	0	1	0	0	4.343.125	3.090	46	2	0	3.786.547
São Joaquim de Bicas	100%	0	0	0	0	0	0	1	0	1	609	61	0	0	602.962
São José da Lapa	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	33.291	113	3	6	0	490.995
Sarzedo	100%	0	0	0	0	0	0	0	1	266.942	1.349	66	0	0	895.364
Itaguara	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	74.816	163	5	0	0	268.130
Rio Manso	100%	0	0	0	1	0	0	0	0	275.783	10	10	0	0	81.000
Matozinhos	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1.129.439	630	30	0	0	1.003.807
Caeté	98%	0	0,2423	0	0,7577	0	0	0	0	659.402	190	100	0	0	587.221
Confins	98%	0	0	0,0448	0	0	0	0,6377	0,3175	88.322	905	1.058	0	0	1.077.014
Pedro Leopoldo	72%	0	0,7841	0	0	0,0548	0	0	0,1611	1.550.030	964	518	0	0	1.984.515
Vespasiano	69%	0	0,7566	0,2217	0	0	0,0216	0	0	1.518.440	1.073	5.228	0	0	3.745.806
Ribeirão das Neves	51%	0,0026	0	0,7042	0	0	0,2932	0	0	1.338.713	2.320	15.848	1	0	7.590.859
Igarapé	18%	0	0	0,3796	0,6204	0	0	0	0	201.343	754	8.462	0	0	3.511.133
Baldim	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Brumadinho	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Capim Branco	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Esmeraldas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Florestal	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Itatiaiuçu	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Jaboticatubas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mário Campos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mateus Leme	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nova União	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Raposos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Rio Acima	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Taquaraçu de Minas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota: "*" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica

4.4.5 Eficiência no transporte de carga para construção

A Tabela 18 apresenta o cálculo de eficiência produtiva por município para o transporte de carga na atividade econômica da construção. Verifica-se que 44,1% (15/34) dos municípios da RMBH encontram-se na fronteira de eficiência para o transporte de carga relativo à atividade econômica da construção – vide Tabela 18. Os municípios de Belo Horizonte, Betim, Brumadinho, Contagem, Igarapé, Mateus Leme, Nova Lima, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa, Vespasiano e Nova União encontram-se com indicador de eficiência de 100%.

Ao verificar os municípios de referência, os *benchmarks*, na Tabela 18, observa-se que os municípios eficientes são referência para si mesmos e para os municípios ineficientes no transporte de carga na atividade econômica da construção. Chama atenção os municípios de Belo Horizonte, Igarapé, Nova Lima, Ribeirão das Neves, Rio Acima, São Joaquim de Bicas, São José da Lapa que são eficientes e não são comparáveis aos demais (ausência do município como *benchmark*). Na Tabela 18, observa-se que Esmeraldas (90%) é um exemplo de município ineficiente, que tem como referência os municípios eficientes de Brumadinho (0,01%), Mateus Leme (96,9%) e Sabará (3,0%). Pedro Leopoldo (72%) também é visto como ineficiente e tem com referência Nova Lima (22,6%), Sabará (21,6%) e Vespasiano (55,7%).

Para que os municípios ineficientes em transportes na atividade econômica da construção tornem-se eficientes, é preciso, pois, que haja investimento em infraestrutura, aumento no número de trabalhadores e aumento no transporte de carga. Assim, de acordo com os dados contidos na Tabela 18, para o município de Esmeraldas (90%) tornar-se eficiente, verifica-se a necessidade de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 664 milhões de reais; aumentar o número de trabalhadores em 213 indivíduos, transportando carga adicional de seis toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB em R$ 748 milhões de reais. Analogamente, Pedro Leopoldo (72%), para tornar-se eficiente, precisa de expandir os investimentos municipais em infraestrutura em R$ 1,5 milhões de reais; aumentar o número de trabalhadores em 513, transportando carga adicional de 846 toneladas na modalidade rodoviária; e aumentar o PIB em R$ 2 bilhões de reais.

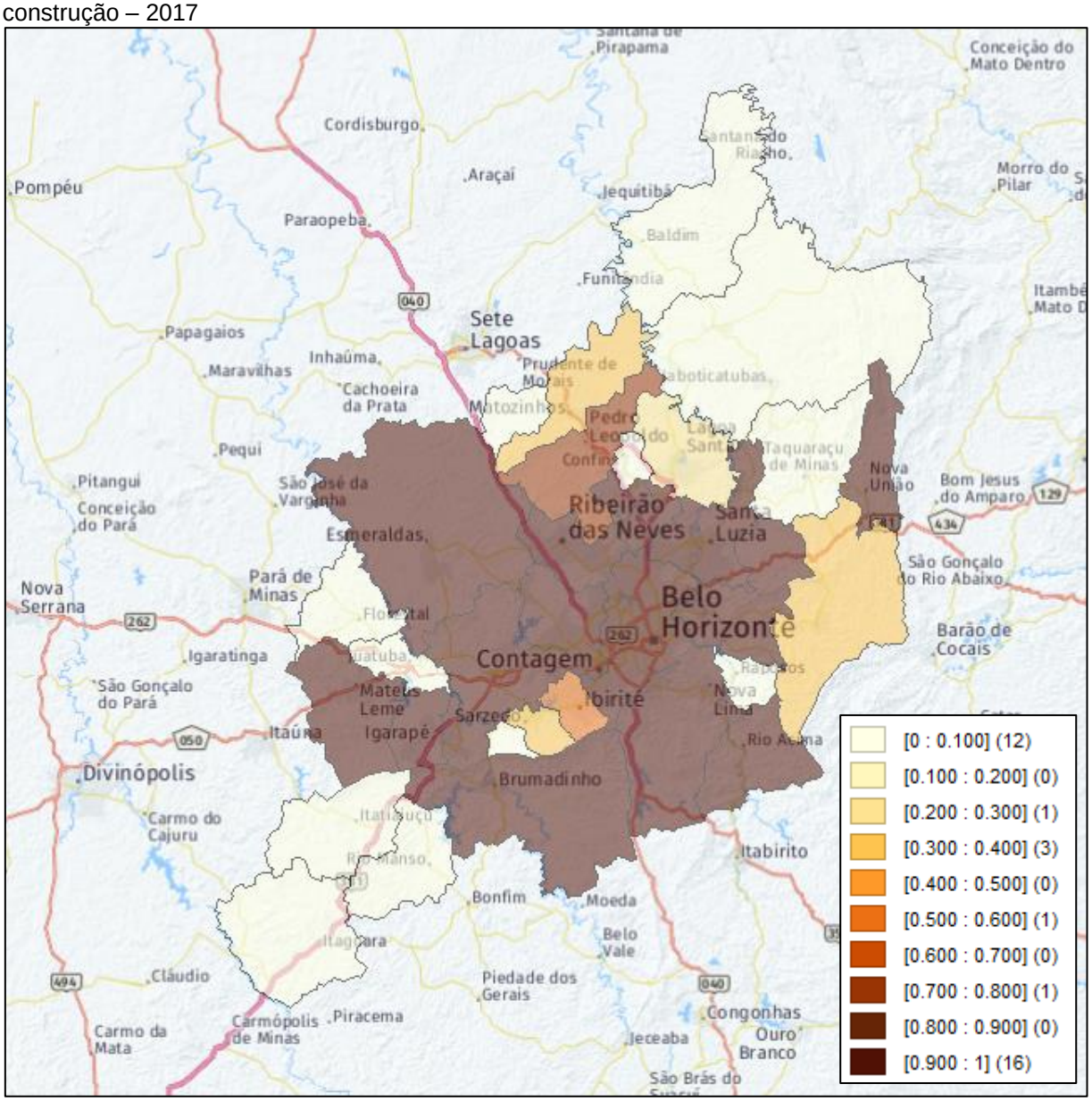
Tabela 18 - Eficiência produtiva no transporte de carga municipal da RMBH para construção – ano de 2017

DMU	Eficiência	Benchmarks (Lambdas)								Meta (Targets)				
		Betim	Brumadinho	Contagem	Mateus Leme	Nova Lima	Sabará	Santa Luzia	Vespasiano	K (R$)	L (Un)	Rod. (ton)	Aer. (ton)	PIB (R$x1.000)
Belo Horizonte	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	65.679.133	84.471	141.072	55	88.972.360
Betim	100%	1	0	0	0	0	0	0	0	3.493.289	3.303	2.511	1	23.097.018
Brumadinho	100%	0	1	0	0	0	0	0	0	100.000	591	1	0	1.989.457
Contagem	100%	0	0	1	0	0	0	0	0	1.859.280	7.307	86.571	2	28.999.261
Igarapé	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1.504.172	158	94	0	648.223
Mateus Leme	100%	0	0	0	1	0	0	0	0	657.885	198	1	0	692.585
Nova Lima	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	79.679	4.926	7.303	3	9.117.371
Ribeirão das Neves	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1.606.609	1.103	189	0	3.856.169
Rio Acima	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	99.687	130	2	0	131.656
Sabará	100%	0	0	0	0	0	1	0	0	897.687	687	156	0	2.525.088
Santa Luzia	100%	0	0	0	0	0	0	1	0	4.343.125	1.142	113	0	3.786.547
São Joaquim de Bicas	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	1	400	388	0	602.962
São José da Lapa	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	33.291	167	11	0	490.995
Vespasiano	100%	0	0	0	0	0	0	0	1	2.434.237	650	1.446	0	2.595.990
Nova União	100%	0	0	0	0	1	0	0	0	1	11	32	0	82.165
Esmeraldas	90%	0	0,0004	0	0,9693	0	0,0304	0	0	664.958	213	6	0	748.731
Pedro Leopoldo	72%	0	0	0	0	0,2269	0,216	0	0,5571	1.550.030	513	846	0	2.010.280
Ibirité	56%	0,0499	0	0	0	0	0,7086	0,2415	0	1.859.280	928	263	0	3.857.092
Matozinhos	38%	0	0	0	0	0	0,9327	0,0673	0	1.129.439	718	153	0	2.609.938
Sarzedo	35%	0,0587	0,4524	0,009	0	0,48	0	0	0	266.942	532	939	0	2.555.033
Caeté	34%	0,0225	0	0	0	0,5427	0	0	0,4348	1.137.071	363	702	0	1.693.697
Lagoa Santa	25%	0,281	0	0	0	0,719	0	0	0	981.560	936	728	0	6.548.975
Baldim	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Capim Branco	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Confins	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Florestal	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Itaguara	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Itatiaiuçu	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Jaboticatubas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Juatuba	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mário Campos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Raposos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Rio Manso	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Taquaraçu de Minas	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: **"*"** representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

Figura 32 - Eficiência da infraestrutura de transporte de carga para a atividade econômica da construção – 2017



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Discussão dos resultados

A proposta desse trabalho permite compreender implicações gerais e específicas em termos de resultados (para as unidades de análise) sobre a disponibilidade da infraestrutura em transportes e sua relação com a produtividade econômica. Para isso, é relevante separarmos a discussão da produtividade na RMBH em dois momentos principais: a discussão dos resultados de impacto da PTF como fator de disponibilidade; e a discussão nas modalidades de transporte de carga com impacto individual à cada município. Essa divisão tem o intuito de enfatizar a contribuição e a extensão do trabalho em referência aos objetivos frente a proposta técnica e teórica de mensuração dos modelos e significado econômico, político e social em relação ao objeto de estudo.

Primeiramente, para melhor compreensão das implicações dos resultados, é importante compreender a diferença e convergência das metodologias utilizadas neste estudo, cujo objetivo foi de propor o método de cálculo para disponibilidade de infraestrutura através do fator de produtividade econômica para o sistema de transporte de carga.

A metodologia paramétrica, proposta como método de cálculo da produtividade, considerou a influência e o efeito espacial geográfico (econometria espacial). Ela também permitiu estimar o fator de produtividade econômico médio entre as unidades do objeto de estudo – no caso, os municípios da região em destaque. Desse modo, a metodologia proposta permitiu mensurar o fator de produtividade econômico médio da RMBH, ao considerar como objeto de estudo os municípios que fazem parte dessa região. Além disso, a estimativa por econometria espacial permitiu comparar o objeto de estudo em relação à média das observações, ou seja, situar a produtividade econômica individual dos municípios que compõem a RMBH em relação à produtividade média dessa região. No entanto, a metodologia econométrica não permitiu compreender a produtividade econômica entre as unidades analisadas, pois esta é em referência à média das observações, ou seja, nesse estudo, qualificando à característica regional da RMBH.

Assim sendo, a metodologia complementar, não paramétrica da análise envoltória de dados (DEA), foi colocada em prática para identificar a *performance* de cada unidade de análise e compará-las. Nesse sentido, esse método permitiu identificar a eficiência dos municípios da RMBH com relação ao transporte de carga por modalidade e PIB relativo a cada município destacado. Em termos metodológicos, DEA analisa os municípios entre si “ranqueando” aqueles de melhor performance.

É preciso atentar para possíveis equívocos ao comparar diretamente e intrinsecamente os resultados obtidos com essas metodologias em pauta nesta pesquisa, tendo em vista as diferenças teóricas principais entre elas. A metodologia paramétrica (econométrica de mensuração de efeitos espaciais), por exemplo, requer pressupostos de modelagem e estimadores do tipo *best linear unbiased estimator -BLUE* (não viesados, não correlacionados, de distribuição normal, homocedásticos), cujos resultados são obtidos a partir da média realizada. A metodologia complementar não paramétrica (análise envoltória de dados), por sua vez, não requer pressuposições, seus resultados são escores de eficiência relativa, comparando uma unidade frente as demais.

Ademais, importante frisar quanto aos resultados em termos numéricos ou de magnitude, como já apontado na revisão de literatura, a PTF é influenciada pelas escolhas de variáveis (o resíduo do modelo), seja por inclusão ao modelo, escalas ou métricas distintas. Nesse sentido, não existe única modelagem para descrever a melhor PTF entre todas as atividades econômicas analisadas, mas sim aquela que possui o menor viés estatísticos nos estimadores para os efeitos espaciais.

4.5.1 Produtividade econômica para a RMBH – regional

Este estudo procurou dar contribuições às discussões que lançam esclarecimentos importantes lideradas por Barilla *et al*. (2020), Nilsen *et al*. (2017a), Mitra *et al*. (2016) e Cantos *et al*. (2005), pois trata da compreensão do efeito da disponibilidade da infraestrutura de transporte na atividade econômica, especificamente para o transporte de carga por modalidade. Assim, este estudo trata de avaliar em que medida possuir infraestrutura para o sistema de transporte de cargas afeta a produtividade na atividade econômica, seja por acessibilidade (BANISTER; BERECHMAN, 2003), atratividade geográfica (AARHAUG; GUNDERSEN, 2017) e tomadas de decisões de localização de empresas (BADRI, 2007).

Dessa forma, a análise dos dados contida no subtópico 4.1 e a análise inicial dos dados, em temos de média e correlação espacial, no subtópico 4.2, são de extrema relevância, pois conduzem à compreensão da proposta deste estudo. Inicialmente, é possível verificar a relação econômica direta do PIB (Tabela 15) e sua configuração geográfica (Figura 11), ou seja, municípios de maior PIB estão correlacionados geograficamente (municípios de maior PIB configuram-se geograficamente próximos), figurando princípio da primeira lei da Geografia sobre a relação dos espaços entre si (ou lei de Tobler, já mencionada).

Acrescenta-se ainda à compreensão espacial econômica, a configuração direta do volume de transporte de carga por modalidade para cada município. Observou-se que o transporte na modalidade ferroviária (77,8%) movimenta grande parte do volume de carga para a indústria extrativista e de transformação (Tabela 7) e figura-se espacialmente concentrado, conforme a Figura 12. No entanto, mesmo a modalidade rodoviária tendo menor percentual em volume transportado (22,1%) em relação à modalidade ferroviária, tem-se a modalidade rodoviária presente em todas as atividades econômicas (Tabela 7), com destaque à indústria de transformação.

Verificou-se a existência do *clusters* espacial para RMBH, apontando para a formação econômica espacial em termos de PIB. Não somente o cluster econômico, mas de investimentos municipais em infraestrutura de sistemas de transportes. Ainda na formação de clusters, também foi identificado a formação dos clusters de trabalhadores. Nesse sentido corrobora para as contribuições de Bulis e Skapars (2013), Hesieh (2014), Liu *et al* (2017) e Ning *et al* (2019) em que a proximidade geográfica permite o possível compartilhamento de interesses nos municípios analisados para o ano de 2017. Ademais, foi possível confirmar à visão de Delgado (2015), que observa o compartilhamento mútuo de interesses de recursos financeiros e de trabalhadores.

A metodologia estatística do *I de Moran* permitiu verificar a autocorrelação espacial entre unidades de análise, indicando o grau de associação entre os municípios. O “I de Moran global univariado” permitiu analisar a aleatoriedade dos dados (por meio do nível de significância), a concentração das unidades (sinal positivo do *I de Moran*) e negativo para a dispersão como sugerido por Almeida (2012). Verificou-se, então, que, para a RMBH, existe a configuração de *cluster* espacial para o PIB, entre os municípios de Belo Horizonte, Contagem, Nova Lima e Santa Luzia (estaticamente significativo) – (FIGURA 7). No entanto, ao comparar a relação de espacialidade do PIB junto das modalidades de transporte de carga, somente a modalidade aérea foi significativa para o município de Sabará isoladamente. Apesar de observarmos a possível configuração espacial entre o PIB e as modalidades de transporte de carga rodoviária, ferroviária e dutoviária (subtópico 4.3.1), não é possível afirmar, estatisticamente, que existe a formação de *cluster* espaciais entre as modalidades de transporte e o PIB na RMBH para o ano de 2017. Então, para o ano de 2017, é possível afirmar que na RMBH, a infraestrutura disponível de transporte na RMBH, não permite figurar a formação de cluster municipais para transporte de carga.

A variável investimentos em infraestrutura de transportes na RMBH, aponta para a formação de cluster espacial entre os municípios Contagem, Ribeirão das Neves, Vespasiano e Santa

Luzia (apresentou significância estatística para I de Moran Bivariado). Nesse ponto, é relevante destacar que os investimentos em infraestrutura de transportes desses municípios estão correlacionados ao PIB. Relação essa de influência positiva, que está relacionada geograficamente a atratividade de instalação de empresas na região que visam o transporte de carga. Outro ponto, a variável trabalhador em transportes na RMBH, que apresentou a formação de cluster espacial entre os municípios de Belo Horizonte e Contagem. Logo, tem-se a característica geográfica para o compartilhamento de mão de obra entre os municípios juntos aos resultados de Delgado (2015). Diante da constatação da formação do *cluster* espaciais, para o PIB, Investimentos e Trabalhadores dos municípios da RMBH, mensurou-se o efeito da influência da disponibilidade da infraestrutura presente nas modalidades do transporte de carga em termos do fator de produtividade econômica para o ano de 2017.

Primeiramente, para modelagem econométrica espacial, reforça-se os esforços de se buscar os pressupostos com estimadores *BLUE*. A variável PIB apresentou distribuição normal para o ano de 2017 (teste de *Shapiro-Wilk*, *p-value* 0,05 ≤ 0,2045), mesmo diante do (1) baixo número da amostra baseado em 34 observações / municípios da RMBH, e possíveis (2) imprecisões nos estimadores, em função da presença de heterocedasticidade (capacidade de transporte em cada modalidade), em que foi razoável e plausível utilizar o índice de significância de até 10% (para a análise de significância estatística dos modelos), evitando possível erro do tipo I. Para mensurar o fator de produtividade econômica para as cinco atividades econômicas selecionadas, somente a atividade da indústria extrativista apresentou a dependência espacial (Modelo 1 - MQO – apresenta viés nos estimadores quando não considera a influência espacial, Rejeição de H0), concluindo que o melhor modelo, estatisticamente, é o Modelo 3 - LAG. Quanto às demais atividades econômicas da RMBH para o ano de 2017, constatou-se que não há a relação de dependência espacial, ou seja, os Modelos 1 - MQO possuem estimadores não viesados para a dependência espacial.

Para a indústria extrativista, verificou-se que o Modelo 3 – LAG espacial apresenta significância estatística para a dependência espacial para o ano de 2017 na RMBH. O Modelo de LAG apresentou o Produtividade Total dos Fatores (PTF) positivo, indicando que há influência positiva na relação entre modalidades de transporte, investimento em infraestrutura e mão de obra e o PIB, com impacto total de 9,13%, em 2017. Ao comparar o resultado encontrado com alguns estudos de referência da Tabela 3, e para os demais na literatura mencionados anteriormente, verifica-se a característica convergente do efeito positivo para a PTF. Ressalta-se a convergência também para o modelo LAG espacial ao verificar a PTF italiana entre 2007 e 2015 (BARILLA *et. al*., 2020). Em termos de valores / magnitude, a PTF

encontrada para a indústria extrativista da RMBH é superior àquela encontrada por Cantos *et al.* (2005) para a indústria espanhola: 7,8%, no período de 1965 a 1995.

Quanto às variáveis, destaca-se que somente as variáveis de 'investimento em infraestrutura' e 'transporte de carga' pelas modalidades rodoviária e aérea foram significativas, estatisticamente, para explicar a produtividade média da infraestrutura de transporte de carga da RMBH. Observe-se os resultados diferentes das análises primárias realizadas por média no subtópico 4.2. No entanto, não serem estatisticamente significativas para explicar a relação média da produtividade na RMBH, para o ano de 2017, variáveis como mão de obra e transporte ferroviário para a indústria extrativista, tornam-nas insignificantes ou irrelevantes. Essas características têm a ver com o expressivo volume de carga transportada na modalidade ferroviária e podem ser verificadas nas Tabelas 6 e 7. Quanto às variáveis, os efeitos positivos das variáveis 'investimento' e 'rodovia' são observados em Barilla *et al.* (2020) e 'aéreo', em Cantos *et al*. (2005). Quanto à significância das variáveis encontradas no Modelo 3 – LAG, 'investimento', 'rodovia' e 'aéreo', o estudo de Barilla *et al*. (2020) também identificou significância para elas.

Outro ponto importante de ser trazido à baila, diz respeito à 'insignificância estatística de variáveis no modelo' e a 'relação entre o PIB observado e o PIB estimado'. Isso tem impacto direto na taxa de produtividade individual para as unidades classificadas abaixo da média da RMBH (100%) (FIGURA 21). Para aquelas unidades que ficaram abaixo da média esperada (mensurada a partir de variáveis significativas no Modelo 3 – LAG), é possível que as variáveis desconsideradas fossem relevantes para determinar a estimativa do PIB e, consequentemente, determinar a taxa de produtividade da unidade observada para o período analisado. Figura-se o impacto direto, por exemplo, o município de Belo Horizonte (83%), que transportou 1/3 do volume de carga na modalidade ferroviária e Raposos (84%), que transporta mais de três vezes do volume de carga na modalidade ferroviária se comparados quanto à modalidade rodoviária na indústria extrativista (TABELA 9).

Quanto à indústria da transformação, verificou-se que o Modelo 1 – MQO apresentou significância estatística para o ano de 2017 na RMBH, mesmo sem considerar os efeitos de dependência espacial da variável PIB. Nesse sentido, é importante atentar para pontos que corroboram a consistência do Modelo 1 – MQO, isto é, o fato de R^2 ajustado explicar de forma consistente em 82% das variações presentes nos dados e dos demais modelos não apresentarem significância estatística para a dependência espacial. O Modelo 1 - MQO apresentou o Produtividade Total dos Fatores – PTF positivo, indicando que há influência positiva na relação entre as modalidades de transporte, investimento em infraestrutura e mão

de obra e o PIB, com impacto total de 9,5%, em 2017. Ao comparar o resultado encontrado com alguns estudos de referência da Tabela 3, verificou-se a característica convergente do efeito positivo para a PTF. Em termos de valores / magnitude, a PTF encontrada para a indústria de transformação da RMBH é superior àquela encontrada por Cantos *et al.* (2005) para a indústria espanhola, que foi de 7,8% no período de 1965 a 1995.

Quanto às variáveis, destaca-se que somente as variáveis de investimento em infraestrutura, trabalho relacionadas ao transporte de carga e o volume de carga transportada pela modalidade aérea foram significativas estatisticamente, para explicar a produtividade média da infraestrutura de transporte de carga da RMBH. No entanto, o fato de não serem estatisticamente significativas para explicar a relação média da produtividade na RMBH para o ano de 2017, variáveis como transporte rodoviário, ferroviário e dutoviário para a indústria da transformação, tornam-nas insignificantes ou irrelevantes. De fato, pode-se verificar pelas Tabelas 6 e 7 o expressivo volume de carga transportada na modalidade ferroviária e rodoviária. Ademais, destaca-se nessa atividade o transporte de combustíveis na modalidade dutoviária.

Note-se que a insignificância estatística de variáveis no modelo e a relação entre o PIB observado e o PIB estimado têm impacto direto na taxa de produtividade individual para unidades classificadas abaixo da média da RMBH (100%) (FIGURA 22). Para as unidades que ficaram abaixo da média esperada (mensurada a partir de variáveis significativas no Modelo 1 - MQO), é possível que essas variáveis desconsideradas fossem relevantes para determinar a estimativa do PIB e, consequentemente, determinar a taxa de produtividade da unidade observada para o período analisado. Isso também teria impacto direto como, por exemplo, é o caso dos municípios de São José da Lapa (96%), que transporta grande parte do volume de carga na modalidade rodoviária e ferroviária, com o de Itaguara (98%), que transporta todo o volume de carga na modalidade rodoviária se comparados a modalidade aérea na indústria da transformação (TABELA 10).

Frente à variável da atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, verificou-se que o Modelo 1 – MQO apresentou significância estatística para o ano de 2017 na RMBH, mesmo sem considerar os efeitos de dependência espacial da variável PIB. Nesse sentido, é importante atentar para pontos que corroboram a consistência do Modelo 1 – MQO, isto é, o fato de R^2 ajustado explicar de forma consistente em 90,9% das variações presentes nos dados e dos demais modelos não apresentarem significância estatística para a dependência espacial. O Modelo 1 – MQO apresentou o Produtividade Total dos Fatores – PTF positivo, indicando que há influência positiva na relação entre modalidades

de transporte, investimento em infraestrutura e mão de obra e o PIB, com impacto total de 7,87%, em 2017. Ao comparar o resultado encontrado com alguns estudos de referência (TABELA 3) e para os demais na literatura mencionados anteriormente, verifica-se a característica convergente do efeito positivo para a PTF.

Quanto às variáveis, destaca-se que somente as variáveis trabalho relacionadas ao transporte de carga e o volume de carga transportada pela modalidade rodoviária foram significativas, estatisticamente, para explicar a produtividade média da infraestrutura de transporte de carga na RMBH. No entanto, não ser estatisticamente significativas para explicar a relação média da produtividade na RMBH para o ano de 2017 (variáveis como investimento em infraestrutura, transporte ferroviário e aéreo para atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas) tornam-nas insignificantes ou irrelevantes. No entanto, nessa modelagem específica, seria controverso considerar, mesmo com impacto positivo, que investimento em infraestrutura de transporte seja irrelevante – uma vez que não é estatisticamente significativo para a atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, podendo conduzir a conclusões de impacto nulo levantadas anteriormente (EVANS; KARRAS, 1994; BOARNET, 1996; MORENO; LÓPEZ-BAZO, 2007). De fato, novamente, pode-se verificar isso nas Tabela 6 e Tabela 7, que apontam os volumes de carga transportada na modalidade ferroviária e aérea.

Nesse sentido, quanto à insignificância estatística de variáveis no modelo e a relação entre o PIB observado e o PIB estimado, têm impacto direto na taxa de produtividade individual para unidades classificadas abaixo da média da RMBH (100%) (FIGURA 23). Para aquelas unidades que ficaram abaixo da média esperada (mensurada a partir de variáveis significativas no Modelo 1 – MQO), é possível que as variáveis desconsideradas fossem relevantes para determinar a estimativa do PIB e, consequentemente, determinar a taxa de produtividade da unidade observada para o período analisado. Isso teria impacto direto como, por exemplo, é o caso dos municípios de Jaboticatubas (96%), que transporta volume de carga na modalidade aérea, com o município de Florestal (98%), para atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas (TABELA 11).

Frente à atividade econômica do transporte, armazenagem e correios, verificou-se que o Modelo 1 – MQO apresentou significância estatística para o ano de 2017 na RMBH, mesmo sem considerar os efeitos de dependência espacial da variável PIB. Nesse sentido, é importante atentar, para os pontos que corroboram a consistência do Modelo 1 – MQO, o fato de R^2 ajustado explicar de forma consistente em 87,1% das variações presentes nos dados e dos demais modelos não apresentarem significância estatística para a dependência espacial.

O Modelo 1 – MQO apresentou o Produtividade Total dos Fatores – PTF positivo, indicando que há influência positiva na relação entre modalidades de transporte, investimento em infraestrutura e mão de obra e o PIB, com impacto total de 10,15% em 2017. Ao comparar o resultado encontrado com alguns estudos de referência (TABELA 3), e para os demais na literatura mencionados anteriormente, verifica-se a característica convergente do efeito positivo para a PTF.

Quanto às variáveis, destacam-se que somente as variáveis trabalho relacionadas ao transporte de carga e o volume de carga transportada pela modalidade ferroviária foram significativas, estatisticamente, para explicar a produtividade média da infraestrutura de transporte de carga da RMBH. No entanto, não ser estatisticamente significativas para explicar a relação média da produtividade na RMBH para o ano de 2017, variáveis como investimento em infraestrutura transporte rodoviário e aéreo para atividade econômica do transporte, armazenagem e correios, tornam-nas insignificantes ou irrelevantes. No entanto, nessa modelagem específica seria controverso considerar, mesmo com impacto positivo, que o investimento em infraestrutura de transporte seja irrelevante – uma vez que não é estatisticamente significativo para atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas, podendo conduzir a conclusões de impacto nulo levantadas anteriormente (EVANS; KARRAS, 1994; BOARNET, 1996; MORENO; LÓPEZ-BAZO, 2007). De fato, novamente, pode-se verificar isso pelas Tabelas 6 e 7, que apontam os volumes de carga transportada na modalidade rodoviária e aérea.

Ainda nesse sentido, quanto à insignificância estatística de variáveis no modelo e a relação entre o PIB observado e o PIB estimado, têm impacto direto na taxa de produtividade individual para unidades classificadas abaixo da média da RMBH (100%) (FIGURA 24). Para aquelas unidades que ficaram abaixo da média esperada (mensurada a partir de variáveis significativas no Modelo 1 – MQO), é possível que as variáveis desconsideradas fossem relevantes para determinar a estimativa do PIB e, consequentemente, determinar a taxa de produtividade da unidade observada para o período analisado. Isso teria impacto direto como, por exemplo, é o caso dos municípios de Confins (96%), que transporta volume de carga na modalidade rodoviária e aérea, com o município de Itaguara (99%), na modalidade rodoviária para atividade econômica do transporte, armazenagem e correios (TABELA 12).

Por fim, para a atividade econômica da construção, verificou-se que o Modelo 1 – MQO apresenta significância estatística para o ano de 2017 na RMBH, mesmo sem considerar os efeitos de dependência espacial da variável PIB. Nesse sentido, é também importante atentar para pontos que corroboram a consistência do Modelo 1 – MQO, o fato de R^2 ajustado explicar

de forma consistente em 79,1% das variações presentes nos dados e dos demais modelos não apresentarem significância estatística para a dependência espacial. O Modelo 1 – MQO apresentou o Produtividade Total dos Fatores – PTF positivo, indicando que há influência positiva na relação entre modalidades de transporte, investimento em infraestrutura e mão de obra e o PIB, com impacto total de 10,06% em 2017. Ao comparar o resultado encontrado com alguns estudos de referência (TABELA 3), e para os demais na literatura mencionados anteriormente, verifica-se a característica convergente do efeito positivo para a PTF.

Quanto às variáveis, destaca-se que somente as variáveis do investimento em infraestrutura de transportes e trabalho relacionadas ao transporte de carga e o volume de carga transportada pela modalidade aérea foram significativas, estatisticamente, para explicar a produtividade média da infraestrutura de transporte de carga da RMBH. No entanto, não ser estatisticamente significativas para explicar a relação média da produtividade na RMBH para o ano de 2017, variáveis como investimento em infraestrutura transporte rodoviário para atividade econômica da construção, tornam-na insignificante ou irrelevante. Novamente, pode-se verificar isso pelas Tabelas 6 e 7, que apontam os volumes de carga transportada majoritariamente na modalidade rodoviária.

Ainda, nesse sentido, quanto à insignificância estatística de variáveis no modelo e a relação entre o PIB observado e o PIB estimado, têm impacto direto na taxa de produtividade individual para unidades classificadas abaixo da média da RMBH (100%) (FIGURA 25). Para aquelas unidades que ficaram abaixo da média esperada (mensurada a partir de variáveis significativas no Modelo 1 – MQO), é possível que as variáveis desconsideradas fossem relevantes para determinar a estimativa do PIB e, consequentemente, determinar a taxa de produtividade da unidade observada para o período analisado. Isso teria impacto direto como, por exemplo, é o caso dos municípios de Rio Acima (90%), que transporta majoritariamente volume de carga na modalidade rodoviária, com o município de Caeté (96%), para atividade econômica da construção (TABELA 13).

De maneira geral, para os resultados encontrados da PTF nas distintas atividades econômicas, a PTF mensurada tem seus valores nos intervalos de estudos de referência, como de Gong e Zhan (2013), que encontrou PTF variando de 3,2% a 7,9%. Outros exemplos, Barilla *et al.*, (2020), dependendo do setor de interesse, encontrou de 1,4% a 14,9%; Mitra *et al*. (2016) encontrou PTF em 3,2%; e Cantos *et al*. (2005) de 3,7% a 4,8%.

4.5.1 Taxa de produtividade e eficiência em transportes dos municípios da RMBH

A Tabela 19 apresenta o comparativo de resultados entre as metodologias utilizadas para analisar o ano de 2017, focando os municípios que compõem a RMBH. Logo, denota-se a taxa de produtividade individual dos municípios (a partir da relação do Y_i PIB Real e $\widehat{Y}_i$ PIB Estimado $(PIB_i/\widehat{PIB}_i) * 100$) e a suas eficiências relativas comparadas aos demais. Ainda na Tabela 19, a título de análise comparativa entre os municípios que desempenham a taxa de produtividade acima da média regional e que, ao mesmo tempo têm sua *performance* no transporte de carga em termos de PIB eficiente quando comparada aos demais, realizou-se o somatório dos percentuais e ordenou-se a tabela em forma decrescente de valores para fins de classificação / ordenamento. Oportunamente, também se utilizou o somatório de percentuais a fim de apurar, geograficamente (FIGURA 27), quais os municípios que desempenham a taxa de produtividade acima da média regional e, ao mesmo tempo, quais deles têm sua *performance* comparada aos demais somente a título de classificação, adotando o município com maior somatório igual a 100% e os demais referentes a este.

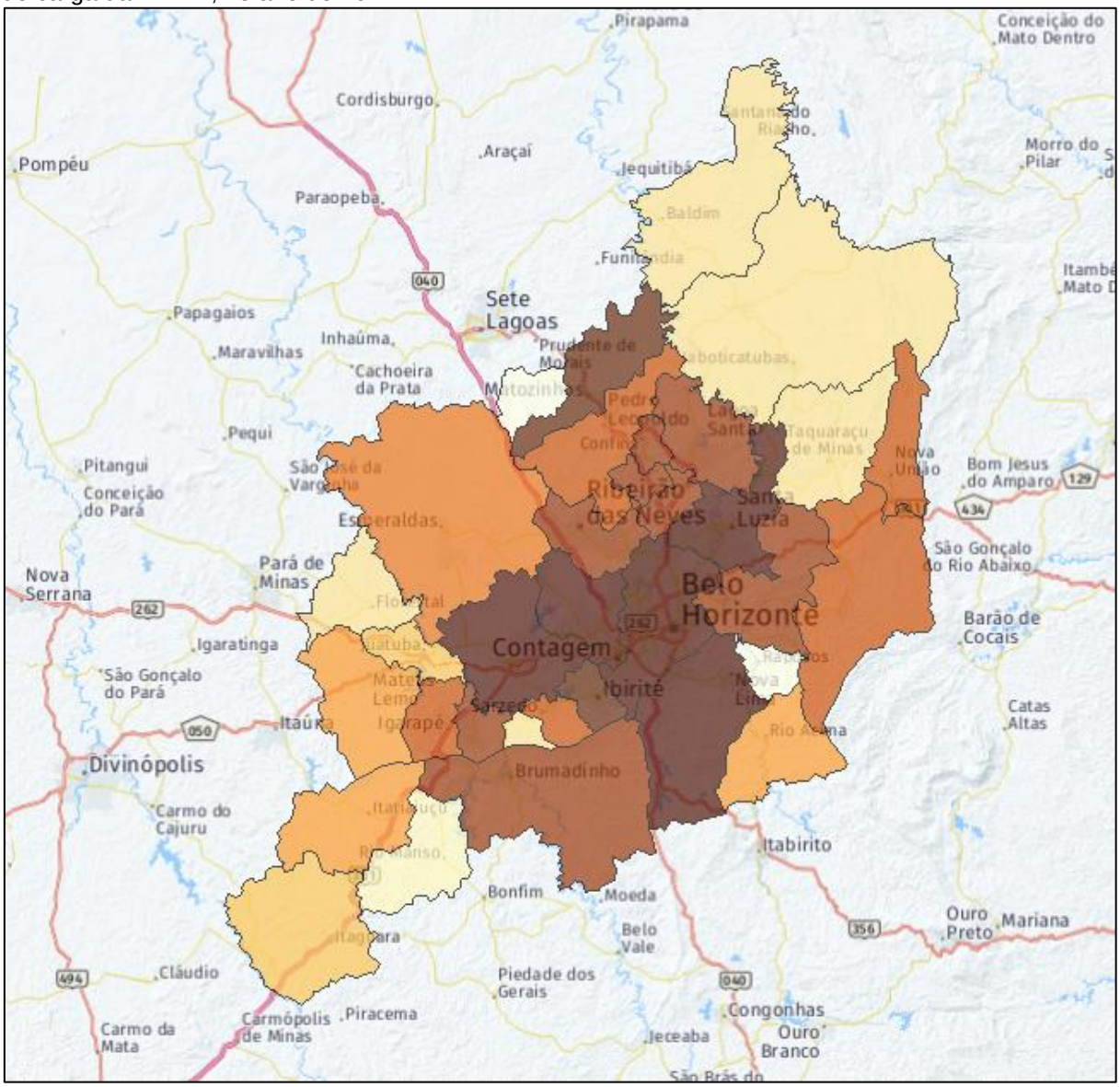
Na Tabela 19, verifica-se que o município de Betim (100%) ficou classificado em primeiro lugar, seguido pelos municípios de Nova Lima (99%), Contagem (98%), Belo Horizonte (95%) e Santa Luzia (95%). Ao verificar a Figura 31, observa-se que esses municípios se encontram geograficamente inseridos no centro da RMBH. É observável ainda que esses municípios centrais possuem em sua extensão territorial grande parte da infraestrutura de transporte disponível, descritas no subtópico 3.1. Observa-se com destaque, a presença da infraestrutura rodoviária em Betim (BR-381, BR-262, MG-040, MG-050, MG-060, MG-155), Nova Lima (BR-040, BR-356, MG-030), Contagem (BR-262, MG-808), Belo Horizonte (BR-040, BR381, BR-262, MG-10, MG-20, MG-30, MG-040, MG-262, MG-806) e Santa Luzia (MG-020, MG-145, MG-433). A infraestrutura da modalidade de transporte ferroviária está presente em todos os cinco municípios. Tem-se também o destaque para a modalidade área para o transporte de carga presente no município de Belo Horizonte, e dutoviária no município de Betim.

Ao analisar os cinco municípios individualmente pela Tabela 19, para o ano de 2017, é possível verificar que Betim possui a maior taxa de produtividade média (110%) entre os municípios, seguido de Nova lima (107%), Contagem (106%), Santa Luzia (104%) e Belo Horizonte (100%).

No entanto, verifica-se que o município de Santa Luzia (104%), apesar de apresentar taxa de produtividade média acima da média da RMBH (100%), tem sua eficiência no transporte

menor (95%) que em relação aos demais municípios. Ora, apesar de o município de Santa Luzia ter um desempenho no transporte de carga superior à média regional da RMBH, é ineficiente no transporte quando comparado / relativizado aos demais municípios, como Betim (100%), Nova Lima (100%), Contagem (100%) e Belo Horizonte (100%). Isso, porque o município de Santa Luzia é ineficiente no transporte de cargas da indústria de transformação (TABELA 19) e deveria ter como meta as descrições da Tabela 15 para ser eficiente.

Figura 33 – Representação dos municípios com maior taxa de produtividade e eficiência no transporte de carga da RMBH, no ano de 2017



Fonte: Elaborado pelo autor.

Constata-se, além disso, que os municípios de Belo Horizonte (83%) e Nova Lima (86%) precisam aumentar a taxa de produtividade em termos de PIB da indústria extrativista, pois constam abaixo do desempenho médio esperado da RMBH (100%) – uma vez que possuem eficiência no transporte de carga demonstrado na Tabela 19 (Resumo das Tabelas 14, 15, 16, 17 e 18).

Analogamente, observa-se na Tabela 19, que os municípios de Ibirité (105%) e Matozinhos (102%) têm taxa de produtividade média (105%) acima da esperada para RMBH (100%), mas possuem baixa eficiência média (Ibirité 79% e Matozinhos 78%) no transporte de carga frente a outros municípios. Ibirité (79%) precisa melhorar o transporte de cargas nas atividades econômicas da indústria de transformação (TABELA 15) e na construção (TABELA 18). Já o município de Matozinhos precisa melhorar o transporte na atividade econômica do comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas (TABELA 16) e principalmente da construção (TABELA 18).

Tabela 19 - Comparativo de resultados: taxa de produtividade e eficiência no transporte de cargas para atividades econômicas da RMBH para o ano de 2017.

Método	Regressão Espacial (Taxa de Produtividade)					Análise Envoltória de Dados (escore eficiência)							
Municípios	Indústria Extrativista	Indústria Transformação	Comércio Reparação Veículos, Motos	Transporte Armazenagem Correios	Construção	Indústria Extrativista	Indústria Transformação	Comércio Reparação Veículos, Motos	Transporte Armazenagem Correios	Construção	Taxa de produtividade média	Score de eficiência médio	Classificação relativa à Betim
Betim	105%	108%	109%	115%	112%	100%	100%	100%	100%	100%	110%	100%	100%
Nova Lima	86%	118%	109%	115%	106%	100%	100%	100%	100%	100%	107%	100%	99%
Contagem	108%	103%	104%	104%	111%	100%	100%	100%	100%	100%	106%	100%	98%
Belo Horizonte	83%	107%	106%	105%	101%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	95%
Santa Luzia	98%	108%	104%	107%	105%	100%	74%	100%	100%	100%	104%	95%	95%
Ibirité	104%	107%	103%	109%	101%	100%	40%	100%	100%	56%	105%	79%	88%
Matozinhos	103%	102%	102%	104%	98%	100%	100%	50%	100%	38%	102%	78%	85%
Vespasiano	103%	99%	104%	108%	105%	100%	26%	62%	69%	100%	104%	71%	84%
São José da Lapa	98%	96%	102%	105%	100%	100%	12%	60%	100%	100%	100%	74%	83%
Sabará	95%	106%	103%	105%	105%	21%	28%	98%	100%	100%	103%	69%	82%
Ribeirão das Neves	96%	110%	101%	107%	106%	36%	49%	100%	51%	100%	104%	67%	81%
Lagoa Santa	98%	101%	102%	107%	96%	64%	52%	79%	100%	25%	101%	64%	78%
Confins	107%	112%	108%	98%	*	100%	100%	100%	98%	*	106%	100%	78%
Brumadinho	95%	114%	107%	*	106%	100%	100%	100%	*	100%	106%	100%	78%
São Joaquim de Bicas	*	107%	102%	100%	108%	*	100%	100%	100%	100%	104%	100%	78%
Sarzedo	89%	105%	105%	100%	98%	21%	48%	85%	100%	35%	99%	58%	75%
Nova União	94%	101%	96%	*	102%	100%	100%	83%	*	100%	98%	96%	74%
Caeté	85%	103%	99%	104%	96%	7%	100%	41%	98%	34%	97%	56%	73%
Igarapé	99%	100%	99%	100%	99%	60%	17%	45%	18%	100%	99%	48%	70%
Pedro Leopoldo	90%	100%	102%	104%	101%	12%	14%	49%	72%	72%	99%	44%	68%
Esmeraldas	91%	104%	101%	*	98%	28%	67%	50%	*	90%	99%	59%	60%
Mateus Leme	88%	99%	102%	*	99%	9%	18%	50%	*	100%	97%	45%	54%
Rio Acima	87%	98%	101%	*	90%	12%	52%	26%	*	100%	94%	47%	54%
Itatiaiuçu	90%	111%	114%	*	*	29%	100%	100%	*	*	105%	76%	52%
Juatuba	*	99%	109%	104%	*	*	14%	100%	100%	*	104%	71%	50%
Itaguara	*	98%	98%	99%	*	*	63%	49%	100%	*	98%	71%	48%
Jaboticatubas	90%	98%	96%	*	*	18%	100%	23%	*	*	95%	47%	41%
Florestal	*	103%	99%	*	*	*	100%	100%	*	*	101%	100%	38%
Taquaraçu de Minas	92%	0%	106%	*	*	100%	*	100%	*	*	66%	100%	38%
Baldim	*	101%	98%	*	*	*	98%	94%	*	*	100%	96%	37%
Mário Campos	*	101%	99%	*	*	*	100%	73%	*	*	100%	87%	36%
Rio Manso	*	*	99%	100%	*	*	*	21%	100%	*	99%	60%	30%
Raposos	84%	*	107%	*	*	11%	*	53%	*	*	96%	32%	24%
Capim Branco	*	102%	*	*	*	*	100%	*	*	*	102%	100%	19%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: "*" representa inexistência de transporte de carga registrada oficialmente para a atividade econômica.

4.5 Implicações

Este trabalho fornece implicações a distintas para instituições públicas, empresas e pesquisadores. De maneira general, a metodologia proposta permite identificar deficiências e carências de infraestrutura no sistema de transporte e quantificá-los em termos de produtividade da atividade econômica. Ademais, qualifica a disponibilidade da infraestrutura do sistema de transporte de carga existente em relação à atividade econômica em termos de produtividade. Não somente, ainda permite a identificação de cluster econômicos a partir do teste do I de Moran considerando a relação geográfica entre as observações. Assiste ainda, as decisões de instalação de empresas em nível regional e local partir da disponibilidade da infraestrutura existente. Não menos importante, este estudo permite ampliar novas compreensões e comparações para objeto de análise maiores, para nível regional de estados (objeto de análise como municípios), nível regional de país (objeto de análise como estados) e entre países.

Do ponto de vista institucional público, a metodologia de cálculo desse trabalho permite avaliar e comparar municípios e regiões com menor e maior impacto em termos de produtividade econômica. Nesse sentido permite conduzir políticas de incentivos, subsídios a determinadas atividades econômicas ou realizar investimentos em disponibilidade de infraestrutura para sistemas de transporte. Ademais, permite comparar o desempenho regional e individual identificando deficiências na disponibilidade de infraestrutura de transportes. Importante ressaltar, que em termos de sistema de transporte, este estudo suporta a tomada de decisão tendo em vista à incentivos e a investimentos em infraestrutura de transporte de carga para o desempenho local e regional.

Quanto às empresas, a metodologia permite que empresas identifiquem o objeto de análise (municípios) que tem o melhor desempenho, em termos de disponibilidade de infraestrutura, para suportar o transporte de carga na modalidade de transporte de interesse. Isto é, a metodologia proposta identifica e qualifica a melhor localidade em termos de infraestrutura disponível para o transporte de carga em cada atividade econômica de interesse, e assim, subsidia a empresas na tomada de decisão de instalar e permanecer em determinadas localidades. Logo, a metodologia permite interessados comprar, para atividades econômicas específicas de interesse, municípios, regiões, estados e países com melhor disponibilidade de infraestrutura de transportes de carga.

Aos pesquisadores, a metodologia de mensuração corrobora para aprofundar as questões no âmbito da geografia econômica, especificamente à relação do impacto do sistema de

transportes e as atividades econômicas específicas. Importante ressaltar que o uso de distintas metodologias permite compreender o efeito da disponibilidade da infraestrutura de transportes na produtividade econômica de forma complementar.

O uso da metodologia econométrica espacial, permitiu identificar o melhor modelo (menor viés dado as características espaciais) para mensurar o impacto da disponibilidade de infraestrutura de transportes (em termos de transporte de carga) em atividades econômicas específicas. Ademais, permite conhecer a formação de cluster espaciais para os sistemas transportes de carga (I moran) referente à atividade econômica específica. A modelagem paramétrica, permitiu obter resultados a partir dos dados observados (municípios da RMBH), conduzindo a interpretação referente à média. No presente estudo, foi possível identificar a PTF média do objeto de análise (os municípios que compõem a RMBH), ou seja, desempenho de PTF regional, mensurado a partir do fluxo de carga (mercadorias e produtos) transportados na infraestrutura disponível para cada atividade econômica específica da unidade de análise (nos municípios que compõem a RMBH). Ainda assim, o método permite comparar o desempenho do município em referência ao desempenho médio da região, bem como analogamente, permite identificar quais são as infraestruturas dos sistemas de transportes (relevância estatística) para explicar o desempenho regional (RMBH).

De forma complementar, o uso da metodologia da Análise Envoltória de Dados, procedimento não-paramétrico de eficiência relativa ou *benchmarking*, permitiu comparar o impacto da disponibilidade de infraestrutura de transportes (em termos de transporte de carga) em atividades econômicas específicas entre os municípios. Assim, permitiu identificar quais objetos de análise (municípios) são mais eficientes entre si, ao dispor de infraestrutura de transporte que permite o transporte de carga, permitindo a compreensão local. Também, permitiu identificar e quantificar em que medida as modalidades de transportes são relevantes para cada objeto de análise (municípios) e direciona oportunidades para melhorias de desempenho à cada unidade analisada.

Ambas metodologias possuem limitações, e requerem atenção de interessados. Primeiramente, importante ressaltar que na econometria espacial, não foi utilizado recursos temporais dado a indisponibilidade dos dados, e que, podem conduzir a interpretações distintas do ano de 2017. Interpretações estas, frente a formação de clusters e a identificação de modelos espaciais com menor viés (ao considerar o efeito geográfico). Outro ponto, frente ao objeto de análise, no caso, municípios da RMBH. Isso, porque o pequeno número de observações, restringe o uso de técnicas mais avançadas para estimação dos modelos com GMM. Essa deficiência ainda é intensificada pela presença de heterocedasticidade, que

sempre haverá para os objetos de análise utilizadas, pois é comum unidades (municípios) apresentarem ou não determinadas atividades econômicas, bem como volume de carga transportada (declarado legalmente). Por fim, a adesão de novas variáveis, podem gerar dois efeitos, de multicolinearidade e o de viés nos estimadores, impactando na redução em termos de valores da PTF (resíduo da regressão).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve o objetivo de propor o modelo de mensuração para o impacto da disponibilidade dos sistemas de transportes sobre a produtividade da economia, considerando a relação geográfica espacial entre observações. Importante pois é preciso imputar a 1° lei da Geografia em que, observações próximas geograficamente tentem a se relacionar economicamente mais intensamente que observações distantes. Assim, contribuiu para esclarece e apoiar a temática apresentada, para calcular o efeito na produtividade a partir da disponibilidade de sistemas de transportes. Corroborou para as limitações do índice de produtividade logística (LPI) que não aborda exclusivamente a infraestrutura das modalidades em transportes de carga, e para o *Global Competitiveness Index* (GCI) que, analisa a infraestrutura dos sistemas de transportes indiretamente, incorporando variáveis sociais junto a variáveis dos sistemas de transportes.

Ressalta-se que, a partir das metodologias utilizadas, a proposta por considerar o efeito geográfico a partir da modelagem em econometria espacial e a complementar baseada na Analise Envoltória de Dados – DEA, em que os resultados têm diversas implicações e aplicações. Primeiramente, a metodologia de cálculo proposta permitiu identificar o impacto dos sistemas de transporte sobre a produtividade total dos fatores regional para determinados grupos de atividade econômica. Isso, permite quantificar o impacto da disponibilidade do sistema de transporte em termos de PIB, além de identificar estatisticamente os sistemas de transporte que contribuem estatisticamente para explicar o desempenho da atividade econômica regional. Em segundo, permitiu comparar o desempenho individual dos municípios em relação ao desempenho regional. Em terceiro, possibilitou comparar o desempenho individual de cada município por meio da taxa de produtividade, a partir da relação entre PIB real e estimado.

A metodologia complementar, contribuiu para comparações de desempenho entre os municípios a partir da disponibilidade de sistema de transportes. Nesse sentido, foi possível comparar os sistemas de transporte mais relevantes para cada município de forma quantitativa e comparar o desempenho frente à outros. Outro ponto, é possível verificar oportunidades de investimentos em sistema de transportes, a partir de municípios benchmarks para serem eficientes em termos de desempenho da atividade econômica.

Recomenda-se ainda, atentar para a qualidade dos dados. Isto posto, pois podem gerar viés nos estimadores nas estimativas por econometria espacial, além de distorcer interpretações de necessidade de sistemas de transportes. Como já citado, é preciso atentar para possíveis

equívocos ao comparar diretamente e intrinsecamente os resultados obtidos com essas metodologias em pauta nesta pesquisa, tendo em vista as diferenças teóricas principais entre elas. A metodologia paramétrica (econométrica de mensuração de efeitos espaciais), por exemplo, requer pressupostos de modelagem e estimadores do tipo best linear unbiased estimator - BLUE (não viesados, não correlacionados, de distribuição normal, homocedásticos), cujos resultados são obtidos a partir da média realizada. A metodologia complementar não paramétrica (análise envoltória de dados), por sua vez, não requer pressuposições, seus resultados são escores de eficiência relativa, comparando uma unidade frente as demais. Friza-se quanto aos resultados em termos numéricos ou de magnitude, como já apontado na revisão de literatura, a PTF é influenciada pelas escolhas de variáveis (o resíduo do modelo), seja por inclusão ao modelo, escalas ou métricas distintas. Nesse sentido, não existe única modelagem para descrever a melhor PTF entre todas as atividades econômicas analisadas, mas sim aquela que possui o menor viés estatísticos nos estimadores para os efeitos espaciais.

No entanto, é possível destacar novas oportunidades metodológicas e novas frentes carentes de compreensão. Isso porque, em função da indisponibilidade de dados da matriz origem e destino, o estudo se concentrou no ano de 2017, mas são oportunos e de interesse os anos subsequentes. É relevante mensurar e compreender de que forma o fator de produtividade total e a taxa de produtividade se comportaram nos anos subsequentes – principalmente com os impactos causados pela pandemia do vírus COVID-19. Nesse sentido, isso também permitiria comparar os efeitos no tempo, ampliando a discussão e permitindo induzir proposições generalizadas, reduzindo possíveis vieses.

Igualmente, expandir a análise e a aplicação do objeto de pesquisa em nível estadual, podendo, assim, compreender essas relações em nível ampliado como o estadual. Isso também poderia corroborar para superar questões econométricas frente aos estimadores *BLUE* e permitiria outras técnicas de estimação para maiores amostras, como o Método de Momentos Generalizados (GMM) com propriedades assintóticas. Outro ponto, utilizar como drive a proxy toneladas por quilometro útil – TKU que também se adere ao contexto de produtividade.

REFERÊNCIAS

AARHAUG, Jørgen; GUNDERSEN, Frants. Infrastructure investments to promote sustainable regions. *Transportation research procedia*, v. 26, p. 187–195, 2017.

AIELLO, Francesco; PUPO, Valeria; RICOTTA, Fernanda. Explaining total factor productivity at firm level in Italy: Does location matter? *Spatial Economic Analysis*, v. 9, n. 1, p. 51–70, 2014.

ALBALA-BERTRAND, José Miguel; MAMATZAKIS, Emmanuel C. The impact of disaggregated infrastructure capital on the productivity growth of the Chilean economy. *The Manchester School*, v. 75, n. 2, p. 258–273, 2007.

ALBANESE, Giuseppe; DE BLASIO, Guido; LOCATELLI, Andrea. Does EU regional policy promote local TFP growth? Evidence from the Italian Mezzogiorno. *Papers in Regional Science*, 2020.

ALLEN, Rachel *et al.* Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. *Annals of Operations Research*, v. 73, p. 13–34, 1997.

ALMEIDA, Eduardo. Econometria espacial. *Campinas–SP. Alínea*, 2012.

ALONSO, William. Location and land use. Toward a general theory of land rent. *Location and land use. Toward a general theory of land rent.*, 1964.

ÁLVAREZ, Inmaculada C; BLÁZQUEZ, Reyes. The influence of the road network on private productivity measures using Data Envelopment Analysis: A case study from Spain. *Transportation research part A: policy and practice*, v. 65, p. 33–43, 2014.

ANDERSSON, Pär; ARONSSON, Håkan; STORHAGEN, Nils G. Measuring logistics performance. *Engineering Costs and Production Economics*, v. 17, n. 1, p. 253–262, 1989. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167188X89900748>.

ANSAR, Atif *et al.* Does infrastructure investment lead to economic growth or economic fragility? Evidence from China. *Oxford Review of Economic Policy*, v. 32, n. 3, p. 360–390, 2016.

ANSELIN, Luc. Exploring spatial data with GeoDaTM: a workbook. *Center for spatially integrated social science*, 2005.

ANSELIN, Luc. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, v. 27, n. 2, p. 93–115, 1995.

ANSELIN, Luc. *Spatial econometrics: methods and models*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013. v. 4.

ANSELIN, Luc. Spatial econometrics. *A companion to theoretical econometrics*, v. 310330, 2001.

ARBUÉS, Pelayo; BAÑOS, José F; MAYOR, Matías. The spatial productivity of transportation infrastructure. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 75, p. 166–177, 2015.

ARIF, Umaima; JAVID, Muhammad; KHAN, Farzana Naheed. Productivity impacts of infrastructure development in Asia. *Economic Systems*, v. 45, n. 1, p. 100851, 2021.

ARVIS, Jean-François *et al.* Trade logistics in the global economy: the logistics performance index and its indicators. 2016.

ASCHAUER, David Alan. Does public capital crowd out private capital? *Journal of monetary economics*, v. 24, n. 2, p. 171–188, 1989a.

ASCHAUER, David Alan. Is public expenditure productive? *Journal of monetary economics*,

v. 23, n. 2, p. 177–200, 1989b.

BADASSA, Bayissa Badada; SUN, Baiqing; QIAO, Lixin. Sustainable Transport Infrastructure and Economic Returns: A Bibliometric and Visualization Analysis. *Sustainability*, v. 12, n. 5, p. 2033, 2020.

BADRI, Masood A. Dimensions of industrial location factors: Review and exploration. 2007.

BALLIAUW, Matteo *et al.* Benchmarking US all-cargo carriers: A productivity and cost competitiveness analysis. *Airline efficiency*. [S.l.]: Emerald Group Publishing Limited, 2016. .

BANISTER, David; BERECHMAN, Yossi. The economic development effects of transport investments. *Transport projects, programmes and policies: Evaluation needs and capabilities*, p. 107–124, 2003.

BANKER, Rajiv D; CHARNES, Abraham; COOPER, William Wager. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.

BARILLA, David *et al.* Total factor logistics productivity: A spatial approach to the Italian regions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 136, p. 205–222, 2020.

BARRO, Robert J. Government spending in a simple model of endogeneous growth. *Journal of political economy*, v. 98, n. 5, Part 2, p. S103–S125, 1990.

BAUER, Joanna; BEKTAŞ, Tolga; CRAINIC, Teodor Gabriel. Minimizing greenhouse gas emissions in intermodal freight transport: an application to rail service design. *Journal of the Operational Research Society*, v. 61, n. 3, p. 530–542, 2010.

BAUM-SNOW, Nathaniel *et al.* Does investment in national highways help or hurt hinterland city growth? *Journal of Urban Economics*, v. 115, p. 103124, 2020.

BEAUDOIN, Justin; FARZIN, Y Hossein; LAWELL, C-Y Cynthia Lin. Public transit investment and sustainable transportation: A review of studies of transit's impact on traffic congestion and air quality. *Research in Transportation Economics*, v. 52, p. 15–22, 2015.

BOARNET, Marlon G. The direct and indirect economic effects of transportation infrastructure. 1996.

BOISSO, Dale; GROSSKOPF, Shawna; HAYES, Kathy. Productivity and efficiency in the US: effects of business cycles and public capital. *Regional Science and Urban Economics*, v. 30, n. 6, p. 663–681, 2000.

BOTTASSO, Anna *et al.* Ports and regional development: a spatial analysis on a panel of European regions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 65, p. 44–55, 2014.

BOX, G E P; JENKINS, G M; REINSEL, G C. Time Series Analysis, Forecasting and Control, 3rd Edn (Englewood Cliþs, NJ, Prentice-Hall). 1994.

BRONZINI, Raffaello; PISELLI, Paolo. Determinants of long-run regional productivity with geographical spillovers: the role of R&D, human capital and public infrastructure. *Regional Science and Urban Economics*, v. 39, n. 2, p. 187–199, 2009.

BULIS, Aldis; SKAPARS, Roberts. LATVIAN LOGISTICS CLUSTER AND ITS DEVELOPMENT PERSPECTIVES. 2013, [S.l: s.n.], 2013.

CAHILL, Catríona; PALCIC, Dónal; REEVES, Eoin. Commercialisation and airport performance: The case of Ireland's DAA. *Journal of Air Transport Management*, v. 59, p. 155–163, 2017.

CALIENDO, Lorenzo *et al.* The impact of regional and sectoral productivity changes on the US economy. *The Review of economic studies*, v. 85, n. 4, p. 2042–2096, 2018.

CANTOS, Pedro; GUMBAU-ALBERT, Mercedes; MAUDOS, Joaquin. Transport

infrastructures, spillover effects and regional growth: evidence of the Spanish case. *Transport reviews*, v. 25, n. 1, p. 25–50, 2005.

CAVES, Douglas W; CHRISTENSEN, Laurits R; TRETHEWAY, Michael W. Productivity performance of US trunk and local servce airlines in the era of deregulation. *Economic Inquiry*, v. 21, n. 3, p. 312–324, 1983.

CHANG, Víctor; TOVAR, Beatriz. Efficiency and productivity changes for Peruvian and Chilean ports terminals: A parametric distance functions approach. *Transport Policy*, v. 31, p. 83–94, 2014.

CHAOJI YANG, A and Haiying Ma. The Empirical Research of Transportation Infrastructure Investment and Economic Growth: Based on the Panel Data of “new silk road”. *Chaoji Yang, Haiying Ma*, v. 61, p. 643–647, 2017.

CHARNES, Abraham *et al. Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications*. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2013. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-011-0637-5>.

CHARNES, Abraham; COOPER, William W; RHODES, Edwardo. Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.

CHEN, Chih Cheng. The High-Speed Rail and the Productivity of Freeway Bus Service Industry: Taiwan’s Case. *Journal of Economic and Social Studies*, v. 4, n. 2, p. 133, 2014.

CHEN, Yen-Tsang *et al.* Does the competitive orientation really lead to emphasis on different internal capabilities? *International Journal of Operations & Production Management*, 2015.

CHRISTALLER, Walter. Die zentralen Orte in Süddeutschland (the central places in southern Germany). *Jena: Gustav Fischer*, 1933.

CHRISTOPHER, MART I N. *Logistics & supply chain management*. [S.l: s.n.], 2017.

CONRAD, Klaus. Locational competition under environmental regulation when input prices and productivity differ. *The Annals of Regional Science*, v. 39, n. 2, p. 273–295, 2005.

COSCI, Stefania; MIRRA, Loredana. A spatial analysis of growth and convergence in Italian provinces: the role of road infrastructure. *Regional Studies*, v. 52, n. 4, p. 516–527, 2018.

CRESWELL, John W; CRESWELL, J David. *Projeto de pesquisa-: Métodos qualitativo, quantitativo e misto*. [S.l.]: Penso Editora, 2021.

CROXTON, Keely L *et al.* The supply chain management processes. *The International Journal of Logistics Management*, v. 12, n. 2, p. 13–36, 2001.

DA CRUZ, Nuno Ferreira; MARQUES, Rui Cunha. Viability of municipal companies in the provision of urban infrastructure services. *Local government studies*, v. 37, n. 1, p. 93–110, 2011.

DELGADO, Mercedes; PORTER, Michael E; STERN, Scott. Defining clusters of related industries. *Journal of Economic Geography*, v. 16, n. 1, p. 1–38, 2015.

DESTEFANIS, Sergio; SENA, Vania. Public capital and total factor productivity: New evidence from the Italian regions, 1970–98. *Regional Studies*, v. 39, n. 5, p. 603–617, 2005.

DETTORI, Barbara; MARROCU, Emanuela; PACI, Raffaele. Total factor productivity, intangible assets and spatial dependence in the European regions. *Regional studies*, v. 46, n. 10, p. 1401–1416, 2012.

DIXIT, Avinash K; STIGLITZ, Joseph E. Monopolistic competition and optimum product diversity. *The American economic review*, v. 67, n. 3, p. 297–308, 1977.

EGBUNIKE, Obiajulu N; POTTER, Andrew T. Are freight pipelines a pipe dream? A critical review of the UK and European perspective. *Journal of Transport Geography*, v. 19, n. 4, p.

499–508, 2011.

ESTACHE, Antonio; DE LA FE, Beatriz Tovar; TRUJILLO, Lourdes. Sources of efficiency gains in port reform: a DEA decomposition of a Malmquist TFP index for Mexico. *Utilities policy*, v. 12, n. 4, p. 221–230, 2004.

EVANS, Paul; KARRAS, Georgios. Are government activities productive? Evidence from a panel of US states. *The Review of economics and statistics*, p. 1–11, 1994.

FAIÑA, Andres; LOPEZ-RODRIGUEZ, Jesus; MONTES-SOLLA, Paulino. European Union regional policy and development in Spain: Capital widening and productivity stagnation over 1989–2010. *Regional Studies*, 2018.

FANG, Tianshu. Relationship between Logistics and Economic Growth on the Silk Road Economic Belt—Taking Xi'an as an Example. *Technology and Investment*, v. 7, n. 04, p. 135, 2016.

FARHADI, Minoo. Transport infrastructure and long-run economic growth in OECD countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 74, p. 73–90, 2015.

FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.

FERREIRA, Luis; OTWAY, Neil. Towards rail freight profitability in Australia. *Transport Reviews*, v. 13, n. 4, p. 279–293, 1993.

FERREIRA, Pedro Cavalcanti; MALLIAGROS, Thomas G. Impactos produtivos da infra-estrutura no Brasil-1950/95. *Pesquisa e planejamento economico*, v. 28, n. 2, p. 315–338, 1998.

FORSYTH, Peter. Total factor productivity in Australian domestic aviation. *Transport policy*, v. 8, n. 3, p. 201–207, 2001.

FOUSEKIS, Panos. Internal and external scale effects in productivity analysis: A dynamic dual approach. *Journal of Agricultural Economics*, v. 48, n. 1-3, p. 151–166, 1997.

FUJITA, M; KRUGMAN, P; VENABLES, A J. Economia espacial.[trad.]. *Bazán tecnologia e linguística. São Paulo: Futura*, 2002.

FUJITA, Masahisa. Towards general equilibrium models of urban land use. *Revue economique*, p. 135–167, 1985.

GANELLI, Giovanni; TERVALA, Juha. Public infrastructures, public consumption, and welfare in a new-open-economy-macro model. *Journal of Macroeconomics*, v. 32, n. 3, p. 827–837, 2010.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. [S.l.]: 6. ed. Ediitora Atlas SA, 2008.

GOFF, Zane A; PARIL, Shekhar; SHIH, C S. *Feasibility of freight pipelines to relieve highway congestion*. . [S.l.]: Texas Transportation Institute Texas A & M University System, 2000.

GONG, Xiao Rong; ZHAN, Bin. Research on Yichang Road Transportation Evaluation Based on the Total Factor Productivity. 2013, [S.l.]: Trans Tech Publ, 2013. p. 3325–3328.

GRAHAM, Daniel J. Causal Influence for Ex-post Evaluation of Transport Interventions. 2014.

GRAHAM, Daniel J *et al.* Economies of scale and density in urban rail transport: effects on productivity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 39, n. 6, p. 443–458, 2003.

GRUBIŠIĆ, Neven; DUNDOVIĆ, Čedomir; ŽUŠKIN, Srdjan. A split task solution for quay crane scheduling problem in mid-size container terminals. *Tehnički vjesnik*, v. 23, n. 6, p. 1723–1730, 2016.

GUNASEKERA, Kumudu; ANDERSON, William; LAKSHMANAN, T R. Highway-induced development: evidence from Sri Lanka. *World Development*, v. 36, n. 11, p. 2371–2389, 2008.

GUNER, Samet; COSKUN, Erman. Comparison of impacts of economic and social factors on countries' logistics performances: a study with 26 OECD countries. *Research in Logistics & Production*, v. 2, p. 330–343, 2012.

HANAOKA, Shinya; REGMI, Madan B. Promoting intermodal freight transport through the development of dry ports in Asia: An environmental perspective. *Iatss Research*, v. 35, n. 1, p. 16–23, 2011.

HARLAND, Christine M. Supply chain management: relationships, chains and networks. *British Journal of management*, v. 7, p. S63–S80, 1996.

HARRIS, Chauncy D. The, Market as a Factor in the Localization of Industry in the United States. *Annals of the association of American geographers*, v. 44, n. 4, p. 315–348, 1954.

HSIEH, Cheng-Hsien. Disaster risk assessment of ports based on the perspective of vulnerability. *Natural hazards*, v. 74, n. 2, p. 851–864, 2014.

HU, Tung-Lai; SHEU, Jiuh-Biing. A fuzzy-based customer classification method for demand-responsive logistical distribution operations. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 139, n. 2, p. 431–450, 2003.

HUNTER, Ruth F *et al.* Social return on investment analysis of an urban greenway. *Cities & Health*, p. 1–18, 2020.

JIANG, Yanqing; JIANG, Yunliang; ZHENG, Jinghai. Investment in Infrastructure and Regional Growth in China. *Emerging Markets Finance and Trade*, v. 56, n. 9, p. 1942–1956, 2020.

JONES, Charles I; VOLLARTH, Dietrich. Introdução à teoria do crescimento econômico. 3ª Edição. *Rio de*, 2015.

KETELHOHN, Niels Werner. The role of clusters as sources of dynamic externalities. 2003.

KHANNA, Rupika; SHARMA, Chandan. Do infrastructure and quality of governance matter for manufacturing productivity? Empirical evidence from the Indian states. *Journal of Economic Studies*, 2018.

KIM, Chong Won; PHIPPS, Tim T; ANSELIN, Luc. Measuring the benefits of air quality improvement: a spatial hedonic approach. *Journal of environmental economics and management*, v. 45, n. 1, p. 24–39, 2003.

KOTLYAROVA, Svetlana Nikolaevna; LAVRIKOVA, Yuliya Georgievna; AVERINA, Lidiya Mikhailovna. The Role of Industrial Production Localization in the Import Substitution Policy. *Ekonomicheskie i Sotsialnye Peremeny*, n. 53, p. 115- 127A, 2017.

KREUTZBERGER, Ekki *et al.* Is intermodal freight transport more environmentally friendly than all-road freight transport? A review. 2003, [S.l: s.n.], 2003. p. 13–15.

KWAK, Dong-Wook *et al.* Risk interaction identification in international supply chain logistics. *International Journal of Operations & Production Management*, 2018.

LA FERRARA, Eliana; MARCELLINO, Massimiliano Giuseppe. TFP, costs, and public infrastructure: an equivocal relationship. 2000.

LE GALLO, Julie; ERTUR, Cem. Exploratory spatial data analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe, 1980–1995. *Papers in regional science*, v. 82, n. 2, p. 175–201, 2003.

LEONTIEF, W. A economia como processo circular. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 11, n. 1, 1928.

LEONTIEF, Wassily W. *The structure of American economy, 1919-1939: an empirical application of equilibrium analysis.* . [S.l: s.n.], 1951.

LI, Feng; LI, Guangdong. Agglomeration and spatial spillover effects of regional economic growth in China. *Sustainability*, v. 10, n. 12, p. 4695, 2018.

LI, Guo Fu; GUAN, Jin. Operation Efficiency Evaluation on Small and Medium-Sized Powder Metallurgy Enterprise Cluster Supply Chain. 2012, [S.l.]: Trans Tech Publ, 2012. p. 203–206.

LIU, Li; SI, Wen-Feng. Logistics scale agglomeration and operational efficiency of central city clusters. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, v. 20, n. 1, p. 209–218, 2017.

LIU, Zhiqiang. The nature of China's economic growth in the past two decades. *Post-Communist Economies*, v. 12, n. 2, p. 201–214, 2000.

LOSCH, August. Economics of location. 1954.

LUBERA, Radoslaw. The Concept of Logistic Attractiveness-Theoretical Basis. *International Journal of Humanities, Arts and Social Sciences*, v. 5, n. 3, p. 109–116, 2019.

LYNCH, Richard L; CROSS, Kelvin F. *Measure up!: how to measure corporate performance*. [S.l.]: Blackwell, 1995.

MARRA, Christian. *Caracterização de demanda de movimentações urbanas de carga*. . [S.l.]: Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil …. , 1999

MARSHALL, Alfred. *Industry and trade*. . [S.l.]: London: macmillan. , 1920

MARTÍ, Luisa; PUERTAS, Rosa; GARCÍA, Leandro. The importance of the Logistics Performance Index in international trade. *Applied economics*, v. 46, n. 24, p. 2982–2992, 2014.

MENDES, Sérgio Magno; TEIXEIRA, Erly Cardoso; SALVATO, Márcio Antônio. Investimentos em infra-estrutura e produtividade total dos fatores na agricultura brasileira: 1985-2004. *Revista Brasileira de Economia*, v. 63, n. 2, p. 91–102, 2009.

MENTZER, John T *et al.* Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, v. 22, n. 2, p. 1–25, 2001.

MITRA, Arup; SHARMA, Chandan; VEGANZONES-VAROUDAKIS, Marie-Ange. Infrastructure, information & communication technology and firms' productive performance of the Indian manufacturing. *Journal of Policy Modeling*, v. 38, n. 2, p. 353–371, 2016.

MITRA, Arup; VAROUDAKIS, Aristomène; VEGANZONES-VAROUDAKIS, Marie-Ange. Productivity and technical efficiency in Indian states' manufacturing: the role of infrastructure. *Economic development and cultural change*, v. 50, n. 2, p. 395–426, 2002.

MIZUTANI, Jun; USAMI, Munekatsu. Yardstick regulation and the operators' productivity of railway industry in Japan. *Research in Transportation Economics*, v. 59, p. 86–93, 2016.

MONTOLIO, Daniel; SOLÉ-OLLÉ, Albert. Road investment and regional productivity growth: the effects of vehicle intensity and congestion. *Papers in Regional Science*, v. 88, n. 1, p. 99–118, 2009.

MORENO, Rosina; LÓPEZ-BAZO, Enrique. Returns to local and transport infrastructure under regional spillovers. *International Regional Science Review*, v. 30, n. 1, p. 47–71, 2007.

MORRISON, Catherine J; SCHWARTZ, Amy Ellen. State infrastructure and productive performance. *The American Economic Review*, p. 1095–1111, 1996.

MOSHTARI, Mohammad; GONÇALVES, Paulo. Factors influencing interorganizational collaboration within a disaster relief context. *VOLUNTAS: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations*, v. 28, n. 4, p. 1673–1694, 2017.

MUANKANG, Jerome Kum; OUMAR, Saidou Baba; OKI, Tafah Edward Edokat.

Decomposition of Total Factor Productivity Growth in Cameroon: A Policy Perspective. *Journal of Economics*, v. 8, n. 2, p. 122–137, 2020.

NASH, C; SHIRES, J. BENCHMARKING EUROPEAN RAILWAYS: AN ASSESSMENT OF CURRENT DATA AND RECOMMENDED INDICATORS. 2000, [S.l: s.n.], 2000.

NILSEN, Øyvind Lervik *et al.* Relationship between agglomeration and productivity in a Norwegian context: Estimates for cost benefit analysis. 2017a.

NILSEN, Øyvind Lervik *et al.* Relationship between agglomeration and productivity in a Norwegian context: Estimates for transport investment cost-benefit analysis. *Transportation Research Record*, v. 2606, n. 1, p. 63–70, 2017b.

NING, Cheng-Jia; XU, Miao; ZHANG, Yu. Research on the Efficiency Evaluation of Logistics Infrastructure in Western Regions from the Perspective of Total Factors. 2019, [S.l.]: Atlantis Press, 2019.

ONWUEGBUCHUNAM, DONATUS EBERECHUKWU. *Productivity And Efficiency In Nigeria's Seaports: A Production Frontier Analysis.* . [S.l: s.n.]. , 2014

OUM, Tae Hoon; WATERS, W G; YU, Chunyan. A survey of productivity and efficiency measurement in rail transport. *Journal of Transport economics and Policy*, p. 9–42, 1999.

PENHA, Valéria de Luca. Produtividade total de fatores no Brasil: impacto de investimentos em infraestrutura, efeitos do IDE e comparação internacional. 2015.

PIKE, Andy; RODRÍGUEZ-POSE, Andrés; TOMANEY, John. *Local and regional development*. [S.l.]: Routledge, 2016.

POLZIN, Steven E; CHU, Xuehao. Peak vehicle miles traveled and postpeak consequences? *Transportation Research Record*, v. 2453, n. 1, p. 22–29, 2014.

PORTER, Michael E. Competitive strategy. *Measuring business excellence*, 1997.

PRANDTSTETTER, Matthias *et al.* Integrating air cargo into multimodal transportation networks: Vision and practical relevance of quattro-modal freight hubs. *International Journal of Immunopharmacology*, v. 7, n. 3, p. 310, 2016.

PRED, Allan Richard. *The spatial dynamics of US urban-industrial growth, 1800-1914: interpretive and theoretical essays*. [S.l.]: MIT press, 1966.

QI, Guanqiu *et al.* Spatial spillover effects of logistics infrastructure on regional development: Evidence from China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 135, p. 96–114, 2020.

RADA, Nicholas. Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle. *Food Policy*, v. 38, p. 146–155, 2013.

RAMASWAMY, Sunder; CHOUTAGUNTA, Abishek; SAHU, Santosh Kumar. Evaluating Asian Free Trade Agreements: What Does Gravity Model Tell Us? *Foreign Trade Review*, v. 56, n. 1, p. 60–70, 2021.

RAY, Subhash C; KUMBHAKAR, Subal C; DUA, Pami. *Benchmarking for Performance Evaluation*. [S.l.]: Springer, 2015.

REZAEI, Jafar; VAN ROEKEL, Wilco S; TAVASSZY, Lori. Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, v. 68, p. 158–169, 2018.

RONG, Zhou; GUOPING, Cheng. Study on Logistics Operation Pattern of Dynamic Alliance-based Industrial Clusters. [S.d.].

SAASTAMOINEN, Antti; BJØRNDAL, Endre; BJØRNDAL, Mette. Specification of merger gains in the Norwegian electricity distribution industry. *Energy Policy*, v. 102, n. Supplement C, p. 96–107, 2017. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516306681>.

SAMUELSON, Paul A. Extirpating error contamination concerning the post-Keynesian anti-Pasinetti equilibrium. *Oxford Economic Papers*, v. 43, n. 2, p. 177–186, 1991.

SANCHES JUNIOR, Paulo Fernandes. Logística de carga urbana: uma análise da realidade brasileira. 2008.

SÁNCHEZ, Ricardo. Redes Infraestructurales en América Latina. *Cepal: Santiago do Chile*, 2009.

SANTOS, Ricardo Augusto Oliveira. Incorporating quality into frontier-based benchmarking in the context of Brazilian transmission service operators. 2018.

SANTOS, Ricardo Augusto Oliveira; MARTINS, Ricardo Silveira. COMO OS CLUSTERS INDUSTRIAIS EM OPERAÇÕES E LOGÍSTICA SÃO ABORDADOS. *Produção Científico-Tecnológica na Área de Administração*. Ponta Grossa: Atena, 2020. p. 53.

SAPUTRI, Virda Hersy Lutviana *et al.* Sustainable Agri-Food Supply Chain Performance Measurement Model for GMO and Non-GMO Using Data Envelopment Analysis Method. *Applied Sciences*, v. 9, n. 6, p. 1199, 2019.

SCOTT, Allen J. Economic geography: the great half-century. *cambridge Journal of Economics*, v. 24, n. 4, p. 483–504, 2000.

SHARMA, Chandan; SEHGAL, Sanjay. Impact of infrastructure on output, productivity and efficiency. *Indian Growth and Development Review*, 2010.

SIQUEIRA, Carlos H R. Diálogos para o Desenvolvimento. *Brasília: Ipea*, v. 1, 2009.

SILVA, Guilherme J. C. Gasto público com infraestrutura de transporte e crescimento: uma análise para os estados brasileiros (1986-2003). Desenvolvimento econômico e regional. Economia & Tecnologia. Ano 05, Vol. 16, 2009.

SKINNER, Wickham. Manufacturing-missing link in corporate strategy. 1969.

SLACK, Nigel. *Vantagem competitiva em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais*. [S.l.]: Atlas, 1993.

SOLOW, Robert M. Technical change and the aggregate production function. *The review of Economics and Statistics*, p. 312–320, 1957.

SONAGLIO, Cláudia Maria *et al.* Evidências de desindustrialização no Brasil: uma análise com dados em painel. *Economia Aplicada*, v. 14, n. 4, p. 347–372, 2010.

SOUZA, F.L. A localização da indústria de transformação brasileira nas últimas três décadas. II Encontro Da Associação Brasileira De Estudos Regionais, São Paulo, 2002.

SPERANZA, M Grazia. Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, v. 264, n. 3, p. 830–836, 2018.

STABLER, Alan. Productivity, performance measurement and management in logistics. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 1996.

TAN, Yuyan; HUANG, Yiping; WOO, Wing Thye. Zombie firms and the crowding-out of private investment in China. *Asian Economic Papers*, v. 15, n. 3, p. 32–55, 2016.

THÜNEN, J H Von. Der isolierte staat. *Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, 1826.

TORRES, C E. *Transportes e desenvolvimento regional: uma análise de equilíbrio geral computável sobre os impactos na melhoria da infra-estrutura de transporte rodoviário em Minas Gerais. 2009*. . [S.l.]: Tese (Doutorado em Economia)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo …. , 2015

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for

developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

VENEZIA, Elisabetta; PIZZUTILO, Fabio. Evaluation Tools for Transport Infrastructures: Social Return On Investments. *European Transport\Trasporti Europei (2020)*, 2020.

WANG, Jiuhe; ZHENG, Wei; WANG, Yuanze. The Research Based on the Integration of Logistics of Industrial Clusters. *Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment*. [S.l.]: Springer, 2011. p. 389–394.

WANG, Kailai; CHEN, Zhenhua. Infrastructure and regional economic growth in the One Belt and One Road regions: a dynamic shift-share approach. *Development Studies in Regional Science*. [S.l.]: Springer, 2020. p. 221–241.

WANKE, Peter Fernandes; HIJJAR, Maria Fernanda. Exportadores brasileiros: estudo exploratório das percepções sobre a qualidade da infraestrutura logística. *Production*, v. 19, n. 1, p. 143–162, 2009.

WEI, Bolu; GUO, Xuemeng; WANG, Zhuojun. PPP Mode and Regional Economic Development–Empirical Evidence from Coastal Areas of China. *Journal of Coastal Research*, v. 112, n. SI, p. 262–268, 2020.

WONG, John. China's Dynamic Economic Growth in the Context of East Asia. *East Asian Institute, Singapore*, 1999.

WU, Ai-xiang *et al.* Simulation of long-distance pipeline transportation properties of whole-tailings paste with high sliming. *Journal of Central South University*, v. 25, n. 1, p. 141–150, 2018.

WU, Chunshang. An Empirical Study on Regional Logistics Competitiveness in Guangdong. 2019, [S.l.]: IOP Publishing, 2019. p. 52049.

WU, Sarah Jinhui; MELNYK, Steven A; FLYNN, Barbara B. Operational capabilities: The secret ingredient. *Decision Sciences*, v. 41, n. 4, p. 721–754, 2010.

XU, Xinxing; WANG, Yuhong. Study on spatial spillover effects of logistics industry development for economic growth in the Yangtze river delta city cluster based on spatial Durbin model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 14, n. 12, p. 1508, 2017.

YANG, Chaoji; MA, Haiying. The Empirical Research of Transportation Infrastructure Investment and Economic Growth: based on the panel data of" new silk road". 2017, [S.l.]: Atlantis Press, 2017.

YANG, Dong; WANG, Yan. The Effect of Transportation Infrastructure on Enterprise's Total Factor Productivity: From the Perspective of Foreign Direct Investment. *CICTP 2018: Intelligence, Connectivity, and Mobility*. [S.l.]: American Society of Civil Engineers Reston, VA, 2018. p. 2566–2572.

YANG, Gaoju *et al.* Assessment of the effects of infrastructure investment under the belt and road initiative. *China Economic Review*, v. 60, p. 101418, 2020.

YE, Shilin; QI, Xinhua; XU, Yecheng. Analyzing the relative efficiency of China's Yangtze River port system. *Maritime Economics & Logistics*, p. 1–21, 2020.

YEAPLE, Stephen R; GOLUB, Stephen S. International productivity differences, infrastructure, and comparative advantage. *Review of International Economics*, v. 15, n. 2, p. 223–242, 2007.

YII KJ, BEE KY, CHEAM WY, CHONG YL, Lee CM. Is transportation infrastructure important to the One Belt One Road (OBOR) initiative? Empirical evidence from the selected Asian countries. *Sustainability*, v. 10, n. 11, p. 4131, 2018.

ZHANG, Xuewei; ZONG, Gang. Transport Infrastructure, Spatial connectivity and Inclusive

Economic Growth: An Empirical Study Based on The Dynamic Spatial Durbin Model. 2019, [S.l: s.n.], 2019. p. 67–73.

ZHANG, Yan Anthea; SHAW, Jason D. Publishing in AMJ—Part 5: Crafting the methods and results. *Academy of Management Journal*, v. 55, n. 1, p. 8–12, 2012.

ZHOU R.; CHENG G., Study on logistics operation pattern of dynamic alliance-based industrial clusters. *Proceedings of the 8th International Conference on Innovation and Management*, V.na, pp.260-263, 2011.

ANEXO A – Tabela com 64 artigos pertinentes ao tema

Autor	Título	DOI
Caves, D.W.; Christensen, L.R.; Tretheway, M.W., 1983	Productivity performance of u.s. trunk and local servce airlines in the era of deregulation	10.1111/j.1465-7295.1983.tb00634.x
Ferreira, L.; Otway, N., 1993	Towards rail freight profitability in australia	10.1080/01441649308716853
Forsyth, P., 2001	Total factor productivity in Australian domestic aviation	10.1016/S0967-070X(01)00014-2
Sharma, K., 2001	Liberalization, growth and structural change: Evidence from Nepalese manufacturing	10.1080/00036840010004013
Mitra, A.; Varoudakis, A.; VÃ©ganzonÃ¨s-Varoudakis, M.-A., 2002	Productivity and technical efficiency in Indian States' manufacturing: The role of infrastructure	10.1086/321916
Estache, A.; de la FÃ©, B.T.; Trujillo, L., 2004	Sources of efficiency gains in port reform: A DEA decomposition of a Malmquist TFP index for Mexico	10.1016/j.jup.2004.04.013
Ricci, A.; Black, I., 2005	The Social Costs of Intermodal Freight Transport	10.1016/S0739-8859(05)14009-8
La Ferrara, E.; Marcellino, M., 2006	TFP, costs and public infrastructure: An equivocal relationship	10.1017/CBO9780511493515.013
Mendes, S.M.; Teixeira, E.C.; Salvato, M.A., 2009	Investimentos em infra-estrutura e produtividade total dos fatores na agricultura Brasileira: 1985-2004	10.1590/S0034-71402009000200002
Mussolini, C.C.; Teles, V.K., 2010	Infrastructure and productivity in Brazil	10.1590/s0101-31572010000400006
Sharma, C.; Sehgal, S., 2010	Impact of infrastructure on output, productivity and efficiency: Evidence from the Indian manufacturing industry	10.1108/17538251011084446
Ãlvarez-Ayuso, I.; Delgado-RodrÃ-guez, M.J.; del Mar Salinas-JimÃ©nez, M., 2011	Explaining TFP growth in the European Union at the sector level	10.1080/17487870.2011.570088
Ibe Callistus, C.; Onwuegbuchunam Donatus, Z.E., 2011	Productivity and efficiency of Nigeria's seaports: A production frontier analysis	10.3923/ibm.2011.382.387
Teles, V.K.; Mussolini, C.C., 2012	Infrastructure and productivity in Latin America: Is there a relationship in the long run?	10.1108/01443581211192107
Plich, M.; Rapacki, R.; Tokarski, T., 2013	Assessing the impact of the 2012 European Football Championships on the Polish economy	10.1504/IJSMM.2013.055196
Meersman, H.; Onghena, E.; Van De Voorde, E., 2016	Benchmarking us all-cargo carriers: A productivity and cost competitiveness analysis	10.1108/S2212-160920160000005003
Yang, D.; Wang, Y., 2018	The Effect of Transportation Infrastructure on Enterprise's Total Factor Productivity: From the Perspective of Foreign Direct Investment	10.1061/9780784481523.254
Zhang, X.; Zong, G., 2019	Transport infrastructure, spatial connectivity and inclusive economic growth: An	10.1145/3355166.3355167

	empirical study based on the dynamic spatial durbin model	
Arif, U.; Javid, M.; Khan, F.N., 2021	Productivity impacts of infrastructure development in Asia	10.1016/j.ecosys.2020.100851
Cronin, F.; Colleran, E.; Herbert, P., 1993	Telecommunications and growth - the contribution of telecommunications infrastructure investment to aggregate and sectoral productivity	10.1016/0308-5961(93)90039-6
Fousekis, P., 1997	Internal and external scale effects in productivity analysis: A dynamic dual approach	10.1111/j.1477-9552.1997.tb01142.x
Mitra, A., 1999	Total factor productivity growth and technical efficiency in Indian industries	10.1007/s00168-004-0217-6
Boisso, D.; Grosskopf, S.; Hayes, K., 2000	Productivity and efficiency in the US: effects of business cycles and public capital	10.1016/S0166-0462(00)00046-6
Liu, Z., 2000	The nature of China's economic growth in the past two decades	10.1080/14631370050043643
Nash, C.; Shires, J., 2000	Benchchmarking european railways - An assessment of current data and recommend indicators	10.1016/j.retrec.2016.09.001
Sharma, K., 2001	Liberalization, growth and structural change: evidence from Nepalese manufacturing	10.1016/j.ifacol.2016.10.073
Graham, D.; Couto, A.; Adeney, W., 2003	Economies of scale and density in urban rail transport: effects on productivity	10.1016/S1366-5545(03)00017-6
Cantos, P.; Gumbau-Albert, M.; Maudos, J., 2005	Transport infrastructures, spillover effects and regional growth: Evidence of the Spanish case	10.1080/01441641000167685 2
Destefanis, S.; Sena, V., 2005	Public capital and total factor productivity: New evidence from the Italian regions, 1970-98	10.1080/00343400500151863
Field, A., 2006	Technological change and US productivity growth in the interwar years	10.1177/0047287515617299
Albala-Bertrand, J.; Mamatzakis, E., 2007	The impact of disaggregated infrastructure capital on the productivity growth of the Chilean economy	10.1111/j.1467-9957.2007.01014.x
Yeaple, S.; Golub, S., 2007	International Productivity Differences, Infrastructure, and Comparative Advantage	10.1111/j.1467-9396.2007.00667.x
Bronzini, R.; Piselli, P., 2009	Determinants of long-run regional productivity with geographical spillovers: The role of R\&D, human capital and public infrastructure	10.1016/j.regsciurbeco.2008.07.002
Gong, X.; Zhan, B., 2009	Research on Yichang Road Transportation Evaluation Based on the Total Factor Productivity	10.4028/www.scientific.net/AMR.694-697.3325
Montolio, D.; Sole-Olle, A., 2009	Road investment and regional productivity growth: the effects of vehicle intensity and congestion	10.1111/j.1435-5957.2008.00167.x
da Cruz, N.; Marques, R., 2011	Viability of Municipal Companies in the Provision of Urban Infrastructure Services	10.1080/03003930.2010.548551
Rada, N., 2013	Assessing Brazil's Cerrado agricultural miracle	10.1016/j.foodpol.2012.11.002
Aiello, F.; Pupo, V.; Ricotta, F., 2014	Explaining Total Factor Productivity at Firm Level in Italy: Does Location Matter?	10.1080/17421772.2013.863428

Alvarez, I.; Blazquez, R., 2014	The influence of the road network on private productivity measures using Data Envelopment Analysis: A case study from Spain	10.1016/j.tra.2014.04.002
Chang, V.; Tovar, B., 2014	Efficiency and productivity changes for Peruvian and Chilean ports terminals: A parametric distance functions approach	10.1016/j.tranpol.2013.11.007
Farhadi, M., 2015	Transport infrastructure and long-run economic growth in OECD countries	10.1016/j.tra.2015.02.006
Goedhuys, M.; Srholec, M., 2015	Technological Capabilities, Institutions and Firm Productivity: A Multilevel Study	10.1057/ejdr.2014.32
Mitra, A.; Sharma, C.; Veganzones-Varoudakis, M., 2016	Infrastructure, information \& communication technology and firms' productive performance of the Indian manufacturing	10.1016/j.jpolmod.2016.02.013
Sharma, C., 2016	Does importing more inputs raise productivity and exports? Some evidence from Indian manufacturing	10.3141/2606-08
Tan, Y.; Huang, Y.; Woo, W., 2016	Zombie Firms and the Crowding-Out of Private Investment in China	10.1162/ASEP_a_00474
Cahill, C.; Palcic, D.; Reeves, E., 2017	Commercialisation and airport performance: The case of Ireland's DAA	10.1016/j.jairtraman.2016.12.002
Alonso Villa, P.; Juste Carrion, J., 2018	The automotive sector in Castile and Leon. 50 years of economic growth and productivity: 1961-2011	10.5958/2322-0430.2019.00002.7
Caliendo, L.; Parro, F.; Rossi-Hansberg, E., 2018	The Impact of Regional and Sectoral Productivity Changes on the US Economy	10.1093/restud/rdx082
Khanna, R.; Sharma, C., 2018	Do infrastructure and quality of governance matter for manufacturing productivity? Empirical evidence from the Indian states	10.1108/JES-04-2017-0100
Miljkovic, M.; Vujacic, J., 2018	Road infrastructure and its implications for regional economic activity and productivity in the csee countries	10.3141/2453-03
Canzian, G.; Poy, S.; Schueller, S., 2019	Broadband upgrade and firm performance in rural areas: Quasi-experimental evidence	10.1016/j.regsciurbeco.2019.03.002
Saputri, V.; Sutopo, W.; Hisjam, M., 2019	Sustainable Agri-Food Supply Chain Performance Measurement Model for GMO and Non-GMO Using Data Envelopment Analysis Method	10.3390/app9061199
Surahman, A.; Soni, P.; Shivakoti, G., 2019	Improving strategies for sustainability of short-term agricultural utilization on degraded peatlands in Central Kalimantan	10.1007/s10668-018-0090-6
Akberdina, V.; Tyulin, A.; Chursin, A., 2020	Influence of Cross-Industry Information Innovations of the Space Industry on the Economic Growth of the Russian Regions	10.17059/2020-1-17
Albanese, G.; de Blasio, G.; Locatelli, A., 2020	Does EU regional policy promote local TFP growth? Evidence from the Italian Mezzogiorno	10.1111/pirs.12574
Barilla, D.; Carlucci, F.; Cira, A., 2020	Total factor logistics productivity: A spatial approach to the Italian regions	10.1016/j.tra.2020.03.033
Faina, A.; Lopez-Rodriguez, J.; Montes-Solla, P., 2020	European Union regional policy and development in Spain: capital widening and productivity stagnation over 1989-2010	10.1080/00343404.2018.1542127

Heshmati, A.; Rashidghalam, M., 2020	Estimation of technical change and TFP growth based on observable technology shifters	10.1007/s11123-019-00558-5
Jiang, Y.; Jiang, Y.; Zheng, J., 2020	Investment in Infrastructure and Regional Growth in China	10.1080/1540496X.2019.1627195
Swarnathilake, C.; Weerahewa, J.; Bandara, Y., 2020	Productivity Growth in Food Manufacturing Industry: Empirical Evidence from Post-reform Sri Lanka	10.1177/0972150919884405
Wei, B.; Guo, X.; Wang, Z., 2020	PPP Mode and Regional Economic Development - Empirical Evidence from Coastal Areas of China	10.2112/JCR-SI112-072.1
Yang, G.; Huang, X.; Huang, J., 2020	Assessment of the effects of infrastructure investment under the belt and road initiative	10.1016/j.chieco.2020.101418
Ye, S.; Qi, X.; Xu, Y., 2020	Analyzing the relative efficiency of China's Yangtze River port system	10.1057/s41278-020-00148-5
Ramaswamy, S.; Choutagunta, A.; Sahu, S., 2021	Evaluating Asian Free Trade Agreements: What Does Gravity Model Tell Us?	10.1177/0015732520961330