UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS (CTG)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (PPGEC)

RAFAEL AMORIM VIANA DE MOURA

SISTEMAS DE BICICLETAS COMPARTILHADAS NAS AMÉRICAS: ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES DO SUCESSO OU FRACASSO

RECIFE/PE
2025

RAFAEL AMORIM VIANA DE MOURA

SISTEMAS DE BICICLETAS COMPARTILHADAS NAS AMÉRICAS: ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES DO SUCESSO OU FRACASSO

Tese em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Transporte e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Orientador: Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado – UFPE

RECIFE/PE

2025

. Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Moura, Rafael Amorim Viana de.
Sistemas de bicicletas compartilhadas nas Américas: análise dos fatores determinantes do sucesso ou fracasso / Rafael Amorim Viana de Moura. - Recife, 2025.
219f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2025.
Orientação: Anísio Brasileiro de Freitas Dourado.
Inclui referências e apêndices.

1. Bicicleta compartilhada; 2. Américas; 3. Sucesso; 4. Fracasso. I. Dourado, Anísio Brasileiro de Freitas. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

RAFAEL AMORIM VIANA DE MOURA

SISTEMAS DE BICICLETAS COMPARTILHADAS NAS AMÉRICAS: ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES DO SUCESSO OU FRACASSO

Tese em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Transporte e Gestão das Infraestruturas Urbanas.

Aprovada em 04/02/2025

Orientador: Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado – UFPE

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof. Dr. Rômulo Dante Orrico Filho (examinador externo)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

participação por videoconferência
Prof. Dr. Juan Pedro Moreno Delgado (examinador externo)
Universidade Federal da Bahia

participação por videoconferência
Prof.ª Dr.ª Ilce Marília Dantas Pinto (examinadora externa)
Universidade Federal da Bahia

participação por videoconferência
Prof.ª Dr.ª Ligia Rabay Mangueira Araújo (examinadora externa)
Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Primeiramente, dedico esta tese aos meus pais, José Ary e Cleonice, que, com esforço incansável e árduo trabalho, me proporcionaram uma educação de excelência. Vocês foram meu maior exemplo de determinação e dedicação, valores que carregarei para sempre.

Em segundo lugar, expresso minha profunda gratidão aos meus avós maternos e paternos, que foram verdadeiras referências de vida. Mesmo enfrentando condições humildes, tiveram a força e a sabedoria para educar suas famílias com coragem, amor e dignidade.

Gostaria também de agradecer à minha esposa, Natália, e ao meu filho, Artur. Sem o amor e o carinho de vocês, este caminho teria sido muito mais difícil. Vocês são minha inspiração diária e meu maior motivo para seguir em frente.

Por fim, dedico este trabalho aos meus alunos, que, talvez sem perceberem, me ensinam lições valiosas todos os dias. A vocês, minha sincera gratidão por serem parte dessa jornada e por renovarem constantemente meu entusiasmo pelo aprendizado.

AGRADECIMENTOS

O amor pelos transportes, pelo tráfego e pela mobilidade urbana, felizmente ou infelizmente, não começou no Brasil. Por isso, agradeço, acima de tudo, ao programa Ciência Sem Fronteiras (CSF), que me proporcionou a oportunidade de enxergar como precisamos evoluir em governança nessa área.

Às universidades *University of Toledo* e *Widener University*, sou profundamente grato por terem me formado como estudante e pesquisador, oferecendo práticas inovadoras e uma perspectiva internacional que enriqueceram minha visão acadêmica e profissional. As metodologias ativas que aprendi lá foram fundamentais para replicar no Brasil como docente.

Agradeço também às Universidades Federais do Rio Grande do Norte, da Bahia, de Pernambuco e de Minas Gerais, por terem me proporcionado uma formação de excelência, tanto na Engenharia Civil quanto na Engenharia de Transportes. Essas instituições foram pilares fundamentais no meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Ao meu orientador, Anísio, e ao professor Maurício, que, ao longo dessa jornada, me apresentaram grandes ensinamentos que transcendiam os limites do trabalho acadêmico. Vocês foram fontes de aprendizado e inspiração em momentos importantes.

Aos meus eternos mentores, Juan e Ilce, que, com apoio e determinação, me introduziram às diversas modelagens de transportes e mobilidade, ampliando minha visão e consolidando minha paixão pela área.

Por fim, ao meu orientador da graduação, Rubens, meu mais profundo agradecimento. Foi você quem me apresentou os fundamentos da economia e dos transportes, conceitos que aplico diariamente tanto na docência quanto no exercício da minha profissão. Sua influência moldou significativamente meu percurso acadêmico e profissional, e serei sempre grato por isso.

“Vencer sem correr riscos é triunfar sem glórias!”

Ayrton Senna

RESUMO

O primeiro sistema de bicicletas compartilhadas surgiu em Amsterdã na década de 1960, mas enfrentou dificuldades devido à falta de segurança e controle. Nas Américas, as bicicletas compartilhadas surgiram mais recentemente, a partir dos anos 1990, com Portland, Estados Unidos, pioneira em 1994. Até junho de 2023, dos 781 sistemas registrados, 359 foram encerrados, 266 permanecem em operação, 89 estavam em planejamento, 51 nunca foram inaugurados, e 16 encontravam-se temporariamente fechados. Diante do crescente número de sistemas fracassados e da menor atenção dada a esses casos, esta Tese investiga os fatores determinantes para o sucesso ou fracasso dos sistemas de bicicletas compartilhadas nas Américas, considerando suas distintas realidades urbanas, sociais e econômicas. Adotando uma abordagem inovadora em escala continental, a pesquisa analisa a diversidade de contextos regionais, culturais e operacionais, contrastando sistemas ativos e encerrados. A metodologia foi estruturada em três etapas principais. Primeiramente, foi elaborado um marco teórico abrangente, explorando a evolução histórica e tecnológica dos sistemas de bicicletas compartilhadas, bem como sua adaptação durante a pandemia da COVID-19. Em seguida, realizou-se a coleta e análise de dados a partir de fontes públicas e abertas, abrangendo variáveis demográficas, socioeconômicas, de mobilidade urbana, climáticas, topográficas e operacionais, culminando na construção de dois bancos de dados: BD1 (n=576) e BD2 (n=217). Por fim, foram aplicadas modelagens mistas, utilizando técnicas como fator de inflação de variância (VIF), análise de componentes principais (PCA), regressões *logit* e clusterização *K-means*, permitindo identificar padrões e relações entre variáveis e sistemas analisados. Os resultados apontam que fatores como o modelo operacional (com estações, fluxo livre ou outros) são cruciais para a sustentabilidade dos sistemas.

Palavras-chave: bicicleta compartilhada; Américas; sucessos; fracassos.

ABSTRACT

The first bike-sharing system emerged in Amsterdam in the 1960s, but it faced challenges due to a lack of security and control. In the Americas, bike-sharing systems appeared more recently, starting in the 1990s, with Portland, United States, pioneering the concept in 1994. As of June 2023, out of 781 recorded systems, 359 were discontinued, 266 remain in operation, 89 were in the planning stage, 51 were never launched, and 16 were temporarily closed. Given the growing number of failed systems and the limited attention given to these cases, this thesis investigates the key factors influencing the success or failure of bike-sharing systems in the Americas, considering their diverse urban, social, and economic realities. Adopting an innovative continental-scale approach, the study analyzes the regional, cultural, and operational diversity of these systems, contrasting active and discontinued programs.The methodology was structured into three main stages. First, a comprehensive theoretical framework was developed, exploring the historical and technological evolution of bike-sharing systems, as well as their adaptation during the COVID-19 pandemic. Second, data collection and analysis were conducted using public and open sources, covering demographic, socioeconomic, urban mobility, climate, topographic, and operational variables, leading to the construction of two databases: BD1 (n=576) and BD2 (n=217). Finally, mixed modeling techniques were applied, using methods such as Variance Inflation Factor (VIF), Principal Component Analysis (PCA), logit regressions, and K-means clustering, allowing for the identification of patterns and relationships between variables and analyzed systems.The results highlight that factors such as the operational model (station-based, dockless, or other) are crucial to the sustainability of bike-sharing systems.

***Keywords**:* bike-sharing system; Americas; sucess; failures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama conceitual da pesquisa. 30
Figura 2- Surgimento das bicicletas compartilhadas na América durante a década de 90.....38
Figura 3 - Sistemas de bicicleta ativos ao redor do mundo por continente...41
Figura 4 - Número de bicicletas compartilhadas por continente. 42
Figura 5 - Classificação dos países em relação ao número de sistemas de bicicleta compartilhada operando. 43
Figura 6 - Número de sistemas em todo o mundo por ano: abertos, fechados e operando. 45
Figura 7 - Aspectos associados a pandemia da COVID-19 que tenham influenciado a mobilidade urbana. 56
Figura 8 - *The Meddin Bike-sharing World Map*. 81
Figura 9 - Divisão modal das viagens por porte do município e modo de transporte. 85
Figura 10 - Processo metodológico da pesquisa. 104
Figura 11 - *Status* dos sistemas de bicicleta compartilhada no continente americano.....105
Figura 12 - Tipos de sistemas de bicicletas compartilhadas relatados na América. 106
Figura 13 - Análise exploratória do Banco de Dados Inicial (BD0). 107
Figura 14 - Análise inferencial das variáveis continuas do Banco de Dados 1 (BD1). 112
Figura 15 - Processo de redução da dimensionalidade e seleção de variáveis no BD1. 118
Figura 16 - Mapa de calor da correlação entre as variáveis contínuas do BD1. 121
Figura 17 - Fluxograma da elaboração das regressões *logit* para as variáveis com VIF inferior a 5 e a variável tipo do sistema do BD1. 123
Figura 18 - Fluxograma da análise de *cluster* para variáveis do BD1 com VIF inferior a 5. 127
Figura 19 - Gráfico do Cotovelo (Inércia x Número de *clusters*) em relação às 10 variáveis. 127

Figura 20 - *Score* de silhueta em relação à separação dos *clusters*. 128
Figura 21 - *Clusters* gerados para o BD1 pelas variáveis área, densidade populacional, PIB per capita, unidades habitacionais, percentual de viagens por transporte público, percentual de viagens por bicicleta, elevação média, amplitude de elevação, total de bicicletas e duração do sistema. 129
Figura 22 - Fluxograma da análise de regressão *logit* por *cluster* das variáveis do BD1 com VIF inferior a 5. 133
Figura 23 - Fluxograma da aplicação da análise de componentes principais para redução da dimensionalidade das variáveis do BD1. 135
Figura 24 - Variância acumulada x Número de componentes principais para o BD1. 136
Figura 25 - Fluxograma da análise de PCA combinada com *cluster* para o BD1. 142
Figura 26 - Método do cotovelo para definição dos *clusters* dos componentes principais do BD1. 142
Figura 27 - *Clusters* identificados pelos três primeiros componentes principais do BD1.. 143
Figura 28 - *Clusters* formados pela análise de componentes principais no BD1. 144
Figura 29 - Fluxograma da análise de regressão *logit* por *cluster* dos componentes principais do BD1. 146
Figura 30 - Sistemas fechados durante a pandemia da COVID-19. 151
Figura 31 - Análise exploratória aplicada ao BD1 COVID. 153
Figura 32 - Análise exploratória do Banco de Dados 2 (BD 2). 156
Figura 33 - Análise inferencial das variáveis continuas do Banco de Dados 2 (BD2). 159
Figura 34 - Processo de redução da dimensionalidade e seleção de variáveis no BD2. 164
Figura 35 - Mapa de calor da correlação entre as variáveis contínuas do BD2. 167
Figura 36 - Fluxograma da elaboração das regressões *logit* para as variáveis com VIF inferior a 5 e a variável tipo do sistema do BD2. 168
Figura 37 - Fluxograma da análise de *cluster* para variáveis do BD2 com VIF inferior a 5. 170

Figura 38 - Gráfico do Cotovelo (Inércia x Número de *clusters*) para o BD2. 171
Figura 39 - *Score* de silhueta em relação a separação dos *clusters*. 171
Figura 40 - *Clusters* gerados para o BD2 pelas variáveis percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas, área, PIB, rendimento domiciliar, frota de veículos, percentual estimado de viagens por bicicleta, elevação topográfica média, diferença entre elevação topográfica máxima e mínima, total de bicicletas e tempo de duração. 172
Figura 41- Fluxograma da análise de *cluster* para variáveis do BD2 com VIF inferior a 5. 177
Figura 42 - Fluxograma da aplicação da análise de componentes principais para redução da dimensionalidade das variáveis do BD2.....178
Figura 43 - Variância acumulada x Número de componentes principais para o BD2. 179
Figura 44 - Fluxograma da análise de PCA combinada com *cluster* para o BD2. 185
Figura 45 - Método do cotovelo para definição dos *clusters* dos componentes principais do BD2. 185
Figura 46 – *Score* de silhueta para definição dos *clusters* dos componentes principais do BD2. 186
Figura 47 - *Clusters* identificados pelos três primeiros componentes principais do BD2. 187
Figura 48 - *Clusters* formados pela análise de componentes principais no BD2. 188
Figura 49 - Fluxograma da análise de regressão *logit* por *cluster* dos componentes principais do BD2.....190

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de serviços de mobilidade compartilhada. 35
Tabela 2 - Externalidades positivas da mobilidade compartilhada. 36
Tabela 3 - Evolução operacional das gerações de sistemas de bicicleta compartilhada. 40
Tabela 4 - Problemas e intervenções sofridas pelos sistemas de bicicleta compartilha ao decorrer da evolução das gerações. 44
Tabela 5 - Etapas de implantação e gerenciamento de sistemas de bicicleta compartilhada. 71
Tabela 6 - Cenários de governança para sistemas de bicicletas compartilhadas. 74
Tabela 7 - Levantamento quantitativo da pesquisa. 77
Tabela 8 - Artigos avaliaram direta ou indiretamente falhas de sistemas de bicicletas compartilhadas. 77
Tabela 9 - Grupo de fatores investigados em falhas de sistemas de bicicleta compartilhada. 79
Tabela 10 - Descrição das variáveis do banco de dados inicial (BD0). 82
Tabela 11 - Variáveis incluídas no banco de dados BD1. 86
Tabela 12 - Conjunto de dados acrescentado ao BD1 para construção do BD2. 89
Tabela 13 - Síntese dos artigos que investigaram o fechamento/insucesso de sistemas de bicicletas compartilhadas. 92
Tabela 14 - Distribuição do BD0 em função das variáveis *status*, porção geográfica, porção cultural e tipo. 109
Tabela 15 - Tabela cruzada entre *status* dos sistemas *versus* porção cultural e tipo do BD0. 110
Tabela 16 – Análise descritiva e inferencial das variáveis contínuas do BD1. 115
Tabela 17 - Coeficientes VIF das variáveis contínuas do BD1. 119
Tabela 18 - Modelagens *logit* após análise de colinearidade do BD1. 126
Tabela 19 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD1 pelas variáveis área, densidade populacional, PIB per capita, unidades habitacionais, percentual de

viagens por transporte público, percentual de viagens por bicicleta, elevação média, amplitude de elevação, total de bicicletas e duração do sistema. 131
Tabela 20 - Regressões *logit* para os *clusters* do BD1. 134
Tabela 21 - Componentes principais do BD1 com cargas maiores que 0,20 e menores que -0,20 em função das variáveis. 140
Tabela 22 - Regressões *logit* para os *clusters* em função dos componentes principais. 149
Tabela 23 - Regressões *logit* para os sistemas fechados. 155
Tabela 24 - Distribuição do BD2 em função das variáveis *status*, porção geográfica, porção cultural e tipo. 157
Tabela 25 - Tabela cruzada entre *status* dos sistemas *versus* porção geográfica, cultural e tipo do BD2. 158
Tabela 26 - Análise descritiva e inferencial das variáveis contínuas do BD2. 161
Tabela 27 - Coeficientes VIF das variáveis contínuas do BD2. 165
Tabela 28 - Modelagens *logit* após análise de colinearidade do BD2. 169
Tabela 29 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD2 percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas, área, PIB, rendimento domiciliar, frota de veículos, percentual estimado de viagens por bicicleta, elevação topográfica média, diferença entre elevação topográfica máxima e mínima, total de bicicletas e tempo de duração. 174
Tabela 30 - Regressões *logit* para os *clusters* do BD2. 177
Tabela 31 - Componentes principais do BD2 com cargas maiores que 0,20 e menores que -0,20 em função das variáveis. 183
Tabela 32 - Regressões *logit* para os *clusters* do BD2 em função dos componentes principais. 193

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BD0	Banco de Dados Inicial
BD1	Banco de Dados 1
BD1 COVID	Banco de Dados 1 apenas com sistemas fechados
BD2	Banco de Dado 2
CEO	*Chief Executive Officer*
COVID-19	nome da doença causada pelo vírus SARS-CoV-2
E1	Estratégia de governança 1
E2	Estratégia de governança 2
E3	Estratégia de governança 3
E4	Estratégia de governança 4
E5	Estratégia de governança 5
E6	Estratégia de governança 6
E7	Estratégia de governança 7
GLM	*Generalized linear model* (Modelo Linear Generalizado)
IBM	Inovação de Modelo de Negócios
MaaS	*Mobility as a service*
M1	Regressão *logit* aplicada a todas as variáveis do BD1
M1A	Regressão *logit* aplicada as variáveis demográficas e econômicas do BD1
M1B	Regressão *logit* aplicada as variáveis de transporte e mobilidade do BD1
M1C	Regressão *logit* aplicada as variáveis topográficas do BD1
M1C0	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 0 do BD1
M1C1	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 1 do BD1
M1C2	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 2 do BD1
M1D	Regressão *logit* aplicada as variáveis dos sistemas do BD1
M1PCA0	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 0 pela análise de PCA do BD1
M1PCA1	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 1 pela análise de PCA do BD1
M2	Regressão *logit* aplicada a todas as variáveis do BD2
M2A	Regressão *logit* aplicada as variáveis de transporte sustentável do BD2
M2B	Regressão *logit* aplicada as variáveis demográficas e econômicas do BD2
M2C	Regressão *logit* aplicada as variáveis de transporte e mobilidade do BD2
M2C0	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 0 do BD2
M2C1	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 1 do BD2

M2D	Regressão *logit* aplicada as variáveis topográficas do BD2
M2E	Regressão *logit* aplicada as variáveis dos sistemas do BD2
M2PCA0	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 0 pela análise de PCA do BD2
M2PCA1	Regressão *logit* aplicada ao *cluster* 1 pela análise de PCA do BD2
PCA	*Principal component analysis* (Análise de Componentes Principais)
PIB	Produto Interno Bruto
TI	Tecnologia da Informação
VIF	*Variance inflation factor* (Fator de Inflação da Variância)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 19
2. REVISÃO DA LITERATURA 31
2.1. A ECONOMIA COMPARTILHADA E A MOBILIDADE URBANA NO SÉCULO XXI 31
2.2. SURGIMENTO, EXPANSÃO E COLAPSO DOS SISTEMAS DE BICICLETA COMPARTILHADA 37
2.3. A BICICLETA COMPARTILHADA NO CONTEXTO DA PANDEMIA DA COVID-19 54
2.4. IMPLANTAÇÃO, GESTÃO E GERENCIAMENTO DE SISTEMAS BICICLETAS COMPARTILHADAS: DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES 67
3. METODOLOGIA 76
3.1. CONSTRUÇÃO DOS BANCOS DE DADOS 80
3.1.1. Construção do Banco de Dados Inicial (BD0) 82
3.1.2. Construção do Banco de Dados 1 (BD1) 83
3.1.3. Construção do Banco de Dados 2 (BD2) 88
3.2. MODELAGENS 89
3.2.1. Redução da colinearidade dos bancos de dados pelo fator de inflação da variância (VIF) 94
3.2.2. Redução da dimensionalidade dos bancos de dados pela análise de componentes principais (PCA) 98
3.2.3. Clusterização dos bancos de dados 100
4. ANÁLISES 105
4.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO BANCO DE DADOS INICIAL (BD0) 107
4.2. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO BANCO DE DADOS 1 (BD1) 110
4.2.1. Explorando a colinearidade do BD1 pelo fator de inflação da variância (VIF) 117
4.2.1.1. Aplicação de regressões *logit* às variáveis do BD1 com VIF inferior a 5 122
4.2.1.2. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para as variáveis do BD1 com VIF inferior a 5 127
4.2.1.3. Regressões *logit* por *cluster* para as variáveis do BD1 com VIF inferior a 5

4.2.2. Explorando a dimensionalidade do BD1 pela Análise de Componentes Principais (PCA).....135
4.2.2.1. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para os componentes principais do BD1.....141
4.2.2.2. Regressões *logit* por *cluster* para os componentes principais do BD1.....146
4.2.3. Fechamento dos sistemas de bicicleta compartilhada na América durante a pandemia da COVID-19 150
4.3. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO BANCO DE DADOS 2 (BD2) 155
4.3.1. Explorando a colinearidade do BD2 pelo Fator de Inflação da Variância (VIF).....163
4.3.1.1. Aplicação de regressões *logit* às variáveis do BD2 com VIF inferior a 5....168
4.3.1.2. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para as variáveis do BD2 com VIF inferior a 5 170
4.3.1.3. Regressões *logit* por *cluster* para as variáveis do BD2 com VIF inferior a 5 176
4.3.2. Explorando a dimensionalidade do BD2 pela Análise de Componentes Principais (PCA).....178
4.3.2.1. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para os componentes principais do BD2.....185
4.3.2.2. Regressões *logit* por *cluster* para os componentes principais do BD2.....189
5. DISCUSSÃO 194
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....203
REFERÊNCIAS.....208
APÊNDICES 218

1. INTRODUÇÃO

Shaheen, Guzman e Zhang (2010) relatam que as primeiras bicicletas compartilhadas surgiram em Amsterdã, na Holanda, por volta de 1965. Esse modelo pioneiro, conhecido como "bicicletas brancas" (*White Bikes*), fazia parte de um movimento social que tinha como objetivo proporcionar acesso gratuito às bicicletas, oferecendo uma alternativa de transporte na cidade.

De modo geral, o programa permitia que os cidadãos retirassem bicicletas disponíveis em locais públicos e as utilizassem livremente. No entanto, a falta de controle sobre o uso das bicicletas e a ausência de cadastros dos usuários resultaram em problemas recorrentes, como vandalismo, furtos e uso inadequado.

Apesar da boa intenção do programa, o fracasso operacional evidenciou a necessidade de novos mecanismos de controle para garantir sua vitalidade e expansão. Por outro lado, o movimento não tinha como objetivo operacionalizar um sistema de transporte, mas sim incentivar a cultura ciclo ativista na cidade, promovendo uma alternativa ao transporte individual motorizado, que estava em ascensão.

Essa primeira experiência de fracasso serviu como base para a evolução das gerações subsequentes. A partir da década de 1990 e no início do século XXI, novos sistemas começaram a surgir, trazendo inovações consideráveis. Um exemplo marcante foi a introdução da exigência de cadastro prévio dos usuários e da cobrança de tarifas, práticas que visavam identificar os ciclistas e inibir os problemas enfrentados pela primeira geração.

Cohen e Shaheen (2018) destacam que essas melhorias foram impulsionadas pela crescente integração entre tecnologia da informação, mobilidade urbana e conceitos importantes como cidades inteligentes, permitindo o surgimento de sistemas mais seguros, confiáveis e adaptados às novas demandas. Esses avanços marcaram uma mudança significativa no paradigma das bicicletas compartilhadas, consolidando-as como uma alternativa ao automóvel e uma opção complementar ao transporte público.

Tanto Amsterdã quanto a Holanda, apesar de terem enfrentado desafios nas iniciativas pioneiras, tornaram-se um símbolo global de mobilidade ciclística, com uma rede cicloviária estruturada e completa, que até os dias atuais inspira outras cidades. Além disso, as últimas décadas têm sido caracterizadas pela expansão dessas

bicicletas em diferentes contextos urbanos, adaptando-se às necessidades e desafios de cidades menores e grandes metrópoles. As lições aprendidas ao longo desse processo continuam a influenciar a maneira como esses novos modos de transporte são planejados e implementados ao redor do mundo (SHAHEEN; GUZMAN; ZHANG, 2010).

Nas Américas, Shaheen, Guzman e Zhang (2010) destacam que as bicicletas compartilhadas começaram a se expandir significativamente no contexto da crescente urbanização da década de 1990 e da necessidade de alternativas de transporte mais sustentáveis, especialmente na América do Norte. O primeiro sistema do continente foi implantado em 1994, em Portland, Oregon, nos Estados Unidos. Denominado *Yellow Bikes*, o programa introduziu 60 bicicletas distribuídas estrategicamente pela cidade.

Apesar de ser uma iniciativa pioneira e inovadora no contexto americano, o sistema também enfrentou diversos desafios que comprometeram sua sustentabilidade. Entre os principais problemas estavam a ausência de um sistema de monitoramento eficiente e as dificuldades relacionadas à manutenção regular das bicicletas. Ainda assim, o sistema teve uma vida longa, sendo encerrado apenas em 2001.

A experiência de Portland serviu como um ponto de partida para reflexões sobre como os sistemas de bicicletas compartilhadas poderiam ser implementados de forma mais eficaz nas Américas. Não obstante, havia a necessidade de compreender como incentivar o uso da bicicleta, especialmente no eixo norte-americano, onde a cultura automobilística vinha se consolidando desde a década de 1950.

Posteriormente, outras cidades começaram a adotar bicicletas compartilhadas, incorporando novos dispositivos para superar os desafios sofridos nos sistemas anteriores. No início dos anos 2000, foram implantados novos sistemas, especialmente em grandes metrópoles como Nova York, Toronto e Cidade do México.

Atualmente, os sistemas de bicicletas compartilhadas são amplamente utilizados em todo o mundo. De acordo com o relatório do mapa mundial de bicicletas compartilhadas *Meddin Bike-sharing World Map* (disponível em https://bikesharingworldmap.com/), em agosto de 2022, existiam mais de 1.914 sistemas de bicicletas compartilhadas ativos em 1.590 cidades de 92 países.

Apesar do crescimento exponencial nos últimos anos e das inovações tecnológicas recentes, o relatório aponta que 1.121 sistemas de bicicletas

compartilhadas foram desativados entre 2003 e 2022, evidenciando que os desafios relacionados à vitalidade, sustentabilidade e operação ainda persistem. Nas Américas, até junho de 2023, dos 781 sistemas contabilizados, 359 foram completamente encerrados, 266 permaneceram em operação, 89 estavam em fase de planejamento, 51 nunca chegaram a ser inaugurados e 16 se encontravam temporariamente fechados por motivos administrativos ou climáticos (MEDDIN BIKE-SHARING WORLD MAP, 2022).

Considerando o considerável número de casos de sistemas encerrados nas Américas, mapeados pela plataforma *Meddin Bike-sharing World Map*, surge uma questão central que orienta esta pesquisa: ***quais fatores determinam o sucesso ou o insucesso dos sistemas de bicicletas compartilhadas nas Américas, e como as diferentes condições socioeconômicas e urbanas influenciam sua vitalidade?***

Essa questão reflete a complexidade de implementar e sustentar sistemas de bicicletas compartilhadas em um continente tão diverso quanto o americano. As Américas abrangem contextos extremos, variando desde cidades altamente desenvolvidas, como Nova York e Toronto, com infraestrutura consolidada e políticas públicas de longo prazo, até localidades com infraestrutura urbana deficiente e demanda cativa, aquela que não pode escolher seu modo de deslocamento por motivos sociais, como ocorre em cidades da América Latina.

Esse contraste torna indispensável o estudo desses sistemas em escala continental americana, considerando que os fatores que impulsionam o sucesso em determinados locais podem ser irrelevantes, favoráveis ou até prejudiciais em outros. Além disso, acredita-se que a bicicleta seja mais utilizada em contextos econômicos mais frágeis, por ser um meio de transporte individual acessível, barato e versátil.

No contexto da pandemia da COVID-19, ocorreram mudanças significativas na mobilidade urbana que, de uma forma ou de outra, também impactaram as bicicletas compartilhadas. Durante o período de restrições sanitárias, houve uma queda acentuada no uso de transportes públicos devido às medidas de distanciamento social, o que aumentou a demanda por modos individuais e ao ar livre, como as bicicletas (PADMANABHAN *et al.*, 2020).

Jobe e Griffin (2021) destacam que, em algumas cidades norte-americanas, as bicicletas compartilhadas se tornaram uma alternativa segura e sustentável durante a pandemia da COVID-19, promovendo tanto os deslocamentos essenciais quanto as

atividades recreativas. Para assegurar a continuidade da operação dos sistemas em meio às restrições sanitárias, foram implementadas medidas como higienização, decretos, isenções e redução de tarifas.

Diante dessas indagações, esta pesquisa tem como **objetivo geral** investigar os determinantes que influenciam o sucesso ou fracasso desses sistemas, analisando a diversidade de contextos em que estão inseridos no continente. Entre as variáveis analisadas, destacam-se os aspectos culturais, socioeconômicos, demográficos, topográficos e climáticos, que afetam diretamente a implementação e a operação dos sistemas.

Essa abordagem possibilita uma visão mais completa da problemática, considerando que o continente é dividido entre a América Anglo-Saxônica desenvolvida, onde os desafios incluem a alta dependência por automóveis, e a América Latina em desenvolvimento, caracterizada por desigualdades socioeconômicas, infraestrutura urbana modesta e limitações financeiras.

Por outro lado, as lacunas na literatura sobre os fatores que contribuem para o sucesso ou insucesso desses sistemas ainda estão concentradas em regiões como o continente europeu e cidades globais. Estudos sobre sistemas fracassados nas Américas são pouco recorrentes, o que limita a capacidade de compreender os desafios específicos enfrentados em contextos adversos, especialmente na América Latina.

Assim, os resultados desse tipo de estudo têm o potencial de subsidiar gestores públicos e privados no desenvolvimento de diretrizes que aumentem a eficiência e sustentabilidade dos sistemas. Isso pode incluir recomendações práticas para melhorar a distribuição das bicicletas, aumentar a adesão dos usuários, reduzir os custos operacionais e promover campanhas de conscientização sobre os benefícios da mobilidade ativa. Dessa forma, políticas públicas de mobilidade urbana sustentável podem ser melhor embasadas, considerando as especificidades dos diferentes contextos urbanos analisados.

Nessa lógica, essa análise busca também destacar as particularidades de cada região e compreender como os determinantes afetam diretamente o sucesso ou fracasso dos sistemas. O estudo parte do pressuposto de que essas variáveis não atuam de forma isolada, mas interagem de maneira complexa, criando cenários desafiadores para operadores e gestores.

A análise detalhada das variáveis pode ajudar a identificar padrões de sucesso e fatores de risco, criando uma base científica para a formulação de estratégias mais eficazes de implementação, gerenciamento e operação. Dentro dessa lógica, propõem-se sete **objetivos específicos** que serão exploradas ao longo de modelagens estatísticas do processo metodológico. São eles:

- **Objetivo especifico 1**: analisar a influência cultural no sucesso ou fracasso dos sistemas de bicicletas compartilhadas, especialmente em países americanos anglo-saxônicos, onde a bicicleta pode não ser visto como um modo de transporte urbano;
- **Objetivo especifico 2**: identificar e caracterizar os perfis sociodemográficos e econômicos das cidades que implantaram bicicletas compartilhadas nas Américas, verificando se as mais desenvolvidas enfrentam maior dificuldade para efetivar esses sistemas;
- **Objetivo especifico 3:** avaliar a relação entre variáveis de mobilidade urbana, como o uso do transporte público, do automóvel e da bicicleta, e a vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas, identificando se cidades com menor adesão ao transporte público enfrentam mais desafios na operação desses sistemas;
- **Objetivo especifico 4:** examinar os efeitos das condições climáticas e topográficas na sustentabilidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas, considerando que climas extremos e grandes variações de altitude podem dificultar sua adoção e operação;
- **Objetivo especifico 5:** comparar a viabilidade operacional de diferentes modelos de sistemas de bicicletas compartilhadas, analisando como a presença de estações fixas ou sistemas em fluxo livre, além da quantidade de bicicletas e do tempo de duração, influencia a sustentabilidade desses serviços;
- **Objetivo especifico 6:** verificar se há relação entre indicadores de mobilidade urbana sustentável e a continuidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas no contexto das Américas;
- **Objetivo especifico 7:** analisar o impacto da pandemia da COVID-19 no fechamento de sistemas de bicicletas compartilhadas;

Em relação ao estado da arte sobre bicicletas compartilhadas, Fishman (2015) destaca que os sistemas podem ser classificados em dois modelos principais: com estações (*based-station*) e em fluxo livre (*free-floating*). No modelo com estações, as bicicletas são retiradas em estações automáticas equipadas com baias ou docas de travamento fixas. Essas estações geralmente estão localizadas em pontos estratégicos, como estações de metrô, centros históricos, pontos turísticos, centros comerciais e bairros residenciais.

Por outro lado, o modelo em fluxo livre (*free-floating*) elimina a necessidade de estações fixas, permitindo que as bicicletas sejam dispersas pelas cidades e destravadas/travadas em qualquer local ou área permitida, utilizando dispositivos integrados às rodas. Essa flexibilidade proporciona maior comodidade e acessibilidade aos usuários, no entanto exige um sistema operacional complexo para garantir a organização e redistribuição das bicicletas no tempo e no espaço.

Além das inovações tecnológicas, o cadastro prévio dos usuários tornou-se um requisito fundamental para a utilização dos sistemas de bicicletas compartilhadas nos diversos contextos urbanos. Esse registro é geralmente realizado por meio de aplicativos para *smartphones*, que permitem aos usuários localizar bicicletas disponíveis, desbloqueá-las e efetuar o pagamento pelo tempo de uso ou por meio de assinaturas periódicas (mensais, quinzenais, semanais ou diárias).

Em alguns casos, quiosques digitais localizados em pontos estratégicas também oferecem a possibilidade de cadastro e retirada das bicicletas. Essa integração entre tecnologia e mobilidade tem sido um fator determinante para a continuidade dos sistemas modernos, permitindo maior controle operacional e segurança para os usuários (ITDP, 2018).

As bicicletas compartilhadas têm ganhado destaque no contexto global por promoverem uma mobilidade urbana mais sustentável. Bullock, Brereton e Bailey (2017) destacam que esses sistemas contribuem para o funcionamento mais eficiente das cidades ao oferecerem uma alternativa de transporte que reduz o congestionamento, melhora a qualidade do ar e incentiva deslocamentos mais saudáveis.

Além disso, as bicicletas compartilhadas desempenham um papel fundamental na integração modal e na capilarização da rede de transportes. Esse papel se concretiza quando a bicicleta se apresenta como solução para a primeira e última milha, facilitando o trecho inicial ou final do trajeto de um usuário, conectando,

assim, uma estação de transporte público à sua origem ou ao seu destino final (FISHMAN; WASHINGTON; HAWORTH, 2014).

Esses avanços tecnológicos e institucionais demonstram que, embora os sistemas de bicicletas compartilhadas tenham enfrentado dificuldades desde as primeiras gerações, especialmente nas Américas, eles evoluíram para se tornar uma peça central nas estratégias de mobilidade. Assim, a sua popularização representa não apenas o aumento da conscientização sobre a importância de alternativas de transporte mais limpas e saudáveis, mas também o avanço do planejamento da mobilidade urbana sustentável.

À medida que mais cidades implementam esses sistemas, a busca por soluções que otimizem seus benefícios e superem problemas operacionais e organizacionais torna-se cada vez mais intensa. Essas soluções exigem, além de investimentos em infraestrutura cicloviária, uma compreensão profunda das demandas locais e dos fatores que podem interferir no sucesso e adesão dos usuários.

Dessa forma, essa discussão torna-se cada vez mais necessária, pois, enquanto algumas cidades apresentam casos de sucesso, outras enfrentam desafios significativos para efetivar as bicicletas compartilhadas. Entre os principais obstáculos estão a manutenção operacional, a obtenção de financiamento permanente e a superação de barreiras estruturais, culturais, socioeconômicas, físicas e governamentais (MORO *et al*., 2018).

Analogamente, ao se considerar o continente americano, com sua vasta extensão territorial e diversidade climática, observa-se que, em cidades com climas extremos, a sazonalidade no uso das bicicletas pode afetar diretamente a sustentabilidade dos sistemas. Durante períodos de inverno rigoroso ou temperaturas extremamente altas, a baixa adesão pode reduzir a demanda e, consequentemente, a receita gerada pelos usuários (ZHANG *et al*., 2021).

Embora estudos que analisam casos bem-sucedidos ou operacionais sejam amplamente encontrados na literatura, aqueles dedicados a avaliar os motivos da descontinuidade dos sistemas ainda são escassos. Essa lacuna representa uma barreira para a formulação de políticas institucionais mais eficazes e para o planejamento estratégico de novas implementações (LONG; VAN WAES, 2021).

Como foi visto anteriormente, há uma crescente ocorrência de sistemas descontinuados tanto a nível mundial quanto nas Américas, enquanto a preocupação

com esses casos parece ser menor do que com os sistemas que permanecem em operação. Essa tendência na literatura científica reflete a priorização da análise de boas práticas e histórias de sucesso, negligenciando as lições que podem ser extraídas de iniciativas fracassadas.

Nos últimos seis anos, poucos estudos exploraram sistemas de bicicletas compartilhadas que foram desativados. Trabalhos como os de Sun *et al*. (2018) e Moro *et al*. (2018) destacam que fatores diversos influenciam o insucesso desses sistemas, observando casos em Seattle, nos Estados Unidos, e no Sul do Brasil. No entanto, essas investigações focaram em contextos locais ou análises limitadas a uma ou duas cidades, sem abordar escalas maiores, como nacionais ou continentais.

Por outro lado, Anaya-Boig *et al*. (2021) e Zhou *et al*. (2023) estão entre os poucos autores que analisaram o fracasso de sistemas em nível nacional, abordando os casos da Espanha e da China, respectivamente. Apesar da maior escala e da complexidade das observações, esses estudos ainda apresentam brechas no entendimento de como esses sistemas interagem em realidades socioeconômicas e urbanas divergentes, como as encontradas nas Américas, onde coexistem um norte desenvolvido e um sul em desenvolvimento.

Nesse contexto, apenas Zhang *et al*. (2021) realizaram uma investigação intercontinental para identificar os fatores que influenciam a sustentabilidade e a duração dos sistemas de bicicletas compartilhadas. Foram analisados 106 sistemas espalhados por cidades ao redor do mundo, incluindo Barcelona, Berlim, Boston, Buenos Aires, Chicago, Paris, Roma, Singapura e cidades chinesas como Hangzhou e Pequim.

De um modo geral, no contexto mundial, a viabilidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas apresenta uma série de desafios. Esses desafios, segundo os autores acima, são frequentemente influenciados por fatores demográficos, socioeconômicos, culturais, topográficos, climáticos e operacionais. Enquanto algumas cidades registram sucesso com programas consolidados e em expansão, muitas iniciativas enfrentam dificuldades de adaptação às condições locais, resultando em baixa adesão de usuários, problemas financeiros e falta de apoio governamental.

Nessa lógica, acredita-se que em cidades com alto índice de motorização e cultura de posse de automóveis, a destacar as metrópoles americanas, o sucesso das bicicletas compartilhadas pode ser significativamente menor. Em contraste, cidades

com políticas públicas voltadas para a mobilidade ativa e sustentável, os sistemas podem ter maior probabilidade de sucesso.

Dessa forma, a **justificativa** desta pesquisa se embasa na necessidade de compreender os fatores que determinam o sucesso ou fracasso dos sistemas de bicicletas compartilhadas, pois essa compreensão é essencial para aprimorar sua implementação nos diversos contextos das Américas, especialmente naqueles com infraestrutura de transporte mais precária. Isso exige um esforço conjunto entre gestores públicos, operadores dos sistemas e pesquisadores, que devem colaborar para identificar e superar os obstáculos que limitam o alcance e a sustentabilidade dessas iniciativas.

Em relação à estruturação desta tese, a **Revisão da Literatura**, apresentada no Capítulo 2, aborda todo o marco teórico que serviu de embasamento para a construção do banco de dados, a identificação dos fatores relacionados à expansão e ao colapso dos sistemas de bicicletas compartilhadas, além de oferecer apoio para a definição dos objetivos específicos.

Essa base teórica busca contextualizar as mudanças estruturais na mobilidade urbana, que emergiram especialmente na transição do século XX para o XXI, com o advento da tecnologia da informação e novos conceitos que reformularam o planejamento da mobilidade urbana e as práticas de deslocamento nas cidades. Entre esses conceitos, destacam-se a mobilidade compartilhada (*shared mobility*) e a mobilidade como serviço (*mobility as a service - MaaS*), que têm transformado a maneira como os indivíduos acessam e utilizam os diferentes modos de transporte.

No que concerne ao Capítulo 3, apresenta-se a **metodologia** da pesquisa, que foi estruturada em três etapas principais: **(1)** a **construção do marco teórico**, que fornece uma base conceitual sobre casos de fracassos; **(2)** a **coleta e análise de dados** sobre os sistemas em cidades mapeadas nas Américas, integrando variáveis demográficas, econômicas, de mobilidade urbana, climáticas, topográficas e operacionais; e **(3)** a aplicação de **modelagens mistas** para compreender as relações entre essas variáveis e o fracasso ou sucesso dos sistemas.

A primeira etapa, a construção do marco teórico, foi essencial para delimitar os conceitos-chave e os grupos de variáveis utilizados na pesquisa, além de contextualizar sistemas fracassados e barreiras que marcaram os sistemas de bicicletas compartilhadas ao longo das últimas décadas, com destaque para publicações dos últimos 10 anos, até 2023.

Dessa forma, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, incluindo estudos de casos malsucedidos, bem como análises sobre os desafios operacionais, socioeconômicos, culturais, físicos, climáticos e financeiros enfrentados. Essa revisão permitiu identificar as lacunas existentes na literatura e definir os principais fatores que podem influenciar a vitalidade dos sistemas nas Américas.

A segunda etapa envolveu a coleta e análise de dados sobre sistemas de bicicletas compartilhadas localizados no continente americano. Foram buscadas informações sobre as cidades que os implantaram em fontes abertas, como relatórios de plataformas de monitoramento global, censos oficiais, dados governamentais, reportagens, notícias e informações publicamente acessíveis. Na ausência de dados, algumas informações foram estimadas com base em outras escalas administrativas ou geográficas, como estados, províncias e departamentos.

Essa coleta foi realizada com o objetivo de integrar variáveis que contemplassem diferentes dimensões, incluindo características demográficas das cidades, aspectos econômicos, fatores de mobilidade urbana, condições climáticas e topográficas, além de parâmetros operacionais, como a quantidade de bicicletas, o número de estações (quando existentes) e o tipo de sistema.

Na sequência, foram construídos, a partir de um banco de dados inicial (BD0) minerado do mapa mundial de bicicletas, dois bancos de dados principais: o primeiro com 576 sistemas (BD1) e o segundo com 217 observações (BD2). Esses bancos de dados foram tratados e analisados utilizando técnicas de geoprocessamento, remoção de inconsistências e integração de diferentes fontes em um formato unificado.

A terceira etapa consistiu na aplicação de análises inferenciais e descritivas para explorar as relações entre as variáveis coletadas e os grupos de sistemas encerrados e ativos (que ainda estão em operação). Posteriormente, para identificar e minimizar problemas de multicolinearidade entre as variáveis nos dois bancos de dados, foi utilizado o fator de inflação da variância (VIF). Após a aplicação do VIF, foram mantidas nos modelos apenas as variáveis com valores inferiores a 5.

Como alternativa ao VIF, e com o objetivo de não eliminar nenhuma variável dos bancos de dados, utilizou-se a análise de componentes principais (PCA) para reduzir a dimensionalidade dos dados. Tanto os bancos resultantes da análise de VIF quanto os bancos resultantes da análise de PCA foram integrados à técnica de clusterização *K-means* para agrupar sistemas com características semelhantes.

Por fim, foram realizadas regressões *logit*, aplicadas tanto aos bancos completos quanto aos *clusters* isoladamente, para modelar as razões de chances de fracasso dos sistemas de bicicletas compartilhadas com base nas variáveis e nos componentes principais derivados.

Essa abordagem permitiu identificar relações estatisticamente significativas entre as características dos sistemas e seus desfechos. Além disso, a integração de dados de diferentes fontes e a aplicação dessas técnicas combinadas permitiram realizar um panorama mais detalhado dos sistemas de bicicletas compartilhadas nas Américas.

O Capítulo 4, intitulado **Análises**, apresenta as análises e modelagens detalhadas obtidas na pesquisa. O capítulo é organizado sequencialmente de acordo com os bancos de dados explorados nas análises: BD0, BD1 e BD2. São apresentados tanto as análises descritivas, que mapeiam o status dos sistemas (fechado/aberto), quanto as modelagens preditivas, além das diferenças observadas entre os grupos de *clusters*.

Dentro do tópico associado ao BD1, apresentam-se também as particularidades dos sistemas encerrados durante a pandemia de COVID-19, destacando como o contexto emergencial influenciou a sustentabilidade desses serviços. Para isso, foi criada uma nova variável categórica de modo a diferenciar os sistemas fechados durante esse período daqueles que fecharam em outras datas.

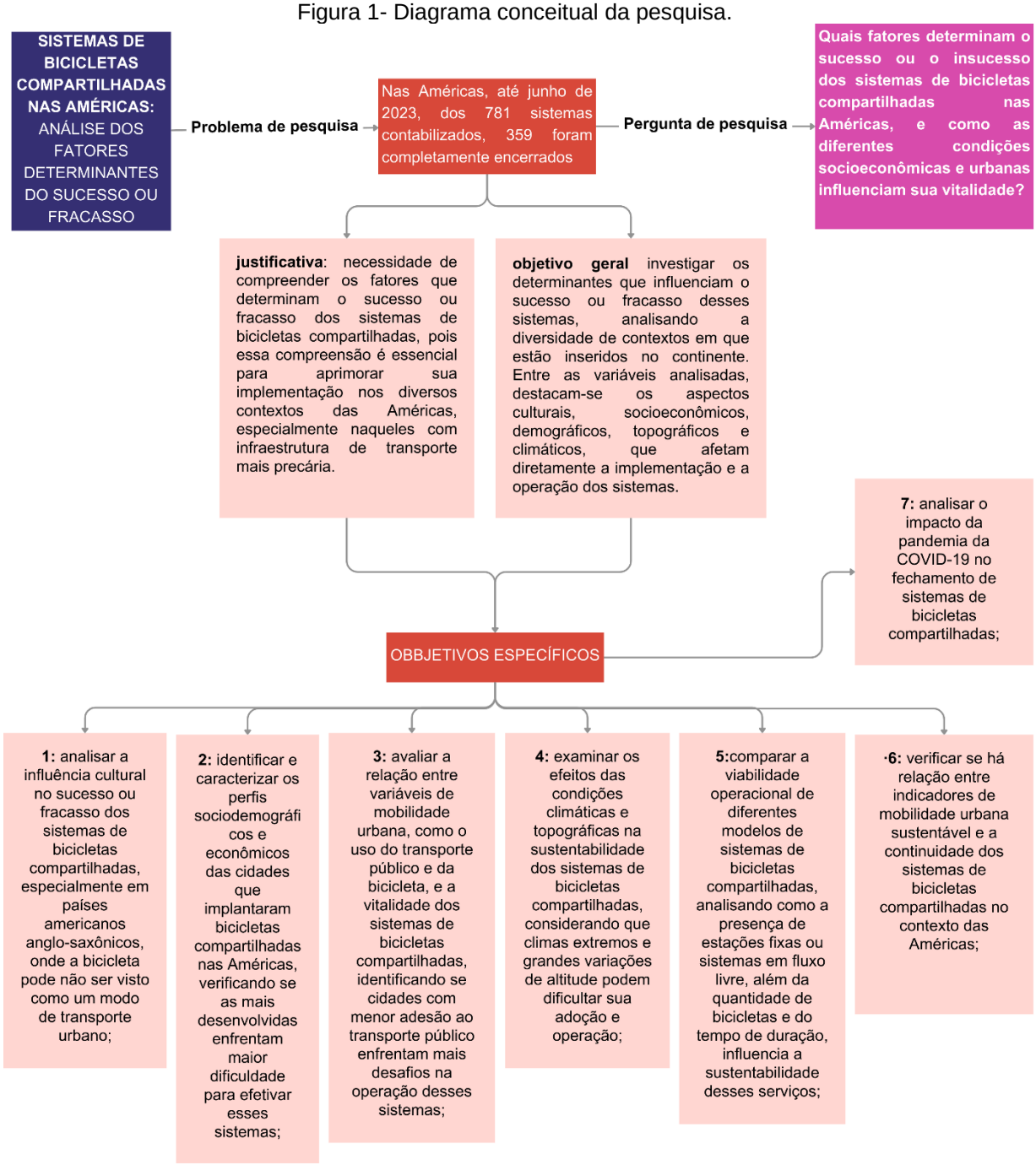
No que concerne ao Capítulo 5 (**Discussão**), apresenta-se uma análise crítica dos resultados, conectando-os aos objetivos específicos propostos e ao marco teórico estabelecido. A seção explora como as variáveis, componentes principais e *clusters*, identificados por meio das modelagens mistas, contribuem para explicar as chances de fechamento dos sistemas de bicicletas compartilhadas, com ênfase nas diferenças entre os contextos urbanos, socioeconômicos e operacionais nas Américas.

Por último, o Capítulo 6 apresenta as **conclusões e recomendações** desta pesquisa, que se propôs a investigar os fatores determinantes da vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas em uma escala continental. Como destaque, o capítulo reforça o caráter inovador da pesquisa em relação a estudos anteriores, geralmente limitados a contextos nacionais ou locais, a exemplo das investigações exploradas na Revisão da Literatura.

O diagrama conceitual da pesquisa (Figura 1) sintetiza visualmente a estrutura lógica que fundamenta este estudo, articulando os principais elementos que orientam

a investigação sobre os fatores determinantes do sucesso ou fracasso dos sistemas de bicicletas compartilhadas nas Américas.

Figura 1- Diagrama conceitual da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica que fundamenta o marco teórico necessário à etapa metodológica. Inicialmente, no Tópico 2.1, discutem-se as transformações ocorridas na mobilidade urbana entre o final do século XX e o início do século XXI, com ênfase no surgimento de conceitos e tecnologias voltados para o transporte compartilhado e a mobilidade como serviço (*Mobility as a Service - MaaS*). Essa abordagem explora a integração de novos modelos de transporte ao conceito de cidades inteligentes, alinhando inovação tecnológica às demandas contemporâneas por sustentabilidade e acessibilidade.

Em seguida, no Tópico 2.2, é analisada a trajetória histórica das bicicletas compartilhadas, desde suas primeiras gerações no século passado até o contexto contemporâneo, com destaque para as experiências no continente americano. Essa seção aborda o desenvolvimento e os desafios enfrentados pelos sistemas de bicicletas compartilhadas, incluindo colapsos e encerramentos de operações, bem como a evolução tecnológica que culminou nos modelos atuais.

No Tópico 2.3, é abordado o impacto da pandemia da COVID-19 nas bicicletas compartilhadas, por meio de uma revisão bibliográfica sobre a demanda e no funcionamento desses sistemas durante a crise sanitária global. Este tópico também considera as mudanças no comportamento dos usuários e as adaptações realizadas para manter a operação dos sistemas em um período marcado por restrições e mudanças significativas nos padrões de mobilidade.

Finalmente, no Tópico 2.4, são discutidos os desafios e recomendações para a implantação, gestão e governança de sistemas de bicicletas compartilhadas, com ênfase em diferentes modelos de gerenciamento. Além disso, são abordadas estratégias de sustentabilidade financeira, integração com outros modos de transporte e aspectos regulatórios que influenciam no sucesso dessas novas tecnologias.

2.1. A ECONOMIA COMPARTILHADA E A MOBILIDADE URBANA NO SÉCULO XXI

Nas últimas décadas, o mundo vem enfrentando um aumento desordenado das grandes cidades e da população. O aumento populacional e os problemas associados, tais como poluição sonora e ambiental (maior emissão de CO_2)

excessivas, aumento da geração de resíduos, congestionamentos, sistemas de transportes coletivos sobrecarregados, criam reflexões sobre planejamento urbano para o presente século (BANISTER, 2008).

Apesar desse cenário, segundo Godelnik (2017), percebe-se o crescimento de uma cultura de compartilhamento (*share economy*) entre as pessoas nascidas a partir da década de 1980. Esse público prefere utilizar bens de consumo, como casas, escritórios, objetos e equipamentos, entre outros, como serviços por locação, em vez de adquiri-los.

Esse fenômeno está fortemente atrelado ao avanço da tecnologia digital, que viabilizou a conexão entre usuários e serviços, permitindo que esses bens sejam compartilhados por meio de plataformas *online*. Dessa forma, essa geração mais jovem tende a valorizar o consumo mais consciente e busca alternativas mais sustentáveis para atender às suas necessidades pessoais, de transporte, moradia e lazer (LANFRANCHI; MADARIAGA, 2018).

Nesse contexto, a economia compartilhada oferece uma resposta direta aos desafios contemporâneos de mobilidade e sustentabilidade, ao mesmo tempo em que promove uma nova cultura de reuso dos recursos urbanos. Igualmente, Botsman (2013) argumenta que a economia compartilhada está transformando a maneira como bens e serviços são utilizados, promovendo acesso em vez de posse.

Dessa maneira, acredita-se que essa cultura também transforma a indústria automobilística, já que há uma nova percepção dos motoristas em relação ao compartilhamento de automóveis, em vez da compra e posse, com o objetivo de evitar custos de manutenção, combustível e seguro. Por outro lado, Shaheen, Sperling e Wagner (1998) destacam que essa mudança tem origens históricas, relatando que práticas de compartilhamento de carros e caronas remontam à Segunda Guerra Mundial.

De forma geral, o compartilhamento de caronas, segundo os autores, foi incentivado durante a guerra tanto por empresas quanto por diversas associações de bairros, igrejas e comércios. Com o fim da guerra, essas práticas acabaram diminuindo e se dissolvendo, retornando apenas após a década de 1970 com a crise mundial do petróleo.

Durante a forte crise petroleira, a União Europeia e o eixo Norte americano propuseram implementar medidas de gerenciamento da demanda por transportes e ações de conscientização da população para o uso de modos sustentáveis, a exemplo

das bicicletas, caronas, sistemas de fretamento e do transporte público. Esses programas também incorporaram medidas restritivas ao uso do automóvel privado, tais como pedágios urbanos e aumento das tarifas de estacionamento (VASCONCELLOS, 2002).

Vasconcellos (ibid.) destaca ainda que, mesmo com a estabilização das taxas de posse de automóveis ao longo do final do século XX em grande parte das cidades europeias e americanas, após a implementação de modelos de gerenciamento, a cultura automobilística ainda se mantém presente. O que falta, segundo o autor, é uma visão global integrada que contemple a necessidade de criar mecanismos duradouros de subsídio ao transporte público e instrumentos eficazes de desestímulo ao uso do automóvel, em prol do bem coletivo.

Nesse contexto, novos conceitos sobre mobilidade urbana sustentável surgem no início do século XXI. Um deles é o conceito de TOD (Transporte Orientado ao Desenvolvimento). A proposta do TOD, em sua essência, é gerenciar as demandas por transporte por meio de uma visão integrada ao uso do solo, em que a oferta de transporte tende a incentivar o zoneamento e o desenvolvimento de regiões mais remotas e pouco desenvolvidas. Assim, o sistema de transporte torna-se o motor do desenvolvimento urbano e social, e não o contrário (CERVERO, 2004).

Deste modo, o planejamento de transportes na virada do século deixa de ser um processo racional de projeção de vias e sistemas e passa a ser um movimento por inclusão social e desenvolvimento sustentável que deve considerar variáveis que ultrapassem o campo da engenharia. Para isso é necessário instaurar governanças de gerenciamento da demanda e oferta que objetivem combater a cultura automobilística, desenvolvida e popularizada no século anterior, e tornar a mobilidade urbana, sustentável, acessível, universal e inclusiva (PORTUGAL; MELLO, 2017).

Além disso, diferentemente do século anterior, com o advento da tecnologia da informação, dos *smartphones* e das plataformas de geolocalização, a mobilidade urbana do século XXI, assim como outros serviços essenciais, tendem a se adaptar aos novos padrões sociais e de consumo.

Nessa lógica, as novas gerações demandam e preferem uma mobilidade que atenda às suas necessidades como consumidores e passageiros urbanos, em vez de ser tradicionalmente oferecida por exigências regulatórias e características operacionais (como rotas, horários, embarques e desembarques) pouco flexíveis, usualmente adotadas desde o século anterior (KAMARGIANNI *et al*., 2016).

Esse novo olhar, que enxerga os sistemas de transporte como serviços e, em alguns casos, como produtos, foi expandido mais recentemente pelo *mobility as a service* (MaaS). Esse conceito busca integrar diversos modos e serviços de transporte em uma única plataforma digital, desde os tradicionais transportes públicos até os aplicativos de mobilidade compartilhada (BUTLER; YIGITCANLAR; PAZ, 2021).

Utriainen e Pöllänen (2018) apontam que essa nova abordagem coloca o usuário como o centro do planejamento e da operação, ou seja, o próprio consumidor define a sua rota, o seu modo e a sua tarifa, tudo por meio de um único aplicativo ou interface digital. Logo, por meio da integração de diferentes opções de mobilidade, como transporte público, táxis, patinetes, bicicletas compartilhadas, caronas, dentre outros, o MaaS elimina a necessidade de gerenciar várias contas ou aplicativos, como acontece convencionalmente.

Em suma, o principal objetivo é simplificar o acesso aos serviços de mobilidade e promover alternativas ao uso do transporte individual, especialmente o automóvel particular. Os autores destacam ainda que algumas iniciativas de MaaS têm sido testadas em diversas cidades, a exemplo do Whim, lançado em Helsinque, na Finlândia, e expandido para cidades como Amsterdã e Antuérpia.

Além de ser apenas um simples aplicativo, a plataforma permite que os usuários planejem, reservem e paguem por serviços variados de mobilidade, oferecendo pacotes mensais ou opções de pagamento por aluguel. Outro exemplo marcante é o UbiGo, desenvolvido na Suécia, que integra transporte público, compartilhamento de carros, táxis e bicicletas em Gotemburgo. Durante o seu teste piloto, os usuários reduziram significativamente as viagens por automóvel privado.

De modo geral, vários casos de práticas e experiências têm sido relatados, principalmente no eixo europeu. No entanto, a implementação do MaaS enfrenta desafios significativos, principalmente em realidades socioeconômicas mais difíceis. Um deles é a interoperabilidade entre diferentes provedores de transporte e a necessidade de integração tecnológica para oferecer serviços realmente conectados. Além disso, questões como privacidade de dados, barreiras regulatórias, legislações pouco consolidadas e resistência à inovação ainda representam entraves à adoção (HENSHER *et al*., 2020).

Contudo, é preciso entender que o MaaS não é apenas uma tendência tecnológica, mas uma resposta necessária às transformações urbanas e sociais do século XXI, integrando-se ao conceito de cidade inteligente. A base desse modelo

urbano é a conectividade entre dispositivos e sistemas urbanos, que possibilita uma gestão mais eficiente das operações, como o monitoramento de trânsito, a gestão de resíduos, geração e distribuição de energia, dentre outros (HARRISON, ECKMAN; HAMILTON, 2010).

Por outro lado, a mobilidade compartilhada, diferentemente do que muitos pensam, como destacam Cohen e Shaheen (2018), não representa apenas um mero modo de transporte. Trata-se de uma estratégia sustentável que possibilita o uso compartilhado de veículos, bicicletas e outros modos de transporte inovadores de forma temporária e conforme a necessidade dos usuários. Em outras palavras, ela está inserida no contexto da economia compartilhada e das cidades inteligentes, onde a tecnologia conecta pessoas para otimizar recursos, reduzir custos e minimizar impactos ambientais.

A mobilidade compartilhada abrange diferentes modelos de serviço, desde caronas até veículos sob demanda (Tabela 1), impactando diretamente o planejamento urbano, o uso do solo e a promoção da sustentabilidade. Contudo, é importante observar que esses novos modos de transporte possuem uma demanda mais dinâmica e flexível, tanto no tempo quanto no espaço, quando comparados ao transporte público convencional.

Tabela 1 - Tipos de serviços de mobilidade compartilhada.

Tipo de Mobilidade Compartilhada	Descrição	Exemplos
Car-sharing	O *car-sharing* possibilita o uso de veículos por curtos períodos sem a necessidade de possuir um carro. O usuário aluga o carro por hora ou dia, retornando-o ao local de origem (modelo ida e volta) ou deixando-o em outro ponto específico (modelo ponto a ponto).	Zipcar, Communauto
Bike-sharing	Bicicletas são disponibilizadas para uso público, podendo ser retiradas e devolvidas em estações específicas (modelo baseado em estações) ou em qualquer ponto dentro de uma área geográfica (modelo *free-floating*). Promove a mobilidade sustentável e oferece conexões de primeira e última milha.	Citi Bike (Nova York), Bike Itaú

(continua na próxima página)

Tabela 1 - Tipos de serviços de mobilidade compartilhada (continuação).

Tipo de Mobilidade Compartilhada	Descrição	Exemplos
Ride-sharing	Caronas organizadas, promovidas por aplicativos, conectam motoristas com passageiros que compartilham trajetos semelhantes. Reduz custos de viagem e otimiza o uso de veículos privados.	BlaBlaCar
Ride-sourcing	Serviços de transporte sob demanda conectam motoristas e passageiros via aplicativos móveis. Permite que passageiros dividam uma viagem e os custos com outros que seguem rotas semelhantes.	Uber, Lyft
Scooter-sharing	Oferece veículos de baixa velocidade para pequenos deslocamentos urbanos. Conveniente para percorrer distâncias curtas em áreas de alta densidade.	Lime, Bird
Courier Network Services	Redes de entrega sob demanda utilizam veículos compartilhados para transportar mercadorias e alimentos, otimizando a logística urbana e reduzindo o tráfego de veículos de entrega tradicionais.	Postmates, Instacart

Fonte: Cohen e Shaheen (2018). Adaptado pelo autor.

Cohen e Shaheen (2018) destacam que a mobilidade compartilhada, quando bem planejada e gerenciada, pode gerar externalidades positivas em cinco dimensões fundamentais, desde que sejam consideradas as particularidades do contexto econômico, urbanístico e social em que é implementada. Essas dimensões incluem: transporte e mobilidade; zoneamento, uso do solo e adensamento urbano; desenho urbano; habitação; desenvolvimento econômico; e conservação ambiental e mudanças climáticas (Tabela 2).

Tabela 2 - Externalidades positivas da mobilidade compartilhada.

Dimensão de impacto	Externalidade positivas
Transporte e mobilidade	Pode influenciar nos padrões de viagem, na escolha modal, na ocupação do veículo e na distância percorrida.
Zoneamento, uso de solo e adensamento urbano	Pode afetar fatores de planejamento associados ao uso do solo: zoneamento, área públicas, áreas verdes, áreas de estacionamento etc.
Desenho urbano	Pode promover a caminhabilidade, a bicicleta, o uso do transporte público e a redução de posse de automóveis.
Habitação	Pode apoiar a construção de habitações sociais, reduzir a procura e quantidade de estacionamentos em grandes empreendimentos.
Desenvolvimento econômico	Pode criar novas oportunidades de emprego e gerar receitas e recursos.
Conservação ambiental e mudanças climáticas.	Pode reduzir os impactos negativos, como as emissões de gases de efeito estufa.

Fonte: Cohen e Shaheen (2018). Adaptado pelo autor.

Analogamente, os autores reforçam a necessidade das políticas públicas se adaptarem a esses novos serviços, visto que a sua expansão tem acontecido de forma rápida e descontrolada, muitas vezes por interesses privados. Destarte, a praticidade e facilidade do serviço pode atrair os usuários do transporte público, tornando-o competidor do transporte de massa, violando os preceitos da mobilidade urbana sustentável.

2.2. SURGIMENTO, EXPANSÃO E COLAPSO DOS SISTEMAS DE BICICLETA COMPARTILHADA

Shaheen, Guzman e Zhang (2010) relatam que as primeiras bicicletas compartilhadas ou públicas já eram recorrentes em Amsterdam na Holanda em meados de 1965. Conhecido como “bicicletas brancas” (*White Bikes*), o programa foi idealizado pelo movimento anarquista de contracultura, o Provo. Nessa primeira geração, o aluguel das bicicletas era gratuito e disponibilizado em pontos comerciais da cidade. O sistema não obteve êxito em virtude dos altos índices de roubos e degradações devido à falta de segurança.

Ainda segundo os autores, nas décadas seguintes, novos sistemas começaram a surgir na Europa, a destacar as bicicletas de La Rochelle na França, em 1974, e as bicicletas “verdes” de Cambridge, Reino Unido, em 1993. O sistema inglês, devido os problemas de segurança e controle dos usuários, acabou fechando em pouco anos de uso. Já o sistema de La Rochelle foi aperfeiçoado ao longo dos anos e continua operacional.

Poucos anos depois, mais precisamente em 1995, surge um novo conceito de bicicleta compartilhada em Copenhagen (Dinamarca) que exigia um pré-depósito em moedas para destravar as bicicletas que poderiam ser devolvidas após a entrega, o que poderia reduzir a quantidade de furtos e danos. Os autores descrevem que a criação deste sistema inicia a segunda geração de bicicletas compartilhadas. O sistema chegou a contar com 1.100 bicicletas que ficavam trancadas em bicicletários espalhados pelo centro da cidade.

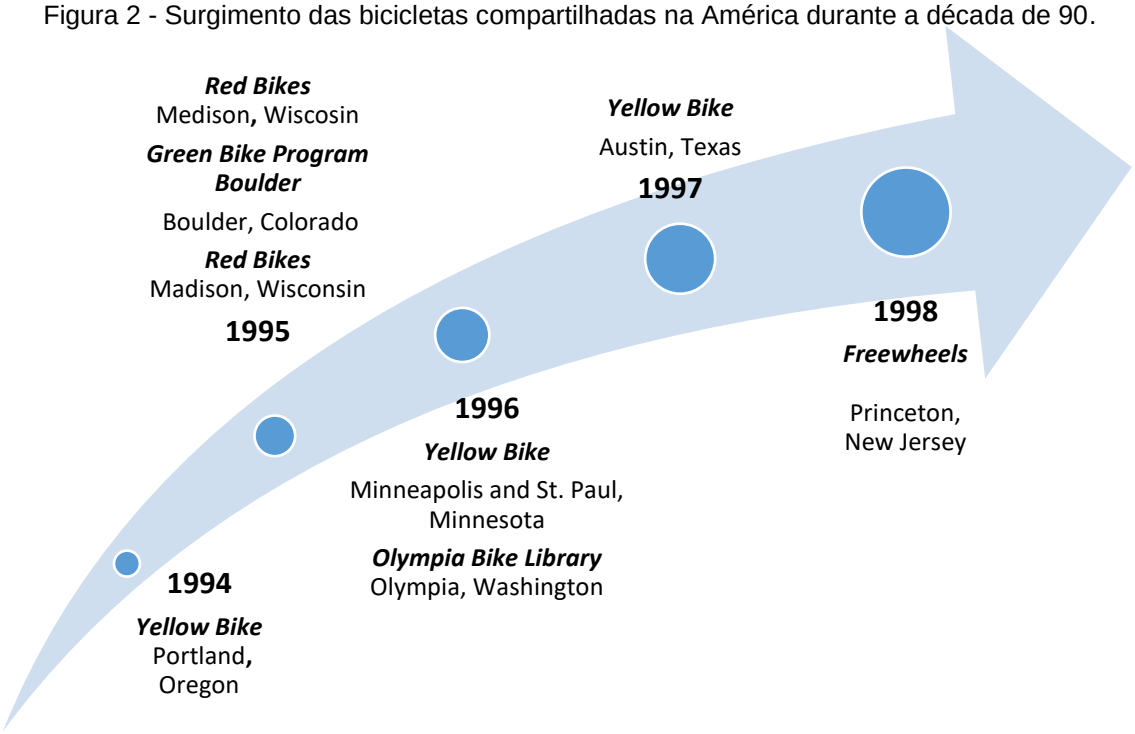
Mesmo com o avanço a favor da segurança, os autores destacam que essa nova geração exigia um custo operacional maior devido a implantação dos operadores de moedas. Por outro lado, não havia um pré cadastro ou qualquer controle sobre as informações dos usuários, o que ainda deixava as bicicletas sujeitas a furtos e roubos.

A solução encontrada até então para manter os sistemas vivos foi a criação de organizações sem fins lucrativos para operar, gerenciar e manter o funcionamento das bicicletas.

Em relação ao continente americano, Shaheen, Guzman e Zhang (2010) destacam que as bicicletas compartilhadas surgiram mais recentemente, a partir do início da década de 90, apenas no eixo norte-americano. O primeiro sistema de bicicleta compartilhada foi lançado em Portland, Oregon, em 1994. Denominado *Yellow*, o sistema contava com 60 bicicletas espalhadas pela cidade, sem nenhum controle ou travamento. Ainda assim, teve uma duração relativamente longa, sendo encerrado apenas em 2001.

Outras cidades americanas também implantaram sistemas ao longo da década de 1990, mas a maioria foi encerrada após poucos anos de operação (Figura 2).

Figura 2 - Surgimento das bicicletas compartilhadas na América durante a década de 90.



Fonte: Shaheen, Guzman e Zhang (2010). Adaptado pelo autor.

Devido às limitações das duas primeiras gerações, na virada do século XX para o XXI, os sistemas de bicicletas compartilhadas foram aprimorados e modernizados. Com o advento da Tecnologia da Informação (TI), a terceira geração começou a

implantar estações automáticas com docas de travamento (modelo *based-station*), geralmente integradas ao transporte público. As docas de travamento geralmente são acompanhadas por quiosques com totens digitais, onde o usuário pode se cadastrar e realizar o pagamento para retirar as bicicletas. A maioria dos sistemas já oferecia aplicativos de *smartphone* com informações sobre as estações e disponibilidades de bicicletas e docas vazias (HOLTZMAN, 2008).

Na América do Sul e na Ásia, as bicicletas compartilhadas só surgiram após a terceira geração. Na América do Sul os sistemas com estações e docas automáticas começaram a ser implantados apenas a partir de 2008. Até o ano de 2010, Shaheen, Guzman e Zhang (2010) descrevem que apenas o Brasil e o Chile contavam com sistemas operando regularmente, enquanto a Argentina e Colômbia ainda estavam em fase de planejamento e implantação.

A quarta e última geração das bicicletas compartilhadas surgiu mais recentemente, no final da primeira década do século XXI. Além da implementação de outros modos (tais como patinetes, automóveis, mobiletes, bicicletas elétricas, dentre outros) e a integração tarifária com o transporte público, essa nova geração geralmente é caracterizada por sistemas sem estações ou híbridos (com e sem estações). Os veículos compartilhados ficam usualmente dispersos pelas cidades com um dispositivo de travamento das rodas sem a necessidade de estações fixas (modelo *free-floating* ou *dockless*) (SHAHEEN; GUZMAN; ZHANG, 2010; SHAHEEN; COHEN, MARTIN, 2013; COHEN; SHAHEEN, 2018).

No Brasil, o primeiro modelo *free-floating* de bicicletas compartilhadas e patinetes elétricos foi implantado em São Paulo e se expandiu na sequência para outras cidades do sudeste e sul brasileiro. Contudo, com as dificuldades encontradas em torno da falta de segurança de trânsito, regulamentação consolidada e infraestrutura segura e adequada para receber o sistema, acabou sendo desativado em janeiro de 2020 (OBSERVATÓRIO DA BICICLETA, 2020). O resumo da evolução operacional das gerações de sistemas de bicicleta compartilhada está apresentado na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Evolução operacional das gerações de sistemas de bicicleta compartilhada.

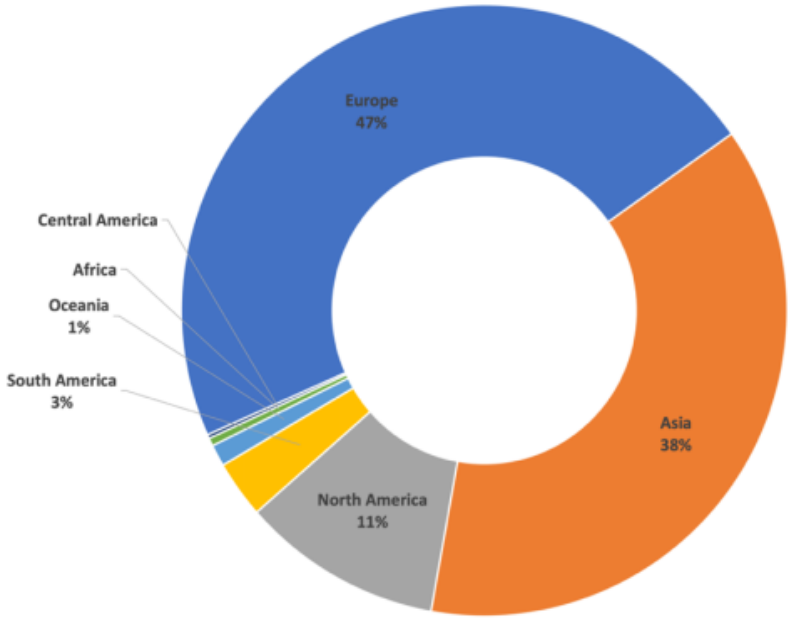
Geração	Primeira geração	Segunda geração	Terceira geração	Quarta geração
Tipo do sistema	sistemas com bicicletas gratuitas	sistemas com depósito	sistemas com tecnologia da informação	sistemas multimodais com serviço sob demanda
Componentes	Bicicletas	Bicicletas; Estações com docas de travamento;	Bicicletas; Estações com docas de travamento; Quiosques com tecnologia de interface com o usuário;	Bicicletas; Estações com docas de travamento; Quiosques com tecnologia de interface com o usuário; Sistema de redistribuição de bicicletas;
Características	1. Bicicletas distintas (geralmente por cor); 2. Bicicletas localizadas sem critérios; 3. Bicicletas sem travamento; 4.Não havia taxa de uso;	1. Bicicletas distintas (por cor ou design); 2. Bicicletas localizadas em estações específicas; 3. Bicicletas com travamento; 4.Necessidade de depósito	1. As bicicletas são distintas (por cor, design ou anúncios). 2. As bicicletas estão localizadas em estações específicas. 3. Bicicletas com travamento. 4. Uso de tecnologia da informação 5.A não devolução da bicicleta conforme programado implica em punição ao usuário; 6. Exigência de cadastro prévio do usuário;	1. Bicicletas distintas por tipo (sistema hibrido); 2. Inclusão de bicicletas e outros veículos elétricos; 3. Bicicletas localizadas em estações específicas, temporárias e móveis; 4. Tecnologia de Informação de ponta; 5. Integração do cartão com o transporte público

Fonte: Shaheen, Guzman e Zhang (2010). Adaptado pelo autor.

Em relação ao panorama dos sistemas ao redor do mundo, segundo o relatório do Mapa Mundial de Bicicletas Compartilhadas (MEDDIN BIKE-SHARING WORLD MAP, 2022), o continente com a maior quantidade de sistemas ativos até 2022 era o europeu, com quase 900 sistemas (Figura 3). De modo geral, esse resultado já era esperado, visto que a Europa se destaca, como abordado no capítulo anterior, por suas recentes experiências em *mobility as a service*, além dos intensos investimentos em mobilidade urbana sustentável desde a crise do petróleo da década de 1970.

No que concerne ao continente americano, a América do Norte contava com 205 sistemas operando, enquanto as Américas do Sul e Central tinham apenas 58 e 4, respectivamente. Em suma, a porção norte do continente americano, com destaque para os Estados Unidos, famoso por sua cultura automobilística, tem se esforçado para expandir e implantar esses sistemas desde o seu surgimento na década de 1990.

Figura 3 - Sistemas de bicicleta ativos ao redor do mundo por continente.



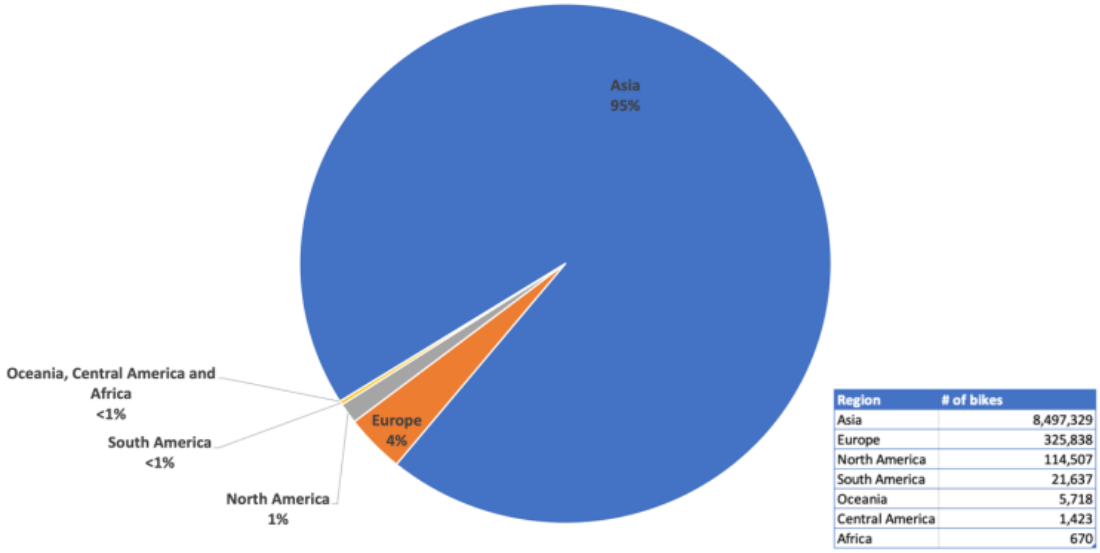
Region	Active systems
Europe	897
Asia	720
North America	205
South America	58
Oceania	22
Africa	8
Central America	4

Fonte: *The Meddin Bike-sharing World Map Report* (2022).

Com relação ao número de bicicletas compartilhadas até 2022 (Figura 4), a América do Norte registrava 114.507 bicicletas em operação, enquanto a América do Sul possuía 21.637 bicicletas, e a América Central apresentava um número significativamente inferior, com apenas 1.423 bicicletas disponíveis. Esse contraste evidencia uma desigualdade na implantação e operação dos sistemas entre as diferentes regiões do continente americano.

Destarte, vale destacar a Ásia como o grande polo centralizador de bicicletas compartilhadas no cenário global, concentrando mais de oito milhões de unidades em operação. Essa supremacia asiática pode ser atribuída à rápida urbanização, ao incentivo governamental e à alta densidade populacional, que favorecem o uso desse tipo de transporte como uma solução sustentável e eficiente para deslocamentos urbanos rápidos e de curta duração (ZHOU *et al*., 2023).

Figura 4 - Número de bicicletas compartilhadas por continente.



Region	# of bikes
Asia	8,497,329
Europe	325,838
North America	114,507
South America	21,637
Oceania	5,718
Central America	1,423
Africa	670

Fonte: *The Meddin Bike-sharing World Map Report* (2022).

Em relação ao volume de sistemas de bicicleta compartilhada por países, o continente americano apresentava apenas seis países entre os 50 reportados no Mapa Mundial (Figura 5). Desses, quatro eram latino-americanos: México, Chile, Colômbia e Brasil. Contudo, um fato que chama atenção é o desempenho negativo dos países da América Latina nesse período. Todos os países latinos apresentaram queda no ranking global entre 2021 e 2022, evidenciando desafios significativos na expansão e consolidação desses sistemas na região.

No caso do Brasil, a redução foi notável, com o país caindo cinco posições, saindo do 13º lugar em 2021 para o 18º em 2022. Esse declínio pode estar relacionado a dificuldades na gestão, financiamento e expansão dos sistemas, além de questões ligadas à infraestrutura inadequada e à falta de políticas públicas mais consistentes voltadas para a mobilidade sustentável (LEITE; ANDRADE; NETO, 2024).

Por outro lado, entre os países do continente, observa-se o Canadá, que apresentou um avanço discreto no mesmo período. O país subiu seis posições, passando do 22º lugar em 2021 para o 16º em 2022, demonstrando um investimento crescente em iniciativas voltadas à micromobilidade e à sustentabilidade urbana.

Já os Estados Unidos mantiveram-se firmes como o segundo país no mundo com o maior número de sistemas de bicicletas compartilhadas, consolidando sua posição de liderança no continente. Esse resultado reflete esforços consistentes para expandir a infraestrutura cicloviária e integrar as bicicletas compartilhadas às estratégias urbanas de transporte sustentável, especialmente em grandes centros

metropolitanos como Nova York, Washington, e Los Angeles (COHEN; SHAHEEN, 2018).

Figura 5 - Classificação dos países em relação ao número de sistemas de bicicleta compartilhada operando.

Rank	Country	Systems	Rank in 2021	Rank	Country	Systems	Rank in 2021
1	China	531	1	26	Turkey	16	21
2	United States	169	2	27	Colombia	15	24
3	Italy	110	4	28	Taiwan	13	15
4	Germany	100	3	29	South Korea	12	28
5	Poland	85	7	30	Belgium	11	38
6	France	81	5	31	Ireland	11	32
7	Spain	62	6	32	Slovakia	11	35
8	Japan	57	10	33	Romania	11	37
9	United Kingdom	48	8	34	Mexico	10	26
10	Netherlands	40	17	35	Argentina	10	33
11	India	36	9	36	Slovenia	10	31
12	Switzerland	32	11	37	Belarus	9	34
13	Czech Republic	31	14	38	Hungary	7	36
14	Croatia	29	23	39	Saudi Arabia	7	N/A
15	Greece	28	12	40	Indonesia	6	42
16	Canada	26	22	41	Kazakhstan	5	43
17	Russia	25	20	42	United Arab Emirates	5	50
18	Brazil	25	13	43	Ukraine	5	39
19	Austria	23	16	44	Israel	4	41
20	Portugal	22	25	45	Iran	4	53
21	Finland	21	18	46	Viet Nam	4	N/A
22	Norway	21	30	47	Lithuania	4	54
23	Sweden	20	19	48	Malaysia	4	44
24	Denmark	16	29	49	Chile	3	45
25	Australia	16	27	50	Estonia	3	48

Fonte: *The Meddin Bike-sharing World Map Report (*2022).

Com avanço da terceira e quarta geração de bicicletas compartilhadas, vários estudos sobre gerenciamento e operação de sistemas de bicicletas compartilhadas vêm sendo executados. A maioria destes trabalhos verificou o comportamento da demanda em torno dos registros de viagens das empresas operadoras dos sistemas, dentre outros dados, de modo a apontar os fatores que podem induzir ou desmotivar o seu uso (CHEMLA; MEUNIER; WOLFLER CALVO, 2013; ZHAO; DENG; SONG, 2014; O'BRIEN; CHESHIRE; BATTY, 2014; LI *et al.* 2015; DELL'AMICO *et al.* 2014; LIU *et al.* 2016; DE CHARDON; CARUSO; THÉVENIN, 2016; PAL; ZHANG, 2017; CRUZ *et al.* 2017; EL-ASSI *et al.* 2017; SCHUIJBROEK; HAMPSHIRE; VAN HOEVE, 2017; CHIARIOTTI *et al.* 2018; DELL'AMICO *et al.* 2018; SHEN; ZHANG; ZHAO, 2018; LI *et al.* 2020; YANG *et al.* 2020; RADZIMSKI; DZIĘCIELSKI, 2021; WU; KIM; CHUNG, 2021; WANG *et al.* 2022; GOH; BIN, 2024; PEKDEMIR *et al.* 2024).

De maneira geral, o mundo científico tem demonstrado uma preocupação crescente com os sistemas de bicicletas compartilhadas do tipo *based-station* (com

estações fixas), principalmente devido aos desafios relacionados ao balanceamento das estações. Isso ocorre porque o elevado número de viagens de apenas ida (*one-way trips*), frequentemente associado a atividades de recreação e lazer, pode desbalancear o sistema, resultando em estações com excesso de bicicletas e sem docas disponíveis, enquanto outras ficam praticamente sem unidades para locação (CHEMLA; MEUNIER; WOLFLER CALVO, 2013; SCHUIJBROEK; HAMPSHIRE; VAN HOEVE, 2017; CHIARIOTTI *et al*., 2018; DELL'AMICO *et al.,* 2018).

Deste modo, o desbalanceamento do sistema provocado por essas viagens pode requerer unidades móveis (caminhões) para repor as bicicletas nas estações, o que gera um maior custo de operação. No geral, observa-se em uma análise mais simplória do sistema, que as viagens de ida e volta (*round trip*) são aquelas que mais favorecem o balanceamento a curto prazo. Deste modo, elas podem ser incentivadas como viagem complementar (first*/last mile*) ao uso do transporte público caso haja a integração entre os modos.

Em síntese, no decorrer do surgimento e expansão das gerações de bicicletas compartilhadas, observam-se práticas e experiências de insucesso na implantação, operação e gerenciamento desses sistemas em decorrência de fatores tecnológicos, de planejamento, infraestrutura, regulamentação e governança.

À medida que as gerações iam avançando, as lições aprendidas determinam novos aprendizados e experiências para as gerações posteriores. Desse modo, a Tabela 4 abaixo apresenta os principais problemas enfrentados pelos sistemas e as intervenções utilizadas pelas gerações posteriores.

Tabela 4 - Problemas e intervenções sofridas pelos sistemas de bicicleta compartilha ao decorrer da evolução das gerações.

Problemas enfrentados	**Intervenções**
Roubo de bicicletas e vandalismo	Introdução de *smartcards;* Associação e cadastro dos membros; Inclusão do custo roubo/vandalismo na tarifa; Modernização dos sistemas de travamento; Taxas extras em virtude do atraso de devolução das bicicletas;
Redistribuição de bicicletas	Inclusão de veículos (furgões e caminhões) para relocação das bicicletas; Aumento da área de cobertura do sistema; Inclusão de GPS e informação em tempo real da localização das bicicletas; Incentivo de viagens do tipo ida e volta (*round trip*);
Seguros e responsabilidade Civil	Conscientização quanto ao uso de capacete; Inclusão de seguro obrigatório incluso na tarifa;

(continua na próxima página)

Tabela 4 - Problemas e intervenções sofridas pelos sistemas de bicicleta compartilha ao decorrer da evolução das gerações (continuação).

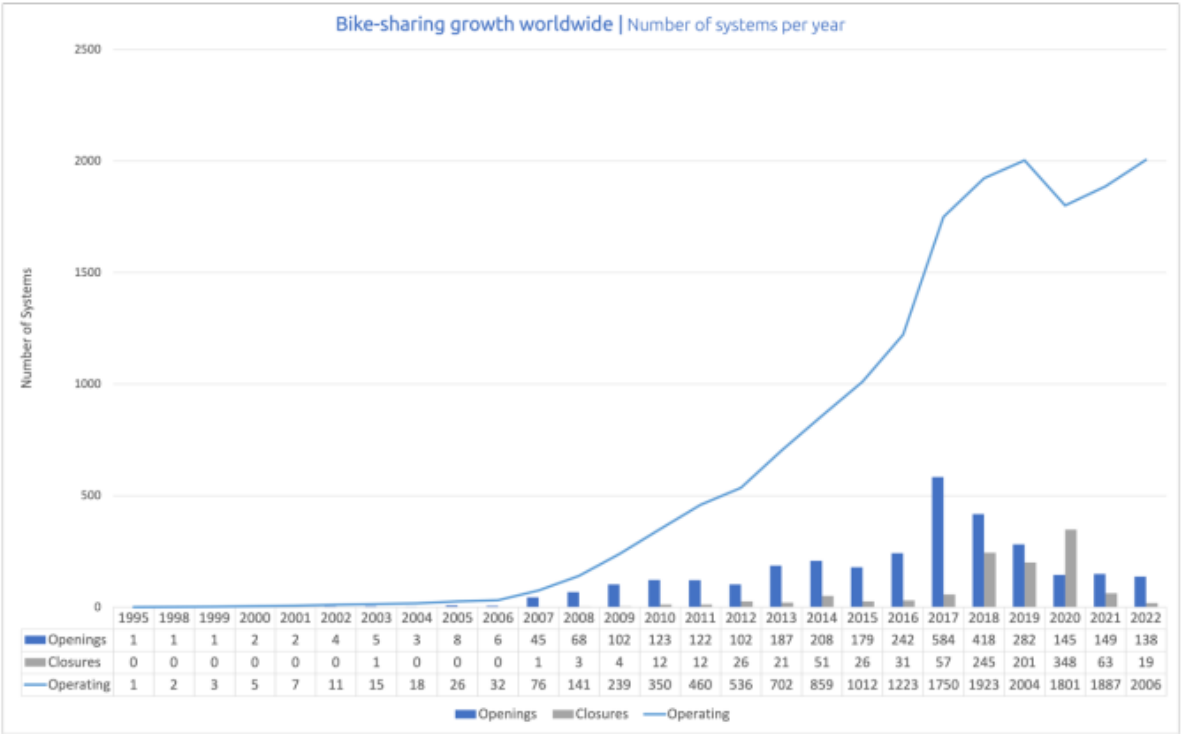
Problemas enfrentados	**Intervenções**
Custos de operação	Subsídios públicos; Implantação dos sistemas integrados aos demais transportes públicos; Integração tarifária com o transporte público; Minimizar viagens de apenas ida (*one way trip*)

Fonte: Shaheen, Guzman e Zhang (2010). Adaptado pelo autor.

Além dos problemas operacionais apresentados, é preciso entender o contexto social, urbanístico, climático, econômico, físico e cultural das cidades em que esses sistemas são implantados. Mesmo com o aumento significativo de sistemas operando entre os anos de 2007 e 2022, como é apresentado na Figura 6 abaixo, observa-se também um crescente aumento de fechamento de sistemas ao redor do mundo.

O que chama atenção é que pouco trabalhos científicos se preocuparam em avaliar estudos de casos de sistemas que fracassaram (SUN; CHEN; JIAO, 2018; MORO, FETTERMANN; CAUCHICK-MIGUELA, 2018; SUN; DUAN, 2021; LONG; VAN WAES, 2021; WU, 2020; ZHANG *et al*., 2021; ANAYA-BOIG *et al*., 2021; THOMAS; VERMA; MAYAKUNTLA, 2022; ZHANG *et al*., 2022; e ZHOU *et al*., 2023).

Figura 6 - Número de sistemas em todo o mundo por ano: abertos, fechados e operando.



	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Openings	1	1	1	2	2	4	5	3	8	6	45	68	102	123	122	102	187	208	179	242	584	418	282	145	149	138
Closures	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	3	4	12	12	26	21	51	26	31	57	245	201	348	63	19
Operating	1	2	3	5	7	11	15	18	26	32	76	141	239	350	460	536	702	859	1012	1223	1750	1923	2004	1801	1887	2006

Fonte: *The Meddin Bike-sharing World Map Report* (2022).

Sun, Chen e Jiao (2018) investigaram o caso de um sistema de bicicletas compartilhadas implementado em Seattle, Washington (EUA), em 2014, que foi desativado em apenas três anos de operação. O sistema, composto por 500 bicicletas distribuídas em 50 estações com docas, registrou 200 mil viagens nos dois primeiros anos, resultando em uma média de aproximadamente 10 viagens diárias por estação.

De maneira geral, o sistema não conseguiu atrair demanda suficiente para justificar sua continuidade e dependia fortemente de subsídios governamentais, que se mostraram insustentáveis ao longo de seu curto período de operação. Nesse contexto, os autores buscaram entender os fatores que possivelmente contribuíram para o fracasso, utilizando um modelo preditivo para avaliar variáveis urbanas, climáticas e de infraestrutura que poderiam influenciar a geração e atração de viagens em cada estação.

Dentre os fatores investigados, destacam-se o uso do solo, as características da infraestrutura viária, a declividade do terreno, a demanda por transporte público nas proximidades das estações e as condições climáticas e sazonais. Entre esses, a declividade do terreno e a recorrência de dias chuvosos foram identificadas como os principais elementos que contribuíram para o insucesso.

No caso da declividade, a pesquisa revelou que as estações localizadas em terrenos elevados apresentavam alta frequência de retiradas de bicicletas, enquanto as situadas em áreas mais baixas concentravam as entregas. Essa dinâmica gerou desafios logísticos significativos, já que o sistema não conseguia redistribuir as bicicletas de maneira eficiente entre as estações.

Quanto às condições climáticas, observou-se que os usuários regulares (mensalistas) do sistema demonstraram maior resiliência a condições adversas, continuando a utilizar as bicicletas mesmo em dias chuvosos. Em contrapartida, os usuários não recorrentes (esporádicos) reduziram significativamente seu uso nessas condições.

Adicionalmente, os autores apontaram que as estações próximas a paradas de ônibus registraram uma maior frequência de uso, o que evidencia um comportamento complementar entre o transporte público e a bicicleta, frequentemente associados à primeira e última milha. No entanto, essa complementaridade tende a diminuir durante os horários de pico e em dias chuvosos, quando os usuários optam preferencialmente pelo ônibus.

Em suma, essa investigação indica que sistemas de bicicletas compartilhadas devem considerar cuidadosamente características topográficas e condições climáticas locais durante o planejamento e a implementação. Além disso, recomenda-se o desenvolvimento de estratégias específicas para mitigar os desafios associados, como logística automatizada de redistribuição, integração com transporte público, a adoção de bicicletas elétricas para superar desníveis e a implantação de infraestrutura que ofereça proteção contra intempéries, como ciclorrotas cobertas.

Em uma perspectiva semelhante, Moro, Fettermann e Cauchick-Miguela (2018) investigaram os fatores que contribuíram para o fracasso de dois sistemas de bicicletas compartilhadas no sul do Brasil. O primeiro sistema contava com 21 bicicletas e apenas 3 estações, tendo uma vida útil de dois anos. O segundo sistema tinha maior cobertura operacional com 65 bicicletas distribuídas em 6 estações, mas foi desativado após apenas seis meses de operação.

O encerramento repentino de ambos os sistemas destacou questões fundamentais relacionadas às barreiras que dificultam a implementação bem-sucedida desse modelo no Brasil. Segundo os autores, uma das principais barreiras identificadas foi no âmbito cultural, associada à preferência pelo uso de automóveis privados e à percepção da bicicleta como um meio prioritariamente destinado ao lazer e à recreação.

Além das barreiras culturais, questões sociais e políticas também foram apontadas como impedimentos. Os sistemas não possuíam estratégias educacionais para sensibilizar a população sobre os benefícios do uso da bicicleta. A ausência de campanhas educativas e de políticas públicas voltadas para a conscientização sobre a mobilidade ativa resultou em baixa adesão ao sistema, especialmente entre aqueles que não eram ciclistas. Outro fator relevante apontado foi a deficiência na integração com transporte público, que poderia potencializar a usabilidade.

Esses resultados reforçam que a implantação malsucedida dos dois sistemas no caso brasileiro está diretamente associada à falta de planejamento estratégico, à inadequação da infraestrutura urbana e à resistência cultural ao uso da bicicleta. Os autores destacam que, para superar esses desafios, é necessário implementar políticas públicas a longo prazo, que envolvam a criação de infraestrutura cicloviária, campanhas de conscientização e incentivos fiscais para desestimular a cultura automobilística no Sul do país.

Mais especificamente, no contexto de um campus universitário, Sun e Duan (2021) analisaram o sistema de bicicletas compartilhadas implementado no campus da Universidade Marítima de Dalian, na China. Inaugurado em 2018, o sistema teve um período de operação extremamente curto, sendo encerrado em março de 2019.

Segundo os autores, a qualidade do serviço foi identificada como um fator determinante para o fracasso. As principais reclamações incluíram a falta de manutenção das bicicletas, dificuldades no uso do aplicativo e a ausência de atendimento ao cliente. Assim, os estudantes relataram que o sistema não atendia às expectativas mínimas de funcionalidade.

Além da qualidade do serviço, o custo e a conveniência foram apontados como fatores críticos de desmotivação. Em relação ao custo, os estudantes afirmaram que a taxa de depósito obrigatória era uma barreira significativa. Embora o custo por viagem fosse relativamente baixo, a exigência de um depósito elevado gerou preocupações financeiras entre os usuários, agravadas pela falta de confiança na devolução do depósito em caso de encerramento do serviço.

No que diz respeito à conveniência, os estudantes mencionaram problemas como a falta de bicicletas disponíveis em locais estratégicos, como dormitórios e áreas residenciais, além da insuficiência de docas para estacionar as bicicletas. Esses problemas resultaram em uma experiência de uso limitada e frustrante, tornando o sistema menos atraente entre os estudantes. Analogamente, a dificuldade em localizar bicicletas disponíveis durante os horários de pico evidenciou o subdimensionamento do sistema em relação à população universitária.

Como recomendação, Sun e Duan (2021) propuseram um conjunto de melhorias que envolvia tanto a qualidade do serviço quanto uma maior ênfase na manutenção regular das bicicletas, na eliminação ou redução das taxas de depósito, substituindo-as por um sistema de avaliação do perfil de crédito por *big data*, na ampliação da cobertura do sistema e no atendimento ao cliente especializado. Essas melhorias poderiam aumentar a satisfação dos estudantes e, consequentemente, promover uma maior adesão ao sistema a médio e longo prazo.

Em outro estudo de caso universitário, Thomas, Verma e Mayakuntla (2022) investigaram um sistema de bicicletas compartilhadas que foi implementado no campus do Instituto Indiano de Ciências (IISc), em Bengaluru, na Índia. O sistema contava com 140 bicicletas distribuídas em 30 estações e iniciou suas operações em abril de 2019, sendo posteriormente encerrado em janeiro de 2020.

De acordo com os autores, o encerramento do sistema ocorreu devido a diversos fatores, dentre os quais se destaca a perda de dados dos registros provocada por falhas no sistema de monitoramento em tempo real. Essas falhas comprometeram a coleta de informações sobre o uso das bicicletas, como origem e destino das viagens, tempo de duração, horário de retirada e devolução, entre outras variáveis importantes.

A ausência dessas informações pode ter dificultado a análise do comportamento dos usuários e, consequentemente, prejudicado a gestão e a eficiência operacional do sistema. Para contornar essa problemática, os autores propuseram modelagens específicas com o intuito de simular os dados perdidos e recuperar informações relevantes.

Foram apresentados dois métodos principais: um modelo probabilístico baseado no Teorema de Bayes e outro utilizando o algoritmo de aprendizado de máquina *k-Nearest Neighbor* (k-NN). Ambos os métodos demonstraram ser eficazes em identificar e prever as preferências de destino, levando em consideração características como usuário, origem da viagem e horário.

O estudo desses autores evidencia a importância da qualidade dos dados em sistemas de bicicletas compartilhadas e destaca como técnicas de imputação podem ser ferramentas valiosas para mitigar perdas, otimizar o reequilíbrio das bicicletas entre estações e, por último, assegurar a sustentabilidade e continuidade desses serviços.

Em uma perspectiva mais mercadológica, Long e Van Waes (2021) analisaram seis empresas de bicicletas compartilhadas nas cidades holandesas de Amsterdã, Roterdã e Utrecht, utilizando o processo de Inovação do Modelo de Negócios (IMB). O estudo buscou compreender as estratégias dessas empresas na implementação de sistemas de bicicletas compartilhadas sem estações, do tipo *free-floating*. Três dimensões principais foram avaliadas: propósito do negócio, processo de implantação e inovação do produto.

Assim como no estudo de Moro, Fettermann e Cauchick-Miguela (2018) revelaram que as características das cidades e os aspectos culturais da população desempenham um papel fundamental na implementação bem-sucedida. Entre as cidades analisadas, Amsterdã, por exemplo, enfrentou uma implantação desordenada de milhares de bicicletas no espaço urbano, o que gerou incômodo, inclusive por parte da população, culminando na posterior proibição do sistema.

Por outro lado, Roterdã adotou uma abordagem de negócios mais popular, implementada por meio de um licenciamento prévio que permitiu uma operação controlada e planejada. Já em Utrecht, a cidade iniciou um projeto-piloto em parceria com uma única empresa, utilizando um laboratório vivo para monitorar os impactos e aprender com a experiência antes de expandir o sistema.

Os autores destacam a importância de as empresas considerarem as necessidades da demanda local, adaptando suas operações e modelos de bicicletas às especificidades de cada contexto urbano. O modelo proposto (*free-floating*), apesar de inovador, pode apresentar desafios significativos, como a gestão do espaço público, o abandono de bicicletas em locais inapropriados e a resistência dos usuários devido à baixa qualidade do serviço.

Por fim, os autores também enfatizam que o processo de Inovação do Modelo de Negócios (IMB) deve ser flexível e orientado para a solução de problemas, com capacidade de adaptação às necessidades emergentes e respostas rápidas às mudanças sociais e urbanísticas. A experiência das cidades holandesas demonstra que a implementação de bicicletas compartilhadas, mesmo em contextos favoráveis e com uma cultura ciclista marcante, exige um planejamento cuidadoso, políticas públicas bem estruturadas e a adoção de práticas responsáveis.

Em um cenário semelhante, porém na realidade de Taipei, em Taiwan, Wu (2020) investigou as razões por trás do fechamento da empresa de bicicletas compartilhadas oBike. A empresa, com sede em Cingapura, operava em 40 cidades distribuídas por 24 países, alcançando uma rápida expansão global. Em Taiwan, o sistema começou a operar em 2017, mas encerrou suas atividades já em 2018, deixando milhares de bicicletas abandonadas na cidade.

Como havia falta de dados operacionais, o autor adotou uma abordagem inovadora para a avaliação de opinião pública por meio da mineração de palavras-chave extraídas de postagens em redes sociais. Entre as principais palavras mineradas destacaram-se: oBike, compartilhar, depósitos, governo, Ubike (a empresa concorrente), provedor de serviços, usuário e estacionamento.

O autor descreve que as palavras gerenciamento e estacionamento foram as mais citadas em 2017. Isso indica que, embora a expansão acelerada da oBike tenha sido inicialmente bem-sucedida, a falta de planejamento adequado para a infraestrutura de estacionamento e a gestão eficiente do sistema pode ter gerado insatisfação entre os usuários. Problemas como o estacionamento irregular das

bicicletas em espaços públicos e a falta de manutenção adequada contribuíram para uma percepção negativa do serviço.

Por outro lado, o estudo também apontou que postagens relacionadas ao termo Ubike impactaram positivamente a frequência da palavra-chave usuário. Dessa forma, o sistema já estabelecido em Taipei serviu como uma referência de sucesso em comparação ao novo. Analogamente, o autor destaca que a concorrência, que já apresentava uma infraestrutura mais sólida e ampla aceitação popular, pode ter sido um fator decisivo para a perda de mercado do novo sistema em um período tão curto.

Em suma, os resultados dessa investigação reforçam que a presença de um sistema concorrente mais estruturado pode, de fato, desmotivar a chegada e a expansão de novos modelos. Esse cenário se evidencia no encerramento precoce de iniciativas como a oBike em Taipei.

Assim como evidenciado na investigação anterior, os resultados também demonstram a necessidade de superar desafios, como a má gestão operacional, a ausência de planejamento adequado para o uso do espaço urbano e a intensa competição no setor. Além disso, destaca-se a importância de adaptar esses sistemas a modelos de negócios consistentes, que considerem as realidades urbanas e as demandas locais, garantindo sua sustentabilidade e aceitação no mercado.

A nível mundial, Zhang *et al*. (2021) investigaram 106 sistemas de bicicletas compartilhadas encerrados em cidades ao redor do mundo. A pesquisa teve como objetivo caracterizar a duração desses sistemas, identificando variáveis capazes de aumentar ou reduzir o tempo de operação. As variáveis analisadas foram organizadas em três grandes grupos: infraestrutura, sociais e econômicas.

No que se refere aos fatores de infraestrutura, destacaram-se as variáveis área de cobertura e capacidade do sistema, que dizem respeito à dimensão geográfica e à disponibilidade de unidades (bicicletas). Já os fatores sociais incluíram características intrínsecas das cidades, como densidade populacional, poder de compra da população e clima. Por último, os fatores econômicos incluíram variáveis relacionadas à tarifa, como o método de pagamento e o tipo de suporte financeiro.

Dentre os resultados encontrados, sistemas que oferecem opções acessíveis e práticas, como *smart cards*, pagamentos digitais e gratuidade nas primeiras horas, mostram-se mais atrativos, sustentáveis e, consequentemente, mais duradouros. O suporte financeiro, por sua vez, também se revelou uma variável crítica, evidenciando

que sistemas com financiamento público-privado, em particular, demonstraram maior capacidade de sobrevivência.

No geral, os preditores área de cobertura, capacidade do sistema e método de pagamento foram identificados como fatores significativos para o tempo de duração dos sistemas. Contudo, observou-se que uma expansão descontrolada da área de cobertura e uma capacidade elevada podem, em alguns casos, comprometer a viabilidade do sistema, especialmente durante as fases iniciais de operação. Isso ocorre porque a manutenção e operação de uma infraestrutura maior demandam altos custos e um gerenciamento eficiente, o que nem sempre é alcançado.

Por último, um aspecto interessante identificado no estudo foi o impacto do método de pagamento nos sistemas considerados estáveis, ou seja, naqueles que operaram por mais de 48 meses. Nesses casos, métodos de pagamento menos convenientes, como o uso exclusivo de dinheiro (como moedas) ou processos de registro complexos, atuaram como fatores limitantes, contribuindo para a redução da demanda e, consequentemente, para o insucesso a longo prazo.

Em um cenário de escala nacional, Anaya-Boig *et al*. (2021) conduziram um estudo sobre sistemas de bicicletas compartilhadas na Espanha, entre o período de 2003 a 2018. A pesquisa, assim como as anteriores, também buscou investigar os fatores que influenciam a duração e a sustentabilidade desses sistemas. Os preditores da análise incluíram características tanto do sistema quanto da cidade onde ele foi implantado.

De acordo com os autores, 62% dos sistemas espanhóis haviam sido encerrados até o ano de 2018. Essa elevada taxa de fechamento foi observada principalmente em sistemas menores, com poucas estações, implantados em regiões economicamente menos produtivas e com infraestrutura urbana menos desenvolvida.

Ainda segundo os autores, cerca de 38% dos sistemas em operação registraram uma média inferior a uma viagem de bicicleta por dia. Esse dado sugere que, mesmo entre os sistemas ativos, há uma baixa demanda que pode comprometer sua viabilidade econômica e manutenção a médio e longo prazo.

Contudo, os resultados também revelaram que sistemas com mais de 30 estações apresentaram uma taxa de sobrevivência de 100% no período analisado. De modo geral, os autores destacam que a implementação de sistemas amplos, com uma quantidade adequada de estações e suporte financeiro consistente, é fundamental para garantir a longevidade desses sistemas.

Em outro contexto nacional, Zhou *et al*. (2023) realizaram uma análise de 137 startups de bicicletas compartilhadas na China. Os autores exploraram as seguintes variáveis independentes associadas às empresas: tempo de operação, experiência, tamanho da equipe, capital de risco, fundador e diversidade de pagamento. Sobre as cidades que sediaram as s*tartups* foram levantados no modelo apenas o Produto Interno Bruto (PIB) e a população.

Segundo os autores, o tamanho da equipe da empresa e a estratégia de inovação utilizada são preditores que afetam positivamente a sobrevivência do sistema, fazendo com que eles permaneçam operando. Já o fundador foi dado no modelo com influência negativa quando ele também é o diretor-executivo da empresa (*Chief Executive Officer-CEOs*), aumentando a chance de fechamento.

Vale destacar que a idade média das 137 startups de foi de 2,248 anos ou aproximadamente 27 meses e que 55% dos fundadores também são diretores executivos de suas empresas. Isto pode indicar que a falta de conhecimento do CEO sobre o sistema de bicicleta compartilhada pode vir a ser um fator motivador do seu insucesso.

Em síntese, esses estudos apresentam um novo panorama científico sobre os fatores e variáveis que influenciam tanto a sobrevivência quanto o colapso dos sistemas de bicicleta compartilhada. A análise dessas variáveis vai além dos aspectos convencionais e operacionais, incorporando elementos socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura urbana, permitindo uma avaliação mais precisa e contextualizada.

Adicionalmente, acredita-se que a pandemia da COVID-19 tenha impactado significativamente os sistemas de transporte, incluindo os de bicicletas compartilhadas, ao provocar uma mudança expressiva na forma como as pessoas se deslocam. Esse cenário proporcionou uma oportunidade única para repensar a mobilidade urbana e promover alternativas mais sustentáveis e seguras.

Durante esse período, a preocupação com a saúde pública cresceu consideravelmente, resultando em uma maior valorização da mobilidade ativa, com destaque para o uso das bicicletas compartilhadas. Esse fenômeno impulsionou reflexões importantes sobre os modos de transporte mais seguros e sustentáveis, influenciando não apenas as políticas públicas, mas também o comportamento dos usuários. Tais mudanças, que envolvem uma maior aceitação e adoção das bicicletas como meio de transporte alternativo, serão exploradas com mais profundidade no tópico subsequente.

2.3. A BICICLETA COMPARTILHADA NO CONTEXTO DA PANDEMIA DA COVID-19

O primeiro caso registrado da COVID-19 por contaminação em humanos foi registrado em Wuhan, na China, em dezembro de 2019 e, partir dessa data, diversos epicentros de contaminação surgiram a nível mundial, tendo a Organização Mundial da Saúde decretado a emergência em saúde pública de importância mundial pela pandemia do novo coronavírus em 11 de março de 2020 (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021).

Frente a essa crise da saúde pública que durou mais de dois anos, os governos mundiais enfrentaram, principalmente entre janeiro e março de 2020, um grande dilema quanto a necessidade de impor restrições sociais e *lockdowns* para conter a disseminação do vírus que acontecia de forma rápida e descontrolada, a fim de aliviar os sistemas de saúde (ORRO; NOVALES; MONTEAGUDO, 2020).

Atividades econômicas e sociais foram suspensas, o transporte público foi fechado e o isolamento social se tornou a principal estratégia para conter a contaminação. Contudo, sabe-se que as políticas públicas de restrições e medidas de isolamento social não ocorreram de forma homogênea e efetiva em todos os países e centros urbanos, sobretudo naqueles com problemas socioeconômicos estruturantes.

Na realidade brasileira, Bracarence e Oliveira (2021) mostraram que os trabalhadores com ensino superior (bacharelado) foram aqueles que tiveram maior porcentagem de atividades suspensas durante a pandemia, enquanto os entrevistados com menor grau de instrução apresentaram maior proporção de atividades sem interrupção durante a crise sanitária. No que tange às atividades educacionais, a maioria foi realizada com mudanças (45%) ou mesmo não obtiveram continuidade (43%) durante o período pandêmico, intensificado entre o período de maio quando comparado a abril de 2020.

Na Colômbia, Heroy *et al.* (2021) demonstraram que as cidades colombianas mais desenvolvidas e com parques industriais consolidados apresentaram maior redução dos deslocamentos, afetando negativamente a mobilidade urbana. Entretanto, os autores não identificaram relação entre as políticas de isolamento e a redução da mobilidade urbana.

Os autores descrevem ainda que no contexto colombiano a população de melhor renda ou que trabalham em regiões comerciais e empresariais tiveram maior

probabilidade de se isolar e desenvolver atividades remotas do que aquelas de baixa renda com empregos informais. Isso evidenciou o grande desafio dos países em desenvolvimento, a destacar os latino-americanos, quanto ao isolamento social, visto que o impacto socioeconômico da crise sanitária aconteceu de forma desproporcional entre as camadas sociais.

Além das mudanças socioeconômicas causadas pela crise sanitária da COVID-19 associadas ao isolamento social, percebeu-se uma tendência de alteração junto aos padrões de consumo da população mundial. O fechamento do comércio foi o principal foco das restrições para evitar aglomerações, o que pode ter impactado os padrões usuais dos consumidores.

Dessa forma, acredita-se que o comércio eletrônico (*e-commerce*) tenha tido grande influência sobre as mudanças dos padrões de consumo durante e após a pandemia, principalmente quando voltado para produtos básicos. A preocupação quanto à contaminação em locais fechados como lojas, restaurantes, lanchonetes e shoppings, além das medidas de segurança e restrições, fez com que o número de entregas de encomendas aumentasse. Em Madrid, Espanha, Villa e Monzón (2021) destacam que o número de encomendas durante a pandemia chegou a duplicar.

Por outro lado, acredita-se que essa mudança no padrão de consumo tenha modificado não só o contexto urbano de entregas de alimentos, por exemplo, mas toda a cadeia de suprimento e de cargas dos países, já que as compras *on-line* ganharam força e aceleraram durante a pandemia. Isso evidencia uma maior demanda pelo transporte de carga, que pode ter seguido com efeitos positivos no período pós pandemia.

Já em relação ao aumento de entregas de alimentos por delivery, Ortiz-Prado *et al.* (2021) demostraram uma preocupação quanto à ocorrência de casos de contaminação da COVID-19 entre os motociclistas entregadores da cidade de Quito, Equador. De fato, enquanto as compras eletrônicas e as entregas por delivery tornaram a população menos exposta à contaminação, a exposição dos trabalhadores desse ramo (considerados essenciais) ao vírus tenha sido pouco discutida.

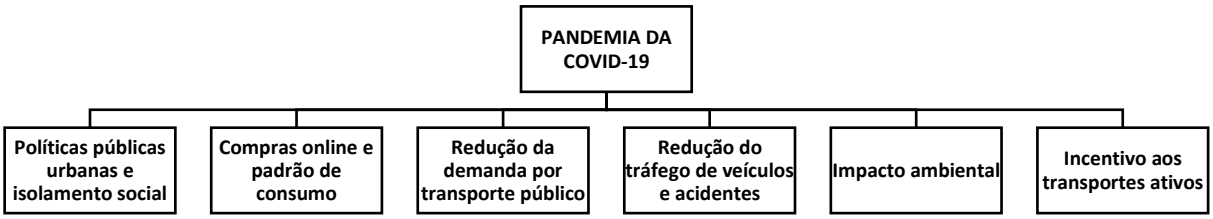
Além dos impactos apresentados, as restrições associadas às atividades econômicas e comerciais afetaram substancialmente o transporte público e o tráfego nas principais metrópoles mundiais (ORRO *et al.*, 2020; SCORRANO; DANIELIS, 2020; JENELIUS; CEBECAUER, 2020; FATMI, 2020). Essa queda brusca da demanda por transporte público e automóveis nos centros urbanos não só reduziram

o volume de acidentes, ruídos, mas também a quantidade de gases poluentes emitidos, dois objetivos incansáveis da mobilidade urbana sustentável (RAJPUT *et al.*, 2021; HORNBERG *et al.*, 2021; ALOI *et al.*, 2020).

Destarte, os serviços de transporte sob demanda (Maas) e a mobilidade compartilhada ganharam destaque nesse contexto, visto que tais modos foram mais seguros contra a disseminação do vírus, já que possui menor capacidade do que o transporte público convencional (TORRISI *et al*., 2021).

Nessa lógica, identificou-se na revisão da literatura seis grupos de aspectos que podem ter influenciado a mobilidade urbana global durante a pandemia da COVID-19 (Figura 7). Esses aspectos podem ter mudado a perspectiva não só dos passageiros urbanos, mas também das políticas públicas de transportes após a crise. São eles: políticas públicas urbanas, isolamento social e atividades remotas; padrões de consumo e compras *on-line*; redução do tráfego de veículos e acidentes; redução do impacto ambiental; redução da demanda por transporte público; e incentivo ao transporte ativo.

Figura 7 - Aspectos associados a pandemia da COVID-19 que tenham influenciado a mobilidade urbana.



Fonte: Elaborador pelo autor.

Os impactos diretos da pandemia da COVID-19 sobre a mobilidade urbana mundial também direcionaram a construção de políticas que priorizassem os transportes ativos para a reduzir a disseminação do vírus. A bicicleta, como transporte ativo, tem recebido um olhar diferenciado nesse contexto do “novo normal”, em que os incentivos ao seu uso se expandiram para além da implantação de novas infraestruturas cicloviárias, mas também para incentivos fiscais à indústria do ciclismo e ao encorajamento aos sistemas de bicicletas compartilhadas.

Para caracterizar a percepção dos moradores de Tessalônica, Grécia, quanto ao uso da bicicleta compartilhada na era da COVID-19, Nikiforiadis, Ayfantopoulou e

Stamelou (2020) aplicaram 101 questionários de campo e 122 questionários virtuais entre os meses de junho e julho do ano de 2020. Os resultados apontaram que a maioria dos respondentes (50,5%) utilizava mais frequentemente automóvel privado como motorista ou passageiro no período pré-pandemia, enquanto 24,3% usavam o transporte público e apenas 12,2% a bicicleta como modo de transporte mais frequente.

Em referência à percepção de risco de contágio do vírus entre os modos de transportes, os entrevistados acreditam que o automóvel privado e andar a pé foram os modos mais seguros do que a bicicleta compartilhada. Contudo, para os respondentes, a bicicleta compartilhada era mais segura do que o taxi e principalmente o transporte público.

Em relação a percepção dos usuários sobre a bicicleta compartilhada, a pesquisa mostrou que apenas os respondentes que já utilizam modos ativos responderam positivamente para a utilização das bicicletas após a pandemia. Isso pode evidenciar que os padrões de mobilidade urbana na cidade de Tessalônica, Grécia, permaneçam semelhantes aos vividos anteriormente à crise sanitária mundial.

Já para Nova York, Estados Unidos, Teixeira e Lopes (2020) investigaram o sistema de bicicleta compartilhada City Bike, implantado em 2013 e expandido em 2016 para Nova Jersey. Os autores utilizaram em sua análise os registros de viagens do sistema metroviário e do City Bike entre os meses de março de 2019 e fevereiro e março de 2020, como também os casos de COVID-19. O primeiro registro da doença em território americano foi computado em janeiro de 2020 (PADMANABHAN *et al.*, 2020).

No caso do sistema metroviário, Teixeira e Lopes (2020) mostram que o impacto durante a primeira semana de março de 2020 foi pouco sentido na demanda. Apenas a partir do dia 9 de março houve uma queda considerável de 12% nas viagens registradas pelo transporte de massa. Já no caso da bicicleta compartilhada, houve uma tendência oposta, com aumento de número de viagens à medida que o metrô começava a perder passageiros.

Os autores estimaram que houve um aumento de 33% de viagens nesse período em relação à semana anterior. Contudo, como aponta também os estudos de Pase *et al.* (2020), após a primeira morte confirmada em primeiro de março e a posterior declaração do estado de emergência na megalópole no dia 12 de março de 2020, ambas as demandas começaram a cair.

Em uma perspectiva cientifica semelhante, Pase *et al.* (2020) realizaram uma análise espaço-temporal no mês de março do ano de 2020 com registros de viagens do sistema City Bike, dados do transporte metroviário e socioeconômicos da cidade. De modo geral, os mapas temáticos criados pelos autores evidenciam forte redução de viagens em ambos os sistemas na primeira semana de março.

Essa queda brusca de demanda em ambos os sistemas é também confirmada pela análise de Wang e Noland (2021). Contudo, os mapas da última semana de março mostram um efeito distinto entre os dois sistemas, com a bicicleta compartilhada com menor redução de demanda nas áreas mais expressivamente impactadas pela pandemia.

Esses impactos, segundo os autores, podem estar correlacionados diretamente aos fechamentos de estabelecimentos não essenciais e escolas ao final do mês de março. Percebe-se, portanto, que a demanda na semana começa a se assemelhar às demandas dos finais de semana em ambos os sistemas em virtude das restrições e do isolamento social.

Além da demanda avaliada isoladamente, Pase *et al.* (2020) investigaram os efeitos da quebra de conectividade entre os dois modos de transporte devido ao declínio do uso do transporte metroviário, o que pode ter impactado as viagens integradas bicicleta-transporte público.

Assim, os autores apontaram que houve uma queda maior no número de saída e entregas de bicicletas nas estações consideradas “*hubs*” (com mais de 100 viagens como destino e origem) próximas a estações do transporte público por metrô e ônibus, principalmente entre a terceira e quarta semana de março, quando as atividades econômicas e sociais foram interrompidas.

Já Wang e Noland (2021) destacaram o aumento de viagens mais longas entre as bicicletas compartilhadas com origens no sistema metroviário, o que pode indicar usuários da integração que preferiram evitar um maior tempo no transporte público e, portanto, maior exposição ao vírus.

No que tange ao perfil dos usuários do sistema de transporte de Nova York, os resultados de Pase *et al.* (2020) indicaram uma menor queda das viagens em regiões de integração bicicleta/metrô onde existem classes trabalhadoras que não se adequam as atividades remotas (parte superior da ilha da Manhattan, Astoria e a maior parte do Brooklyn).

Ainda na perspectiva nova iorquina, Lei e Ozbay (2021) investigaram os efeitos da política do “fique em casa” (definida entre o período de 22 de março até 8 de junho de 2020) não apenas sobre o sistema City Bike, mas também sobre as viagens do sistema de táxi Yellow da região metropolitana.

Os resultados desta pesquisa apontaram que as variações das demandas na bicicleta compartilhada foram diferentes das apresentadas pelo sistema de táxi. Em relação aos taxis, há uma diminuição drástica de viagens ao longo da política de isolamento social, com redução de até 96% da demanda.

No caso das bicicletas compartilhadas houve demandas maiores nos meses de maio e junho de 2020 quando comparado ao ano anterior. Um resultado importante apresentado por esses autores é que o efeito da política “fique em casa” com restrições mais duras na cidade de Nova York pode ter tido impacto diferente entre os tipos de usuários do sistema. Os resultados evidenciam um maior efeito sobre a demanda dos usuários consumidores (eventuais) do que os membros assinantes (mensalistas) do City Bike, ou seja, aqueles recorrentes.

Em relação aos horários de pico e entre picos, como também as viagens nos finais semana, os autores também descreveram em sua análise um comportamento diferente da variação da demanda entre as bicicletas compartilhadas e os taxis durante a política. Diferentemente do City Bike, a análise de demanda dos táxis mostrou uma diferença estatisticamente significante de 32% nos horários de pico e 31% no período matutino, contudo não houve queda estatisticamente significante para os entre picos e os períodos noturnos.

No caso das viagens dos fins de semana, os autores apontaram uma maior demanda para usuários consumidores (eventuais) na bicicleta compartilhada, principalmente após o mês de maio de 2020. Já para os taxis as reduções nos fins de semana foram ligeiramente maiores (em aproximadamente 1%) do que nos dias de semana desde o mês de abril de 2020.

Em relação à influência dos espaços urbanos durante a pandemia no sistema nova-iorquino, An *et al.* (2024) demonstraram que áreas residenciais registraram um aumento na utilização. Em contrapartida, regiões industriais apresentaram redução na demanda, refletindo a desaceleração das atividades econômicas e a menor necessidade de deslocamentos para o trabalho.

Além disso, os autores destacam que a infraestrutura urbana associada à mobilidade, como a presença de ciclovias e a proximidade de estações de transporte público, mostrou-se determinante para a sustentação da demanda por bicicletas compartilhadas, reforçando os estudos anteriores. Em suma, regiões com maior densidade de ciclovias registraram maior adesão durante a crise sanitária.

Em uma proposta mais ampla, Padmanabhan *et al.* (2020) estudaram os impactos da pandemia sobre os sistemas de bicicleta compartilhada de Nova York, Boston e Chicago, comparando-os. Neste estudo de caso, os autores dividiram seu recorte temporal em três fases da crise sanitária em 2020: momento sem registros de casos; aumento do número de contaminações e mortes; e por fim, a posterior queda dos registros de COVID-19. Para análise foram utilizados os registros de viagens dos três sistemas.

De modo geral, os sistemas de Boston e Chicago são menores e mais dispersos espacialmente do que o sistema nova iorquino. Os resultados apontaram uma diferença da correlação entre a frequência e duração das viagens entre Boston e Nova York, com a segunda tendo apresentado maior correspondência entre as variáveis durante os períodos de aumento de casos e a posterior diminuição.

Os autores destacam que a duração de viagens em Boston não pareceu aumentar tanto como ocorrido em Nova York no período de intensificação de casos de COVID-19 (resultado também apontado por Wang e Noland, 2021), onde as restrições ao transporte público foram mais duras. Contudo, os resultados descrevem que o período de queda de casos teve padrões semelhantes em ambas as cidades.

Em relação à cidade de Chicago, os padrões de registros de viagem da bicicleta compartilhada têm efeitos semelhantes ao de Boston, com exceção da média do tempo de viagem que teve maior impacto. Os autores acreditam que o sistema de Nova York tenha tido mais efeitos sobre a bicicleta compartilhada do que as demais cidades em decorrência do maior número de casos de COVID-19, como já era esperado, devido à maior população.

Já em relação ao perfil sociodemográfico dos usuários de Chicago, Hu *at al.* (2021) demostram que as localidades com maior concentração de pessoas brancas, asiáticas e com menor população afrodescendente foram mais independentes do sistema de bicicleta compartilhada que os demais modos.

Além disso, os autores pontuam, que as áreas abertas, públicas e residenciais foram aquelas que menos sentiram o impacto da pandemia sobre a demanda das

estações de bicicleta compartilhada, como já era esperado devido às restrições junto às atividades econômicas e ao aumento de casos de COVID-19. Nessa lógica, as áreas mais centrais, com mais estações e bicicletas foram mais afetadas e demoraram mais tempo para recuperar suas demandas.

Outra investigação realizada em Chicago sobre o sistema de bicicletas compartilhadas Divvy revelou um aumento expressivo na demanda após o relaxamento das medidas de *lockdown*, com 97% dos setores censitários registrando crescimento. Regiões com maior concentração de trabalhadores essenciais e menor renda média apresentaram maior dependência desse sistema como alternativa ao transporte público, destacando sua relevância para deslocamentos essenciais durante a crise sanitária (HERNANDEZ *et al*., 2024).

Outro ponto importante apontado foi a dispersão da demanda causada pelo fechamento da *Lakefront Trail*, um importante corredor cicloviário recreativo situado ao longo da orla do lago Michigan, durante o *lockdown*. Esse fechamento evidenciou a necessidade de reestruturar a infraestrutura cicloviária da cidade, ainda concentrada no centro, para atender ao aumento da demanda em áreas periféricas.

Em Portland, Oregon, o estudo de Jin e Sui (2024) mostrou que, durante a pandemia, a distância ao centro da cidade foi determinante nas alterações dos fluxos. Contudo, observou-se uma diferença significativa entre os dois modos presentes no sistema: os patinetes apresentaram maior concentração espacial e maior sensibilidade à proximidade do centro histórico, enquanto as bicicletas elétricas, operando no modelo híbrido, demonstraram maior resiliência em áreas periféricas.

Destarte, os autores destacaram outros fatores associados ao ambiente construído, tais como a densidade de ciclovias, a iluminação pública e a arborização, que influenciaram na demanda. A presença de ruas bem iluminadas e arborizadas também atraiu um número significativo de usuários, refletindo a preferência por segurança e conforto térmico no contexto da pandemia.

Ainda na realidade americana, Jobe e Griffin (2021), investigaram as respostas ao enfretamento da crise sanitária pelos sistemas bicicleta compartilhada no país por meio de uma revisão da literatura baseada em comunicados, leis provisórias, decretos e documentos online.

Os autores descrevem que apenas cinco cidades (Boston, Nova York, Austin, Houston e Santo Antônio) dos onze sistemas investigados apresentaram algum tipo de resposta ao combate à crise sanitária em seus sites oficiais. Dentre os cinco

sistemas, apenas três incluíram as diretrizes oficiais do Centro Americano de Controle de Doenças para o uso de bicicleta compartilhada visando à segurança contra a contaminação dos seus usuários e funcionários.

Destarte, os autores aplicaram questionários *online* com 125 usuários da bicicleta compartilhada da cidade de Santo Antônio no Texas entre 5 e 26 de maio de 2020 para avaliar a percepção do usuário quanto ao uso da bicicleta compartilhada durante a pandemia. Para efetivação da pesquisa foi oferecido aos respondentes um *voucher* diário gratuito.

Os resultados mostram que 57% dos respondentes desconheciam as precauções e medidas de segurança recomendadas pelo operador do sistema. Analogamente, apenas 4,2% dos entrevistados responderam estar seguros em relação ao uso das bicicletas durante o período pandêmico.

Quanto aos resultados associados aos padrões sociodemográficos dos respondentes, os autores destacaram que o sistema atende uma parcela mais privilegiada da cidade, com melhores rendas. Todavia, o sistema teve potencial para ser utilizado pelos trabalhadores desempregados e com menores rendas durante a crise sanitária para reduzir os custos com deslocamentos e usufruir do ciclismo como apoio a saúde mental e física.

Ainda no contexto texano, Azimi, Davis e Pelletier (2024) destacam que o sistema de Houston registrou um aumento geral de 30,6% no número de viagens em 2020 em comparação a 2019. Esse crescimento foi acompanhado por mudanças nos padrões de uso, com as viagens de longa duração também apresentando aumento, enquanto as de curta e média duração sofreram redução.

Os resultados também revelaram um aumento do tempo de viagem em 73,52%, o que pode indicar a substituição de outros modos pela bicicleta durante a crise sanitária. Além disso, o uso do sistema mudou para horários fora dos picos tradicionais da manhã e da noite, o que sugere que os ciclistas buscaram evitar aglomerações e reduzir o risco de exposição ao vírus. Destarte, enquanto o uso por usuários recorrentes permaneceu estável, as viagens de membros esporádicos cresceram 55,7%.

No caso de Budapeste, Hungria, Bucsky (2020) descreve que a pandemia teve fortes efeitos sobre a mobilidade urbana da cidade, visto que é uma localidade marcada pela forte participação das viagens urbanas por transporte público e detém

uma das menores taxas de motorização da Europa (376 automóveis para cada 1000 habitantes).

Assim como Nova York, a cidade de Budapeste iniciou as suas restrições de mobilidade e o isolamento social durante o mês de março. O autor aponta que à medida que as restrições eram decretadas entre os dias 16 e 17 março, as demandas por transporte público e rodoviário caiam consideravelmente. No caso das viagens por bicicleta que envolviam ciclistas e usuários do sistema de bicicleta compartilhada essa tendencia ocorreu de forma distinta, com queda inicial, mas com aumento do uso da bicicleta à medida que se iniciaram as restrições de mobilidade.

Nessa lógica, a queda inicial de demanda pelo sistema de bicicleta compartilhado em meio à crise sanitária fez com que seu operador reduzisse o valor da mensalidade em 17 de março, de 12.000 HUF / ano (aproximadamente 37 dólares / ano) para 100 HUF (aproximadamente 0,3 dólares por ano). Tal incentivo teve um grande impacto na primeira semana, mas na semana seguinte praticamente não houve mais efeito.

Por fim, o autor afirma que apesar do sistema de bicicleta compartilhada ter pouco efeito sobre a demanda do transporte público na cidade, o incentivo financeiro na tarifa dado durante a pandemia pode ter tido potencial para diminuir o risco de contágio e espalhamento do vírus.

Chibwe *et al*. (2021) em um maior recorte temporal investigaram os registros de viagens do sistema de bicicleta compartilhada de Londres, Reino Unido, entre janeiro de 2012 (ano das Olimpíadas) e junho de 2020, totalizando 3.104 dias. O período de distanciamento social, marcado por *lockdowns* no país no início da pandemia, aconteceu entre os meses março e junho de 2020, com medidas mais restritivas até o dia 10 de maio.

Os autores apontam que a demanda pela bicicleta compartilhada em Londres teve taxas menores no recorte temporal apresentado (2012-2020) principalmente durante os finais de semana, feriados e crise sanitária da COVID-19. Entretanto, os autores pontuam um aumento da demanda em dias comerciais, em eventos especiais ocorridos na cidade, tais como as Olimpíadas de 2012, evidenciando a importância deste sistema para essas ocasiões.

Em síntese, Chibwe *et al*. (2021) destacam que os dados de registros de viagem durante a pandemia foram mais dispersos que os demais períodos em decorrência das políticas de restrição e isolamento social, havendo assim a

necessidade de dados secundários mais consolidados para um melhor entendimento sobre o comportamento da demanda por bicicletas compartilhadas durante a crise.

Já no âmbito francês, Furno, Pierrel e Oubraim (2024) também destacaram a resiliência das bicicletas compartilhadas em Lyon e Toulouse durante a pandemia. Apesar de ambas as cidades terem mantido seus padrões diários de uso entre 2019 e 2020, os picos da manhã sofreram alterações, especialmente em Toulouse, onde a recuperação dos níveis de atividade foi mais lenta. Lyon, por outro lado, apresentou maior crescimento, atribuído em parte à implementação de uma infraestrutura cicloviária temporária ampliada.

Vale destacar que os autores demonstraram um aumento no uso de bicicletas em áreas próximas a parques e espaços recreativos, vistos como alternativas seguras para deslocamentos e lazer durante o período de *lockdown*. Analogamente, assim como no caso nova-iorquino, a duração média das viagens aumentou nas duas cidades, evidenciando a bicicleta como uma alternativa viável a outros modos de transporte.

Na realidade italiana, Bergantino *et al.* (2021) destacam que apesar dos diversos benefícios apresentados pela bicicleta compartilhada como transporte ativo, a destacar o período da pandemia da COVID-19, as cidades italianas ainda exploram de maneira discreta esses sistemas. Por este motivo, os pesquisadores realizaram entre abril e maio de 2020 uma pesquisa nacional com jovens italianos com menos de 30 anos de idade. A pesquisa objetivou identificar os fatores de adoção dos potenciais membros deste sistema no país, associados à mobilidade, saúde e exercícios físicos.

Analogamente, a percepção dos potenciais usuários antes e durante a pandemia foram avaliados para caracterizar eventuais benefícios do sistema à saúde durante a crise sanitária. Dos 1.163 questionários coletados, 397 correspondiam a italianos que residiam em uma localidade do país com sistema de bicicleta compartilhada operando.

Os resultados apontaram maior preferência dos entrevistados para o transporte privado e apenas 56% da amostra tinha utilizado a bicicleta compartilhada no período pré-pandemia. Na perspectiva do período pós pandemia, 32% da amostra afirmou não ter certeza se utilizaria o sistema, enquanto 30% disseram provavelmente usufruir futuramente.

Ainda no contexto europeu, Tulcanaza-Prieto *et al.* (2023) demonstraram que o sistema Bicing, em Barcelona, Espanha, apresentou uma rápida retomada na

demanda após os impactos iniciais da pandemia de COVID-19. Entre 2021 e 2023, o número total de viagens não apenas voltou aos níveis anteriores, mas também os superou, registrando crescimentos significativos em 2021 (+31%) e 2022 (+16%).

Essa recuperação reforça mais uma vez a resiliência das bicicletas compartilhadas durante a crise sanitária, apesar da queda inicial causada pelos *lockdowns* de 2020. Em termos de preferências, observou-se uma mudança marcante para as bicicletas elétricas, que, em 2023, registraram mais de 2 milhões de viagens a mais em comparação às bicicletas convencionais.

Essa transição foi facilitada pela modernização prévia do sistema em 2019, que adaptou todas as estações para acomodar ambos os tipos, ampliando a flexibilidade e atraindo mais usuários. Apesar dessas mudanças, os padrões de uso diário, como os picos de deslocamentos matutinos e noturnos em dias úteis, além do aumento do uso recreativo aos finais de semana, permaneceram iguais após o período pandêmico.

Na República Eslovaca, Kubaľák, Kalašová e Hájnik (2021) avaliaram o sistema de bicicleta compartilhada da cidade Košice antes e durante a pandemia. O sistema foi escolhido por ser o maior do país com 91 estações e 1.000 bicicletas disponíveis. No país, o primeiro caso confirmado de COVID-19 ocorreu em 6 de março de 2020. A partir daí, medidas de isolamento social foram tomadas por meio de fechamento do comércio, escolas, faculdades e indústria.

Apenas em junho do mesmo ano, devido ao aumento discreto dos casos, o país aliviou as medidas, o que resultou em um aumento da mobilidade urbana. Contudo, em outubro com uma nova piora da situação de casos de contaminação, o governo endureceu novamente as medidas restritivas.

Sobre a demanda do sistema de bicicleta compartilhada, os autores apontaram que houve uma redução de 46,25% no aluguel de bicicletas em relação a 2019, totalizando uma diminuição de 110.065 viagens. Entretanto, houve um aumento considerável da demanda em dezembro de 2020 devido ao clima ameno e à redução das medidas restritivas.

Para identificar as vantagens do uso da bicicleta compartilhada durante a pandemia, Saatchian *et al.* (2021) questionaram 310 usuários do sistema de bicicleta compartilhada da cidade de Mexede no Irã. Em geral, esse estudo destaca a importância de benefícios sociais, econômicos, motivacionais, ambientais e de saúde para o momento da pandemia vivida, onde o isolamento social e as restrições

afetaram de forma substancial a vida das pessoas, de forma financeira, mental, psicológica e principalmente social.

Os resultados mostraram que os benefícios ambientais foram os que apresentaram melhor média avaliada entre os respondentes. Em segundo lugar, ficou a média dos benefícios à saúde. Nesse contexto, a saúde teve lugar de destaque, não só no combate a transmissão do vírus, mas também na construção de medidas que pudessem amenizar os efeitos do isolamento social sobre a saúde mental de forma segura, tais como atividades de esporte, lazer e recreação.

Em terceiro, o benefício financeiro obteve uma média alta como vantagem ao uso da bicicleta compartilhada, principalmente em decorrência da tarifa acessível. O impacto econômico da crise sanitária foi uma grande incógnita e desafio para as políticas públicas mundiais, com destaque para permanência e sustentabilidade do transporte público em que a demanda foi fortemente impactada. Nesse contexto, o sistema de bicicleta compartilhada, principalmente em países em desenvolvimento como Irã, torna-se importante aliado econômico para construção de uma qualidade de vida saudável.

Sobre o impacto da pandemia na realidade Chinesa, Shang *et al.* (2021) analisaram os dados de viagens de três sistemas de bicicleta compartilhada sem estações (*dockless*) da cidade de Pequim para prever as trajetórias de viagem por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os sistemas avaliados foram: Mobike, Hello bike e Qingju bike.

Os registros estudados correspondem ao período entre 14 de janeiro e 10 de março de 2020. Segundo os autores, os volumes mínimo e máximo de viagens registrados nesse período foram respectivamente 48.516 e 912.761. Comparado a média diária de 2019 de mais de 1,2 milhões de viagem ao dia, esse período teve uma média de apenas 311.606 registros diários.

Vale lembrar que o país foi o primeiro epicentro da doença, com o primeiro registro da doença em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan. Logo, os seus impactos sobre as demandas dos sistemas de transportes foram vistos com antecedência em relação às cidades pontuadas anteriormente.

Em síntese, os trabalhos científicos que investigaram os sistemas de bicicleta compartilhada durante a pandemia da COVID-19 evidenciaram que esses modos de transportes também sofreram efeitos negativos em sua demanda no período inicial da pandemia e posteriormente durante os decretos de *lockdowns*. Entretanto, é

perceptível que ao longo dos meses da crise sanitária, como no caso de Nova York, os sistemas tenham sofrido efeitos menos negativos do que o transporte público, e em alguns casos, inclusive aumentado a sua demanda.

A percepção do uso seguro do transporte ativo durante a pandemia foi umas das chaves para o prolongamento do seu uso mesmo após o fim da crise sanitária. Adicionalmente, incentivos de redução de tarifa, tal como aplicada em Budapeste na Hungria durante a pandemia, ou benefícios associados aos usuários recorrentes, podem se consolidar como políticas públicas de mobilidade sustentável a longo prazo, principalmente em cidades em que o automóvel ainda detém papel primário.

De uma maneira geral, esse período foi considerado um divisor de águas para o setor, reforçando a necessidade de políticas adaptativas e de investimentos contínuos em infraestrutura cicloviária, com o objetivo de promover a sustentabilidade financeira e a eficiência desses sistemas a longo prazo. Ademais, sua resiliência a crises em nível global evidenciou ainda mais o seu potencial como propulsor da mobilidade urbana sustentável.

2.4. IMPLANTAÇÃO, GESTÃO E GERENCIAMENTO DE SISTEMAS BICICLETAS COMPARTILHADAS: DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES

Como visto nos tópicos anteriores, os sistemas de bicicletas compartilhadas têm se tornado cada vez mais comuns em cidades ao redor do mundo, atraindo a atenção da comunidade científica como uma alternativa de transporte sustentável. Contudo, tanto a infraestrutura cicloviária existente, quanto a ser implantada com o sistema, assim como a escolha do modelo de gestão e governança, podem ser fatores determinantes para o sucesso desses sistemas (LEITE; ANDRADE; NETO, 2024).

Em cidades densamente povoadas, com estruturas urbanas complexas e redes de transporte consolidadas, as bicicletas compartilhadas facilitam deslocamentos de curta distância, contribuindo para a redução de congestionamentos e emissões de carbono. Entre os benefícios destacados, incluem-se os econômicos, como a geração de empregos diretos e indiretos, e os relacionados à saúde pública, ao promover atividades físicas regulares e auxiliar no combate à obesidade (NEW YORK CITY DEPARTMENT OF CITY PLANNING, 2009; TOOLE DESIGN GROUP; PEDESTRIAN AND BICYCLE INFORMATION CENTER, 2012; COHEN; SHAHEEN, 2018; FISHMAN, 2016; ZHANG *et al*., 2021; ITDP BRASIL, 2018).

Em Nova York, por exemplo, onde mais de 45% dos trabalhadores residem a menos de 8 quilômetros de seus locais de trabalho, as bicicletas compartilhadas podem apresentar um grande potencial para transformar as viagens pendulares diárias. Além disso, pode complementar a rede de transporte público, atuando como uma solução de primeira/última milha e ajudando a aliviar a demanda do sistema metroviário (NEW YORK CITY DEPARTMENT OF CITY PLANNING, 2009).

Cidades como Helsinque, na Finlândia, e Los Angeles, nos Estados Unidos, têm sido pioneiras na integração dos sistemas com o transporte público. Em Helsinque, o sistema City Bikes permite que os usuários utilizem bicicletas compartilhadas com o mesmo cartão ou aplicativo do transporte público. Essa abordagem promove uma experiência de viagem integrada, aumentando a conveniência e incentivando o uso de bicicletas como parte do deslocamento diário (ITDP, 2018).

Contudo, é preciso destacar que questões de segurança, como o incentivo ao uso de capacetes e campanhas educativas, são essenciais para a efetivação dos sistemas. O insucesso de alguns sistemas relatados ao redor do mundo pode ser, talvez, um reflexo de implantações realizadas antes da criação de uma infraestrutura adequada, o que resulta em baixa atratividade e adesão a médio e longo prazo (NEW YORK CITY DEPARTMENT OF CITY PLANNING, 2009; MIDGLEY, 2011; FISHMAN, 2016; ZHANG *et al*., 2021).

No quesito do gerenciamento dos sistemas, Moro, Fettermann e Cauchick-Miguela (2018) destacam que uma gestão bem-sucedida requer estratégias que assegurem a sustentabilidade financeira, incluindo a expansão de receitas por meio de outras alternativas como o *marketing*. No entanto, observam-se desafios organizacionais, como a falta de transparência entre os envolvidos e a dificuldade de estimar a demanda, o que exige contratos bem estruturados que definam direitos e responsabilidades, além de estratégias para mitigar potenciais riscos.

Para os autores, os aspectos culturais, como a aceitação do sistema e as mudanças nos hábitos centrados na cultura automobilística, também desempenham um papel crucial, podendo ser explorados em campanhas que evidenciem os benefícios econômicos, sociais e ambientais. Nesse contexto, o papel do governo é fundamental, fornecendo suporte regulatório, incentivos fiscais e promovendo a integração dos sistemas com políticas de mobilidade sustentável.

Segundo o ITDP (2018), a implantação e gestão de sistemas de bicicletas compartilhadas podem ser realizadas em quatro etapas (Tabela 5): planejamento, implementação, administração e operação. De modo geral, inicialmente, é necessário identificar quem serão os responsáveis por cada etapa, considerando a gestão pública, investidores, empresas privadas e a sociedade civil.

Na etapa de planejamento, são realizadas atividades preliminares de viabilidade técnico-econômica, como estudos de demanda, audiências públicas e a caracterização de potenciais localizações para as estações. Essa etapa geralmente recai sobre o poder público, mas, em alguns casos, pode contar com a contribuição de empresas, sociedade civil e ciclistas ativistas.

Outra questão fundamental dessa etapa é a reflexão sobre os modelos de financiamento e governança. Práticas e experiências mostram que a relação público-privada é determinante para a viabilidade de longo prazo (ITDP, 2018; Zhang *et al*., 2021). No contexto brasileiro, por exemplo, Leite, Andrade e Neto (2024) descrevem que a maioria dos modelos são financiados pela iniciativa privada, com colaboração limitada do poder público.

Além disso, a análise das estruturas de governança aponta desafios como a falta de regulamentação nacional, problemas de manutenção e logística, e iniquidades sociais e espaciais que dificultam o acesso equitativo ao serviço. Dessa forma, o modelo de gestão focado no âmbito privado pode comprometer a equidade social e o interesse público nas tomadas de decisão.

Na etapa de implementação ocorre decisões predominantemente técnicas, que envolvem a compra de equipamentos, instalação de estações e distribuição dos sistemas em pontos estratégicos definidos na etapa anterior. Essa fase geralmente está sob a responsabilidade de empresas privadas contratadas, que possuem expertise técnica e capacidade para fornecer equipamentos modernos e funcionais, de acordo com cada realidade (ITDP, 2018).

A eficiência dessa etapa depende do alinhamento entre o poder público e os investidores privados, garantindo que as necessidades locais sejam atendidas. Destarte, o tipo de sistema a ser implantado, seja com estações, sem estações ou híbrido, integrado ou não ao transporte público, é um fator que, além de determinar o sucesso, influenciará diretamente o orçamento.

Na realidade americana, relatório realizado em 2012 indicou que os custos iniciais de implantação podem variar de US$ 4.200 a US$ 5.400 por bicicleta,

enquanto os custos operacionais mensais situam-se entre US$ 150 e US$ 200 por bicicleta (TOOLE DESIGN GROUP; PEDESTRIAN AND BICYCLE INFORMATION CENTER, 2012).

Ainda no contexto americano, o sistema de bicicletas compartilhadas de Nova York foi inicialmente projetado para implantar 10.000 bicicletas, com um custo estimado de US$ 30 a 40 milhões em capital e US$ 22 milhões anuais em operação. Contudo, em fases posteriores, o plano foi expandido para 49.000 bicicletas, cobrindo quase toda a cidade, com um custo total projetado de US$ 200 milhões (NEW YORK CITY DEPARTMENT OF CITY PLANNING, 2009).

Por fim, destacam-se as duas fases finais do processo de implantação e gerenciamento: a administrativa e a de operação. A primeira é destinada à realização de análises de dados, pesquisas e ajustes nas estações. Já a operação abrange atividades como o reposicionamento de bicicletas, a manutenção de estações e equipamentos, e o relacionamento com os usuários. Ambas as etapas estão, em sua maioria, atribuídas a empresas privadas, com supervisão do poder público para assegurar níveis de serviço adequados (ITDP, 2018; ZHANG *et al*., 2021).

É preciso destacar, neste ponto, que o avanço tecnológico tem facilitado e desempenhado um papel essencial nessas etapas. Soluções como sistemas de rastreamento por GPS, pagamentos digitais e análise de *big data* têm permitido uma gestão mais eficiente e uma melhor experiência para os usuários. Por exemplo, sistemas sem estações fixas, equipados com dispositivos de GPS e bloqueio inteligente, permitem que os usuários iniciem e terminem suas viagens em qualquer lugar, aumentando a conveniência e a acessibilidade (COHEN; SHAHEEN, 2018; LONG; VAN WAES, 2021).

Apesar dos benefícios, o uso de tecnologia também apresenta desafios, como a exclusão digital de populações sem acesso a *smartphones* ou meios de pagamento digital. Para mitigar esse problema, programas de inclusão digital e tarifas subsidiadas podem ser implantados. Esses programas visam democratizar o acesso, garantindo que eles atendam todas as camadas da população, incluindo as mais vulneráveis (ITDP, 2018).

Tabela 5 - Etapas de implantação e gerenciamento de sistemas de bicicleta compartilhada.

	Planejamento	Implementação	Administração	Operação
Etapas	Estudos de demanda	Compra do equipamento	Análise de dados	Reposicionamento de bicicletas
	Estudos de viabilidade econômica	Instalação	Realização de pesquisas	Manutenção (estações e bicicletas)
	Estudos de localização de estações		Ajustes em posicionamento de estações	Relação com os usuários
			Monitoramento e tomada de decisões	Interação com público
Responsáveis	Poder público	Empresas privadas	Empresas privadas	Empresas privadas
	Empresas privadas	Poder público	Poder público	Poder público
	Sociedade civil			

Fonte: ITDP (2018). Adaptado pelo autor.

Em relação aos aspectos de governança, destacam-se três principais abordagens, que podem ser classificadas como gestão privada, parcerias público-privadas (PPP) e gestão pública. No Brasil, Leite, Andrade e Neto (2024) descrevem que a maioria dos sistemas é operada por empresas privadas selecionadas por meio de licitação pública ou chamamento público, com financiamento proveniente de publicidade, patrocínios, receitas dos usuários e recursos públicos.

Analogamente, nos Estados Unidos, os modelos predominantes de sistemas de bicicletas compartilhadas geralmente se enquadram em duas categorias principais: gestão privada e parcerias público-privadas (PPP). Esses sistemas são frequentemente operados por empresas privadas sob contrato com governos municipais ou autoridades de transporte (ITDP, 2018, COHEN; SHAHEEN, 2018).

Na gestão privada, o ente governamental responsável pela mobilidade e pelos transportes, ou o ente municipal, transfere a responsabilidade de implementação e operação para empresas privadas. Esse modelo é frequentemente mais eficiente em termos de inovação tecnológica e expansão, uma vez que o setor privado busca otimizar recursos e atender a nichos de mercado. Contudo, a gestão privada pode priorizar áreas com maior potencial de lucro, negligenciando populações de baixa renda ou regiões periféricas, o que pode criar barreiras ao acesso equitativo e universal (ZHANG *et al*., 2021).

As parcerias público-privadas (PPPs) combinam elementos dos modelos público e privado, permitindo que o setor público defina diretrizes, objetivos e atos regulamentares, enquanto o setor privado assume parcial ou exclusivamente a operação. Essa abordagem é amplamente utilizada, pois promove a sustentabilidade financeira e a eficiência operacional, ao mesmo tempo em que mantém os sistemas alinhados aos interesses públicos de mobilidade urbana. Apesar disso, as PPPs exigem contratos bem elaborados e fiscalização contínua para evitar que os interesses comerciais se sobreponham aos sociais e técnicos (ITDP, 2018).

De modo geral, a terceira opção de governança abrange a administração e operação totalmente públicas, ou seja, o governo assume total controle sobre a implementação, operação e manutenção do sistema. Esse modelo apresenta como vantagem a possibilidade de integrar os sistemas diretamente às políticas públicas e à rede de mobilidade e transportes, garantindo acesso equitativo e atendendo a objetivos sociais mais precisos.

No entanto, esse cenário pode demandar altos níveis de financiamento público e expertise técnica, o que pode limitar sua aplicação em cidades com orçamentos reduzidos ou capacidades institucionais restritas. Em países como o Brasil, o desafio é ainda maior, visto que as responsabilidades de trânsito, mobilidade e transportes são atribuídas aos municípios (Leite, Andrade e Neto, 2024).

Em outra perspectiva, o ITDP (2018) apresenta cinco cenários de governança que têm sido explorados em sistemas de bicicletas compartilhadas (Tabela 6): cenários A, A1, B, C e D. Esses cenários variam conforme a forma de participação do poder público e privado, cada um apresentando vantagens e desafios específicos, com experiências e práticas marcantes em cada caso.

No primeiro cenário (A), o poder público, no papel de ente governamental apropriado, contrata os equipamentos e as empresas responsáveis pela operação do sistema, com o contrato estipulado para durar o mesmo período da vida útil dos ativos. Esse modelo apresenta como vantagem a transferência do risco operacional para as empresas contratadas.

No entanto, como o contrato está diretamente interligado à vida útil e à depreciação dos equipamentos, a longa duração dos contratos, embora necessária para garantir o retorno sobre o investimento, pode limitar a flexibilidade para ajustes futuros. Sistemas implantados em Denver, nos Estados Unidos, e em Paris, na França, exemplificam este modelo com relativo sucesso.

O segundo cenário (A1) é uma adaptação do primeiro, na qual os contratos de fornecimento de equipamentos e operação são divididos entre empresas diferentes. Essa divisão permite maior flexibilidade em cada etapa do processo de planejamento e implantação, otimizando os prazos contratuais. Contudo, a separação pode gerar conflitos operacionais, como demonstrado em um sistema de Nova York, onde o alinhamento institucional entre fornecedores e operadores tornou-se um desafio.

No que concerne ao terceiro cenário (B), o poder público assume integralmente a operação do sistema após adquirir o hardware e software necessários com recursos próprios. Esse modelo, como discutido anteriormente, oferece controle total ao ente governamental, mas exige tempo e um alto investimento público para a compra de equipamentos e o desenvolvimento de expertise técnica e operacional, incluindo a contratação de equipe especializada. São exemplos desse modelo os sistemas localizados em Cracóvia, na Polônia, Rosário e Buenos Aires, na Argentina, e Hangzhou, na China.

O quarto cenário (C) combina os cenários anteriores, em que a compra de equipamentos é realizada pelo poder público, enquanto a operação do sistema é delegada a uma empresa especializada. Essa configuração permite contratos operacionais mais curtos e flexíveis, além de maior agilidade em ajustes operacionais. Contudo, o alto custo inicial da aquisição de equipamentos pode ser uma barreira significativa, especialmente em futuras expansões, como evidenciado nos casos de Washington, D.C., nos Estados Unidos, e Barcelona, na Espanha.

Finalmente, no cenário D, o poder público concede permissões ou concessões para que empresas privadas operem o sistema. Essa abordagem reduz o envolvimento direto do poder público na operação, mas exige uma forte regulação para assegurar que os interesses sociais, técnicos e de mobilidade urbana sustentável sejam atendidos. Cidades como Londres, no Reino Unido, e São Paulo, no Brasil, exemplificam a importância de monitoramento contínuo e de atos regulatórios elaborados por especialistas nesses modelos.

Cada um desses cenários reflete uma interação distinta entre os setores público e privado, sendo essencial considerar os objetivos específicos do sistema, as características urbanas locais e os recursos disponíveis ao selecionar o modelo mais adequado. Destarte, é importante destacar que não existe um modelo de governança absolutamente certo ou único no planejamento de transportes, mas sim modelos que

devem ser adaptados e incorporados às diferentes realidades socioeconômicas, especialmente na América, marcada por realidades geográficas e socioeconômicas distintas (COHEN; SHAHEEN; 2018).

Tabela 6 - Cenários de governança para sistemas de bicicletas compartilhadas.

Cenário	Descrição	Vantagem	Desvantagem	Exemplo
A	O poder público municipal faz a contratação de todo o sistema (hardware e software) e da operação. A duração do contrato equivale ao tempo de depreciação do equipamento.	Operador assume o risco da operação de acordo com metas de desempenho.	Longa duração do contrato.	Denver, Boulder (EUA), Paris (França)
A1	O poder público municipal contrata empresas diferentes para equipamento e operação.	Oportunidade de diversificar os prazos dos contratos (longo para hardware e mais curto para operação).	Possibilidade de conflitos operacionais entre as duas empresas/padrões.	Nova York (EUA)
B	O poder público municipal opera o sistema diretamente, comprando hardware e software de empresa especializada.	O município tem total controle da operação.	Necessário tempo para reunir expertise para uma operação de qualidade.	Cracóvia (Polônia), Rosário e Buenos Aires (Argentina), Hangzhou (China)
C	O poder público municipal compra o equipamento e contrata empresa especializada para a operação.	O contrato de operação pode ser mais curto e ajustes podem ser feitos mais rapidamente.	Alto custo de compra.	Washington D.C. (EUA), Boston (EUA), Barcelona (Espanha)
D	O poder público concede permissões para a operação, realizada por empresas especializadas.	Permissões com graus de monitoramento e exigências prévias.	Necessidade de regulação contínua.	Londres (Reino Unido), São Paulo (Brasil)

Fonte: ITDP, 2018. Adaptador pelo autor.

Em suma, a revisão da literatura apresentada até aqui, ao traçar a trajetória das bicicletas compartilhadas nas últimas décadas, demonstra a influência das transformações tecnológicas, urbanas e sociais em sua sustentabilidade como um todo. Desde sua origem na histórica cultura ciclística holandesa até sua consolidação como uma alternativa de mobilidade compartilhada, esses sistemas passaram por diversas fases de evolução, enfrentando desafios estruturais, operacionais, culturais e, como destacado anteriormente, de governança.

Dessa forma, a expansão a partir dos anos 2000 e o posterior e recorrente colapso desses sistemas evidenciam que fatores como governança eficiente, infraestrutura adequada, financiamento sustentável e adaptação ao contexto local

podem ser determinantes para o sucesso. Além disso, a análise da literatura indica que a viabilidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas depende de um planejamento integrado que considere variáveis como demanda, acessibilidade, segurança e suporte tecnológico.

Modelos operacionais diversificados, que vão desde sistemas baseados em estações até formatos em fluxo livre, requerem estratégias distintas de implementação e gerenciamento. Ao mesmo tempo, desafios como a regulamentação, a manutenção e a aceitação social do uso da bicicleta como meio de transporte continuam a ser entraves que precisam ser enfrentados com soluções inovadoras. A experiência de diferentes cidades ao redor do mundo demonstra que o sucesso desses sistemas está atrelado a uma combinação de incentivos governamentais, parcerias público-privadas e engajamento da população.

Diante dessa realidade, a implantação e gestão de sistemas de bicicletas compartilhadas exigem uma abordagem multidimensional que considere não apenas os aspectos técnicos e operacionais, mas também os fatores culturais e socioeconômicos de cada região. Assim, o avanço das bicicletas compartilhadas como elemento fundamental da mobilidade urbana sustentável depende da capacidade de adaptação às necessidades locais e da formulação de políticas públicas que promovam sua longevidade e inclusão no planejamento urbano das cidades.

3. METODOLOGIA

Diante do surgimento, expansão e colapsos observados nos sistemas de bicicletas compartilhadas no continente americano, esta pesquisa tem como objetivo investigar os fatores que influenciam o fechamento ou a permanência desses sistemas. Para isso, o processo metodológico foi dividido em três macro etapas: construção do marco teórico, construção de bancos de dados e aplicação de modelagens mistas.

Na construção do marco teórico, primeiramente, foram investigados documentos científicos que abordaram o surgimento, expansão e colapsos dos sistemas de bicicletas compartilhadas. Essa etapa foi fundamental para compreender a evolução histórica das gerações de bicicletas compartilhadas até os dias atuais, bem como seus problemas e desafios.

Na sequência, foram pesquisados artigos sobre o impacto da pandemia de COVID-19 nos sistemas de bicicletas compartilhadas, com o objetivo de entender se a emergência de saúde pública que afetou o mundo entre 2020 e 2022 impactou a sobrevivência e vitalidade desses sistemas. Além disso, buscou-se avaliar esse panorama também no contexto do continente americano, com foco em trabalhos que investigaram a demanda em cidades dessa região. Essas duas etapas serviram de base para a construção do capítulo anterior.

Em um segundo momento, foi desenvolvido um estado da arte mais específico, com o objetivo de identificar investigações científicas que avaliaram, direta ou indiretamente, o fechamento de sistemas de bicicletas compartilhadas. Para isso, utilizou-se a palavra-chave "*bike sharing*" combinada com os descritores "*failure*", "*unsuccessful*", "*barriers*" e "*difficulties*", na busca por documentos científicos publicados entre 2013 e 2023 na base de dados *SCOPUS*.

A escolha dessa base deve-se ao seu amplo reconhecimento internacional e à inclusão de periódicos de alta relevância, com metodologias complexas, que poderiam servir de referência para a construção das modelagens. Dessa forma, foi utilizada a ferramenta avançada de busca de modo que os resultados contivessem os termos combinados simultaneamente nos títulos, *abstracts* e palavras-chaves. Em 21 de abril de 2023, foram encontrados 91 documentos científicos relacionados às combinações de palavras chaves (Tabela 7).

Tabela 7 - Levantamento quantitativo da pesquisa.

TERMOS E COMBINAÇÕES	NÚMERO DE DOCUMENTOS CIENTÍFICOS
"bike sharing" + "failure"	39
"bike sharing" + "difficulties"	30
"bike sharing" + "barriers"	19
"bike sharing" + "unsuccessful"	3
Total	91

Fonte: Elaborador pelo autor.

Dentre os 91 artigos inicialmente selecionados, foram avaliados aqueles que abordavam, direta ou indiretamente, falhas em sistemas de bicicletas compartilhadas. Artigos que apenas mencionavam casos ou apresentavam métodos de investigação sem análises aplicadas foram descartados. Como resultado, restaram nove artigos que efetivamente investigaram as falhas e os fatores condicionantes associados aos sistemas analisados. Esses artigos estão listados na Tabela 8 abaixo.

É importante destacar que esta análise bibliográfica apresenta um caráter inovador, considerando que o mundo científico tem se concentrado ao longo da última década em explorar o reequilíbrio e balanceamento das bicicletas compartilhadas sob diferentes perspectivas, como algoritmos, otimizações e impactos operacionais da demanda (CHEMLA; MEUNIER; WOLFLER CALVO, 2013; DELL'AMICO *et al*., 2014; LIU *et al*., 2016; CHARDON; CARUSO; THÉVENIN, 2016; SCHUIJBROEK; HAMPSHIRE; VAN HOEVE, 2017; PAL; ZHANG, 2017; CRUZ *et al*., 2017; DELL'AMICO *et al*., 2018; CHIARIOTTI *et al*., 2018; WANG *et al*., 2022).

Contudo, percebe-se uma lacuna no aprofundamento sobre os fatores condicionantes que podem levar ao insucesso desses sistemas em diferentes contextos urbanos. Não é por acaso que esses novo artigos da Tabela 8 foram publicados nos últimos seis anos, um período que evidencia uma crescente ocorrência de sistemas descontinuados e uma preocupação mais ampla com esses casos, em contraste com aqueles que ainda permanecem em operação.

Tabela 8 - Artigos avaliaram direta ou indiretamente falhas de sistemas de bicicletas compartilhadas.

	Título	Autores	Ano	Objeto de estudo	Localização
1	***Promoting public bike-sharing: A lesson from the unsuccessful Pronto system***	Sun F.; Chen P.; Jiao J.	2018	sistema de bicicleta compartilhada com docas	Seattle, USA
2	***Barriers to bicycle sharing systems implementation: Analysis of two unsuccessful PSS***	Moro S.R.; Imhof A.C.; Fettermann D.C.; Cauchick-Miguel P.A.	2018	2 sistemas de bicicleta compartilhada com docas (estações)	Sul do Brasil

(continua na próxima página)

Tabela 8 - Artigos avaliaram direta ou indiretamente falhas de sistemas de bicicletas compartilhadas (continuação).

	Título	Autores	Ano	Objeto de estudo	Localização
3	***A Fuzzy Association Rules Mining Analysis of the Influencing Factors on the Failure of oBike in Taiwan***	Wu, S.	2020	Empresa de bicicleta compartilhada sem estações	Taiwan, Asia
4	***Sustaining the development of campus bike-sharing: A lesson from the unsuccessful practice in Dalian Maritime University, China***	Sun S.; Duan Z.	2021	sistema de bicicleta compartilhada universitário/ 317 estudantes universitários	Dalian Maritime University, China
5	***When bike sharing business models go bad: Incorporating responsibility into business model innovation***	Long, T.B. , van Waes, A.	2021	7 empresas de bicicleta compartilhada	Amsterdam, Rotterdam e Utrecht, Nethelands
6	***Life duration of bike sharing systems***	Zhang, J., Meng, M., Koh, P.P., Wong, Y.D.	2021	106 sistemas de bicicleta compartilhada	106 cidades ao redor do mundo.
7	***The death and life of bike-sharing schemes in Spain: 2003–2018***	Anaya-Boig, E., Douch, J., Castro, A.	2021	81 sistemas de bicicleta compartilhada	Espanha
8	***Imputation of trip data for a docked bike-sharing system***	Thomas M.M.; Verma A.; Mayakuntla S.K.	2022	Sistema de bicicleta compartilhado com docas (estações)	Indian Institute of Science (IISc), Bengaluru, India
9	***The survival of bike-sharing startups in China: an empirical analysis of the influencing factors***	Zhou Y.; Park S.; Wang Q.; Zhang J.Z.; Behl A.	2023	137 startups de bicicleta compartilhada	China

Fonte: Elaborador pelo autor.

Posteriormente, as variáveis citadas e investigadas nesses estudos foram compiladas em uma tabela (Tabela 9) com o objetivo de caracterizar os potenciais fatores operacionais, sociodemográficos, econômicos, políticos, físicos, climáticos, topográficos, culturais e de mobilidade urbana que influenciam a vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas.

Nesse contexto, torna-se crucial avaliar quais fatores foram mais explorados, pois essa análise se torna fundamental para a construção do banco de dados. Além disso, foi necessário verificar a disponibilidade e a viabilidade desses dados no contexto do continente americano, considerando que esta pesquisa propõe utilizar apenas dados abertos (*open source*).

Dos nove artigos resultantes das combinações dos termos, nove grupos de variáveis foram identificados entre eles: **gestão e operação do sistema; opinião do usuário; uso do solo; rede viária e transporte público; densidade urbana e sociodemográfico; clima/tempo; barreiras para implantação; e modelo de negócio** (Tabela 9).

O fator mais citado e utilizado foi o número de habitantes / densidade populacional com quatro referências. Na sequência, com três abordagens, os grupos

de fatores mais citados foram: tarifa/tipo de pagamento; número/concentração das estações; número de bicicletas e poder de compra per capita / PIB regional.

No demais, oito grupos de fatores apresentaram duas citações, sendo: número de viagens; categorias de usuários; apoio financeiro; idade do sistema; área de abrangência/localização geográfica; tipo de dia; custo/preço; e barreira organizacional/governamental. Os demais fatores foram explorados apenas uma vez.

Tabela 9 - Grupo de fatores investigados em falhas de sistemas de bicicleta compartilhada.

Fatores	Artigo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Gestão e operação do sistema	número de viagens		x							x	2
	duração da viagem		x								1
	tarifa/tipo de pagamento	x	x		x						3
	capital de risco	x									1
	tamanho da equipe	x									1
	número/concentração das estações		x						x	x	3
	origem e destino		x								1
	número de bicicletas			x					x	x	3
	capacidade (bicicletas x estações)				x						1
	categorias de usuários				x					x	2
	experiência empreendedora	x									1
	apoio financeiro	x			x						2
	idade do sistema	x		x							2
	status (aberto/fechado)			x							1
	dados ausentes/errados		x								1
	área de abrangência / localização geográfica	x			x						2
	tipo de dia		x							x	2
Opinião do usuário	valor social							x			1
	gerenciamento					x					1
	fornecedor de serviços					x					1
	segurança							x			1
	custo/preço					x		x			2
	estacionamento para bicicletas					x					1
	conveniência							x			1
	qualidade de serviço							x			1
	intenção							x			1
Uso do solo	área residencial									x	1
	área comercial									x	1
	área empresarial									x	1
	áreas verdes e de escolas									x	1
Rede viária e transporte público	rede cicloviária									x	1
	iluminação das vias									x	1
	arborização das vias									x	1
	inclinação das vias									x	1
	paradas e itinerários do transporte público									x	1

(continua na próxima página)

Tabela 9 - Grupo de fatores investigados em falhas de sistemas de bicicleta compartilhada (continuação).

Densidade Urbana e Sociodemográfico	**densidade domiciliar**							x	1
	frota/posse de automóveis						x		1
	número de habitantes / densidade populacional	x		x	x		x		4
	poder de compra per capita / PIB regional	x		x	x				3
	densidade do emprego							x	1
	rendimento					x			1
	gênero/sexo					x			1
	idade					x			1
	escolaridade					x			1
Clima/Tempo	**temperatura média**							x	1
	zona climática				x				1
	precipitação							x	1
	umidade							x	1
	visibilidade							x	1
	velocidade do vento							x	1
Barreira	**organizacional/governamental**				x		x		2
	regulatória						x		1
	cultural						x		1
Proposta do modelo de negócio	**propósito**					x			1
	impactos sócio-éticos potenciais					x			1
	Inclusão					x			1
	reflexividade					x			1
	responsividade					x			1
	criação e entrega de produtos					x			1
	captura do produto					x			1

Fonte: Elaborador pelo autor.

3.1. CONSTRUÇÃO DOS BANCOS DE DADOS

Após a construção do marco teórico e a investigação das variáveis que podem estar associadas ao fechamento dos sistemas, iniciou-se a etapa de coleta e construção dos bancos de dados. Como mencionado anteriormente, buscou-se trabalhar com bancos de dados abertos e livres, com o objetivo de facilitar a compilação das informações e o posterior tratamento para análise e modelagem.

Nessa etapa foram coletadas informações sobre os sistemas de bicicleta compartilhada pela plataforma *The Meddin Bike-sharing World Map* (Figura 8, disponível em https://bikesharingworldmap.com/). Esse banco é uma fonte abrangente e atualizada sobre sistemas de bicicletas compartilhadas em todo o mundo. Ele foi criado para registrar informações sobre a criação, operação e encerramento desses sistemas, e é mantido por uma equipe global de mapeadores que agregam dados a partir de fontes abertas, como notícias e relatórios (MEDDIN BIKE-SHARING WORLD MAP, 2022).

Para a coleta dos dados foi utilizado a ferramenta de mineração de dados *Data Scraper*, que coletou sistemas mapeados pela base até 30 de junho de 2023. Alguns estudos já utilizaram técnicas de mineração para coletar dados de bicicletas compartilhadas e compreender padrões de uso, otimizar análises e prever demandas potenciais (VOGEL; GREISER; MATTFELD, 2011; O'BRIEN; CHESHIRE; BATTY, 2014; LI *et al*., 2015; SHEN; ZHANG; ZHAO, 2018)

Como o foco do presente trabalho é o continente americano, os dados foram processados no software aberto QGIS, onde uma filtragem foi realizada para selecionar apenas sistemas localizados nessa região. Além do *status* dos sistemas, foram levantadas informações operacionais, incluindo: tipo de sistema; quantidade de bicicletas; quantidade de estações (quando existe); data de início de operação; data de término de operação (caso o sistema tenha sido encerrado); tempo de duração do sistema (considerando a data de operação até 30 de junho de 2023, para sistemas ainda ativos).

No total, foram extraídas informações de 781 sistemas nas Américas. Nesta etapa, foi realizada uma análise descritiva para compreender como esses sistemas estão distribuídos, considerando sua porção geográfica (América do Norte, Central e do Sul), sua divisão cultural (anglo-saxônica ou latina) e a distribuição por países.

Figura 8 - *The Meddin Bike-sharing World Map*.

Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2022).

3.1.1. Construção do Banco de Dados Inicial (BD0)

Após o tratamento da base minerada e a exclusão de sistemas com informações incompletas e *status* que não se enquadravam como aberto (*open*) ou permanentemente fechado (*permanently closed*), o banco de dados resultante foi codificado como BD0 (Banco de Dados Inicial). Esse banco foi estruturado com as variáveis descritas na Tabela 10 e resultou em um total de 576 observações.

No que se refere às variáveis como nome da cidade e país onde o sistema de bicicletas está localizado, os dados também foram extraídos da plataforma *The Meddin Bike-sharing World Map*. As coordenadas geográficas (latitude e longitude) das cidades que possuem sistemas de bicicletas compartilhadas foram obtidas por meio da ferramenta *Geocode by Awesome Table*, que calcula coordenadas geográficas com uma boa precisão. Outras variáveis, como a porção geográfica do continente americano e a porção cultural, foram classificadas pelo autor.

Tabela 10 - Descrição das variáveis do banco de dados inicial (BD0).

Variável	Descrição	Tipo	Fonte
status	Status do sistema de bicicleta compartilhada até 31/06/2023	categórico	*The Meddin Bike-sharing World Map* (https://bikesharingworldmap.com/)
tipo	Tipo do sistema em relação a sua operação (com estações, sem estações e outros)	categórico	
número de bicicletas	Número total de bicicleta	contínuo	
duração	Tempo de duração em dias	contínuo	
nome	Nome da cidade onde o sistema está localizado	nominal	
país	País do continente americano onde o sistema está localizado	nominal	
porção geográfica	Porção geográfica do continente americano onde o sistema está localizado (América do Norte, América Central e América do Sul)	categórico	Classificados pelo autor
porção cultural	Porção cultural do continente americano onde o sistema está localizado (América Anglo-saxônica e América Latina)	categórico	
latitude	Latitude da cidade do sistema	continuo	Extraído do complemento *Geocode by Awesome Table*
longitude	Longitude da cidade do sistema	continuo	

Fonte: Elaborador pelo autor.

3.1.2. Construção do Banco de Dados 1 (BD1)

Após a conclusão da fase anterior, foram coletadas variáveis adicionais em bancos de dados abertos e disponíveis *online*, priorizando aquelas com maior disponibilidade e compatibilidade com os fatores explorados no marco teórico. Essas variáveis complementares foram essenciais para a análise das características dos locais que implantaram os sistemas de bicicletas compartilhadas, permitindo explorar seus diferentes contextos urbanos de forma mais detalhada.

De modo geral, foram priorizados os seguintes bancos de dados secundários, em ordem de relevância: censos oficiais; bases de dados econômicos e demográficos; bancos com informações sobre clima e topografia; e, por último, relatórios governamentais, notícias e artigos jornalísticos. Na sequência, serão apresentadas de forma detalhada as fontes e os processos utilizados para a coleta dessas informações.

As novas variáveis foram incluídas ao BD0, resultando na criação do Banco de Dados 1 (BD1). Em alguns casos, os dados foram estendidos às cidades devido à escala geográfica disponível. Por exemplo, a porcentagem de pessoas com pelo menos ensino superior, originalmente associada a um estado ou condado, em alguns casos, foi ajustada para o município correspondente. Optou-se por utilizar a escala urbana municipal, considerando que a maioria dos censos dos países americanos consolida os dados por localidades ou cidades e, em alguns casos, por regiões metropolitanas, como ocorre na Argentina.

Esse processo de coleta e processamento dos dados seguiu uma abordagem sistemática. As variáveis foram organizadas em categorias relacionadas a aspectos demográficos e econômicos; de mobilidade urbana; climáticos; topográficos e específicos dos sistemas de bicicletas compartilhadas.

Um aspecto que chamou a atenção foi o maior nível de organização e padronização dos recenseamentos oficiais nos países da América do Norte, incluindo o México, que reúnem a maioria dessas informações em um único site, abrangendo até mesmo indicadores de mobilidade urbana. Por outro lado, na América Central e do Sul, há menor padronização, transparência e conformidade dos dados, o que tornou o processo de coleta e processamento mais lento e desafiador. Em muitos casos, foi necessário recorrer a fontes jornalísticas, notícias e relatórios governamentais para complementar as informações.

As variáveis demográficas e econômicas, como população e extensão territorial, foram extraídas de censos oficiais e bases de dados, incluindo o *CityFacts* (disponível em https://www.city-facts.com). Outras variáveis como densidade populacional, PIB per capita, rendimento domiciliar anual e número de habitantes por domicilio foram calculadas em planilha de Excel.

Em alguns casos, na ausência de dados oficiais, variáveis econômicas, como PIB e PIB per capita, foram obtidas de fontes abertas, como *World Bank Open Data* (disponível em https://databank.worldbank.org), *Trading Economics* (disponível em https://tradingeconomics.com), reportagens e notícias. Já o rendimento domiciliar anual, por ser uma variável de alta complexidade e difícil acesso, foi estimado, em alguns casos, pelo *Numbeo* (disponível em www.numbeo.com). Vale destacar que os fatores econômicos foram convertidos para dólares americanos, considerando a taxa de câmbio de 30 de abril de 2024.

Informações demográficas adicionais, como idade média da população, porcentagem de pessoas empregadas e porcentagem de pessoas com pelo menos ensino superior, também foram extraídas de censos, reportagens jornalísticas ou outras fontes abertas, como o *CityFacts*. Como expresso anteriormente, na ausência de dados específicos, essas informações foram estimadas a partir de unidades federativas maiores. No caso do Brasil, por exemplo, dados de cidades pequenas foram extrapolados com base nos estados correspondentes.

As variáveis relacionadas ao transporte e mobilidade, como frota de veículos e tempo médio de deslocamento para o trabalho, foram coletadas de censos oficiais de países norte-americanos e de alguns países sul-americanos, como a Colômbia. Quando necessário, essas variáveis foram estimadas com base em dados de unidades federativas maiores. Por exemplo, para a cidade de Havana, em Cuba, os dados foram extrapolados a partir de informações nacionais, devido à ausência de dados municipais oficiais.

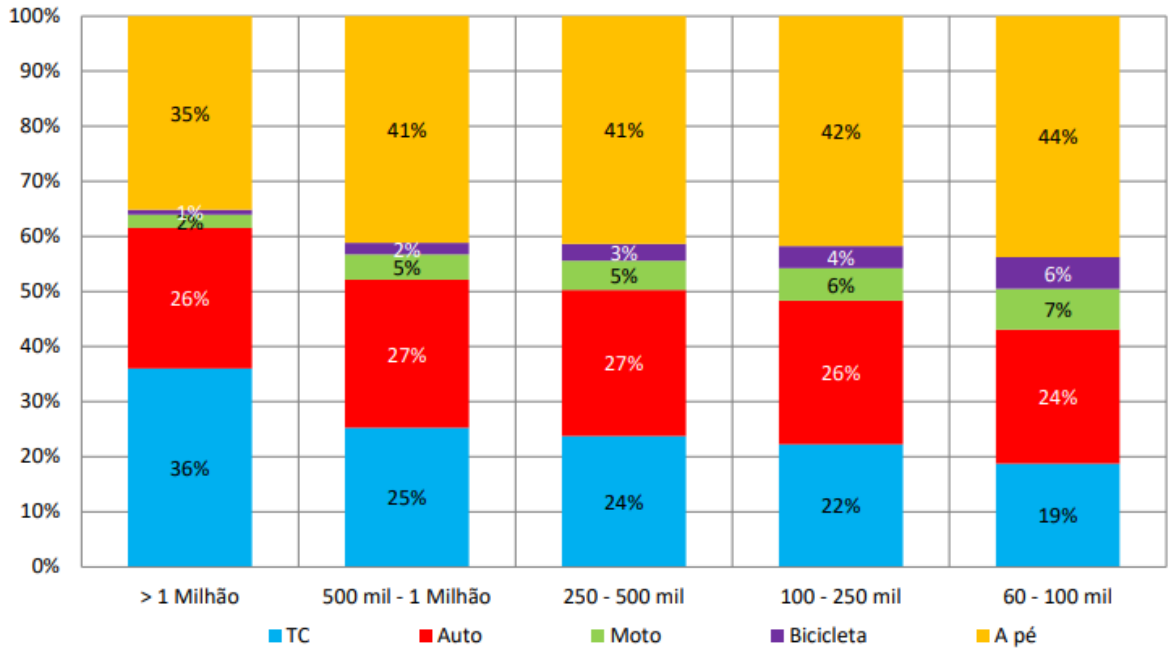
De um modo geral, essas variáveis apresentaram maior dificuldade de coleta nas cidades latino-americanas situadas na América do Sul, sendo frequentemente necessário recorrer a fontes jornalísticas para obtê-las. No caso da frota de veículos, as estimativas foram realizadas, em alguns casos, proporcionalmente à população de cada cidade em relação ao seu respectivo estado ou condado.

O percentual de utilização de diferentes modos de transporte, como veículos privados, transporte público e bicicletas, está disponível diretamente nos censos

oficiais dos Estados Unidos, Canadá e México. Contudo, para a maioria dos países das Américas Central e do Sul, foi necessário recorrer a outros bancos de dados e fontes. Novamente, em alguns casos, as estimativas foram realizadas com base em padrões regionais, estaduais, metropolitanos ou departamentais.

Em cidades brasileiras e em algumas outras cidades latinas com mesmo perfil socioeconômico, especialmente as de menor porte, onde sequer havia informações jornalísticas disponíveis, as estimativas foram realizadas com base no Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos (SIMOB/ANTP) (Figura 9). Essas estimativas utilizaram o Relatório Geral de 2018, que calcula os percentuais de utilização de diferentes modos de transporte de acordo com o porte do município (ANTP, 2018).

Figura 9- Divisão modal das viagens por porte do município e modo de transporte.



Fonte: ANTP (2018).

As variáveis climáticas, como temperaturas mínima e máxima médias, foram extraídas da plataforma *Weather Spark* (disponível em https://weatherspark.com), uma plataforma aberta que fornece informações meteorológicas probabilísticas anuais em nível global. Essa fonte foi escolhida por apresentar, em vez de valores brutos convencionais, dados climáticos organizados em períodos mensais, incluindo a duração de estações mais quentes, frias, claras ou nubladas, bem como períodos com presença ou ausência de ventos.

Diferentemente da investigação de Zhang *et al*. (2021), essa abordagem permite uma análise mais comparativa das condições climáticas ao longo dos meses de um ano, facilitando a identificação de padrões sazonais e suas possíveis influências sobre o sistema de bicicletas compartilhadas. Ao priorizar períodos mensais, é possível observar melhor as variações climáticas de forma mais aplicável ao contexto urbano e de mobilidade.

As variáveis topográficas, como elevação média, elevação mínima e elevação máxima, foram obtidas a partir de mapas topográficos disponíveis no *Topographic maps* (disponível em https://pt-br.topographic-map.com). A declividade foi avaliada de forma indireta por meio da amplitude de elevação, calculada com base na diferença entre os valores máximos e mínimos.

Em suma, o processo de coleta de variáveis seguiu uma metodologia sistemática, que envolveu o uso de uma variedade de fontes de dados abertos e públicos. Em alguns casos, foi necessário realizar estimativas com base em dados regionais ou cálculos indiretos. A coleta dessas variáveis complementares, fundamentada em estudos anteriores, proporcionou um embasamento teórico mais consistente, contribuindo para um entendimento mais aprofundado dos fatores críticos ao sucesso ou fracasso desses sistemas. As variáveis finais incluídas no banco codificado como BD1 estão listadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Variáveis incluídas no banco de dados BD1.

Grupo	Descrição	Tipo	Fonte e processamento
Demográficas e Econômicas	População da cidade do sistema	continuo	Censos oficiais e *CityFacts* (https://pt.city-facts.com/)
	Área da cidade do sistema em km²	continuo	
	População da cidade por km²	continuo	Calculado pelo autor
	PIB da cidade em bilhões de dólares	continuo	Censos oficiais, reportagens e notícias. Na ausência de dados foi estimado pelo GPD per capita
	PIB per capita em dólares	continuo	Censos oficiais, W*orld Bank Open Data* (https://data.worldbank.org/), *Trading Economics* (https://tradingeconomics.com/), reportagens e notícias. Na ausência de dados foi estimado pela maior unidade federativa (região metropolitana, departamento, estado ou província)

(continua na próxima página)

Tabela 11 - Variáveis incluídas no banco de dados BD1 (continuação).

Grupo	Descrição	Tipo	Fonte e processamento
Demográficas e Econômicas	Rendimento domiciliar anual em dólares	continuo	Censos oficiais, reportagens e notícias. Na ausência de dados foi estimado pela maior unidade federativa (região metropolitana, departamento, estado ou província) ou pelo Numbeo (www.numbeo.com)
	Idade média da população	continuo	Censos oficiais e *CityFacts* (https://pt.city-facts.com/)
	Total de unidades habitacionais	continuo	Censos oficiais, reportagens e notícias.
	Número de pessoas por habitação	continuo	Calculado pelo autor
	Percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo	continuo	Censos oficiais, reportagens e notícias. Na ausência de dados foi estimado pela maior unidade federativa (região metropolitana, departamento, estado ou província).
	Percentual de pessoas ocupadas ou empregadas	continuo	
Transportes e mobilidade	Frota de veículos	discreto	Censos oficiais, reportagens e notícias. Na ausência de dados foi estimado pela maior unidade federativa (região metropolitana, departamento, estado ou província). Algumas cidades latinas e brasileiras pequenas foram estimados pelo Relatório Geral do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos (SIMOB/ANTP), 2018.
	Tempo médio de deslocamento em minutos	continuo	
	Percentual estimado da população que utiliza veículo privado	continuo	
	Percentual estimado da população que utiliza transporte público	continuo	
	Percentual estimado da população que utiliza bicicleta	continuo	
	Percentual de pessoas com veículos	continuo	Calculado pelo autor
Climáticas	Temperatura mínima média	continuo	*Weather Spark* (https://weatherspark.com/)
	Temperatura máxima média	continuo	
	Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	continuo	
	Período de temperatura elevada ou quente, em meses	continuo	
	Período de temperatura baixa ou frio, em meses	continuo	
	Período mais claro com poucas nuvens, em meses	continuo	
	Período nublado, em meses	continuo	
	Período úmido, em meses	continuo	
	Período seco, em meses	continuo	
	Período chuvoso/nevoso, em meses	continuo	
	Período sem chuva/sem neve, em meses	continuo	
	Dia mais curto, em horas	continuo	
	Dia mais longo, em horas	continuo	
	Período com mais ventos, em meses	continuo	

(continua na próxima página)

Tabela 11 - Variáveis incluídas no banco de dados BD1 (continuação).

Grupo	Descrição	Tipo	Fonte e processamento
Climáticas	Período com menos ventos, em meses	continuo	*Weather Spark* (https://weatherspark.com/)
Topográficas	Elevação topográfica média em metros	continuo	*Topographic maps* (en-gb.topographic-map.com/)
	Elevação topográfica mínima em metros	continuo	
	Elevação topográfica máxima em metros	continuo	
	Diferença entre elevação máxima e mínima em metros	continuo	
Sistema	Nome do sistema de bicicleta compartilhada	nominal	*The Meddin Bike-sharing World Map* (https://bikesharingworldmap.com/)
	Status do sistema de bicicleta compartilhada até 31/06/2023	nominal	
	Número total de bicicletas	continuo	
	Tempo de duração do sistema em dias	continuo	
	Tipo do sistema em relação a sua operação	nominal	

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.3. Construção do Banco de Dados 2 (BD2)

Para aprofundar a compreensão dos fatores que podem influenciar o sucesso ou insucesso dos sistemas de bicicletas compartilhadas, esta pesquisa comprometeu-se a desenvolver mais um banco de dados, denominado Banco de Dados 2 (BD2). Baseando-se nos estudos sobre mobilidade urbana sustentável apresentados na Revisão da Literatura, foram incorporadas variáveis diretamente relacionadas ao tema.

Essas novas variáveis foram extraídas do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), que desenvolveu uma plataforma que reúne informações sobre mobilidade urbana de 40.000 localidades em 1.000 áreas metropolitanas ao redor do mundo, por meio do Atlas de Transporte Urbano Sustentável (disponível em https://atlas.itdp.org).

Esse atlas mensura a mobilidade sustentável nas cidades por meio de indicadores como densidade de blocos, proximidade de ciclovias, proporção de moradores próximos a serviços, proximidade de áreas livres de carros, proteção contra rodovias e vias expressas, acesso a transporte público regular e rápido, além da integração entre proximidade a ciclovias e transporte público. A plataforma é interativa e permite que os usuários exportem o conjunto de dados (ITDP, 2024).

Os dados foram novamente exportados para o software QGIS e integrados ao BD1, considerando apenas as regiões monitoradas no continente americano, o que resultou em um total de 170 localidades. Entretanto, nem todas as regiões apresentavam informações completas para todos os indicadores.

Na sequência, foram selecionadas apenas as regiões com dados completos, e o número de indicadores foi reduzido para cinco (Tabela 12): densidade de blocos, percentual de pessoas próximas a ciclovias, percentual de pessoas próximas a serviços essenciais, percentual de pessoas próximas a áreas livres de carros e percentual de pessoas protegidas contra rodovias e vias expressas.

Ao final, o Banco de Dados 2 (BD2) ficou composto por 217 sistemas de bicicletas compartilhadas, considerando que as áreas urbanas mapeadas pelo Atlas podem abrigar mais de um sistema. É importante destacar que foi necessário ajustar esses dados ao BD1, que estava organizado por áreas municipais. Para isso, os dados de cidades pertencentes a uma mesma região metropolitana foram replicados, garantindo o alinhamento entre as bases de dados e a consistência com a nova fonte de informações.

Destarte, é importante ressaltar que este banco apresentou menos observações que o BD1 (n = 576), pois os dados estavam organizados em regiões metropolitanas, o que não incorporou todas as cidades do banco anterior, especialmente as de menor porte.

Tabela 12 - Conjunto de dados acrescentado ao BD1 para construção do BD2.

Grupo	Variável	Tipo	Fonte
Transporte e mobilidade urbana sustentável	Densidade de quadras e blocos	continuo	*Atlas of Sustainable City Transport* (atlas.itdp.org/)
	Percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas	continuo	
	Percentual de pessoas próximas a próximas a serviços	continuo	
	Percentual de pessoas próximas a áreas sem carros	continuo	
	Percentual de pessoas seguros de rodovias	continuo	

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. MODELAGENS

Como discutido no tópico anterior, apesar do crescente interesse em compreender o funcionamento e a demanda dos sistemas de bicicletas compartilhadas, a análise dos fatores que levam ao insucesso desses sistemas tem recebido atenção mais recentemente. Ainda assim, alguns estudos têm buscado

preencher essa lacuna, adotando diferentes abordagens metodológicas para investigar aspectos relacionados à sobrevivência e ao fracasso dos sistemas em diversos estudos de caso.

Dos nove artigos utilizados como base teórica para esta tese, foram aplicadas diversas modelagens estatísticas, resultando em diferentes resultados, os quais estão resumidos na Tabela 13 abaixo. Dentre esses estudos, Zhou *et al*. (2023) e Anaya-Boig *et al.* (2023), analisaram sistemas em nível nacional, na China e na Espanha, respectivamente. No entanto, apenas Zhang *et al*. (2021) realizou uma análise mais ampla, de caráter intercontinental, investigando 106 sistemas distribuídos ao redor do mundo.

Neste ponto, torna-se importante aprofundar-se nessas metodologias com o objetivo de propor uma análise combinada, inovadora e mais consistente. Essa abordagem se justifica pelo fato de os demais estudos terem avaliado sistemas de forma isolada ou em amostras pequenas, enquanto os bancos de dados desta pesquisa apresentam maior abrangência, destacando-se o BD1 com 576 observações e o BD2 com 217.

No estudo de Zhou *et al*. (2023), os autores coletaram dados a partir de três fontes principais: Sistema Nacional de Publicidade de Informações de Crédito Empresarial da China; banco de dados da *TianYanCha*, com detalhes das empresas; e fontes públicas, como sites oficiais, plataformas virtuais e reportagens.

Com base nesses três conjuntos de dados, os autores desenvolveram seis modelos de regressão logística binária para analisar os fatores que influenciam a sobrevivência de 137 startups de bicicletas compartilhadas. Esses modelos permitiram testar variáveis independentes relacionadas ao status do sistema (fechado ou aberto), incluindo características dos fundadores, status de financiamento e estratégias de diferenciação, além de controlar os efeitos de variáveis como idade da empresa e localização geográfica.

Já no estudo de Anaya-Boig *et al*. (2021), foram analisados os sistemas de bicicletas compartilhadas na Espanha que operaram entre 2003 e 2018, incluindo tanto os sistemas ativos quanto os encerrados. Para isso, foi criada uma base de dados que reuniu informações econômicas e demográficas da região de operação, o número de bicicletas e estações, o tempo de duração dos sistemas e a média de viagens por bicicleta por dia. Na sequência, foram realizados dois modelos de regressão: um binomial e um linear.

Ne regressão binominal a variável dependente do modelo foi o status do sistema, onde o valor 0 indicava sistemas encerrados e 1 representava sistemas operacionais. Como variáveis independentes iniciais, foram consideradas a população da cidade, o PIB regional, tempo de duração do sistema até 2018, o número de bicicletas disponíveis, e por fim número de estações.

É importante destacar que a modelagem inicial incluiu todas as variáveis independentes e, posteriormente, foi aplicado um processo de eliminação progressiva com base no Critério de Informação Akaike (AIC). Apenas as variáveis que contribuíram significativamente para o aprimoramento do modelo foram mantidas. Um processo similar foi realizado para a regressão linear, sendo que, neste caso, a variável dependente foi a média de viagens por bicicleta por dia.

Já Zhang *et al*. (2021) utilizaram uma abordagem estatística baseada em modelos lineares generalizados (GLM) para investigar a sobrevivência de 106 sistemas localizados em cidades da Europa, América do Norte, América Latina, Austrália e Ásia. A base de dados foi construída a partir de mapas de monitoramento, relatórios anuais, publicações acadêmicas e notícias. A variável dependente considerada foi a duração do sistema, medida em meses, enquanto as variáveis independentes foram agrupadas em fatores de infraestrutura do sistema, demográficos, econômicos e operacionais.

Entre os fatores de infraestrutura do sistema, foram incluídos a área de cobertura e a capacidade do sistema (calculada pelo produto do número de bicicletas pelo número de estações). Nos fatores demográficos e econômicos, destacaram-se a densidade populacional, o poder de compra per capita e o clima, classificado em zonas. Já os fatores associados à operacionalidade do sistema incluíram o tipo de assinatura, os métodos de pagamento disponíveis e o tipo de subsídio financeiro (privado, público ou público-privado).

Para modelar a duração do sistema como uma variável de contagem discreta e não negativa, foram utilizados modelos lineares generalizados combinados com distribuição de Poisson. A fórmula do modelo relacionava a duração do sistema às variáveis independentes por meio de uma transformação exponencial. Assim, os sistemas foram classificados em três categorias: sistemas fracassados (que encerraram suas operações antes de 48 meses), sistemas de curta duração em operação (menos de 48 meses de atividade) e sistemas de longa duração em operação (mais de 48 meses de atividade).

Tabela 13 - Síntese dos artigos que investigaram o fechamento/insucesso de sistemas de bicicletas compartilhadas.

	Título	Autores	Ano	Objeto de estudo	Local	Método	Principais resultados e reflexões
1	***Promoting public bike-sharing: A lesson from the unsuccessful Pronto system***	Sun F.; Chen P.; Jiao J.	2018	sistema de bicicleta compartilhada com docas	Seattle, USA	Modelo misto de aditivos generalizados (GAMM)	O terreno montanhoso e o tempo chuvoso contribuíram para a falha do sistema.
2	***Barriers to bicycle sharing systems implementation: Analysis of two unsuccessful PSS***	Moro S.R.; Imhof A.C.; Fettermann D.C.; Cauchick-Miguel P.A.	2018	2 sistemas de bicicleta compartilhada com docas (estações)	Sul do Brasil	Triangulação metodológica dos dados	A resistência à mudança, tanto por parte dos usuários quanto dos envolvidos com o projeto, dificultaram o sucesso dos sistemas.
3	***Sustaining the development of campus bike-sharing: A lesson from the unsuccessful practice in Dalian Maritime University, China***	Sun S.; Duan Z.	2021	sistema de bicicleta compartilhada universitário/ 317 estudantes universitários	Dalian Maritime University, China	Modelagem de equações estruturais e hierarquização dos indicadores das variáveis	Alto custo, baixa qualidade de serviço e inconveniência foram as principais razões para o fracasso do sistema.
4	***When bike sharing business models go bad: Incorporating responsibility into business model innovation***	Long, T.B. , van Waes, A.	2021	7 empresas de bicicleta compartilhada	Amsterdam, Rotterdam e Utrecht, Nethelands	Estrutura de inovação de modelo de negócio (BMI)	As cidades e suas populações são as principais partes interessadas no processo de inovação para o sistema de bicicleta compartilhada.
5	***A Fuzzy Association Rules Mining Analysis of the Influencing Factors on the Failure of oBike in Taiwan***	Wu, S.	2021	Empresa de bicicleta compartilhada sem estações	Taiwan, Asia	Mineração de texto e métodos de associação Fuzzy	Gestão, estacionamento, pagamento e a presença de concorrentes afetaram a sustentabilidade do sistema.
6	***Life duration of bike sharing systems***	Zhang, J., Meng, M., Koh, P.P., Wong, Y.D.	2021	106 sistemas de bicicleta compartilhada	106 cidades ao redor do mundo.	Modelo linear generalizado (GLM)	Área de cobertura, capacidade e tipo de pagamento afetaram sustentabilidade do sistema.
7	***The death and life of bike-sharing schemes in Spain: 2003–2018***	Anaya-Boig, E., Douch, J., Castro, A.	2021	81 sistemas de bicicleta compartilhada	Espanha	Regressão binominal	População da cidade e idade do sistema foram preditores significativos de sobrevivência.

(continua na próxima página)

Tabela 13 - Síntese dos artigos que investigaram o fechamento/insucesso de sistemas de bicicletas compartilhadas (continuação).

	Título	Autores	Ano	Objeto de estudo	Local	Método	Principais resultados e reflexões
8	***Imputation of trip data for a docked bike-sharing system***	Thomas M.M.; Verma A.; Mayakuntla S.K.	2022	Sistema de bicicleta compartilhado com docas (estações)	Indian Institute of Science (IISc), Bengaluru, India	Teorema de Bayes e técnica de machine learning baseada no algoritmo k-nearest neighbor.	A falha está associada ao desequilíbrio das estações e a perda de dados.
9	***The survival of bike-sharing startups in China: an empirical analysis of the influencing factors***	Zhou Y.; Park S.; Wang Q.; Zhang J.Z.; Behl A.	2023	137 startups de bicicleta compartilhada	China	Logit binário	Tamanho da equipe estratégia de inovação influenciam positivamente a sobrevivência do sistema.

Fonte: Elaborador pelo autor.

Diante das metodologias apresentadas acima e considerando que esta pesquisa abrange três bancos de dados (BD0, BD1 e BD2), os quais se complementam por meio de diversas fontes de dados abertos, foi inicialmente adotado um processo metodológico, caracterizado pela análise descritiva das variáveis, pela aplicação de testes de normalidade para avaliação da distribuição dos dados e por testes de hipóteses destinados a identificar diferenças potenciais entre os grupos de sistemas fechados e abertos.

Posteriormente, foi proposta a realização de modelagens preditivas do tipo binário, com o objetivo de avaliar o fechamento dos sistemas, seguindo as investigações realizadas por Anaya-Boig *et al*. (2021) e Zhou *et al*. (2023). Além disso, foram realizadas análises de *cluster*, considerando que os bancos de dados abrangem todo um continente, com ampla extensão territorial e diferentes realidades socioeconômicas.

Entretanto, devido ao elevado número de preditores (38 no BD1 e 43 no BD2), foi necessário realizar uma análise de colinearidade e dimensionalidade para reduzir o conjunto de variáveis antes da aplicação das análises. As etapas desse processo serão detalhadas nos tópicos 3.2.1 e 3.2.2.

Nesta etapa, dois processos distintos foram utilizados para reduzir a colinearidade e dimensionalidade das variáveis, respectivamente: o fator de inflação de variância (VIF) e a análise de componentes principais (PCA). O primeiro teve como objetivo reduzir e eliminar variáveis com alta colinearidade entre si, complementado

por testes de hipóteses que avaliaram diferenças estatísticas entre os sistemas fechados e abertos. O segundo processo, o PCA, foi utilizado para agrupar as variáveis em componentes principais, permitindo que todas as variáveis fossem mantidas nos modelos preditivos, indiretamente.

Todas as análises desta pesquisa foram realizadas pela ferramenta *Data Analyst*, que é uma versão avançada e personalizada do modelo de linguagem da OpenAI. Ela pode realizar análises estatísticas, gerar gráficos e manipular volumes consideráveis de dados utilizando bibliotecas avançadas de Python.

3.2.1. Redução da colinearidade dos bancos de dados pelo fator de inflação da variância (VIF)

Vários estudos sobre bicicletas compartilhadas têm utilizado o VIF para verificar a colinearidade entre as variáveis, considerando fatores como demanda, integração com o transporte público, variáveis climáticas, ambientais e espaciais, além da influência da infraestrutura urbana e das características do sistema (ZHAO; DENG; SONG, 2014; YANG *et al*., 2020; RADZIMSKI; DZIĘCIELSKI, 2021; WU; KIM; CHUNG, 2021; PEKDEMIR; ALTINTASI; OZEN, 2024; GOH; BIN, 2024).

A colinearidade entre variáveis pode prejudicar a robustez, o ajuste e a interpretação de modelos de *cluster* e regressão, pois quando duas ou mais variáveis preditoras em um modelo estatístico possuem uma relação linear forte entre si, elas podem se sobrepor e induzir a resultados errôneos. O VIF elevado também pode prejudicar a regressão logística ao comprometer a precisão dos coeficientes (BELSEY; KUH; WELSCH,1980).

Na *cluster*ização, a colinearidade pode distorcer as medidas de distância usadas para agrupar observações, criando agrupamentos menos representativos e aumentando ainda mais a dimensionalidade do problema (KAUFMAN; ROUSSEEUW, 2009).

O Fator de Inflação de Variância (VIF) mede o quanto a variância dos coeficientes de uma variável é ampliada devido à correlação linear entre as variáveis do modelo (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012). Um VIF igual a 1 indica ausência de multicolinearidade, valores acima de 5 sugerem multicolinearidade moderada, e valores acima de 10 indicam multicolinearidade severa, o que pode comprometer a interpretação do modelo. O cálculo do VIF é realizado pela equação abaixo.

$$VIF_j = \frac{1}{1-R_j^2} \quad (1)$$

O coeficiente de determinação R_j^2 é calculado a partir de uma regressão auxiliar (Equação 2), na qual X_j é a variável dependente, e as demais variáveis independentes do modelo atuam como preditoras. Esse coeficiente reflete a proporção da variância de X_j que é explicada coletivamente pelas outras variáveis independentes.

$$\mathrm{X_j} = \beta_0 + \beta_1 \mathrm{X_1} + \beta_2 \mathrm{X_2} + \cdots + \beta_{\mathrm{p-1}} \mathrm{X_{p-1}} + \epsilon \quad (2)$$

Para compreender melhor os resultados dos valores de VIF nos bancos BD1 e BD2, foi gerada a matriz de correlação das variáveis em formato mapa de calor. Esse mapa mede a força e a direção das relações lineares entre pares de variáveis contínuas (PEARSON, 1895), facilitando a interpretação visual das correlações mais fortes por meio de uma escala de cores e permitindo identificar variáveis que apresentam forte interdependência e que podem comprometer a acurácia de modelos preditivos (TUKEY, 1977; FRIENDLY, 2012; HUNTER, 2007; WASKOM, 2021).

A matriz de correlação é calculada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson (r) para cada par de variáveis (Equação 3), onde x_i e y_i representam as observações individuais das variáveis que estão sendo comparadas, $\bar{x}$ e $\bar{y}$ são as médias das variáveis, e n é o número total de observações (SWINSCOW, 2002).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \quad (3)$$

O mapa de calor da correlação também permite identificar a direção das relações lineares entre pares de variáveis contínuas, representando associações em valores que variam entre -1 e +1. Um valor positivo indica que, à medida que uma variável aumenta, a outra tende a aumentar também, enquanto um valor negativo sugere que, ao aumentar uma variável, a outra tende a diminuir.

Após a redução das variáveis, iniciou-se processo de modelagem, seis modelos de regressão *logit* foram construídos para investigar a relação entre os grupos de variáveis e o fechamento dos sistemas de bicicletas compartilhadas do BD1, com base nos objetivos específicos. Seguindo o estudo de Zhou *et al.* (2023), as regressões

foram divididas por grupo de variáveis para avaliar o efeito de cada conjunto de fatores na sobrevivência dos sistemas.

Dessa forma, foi construído um modelo completo com todas as variáveis (M1) e, posteriormente, modelos parciais foram criados utilizando os seguintes grupos de variáveis: demográficas e econômicas (M1A), transporte e mobilidade (M1B), topográficas (M1C) e características dos sistemas (M1D).

Após a realização desses modelos, o modelo M1 foi progressivamente reduzido. Ou seja, foram conduzidos novos modelos *logit*, removendo-se uma a uma as variáveis com menor significância estatística, ou seja, aquelas com os maiores p-valores. Esse processo de refinamento foi feito até que o modelo final (M1 reduzido) incluísse apenas as variáveis significativamente associadas a variável dependente.

De forma similar ao BD1, no BD2 também foi construído um modelo completo com todas as variáveis (M2) e, em seguida, modelos parciais baseados nos seguintes grupos de variáveis: transporte sustentável (M2A), demográficas e econômicas (M2B), transporte e mobilidade (M2C), topográficas (M2D) e características dos sistemas (M2E). Igualmente ao M1, o modelo M2 reduzido foi resultante de um processo interativo de remoção das variáveis não significativas, uma a uma, gerado apenas com as variáveis significativas.

Após a realização desses modelos, foram utilizadas análises de *cluster* com as variáveis resultantes, empregando o algoritmo *K-means* para agrupar os sistemas em ambos os bancos, BD1 e BD2. A intenção foi identificar características específicas, seja de forma descritiva, seja por meio de novos modelos preditivos para cada agrupamento encontrado.

A regressão logística binária é um método estatístico que modela a relação entre uma variável dependente (Y), que possui apenas dois resultados possíveis (como sim/não ou sucesso/fracasso), e um conjunto de variáveis independentes $X_1,X_2,...,X_n$ (GUJARATI; PORTER, 2011).

Diferentemente da regressão linear, essa regressão descreve a probabilidade de ocorrência do evento $P(Y = 1|X)$. O β_0 representa o intercepto, enquanto $\beta_1,\beta_2,...,\beta_n$ indicam os coeficientes estimados para cada variável independente. Assim, a Equação 4 abaixo transforma a soma linear das variáveis preditoras em uma probabilidade utilizando uma função logística, garantindo que o valor resultante fique entre 0 e 1.

$$P(Y=1|X) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\cdots+\beta_n X_n)}} \quad (4)$$

Em suma, a função *logit* (Equação 5) expressa a relação linear entre as variáveis independentes e as *log-odds* da variável dependente. Nesse contexto, a razão de chances (Equação 6) é definida como a razão entre a probabilidade de o evento ocorrer (P(Y=1|X)) e a probabilidade de o evento não ocorrer (1−P(Y=1|X)). Essa transformação, ao converter a probabilidade de ocorrência em uma escala logarítmica, permite o uso de uma regressão linear para prever os *log-odds*.

$$\text{logit}(P) = \log\left(\frac{P(Y=1|X)}{1-P(Y=1|X)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n \quad (5)$$

$$\text{Odds} = \frac{P(\text{Evento})}{1-P(\text{Evento})} \quad (6)$$

A probabilidade de o evento ocorrer pode também ser reescrita como (Equação 7):

$$P(Y=1|X) = \frac{e^{\beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\cdots+\beta_n X_n}}{1+e^{\beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\cdots+\beta_n X_n}} \quad (7)$$

Por fim, a razão de chances, ou *Odds Ratio* (OR) (Equação 8), pode ser utilizada para comparar a probabilidade de ocorrência de um evento entre dois grupos distintos. Nos modelos realizados, o desfecho da variável dependente era fechado (*dummy*) ou aberto. Além disso, a variável categórica tipo do sistema foi codificada para inclusão nos modelos, sendo o sistema com estações representado como *dummy*, dado que essa tipologia aparece em maior quantidade em ambos os bancos de dados em comparação aos sistemas em fluxo livre (sem estações) e outros.

$$\text{Odds Ratio (OR)} = \frac{\text{Odds no Grupo 1}}{\text{Odds no Grupo 2}} \quad (8)$$

Na sequência, ainda no contexto do BD1, com o objetivo de explorar o fechamento dos sistemas de bicicleta compartilhada durante o período da pandemia

de COVID-19, foi criada uma nova variável categórica. Essa variável recebeu o valor 0 para sistemas fechados durante a pandemia e o valor 1 para aqueles que foram encerrados em outras épocas.

Posteriormente, realizaram-se novos testes do Fator de Inflação da Variância (VIF) sobre o novo banco de dados, com o intuito de identificar e mitigar possíveis problemas de multicolinearidade entre as variáveis independentes. Novamente, esse processo foi repetido até que se obtivessem variáveis com valores inferiores a 5. Em seguida, foi realizado novo modelo (M1COVID), que também foi reduzido em etapas subsequentes.

Para comparar e avaliar o ajuste e a acurácia dos modelos binários, foram calculados testes como o AIC (Critério de Informação de Akaike), o BIC (Critério de Informação Bayesiano), o pseudo R^2, o R^2 de Tjur e a eficácia por meio da matriz de confusão. A interpretação dos resultados envolveu a análise das variáveis significativas e a avaliação de como cada variável independente influencia a razão de chance de ocorrência do evento.

O fator de inflação da variância (VIF) apresenta vantagens relevantes, como sua simplicidade de interpretação e eficácia em garantir a qualidade e confiabilidade das estimativas. Essas características fazem do VIF uma técnica de seleção amplamente adotada na comunidade científica.

Entretanto, é preciso destacar que o VIF apresenta algumas limitações. Ele não oferece soluções diretas para tratar a multicolinearidade, demandando ações adicionais, como exclusão ou transformação de variáveis. No caso desta pesquisa, adotou-se a primeira solução. Além disso, o VIF avalia apenas a colinearidade estatística, ignorando a relevância teórica das variáveis, o que pode resultar na exclusão de fatores essenciais para a análise. Outra limitação é sua incapacidade de identificar relações não lineares, como exponenciais, logarítmicas ou polinomiais.

3.2.2. Redução da dimensionalidade dos bancos de dados pela análise de componentes principais (PCA)

Como alternativa ao fator de inflação da variância (VIF), a Análise de Componentes Principais (PCA) torna-se uma opção eficaz para a redução da dimensionalidade das variáveis em um problema de pesquisa. Além disso, o PCA

permite agrupar variáveis em componentes, possibilitando a permanência no modelo de variáveis importantes identificadas na revisão bibliográfica.

Essa análise tem sido amplamente replicada em estudos sobre sistemas de bicicletas compartilhadas, bem como na economia compartilhada, para simplificar e estruturar grandes volumes de dados e variáveis. Alguns objetivos incluem: a identificação de padrões de demanda (FELLMETH, 2024), a análise funcional de dados espaciais e temporais (HUANG *et al*., 2024), a avaliação da relação entre economia compartilhada e confiança social (ZUO; QI; ZHU, 2024), a investigação de comportamentos de viagem e perfis de usuários (ZAMPROGNO; ESZTERGÁR-KISS, 2024), o agrupamento de usuários baseada em motivações (MARINCEK; RÉRAT; LURKIN, 2024) e a análise dos impactos da infraestrutura no uso de bicicletas compartilhadas (HERNANDEZ; RAYMER; CHEN, 2024).

Matematicamente, a análise transforma os dados originais em um novo sistema de coordenadas, no qual cada componente principal (PC_1, PC_2, PC_3, etc.) é uma nova variável calculada como uma combinação linear das variáveis originais (X_1, X_2,...,X_p) (Equação 9). Esses componentes são ordenados de forma que o primeiro componente principal (PC1) engloba a maior variância presente nos dados, o segundo componente (PC2) a segunda maior, e assim sucessivamente (JOLLIFFE, 2002).

O i-ésimo componente principal é representado por PCi, enquanto a carga associada a ele, ou seja, o coeficiente que indica a contribuição da j-ésima variável para o i-ésimo componente, é denominada aij. A j-ésima variável original é referida como Xj, e o total de variáveis no conjunto de dados é representado por p.

$$PC_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \cdots + a_{ij}X_j \tag{9}$$

As cargas associadas a cada variável indicam o grau de correlação entre essa variável original e o componente principal correspondente. Valores mais altos, sejam positivos ou negativos, destacam as variáveis com maior influência sobre o componente. Por exemplo, uma carga alta e positiva sugere que a variável contribui significativamente para a direção do componente principal, enquanto uma carga alta e negativa indica uma contribuição igualmente forte, porém na direção oposta.

Nesta pesquisa, as cargas foram fundamentais para compreender e atribuir significado aos componentes principais, associando-os a fatores específicos

representados pelas variáveis originais. Assim, foram destacadas as variáveis que apresentaram cargas superiores a 0,20 ou inferiores a -0,20, com o objetivo de entender como cada variável contribui para cada componente principal.

Após a redução da dimensionalidade das variáveis, realizou-se uma análise de *cluster* utilizando o algoritmo *K-means* para agrupar os sistemas e dividir o banco de dados, agora convertido em componentes principais, em grupos mais homogêneos. A junção da PCA com análise de *cluster* tem sido pouco utilizada em estudos sobre bicicletas compartilhadas, contudo Zamprogno e Esztergár-Kiss (2024) utilizaram essa combinação para explicar comportamentos de usuários.

Seguindo essa abordagem, nesta pesquisa utilizamos as duas técnicas combinadas para agrupar os dados em dois bancos, BD1 e BD2, com o objetivo de identificar as principais características entre os *clusters* formados e potenciais diferenças na proporção entre sistemas fechados e abertos em cada grupo. Na sequência, foram realizadas regressões logísticas (M1PCA e M2PCA) para cada *cluster*, utilizando os componentes principais como variáveis independentes, ou seja, preditores.

Embora a PCA seja mais atrativa que a técnica de VIF para redução de dimensionalidade, por não exigir a eliminação de variáveis, é importante destacar algumas limitações e desvantagens. Primeiramente, a PCA também assume relações lineares entre as variáveis, o que pode não representar adequadamente associações não lineares nos dados.

Além disso, os componentes principais são combinações das variáveis originais, o que pode dificultar a interpretação direta desses componentes em termos práticos ou teóricos, especialmente em análises como regressões logísticas. Outro ponto crítico é que a PCA é sensível à escala das variáveis, tornando indispensável a padronização ou normalização dos dados antes de sua aplicação.

3.2.3. Clusterização dos bancos de dados

A análise de *cluster* tornou-se essencial para esta pesquisa, considerando que os sistemas americanos, além de apresentarem variações em tamanho, tipo, quantidade de bicicletas e estações, estão inseridos em contextos urbanos diversos, com realidades distintas e em diferentes escalas. Diferentemente da Europa, que

abriga majoritariamente países desenvolvidos, a América compreende tanto países desenvolvidos quanto em desenvolvimento.

Além disso, o clima pode ser um fator moderador do sucesso dos sistemas de bicicletas (SUN; CHEN; JIAO, 2018; ZHANG *et al.*, 2021) dado que o continente apresenta uma ampla diversidade climática, incluindo os climas Equatorial, Tropical, Semiárido, Desértico, Subtropical, Temperado, Mediterrâneo, Oceânico, Continental, Frio ou Subpolar, Polar e de Montanha. Analogamente, a topografia pode influenciar o sucesso desses sistemas, pois, na América, encontram-se grandes acidentes geológicos, como a Cordilheira dos Andes, além de características topográficas costeiras que se diferenciam significativamente das do interior do continente.

A análise de *cluster* por meio do *K-means* tem sido amplamente utilizada em estudos sobre sistemas de bicicletas compartilhadas, sendo aplicado ao agrupamento de estações, previsão de demanda e análise de padrões de uso. Em diferentes contextos, essa modelagem demonstrou ser uma ferramenta eficaz para simplificar e dividir grandes conjuntos de dados, facilitando tanto a compreensão de comportamentos quanto a otimização das operações desses sistemas (ZHOU; NIU; WANG, 2021).

Utilizando o *K-means*, Rylander, Peng e Wheeler (2014) agruparam as estações de bicicletas compartilhadas com base em características como volume de uso, frequência de retiradas e devoluções, e padrões temporais. Esses grupos de estações com comportamentos semelhantes foram então usados para construir um modelo preditivo que melhorasse a alocação de bicicletas, evitando tanto o excesso quanto a escassez de unidades nas estações.

De forma semelhante, Quach e Malekian (2020) investigaram a relação entre as condições meteorológicas e o uso de bicicletas compartilhadas em Washington, D.C. Para isso, o algoritmo *K-means* foi aplicado, agrupando os dados de uso das bicicletas com base em variáveis climáticas, como temperatura, precipitação e umidade. Essa abordagem possibilitou a identificação de padrões homogêneos no comportamento dos usuários sob diferentes condições climáticas.

Para realizar a análise de *clusters* dos sistemas de bicicletas compartilhadas presentes nos bancos de dados BD1 e BD2, foram previamente aplicadas as duas técnicas detalhadas nos tópicos anteriores: VIF e PCA. Conforme destacado anteriormente, a colinearidade entre variáveis pode comprometer a qualidade da

análise de *clusters*, uma vez que variáveis correlacionadas tendem a introduzir redundâncias e dificultar a interpretação dos agrupamentos.

Após a redução, seleção e combinação das variáveis, no caso da aplicação da PCA, os dados foram normalizados para transformar os valores de cada variável, garantindo média zero e desvio padrão igual a um (Equação 10). O valor padronizado (z) é obtido a partir do valor original da variável (x), subtraindo-se a média da variável ($\bar{x}$) e dividindo pelo seu desvio padrão (σ) (HASTIE; TIBSHIRANI; FRIEDMAN, 2009).

Esse processo é fundamental para assegurar que variáveis em diferentes escalas contribuam de forma equilibrada para a formação dos *clusters*, evitando que alguma variável exerça influência desproporcional no agrupamento.

$$z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \tag{10}$$

Segundo Tan, Steinbach e Kumar (2005), inicialmente, no algoritmo *K-means*, escolhem-se k centroides iniciais (μ_1,μ_2...,μ_k), onde cada μ_i representa o centro do *cluster* i. Em seguida, realiza-se a atribuição dos pontos aos *clusters*: cada ponto x_j é atribuído ao *cluster* cujo centro está mais próximo, com base na distância Euclidiana. Essa distância é calculada como $\|x_j - \mu_i\|^2$, ou seja, o quadrado da diferença entre a distância entre o ponto x_j e o centro do *cluster* μ_i. O conjunto de pontos atribuídos ao *cluster* i é descrito por Ci (Equação 11).

$$C_i = \{x_j : |x_j - \mu_i|^2 \leq |x_j - \mu_h|^2, \forall h = 1, \ldots, k\} \tag{11}$$

Após a atribuição, os centroides são recalculados pela média dos pontos atribuídos a cada *cluster*. O novo centro do *cluster* i é dado pela fórmula $\mu_i = \frac{1}{|C_i|}\sum_{x_j \in C_i} x_j$, onde $|C_i|$ é o número de pontos no *cluster* i. Essas etapas são refeitas iterativamente até que os centroides não alterem significativamente ou um critério de convergência seja atingido, como um número máximo de iterações (BISHOP, 2006).

Para determinar o número ideal de *clusters*, utilizou-se o método do cotovelo e a análise do coeficiente de silhueta. Han, Kamber e Pei (2011) destacam que no método do cotovelo, é medida a inércia, ou seja, a soma das distâncias ao quadrado entre cada ponto e o centroide do respectivo *cluster* (WCSS), em função do número de *clusters* (Equação 12).

$$WCSS = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x_j \in C_i} | x_j - \mu_i|^2 \quad (12)$$

Posteriormente, um gráfico é plotado com o número de *clusters* (k) no eixo x e o WCSS no eixo y. À medida que o número de *clusters* aumenta, a inércia diminui; contudo, após certo ponto, essa redução torna-se menos acentuada, formando um cotovelo no gráfico. Esse ponto de inflexão indica o número de *clusters* que melhor representa a estrutura dos dados sem um agrupamento excessivo.

Já o *score* de silhueta é um parâmetro de qualidade estimado para avaliar a quantidade de agrupamentos, ou seja, mede o quão bem um ponto está relacionado ao seu *cluster* atual (coesão) em comparação com outros *clusters* (separação) (ROUSSEEUW, 1987).

Matematicamente o *score* $s(i)$ é calculado com base em dois valores principais: $a(i)$ e $b(i)$ (Equação 13). O termo $a(i)$ representa a média da distância do ponto i para todos os outros pontos dentro do mesmo *cluster*, medindo a coesão dentro do mesmo agrupamento. Já $b(i)$ é a média da distância do ponto i para todos os pontos do *cluster* mais próximo, refletindo a separação externa do agrupamento mais próximo.

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} \quad (13)$$

Quando $s(i) \approx 1$, o ponto i está bem posicionado dentro de seu *cluster*, com uma boa separação em relação aos outros *clusters*. Se $s(i) \approx 0$, o ponto i encontra-se na divisa entre agrupamentos, apresentando distâncias similares tanto para o seu grupo quanto para os grupos vizinhos. Por outro lado, se $s(i) \approx -1$, o ponto i está mal alocado, estando mais próximo de outro *cluster* do que o seu de origem.

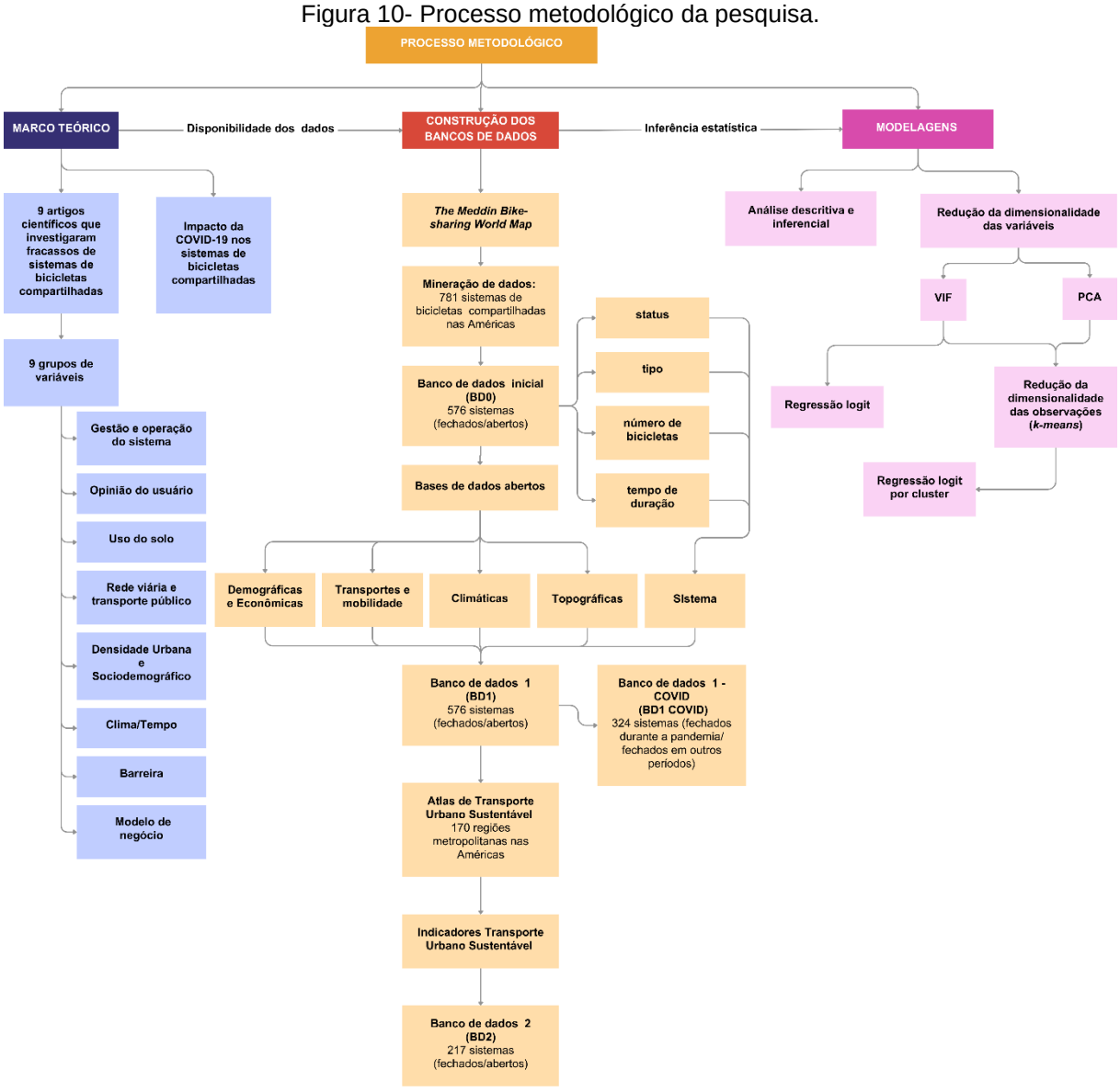
Por fim, para avaliar o banco de dados como um todo, calcula-se o *score* médio de silhueta, que corresponde à média dos *scores* de todos os pontos no conjunto de dados (Equação 14). Esse valor é utilizado para mensurar a qualidade geral do agrupamento, sendo que *scores* médios mais altos indicam *clusters* bem definidos.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} s(i) \quad (14)$$

Após a análise de *cluster* combinados com os métodos de VIF e PCA, novas regressões *logit* foram testadas para cada *cluster*. Essa analise combinada, permitiu avaliar se as características de fechamento e insucesso dos sistemas de bicicleta compartilhada, podem variar dentro de cada *cluster*. Contudo, deve-se pontuar que essa aplicação deve ser feita cautelosamente, pois a divisão do banco em grupos pode diminuir a quantidade de observações, o que penaliza os modelos preditores em regressões *logit*.

O diagrama do processo metodológico (Figura 10) apresenta as etapas da pesquisa, desde a construção do marco teórico até a aplicação das modelagens estatísticas.

Figura 10- Processo metodológico da pesquisa.

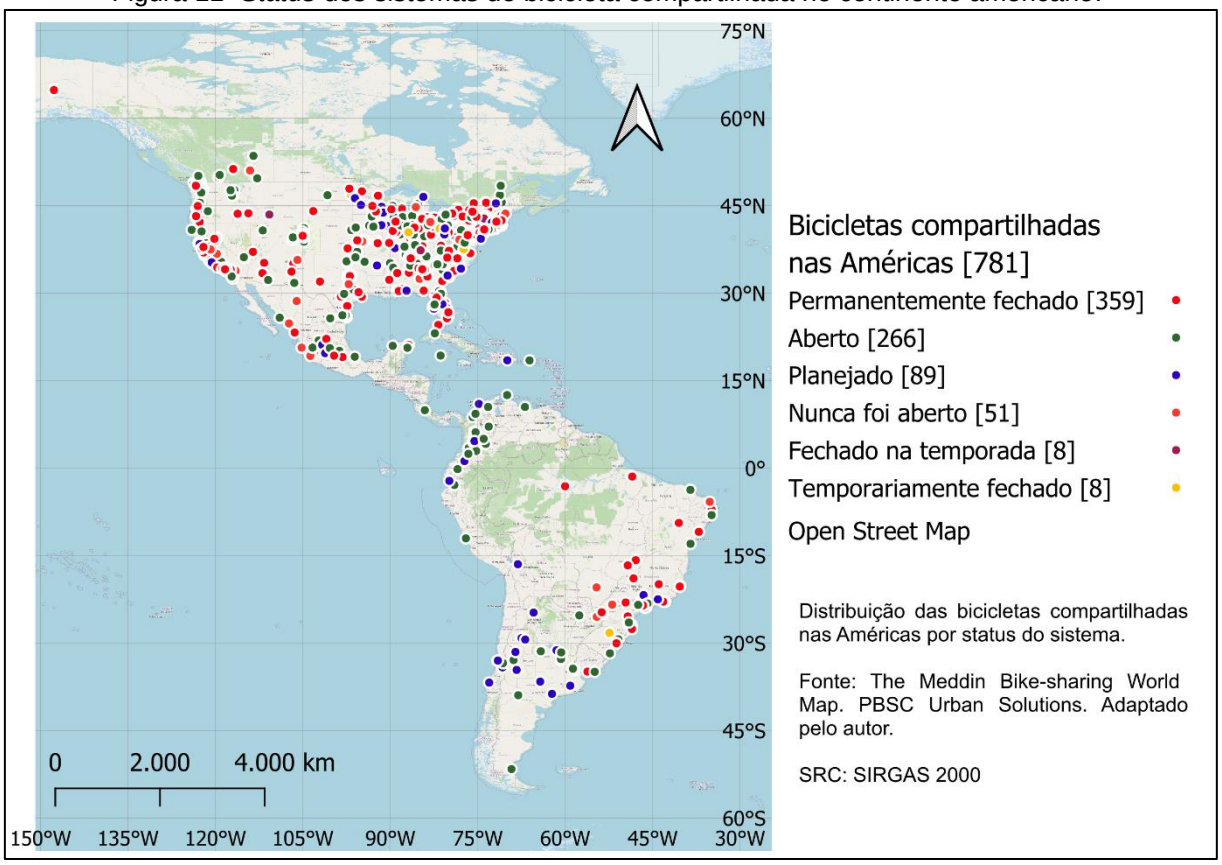


Fonte: Elaborado pelo autor.

4. ANÁLISES

Com a mineração dos dados realizado durante o mês de junho de 2023, foi possível atualizar o panorama das bicicletas compartilhadas nas Américas em diversos *status* (Figura 11). Dos 781 sistemas americanos minerados da plataforma *The Meddin Bike-sharing World Map*, 359 deles foram completamente fechados, 266 continuam operando, 89 foram planejados, 51 nunca foram abertos e 16 estão temporariamente fechados por motivos administrativos ou climáticos.

Figura 11- *Status* dos sistemas de bicicleta compartilhada no continente americano.



Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Elaborado pelo autor.

No que diz respeito à divisão dos sistemas quanto à parcela continental, a maior parte foi registrada na América do Norte (n=634), seguido pela América do Sul (n=142). Por último, a América Central com apenas 5 sistemas. Já em relação às divisões culturais do continente, a América Anglo-saxônica concentrou 599 sistemas de bicicleta compartilhada contra 182 da América Latina.

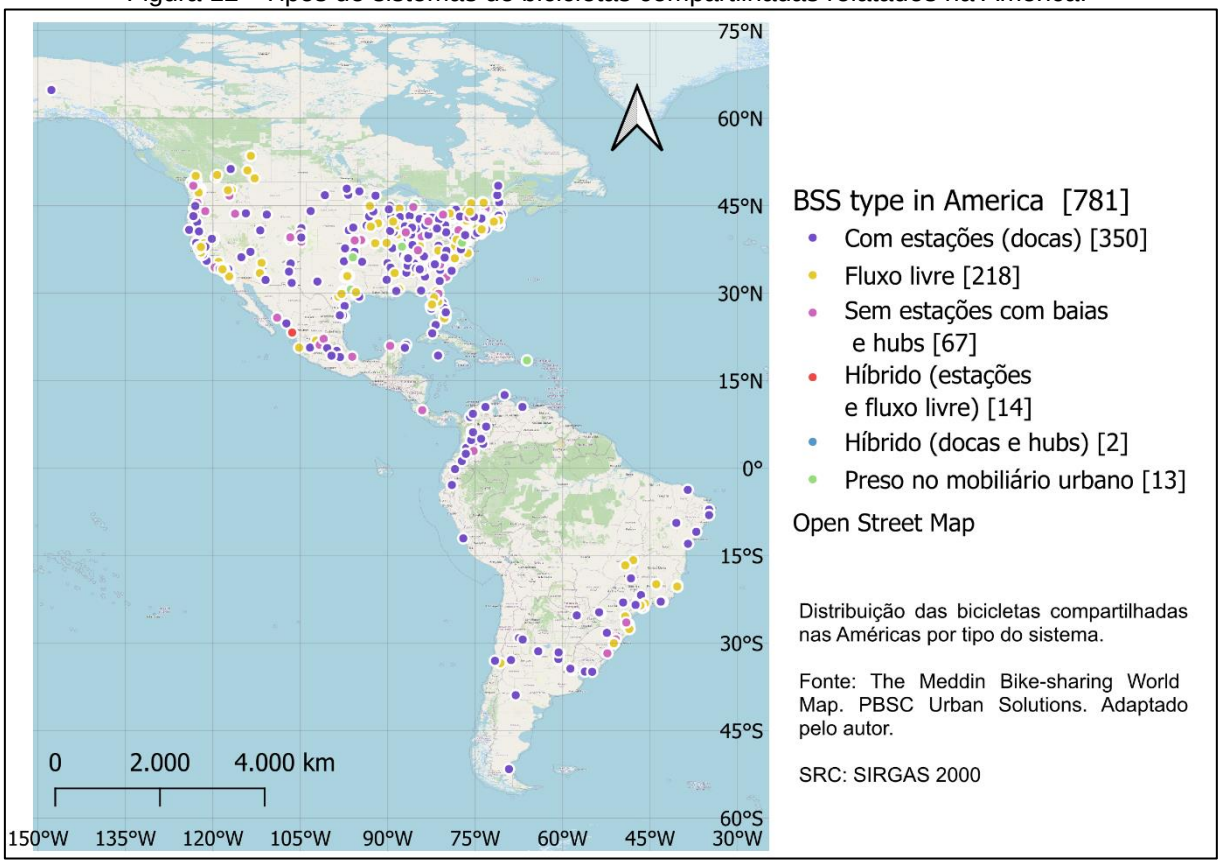
Quando ranqueado por países, destacam-se os Estados Unidos com 554 sistemas, seguido por Brasil (n=68), Canada (n=45), México (n=35), Colômbia (n=29),

Argentina (n=22), Chile (n=12), Equador (n=4) e Uruguai (n=2). Os demais países latinos tiverem apenas um sistema de bicicleta compartilhada mapeado pela plataforma.

Em relação ao tipo (Figura 12), observou-se que as bicicletas compartilhadas em estações fixas em docas foram identificadas em 350 sistemas, e as de fluxo livre em 218. Esses últimos não requerem estações fixas para devolver e retirar as bicicletas e geralmente as rodas são destravas por aplicativo. Geralmente as unidades são alocadas em locais ou zonas estratégicas pelas cidades. Já aquelas com características que não requerem qualquer tipo de estação, estacionamento ou local para retirada/devolução (sem estações com baias e hubs) tiveram apenas 67 sistemas.

É importante ressaltar que 16 sistemas foram considerados híbridos, ou seja, uma junção dos sistemas descritos anteriormente. Apenas um sistema foi caracterizado pela necessidade de trancamento da bicicleta no mobiliário urbano (*secure to street furniture*).

Figura 12 - Tipos de sistemas de bicicletas compartilhadas relatados na América.



Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Elaborado pelo autor.

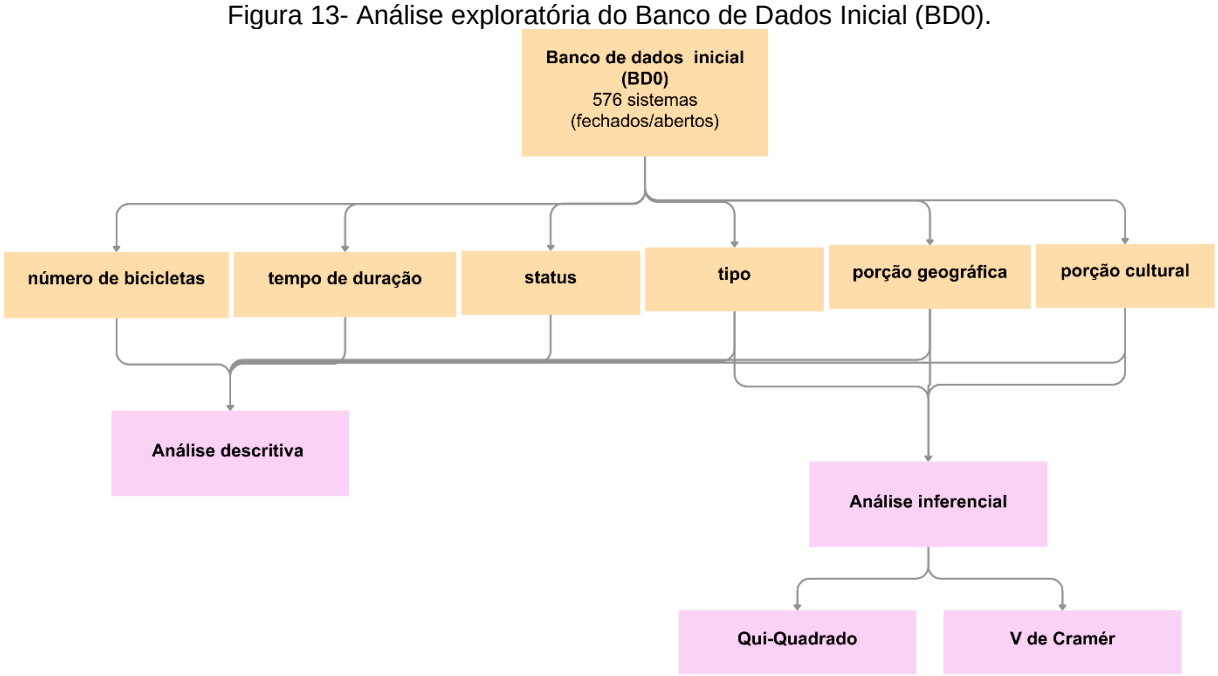
4.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO BANCO DE DADOS INICIAL (BD0)

Após fazer o recorte dos sistemas completamente fechados e dos que ainda continuam operando, além de excluir aqueles com informações incompletas ou ausentes, chegou-se a um total de 576 observações, o que corresponde a 73,75% do total de sistemas disponibilizados na plataforma (n=781).

Para uma melhor compreensão da distribuição desses sistemas, as observações foram organizadas com base em seis variáveis: número de bicicletas, tempo de duração, *status* (aberto e fechado), tipo de sistema (com estações, fluxo livre e outros), porção geográfica (América do Norte, América Central e América do Sul) e porção cultural (América anglo-saxônica e América latina).

A análise exploratória seguiu o fluxograma apresentado na Figura 13, iniciando-se com a estatística descritiva do banco de dados, seguida da aplicação dos testes de Qui-Quadrado e V de Cramér para identificar associações entre as variáveis categóricas e o *status* do sistema.

Figura 13- Análise exploratória do Banco de Dados Inicial (BD0).



Fonte: Elaborador pelo autor.

Em relação ao número de bicicletas compartilhas, os sistemas que se destacam estão localizados em Nova York, com 33.226 unidades; Chicago, com 12.283; Montreal, no Canadá, com 9.237; São Francisco, com 7.211; e, por fim,

Washington DC, com 7.177 bicicletas. Esses números refletem a grande escala desses sistemas no eixo norte-americano, em grandes metrópoles consolidadas por uma governança de transporte público sólida.

No que tange ao tempo de operação, os sistemas mais antigos são o de Montreal, no Canadá, com 5.162 dias de operação; seguido pelo sistema da Cidade do México, no México, com 4.882 dias. Nos Estados Unidos, a cidade de Nova York também opera um dos sistemas mais antigos, com 4.678 dias de funcionamento, com tempo similar ao sistema de Washington DC, que acumulou 4.666 dias. Outro sistema importante nesse contexto é o de Minneapolis, que registrou 4.647 dias de operação contínua.

Na América Latina, destacam-se as seguintes cidades: Medellín, Colômbia (4.314 dias); Indaiatuba, Brasil (4.016 dias); Santos, Brasil (3.865 dias); Punta del Este, Uruguai (3.849 dias); e Bertioga, Brasil (3.837 dias). De modo geral, o Brasil, além de se destacar pela quantidade de sistemas, apresenta sistemas mais duradouros em relação a outros países latinos.

Em relação à distribuição dos dados quanto às unidades operacionais e ao tempo de duração, o primeiro quartil indica que 25% dos sistemas possuem um total de bicicletas inferior a 47,75 e uma duração de vida abaixo de 388 dias, ou seja, pouco mais de um ano. Já a mediana mostra que metade dos registros têm até 122,50 bicicletas e uma duração de vida de até 994 dias. Por fim, o terceiro quartil indica que 75% dos registros possuem até 335 bicicletas e uma duração de vida inferior a 1.823,25 dias.

De um modo geral, as duas variáveis contínuas apresentam uma distribuição relativamente dispersa, principalmente no que se refere à duração de vida, que exibe uma diferença significativa entre os quartis, destacando variações consideráveis entre os sistemas mapeados. Isso sugere que grandes metrópoles localizadas na América do Norte, como Nova York, concentram sistemas de maior magnitude, os quais podem ser considerados *outliers* no banco de dados.

No que concerne a vitalidade, dentre os 576 sistemas, mais da metade, 56,25% (n=324), foi completamente desativado no continente, enquanto 252 permaneceram ativos e operando (43,75%). No que concerne à distribuição geográfica no continente, a América do Norte concentra a maioria dos sistemas, com 81,42% (n=469), enquanto a América do Sul abriga 8,06% (n=104) e a América Central, apenas 5 sistemas (0,52%).

Quanto à distribuição cultural, 77,60% (n=447) dos sistemas estão na América Anglo-Saxônica, enquanto 22,40% (n=129) estão na América Latina. De modo geral, há uma predominância na implantação desses sistemas no hemisfério norte a partir da década de 1990, com expansão para a América do Sul e Central a partir do final da primeira década dos anos 2000 (SHAHEEN; GUZMAN; ZHANG, 2010).

No que diz respeito ao tipo de sistema, o modelo com estações em docas é o mais comum, representando 53,82% (n=310) dos sistemas, seguido pelo modelo de fluxo livre, com 32,12% (n=185), e outros modelos operacionais, com 14,06% (n=81). A análise descritiva do Banco de Dados Inicial (BD0) está resumida na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14- Distribuição do BD0 em função das variáveis *status*, porção geográfica, porção cultural e tipo.

Variáveis	**Valores**	**n (576)**	**%**
Status	Aberto	324	56,3
	Fechado	252	43,8
Porção geográfica	América do Norte	469	81,4
	América do Sul	104	18,1
	América Central	3	0,5
Porção cultural	América anglo-saxônica	447	77,6
	América latina	129	22,4
Tipo	Com estações em docas	310	53,8
	Fluxo livre (sem estações)	185	32,1
	Outros	81	14,1

Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Adaptado pelo autor.

Ao analisar os sistemas fechados e abertos por porção cultural do continente (Tabela 15), observa-se que a América Anglo-Saxônica possui 61,07% (n=273) dos sistemas fechados, enquanto na América Latina, 60,47% (n=78) dos sistemas permanecem abertos. Isso sugere que a América Latina, mesmo com menor quantidade de sistemas, pode apresentar maior vitalidade em seu contexto socioeconômico.

Em relação aos tipos, a Tabela 15 demonstra que o sistema com estações em docas apresenta uma distribuição equilibrada entre os grupos. Entretanto, o cenário é diferente para os sistemas do tipo fluxo livre, nos quais a maioria foi fechada (75,68%). Em relação aos sistemas classificados como outros, a maioria (72,84%) permanece aberta, sugerindo que sistemas mesclados que fogem do convencional podem ter maior vitalidade.

Tabela 15 - Tabela cruzada entre *status* dos sistemas *versus* porção cultural e tipo do BD0.

n(576)	Porção cultural		Tipo		
	Anglo-saxônica	**Latina**	**Estações**	**Fluxo livre**	**Outros**
Abertos	174 (38.93%)	78 (60.47%)	148 (47.74%)	45 (24.32%)	59 (72.84%)
Fechados	273 (61.07%)	51 (39.53%)	162 (52.26%)	140 (75.68%)	22 (27.16%)

Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Adaptado pelo autor.

Os testes de Qui-Quadrado realizados para avaliar a associação entre as variáveis categóricas e o *status* dos sistemas de bicicletas compartilhadas (fechado ou aberto) indicaram p-valores extremamente baixos (p = 0,00) para todas as três variáveis analisadas: porção geográfica, porção cultural e tipo de sistema, evidenciando associações estatisticamente significativas.

No entanto, os resultados do teste V de Cramér demonstram que a força da associação varia entre as variáveis, sendo mais fraca para a porção geográfica (0,20) e porção cultural (0,18), enquanto o tipo de sistema apresentou o maior valor (0,32). Dessa forma, embora os três fatores estejam relacionados à continuidade ou ao encerramento dos sistemas, o modelo operacional, associado ao objetivo específico 5, exerce uma influência mais forte do que os aspectos culturais ou geográficos.

4.2. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO BANCO DE DADOS 1 (BD1)

Os dados levantados para a construção do BD1, em conjunto com o BD0, incluíram cinco grupos de variáveis, além das variáveis geográficas exploradas no tópico anterior. São eles: demográficas e econômicas; transporte e mobilidade urbana; climáticas; topográficas; e do sistema, totalizando 38 variáveis contínuas e uma categórica (tipo).

De modo geral, as cidades dos sistemas monitorados na América apresentam dados muito heterogêneos, abrangendo desde cidades muito pequenas até megalópoles como São Paulo e Nova York. Quando se fala de população, por exemplo, a população das cidades varia consideravelmente, com um primeiro quartil de aproximadamente 63.484 habitantes, enquanto o terceiro quartil atinge 713.252 habitantes, indicando que pelo menos 25% das cidades incorporam grandes populações metropolitanas.

Essa variação também é encontrada no PIB, onde o valor mínimo do primeiro quartil atinge cerca de 2,7 bilhões de dólares, enquanto no terceiro quartil sobe para 28,4 bilhões de dólares. Esses níveis de dispersão sugerem que o conjunto de dados do BD1 incluem cidades com características demográficas e econômicas muito distintas, desde pequenas cidades de baixa população e economia mais discretas até grandes centros urbanos mais povoados e economicamente ativos.

Em síntese, a análise dos grupos de variáveis do BD1 também revelou uma grande variabilidade das realidades demográficas, econômicas, climáticas e topográficas entre as cidades e sistemas. Nessa lógica, a investigação dos quartis das variáveis contínuas permitiu identificar a dispersão da distribuição dos dados e evidenciar a presença de *outliers* potenciais.

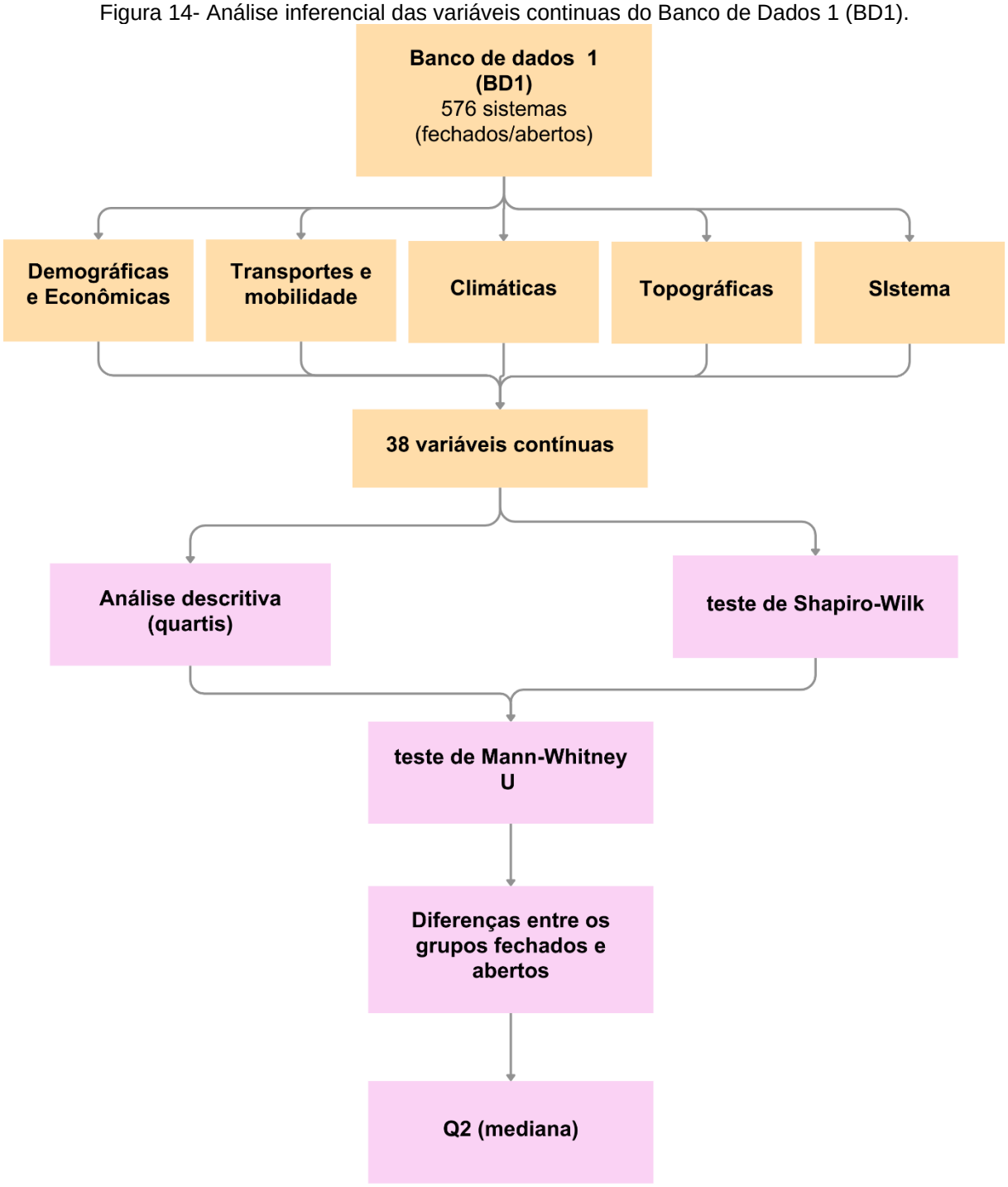
Dessa forma, para avaliar a normalidade dos dados, as variáveis contínuas foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk, cujos resultados indicaram que nenhuma delas segue uma distribuição normal, conforme demonstrado por p-valores inferiores a 0,05. Esses resultados reforçam a necessidade de aplicar as técnicas de tratamento e processamento de dados propostas na metodologia, que viabilizam a redução da dimensionalidade tanto das variáveis quanto das observações.

Além disso, a não normalidade dos dados justificou inicialmente a escolha de testes não paramétricos para as comparações entre grupos. Considerando que as observações dos sistemas fechados e abertos constituem grupos independentes, optou-se pelo uso do teste de Mann-Whitney U para avaliar diferenças significativas nas distribuições das variáveis contínuas. Assim, foi possível verificar se fatores demográficos, econômicos, de mobilidade, climáticos, topográficos e específicos do sistema apresentam distribuições distintas entre os grupos.

O teste foi aplicado às 38 variáveis do BD1 entre os grupos fechado e aberto e, para cada variável, foram calculados a estatística U e o p-valor correspondente. Na interpretação dos resultados, p-valores inferiores a 0,05 foram considerados indicativos de diferenças estatisticamente significativas nas distribuições das variáveis entre os grupos.

Posteriormente, as medianas de cada grupo foram comparadas para complementar a análise, considerando que o teste avalia diferenças na posição central entre dois grupos independentes, sendo este um parâmetro representativo dessas diferenças. O fluxograma da análise inferencial do BD1 é apresentado na Figura 14.

Figura 14- Análise inferencial das variáveis continuas do Banco de Dados 1 (BD1).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 16 abaixo apresenta os resultados da análise descritiva e inferencial aplicados ao BD1. No geral, a distribuição da maioria das variáveis demográficas diverge entre os sistemas fechados e abertos. As variáveis população (p=0,02), extensão territorial (p=0,00) e unidades habitacionais (p=0,04) apresentaram diferenças significativas entre os grupos, com maiores valores de medianas associadas aos sistemas abertos. Isso pode indicar que os sistemas que permanecem

abertos e operando estão localizados em áreas mais populosas e geograficamente maiores.

As demais variáveis demográficas e econômicas que apresentaram diferença estatística, com medianas maiores para os sistemas fechados, foram: densidade populacional (p=0,00), produto interno bruto per capita (p=0,00), rendimento domiciliar médio anual (p=0,02), idade média (p=0,02), pessoas com pelo menos ensino superior completo (p=0,00) e pessoas ocupadas ou empregadas (p=0,00).

Dessa forma, acredita-se que cidades com melhor perfil econômico, maior nível de escolaridade, população mais velha e melhor oferta de trabalho e empregos sejam mais propensas à cultura automobilística. Isso pode desestimular o uso da bicicleta compartilhada, o que pode, por sua vez, estar associado a uma maior taxa de fechamento desses sistemas (SHAHEEN; GUZMAN; ZHANG, 2010; FISHMAN, 2015).

No que diz respeito às variáveis relacionadas ao transporte e à mobilidade urbana, apenas a porcentagem de viagens realizadas por bicicleta apresentou diferença estatisticamente significativa entre as medianas dos grupos (p=0,00), com os sistemas abertos registrando valores mais altos. Ou seja, uma maior adesão ao uso da bicicleta pela população pode estar associada à permanência dos sistemas.

Esse resultado já era esperado, partindo do pressuposto de que as cidades onde já existem ciclistas ativos e cultura cicloviária, ou seja, uma demanda por bicicletas, tendem a ter maior vitalidade nos sistemas de bicicletas compartilhadas (JI *et al*., 2014; PURNAMA, 2018; SOHRABI *et al*., 2020; SUCHANEK; JAGIEŁŁO; SUCHANEK, 2021; OSKARBSKI; BIRR; ŻARSKI, 2021; LEE *et al*., 2022; GAMMELLI *et al*., 2022; ZHU *et al*., 2024).

Em relação às variáveis climáticas, a maioria não apresentou diferença estatística entre as medianas dos grupos. Observa-se que, em nível continental, as variáveis climáticas podem não ser fatores determinantes para o insucesso do uso da bicicleta compartilhada, quando comparadas a escalas regionais ou locais, como apontam Zhang *et al*. (2021).

As variáveis temperatura mínima e amplitude térmica apresentaram diferença significativa (p = 0,03), com a primeira apresentando maior valor de mediana para os sistemas abertos e a segunda para os sistemas fechados. Dessa maneira, a temperatura em nível de continente pode indicar que climas menos frios, com maiores

temperaturas mínimas e menor variação térmica, podem ser favoráveis ao sucesso da bicicleta compartilhada.

Em termos de topografia e elevação, apenas a elevação topográfica mínima não apresentou diferença estatística entre as medianas. Surpreendentemente, os sistemas abertos registraram medianas mais altas para a elevação média, máxima e amplitude topográfica. Esse resultado foi inesperado, pois se acreditava que cidades em altitudes mais elevadas e com maiores variações altimétricas poderiam limitar o uso da bicicleta devido ao relevo acidentado e às temperaturas mais baixas. No entanto, análises inferenciais posteriores ofereceram novos *insights*, refutando essa conclusão ou indicando sua não significância.

Finalmente, no que diz respeito aos sistemas, e não mais às cidades, o total de bicicletas mostrou-se maior em sistemas abertos ($p = 0,04$), sugerindo que operações com maior cobertura e número de bicicletas são mais sustentáveis. Além disso, a duração do sistema (tempo operacional) também foi maior ($p = 0,00$), indicando que esses sistemas tendem a se estabilizar ao longo do tempo (ZHANG *et al*., 2021; ANAYA-BOIG; DOUCH; CASTRO, 2021), reforçando a necessidade de o poder público subsidiar e criar mecanismos de continuidade.

Esses resultados indicam que uma combinação de fatores socioeconômicos, demográficos e operacionais pode influenciar a continuidade ou o encerramento dos sistemas de bicicletas compartilhadas na América. Cidades menos densas, mais populosas, com indicadores socioeconômicos mais baixos, sistemas de grande cobertura e mais antigos, e que já apresentam porcentagens discretas de ciclistas, parecem oferecer um ambiente mais favorável para a operação contínua desses sistemas.

Por outro lado, cidades com maior renda, PIB per capita e maior densidade populacional tendem a encerrar essas operações, o que sugere que o sucesso dos sistemas de bicicletas compartilhadas depende de um equilíbrio entre a demanda populacional, infraestrutura e a mobilidade disponível.

Tabela 16 – Análise descritiva e inferencial das variáveis contínuas do BD1.

	Variáveis	Q1	Q2	Q3	Q2 (mediana)		p_valor
					fechados	abertos	Mann-Whitney
Demográficas e Econômicas	População (hab)	63.484,0	209644,5	713.252,0	156.893,50	314.428,50	0,02
	Extensão territorial (km²)	47,7	170,5	486,7	141,65	247,70	0,00
	Densidade populacional (hab/km²)	794,2	1468,3	2962,5	1.636,40	1.215,77	0,00
	Produto interno bruto em bilhões ($)	2,7	7,5	28,4	7,42	8,28	0,96
	Produto interno bruto per capita ($)	34.265,5	50.349,2	63.311,0	53.709,26	48.140,00	0,00
	Rendimento domiciliar médio anual ($)	42.138,0	63.273,8	81.402,5	70.386,00	57.742,54	0,00
	Idade média	32,0	35,1	38,1	35,40	34,60	0,02
	Unidades habitacionais	26.328,2	92.239,0	322.781,5	62.977,00	124.944,50	0,04
	Pessoas por unidade habitacional	2,1	2,3	2,6	2,33	2,36	0,08
	Pessoas com pelo menos ensino superior completo (%)	26,3	38,5	53,6	41,40	35,66	0,00
	Pessoas ocupadas ou empregadas (%)	57,0	61,4	66,3	62,40	60,20	0,00
Transportes e mobilidade	Frota de veículos	36.073,2	128.843,5	442.143,8	98.483,50	150.957,44	0,08
	População com veículos (%)	0,5	0,7	0,7	0,66	0,65	0,07
	Tempo médio de deslocamento (min)	21,1	25,4	30,5	25,70	25,04	0,49

(continua na próxima página)

Tabela 16 – Análise descritiva e inferencial do BD1 (continuação).

	Variáveis	Q1	Q2	Q3	Q2 (mediana)		p_valor
					fechados	abertos	Mann-Whitney
Transporte	Viagens realizadas em veículo privado (%)	46,7	63,5	72,7	63,70	63,30	0,88
	Viagens realizadas de bicicleta (%)	0,3	0,8	2,6	0,70	1,08	0,00
Climáticas	Temperatura mínima média (F)	22,0	34,0	45,0	32,00	35,50	0,03
	Temperatura máxima média (F)	82,0	85,0	89,0	85,00	85,00	0,74
	Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	36,8	57,0	62,0	57,00	55,00	0,03
	Período de temperatura elevada ou quente, em meses	3,2	3,6	3,8	3,60	3,60	0,27
	Período de temperatura baixa ou frio, em meses	2,9	3,1	3,3	3,20	3,10	0,14
	Período mais claro com poucas nuvens, em meses	4,2	4,7	5,9	4,60	4,75	0,73
	Período nublado, em meses	6,1	7,3	7,8	7,40	7,25	0,73
	Período úmido, em meses	4,5	5,2	6,4	5,10	5,45	0,06
	Período seco, em meses	5,6	6,8	7,5	6,90	6,55	0,06
	Período chuvoso/nevoso, em meses	4,0	5,0	6,8	5,00	5,00	0,95
	Período sem chuva/sem neve, em meses	5,2	7,0	8,0	7,00	7,00	0,91
	Dia mais curto, em horas	9,2	9,6	10,2	9,53	9,71	0,06

(continua na próxima página)

Tabela 16 – Análise descritiva e inferencial do BD1 (continuação).

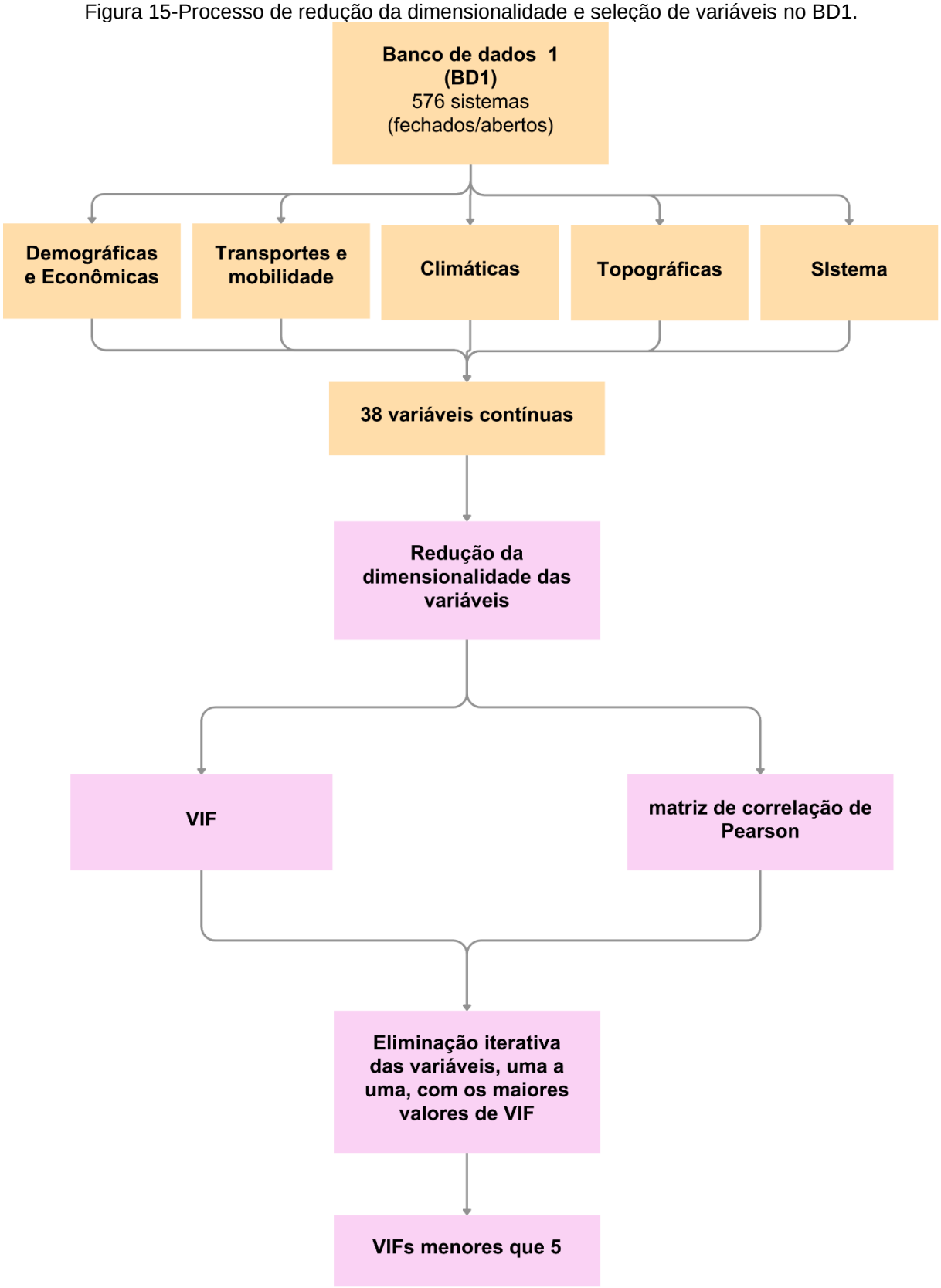
	Variáveis	Q1	Q2	Q3	Q2 (mediana)		p_valor Mann-Whitney
					fechados	abertos	
Clima	Dia mais longo, em horas	14,1	14,7	15,2	14,78	14,58	0,06
	Período com menos ventos, em meses	4,8	5,8	6,7	5,70	5,80	0,14
	Período com mais ventos, em meses	5,3	6,2	7,2	6,30	6,20	0,14
Topográficas	Elevação topográfica média (m)	43,0	184,0	343,5	157,50	197,00	0,03
	Elevação topográfica mínima (m)	-2,0	95,0	244,0	69,50	109,50	0,07
	Elevação topográfica máxima (m)	167,0	317,0	886,5	272,00	349,00	0,01
	Diferença entre elevação máxima e mínima (m)	97,0	168,5	495,5	158,00	183,50	0,05
Sistema	Número total de bicicletas	47,8	122,5	335,0	100,00	150,00	0,04
	Tempo de duração do sistema em dias	388,0	994,0	1.823,2	657,00	1.641,00	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1. Explorando a colinearidade do BD1 pelo fator de inflação da variância (VIF)

Devido à alta dimensionalidade das variáveis contínuas do BD1, foi necessário aplicar um processo metodológico de filtragem para selecionar as variáveis mais relevantes para as análises de *cluster* e regressões *logit* (Figura 15). Para isso, foi realizada uma análise de colinearidade entre as variáveis por meio do fator de inflação da variância (VIF) e da matriz de correlação de Pearson. A redução da dimensionalidade seguiu um procedimento iterativo, no qual as variáveis com os maiores valores de VIF foram eliminadas uma a uma, até que todas apresentassem VIF inferior a 5, garantindo menor redundância e multicolinearidade nos modelos estatísticos.

Figura 15-Processo de redução da dimensionalidade e seleção de variáveis no BD1.



Inicialmente, ao analisar os fatores de inflação de variância (VIF) das 38 variáveis contínuas do BD1 (Tabela 17), verificou-se que a maioria delas apresenta

colinearidade elevada. Destacam-se as variáveis topográficas (elevação topográfica média, elevação topográfica mínima e elevação topográfica máxima), que apresentam valores infinitos de VIF, indicando colinearidade perfeita entre elas ou mais outras variáveis independentes do banco de dados.

As variáveis climáticas também apresentaram valores de VIF muito elevados. Exemplos incluem o período nublado (14.449,29), o período úmido (8.718,74) e o período seco (11.277,69), que mostram uma forte correlação entre essas variáveis e as demais. No continente americano, esses períodos sazonais representam condições climáticas complementares ao longo do ano.

Essa interdependência sugere que, ao incluir essas variáveis em um modelo preditivo, a redundância de informação dificulta a separação dos efeitos individuais de cada uma sobre o sucesso ou insucesso das bicicletas compartilhadas. Além disso, quando avaliadas isoladamente não obtiveram indiferença estatística entre as medianas dos grupos fechados e abertos.

Por outro lado, as variáveis que apresentaram VIF inferior a 5 indicam menor risco de multicolinearidade, sendo menos suscetíveis a redundância no modelo estatístico. Entre elas, destacam-se extensão territorial (1,44), viagens realizadas por bicicleta (%) (4,28), número total de bicicletas (1,41) e tempo de duração do sistema (2,75). Esses resultados desmostram que essas variáveis possuem menor correlação com as demais e podem contribuir de forma mais independente para a análise.

Tabela 17- Coeficientes VIF das variáveis contínuas do BD1.

	Variáveis (n=576)	**VIF**
Demográficas e Econômicas	População (hab)	154,02
	Extensão territorial (km²)	1,44
	Densidade populacional (hab/km²)	5,76
	Produto interno bruto em bilhões ($)	6,90
	Produto interno bruto per capita ($)	23,83
	Rendimento domiciliar médio anual ($)	21,37
	Idade média	93,63
	Unidades habitacionais	147,68
	Pessoas por unidade habitacional	93,14
	Pessoas com pelo menos ensino superior completo (%)	17,33
	Pessoas ocupadas ou empregadas (%)	96,92

(continua na próxima página)

Tabela 17 - Coeficientes VIF das variáveis contínuas do BD1 (continuação).

	Variáveis (n=576)	VIF
Transportes e mobilidade	Frota de veículos	22,17
	População com veículos (%)	62,51
	Tempo médio de deslocamento (min)	46,40
	Viagens realizadas em veículo privado (%)	68,91
	Viagens realizadas em transporte público (%)	14,65
	Viagens realizadas de bicicleta (%)	4,28
Climáticas	Temperatura mínima média (F)	174,73
	Temperatura máxima média (F)	567,56
	Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	282,15
	Período de temperatura elevada ou quente, em meses	35,35
	Período de temperatura baixa ou frio, em meses	38,46
	Período mais claro com poucas nuvens, em meses	7.478,4
	Período nublado, em meses	14.468,67
	Período úmido, em meses	8.718,74
	Período seco, em meses	11.586,42
	Período chuvoso/nevoso, em meses	887,06
	Período sem chuva/sem neve, em meses	1.274,82
	Dia mais curto, em horas	1.360,08
	Dia mais longo, em horas	825,24
	Período com mais ventos, em meses	2.275,22
	Período com menos ventos, em meses	2.084,28
Topográficas	Elevação topográfica média (m)	79,55
	Elevação topográfica mínima (m)	inf
	Elevação topográfica máxima (m)	inf
	Diferença entre elevação máxima e mínima (m)	inf
Sistema	Número total de bicicletas	1,41
	Tempo de duração do sistema em dias	2,75

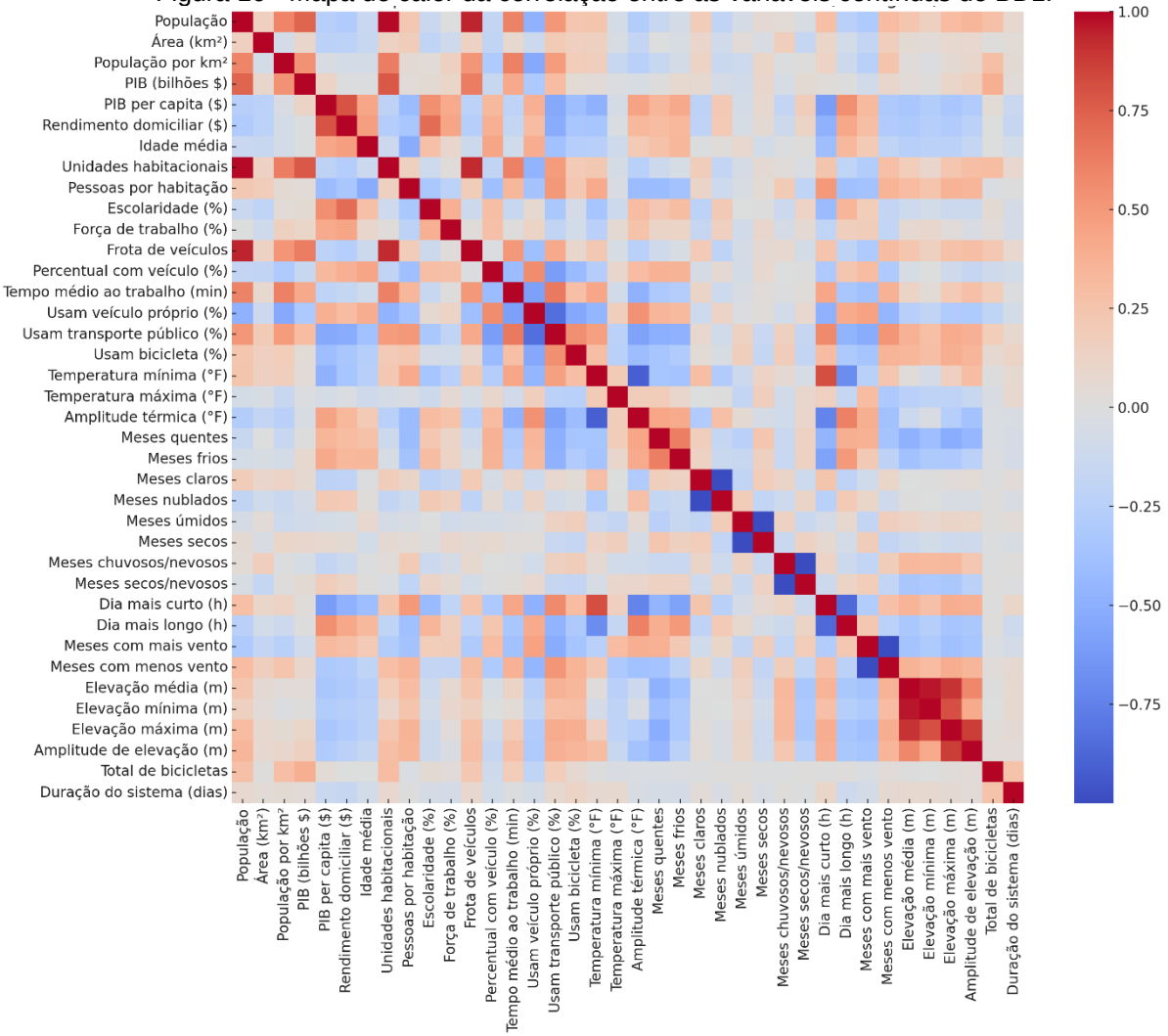
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao observar o mapa de calor da correlação Pearson entre as variáveis (Figura 16), notam-se cores fortes associadas aos pares de variáveis demográficas e

econômicas, bem como às variáveis topográficas e climáticas. As elevações mínima e máxima apresentam correlações positivas próximas de 1, indicando que aumentos em uma variável estão fortemente associados a aumentos na outra, em virtude das formações geológicas do continente.

Destacam-se também as colinearidades entre PIB per capita e renda domiciliar, população e unidades habitacionais, e frota de veículos e unidades habitacionais, que, como esperado, apresentam uma forte dependência entre si. Essa análise auxiliou na exclusão e filtragem para a escolha de variáveis com valores de VIF menores.

Figura 16 - Mapa de calor da correlação entre as variáveis contínuas do BD1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em resumo, até este ponto, o uso combinado dos testes de Mann-Whitney, VIF e correlação de Pearson permitiu identificar tanto as variáveis com poder individual de discriminação entre sistemas fechados e abertos quanto aquelas que, devido à

multicolinearidade excessiva, puderam ser removidas em uma análise inicial para aprimorar os modelos preditivos e a análise de *cluster*.

Neste ponto, no processo de escolha, também foi necessário analisar as variáveis mais utilizadas em estudos que investigaram o insucesso dos sistemas de bicicleta compartilhada, considerando que algumas dessas investigações também empregaram modelagens preditivas.

Com essa abordagem, chegou-se a um total de dez variáveis contínuas, que, após o processo de eliminação iterativa, foram testadas em conjunto e apresentaram VIFs inferiores a 5: extensão territorial (1,2), densidade populacional (4,2), PIB per capita (2,4), unidades habitacionais (2,5), percentual de viagens por transporte público (3,9), percentual de viagens por bicicleta (2,4), elevação média (2,3), amplitude de elevação (25), total de bicicletas (1,3) e duração do sistema (2,2). A variável percentual de viagens por transporte público apresentou um valor próximo ao nível de significância no teste Mann-Whitney (p = 0,07), por isso, decidiu-se mantê-la.

4.2.1.1. Aplicação de regressões *logit* às variáveis do BD1 com VIF inferior a 5

Após a redução das variáveis, iniciou-se o processo de modelagem preditiva, no qual foram construídos modelos de regressão *logit* para investigar a relação entre diferentes grupos de variáveis e o fechamento dos sistemas de bicicletas compartilhadas, em consonância com os objetivos específicos, assim como proposto no estudo de Zhou *et al*. (2023).

Inicialmente, foi elaborado um modelo completo (M1), no qual foram incluídas todas as variáveis que apresentaram VIF inferior a 5. Esse modelo representou a primeira etapa da análise, considerando simultaneamente todos os grupos investigados (demográficas e econômicas, transporte e mobilidade, topográficas e sistemas). As variáveis climáticas foram eliminadas devido à alta colinearidade e à baixa significância quando analisadas isoladamente pelo teste de Mann-Whitney.

Em seguida, para compreender o impacto individual de cada grupo de variáveis, foram desenvolvidos modelos divididos em quatro análises. O primeiro modelo parcial (M1A) abrangeu variáveis demográficas e econômicas, incluindo extensão territorial, densidade populacional e unidades habitacionais.

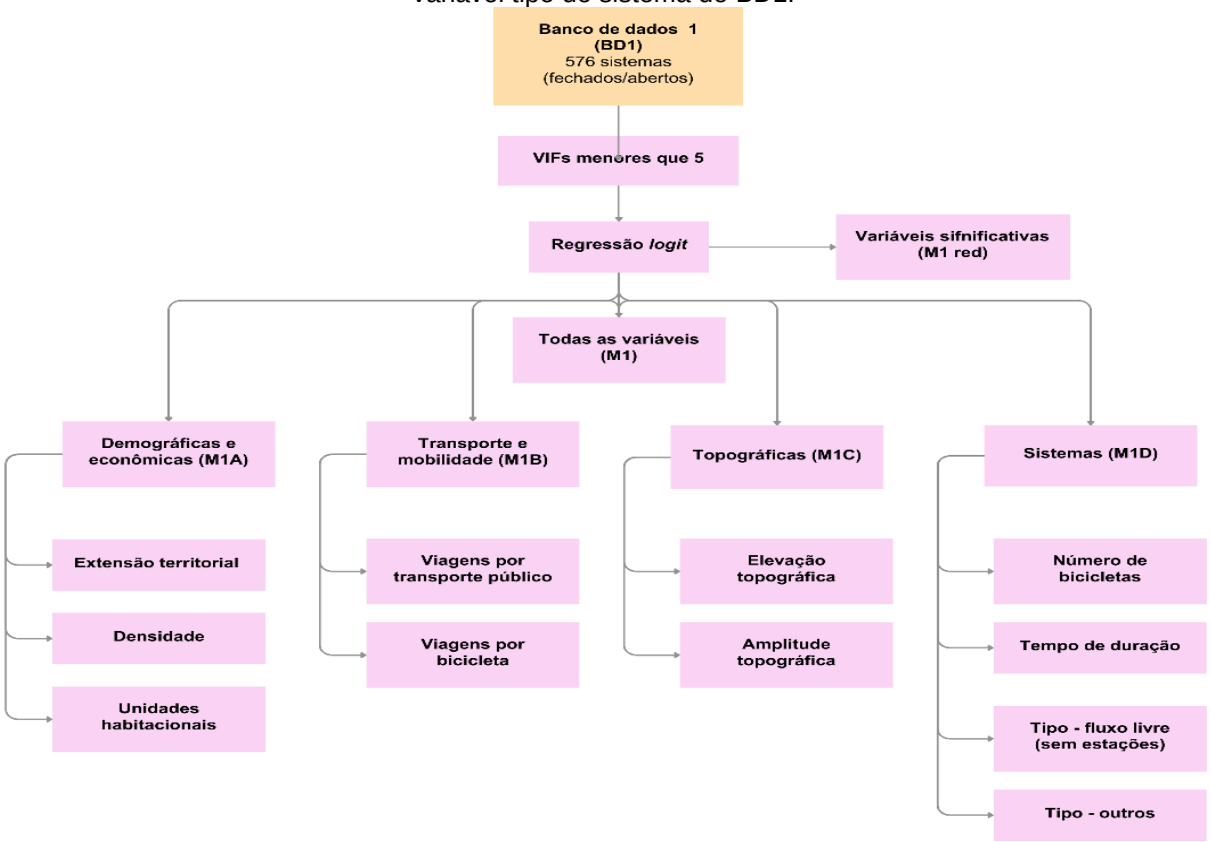
O segundo modelo (M1B) concentrou-se nas variáveis de transporte e mobilidade, como viagens por transporte público e viagens por bicicleta. O modelo

seguinte (M1C) abordou as características topográficas, considerando elevação e amplitude topográfica. Por fim, o modelo (M1D) incluiu as características dos sistemas, como número total de bicicletas, tempo de duração e tipo de operação, comparando sistemas de fluxo livre e outros com os de estações (*dummy*).

Após essa segmentação inicial, o modelo M1 passou por um processo de refinamento progressivo, em que variáveis com menor significância estatística, ou seja, aquelas com os maiores p-valores, foram removidas iterativamente. Esse procedimento possibilitou a construção do modelo reduzido (M1 red), que manteve apenas as variáveis significativamente associadas ao fechamento dos sistemas de bicicletas compartilhadas.

Dessa forma, o fluxograma ilustra o caminho metodológico adotado, desde a filtragem das variáveis com VIF inferior a 5 até a construção dos modelos segmentados e sua posterior redução (Figura 17). Essa abordagem permitiu um diagnóstico mais refinado das variáveis que influenciam o fechamento dos sistemas de bicicletas compartilhadas, auxiliando na compreensão dos fatores determinantes para sua permanência ou descontinuidade.

Figura 17- Fluxograma da elaboração das regressões *logit* para as variáveis com VIF inferior a 5 e a variável tipo do sistema do BD1.



Fonte: Elaborador pelo autor.

O modelo M1 se mostrou sensível a variáveis com baixos níveis de significância (Tabela 18). Isso ocorre porque, embora variáveis independentes possam apresentar diferenças estatísticas entre os grupos de sistemas fechados e abertos, quando combinadas em um modelo de regressão com muitas variáveis, podem não contribuir efetivamente para a predição. Além disso, observou-se uma grande dispersão de valores devido à heterogeneidade da amostra, o que pode influenciar a estabilidade do modelo e dificultar a identificação de padrões consistentes.

Algumas variáveis foram significativas nesse modelo, porém apresentaram baixas razões de chances, como a densidade populacional, que teve um efeito positivo muito pequeno sobre o fechamento dos sistemas (OR = 1,0002). Nesse ponto, é importante destacar que essa variável também foi significativa no teste de Mann-Whitney ao comparar sistemas fechados e abertos, demonstrando que, isoladamente, obteve mediana maior para os sistemas fechados.

Esse contraste ressalta a necessidade de abordagens metodológicas diferenciadas, como a adotada neste estudo, que considera múltiplos caminhos analíticos para garantir conclusões mais consistentes e incontestáveis. Da mesma forma, a variável duração do sistema, que apresentou uma mediana maior para os sistemas abertos, demonstrou um impacto negativo sobre o fechamento (OR = 0,999), ou seja, sistemas com maior tempo de operação tendem a ter uma chance ligeiramente menor de descontinuidade.

Já em relação ao tipo, destacam-se os sistemas classificados como outros (com características hibridas), que apresentam uma redução de 83,12% na chance de fechamento em comparação com o tipo de estações fixas (OR = 0,169), confirmando o argumento de Zhou *et al*. (2023), os quais indicam que modelos de inovação e adaptação à realidade local são preditores de sucesso para a bicicleta compartilhada na China.

No modelo M1A (Tabela 18), apenas as variáveis extensão territorial e PIB per capita se mostraram significativas, corroborando os resultados do teste de Mann-Whitney. O coeficiente negativo para a extensão territorial sugere que um aumento unitário nessa variável reduz a chance de fechamento em apenas 0,05%. Por outro lado, variáveis como densidade populacional e unidades habitacionais não foram estatisticamente significativas, indicando que não contribuem para o fechamento dos sistemas.

No que tange às variáveis de transporte e mobilidade urbana (M1B), como esperado, o percentual de uso de bicicletas revelou-se significativo, com uma associação negativa de redução de 12,36% na chance de fechamento (OR = 0,876). Essa associação é relevante para compreender o papel das bicicletas nos contextos urbanos americanos. Contudo, o ajuste geral deste modelo ainda foi limitado, devido à exclusão de outras variáveis importantes que apresentaram alta colinearidade na etapa anterior.

No caso da topografia (M1C), nenhuma variável alcançou significância estatística (Tabela 18), embora os testes de Mann-Whitney tenham indicado diferenças significativas. Isso sugere que as características topográficas, pelo menos no contexto americano, podem ter pouca influência sobre a continuidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas. Esse resultado indica que, quando combinadas, essas variáveis possuem baixo poder preditivo sobre o sucesso ou insucesso dos sistemas, mesmo considerando que cidades com relevo acidentado possam limitar a cultura ciclística.

Assim como no modelo M1, as variáveis operacionais diretamente relacionadas aos sistemas desenvolvidas pelo modelo M1D (Tabela 18), com exceção do número de bicicletas, revelaram-se relativamente importantes a vitalidade dos sistemas de bicicleta compartilhada. Nesse modelo, tanto a duração do sistema quanto o tipo outros foram estatisticamente significativos, com o primeiro mostrando-se negativamente associado ao fechamento (OR = 0.999) e o segundo sugerindo uma redução de 87,37% na chance de fechamento em comparação ao tipo estações fixas (OR = 0.126).

Por fim, o modelo final M1 reduzido foi desenvolvido por meio de um processo de eliminação iterativa, no qual variáveis não significativas foram removidas, uma a uma, do maior p-valor para o menor, de forma a manter apenas os preditores significativos (Tabela 18). Como resultado, esse modelo revelou as seguintes variáveis: densidade populacional (OR = 0,999), percentual de uso de transporte público (OR = 0,969), duração do sistema (OR = 0,999) e tipo outros (OR = 0,169).

Vale ressaltar que, quando as razões de chance estão próximas de 1, isso indica que a variável tem um impacto muito pequeno, ou praticamente nulo, sobre o desfecho estudado. Em outras palavras, a probabilidade de o desfecho ocorrer é praticamente a mesma, independentemente do valor dessa variável, sugerindo um efeito irrelevante ou pouco significativo.

No entanto, essas variáveis, mesmo com pouca influência, contribuem para melhorar o ajuste e a acurácia do modelo quando consideradas em conjunto, justificando, portanto, sua inclusão. Dessa forma, o M1 reduzido, em relação aos modelos M1A, M1B, M1C e M1D, apresentou o melhor desempenho em termos de eficácia pela matriz de confusão, com uma acurácia mais elevada e um R^2 de Tjur aprimorado, embora com um ajuste inferior ao do modelo M1 completo. Isso reforça o conceito de validade incremental, ao demonstrar que variáveis não significativas, mesmo sem influência individual, podem aprimorar o modelo preditivo (MANARD, 2002; HOSMER *et al*., 2013).

Tabela 18 - Modelagens *logit* após análise de colinearidade do BD1.

n (576)	**M1**	**M1A**	**M1B**	**M1C**	**M1D**	**M1red**
const	1,603*** (3,106)	-0,448 (-1,379)	0,656*** (4,637)	0,441 (3,43)	1,867*** (6,864)	1,729 (8,744)
Extensão territorial (km²)	-0,0 (-0,706)	-0,001** (-2,204)				
Densidade populacional (hab/km²)	0,0*** (3,407)	0,0 (0,627)				0,0 (4,656)
Produto interno bruto per capita ($)	0,0 (0,976)	0,0*** (3,142)				
Unidades habitacionais	0.0 (1,518)	0.0 (0,999)				
Viagens realizadas em transporte público (%)	-0,034** (-2,386)		-0,012 (-1,511)			-0,031 (-4,229)
Viagens realizadas de bicicleta (%)	-0,073 (-1,179)		-0,132** (-2,465)			
Elevação topográfica média (m)	0.0 (1,622)			-0,0 (-0,458)		
Diferença entre elevação máxima e mínima (m)	-0,0 (-0,592)			-0,0 (-1,647)		
Número total de bicicletas	-0,001* (-2,676)				-0,0* (-1,922)	
Tempo de duração do sistema em dias	-0,001*** (-6,703)				-0,001*** (-6,729)	-0,001 (-9,393)
Fluxo livre sem estações	-0,162 (-0,505)				0,151 (0,522)	
Outros	-2,41*** (-5,393)				-2,069*** (-4,985)	-1,779 (-5,987)
AIC	416,16	534,12	539,09	552,30	440,35	609,64
BIC	468,15	554,12	551,09	564,30	460,35	631,42
Log-Likelihood	-195,08	-262,06	-266,54	-273,15	-215,18	-299,82
Pseudo-R^2	0,29	0,05	0,04	0,01	0,22	0,24
R^2 de Tjur	0,36	0,07	0,05	0,02	0,28	0,30
Eficácia do Modelo	0,72	0,59	0,55	0,55	0,72	0,77

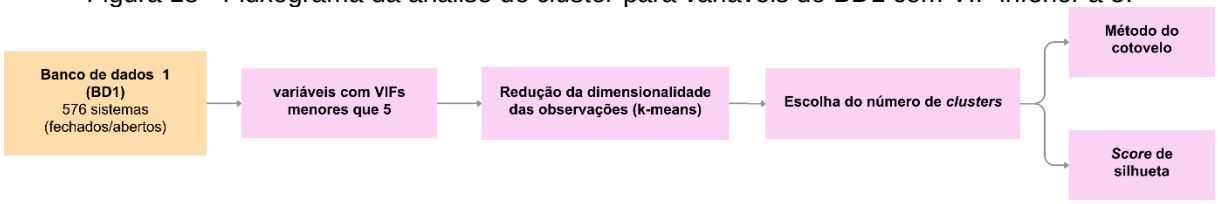
***p < 0,01, **p < 0,05, *p < 0,1, Z-valor em parênteses

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.2. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para as variáveis do BD1 com VIF inferior a 5

Com a redução das variáveis, partiu-se para a análise de clusters, uma etapa essencial dada a heterogeneidade dos sistemas e das cidades que os implementaram. Essa diversidade pode ser agrupada em conjuntos homogêneos com base nas 10 variáveis contínuas que apresentaram VIF inferior a 5. Para determinar a quantidade ideal de clusters no algoritmo *K-means*, foram empregados dois métodos combinados: o gráfico do cotovelo e o coeficiente de silhueta (Figura 18).

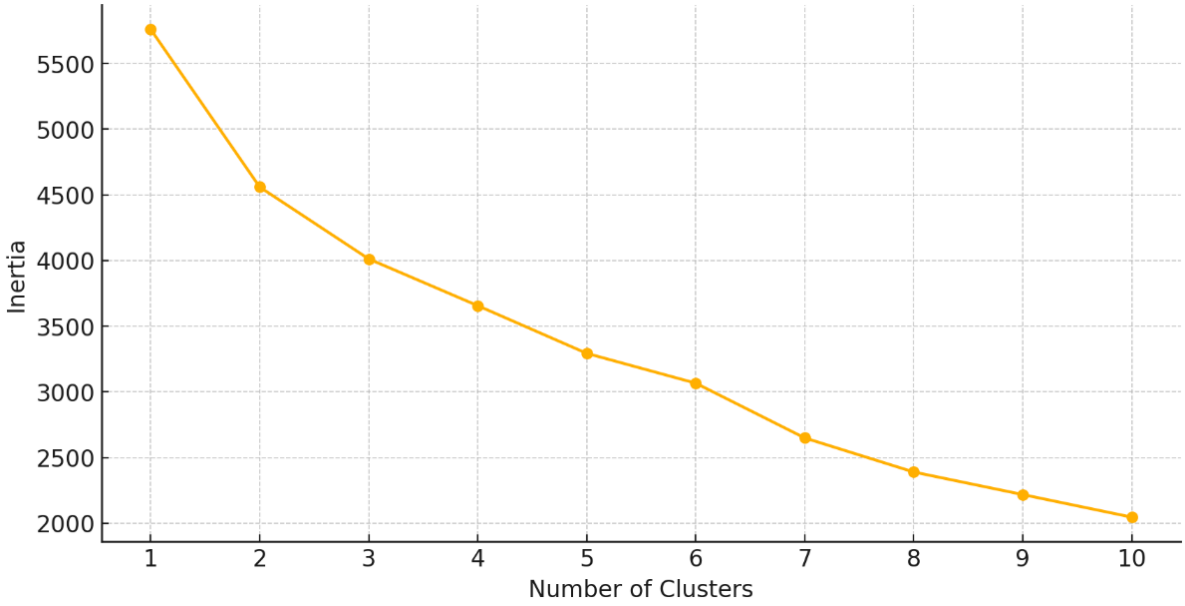
Figura 18 - Fluxograma da análise de *cluster* para variáveis do BD1 com VIF inferior a 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico do cotovelo (Figura 19), identificou-se a formação do cotovelo em torno de 2 *clusters*, sugerindo uma possível divisão ideal. No entanto, percebe-se que a escolha de 2 *clusters* pode ignorar um grupo extremo, que poderia incorporar sistemas em cidades globais com características de megalópoles.

Figura 19 - Gráfico do Cotovelo (Inércia x Número de *clusters*) em relação as 10 variáveis.

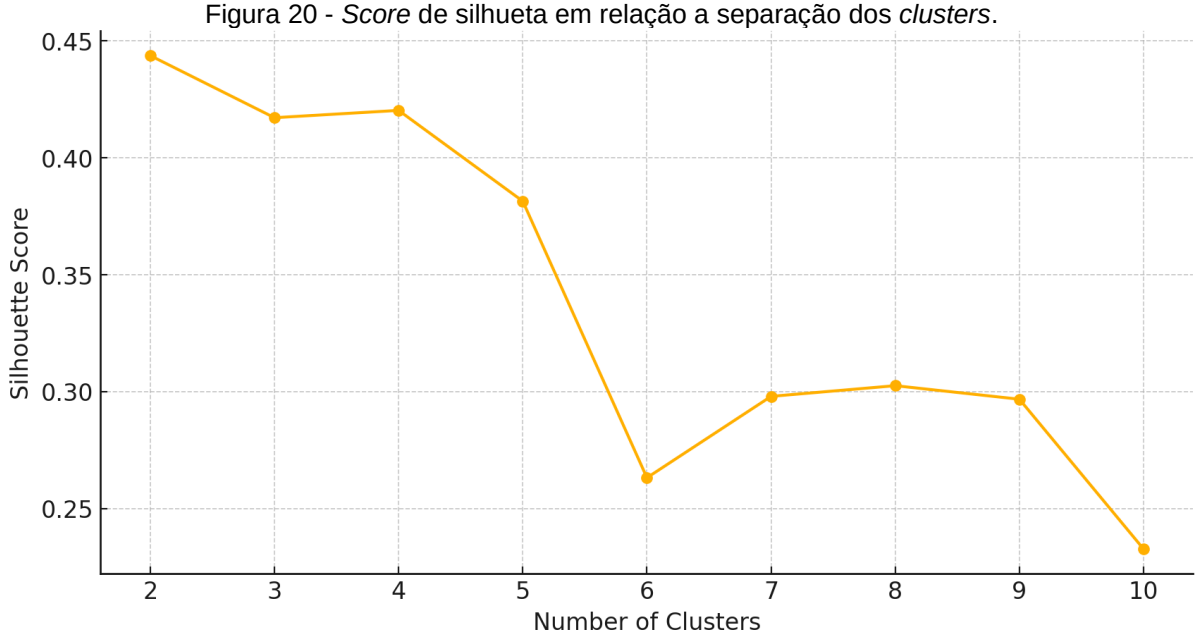


Fonte: Elaborado pelo autor.

No que tange ao coeficiente de silhueta (Figura 20), a pontuação máxima também ocorre com 2 *clusters*, o que sugere uma separação com melhor desempenho. No entanto, como discutido anteriormente, a utilização de apenas dois grupos pode ocultar um grupo com características extremas, potenciais *outliers*.

Observa-se ainda que os *scores* para 3 e 4 *clusters* são próximos ao de 2 *clusters*. No entanto, ao testar a configuração com 4 *clusters*, um dos *clusters* resultou em apenas uma observação, o que pode indicar um *outlier*. Assim, para capturar um grupo intermediário e incluir a diversidade observada nos dados, optou-se pela configuração com 3 *clusters* (0,1 e 2). Essa segregação permitiu identificar como os sistemas se comportam em diferentes escalas geográficas e econômicas.

Figura 20 - *Score* de silhueta em relação a separação dos *clusters*.

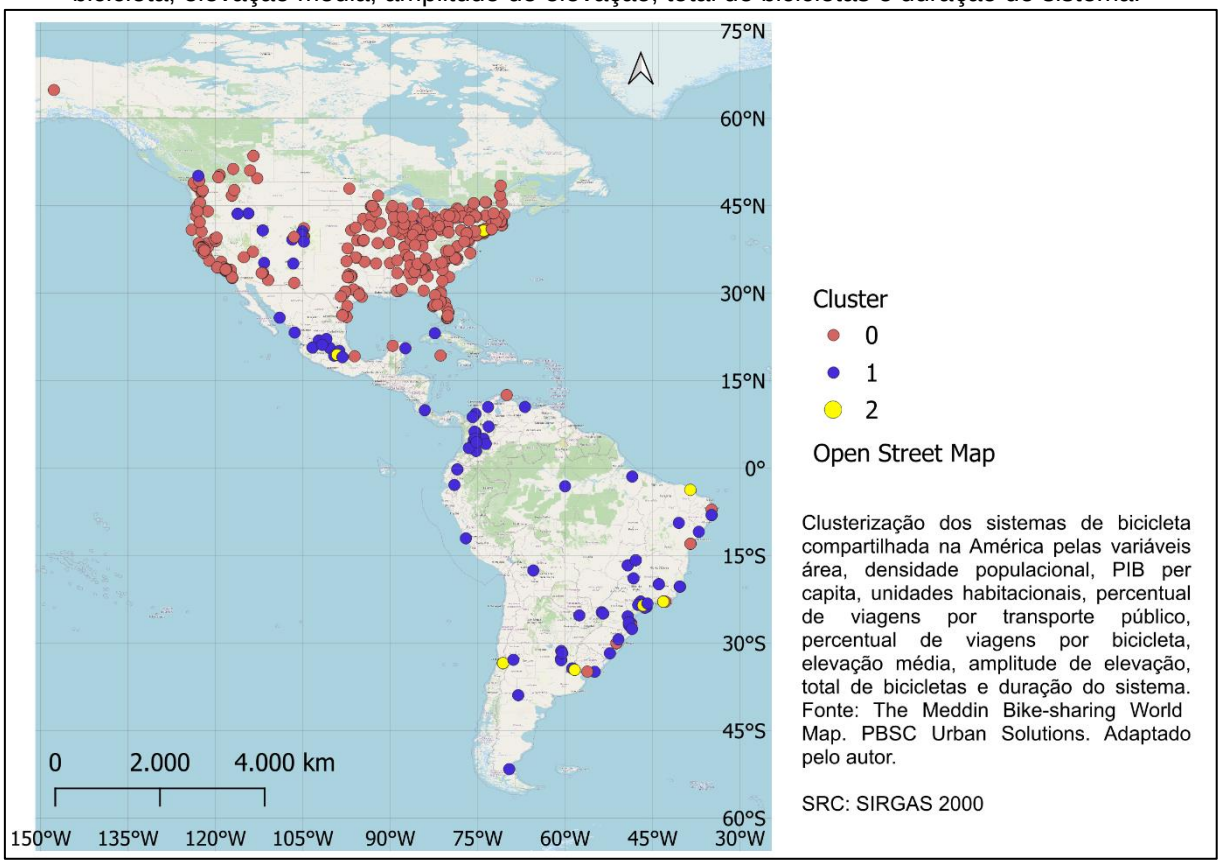


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 21 abaixo, observa-se que o *Cluster* 0 está concentrado ao longo da América do Norte, mais especificamente na costa oeste e na região leste. Já o *Cluster* 1, embora presente em maior quantidade na América Latina, inclui alguns sistemas na América do Norte. O *Cluster* 2, com poucas observações, está disperso ao longo do continente, próximo às costas marítimas dos oceanos Atlântico e Pacífico.

.

Figura 21 - *Clusters* gerados para o BD1 pelas variáveis área, densidade populacional, PIB per capita, unidades habitacionais, percentual de viagens por transporte público, percentual de viagens por bicicleta, elevação média, amplitude de elevação, total de bicicletas e duração do sistema.



Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Elaborado pelo autor.

De um modo geral, os três *clusters* variaram em características demográficas, econômicas, de mobilidade e topográficas (Tabela 19), as quais podem influenciar diretamente a vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas. O *Cluster* 0, com 438 sistemas, caracteriza-se por abranger áreas urbanas com menos domicílios, menos densas e mais extensas, com uma área média de 253,8 km² e densidade populacional de 1.850,1 habitantes por km².

No aspecto econômico, o PIB per capita médio deste *cluster* é o mais alto entre os três, alcançando 56.097,94 dólares anualmente. Esse perfil econômico, aliado ao baixo uso do transporte público (apenas 5,92% das viagens em média) e de bicicletas (1,07%), pode indicar cidades com maior taxa de motorização e uma cultura automobilística típica das cidades norte-americanas.

No que diz respeito à topografia, este *cluster* possui as menores médias de elevação e amplitude topográfica entre os *clusters*, sugerindo uma variação discreta no relevo. Em relação aos sistemas, o número médio de bicicletas deste *cluster* é de

aproximadamente 286, e eles operaram, em média, por cerca de 1.147 dias. Contudo, 61,2% desses sistemas estão atualmente fechados, o que sugere que a baixa adoção de transporte público e de bicicletas aliada a melhores condições econômicas, pode afetar a sustentabilidade desses serviços.

O *Cluster* 1 agrupou apenas 100 sistemas, dispersos em áreas urbanas de média a grande extensão, com a maior média de área entre os *clusters* (1.587 km²), variando de 3,25 a 33.632,9 km². Já a densidade populacional média apresentou-se inferior à do *Cluster* 2 e próxima à do *Cluster* 0, com 1.953,4 habitantes por km².

No perfil econômico, esse *cluster* tem um PIB per capita médio inferior aos demais, de 15.536 dólares, indicando uma economia de porte médio, confirmada pela alta concentração de viagens por transporte público, com uma média de 38,08%. O uso de bicicletas também é mais elevado em comparação ao *Cluster* 0, representando, em média, 4,57% das viagens domiciliares.

A elevação média das regiões dos sistemas neste *cluster* é de 1.038,3 metros, com uma amplitude média de 1.009,4 metros entre o ponto mais baixo e o mais alto, indicando terrenos mais altos e acidentados, característicos de cidades latino-americanas.

Em termos de sistemas, o número de bicicletas foi o que atingiu a menor média entre os *clusters* (244), com uma duração média de operação de 1.552 dias, sendo o grupo com a menor taxa de fechamento, com apenas 37% dos sistemas inativos. Este *cluster* destaca-se por sua maior sustentabilidade, possivelmente relacionada à ampla adesão ao transporte público e ao uso de bicicletas, além de um perfil econômico mais discreto, que pode indicar uma cultura automobilística e de motorização menos presente.

O *Cluster* 2 agregou apenas 38 sistemas e abrange cidades com extensões territoriais médias, mas com elevada densidade populacional, localizadas em grandes metrópoles. Assim como no *cluster* anterior, o transporte público é amplamente utilizado, com uma média de 36,36% das viagens. Já o uso de bicicletas é intermediário entre os *clusters* 0 e 1, com uma média de 3,33%.

Na topografia, esse *cluster* também apresentou altas elevações e amplitudes, de 710,1 e 764,7 metros, respectivamente, embora inferiores às do *Cluster* 1. Em relação às características operacionais, há uma boa quantidade média de bicicletas, com 2.918 bicicletas por sistema e uma média de operação de 1.928,7 dias, a maior entre os *clusters*. Apesar das boas condições econômicas e de mobilidade urbana,

50% dos sistemas deste *cluster* estão fechados, o que pode indicar outros fatores determinantes para o sucesso, como a influência da topografia.

Em suma, o *Cluster* 1 mostra maior resiliência, possivelmente devido à significativa adesão ao transporte público e ao uso de bicicletas, enquanto o *Cluster* 0 enfrenta desafios relacionados à baixa adoção desses meios de transporte, apesar do melhor perfil econômico. Já o *Cluster* 2, composto por sistemas em metrópoles, apresenta alta densidade populacional e grande usabilidade do transporte público; entretanto, teve metade dos sistemas fechados, o que pode indicar uma possível competição entre os modos de transporte.

Tabela 19 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD1 pelas variáveis área, densidade populacional, PIB per capita, unidades habitacionais, percentual de viagens por transporte público, percentual de viagens por bicicleta, elevação média, amplitude de elevação, total de bicicletas e duração do sistema.

Variável	**Estatística**	***Cluster***		
		0	**1**	**2**
Extensão territorial (km²)	média	253,8	1.586,97	944,6
	desvio	421,94	3.726,61	497,47
	min	1,96	3,25	3,24
	max	6.150,00	33.632,93	1.622,86
	Q1	34,3	234,2	757,2
	Q2	123,45	493,48	778,16
	Q3	308,3	1.513,7	1.494,3
Densidade populacional (hab/km²)	média	1.850,10	1.953,39	8.224,13
	desvio	1.472,51	2.261,01	3.013,98
	min	2,18	4,1	4.425,20
	max	10.805,23	9.176,35	17.823,40
	Q1	812,5	344,8	6.163,4
	Q2	1.402,06	1.034,09	7.528,26
	Q3	2.448,1	2.962,5	8.998,3
Produto interno bruto per capita ($)	média	56.097,94	15.576,53	33.371,28
	desvio	16.399,42	14.268,12	24.693,27
	min	4.190,36	3.169,00	5.244,10
	max	128.308,00	74.133	89.978,00
	Q1	45.820,8	7.667,6	12.909,8
	Q2	56.405,00	11.512	22.823,00
	Q3	64.824,0	14.268,2	55.322,2

(continua na próxima página)

Tabela 19 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD1 pelas variáveis área, densidade populacional, PIB per capita, unidades habitacionais, percentual de viagens por transporte público, percentual de viagens por bicicleta, elevação média, amplitude de elevação, total de bicicletas e duração do sistema (continuação).

Variável	Estatística	*Cluster*		
		0	**1**	**2**
Unidades habitacionais	média	161.702,07	352.763,57	2.707.626,65
	desvio	250.116,98	464.868,89	1.217.422,88
	min	954	3.659,00	30.202,00
	max	1.496.453,00	2.514.482,00	4.307.665,00
	Q1	21.413,0	91.814,0	2.436.971,0
	Q2	56.895,00	172.043,50	2.750.468,67
	Q3	208.114,0	495.072,0	3.618.635,0
Viagens realizadas em transporte público (%)	média	5,92	34,64	36,36
	desvio	7,34	16,8	10,36
	min	0	0,5	18
	max	46,77	77	65
	Q1	1,2	24,9	29,1
	Q2	2,79	34,26	40,2
	Q3	7,4	46,3	40,9
Viagens realizadas em bicicletas (%)	média	1,07	4,57	3,33
	desvio	1,34	3,41	2,48
	min	0	0,3	0,69
	max	9,64	20	10
	Q1	0,2	2,2	1,5
	Q2	0,65	4	3
	Q3	1,3	5,0	5,0
Elevação topográfica média (m)	média	241,24	1.038,28	710,08
	desvio	370,77	961,31	914,7
	min	1	4	14
	max	2.620,00	2.953,00	2.766,00
	Q1	41,3	90,5	21,5
	Q2	156,00	804,00	553,00
	Q3	261,0	1.910,5	716,0
Diferença entre elevação máxima e mínima (m)	média	292,16	1.009,38	764,74
	desvio	399,3	1.008,22	629,72
	min	13	14	51
	max	2.430,00	4.905,00	2.039,00
	Q1	84,0	290,0	213,0
	Q2	141,00	681,50	334,00
	Q3	306,0	1.480,5	1.194,0

(continua na próxima página)

Tabela 19 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD1 pelas variáveis área, densidade populacional, PIB per capita, unidades habitacionais, percentual de viagens por transporte público, percentual de viagens por bicicleta, elevação média, amplitude de elevação, total de bicicletas e duração do sistema (continuação).

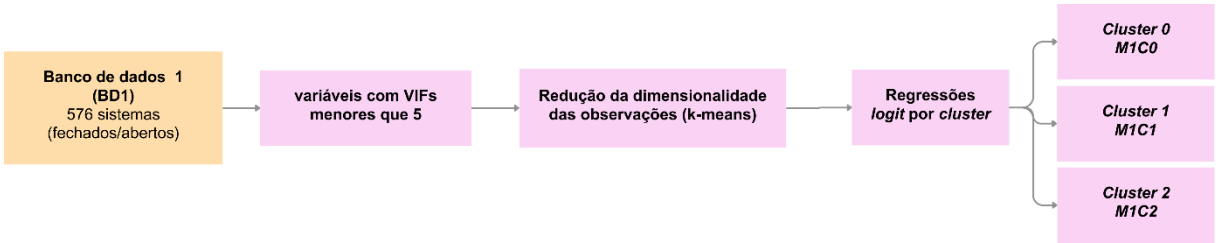
Variável	Estatística	*Cluster*		
		0	**1**	**2**
Número total de bicicletas	média	286,27	244,4	2.918,16
	desvio	586,22	294,6	5.745,28
	min	4	16	16
	max	7.177,00	2.050,00	33.226,00
	Q1	40,0	60,0	325,8
	Q2	100,00	145,00	1.195,50
	Q3	267,5	311,3	2.627,8
Tempo de duração do sistema em dias	média	1.147,76	1.551,61	1.928,66
	desvio	1.028,92	1.102,14	1.417,95
	min	1	46	79
	max	4.678,00	4.424,00	5.162,00
	Q1	364,00	492,50	617,00
	Q2	816,00	1.454,00	1.718,50
	Q3	1631,5	2.122,25	3.079,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.3. Regressões *logit* por *cluster* para as variáveis do BD1 com VIF inferior a 5

Para prever o fechamento de sistemas de bicicletas compartilhadas, aplicaram-se regressões *logit* separadamente para cada um dos *clusters* (Figura 22). Esses modelos foram nomeados M1C0 para o *Cluster* 0, M1C1 para o *Cluster* 1 e M1C2 para o *Cluster* 2. Foram utilizadas novamente as 10 variáveis contínuas, além da variável tipo (com estações, fluxo livre e outros), visto que esta tem se mostrado importante para o sucesso dos sistemas.

Figura 22 - Fluxograma da análise de regressão *logit* por *cluster* das variáveis do BD1 com VIF inferior a 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Novamente, a análise (Tabela 20) iniciou-se com o ajuste de modelos completos com todas as variáveis para cada *cluster*, identificando variáveis potencialmente associadas ao fechamento desses sistemas, seguida por uma etapa de redução de variáveis, mantendo apenas aquelas estatisticamente significativas.

Vale destacar que o modelo M1C2 não foi reduzido, pois todas as variáveis apresentaram-se não significativas. Além disso, o *Cluster* 2 possui um número limitado de observações (n = 38), o que reduz o poder estatístico do modelo e, portanto, a capacidade de detectar associações reais entre variáveis (COSTER, 2009).

No modelo M1C0, apenas as variáveis tempo de duração (OR = 0,999) e tipo outro (OR = 0,17) foram estatisticamente significativas, indicando que a vitalidade do *Cluster* 0 está mais associada a questões operacionais. Por outro lado, no modelo M1C1, as variáveis estatisticamente significativas incluíram unidades habitacionais (OR = 0,99), porcentagem de viagens por transporte público (OR = 0,93), porcentagem de viagens por bicicleta (OR = 0,74) e tempo de duração (OR = 0,99). Dessa forma, a vitalidade do *Cluster* 1 parece estar mais associada à mobilidade urbana.

A comparação entre os modelos completos e reduzidos revela que a simplificação, especialmente nos modelos M1C0 e M1C1, reduz os valores de AIC e BIC, embora também diminua o R^2 de Tjur. O modelo M1C1 reduzido se destaca como o mais eficiente e interpretável, com bom ajuste, alta eficácia e simplicidade. O modelo M1C2, embora tenha apresentado boas métricas de ajuste e acurácia, não apresentou variáveis significativas, possivelmente devido ao pequeno tamanho da amostra.

Tabela 20 - Regressões *logit* para os *clusters* do BD1.

	M1C0 (n = 438)	**M1C0 red (n = 438)**	**M1C1 (n = 100)**	**M1C1 red (n = 100)**	**M1C2 (n = 38)**
const	1,578*** (2,586)	2,042*** (7,705)	3,674** (2,162)	3,163*** (2,941)	15,653 (0,0)
Extensão territorial (km^2)	-0,001* (-1,782)	-0,002** (-2,53)	0,000 (0,021)		0,146 (0,0)
Densidade populacional (hab/km^2)	0,000 (0,644)		0,0 (0,143)		0,036 (0,0)
Produto interno bruto per capita ($)	0,0 (0,676)		0,0 (0,566)		-0,0 (-0,0)
Unidades habitacionais	0,0 (1,505)	0,000** (2,107)	0,0** (2,321)	0,000*** (3,069)	-0,0 (-0,0)
Viagens realizadas em transporte público (%)	-0,009 (-0,298)		-0,075** (-2,093)	-0,069** (-2,514)	-10,119 (-0,0)
Viagens realizadas de bicicleta (%)	0,067 (0,58)		-0,289** (-2,133)	-0,295** (-2,553)	-16,357 (-0,0)

(continua na próxima página)

Tabela 20 - Regressões *logit* para os *clusters* do BD1 (continuação).

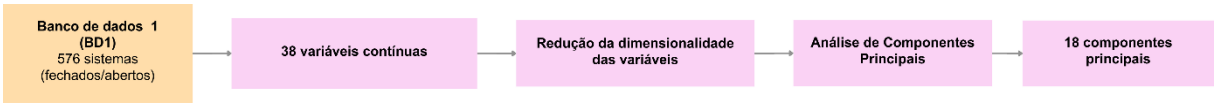
	M1C0 (n = 438)	**M1C0 red (n = 438)**	**M1C1 (n = 100)**	**M1C1 red (n = 100)**	**M1C2 (n = 38)**
Elevação topográfica média (m)	0,0 (0,225)		0,0 (0,846)		0,049 (0,0)
Diferença entre elevação máxima e mínima (m)	0,0 (0,333)		-0,001 (-1,025)		-0,087 (-0,0)
Número total de bicicletas	0,0 (0,064)		-0,003 (-1,221)		-0,004 (-1,581)
Tempo de duração do sistema em dias	-0,001*** (-5,758)	-0,001*** (-6,308)	-0,001** (-2,004)	-0,001** (-2,269)	-0,004 (-1,593)
Fluxo livre sem estações	-0,349 (-0,953)		-0,2 (-0,196)		47,696 (0,001)
Outros	-2,055*** (-4,589)	-1,797*** (-4,56)	-0,644 (-0,697)		-39,345 (-0,001)
AIC	338,24	325,01	86,95	76,39	34,70
BIC	386,65	343,63	116,19	87,63	51,06
Log-Likelihood	-156,12	-157,51	-30,48	-33,19	-4,35
Pseudo-R^2	0,23	0,23	0,36	0,30	0,76
R^2 de Tjur	0,32	0,30	0,28	0,34	0,50
Eficácia do Modelo	0,79	0,76	0,77	0,80	0,75

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2. Explorando a dimensionalidade do BD1 pela Análise de Componentes Principais (PCA)

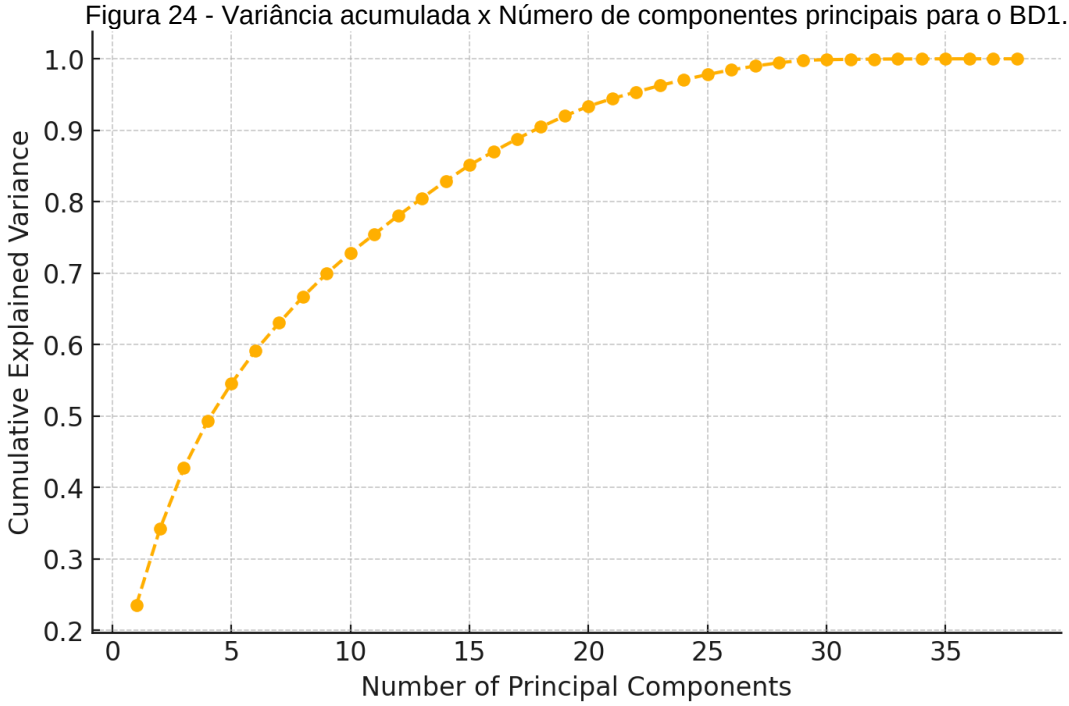
Diferentemente da análise anterior, a Análise de Componentes Principais (PCA) permite combinar variáveis de diferentes dimensões estudadas, incluindo aspectos demográficos, econômicos, de mobilidade, climáticos, topográficos e operacionais. Dessa forma, para garantir que nenhuma variável contínua fosse excluída e para reduzir a dimensionalidade dos dados, aplicou-se a PCA (Figura 23). O processo resultou na identificação de 18 componentes principais, que se mostraram suficientes para representar 90% da variância acumulada dos dados (Figura 24).

Figura 23 - Fluxograma da aplicação da análise de componentes principais para redução da dimensionalidade das variáveis do BD1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Variância acumulada x Número de componentes principais para o BD1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As cargas dos 18 componentes principais são apresentadas no Apêndice A. A interpretação do sinal das cargas torna-se importante neste ponto, pois ele define se a relação da variável com o componente é direta (carga positiva) ou inversa (carga negativa). Quando a carga apresenta sinal positivo, isso indica que a variável exerce uma influência direta sobre o componente, aumentando seu valor. Por outro lado, quando o sinal é negativo, a variável reduz sua influência sobre o componente, diminuindo seu valor.

Na Tabela 21 abaixo, são apresentados os componentes principais que atingiram as cargas acima de 0,20 e abaixo de -0,20 em função das variáveis. No grupo de variáveis demográficas e econômicas, a variável população apresenta cargas positivas em PC1 (0,22) e PC2 (0,30), sugerindo que esses componentes estão associados a regiões mais populosas.

A variável área possui cargas variadas em diversos componentes: cargas positivas em PC8 (0,22), PC12 (0,30), PC13 (0,37) e PC15 (0,31), e cargas negativas em PC10 (-0,29), PC11 (-0,38) e PC17 (-0,40). Essa distribuição de sinais sugere que a extensão territorial influência de maneiras distintas os componentes, podendo caracterizar tanto áreas mais amplas quanto regiões mais compactas.

A densidade populacional apresentou carga expressiva apenas em PC2 (0,29), indicando que esse componente representa sistemas de bicicletas compartilhadas em

áreas densamente povoadas. Já as unidades habitacionais também exibiram cargas positivas em PC1 (0,20) e PC2 (0,32), caracterizando regiões com maior número de habitações, alta população e elevada densidade populacional, características de grandes centros urbanos e regiões metropolitanas.

A variável número de pessoas por habitação apresenta uma carga positiva considerável em PC14 (0,73), destacando-se como uma medida de densidade habitacional. Esse componente sugere que áreas com mais pessoas por residência podem estar associadas a uma infraestrutura urbana mais limitada. Em outros componentes, como PC9 (-0,24) e PC12 (-0,31), essa variável apresentou cargas negativas mais discretas.

Em relação ao aspecto econômico, o PIB teve cargas positivas em PC2 (0,33) e PC3 (0,21), o que demonstra que esses componentes estão associados a regiões com uma economia mais ativa. Já o PIB per capita apresentou carga negativa em PC1 (-0,22) e PC6 (-0,23), mas uma carga positiva em PC3 (0,23).

O sinal negativo em PC1 e PC6 demonstra que esses componentes se relacionam mais com regiões de menor PIB per capita, possivelmente áreas menos favorecidas economicamente na América Central e do Sul. No entanto, a carga positiva em PC3 indica que esse componente representa sistemas em locais de maior poder econômico per capita, quem podem estar situadas ao norte.

O rendimento domiciliar segue um perfil semelhante ao do PIB per capita, com cargas negativas em PC1 (-0,21), PC6 (-0,34) e PC17 (-0,24), e positivas em PC3 (0,20) e PC7 (0,21). Isso reforça a ideia de que PC1, PC6 e PC17 refletem regiões com menor rendimento, enquanto PC3 e PC7 representam áreas de maior poder aquisitivo.

No que concerne a idade média, a variável atingiu carga negativa em PC8 (-0,29) e carga positiva em PC15 (0,31), reforçando componentes com perfis etários distintos. A carga negativa em PC8 pode indicar áreas com população mais jovem, possivelmente mais favoráveis ao uso de bicicletas compartilhadas. Já a carga positiva em PC15 pode indicar uma correlação com regiões de população mais idosa, onde o transporte de bicicletas pode ser menos adotado.

O percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo determinou cargas positivas em PC3 (0,27) e PC16 (0,25), ou seja, esses componentes podem estar associados a áreas com maior nível educacional e, potencialmente, maior desenvolvimento econômico. Por outro lado, as cargas negativas em PC6 (-0,31),

PC11 (-0,21) e PC15 (-0,29) revelam componentes em áreas com menor nível educacional, onde as bicicletas compartilhadas podem ser mais utilizadas por usuários com demanda cativa.

No âmbito do trabalho e emprego, o percentual de pessoas ocupadas ou empregadas definiu cargas positivas elevadas em PC10 (0,31), PC11 (0,55), PC12 (0,56) e PC13 (0,47), determinando regiões com uma boa empregabilidade. Destarte, áreas com maior percentual de pessoas empregadas tendem a ter uma população economicamente ativa que realiza movimentos pendulares entre casa e trabalho, o que aumenta a demanda por mobilidade e transporte.

No que tange ao grupo de variáveis de mobilidade, a frota de veículos apresentou cargas positivas em PC2 (0,28) e PC16 (0,20). Esse aspecto pode evidenciar sistemas em localidades com uma presença marcante da cultura automobilística, o que pode desestimular diretamente o uso de bicicletas compartilhadas.

Analogamente, o percentual de pessoas com veículos também apresentou cargas consideráveis em diferentes componentes: positivas em PC4 (0,27), PC16 (0,38) e PC18 (0,29), e negativas em PC8 (-0,31) e PC10 (-0,21). Por sua vez, o percentual estimado da população que utiliza veículo privado possui uma carga negativa em PC1 (-0,25) e uma carga positiva em PC15 (0,21). O tempo médio de deslocamento em minutos apresentou carga positiva em PC1 (0,21) e PC2 (0,21), enfatizando que esses componentes representam regiões com trânsito mais lento, congestionado ou complexo.

Em relação ao transporte público, essa variável apresentou cargas positivas em PC1 (0,21), PC10 (0,20) e PC18 (0,37). Quanto ao uso da bicicleta, os componentes PC9 (0,24), PC12 (0,22), PC16 (0,26) e PC17 (0,29) também exibiram cargas positivas expressivas.

Esses componentes merecem atenção especial, pois refletem sistemas em áreas com maior adoção de bicicletas como modo de transporte, o que pode estar relacionado à presença de infraestrutura e incentivo ao uso de bicicletas. Diferentemente, o componente PC11 (-0,30) demonstrou que o uso de bicicletas é menos prevalente, possivelmente devido a condições desfavoráveis, como infraestrutura cicloviária inadequada.

No quesito climático, a temperatura mínima média apresentou cargas negativas em PC3 (-0,32) e PC8 (-0,21), e uma carga positiva em PC7 (0,27). Dessa forma, PC3

e PC8 podem estar associados a áreas mais frias, enquanto PC7 pode refletir regiões com temperaturas mais elevadas. A temperatura máxima média exibiu cargas distintas em PC3 (-0,22), PC6 (0,29), PC15 (-0,57) e PC16 (-0,30), o que indica uma relação complexa em diferentes regiões devido à vasta extensão territorial do continente. PC15 e PC16, com cargas negativas, parecem abranger sistemas em cidades com temperaturas mais baixas.

Na gama das demais variáveis climáticas, como os períodos chuvoso e sem chuva, ou nublado e claro, observa-se que essas características são complementares. Assim, dentro dos componentes principais, é comum que as cargas dessas variáveis apareçam com sinais opostos em locais com climas bem definidos nas Américas, como o temperado e o tropical.

Dessa forma, quando a cidade apresenta uma carga positiva para o período chuvoso em um determinado componente, é esperado que a carga para o período sem chuva seja negativa no mesmo componente. Isso ocorre porque esses períodos são mutuamente exclusivos em relação à condição climática analisada. Por exemplo, uma maior prevalência de chuvas e umidade implica, naturalmente, em menos meses secos e vice-versa.

No grupo de variáveis topográficas, os componentes principais refletem as características geográficas diversificadas das regiões da América. A elevação topográfica média apresentou cargas negativas em PC2 (-0,23) e PC5 (-0,23), o que pode representar áreas de menor altitude, frequentemente associadas a regiões costeiras e planícies na América do Norte e do Sul. De forma distinta, os componentes PC3 (0,21) e PC4 (0,21) exibiram cargas positivas, sugerindo regiões de maior elevação média.

A elevação topográfica máxima mostrou-se positiva em PC1 (0,21) e negativa em PC5 (-0,22), destacando variações de elevação máxima entre diferentes regiões. Por fim, a diferença entre elevação máxima e mínima apresentou cargas positivas em PC1 (0,20) e PC17 (0,40), o que pode refletir cidades com topografia mais ondulada ou montanhosa, enquanto PC8 (-0,20) e PC16 (-0,34) exibiram cargas negativas, possivelmente associadas a áreas mais planas.

O número total de bicicletas apresentou cargas significativas em diversos componentes, destacando diferentes cenários para as bicicletas compartilhadas. No componente PC9 (0,47), uma carga positiva apontou uma maior associação ao número de bicicletas, o que pode caracterizar sistemas com maior cobertura.

Outros componentes que se destacaram nesse quesito foram PC14 (0,28), PC15 (0,23) e PC18 (0,57), que podem caracterizar de sistemas bem estabelecidos e com alta adesão. Em contraste, a carga negativa em PC16 (-0,23) sugere que, em nesse contexto, um número de bicicletas está relacionado a sistemas menores ou de menor abrangência geográfica.

A variável tempo de duração, associada à vitalidade dos sistemas, alcançou cargas positivas em PC6 (0,21) e especialmente em PC9 (0,59), que pode representar estabilidade e sucesso operacional nesse componente. Em contrapartida, as cargas negativas em PC10 (-0,41) e PC18 (-0,43) sugerem contextos onde o tempo de operação é mais curto, o que pode decorrer de limitações de infraestrutura, dificuldades financeiras ou baixa adesão por parte dos usuários.

Tabela 21 - Componentes principais do BD1 com cargas maiores que 0,20 e menores que -0,20 em função das variáveis.

Variável	**Componentes principais**
População	PC1 (0,22) e PC2 (0,30)
Área	PC8 (0,22), PC10 (-0,29), PC11 (-0,38), PC12 (0,30), PC13 (0,37), PC15 (0,31) e PC17 (-0,40)
Densidade	PC2 (0,29)
PIB	PC2 (0,33) e PC3 (0,21)
PIB per capita	PC1 (-0,22), PC3 (0,23), PC6 (-0,23) e PC16 (-0,21)
Rendimento domiciliar	PC1 (-0,21), PC3 (0,20), PC6 (-0,34), PC7 (0,21) e PC17 (-0,24)
Idade média	PC8 (-0,29) e PC15 (0,31)
Unidades habitacionais	PC1 (0,20) e PC2 (0,32)
Número de pessoas por habitação	PC9 (-0,24), PC12 (-0,31), PC13 (0,23), PC14 (0,73) e PC16 (0,34)
Percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo	PC3 (0,27), PC6 (-0,31), PC11 (-0,21), PC15 (-0,29), PC16 (0,25) e PC17 (-0,20)
Percentual de pessoas ocupadas ou empregadas	PC10 (0,31), PC11 (0,55), PC12 (0,56) e PC13 (0,47)
Frota de veículos	PC2 (0,28) e PC16 (0,20)
Percentual de pessoas com veículos	PC4 (0,27), PC8 (-0,31), PC10 (-0,21), PC16 (0,38) e PC18 (0,29)
Tempo médio de deslocamento em minutos	PC1 (0,21) e PC2 (0,21)
Percentual estimado da população que utiliza veículo privado	PC1 (-0,25) e PC15 (0,21)
Percentual estimado da população que utiliza transporte pútlico	PC1 (0,21), PC10 (0,20) e PC18 (0,37)
Percentual estimado da população que utiliza bicicleta	PC9 (0,24), PC11 (-0,30), PC12 (0,22), PC16 (0,26) e PC17 (0,29)

(continua na próxima página)

Tabela 21 - Componentes principais do BD1 com cargas maiores que 0,20 e menores que -0,20 em função das variáveis (continuação).

Variável	Componentes principais
Temperatura mínima média	PC3 (-0,32), PC7 (0,27) e PC8 (-0,21)
Temperatura máxima média	PC3 (-0,22), PC6 (0,29), PC15 (-0,57) e PC16 (-0,30)
Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	PC1 (-0,22), PC3 (0,22) e PC6 (0,28)
Período de temperatura elevada ou quente	PC18 (0,25)
Período de temperatura baixa ou frio	PC15 (-0,22) e PC17 (0,37)
Período mais claro com poucas nuvens,	PC3 (-0,23), PC4 (0,36), PC5 (0,27) e PC10 (0,20)
Período nublado,	PC3 (0,23), PC4 (-0,36), PC5 (-0,27) e PC10 (-0,20)
Período úmido,	PC2 (-0,20), PC3 (0,21), PC4 (-0,22), PC5 (0,36), PC6 (0,24) e PC8 (-0,32)
Período seco,	PC2 (0,20), PC3 (-0,21), PC4 (0,23), PC5 (-0,36), PC6 (-0,24) e PC8 (0,32)
Período chuvoso/nevoso,	PC4 (0,31), PC5 (0,22), PC7 (0,42) e PC8 (0,29)
Período sem chuva/sem neve,	PC4 (-0,31), PC5 (-0,23), PC7 (-0,42) e PC8 (-0,28)
Dia mais curto, em horas	PC12 (-0,54), PC13 (0,62) e PC14 (-0,46)
Dia mais longo, em horas	PC1 (-0,21), PC3 (0,23) e PC17 (0,22)
Período com mais ventos,	PC1 (-0,21), PC5 (-0,22), PC6 (0,20), PC7 (0,26), PC10 (0,33) e PC11 (-0,25)
Período com menos ventos,	PC1 (0,21), PC5 (0,22), PC6 (-0,20), PC7 (-0,27), PC10 (-0,33) e PC11 (0,25)
Elevação topográfica média	PC2 (-0,23), PC3 (0,21), PC4 (0,21) e PC5 (-0,23)
Elevação topográfica mínima	PC2 (-0,23), PC4 (0,23), PC5 (-0,23) e PC17 (-0,27)
Elevação topográfica máxima	PC1 (0,21) e PC5 (-0,22)
Diferença entre elevação máxima e mínima	PC1 (0,20), PC8 (-0,20), PC16 (-0,34) e PC17 (0,40)
Número total de bicicletas	PC9 (0,47), PC14 (0,28), PC15 (0,23), PC16 (-0,23) e PC18 (0,57)
Tempo de duração do sistema	PC6 (0,21), PC9 (0,59), PC10 (-0,41), PC16 (0,21) e PC18 (-0,43)

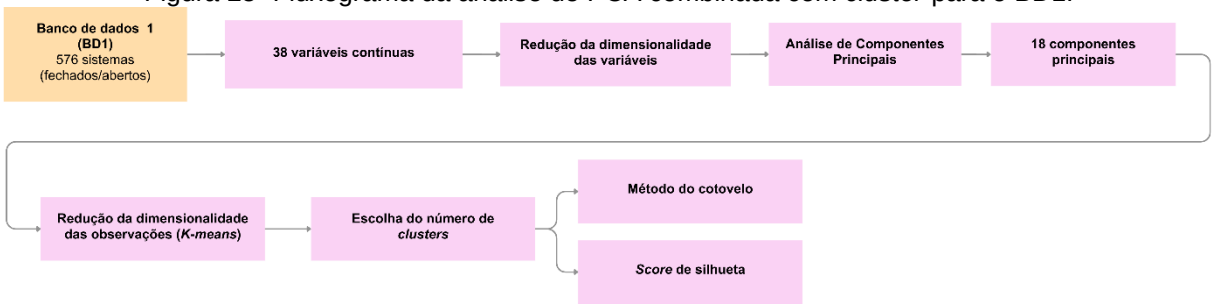
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2.1. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para os componentes principais do BD1

Após a redução da dimensionalidade das variáveis, realizou-se uma análise de *cluster* para agrupar os sistemas e dividir o banco de dados, convertido em componentes principais, em grupos mais homogêneos. A combinação da análise de componentes principais (PCA) com o algoritmo *K-means* permite identificar a

formação de *clusters* potenciais com base nas dimensões dos componentes. A Figura 25 ilustra o fluxograma da análise de PCA combinada com a clusterização.

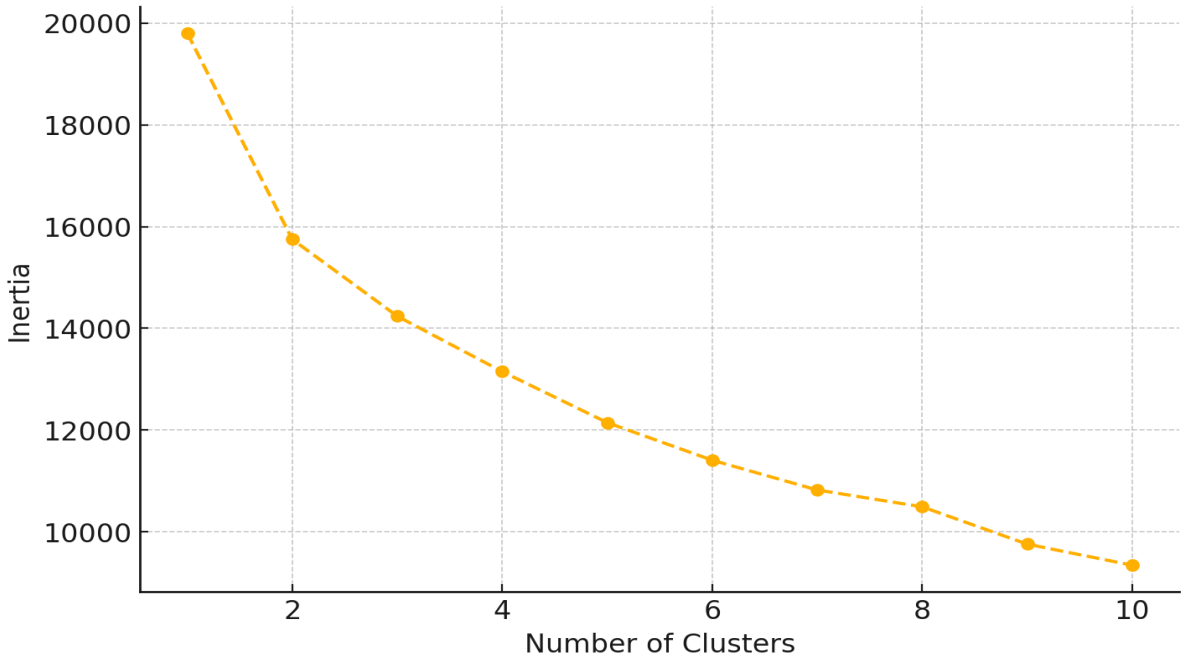
Figura 25- Fluxograma da análise de PCA combinada com *cluster* para o BD1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para determinar o número ideal de *clusters*, aplicou-se novamente o método do cotovelo (Figura 26), observando o ponto em que a redução na inércia começa a se estabilizar. O cotovelo da curva começa a se formar a partir de 2 *clusters*, momento em que a redução na inércia se torna menos acentuada, e segue de forma linear até 5 *clusters*. Da mesma maneira que no método anterior, adotou-se 3 *clusters* para identificar um grupo com potenciais *outliers*.

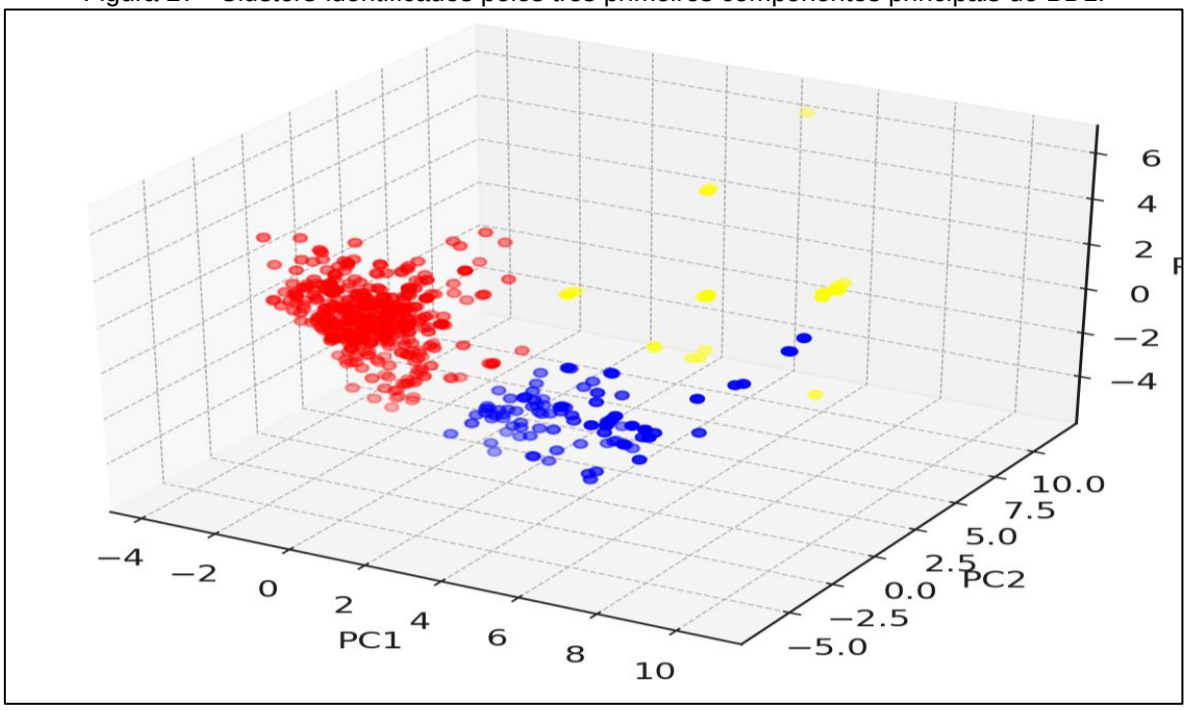
Figura 26- Método do cotovelo para definição dos *clusters* dos componentes principais do BD1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os três primeiros componentes em 3D (Figura 27), observa-se que é possível identificar um *cluster* mais concentrado (em vermelho) e outro *cluster* um pouco mais disperso na direção do componente CP2, em azul. Em amarelo, percebem-se observações mais dispersas, que podem representar sistemas *outliers* ou localidades com características mais discrepantes das demais, como sistemas em metrópoles e megalópoles. De modo geral, a divisão em três *clusters* parece uma boa aproximação, pois apresenta características distintas com uma separação evidente, embora exista algumas sobreposições entre os grupos.

Figura 27 - *Clusters* identificados pelos três primeiros componentes principais do BD1.



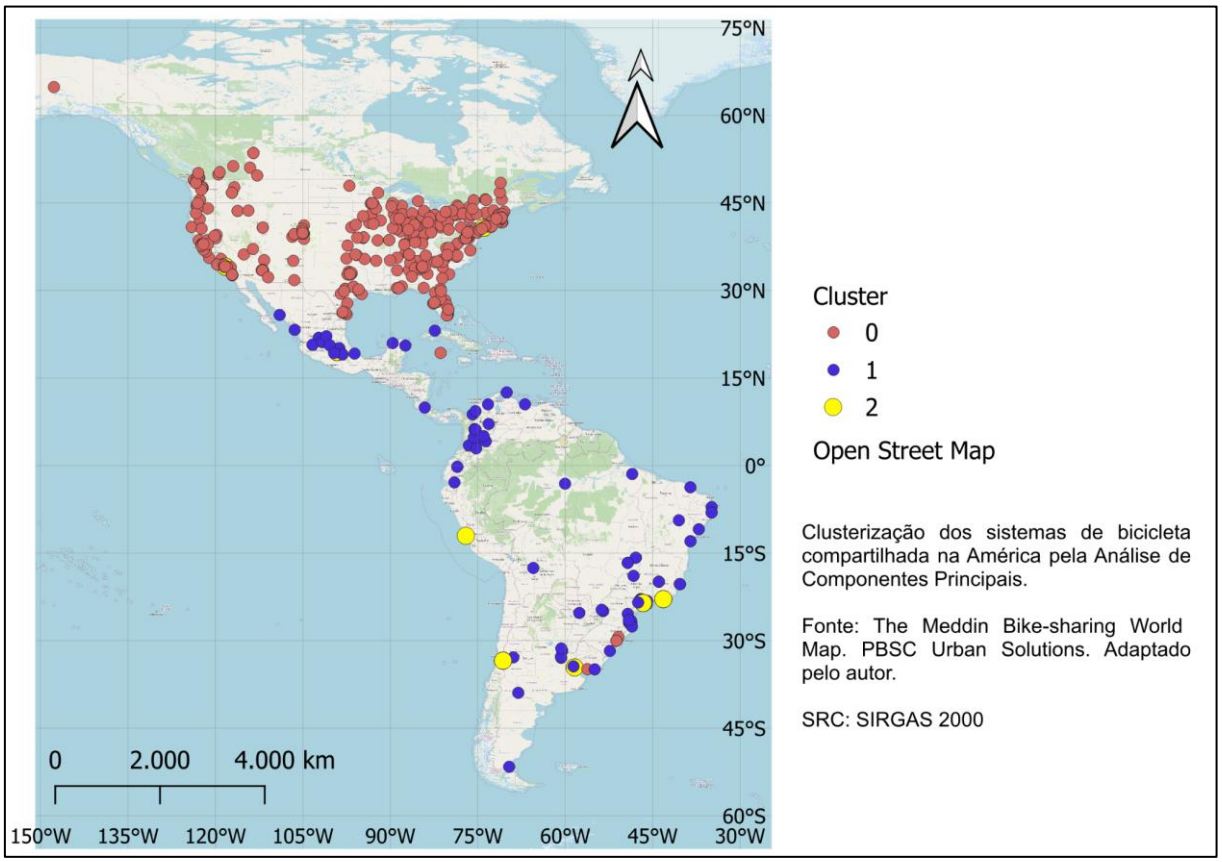
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à divisão dos *clusters* pelo método de PCA combinado com o algoritmo *K-means* (Figura 28), percebe-se uma distribuição mais homogênea, com o *Cluster* 0 predominantemente representando a América Anglo-Saxônica, salvo algumas exceções, e o *Cluster* 1 concentrado na América Latina, abrangendo desde o México até a Argentina.

Diferentemente do método anterior, a divisão dos *clusters* parece capturar com maior precisão a divisão cultural continental, que se mostrou significativa nas análises iniciais entre os sistemas fechados e abertos. Isso pode indicar que os componentes principais são mais eficazes em agrupar as características sociais, culturais,

demográficas, econômicas e geográficas do continente nos sistemas de bicicleta compartilhada, quando comparados às variáveis brutas do método anterior.

Figura 28 - *Clusters* formados pela análise de componentes principais no BD1.



Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Elaborado pelo autor

No que diz respeito aos primeiros componentes principais, o *Cluster* 0, com 445 sistemas, apresenta concentrações em valores negativos e mais baixos de PC1, o que reflete populações menores e PIB per capita maiores nas cidades desse grupo, caracterizando-as como cidades com escalas demográficas reduzidas.

Além disso, os valores de PC2 e PC3 são mais neutros, sugerindo que essas cidades possuem uma infraestrutura urbana (população, área, densidade e habitações) e níveis demográficos relativamente equilibrados em comparação aos outros *clusters*. Esse resultado é consistente com a realidade das cidades norte-americanas, que se destacam por uma infraestrutura superior, menores densidades populacionais e características econômicas mais sólidas em comparação às cidades latino-americanas.

Referente aos demais componentes, de PC4 a PC18, não foram observadas grandes variações ou valores expressivos dentro deste *cluster*, que apresenta magnitudes inferiores aos componentes iniciais. Isso era esperado, considerando que os três primeiros componentes explicam mais de 30% da variância dos dados.

Este *cluster*, por ser mais homogêneo, concentra cidades com características mais neutras em relação a fatores como transporte, condições climáticas, topografia e operacionalidade dos sistemas. Pequenos desvios em PC5 e PC6 sugerem uma menor variação nas condições demográficas e climáticas, como temperaturas máximas e amplitude térmica, indicando que essas cidades possuem um clima mais parecido.

No tocante à vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas, o PC9 apresenta uma tendência positiva, sugerindo que, em termos de duração, os sistemas de bicicletas podem ser mais duradouros. No entanto, o elevado número de sistemas de bicicletas fechados (270) em comparação aos abertos (175) indica que, apesar de condições demográficas favoráveis, outros fatores, como a cultura automobilística ou as condições climáticas, podem influenciar negativamente a operação desses sistemas.

O *Cluster* 1, com 95 observações, se posiciona em áreas com valores mais altos de PC1, indicando que essas cidades possuem populações maiores e economias mais dispersas. Embora apresentem PIB relevantes, os valores de PIB per capita e rendimentos domiciliares foram inferiores em comparação ao *Cluster* 0.

As cidades desse *cluster* apresentam valores negativos de PC2 e PC3, o que sugere que, embora maiores em termos de população, enfrentam desafios demográficos e econômicos. Além disso, possuem realidades mais complexas no que diz respeito à mobilidade urbana e aos sistemas de transporte. O PC4, por exemplo, aponta que a posse de veículos pode variar mais significativamente nessas áreas do que no *cluster* anterior.

Os componentes PC5 e PC6 apresentaram maior variabilidade nas condições climáticas, sugerindo que essas cidades enfrentam condições mais adversas em termos de períodos chuvosos e temperaturas. Além disso, PC10 e PC11 indicam que o tempo médio de deslocamento ao trabalho e a força de trabalho ativa nessas cidades são menos favoráveis em comparação aos outros *clusters*.

No que se refere à vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas, a proporção de sistemas abertos é maior do que no *Cluster* 0, com 66% ainda em

operação. Isso evidencia uma resiliência significativa na manutenção dos sistemas de bicicletas em funcionamento, mesmo diante dos desafios demográficos e estruturais enfrentados.

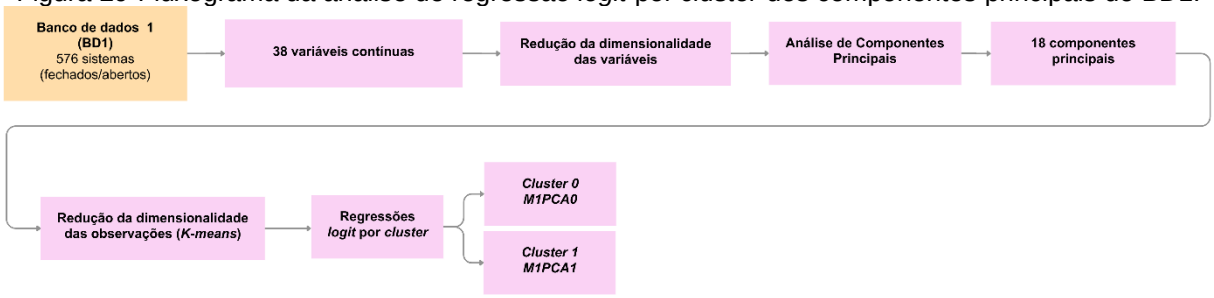
O *Cluster* 2 agrupou o menor número de sistemas, com apenas 36 casos. Esse grupo está localizado em áreas com valores extremos de PC1 e PC2, sugerindo que esses sistemas estão presentes em cidades maiores, com expansão urbana mais ampla e populações significativas. As pontuações positivas de PC1 e PC2 indicam que essas cidades possuem PIBs elevados, infraestrutura avançada e características demográficas acentuadas. Apesar de enfrentarem variabilidade climática e maior dependência de transporte privado (PC4 a PC6), essas cidades apresentam eficiência em mobilidade urbana e uma força de trabalho ativa (PC10 e PC11).

Em resumo, o *Cluster* 0 agrupa cidades menores, economicamente estáveis em infraestrutura, mas com um número significativo de sistemas de bicicletas fechados. O *Cluster* 1 reúne grandes centros urbanos latinos com desafios estruturais, mas demonstrando resiliência em manter os sistemas de bicicletas operacionais. Por fim, o *Cluster* 2 representa sistemas em cidades maiores, como metrópoles, com alta densidade populacional e infraestrutura extensa, mas que enfrentam dificuldades em sustentar seus sistemas de bicicletas, possivelmente devido à complexidade urbana.

4.2.2.2. Regressões *logit* por *cluster* para os componentes principais do BD1

Após o processo de *cluster*ização, foram aplicadas regressões *logit* (Figura 29) para cada *cluster*, com o objetivo de prever as razões de chances em relação ao *status* dos sistemas serem fechados (variável *dummy*) ou abertos, utilizando os componentes principais como preditores independentes e explicativos.

Figura 29-Fluxograma da análise de regressão *logit* por *cluster* dos componentes principais do BD1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o *Cluster* 2, o modelo não convergiu adequadamente devido ao pequeno número de observações e à baixa variabilidade dos componentes, o que impossibilitou a conclusão do algoritmo. Além disso, os sistemas desse *cluster* estão localizados nas mesmas cidades, o que gerou viés dentro dos componentes associados. Portanto, a análise foi concentrada nos *Clusters* 0 e 1, onde os modelos puderam ser gerados, reduzidos e ajustados (Tabela 22).

No *Cluster* 0, o modelo M1PCA0 foi inicialmente gerado com todos os componentes, mas após a eliminação iterativa dos componentes com maior p-valor, restaram cinco componentes significativos: PC6, PC9, PC10 e PC14. O PC6, que engloba cargas negativas em PIB per capita e rendimento, teve um coeficiente negativo significativo (-0,55) e uma razão de chance indicando que um aumento de uma unidade nesse componente reduz a chance de fechamento em 42,4% (OR = 0,576).

O PC9, que engloba cargas consideráveis em percentual estimado da população que utiliza bicicleta, número total de bicicletas e tempo de duração do sistema, também apresentou um coeficiente negativo (-0,56), sugerindo que um aumento neste componente reduz a chance de fechamento em 43,1% (OR=0,569). Esses resultados são interessantes, pois indicam que, no *Cluster* 0, as cidades com a presença de ciclistas e sistemas consolidados tendem a apresentar maior vitalidade.

Em contrapartida, o PC10, que agregou carga positiva para densidade populacional e percentual de pessoas por habitação, e carga negativa para o percentual de pessoas com veículos e o tempo de duração dos sistemas, apresentou um coeficiente positivo (1,31).

Isso implica que um aumento neste componente eleva a probabilidade de fechamento em 269,9%. Ou seja, altas densidades populacionais, associadas a um maior número de pessoas por habitação, baixa posse de automóveis e sistemas mais recentes, configuram características que aumentam o risco de fechamento dentro deste *cluster*.

O PC14, que inclui variáveis com cargas positivas, como o número de pessoas por habitação, o número total de bicicletas e o tempo de duração do sistema em dias, além de uma carga negativa bem elevada para o dia mais curto, apresentou um coeficiente negativo (-0,7354), ou seja, o aumento unitário neste componente reduz a probabilidade de fechamento em 52,1% (OR=0,479).

O modelo reduzido, que selecionou apenas os componentes mais relevantes, incluiu cinco componentes significativos: PC4, PC5, PC9, PC14 e PC15. Embora os indicadores de qualidade, como AIC (484,244) e BIC (508,833), mostrem uma melhoria discreta em termos de parcimônia e eficiência estatística em comparação com o modelo completo, houve pequenas quedas nos valores de pseudo-R^2, R^2 de Tjur e eficácia do modelo. Essas reduções indicam que, ao simplificar o modelo, parte da capacidade explicativa e preditiva foi comprometida, mas o ganho em simplicidade e foco nos principais fatores preditivos justifica a abordagem.

No *Cluster* 1, no modelo M1PCA1, apenas os componentes PC3 e PC4 demonstraram significância estatística ao nível de 0,05. O PC3, que apresentou um coeficiente negativo significativo (−1,84), indica que um aumento de uma unidade neste componente reduz a probabilidade do evento em aproximadamente 84% (OR=0,158).

No *Cluster* 1, no modelo M1PCA1, apenas os componentes PC3 e PC4 demonstraram significância estatística ao nível de 0,05. O PC3, que apresentou um coeficiente negativo significativo (−1,84), indica que um aumento de uma unidade neste componente reduz a probabilidade de fechamento em aproximadamente 84% (OR = 0,158).

Esse componente está positivamente associado a variáveis como PIB, PIB per capita, rendimento domiciliar e o percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo, refletindo melhores indicadores socioeconômicos. No entanto, observa-se que melhores perfis econômicos podem estar relacionados ao sucesso dos sistemas de bicicletas compartilhadas no Cluster 1. Esse resultado vai contra a ideia de que a existência de ciclistas ativistas tende a ser mais expressiva em contextos socioeconômicos menos favorecidos, como nas cidades latino-americanas.

O PC4, que apresentou um coeficiente positivo significativo (1,10), está relacionado a variáveis climáticas e topográficas. Entre as variáveis com maior peso positivo neste componente, destacam-se o período mais claro com poucas nuvens (0,36) e o período chuvoso/nevoso (0,31).

Além disso, variáveis topográficas, como elevação média, elevação mínima e a diferença entre elevações, apresentaram valores positivos, indicando que contextos com maiores altitudes e diferenças topográficas estão associados ao aumento da chance de insucesso. Isso sugere que o aumento das cotas topográficas e da variação entre elas tende a elevar a chance de fechamento dos sistemas.

Esses resultados demonstram que o PC4 captura contextos geográficos mais contrastantes (com maior incidência solar e mais chuvosos) e desafiadores, onde as características climáticas e topográficas podem dificultar a operação e sustentabilidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas.

O impacto deste componente reflete a importância de adaptar os sistemas e a infraestrutura cicloviária a essas condições específicas. Assim, um aumento no PC4 eleva a chance do evento analisado em cerca de 202% (OR=3,02), destacando os desafios enfrentados pelos sistemas em ambientes com condições geográficas menos moderadas.

No modelo reduzido, o PC3 não esteve presente, e quatro componentes principais se destacaram como significativos: PC4, PC5, PC9 e PC14. Assim como observado no *Cluster* 0, os componentes PC9 e PC14 apresentaram coeficientes negativos, indicando que um maior uso de bicicletas, o número total de bicicletas disponíveis, e um tempo de operação mais longo estão associados a uma redução do risco fechamento, reforçando a importância de sistemas de bicicletas subsidiados e amplamente utilizados.

Por outro lado, o PC4 manteve um coeficiente positivo significativo, sugerindo uma maior probabilidade de fechamento em condições climáticas menos favoráveis ao uso da bicicleta, como períodos úmidos, chuvosos ou com maior insolação solar.

De um modo geral, o modelo reduzido apresentou melhores valores de AIC (de 112,736 para 105,640) e BIC (de 161,259 para 118,409), indicando maior eficiência estatística ao eliminar componentes menos relevantes. Contudo, percebe-se uma queda na capacidade explicativa, com o Pseudo-R^2 reduzindo de 0,384 para 0,212 e o R^2 de Tjur de 0,420 para 0,247. Ainda assim, o modelo reduzido mantém uma alta eficácia preditiva de 72,6%, comparável aos 80% do modelo completo.

Tabela 22- Regressões *logit* para os *clusters* em função dos componentes principais.

Componentes	**M1PCA0 (n=445)**	**M1PCA0 red (n=445)**	**M1PCA1 (n=95)**	**M1PCA1 red (n=95)**
const	0,4535* (1,8487)	0,4829*** (0,0000)	-6,8153* (-1,7837)	-0,4748* (0,0620)
PC1	-0,0175 (-0,1164)		1,0279* (1,7968)	
PC2	-0,1626 (-0,8897)		0,2322 (0,7489)	
PC3	-0,0282 (-0,2515)		-1,8412** (-2,1569)	

(continua na próxima página)

Tabela 22 - Regressões *logit* para os *clusters* em função dos componentes principais (continuação).

Componentes	M1PCA0 (n=445)	M1PCA0 red (n=445)	M1PCA1 (n=95)	M1PCA1 red (n=95)
PC4	-0,2270*		1,1042**	0,4134*** (0,0010)
	(-1,7832)		(2,5344)	
PC5	-0,2410		-1,0549	-0,5648*** (0,0040)
	(-1,3029)		(-0,7776)	
PC6	-0,5513***	-0,4309***	1,1371	
	(-3,3664)	(0,0000)	(0,8034)	
PC7	0,2325		0,0523	
	(1,0123)		(0,0240)	
PC8	-0,2883		-1,8538	
	(-0,9135)		(-0,9433)	
PC9	-0,5630**	-0,8448***	-1,6881*	-0,8511*** (0,0060)
	(-2,4836)	(0,0000)	(-1,7145)	
PC10	1,3081**	0,9000***	1,4191	
	(2,3056)	(0,0000)	(0,3014)	
PC11	0,4475		-1,4035	
	(0,4763)		(-0,1507)	
PC12	-0,6132		-6,5992	
	(-0,5130)		(-0,6034)	
PC13	0,0822		4,5712	
	(0,0873)		(0,6426)	
PC14	-0,7354**	-0,5841***	-5,4842	-1,3072** (0,0300)
	(-1,2679)	(0,0000)	(-1,5351)	
PC15	-0,5861*	-0,6571***	1,7713	
	(-1,7002)	(0,0000)	(0,8385)	
PC16	-0,1206		-0,0471	
	(-0,4355)		(-0,0223)	
PC17	0,1743		1,3728	
	(0,3833)		(1,3273)	
PC18	0,2840		0,0451	
	(0,8177)		(0,0581)	
AIC	499,474	484,244	112,736	105,640
BIC	577,338	508,833	161,259	118,409
Log-Likelihood	-230,737	-236,122	-37,368	-47,820
Pseudo-R^2	0,226	0,208	0,384	0,212
R^2 de Tjur	0,270	0,252	0,420	0,247
Eficácia do Modelo	0,735	0,728	0,800	0,726

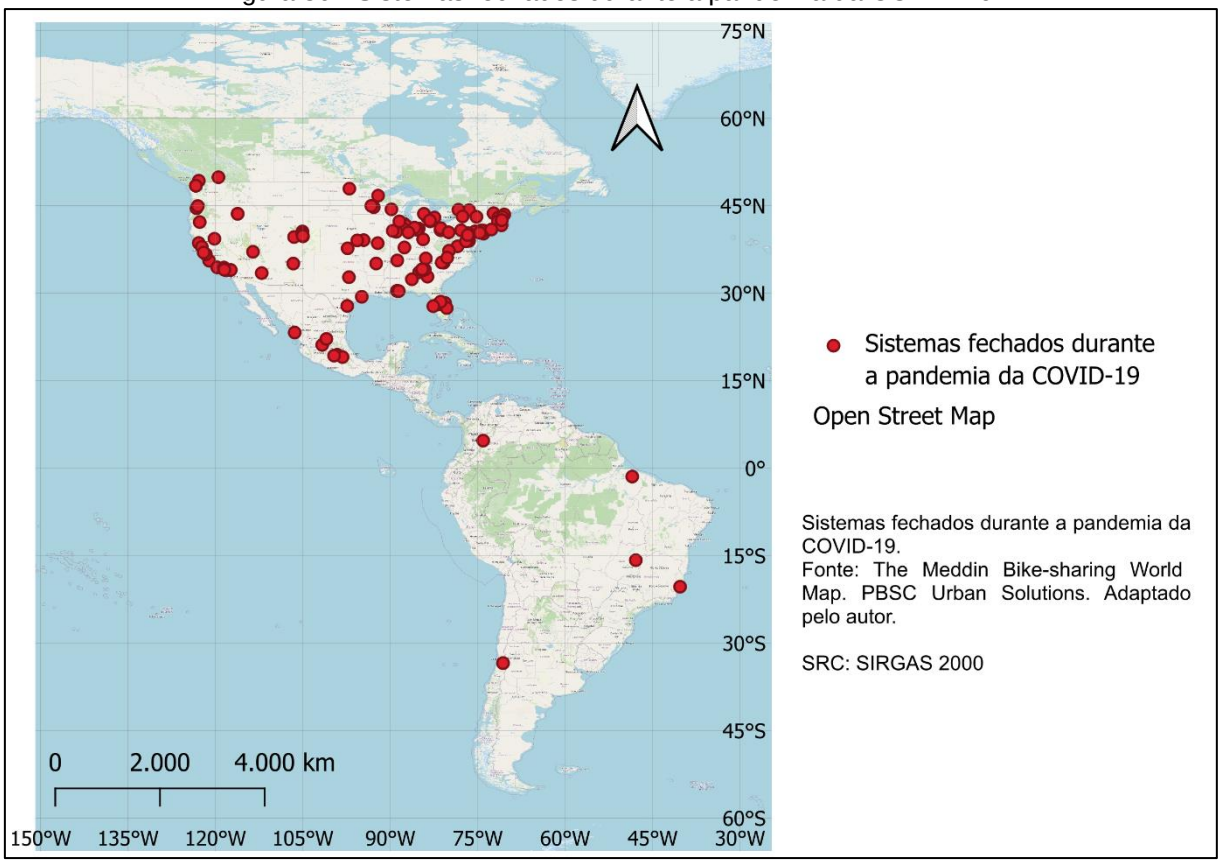
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3. Fechamento dos sistemas de bicicleta compartilhada na América durante a pandemia da COVID-19

Para identificar os sistemas de bicicletas compartilhadas que encerraram suas operações durante o período da pandemia de COVID-19, foram utilizadas as datas de encerramento disponíveis no Mapa Mundial. O período oficial da crise sanitária foi registrado entre 11 de março de 2020, data em que a Organização Mundial da Saúde declarou a pandemia, e 5 de maio de 2023, quando a emergência de saúde global foi oficialmente encerrada.

Após a análise das datas, verificou-se que 124 sistemas foram encerrados nesse período, representando 38,27% dos sistemas fechados incluídos no BD1 (n=324) (Figura 30). Os Estados Unidos foram o país mais impactado, com 107 fechamentos. Outros países, embora em menor quantidade, também sofreram impactos: o Canadá e o México registraram 6 ocorrências cada, seguidos por Brasil e Chile com 2 sistemas cada, e a Colômbia, com apenas 1 encerramento.

Figura 30 - Sistemas fechados durante a pandemia da COVID-19.



Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Elaborado pelo autor

Os dados também revelaram que a maioria dos sistemas encerrados, com nomes de operadores disponíveis, era operada pela empresa Zagster, totalizando 46 fechamentos. Esse número reflete as dificuldades enfrentadas pela empresa, que atuava em diversas cidades nos Estados Unidos, mas foi forçada a encerrar suas atividades.

Esse cenário pode indicar dificuldades relacionadas ao modelo de negócios e à operacionalidade da empresa (LONG; VAN WAES, 2021), especialmente considerando que as bicicletas compartilhadas, de maneira geral, demonstraram

maior resiliência em comparação à queda na demanda causada pela pandemia de COVID-19, como discutido no tópico 2.3.

Um dos exemplos de sistemas encerrados por essa empresa foi o da cidade de Albuquerque, no estado do Novo México. O sistema com estações fixas contava com cerca de 200 bicicletas, mas, após o início da pandemia, foi desativado em junho de 2020, possivelmente impactado pelas restrições impostas pelas medidas de distanciamento social e de mobilidade.

Na América Latina, o sistema Mobike, da Cidade do México, operou com mais de 1.400 bicicletas sem estações até ser encerrado em janeiro de 2021. No Brasil, o impacto da pandemia foi sentido em cidades como Belém, onde o sistema operado pela Tembici oferecia 110 bicicletas em 15 estações, sendo desativado em junho de 2020. Brasília também viu o fechamento de seu sistema, que operava com 450 bicicletas desde 2014.

Em Bogotá, o sistema Muvo, com 150 bicicletas, sem estações encerrou suas operações em fevereiro de 2021. Já em Santiago, dois sistemas operados pela Clear Channel e pela Mobike, com 701 e 540 bicicletas, respectivamente, foram encerrados entre 2021 e 2022. De forma geral, observa-se que, durante o período pandêmico, os sistemas de bicicletas compartilhadas na América Latina demonstraram maior resiliência do que aqueles localizados nos Estados Unidos.

Para avaliar se a duração dos sistemas de bicicletas compartilhadas foi significativamente impactada pela pandemia, aplicou-se o teste de Mann-Whitney para comparar os grupos de sistemas encerrados. O teste resultou em uma estatística U de 30.958,0 e um valor-p de 0,074, o que não é significativo ao nível de 0,05. Isso indica que não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que existe uma diferença significativa na distribuição do tempo duração entre os sistemas encerrados durante a pandemia e aqueles encerrados em outros períodos.

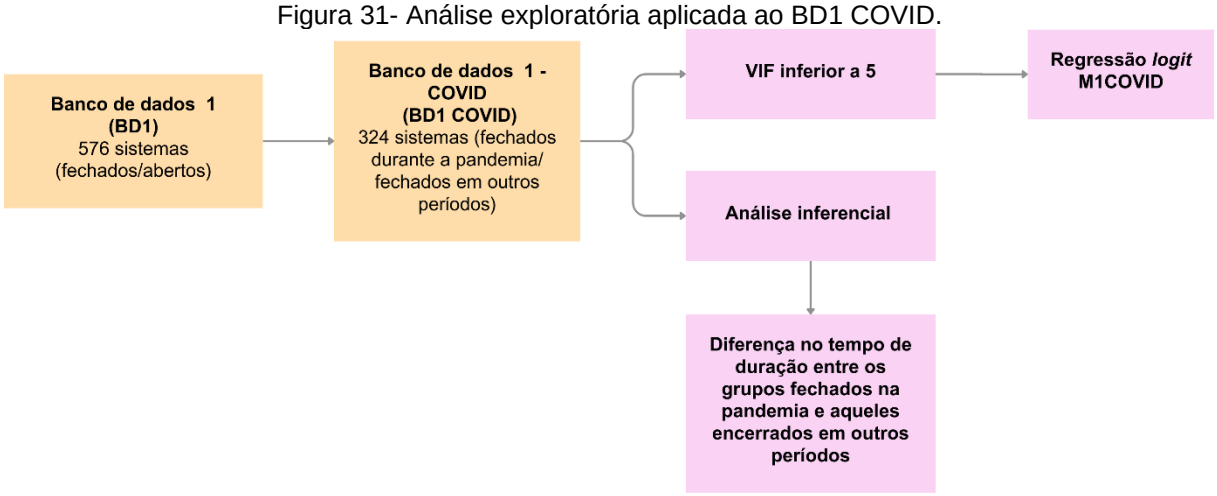
Posteriormente, realizaram-se novos testes de Fator de Inflação da Variância (VIF) sobre o banco de dados, considerando apenas os sistemas que foram fechados (n = 324). Após o processo de redução de variáveis, realizado uma a uma, foram identificadas as variáveis com VIFs inferiores a 5. São elas: área da cidade (1,48), população (3,68), PIB (2,32), percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo (4,43), frota de veículos (2,63), percentual de viagens por transporte público (1,52), percentual estimado de pessoas que utilizam bicicleta (2,14), duração do dia

mais curto (3,95), elevação mínima (1,52), total de bicicletas no sistema (1,54) e, por último, a duração do sistema (2,29).

Na sequência, para avaliar quais dessas variáveis podem ter contribuído para o fechamento dos sistemas durante a pandemia, foi criada uma nova variável categórica dicotômica, denominada pandemia. Essa variável recebeu o valor 0 para sistemas encerrados durante a pandemia e 1 para aqueles que foram fechados em outros períodos.

Nesse contexto, a variável *dummy* para o fechamento representa os sistemas encerrados especificamente durante a pandemia. Em seguida, foram realizadas novas regressões *logit*, considerando os modelos completo e reduzido (M1COVID). A Figura 31 abaixo apresenta um resumo da análise exploratória aplicada ao banco de dados B1 COVID, oriundo do BD1.

Figura 31- Análise exploratória aplicada ao BD1 COVID.



Fonte: Elaborador pelo autor.

Os resultados das regressões *logit* (Tabela 23) indicam que variáveis relacionadas ao tipo de sistema de bicicletas, ao uso do transporte público e à elevação mínima da cidade foram significativas para a resiliência desses sistemas em períodos de crise. Essas variáveis apresentaram coeficientes negativos em relação ao fechamento durante o período pandêmico.

No modelo completo, o tipo de sistema se destacou como um fator decisivo, os modelos *free-floating*, em que as bicicletas podem ser deixadas e retiradas em qualquer local permitido, e outros apresentaram uma chance de fechamento significativamente menor em comparação com sistemas baseados em estações.

A razão de chance de 0,108 para os sistemas *free-floating* indica que esses sistemas tiveram uma chance menor (90,25%) de fechamento em comparação com os sistemas convencionais com estações. Os sistemas classificados como outros atingiu uma razão de chance de 0,424, ou seja, uma redução de chance de fechamento de 57,6% em relação aos sistemas com estações. Essa diferença pode estar associada à maior flexibilidade e acessibilidade proporcionadas por esses modelos, especialmente em tempos de distanciamento social.

Destarte, o percentual de uso do transporte público revelou-se uma variável significativa: em cidades com maior uso desse meio de transporte, a chance de fechamento dos sistemas de bicicletas foi reduzida, com uma queda de aproximadamente 5,2% para cada aumento percentual no uso de transporte público. Esse resultado é corroborado pelos estudos de Teixeira e Lopes (2020), Chibwe *et al*. (2021) e Jobe e Griffin (2021).

A variável elevação mínima também apresentou significância, embora com um efeito positivo sutil, indicando que cidades com elevações mínimas mais altas apresentaram uma chance ligeiramente maior de fechamento. Por outro lado, a variável tempo de operação exibiu um coeficiente negativo, sugerindo que sistemas com maior tempo de vida tinham menor chance de encerrar suas atividades durante a pandemia.

No modelo reduzido M1COVID, essas variáveis permaneceram no modelo, incluindo o número de bicicletas. Embora essa variável tenha apresentado um p-valor ligeiramente acima do limite (0,05), foi mantida para avaliar o impacto de um maior número de bicicletas na resiliência do sistema durante o período emergencial de saúde. O modelo reduzido simplifica a interpretação, mantendo um nível de ajuste semelhante ao modelo completo, com um R^2 de Tjur de 0,163 e uma acurácia de 78,6%.

Os resultados ressaltam que a vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas durante a pandemia não foi apenas uma questão de demanda, mas também de como esses sistemas se operacionalizavam ao ambiente urbano e à infraestrutura de mobilidade das cidades. Sistemas alternativos aos modelos com estações fixas e a usabilidade do transporte público demonstraram ser fatores cruciais para a continuidade das operações, mesmo diante das restrições impostas pelo distanciamento social.

Tabela 23 - Regressões *logit* para os sistemas fechados.

n (324)	M1COVID	M1COVID red
const	-0,309 (-0,507)	-0,287* (-1,795)
Extensão territorial (km²)	-0,000 (-0,625)	
Densidade populacional (hab/km²)	0,000 (1,175)	
Produto interno bruto ($)	-0,004 (-0,926)	
Pessoas com pelo menos ensino superior completo (%)	0,002 (0,257)	
Frota de veículos	0,000 (0,452)	
Viagens realizadas em transporte público (%)	-0,053*** (-3,583)	-0,044*** (-4,513)
Viagens realizadas de bicicleta (%)	0,017 (0,272)	
Dia mais curto, em horas	0,035 (0,710)	
Elevação topográfica mínima (m)	0,001** (2,317)	0,000** (1,979)
Número total de bicicletas	-0,000 (-1,110)	-0,001* (-1,864)
Tempo de duração do sistema em dias	-0,000*** (-2,686)	
Tipo - Fluxo livre sem estações	-2,227*** (-6,163)	-1,897*** (-5,744)
Tipo - Outros	-0,857** (-2,583)	-0,698*** (-2,169)
AIC	521,713	519,69
BIC	582,698	545,83
Log-Likelihood	-246,856	-253,84
Pseudo-R²	0,177	0,15
R² de Tjur	0,194	0,163
Eficácia do Modelo	0,787	0,786
***p < 0,01, **p < 0,05, *p < 0,1, Z-valor em parênteses		

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DO BANCO DE DADOS 2 (BD2)

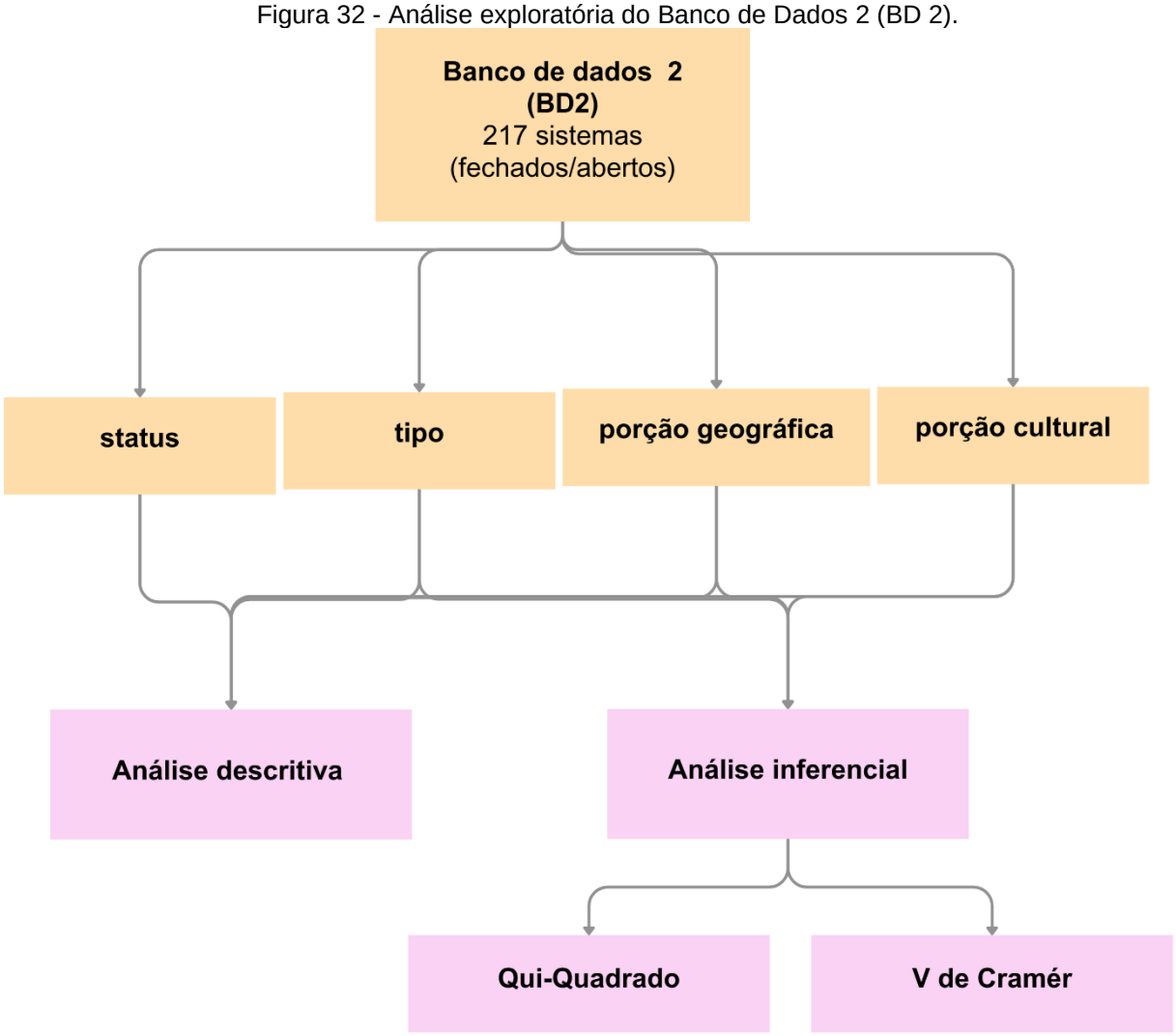
Os dados levantados para a construção do BD2, em conjunto com os bancos de dados BD0 e BD1, incluíram um novo grupo de variáveis, baseadas em indicadores de transportes sustentáveis fornecidos pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP). Os indicadores considerados são: densidade de quadras e blocos; percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas; percentual de pessoas próximas a serviços; percentual de pessoas próximas a áreas sem carros; percentual de pessoas protegidas de rodovias.

De um modo geral, este novo banco de dados incorporou 217 sistemas distribuídos em 170 regiões metropolitanas nas Américas. Assim como no BD1, o BD2 foi estruturado para aprofundar a análise exploratória dos sistemas de bicicletas compartilhadas, considerando quatro principais variáveis categóricas: *status* operacional (aberto ou fechado), tipo de sistema, porção geográfica e porção cultural.

A análise seguiu dois enfoques principais: descritivo e inferencial. Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva para compreender a distribuição das

variáveis. Em seguida, aplicaram-se técnicas estatísticas inferenciais para investigar associações entre as variáveis categóricas, utilizando o teste de Qui-Quadrado, para verificar a existência de dependência estatística entre elas, e o teste V de Cramér, para mensurar a força dessas associações. O fluxograma da Figura 32 resume as etapas dessa etapa metodológica.

Figura 32 - Análise exploratória do Banco de Dados 2 (BD 2).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao status operacional (Tabela 24), 120 sistemas de bicicletas foram encerrados (55,3%), enquanto 97 sistemas (44,7%) permanecem em operação. A maioria dos sistemas está localizada na América do Norte, com 155 sistemas (71,4%), seguida pela América do Sul, que conta com 62 sistemas (28,6%). Não foram compilados sistemas provenientes da América Central.

Em relação à distribuição cultural (Tabela 24), observou-se que a maioria dos sistemas de bicicletas está localizada em áreas de influência anglo-saxônica, totalizando 141 sistemas (65%), enquanto 76 sistemas (35%) estão na América Latina. Por fim, a variável tipo revela que a maioria dos sistemas adota o modelo de estações fixas, com 101 observações (46,5%). Outros 93 sistemas (42,9%) utilizam o modelo em fluxo livre, ou seja, sem estações fixas, enquanto 23 sistemas (10,6%) são classificados em outras modalidades.

Tabela 24 - Distribuição do BD2 em função das variáveis *status*, porção geográfica, porção cultural e tipo.

Variáveis	**Valores**	**N (217)**	**%**
Status	Aberto	97	44,7
	Fechado	120	55,3
Porção geográfica	América do Norte	155	71,4
	América do Sul	62	28,6
Porção cultural	América anglo-saxônica	141	65
	América latina	76	35
Tipo	Com estações em docas	101	46,5
	Fluxo livre (sem estações)	93	42,9
	Outros	23	10,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em consonância com BD0, nos sistemas anglo-saxônicos do BD2 há uma predominância de sistemas desativados, com 56,74% (n=80). Além disso, os sistemas latinos apresentam 52,63% de sistemas encerrados (n=40) e 47,37% ainda em operação (n=36).

Em suma, em ambos os bancos, a maioria dos sistemas anglo-saxônicos já foi encerrada. No entanto, no BD0, a diferença entre as proporções de sistemas latinos abertos e fechados é mais acentuada do que no BD2, com uma predominância de sistemas abertos. Assim, o BD0 indica de forma mais evidente a vitalidade dos sistemas em contextos latinos, possivelmente devido ao maior número de observações e casos analisados.

No que concerne os tipos de sistemas, a Tabela 25 demonstra que os sistemas do tipo fluxo livre possuem mais sistemas fechados (76,34%, n=71). Por outro lado,

os sistemas baseados em estações e os classificados como outros apresentam maior proporção de sistemas abertos (n=61 e n=14, respectivamente). Esse padrão pode indicar maior adaptabilidade e viabilidade operacional desses modelos nesse universo amostral.

Tabela 25 - Tabela cruzada entre *status* dos sistemas *versus* porção geográfica, cultural e tipo do BD2.

n(217)	**Porção cultural**		**Tipo**		
	Anglo-saxônica	**Latina**	**Estações**	**Fluxo livre**	**Outros**
Abertos	61 (43.26%)	36 (47.37%)	61 (60.4%)	22 (23.66%)	14 (60.87%)
Fechados	80 (56.74%)	40 (52.63%)	40 (39.6%)	71 (76.34%)	9 (39.13%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

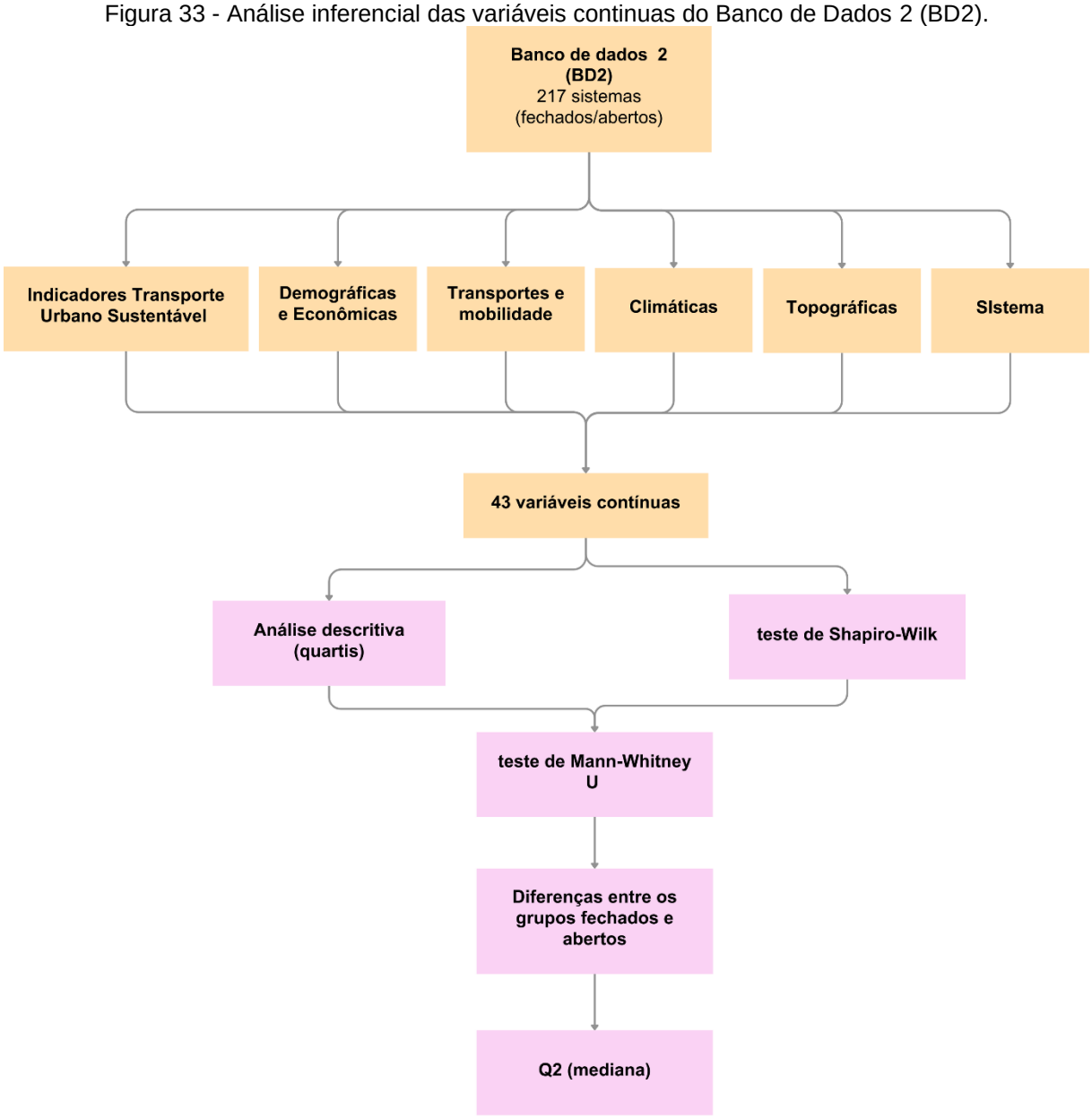
No que tange os testes de qui-quadrado, a porção cultural não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os sistemas fechados e abertos (p = 0,66), ou seja, não há evidências de uma associação entre a cultura e o *status* dos sistemas. Esse resultado diverge do observado no BD0, que, como mencionado anteriormente, apontou maior vitalidade nos sistemas latinos.

Destarte, a variável tipo apresentou uma diferença estatisticamente significativa (p = 0,00) com força moderada (V de Cramér = 0,37). Isso indica que o modelo operacional do sistema pode influenciar o fechamento ou a manutenção dos sistemas. O resultado reafirma a importância das características operacionais no desempenho e na continuidade dos sistemas.

A análise inferencial das variáveis contínuas (Figura 33) iniciou-se com uma análise descritiva, baseada nos quartis, para examinar a distribuição dos dados e identificar possíveis *outliers*. Em seguida, a normalidade das variáveis foi testada por meio do teste de Shapiro-Wilk, cujo objetivo foi verificar se os dados seguem uma distribuição normal.

Assim como no BD1, os resultados do teste indicaram que nenhuma das variáveis segue uma distribuição normal (p < 0,05). Diante disso, optou-se novamente pelo teste de Mann-Whitney U, um teste não paramétrico apropriado para comparar distribuições entre dois grupos independentes. Esse teste foi aplicado para investigar diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas fechados e abertos.

Figura 33 - Análise inferencial das variáveis continuas do Banco de Dados 2 (BD2).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação às novas variáveis, os resultados da análise descritiva indicam que a dispersão entre os quartis não é tão acentuada para a maioria delas (Tabela 26). A densidade de quadras e blocos apresenta alguma variação, mas sem grandes extremos entre as regiões. O percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas, a serviços, a áreas sem carros e seguras de rodovias também não demonstra diferenças tão acentudas, o que sugere uma distribuição relativamente equilibrada desses indicadores urbanos.

Ao analisar os testes de Mann-Whitney U, apenas quatro variáveis apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas fechados e abertos. São elas: rendimento domiciliar (p = 0,04), percentual de pessoas ocupadas ou empregadas (p = 0,03), número total de bicicletas (p = 0,00) e tempo de duração do sistema (p = 0,00).

O que chama a atenção é que todas as novas variáveis neste banco não apresentaram diferenças significativas entre os grupos. Isso pode indicar que cidades com transporte sustentável não são necessariamente mais favoráveis ao sucesso e ao uso da bicicleta compartilhada. Assim, os resultados parecem apontar que o sucesso da bicicleta compartilhada pode estar mais associado a fatores demográficos e operacionais.

Entre as variáveis que apresentaram diferenças, a mediana do rendimento domiciliar mostrou-se maior no grupo dos sistemas fechados ($68.833,00), indicando que esses sistemas tendem a estar associados a regiões com maior poder aquisitivo. Da mesma forma, o percentual de pessoas ocupadas ou empregadas apresentou uma mediana ligeiramente superior nos sistemas fechados (63,39%).

Esses resultados apontam que o insucesso da bicicleta compartilhada, nesse contexto, pode estar diretamente relacionado a melhores condições econômicas. Isso evidencia que esse sistema de transportes é mais frequentemente utilizado por demandas cativas de classes sociais menos favorecidas e perfis socioeconômicos mais modestos (FISHMAN; WASHINGTON; HAWORTH, 2014)

Não obstante, as variáveis relacionadas diretamente ao sistema de bicicletas, como o total de bicicletas (350) e o tempo de duração do sistema (2.180 dias), tiveram medianas mais elevadas no grupo dos sistemas abertos. Assim, como já era esperado, sistemas com maior cobertura de bicicletas e maior tempo de duração, podem ter maior chance de permanência e menor probabilidade de fracassar (ZHANG *et al*., 2021)

Esses resultados reforçam, mais uma vez, a necessidade de políticas e subsídios, além de governanças contínuas, para a continuidade e integração desses novos modos inteligentes às cidades e às suas redes de transporte público (SHAHEEN; GUZMAN; ZHANG, 2010).

Tabela 26 - Análise descritiva e inferencial das variáveis contínuas do BD2.

	Variáveis	Q1	Q2	Q3	Mediana		p_valor
					fechados	abertos	Mann-Whitney
Transporte sustentável	Densidade de quadras e blocos	55,81	62,39	75,24	61,81	65,71	0,6
	Percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas	0,05	0,09	0,19	0,09	0,09	0,59
	Percentual de pessoas próximas a próximas a serviços	0,31	0,47	0,62	0,45	0,49	0,68
	Percentual de pessoas próximas a áreas sem carros	0,23	0,32	0,43	0,31	0,32	0,91
	Percentual de pessoas seguros de rodovias	0,64	0,73	0,78	0,73	0,73	0,82
Demográficas e Econômicas	População (hab)	499.127,0	907.971,00	2.315.560,0	907.971,0	907.971,0	0,83
	Extensão territorial (km²)	209,66	414,73	820,62	414,74	396,48	0,52
	Densidade populacional (hab/km²)	1.477,58	2.690,50	4.821,06	2.718,36	2.261,32	0,45
	Produto interno bruto em bilhões ($)	14,48	33,67	79,01	33,67	32,87	0,62
	Produto interno bruto per capita ($)	13.500,00	50.775,00	64.379,00	56.622,50	48.140,00	0,18
	Rendimento domiciliar médio anual ($)	16.011,00	63.049,00	80.493,00	68.833,00	60.426,00	0,04
	Idade média	33,00	35,30	38,10	35,35	34,9	0,65
	Unidades habitacionais	212.146,0	368.308,00	860.139,00	402.585,5	350.364,0	0,99
	Pessoas por unidade habitacional	2,11	2,36	2,62	2,35	2,37	0,52
	Pessoas com pelo menos ensino superior completo (%)	26,50	38,20	52,80	39,4	35,8	0,08
	Pessoas ocupadas ou empregadas (%)	59,20	62,80	67,20	63,39	61,6	0,03

(continua na próxima página)

Tabela 26 - Análise descritiva e inferencial das variáveis contínuas do BD2 (continuação).

	Variáveis	Q1	Q2	Q3	Mediana		p_valor
					fechados	abertos	Mann-Whitney
Transportes e mobilidade	Frota de veículos	282.250,0	500.511,85	1.059.219,0	527.385,0	488.940,0	0,8
	População com veículos	0,48	0,62	0,69	0,62	0,63	0,98
	Tempo médio de deslocamento (min)	25,00	28,20	34,10	28,71	27,2	0,26
	Viagens realizadas em veículo privado (%)	30,00	51,90	66,50	51,65	51,9	0,36
	Viagens realizadas em transporte público (%)	3,70	15,60	30,00	15,6	15,6	0,99
	Viagens realizadas de bicicleta (%)	0,67	1,34	3,00	1,25	1,46	0,2
Climáticas	Temperatura mínima média (F)	29	39	50	38,5	42	0,28
	Temperatura máxima média (F)	83	86	89	86	86	0,77
	Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	30	48	60	51	47	0,27
	Período de temperatura elevada ou quente, em meses	2,9	3,5	3,8	3,5	3,5	0,64
	Período de temperatura baixa ou frio, em meses	2,9	3	3,3	3,15	3	0,31
	Período mais claro com poucas nuvens, em meses	4,3	5	6,3	5	5	0,81
	Período nublado, em meses	5,7	7	7,7	7	7	0,81
	Período úmido, em meses	4,4	5,1	6,4	5,2	5	0,38
	Período seco, em meses	5,6	6,9	7,6	6,8	7	0,38
	Período chuvoso/nevoso, em meses	3,9	5,3	6,5	5,4	5	0,56
	Período sem chuva/sem neve, em meses	5,5	6,7	8,1	6,7	7	0,64
	Dia mais curto, em horas	9,35	9,93	10,68	9,93	9,98	0,56

(continua na próxima página)

Tabela 26 - Análise descritiva e inferencial das variáveis contínuas do BD2 (continuação).

	Variáveis	Q1	Q2	Q3	Mediana		p_valor Mann-Whitney
					fechados	abertos	
Climáticas	Dia mais longo, em horas	13,58	14,38	14,98	14,38	14,32	0,41
	Período com mais ventos, em meses	4,5	6,2	7,2	6,3	5,9	0,28
	Período com menos ventos, em meses	4,8	5,8	7,5	5,7	6,1	0,25
Topográficas	Elevação topográfica média (m)	43,00	185,00	690,00	182	188	0,95
	Elevação topográfica mínima (m)	-3,00	93,00	513,00	100,5	68	0,97
	Elevação topográfica máxima (m)	207,00	382,00	1.421,00	356,5	386	0,89
	Diferença entre elevação máxima e mínima (m)	134,00	275,00	1.060,00	310	273	0,95
Sistema	Número total de bicicletas	116,00	269,00	724,00	250,00	350,00	0
	Tempo de duração do sistema em dias	351,00	1.066,00	2.230,00	500,50	2.180,00	0

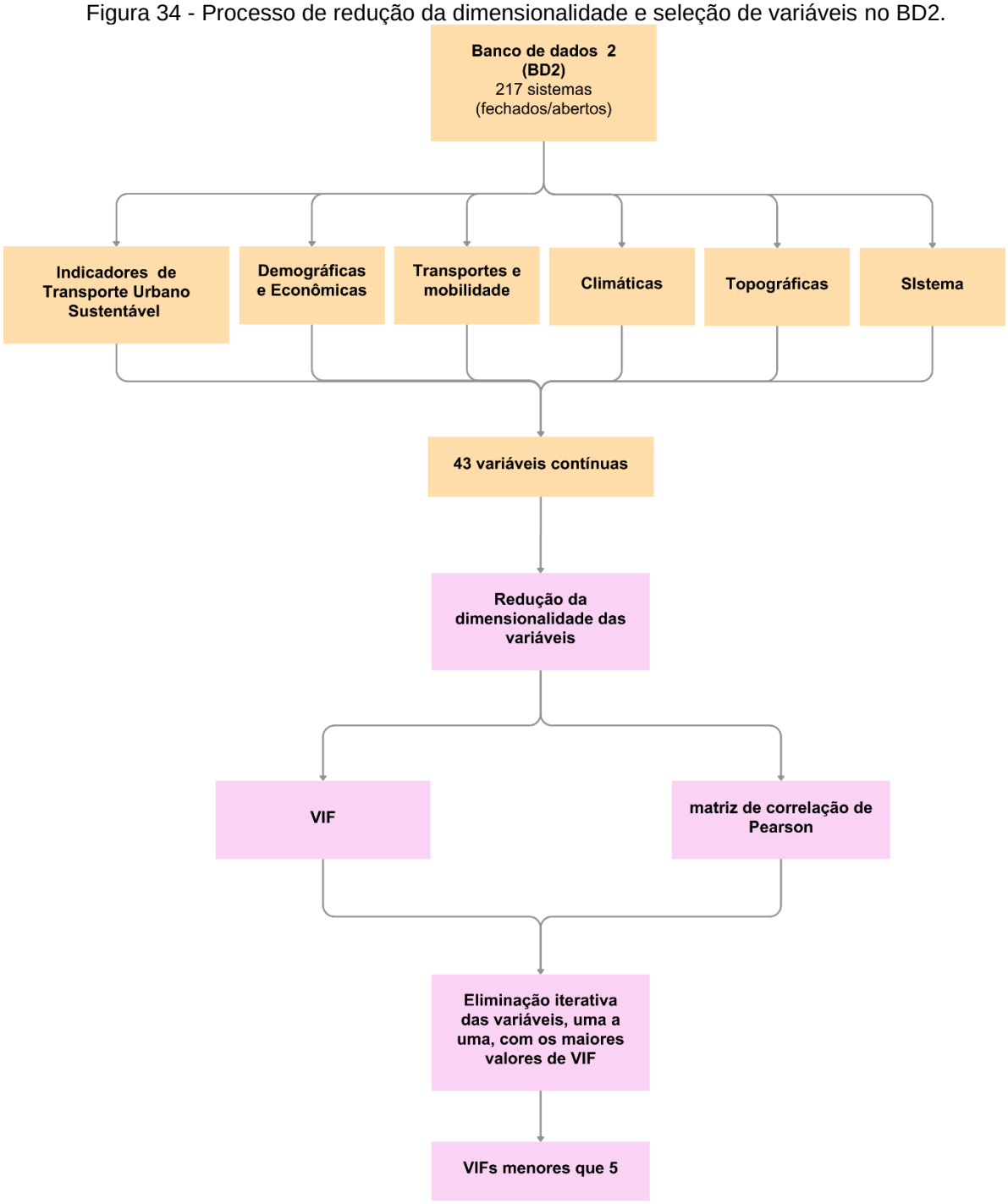
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1. Explorando a colinearidade do BD2 pelo Fator de Inflação da Variância (VIF)

Como mencionado anteriormente, a colinearidade representa um problema em modelos estatísticos preditivos e de clusterização, pois a redundância entre variáveis pode comprometer tanto a precisão quanto a interpretação dos resultados. O fator de inflação de variância (VIF), ao indicar o grau de colinearidade, permite identificar variáveis altamente correlacionadas que precisam ser tratadas ou removidas para evitar a sobreposição de efeitos.

Assim como BD1, inicialmente, foram consideradas as 43 variáveis contínuas, e para reduzir sua dimensionalidade, aplicou-se a matriz de correlação de Pearson e a análise do Fator de Inflação da Variância (VIF). A eliminação foi feita iterativamente, removendo variáveis com os maiores valores de VIF até que todos fossem menores que 5, garantindo a redução da multicolinearidade (Figura 34).

Figura 34 - Processo de redução da dimensionalidade e seleção de variáveis no BD2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito às novas variáveis do BD2 (transporte sustentável), de modo geral, todas apresentaram VIFs inferiores a 10 (Tabela 27). Isso demostra que os indicadores de transporte sustentável têm baixa correlação com as demais variáveis.

Na dimensão demográfica e econômica, as variáveis população (277,51) e unidades habitacionais (221,84) apresentaram VIFs consideráveis. Além disso, entre

os VIFs calculados, várias variáveis se destacaram por apresentarem valores infinitos, indicando colinearidade perfeita. A maioria pertence aos grupos climáticos e topográficos, o que, assim como observado no BD1, já era esperado devido à vasta extensão territorial que abrange condições climáticas e topográficas diversas.

No âmbito climático, as variáveis com VIF infinito incluem: temperatura mínima média, temperatura máxima média, amplitude térmica (Tmáx - Tmín), período mais claro com poucas nuvens, período nublado, período úmido e período seco. Além disso, o período com mais ventos (1884,58) e o período com menos ventos (1894,79) apresentaram VIFs extremamente elevados.

No grupo topográfico, a elevação topográfica mínima, a elevação topográfica máxima e a diferença entre elevações máximas e mínimas também apresentaram VIF infinito. Estas variáveis possuem uma relação intrínseca entre si, além de forte associação com a elevação topográfica média, que também apresentou um VIF elevado (110,21). Já em relação aos sistemas, os resultados apresentaram valores baixos para as variáveis número total de bicicletas (1,38) e tempo de duração (1,35).

Tabela 27 - Coeficientes VIF das variáveis contínuas do BD2.

Grupo	Variável (n=217)	VIF
Transporte sustentável	Densidade de quadras e blocos	2,88
	Percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas	5,08
	Percentual de pessoas próximas a próximas a serviços	7,29
	Percentual de pessoas próximas a áreas sem carros	8,72
	Percentual de pessoas seguros de rodovias	3,61
Demográficas e Econômicas	População (hab)	277,51
	Extensão territorial (km²)	3,68
	Densidade populacional (hab/km²)	7,48
	Produto interno bruto em bilhões ($)	11,73
	Produto interno bruto per capita ($)	22,84
	Rendimento domiciliar médio anual ($)	14,55
	Idade média	5,18
	Unidades habitacionais	221,84
	Pessoas por unidade habitacional	6,27
	Pessoas com pelo menos ensino superior completo (%)	5,83
	Pessoas ocupadas ou empregadas (%)	2,65
Transportes e mobilidade	Frota de veículos	44,91
	População com veículos (%)	5,16
	Tempo médio de deslocamento (min)	7,13
	Viagens realizadas em veículo privado (%)	7,17
	Viagens realizadas em transporte público (%)	14,90
	Viagens realizadas de bicicleta (%)	7,79

(continua na próxima página)

Tabela 27 - Coeficientes VIF das variáveis contínuas do BD2 (continuação).

Grupo	Variável (n=217)	VIF
Climáticas	Temperatura mínima média (F)	inf
	Temperatura máxima média (F)	inf
	Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	inf
	Período de temperatura elevada ou quente, em meses	4,28
	Período de temperatura baixa ou frio, em meses	4,54
	Período mais claro com poucas nuvens, em meses	inf
	Período nublado, em meses	inf
	Período úmido, em meses	inf
	Período seco, em meses	inf
	Período chuvoso/nevoso, em meses	441,77
	Período sem chuva/sem neve, em meses	436,80
	Dia mais curto, em horas	47,57
	Dia mais longo, em horas	48,20
	Período com mais ventos, em meses	1884,58
	Período com menos ventos, em meses	1894,79
Topográficas	Elevação topográfica média (m)	110,21
	Elevação topográfica mínima (m)	inf
	Elevação topográfica máxima (m)	inf
	Diferença entre elevação máxima e mínima (m)	inf
Sistema	Número total de bicicletas	1,38
	Tempo de duração do sistema em dias	1,35

Fonte: Elaborado pelo autor.

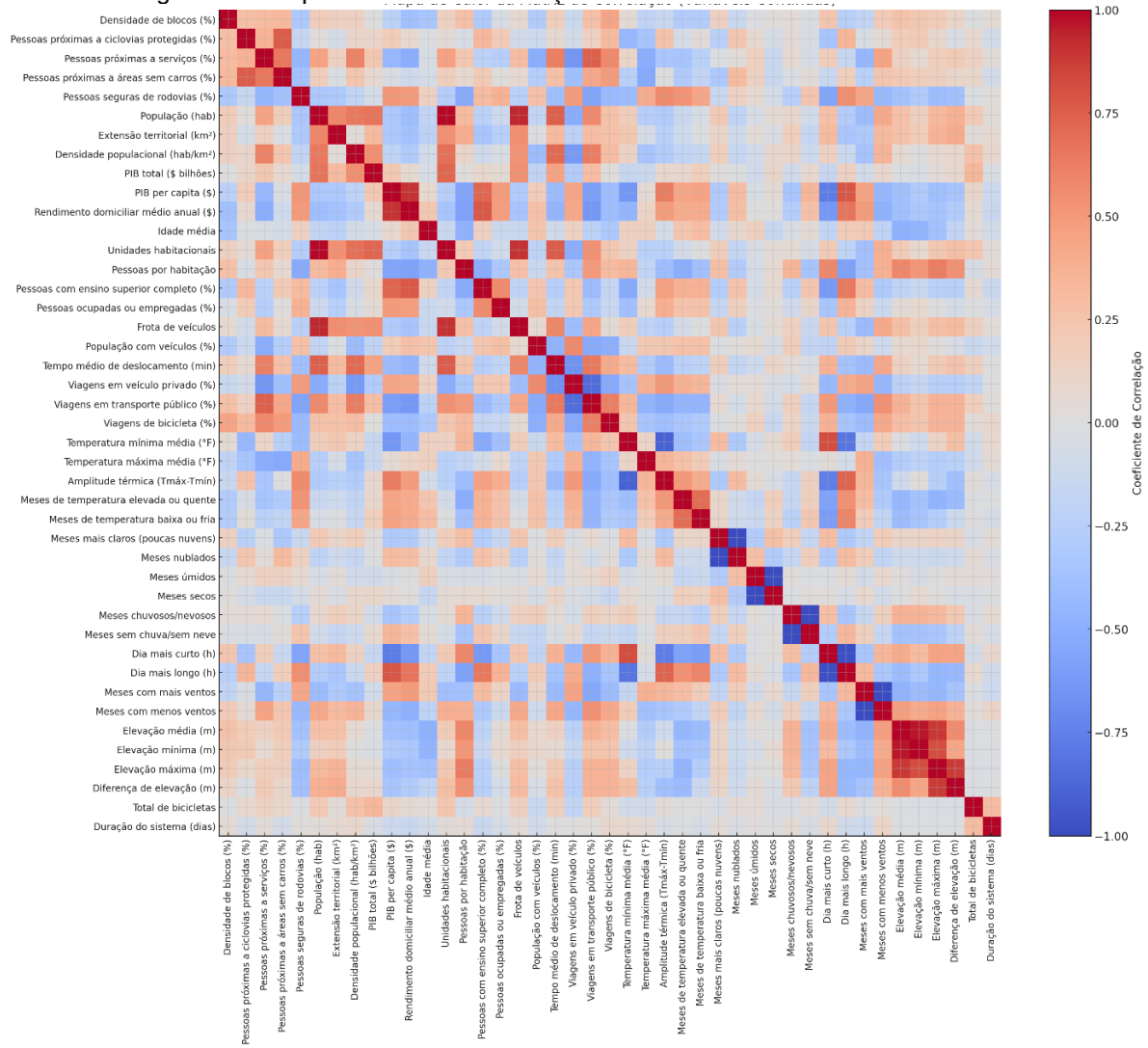
O mapa de calor da matriz de correlação (Figura 35) ilustra as relações entre as variáveis contínuas do conjunto de dados. Cores mais avermelhadas indicam correlações positivas fortes, enquanto tons mais azulados representam correlações negativas fortes. Valores próximos de zero, geralmente em cores claras e neutras, indicam pouca ou nenhuma correlação entre as variáveis.

As novas variáveis de transporte sustentável apresentaram cores avermelhadas mais fortes entre si, indicando maior correlação. Esse resultado já era esperado, considerando que essas variáveis são oriundas da mesma fonte de dados e representam regiões metropolitanas. Analogamente, as variáveis demográficas, como densidade populacional, população e extensão territorial, em conjunto com variáveis econômicas, demonstram correlações positivas mais elevadas, o que também era previsto devido à interdependência lógica entre esses indicadores nos contextos urbanos americanos.

De forma semelhante, variáveis climáticas como temperatura mínima, máxima e amplitude térmica também apresentaram correlações positivas acentuadas, demonstrando a complementaridade entre elas. No grupo topográfico, a elevação mínima e a elevação máxima tendem a se correlacionar diretamente com a elevação

média, já que esta é influenciada pelos valores extremos. Além disso, a diferença entre as elevações exibe forte correlação com os valores máximos e mínimos, pois representa a amplitude das variações topográficas.

Figura 35 - Mapa de calor da correlação entre as variáveis contínuas do BD2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diferentemente do BD1, optou-se por utilizar apenas o Fator de Inflação de Variância (VIF) para a seleção das variáveis, visto que, nos testes de Mann-Whitney, apenas quatro variáveis apresentaram diferenças significativas entre os grupos de sistemas fechados e abertos. Ressalta-se que, mesmo que as variáveis isoladamente possam não demonstrar significância em relação aos sistemas, em conjunto elas podem apresentar relevância estatística.

Dessa forma, foi realizado um processo interativo de eliminação de variáveis com VIF elevado. A cada etapa, a variável com o maior VIF era removida, até que

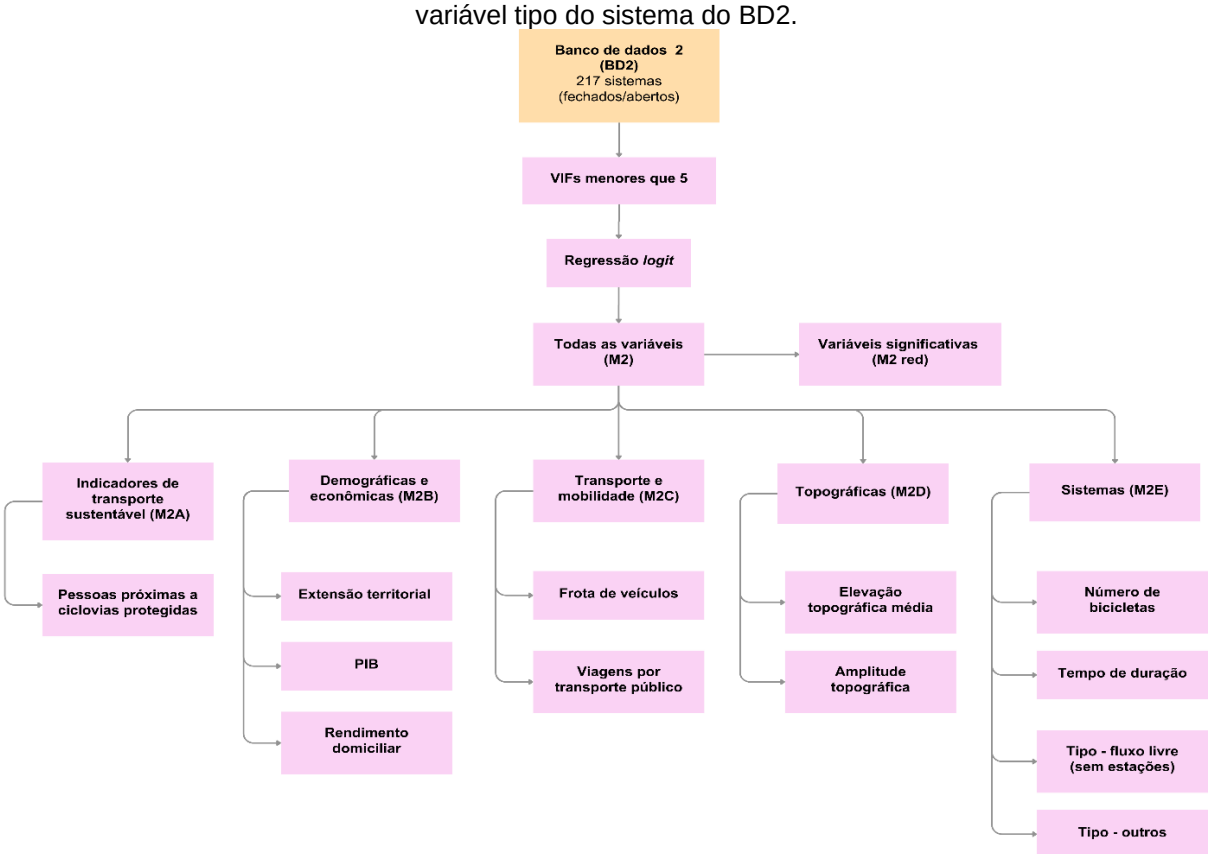
restassem apenas variáveis com VIF inferior a 5. Das quatro variáveis estatisticamente significativas no teste de Mann-Whitney, apenas a porcentagem de pessoas ocupadas ou empregadas não permaneceu na análise, pois apresentou colinearidade com outras variáveis que foram mantidas.

Após a remoção interativa, chegou-se a um total de dez variáveis contínuas dom VIFs inferiores a 5, são elas: percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas (3,19), extensão territorial (3,58), PIB (2,71), rendimento domiciliar (2,65), frota de veículos (3,17), percentual estimado de viagens por bicicleta (2,69), elevação topográfica média (2,65), diferença entre elevação máxima e mínima (3,13), total de bicicletas (1,44) e tempo de duração (2,24).

4.3.1.1. Aplicação de regressões *logit* às variáveis do BD2 com VIF inferior a 5

A Figura 36 apresenta o processo de análise preditiva do BD2, semelhante ao do BD1. Após a seleção de variáveis com VIF menor que 5, foram aplicadas regressões *logit* para as variáveis, considerando-as por grupos e em conjunto.

Figura 36 - Fluxograma da elaboração das regressões *logit* para as variáveis com VIF inferior a 5 e a variável tipo do sistema do BD2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados das regressões estão apresentados na Tabela 28 abaixo. O modelo inicial completo (M2) apresentou significância apenas para as variáveis tempo de duração (OR=0,999) e tipo outros (OR=0,312). Os modelos por grupos, com exceção do M2E (variáveis dos sistemas), não apresentaram variáveis significativas e, além disso, mostraram ajustes, acurácia e desempenho de predição muito baixos.

O modelo reduzido (M2 red) incluiu apenas os preditores significativos tempo de duração (coeficiente: −0,001) e tipo outros (coeficiente: −1,171). A primeira apresentou uma razão de chance de aproximadamente 0,999, indicando que, para cada aumento unitário nessa variável, a chance de fechamento é discretamente reduzida em cerca de 0,1%. Já a variável tipo outros mostrou uma razão de chance de 0,310, o que significa que os sistemas classificados como outros têm uma probabilidade de fechamento aproximadamente 69% menor em comparação aos sistemas com estações (*dummy*).

De um modo geral o modelo reduzido alcançou um ajuste similar ao modelo completo (R^2 de Tjur = 0,340, AIC = 243,723), mas com maior simplicidade e interpretabilidade. Assim como no BD1, o fechamento dos sistemas parece estar mais associado ao tipo e à consolidação do sistema em termos de operação do que aos demais grupos. Surpreendentemente, as novas variáveis relacionadas ao transporte sustentável não demonstraram influência significativa no sucesso ou insucesso dos sistemas.

Tabela 28 - Modelagens *logit* após análise de colinearidade do BD2.

n (217)	**M2**	**M2A**	**M2B**	**M2C**	**M2D**	**M2E**	**M2 red**
const	1,767***	0,191	-0,185	0,369*	0,235	1,882	1,961***
	(2,721)	(0,901)	(-0,512)	(1,813)	(1,289)	(4,225)	(6,75)
pessoas próximas a ciclovias protegidas	-1,069	0,164					
	(-0,603)	(0,133)					
Área	-0,000		-0,000				
	(-0,445)		(-0,375)				
PIB	0,001		0,002				
	(0,49)		(1,062)				
Rendimento domiciliar	0,000		0,000				
	(0,708)		(1,45)				
Frota de veículos	0,000			0,000			
	(0,858)			(0,623)			
% da população que utiliza transporte pútlico	-0,011			-0,096			
	(-0,13)			(-1,722)			
Elevação topográfica média	0,000				0,000		
	(0,665)				(0,379)		
Diferença entre elevação máxima e mínima	-0,000				-0,000		
	(-0,452)				(-0,473)		

(continua na próxima página)

Tabela 28 - Modelagens *logit* após análise de colinearidade do BD2 (continuação).

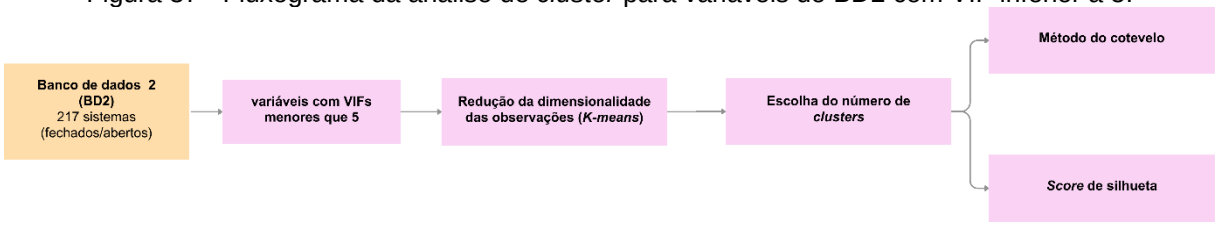
n (217)	M2	M2A	M2B	M2C	M2D	M2E	M2 red
Total de bicicletas	-0,000 (-1,173)					-0,000 (-1,053)	
Tempo de duração do sistema	-0,001*** (-5,297)					-0,001*** (-5,365)	-0.001*** (-6.891)
Tipo - Fluxo livre	0,032 (0,073)					0,194 (0,473)	
Tipo - Outros	-1,165** (-1,969)					-1,093*** (-1,881)	-1.171** (-2.238)
AIC	243,723	302,366	301,833	300,959	304,141	231,339	228,911
BIC	287,662	309,126	315,352	311,099	314,281	248,238	239,050
Log-Likelihood	-108,862	-149,183	-146,916	-147,480	-149,070	-110,669	-111,455
Pseudo-R^2	0,270	0,000	0,015	0,011	0,001	0,258	0,253
R^2 de Tjur	0,340	0,000	0,021	0,016	0,001	0,326	0,320
Eficácia do Modelo	0,756	0,553	0,558	0,590	0,544	0,590	0,765
***p < 0,01, **p < 0,05, *p < 0,1 , Z-valor em parênteses							

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1.2. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para as variáveis do BD2 com VIF inferior a 5

Após a redução dimensional das variáveis, partiu-se novamente para análise de *cluster*. Para avaliar a quantidade ideal de *clusters* foram utilizados o gráfico do cotovelo e o coeficiente de silhueta (Figura 37).

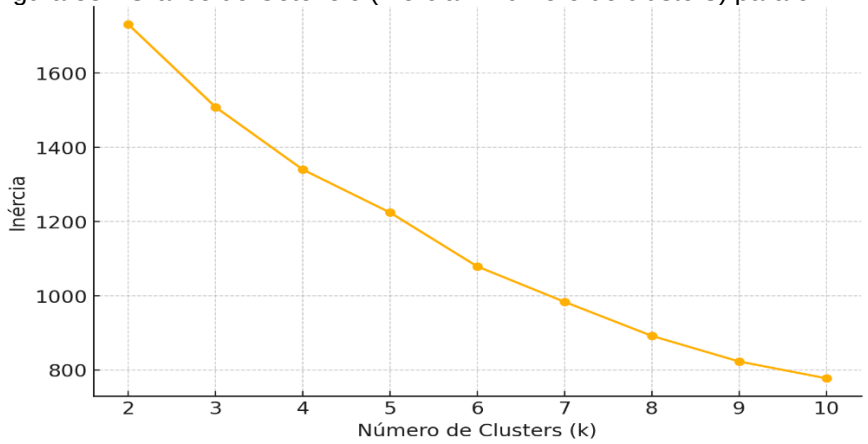
Figura 37 - Fluxograma da análise de *cluster* para variáveis do BD2 com VIF inferior a 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O método do cotovelo no gráfico (Figura 38) mostra que a curvatura começa a se formar em 3 *clusters*. Isso ocorre porque a redução da inércia entre 2 e 3 *clusters* é significativa, enquanto, a partir de 6 *clusters*, a diminuição torna-se menos acentuada. Em outras palavras, a adição de mais *clusters* a partir deste ponto não melhora substancialmente a variabilidade explicada.

Figura 38 - Gráfico do Cotovelo (Inércia x Número de *clusters*) para o BD2.

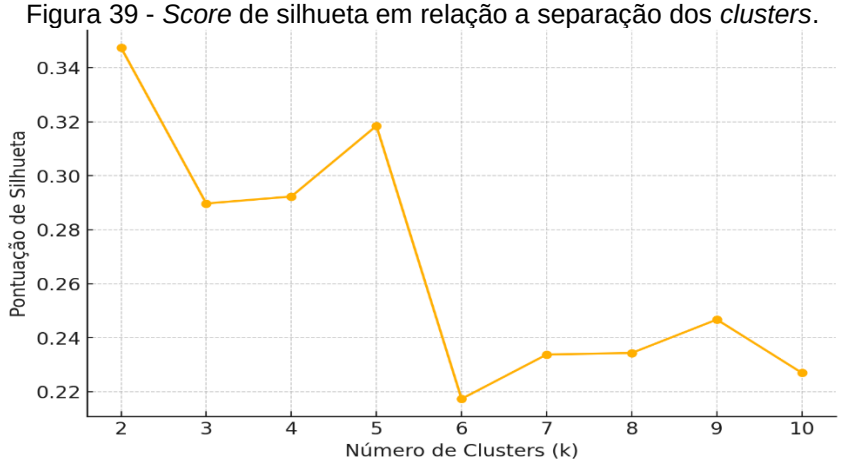


Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao analisar a distribuição dos *clusters* pelo gráfico de silhueta (Figura 39), observou-se que 2 e 5 *clusters* apresentaram os melhores *scores*. Entretanto, como mencionado no capítulo anterior, 2 *clusters* podem não representar adequadamente as características de sistemas e cidades *outliers*. Por outro lado, com 4 ou 5 *clusters*, um dos grupos apresentaria apenas uma observação, o que indica agrupamentos atípicos e configurações excessivas para este conjunto de dados, que possui menos observações em comparação ao BD1.

Em suma, optou-se novamente em utilizar 3 *clusters*. O maior *cluster* (*Cluster* 0) incorporou 149 sistemas, seguido pelo *Cluster* 1, com 44 observações, e pelo *Cluster* 2, com apenas 24. O *Cluster* 2 parece agrupar *outliers*, ou seja, sistemas localizados em grandes centros urbanos americanos com características distintas em relação aos demais. Exemplos incluem cidades como Nova York (Estados Unidos), Cidade do México (México) e São Paulo (Brasil).

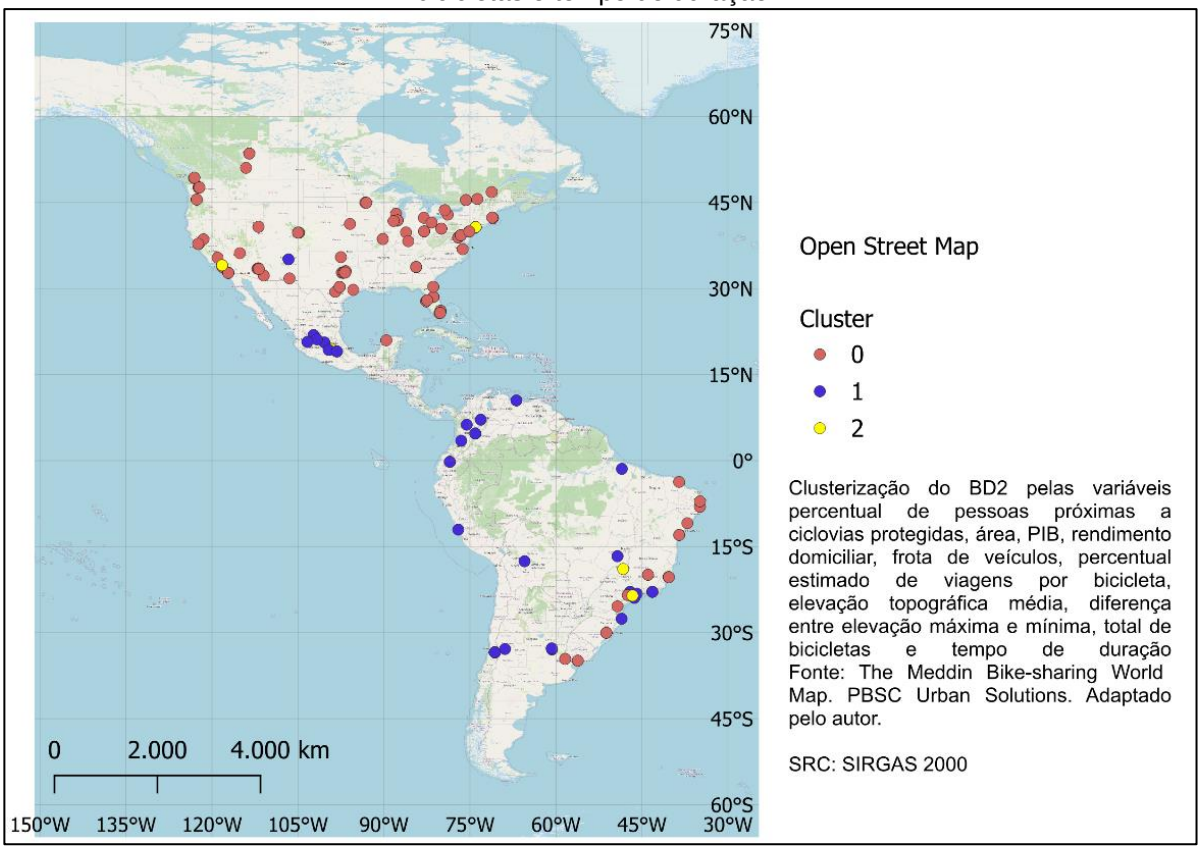
Figura 39 - *Score* de silhueta em relação a separação dos *clusters*.



Fonte: Elaborador pelo autor.

Na Figura 40 abaixo, observa-se que o *Cluster* 0 está concentrado ao longo da América do Norte e na costa atlântica brasileira. O que chama a atenção é que os sistemas latinos incluídos nesse *cluster* estão, em sua maioria, nas capitais brasileiras. O *Cluster* 1 concentrou-se predominantemente na América Latina, com duas exceções localizadas na América do Norte. Já o *Cluster* 2 está disperso ao longo do continente.

Figura 40 - *Clusters* gerados para o BD2 pelas variáveis percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas, área, PIB, rendimento domiciliar, frota de veículos, percentual estimado de viagens por bicicleta, elevação topográfica média, diferença entre elevação topográfica máxima e mínima, total de bicicletas e tempo de duração.



Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Elaborado pelo autor.

Em relação às características de cada *cluster*, com base nas 10 variáveis utilizadas no algoritmo *K-means*, a Tabela 29 abaixo apresenta a análise descritiva. O *Cluster* 0 representa territórios menos extensos, com uma área média de 400,2 km², onde apenas 12,9% da população, em média, vive próxima a ciclovias protegidas. Em relação ao perfil econômico, o *cluster* apresentou destaque para o rendimento domiciliar anual médio de 69.651 dólares, o mais alto entre os grupos.

A frota de veículos e o percentual de pessoas que utilizam bicicletas apresentaram as menores médias. Isso pode indicar sistemas em cidades onde o transporte público concentra o maior número de viagens, o que era esperado, visto que este banco de dados, diferentemente do anterior (BD1), reuniu informações sobre regiões metropolitanas, geralmente com maior infraestrutura e rede de transportes.

Topograficamente, as cidades do *Cluster* 0 apresentam uma elevação média de 272 metros e uma amplitude altimétrica (diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo) de 324 metros. Esses valores foram inferiores às médias dos demais agrupamentos, representando cidades mais planas e com menos acidentes geográficos, o que pode ser favorável ao uso da bicicleta.

No contexto dos sistemas, o *Cluster* 0 possui uma média de 750 bicicletas, e a duração média dos sistemas de bicicleta compartilhada é de 1390 dias, ou aproximadamente quatro anos, valores intermediários em comparação aos *Clusters* 1 e 2. Em relação ao status, 55,6% (n=83) dos sistemas já foram encerrados, enquanto 44,3% (n=66) continuam em operação. Assim como no BD1, o *Cluster* 0 apresenta uma predominância de sistemas desativados até junho de 2023.

No que tange ao *Cluster* 1, o agrupamento reúne sistemas em áreas urbanas maiores, com uma média de 796,3 km², porém inferiores às do *Cluster* 2. No quesito econômico, o rendimento domiciliar anual apresentou a menor média entre os grupos, com 16.664 dólares, enquanto o PIB médio apresentou-se de forma intermediária entre os *Clusters* 0 e 2.

Já em relação à topografia, esse *cluster* apresentou a maior média de elevação topográfica, o que levanta um paradoxo, visto que, mesmo com as barreiras topográficas e uma frota média de veículos considerável, o *cluster* registrou o maior percentual médio de pessoas próximas a ciclovias protegidas e o maior percentual de viagens realizadas por bicicleta, evidenciando, mais uma vez, a cultura ciclista em realidades econômicas mais discretas.

Em torno dos sistemas, esse *cluster* apresentou a menor média de bicicletas, com 621,45, mas um tempo médio de operação de 1.716 dias, o mais longo entre os grupos. Além disso, o *cluster* possui, discretamente, maior quantidade de sistemas ainda em operação, com 52,27% (n=23). Esses resultados podem indicar que, mesmo com sistemas menores em relação aos demais *clusters*, a cultura cicloviária, o perfil econômico discreto e a demanda cativa podem aumentar a vitalidade nas cidades latino-americanas.

Por fim, o *Cluster* 2 agrupou sistemas de cidades significativamente maiores, com uma média territorial de 1.374 km², e economias mais complexas, apresentando o PIB médio mais alto. No entanto, o rendimento domiciliar médio foi intermediário entre os demais *clusters*, alcançando $43.487.

Este grupo também apresenta a maior frota de veículos, com uma média de 5.020.840, refletindo uma cultura automobilística mais presente. Isso se evidencia pelos baixos percentuais de pessoas próximas a ciclovias protegidas e pelas menores taxas de viagens realizadas por bicicleta. A complexidade urbana das cidades que incorporam esses sistemas é característica de metrópoles e megalópoles, onde a mobilidade se torna um grande desafio.

Já em relação as bicicletas compartilhadas, esse grupo apresenta a maior média de unidades (2.347,58) e o maior valor máximo, com um sistema contendo 33.226 bicicletas, localizado em Nova York, Estados Unidos. Contudo, percebe-se que apenas 33,33% (n=8) dos sistemas continuam operando, o que demonstra a dificuldade em se manterem viáveis em contextos urbanos maiores e mais complexos.

Tabela 29 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD2 percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas, área, PIB, rendimento domiciliar, frota de veículos, percentual estimado de viagens por bicicleta, elevação topográfica média, diferença entre elevação topográfica máxima e mínima, total de bicicletas e tempo de duração.

Variáveis	**Estatística**	***Cluster***		
		0	**1**	**2**
Percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas	média	0,13	0,16	0,09
	desvio	0,11	0,13	0,06
	min	0	0,01	0,03
	max	0,57	0,47	0,19
	Q1	0,05	0,05	0,03
	Q2	0,09	0,15	0,07
	Q3	0,16	0,26	0,11
Extensão territorial (km)	média	400,16	796,31	1374,34
	desvio	310,7	564,4	659,18
	min	5,88	97,12	778,16
	max	1.658,73	2.670,00	4.115,31
	Q1	160,11	372,07	1.106,52
	Q2	331,35	743,23	1.494,30
	Q3	569,9	1119,08	1.521,20

(continua na próxima página)

Tabela 29 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD2 percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas, área, PIB, rendimento domiciliar, frota de veículos, percentual estimado de viagens por bicicleta, elevação topográfica média, diferença entre elevação topográfica máxima e mínima, total de bicicletas e tempo de duração (continuação).

Variáveis	**Estatística**	***Cluster***		
		0	**1**	**2**
PIB ($)	média	42,55	52,67	290,86
	desvio	37,34	66,86	189,81
	min	0,57	0,01	8,4
	max	163,49	195,87	598,55
	Q1	16,41	10,68	147,84
	Q2	30,58	20,62	210,2
	Q3	60,56	64,25	343,89
Rendimento domiciliar anual ($)	média	69.651,48	16.664,45	43.486,77
	desvio	30.103,03	12.381,77	29.974,22
	min	8.672,15	720	11.226,21
	max	153.779,00	75.529,00	76.135,00
	Q1	59.649,38	12.351,00	17.305,28
	Q2	70.386,00	13.876,73	17.811,03
	Q3	88.213,00	19.044,67	74.694,00
Frota de veículos	média	534.901,02	1.133.918,83	5.020.840,29
	desvio	428.441,89	942.597,42	2.536.906,62
	min	7.713,00	72.208,64	420.906,00
	max	2.049.073,00	2.690.382,00	8.063.091,00
	Q1	256.384,00	435.788,75	3.107.618,75
	Q2	386.883,00	654.358,64	4.870.779,50
	Q3	746.629,00	2.400.000,00	8.063.091,00
Percentual estimado da população que utiliza bicicleta (%)	média	1,36	5,59	1,52
	desvio	1,28	3,58	1,03
	min	0,05	0,76	0,68
	max	6,58	19,19	3,35
	Q1	0,46	2,94	0,8
	Q2	0,88	5	1,14
	Q3	1,91	7	1,6
Elevação topográfica média (m)	média	272,32	1.172,70	843,67
	desvio	424,8	972,51	972,9
	min	2	6	19
	max	1.691,00	2.953,00	2.619,00
	Q1	34,00	553,00	185,50
	Q2	125,00	795,00	716,00
	Q3	261	1948,5	742,5

(continua na próxima página)

Tabela 29 - Análise descritiva dos *clusters* gerados para o BD2 percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas, área, PIB, rendimento domiciliar, frota de veículos, percentual estimado de viagens por bicicleta, elevação topográfica média, diferença entre elevação topográfica máxima e mínima, total de bicicletas e tempo de duração (continuação).

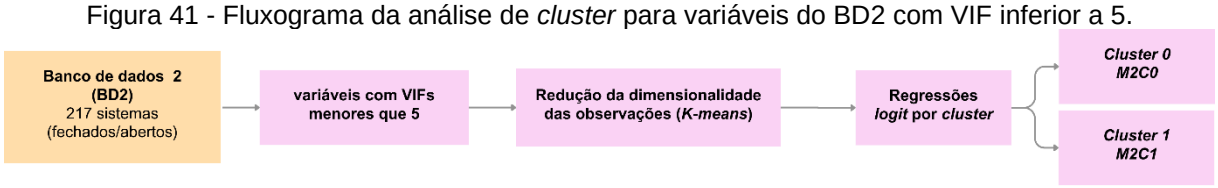
Variáveis	**Estatística**	***Cluster***		
		0	**1**	**2**
Diferença entre elevação máxima e mínima em metros (m)	média	324,73	1.277,36	1.281,38
	desvio	351,96	991,85	805,99
	min	14	39	213
	max	1.687,00	4.883,00	2.430,00
	Q1	114,00	376,00	433,50
	Q2	162,00	1.223,00	1.194,00
	Q3	382	1.804,00	1.692,00
Número total de bicicletas	média	750,95	621,45	2.347,58
	desvio	1.493,63	981	6.676,29
	min	4	16	16
	max	12.283,00	5.100,00	33.226,00
	Q1	112,00	121,25	200,00
	Q2	250,00	305,00	539,50
	Q3	689	615,25	1900,5
Tempo de duração do sistema	média	1.390,02	1.715,64	1.324,04
	desvio	1.312,06	1.159,85	1.269,48
	min	17	46	56
	max	4.666,00	4.314,00	4.882,00
	Q1	333,00	421,25	458,50
	Q2	780,00	1.603,00	836,50
	Q3	2227	2.531,25	1954,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1.3. Regressões *logit* por *cluster* para as variáveis do BD2 com VIF inferior a 5

Novamente, assim como no BD1, foram rodadas regressões *logit* para cada *cluster* (Figura 41). Contudo, devido ao menor número de observações, torna-se importante avaliar os modelos com maior cautela. Em relação ao *Cluster* 2, o modelo não conseguiu convergir devido a um problema de separação perfeita nos dados e à presença de poucas observações nas mesmas cidades. A separação perfeita ocorre quando existe uma combinação de valores das variáveis independentes que sempre leva a um determinado desfecho.

Figura 41 - Fluxograma da análise de *cluster* para variáveis do BD2 com VIF inferior a 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De maneira geral, os resultados (Tabela 30) indicaram que, tanto para o *Cluster* 0 quanto para o *Cluster* 1, apenas a duração do sistema se mostrou significativa, tanto nos modelos completos quanto nos modelos reduzidos. Essa variável apresentou um coeficiente negativo, resultando em uma razão chance de 0,999.

Apesar de os coeficientes serem próximos de zero, é importante ressaltar que a relação reforça a importância da maturidade operacional na sustentabilidade dos sistemas, conforme também evidenciado pelos resultados do BD1. Variáveis como área territorial e rendimento domiciliar foram removidas por não apresentarem significância no modelo, indicando que, neste *cluster*, questões econômicas e territoriais têm menor influência direta sobre o encerramento dos sistemas.

Por exemplo, é possível que variáveis como o número total de bicicletas, a área territorial ou o tipo do sistema sejam tão distintas neste *cluster* que tornam a probabilidade de encerramento ou operação determinística. Isso significa que os dados do *Cluster* 2 não apresentam variabilidade suficiente para que o modelo logístico estime os coeficientes de forma robusta, resultando na falha de convergência.

Tabela 30 - Regressões *logit* para os *clusters* do BD2.

n (217)	**M2C0**	**M2C0 red**	**M2C1**	**M2C1 red**
const	1,854*	1,770***	2,074	1,016*
	(1,961)	(5,643)	(0,991)	(1,709)
% pessoas próximas a ciclovias protegidas	-1,868		2,927	
	(-0,805)		(0,643)	
Área	-0,002		0,001	
	(-1,593)		(0,746)	
PIB	0,002		0,004	
	(0,207)		(0,283)	
Rendimento domiciliar	0,000		-0,000	
	(0,865)		(-0,269)	
Frota de veículos	0,000		0,000	
	(0,836)		(1,058)	
% viagens por bicicleta	-0,074		-0,383*	
	(-0,352)		(-1,708)	

(continua na próxima página)

Tabela 30 - Regressões *logit* para os *clusters* do BD2 (continuação).

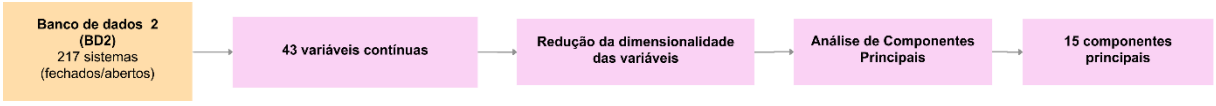
n (217)	**M2C0**	**M2C0 red**	**M2C1**	**M2C1 red**
Elevação topográfica média	0,000		0,000	
	(0,326)		(0,953)	
Diferença entre elevação máxima e mínima	-0,000		-0,000	
	(-0,260)		(-0,111)	
Número total de bicicletas	-0,000		-0,002**	
	(-0,035)		(-2,050)	
Tempo de duração do sistema	-0,001***	-0,001***	-0,001*	-0,001**
	(-4,419)	(-5,756)	(-1,734)	(-2,165)
Tipo - Fluxo livre	0,031		-0,457	
	(0,055)		(-0,382)	
Tipo - Outros	-1,025		-3,738*	
	(-1,405)		(-1,880)	
AIC	169,740	155,974	65,622	59,522
BIC	208,791	161,982	88,817	63,090
Log-Likelihood	-71,870	-75,987	-19,811	-27,761
Pseudo-R^2	0,298	0,257	0,349	0,088
R^2 de Tjur	0,375	0,326	0,413	0,118
Eficácia do Modelo	0,785	0,772	0,773	0,659
***p < 0,01, **p < 0,05, *p < 0,1 , Z-valor em parênteses				

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2. Explorando a dimensionalidade do BD2 pela Análise de Componentes Principais (PCA)

Como observado nos modelos do tópico anterior, quando um conjunto de dados possui muitas variáveis e poucas observações, surgem problemas como sobreajuste, multicolinearidade e aumento da variância nas estimativas, dificultando a generalização dos modelos preditivos. Para mitigar esses problemas, novamente foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA) como alternativa ao fator de inflação da variância (VIF). Essa análise é ainda mais relevante neste banco de dados do que no BD1, pois ele contém 43 variáveis e apenas 217 observações (Figura 42).

Figura 42 - Fluxograma da aplicação da análise de componentes principais para redução da dimensionalidade das variáveis do BD2.



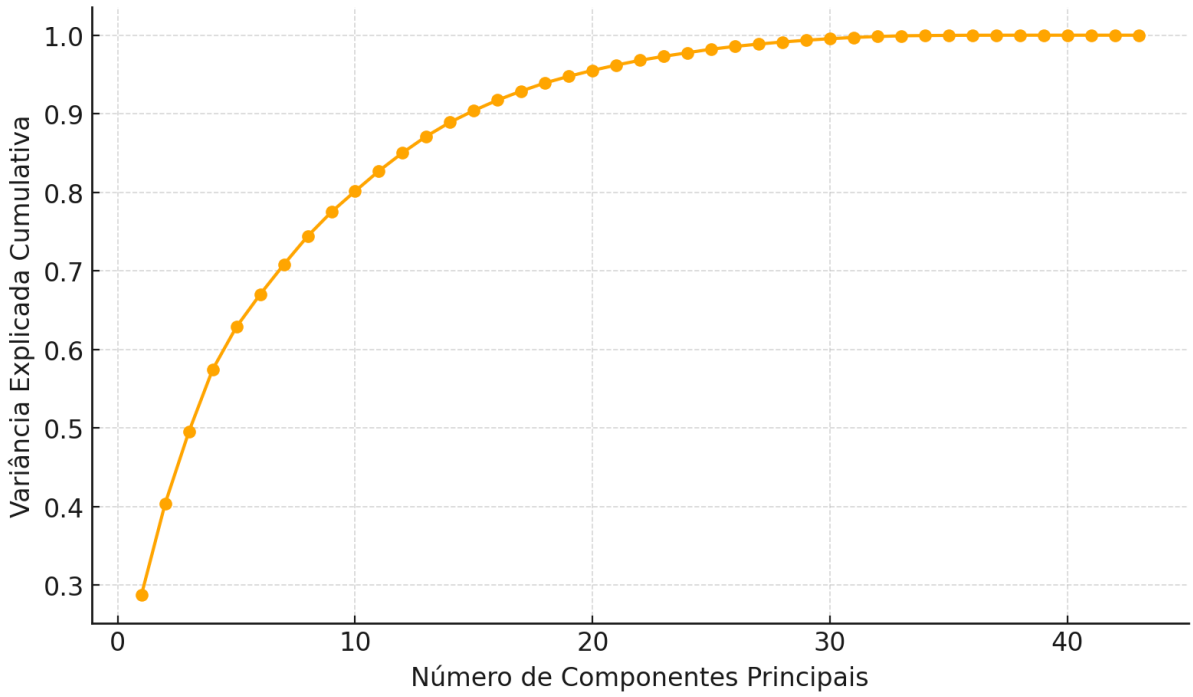
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) indicam que os cinco primeiros componentes principais explicam juntos cerca de 62,85% da variância

total dos dados. O primeiro componente principal (PC1) é o mais relevante, abrangendo 28,71% da variância. O segundo componente (PC2) explica 11,65%, seguido pelo terceiro (PC3) com 9,16%, o quarto (PC4) com 7,91%, e o quinto (PC5) contribuindo com 5,42%.

Ao traçar o gráfico de variância acumulada em função do número de componentes (Figura 43), percebe-se que 15 primeiros componentes explicam aproximadamente 90% da variância total do BD2. Dessa forma, para esta análise, foram utilizados os 15 componentes, que incorporam diversas cargas de variáveis, em vez das variáveis originais.

Figura 43 - Variância acumulada x Número de componentes principais para o BD2.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

As cargas das variáveis em função dos componentes principais estão apresentadas no Apêndice B. Na Tabela 31, são apresentados os componentes principais que atingiram cargas acima de 0,20 e abaixo de -0,20 em função das variáveis. No grupo das variáveis de transporte sustentável, a densidade de quadras e blocos apresentou cargas negativas em PC5 (-0,21) e PC9 (-0,22), além de uma carga positiva em PC8 (0,31). Já o percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas destacou-se positivamente em PC2 (0,25) e PC3 (0,26), e negativamente em PC6 (-0,22) e PC9 (-0,21).

O percentual de pessoas próximas a serviços apresentou valor, em módulo, acima de 0,20 apenas no componente PC2 (0,23). Por outro lado, o percentual de pessoas em áreas livres de carros atingiu cargas consideráveis em PC2 (0,27) e PC3 (0,25). Esses resultados apontam que o segundo componente pode representar sistemas localizados em áreas com transportes mais sustentáveis.

Já o percentual de pessoas seguras de rodovias apresentou cargas negativas nos componentes PC1 (-0,20), PC11 (-0,20) e PC15 (-0,25). As cargas negativas demostram que esses componentes estão associados a regiões com maiores desafios na segurança rodoviária, menos propicias ao uso da bicicleta compartilhada.

No grupo das variáveis demográficas, a população apresentou uma carga positiva acentuada em PC2 (0,21). A extensão territorial (área) registrou cargas consideráveis com valores positivos em alguns componentes, PC5 (0,21), PC11 (0,25) e PC14 (0,28), indicando regiões territorialmente maiores. Em contrapartida, a carga negativa em PC9 (-0,34) aponta para sistemas em localidades menores ou mais compactas, onde o uso da bicicleta pode ser mais favorecido. Em relação à densidade populacional, os componentes PC2 (0,24) e PC9 (0,23) se destacaram positivamente.

A variável unidades habitacionais também ganhou destaque em PC2 (0,24), reforçando a ideia de que esse componente representa cidades maiores, mais povoadas e com maior densidade, como regiões metropolitanas. De forma oposta, a carga negativa em PC3 (-0,22) aponta para áreas com menor densidade habitacional, possivelmente caracterizadas por localidades com escalas urbanas menores e menos verticalizadas.

Na dimensão econômica, o PIB só apresentou carga maior que 0,20 em PC2 (0,28). De outro modo, o PIB per capita registrou carga negativa em PC1 (-0,22), o que evidencia uma relação com áreas de menor poder aquisitivo. Já carga positiva em PC14 (0,27) reflete sistemas em locais mais favorecidas economicamente.

Seguindo um padrão semelhante, o rendimento domiciliar atingiu cargas negativas em PC1 (-0,22) e PC8 (-0,22), também associadas a regiões menos desenvolvidas economicamente. Por sua vez, a carga positiva em PC14 (0,24) indica sistemas em situações economicamente mais prósperas, reforçando um vetor de desenvolvimento econômico.

Em relação à faixa etária (idade média), os resultados apresentaram cargas negativas em PC6 (-0,28), PC8 (-0,34) e PC14 (-0,41), o que indica a presença de populações mais jovens. Regiões com esse perfil podem ter uma maior demanda por

soluções de mobilidade por aplicativos e tecnologia da informação, favorecendo o uso das bicicletas compartilhadas.

No que tange ao nível educacional, o percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo destacou-se negativamente em PC8 (-0,28), o que era esperado, já que está associado a uma região de baixo rendimento domiciliar. Já o percentual de pessoas empregadas e ocupadas alcançou cargas positivas em PC9 (0,24) e PC12 (0,44). Em contrapartida, as cargas negativas em PC10 (-0,26) e PC13 (-0,22) apontam ambientes mais desafiadores em termos de mercado de trabalho.

No que concerne às variáveis de mobilidade urbana e transportes, a frota de veículos apresentou cargas negativas em PC3 (-0,20), PC4 (-0,23) e PC13 (-0,25), além de uma carga positiva em PC5 (0,20). Esses resultados indicam que PC3, PC4 e PC13 estão associados a áreas com menor frota de veículos e menor dependência do automóvel, enquanto PC5 reflete sistemas localizados em regiões onde a cultura automobilística possa estar mais presente. Essa interpretação é corroborada pelo percentual de pessoas com veículos, que registrou cargas negativas em PC4 (-0,25), PC8 (-0,21) e PC13 (-0,42), e uma carga positiva em PC5 (0,23).

Em relação aos transportes públicos, o percentual estimado de viagens domiciliares por esse modo destacou-se positivamente em PC1 (0,24). Por sua vez, o percentual de viagens por bicicleta apresentou uma carga expressiva em PC12 (0,46). Esses componentes podem representar áreas com uma rede de transportes mais consolidada e uma cultura ciclista mais ativa, respectivamente.

As variáveis climáticas apresentaram cargas significativas em diversos componentes principais, com destaque para PC5, PC6 e PC7. A temperatura mínima média teve cargas negativas em PC2 (-0,22) e PC8 (-0,22), que podem estar associadas a regiões mais frias. Já a temperatura máxima média apresentou cargas positivas em PC8 (0,25), PC12 (0,30) e PC15 (0,31). O que chama atenção é que a amplitude térmica também teve maior valor positivo em PC8 (0,32), indicando que este componente abrange sistemas em climas mais extremos, o que pode dificultar o uso de bicicletas compartilhadas.

No que diz respeito aos períodos climáticos, o período de temperatura elevada ou quente, expresso em meses, apresentou uma carga positiva em PC12 (0,23). Igualmente, o período de temperatura baixa ou frio registrou uma carga positiva de igual valor nesse. Esses resultados indicam que o PC12 pode estar associado a

sistemas localizados em regiões com estações do ano bem definidas, típicos de climas temperados.

Assim como observado no BD1, os componentes relacionados aos períodos nublados apresentam um padrão complementar aos períodos mais claros. O período com nuvens destacou-se com cargas positivas nos componentes PC3 (0,23), PC5 (0,23), PC6 (0,22), PC7 (0,25) e PC10 (0,35). De forma inversa, o período com poucas nuvens registrou cargas negativas nos mesmos componentes: PC3 (-0,23), PC5 (-0,23), PC6 (-0,22), PC7 (-0,25) e PC10 (-0,35).

Igualmente, em relação à umidade, o período úmido destacou-se com uma carga considerável em PC5 (0,49) e cargas negativas em PC7 (-0,21) e PC10 (-0,34). Em contraste, o período seco apresentou um padrão inverso, com cargas negativas em PC5 (-0,49) e positivas em PC7 (0,21) e PC10 (0,34).

Os períodos chuvosos ou nevosos e os períodos sem chuva ou neve também seguiram essa dinâmica complementar. O período chuvoso/nevoso apresentou uma carga negativa em PC6 (-0,47) e positiva em PC7 (0,34), enquanto o período sem chuva/sem neve mostrou uma carga positiva em PC6 (0,47) e negativa em PC7 (-0,33).

A análise das horas de luz do dia destacou-se nos dois primeiros componentes principais. O dia mais curto apresentou uma carga positiva em PC1 (0,21) e negativa em PC2 (-0,23). Já o dia mais longo exibiu o padrão inverso, com uma carga negativa em PC1 (-0,21) e positiva em PC2 (0,24). Esses resultados apontam que o PC1 e PC2 podem revelar diferenças sazonais, possivelmente relacionadas às variações de latitude no continente americano.

No que diz respeito ao vento, este apresentou uma carga positiva em PC7 (0,35) e cargas negativas em PC9 (-0,24) e PC10 (-0,26). Em contrapartida, o período com menos ventos exibiu o padrão inverso, com cargas negativas em PC7 (-0,36) e positivas em PC9 (0,24) e PC10 (0,26). Mais uma vez, o sétimo componente parece estar associado a sistemas em regiões com condições climáticas adversas, como maior precipitação, ventos intensos e maior nebulosidade, fatores que podem dificultar o uso da bicicleta compartilhada.

No que diz respeito ao grupo de variáveis topográficas, PC3 está associado a locais com maior elevação, enquanto PC4 se destaca em regiões mais planas e de baixa altitude, favoráveis ao uso da bicicleta. Por outro lado, as variáveis relacionadas à diferença de elevação (relevo) indicam que PC11 e PC13 representam sistemas

localizados em terrenos mais acidentados, enquanto PC8 e PC15 estão vinculados a áreas com menor variação altimétrica.

Por fim, o número total de bicicletas registrou cargas positivas nos componentes PC8 (0,21), PC9 (0,39), PC11 (0,46) e PC15 (0,45). Esses resultados indicam que esses componentes estão associados a sistemas com maior disponibilidade de bicicletas.

Quanto ao tempo de duração do sistema, observou-se cargas positivas em PC8 (0,36), PC9 (0,45), PC10 (0,23) e PC11 (0,41), representando sistemas com maior vitalidade. No entanto, o componente PC15, apesar de ter alcançado carga significativa no número total de bicicletas, exibiu uma carga negativa no tempo de duração (-0,43).

Esse resultado chama atenção, pois indica que, embora os sistemas associados a esse componente possuam um maior número de bicicletas, eles podem ter um menor tempo de operação. Essa disparidade pode estar relacionada a dificuldades de manutenção, baixa adesão dos usuários ou outros fatores que comprometem sua sustentabilidade a longo prazo.

Tabela 31 - Componentes principais do BD2 com cargas maiores que 0,20 e menores que -0,20 em função das variáveis.

Grupo	Variável	Componentes principais
Transporte sustentável	Densidade de quadras e blocos	PC5 (-0,21), PC8 (0,31), PC9 (-0,22), PC10 (-0,23), PC13 (-0,42)
	Percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas	PC2 (0,25), PC3 (0,26), PC6 (-0,22), PC9 (-0,21)
	Percentual de pessoas próximas a próximas a serviços	PC2 (0,23)
	Percentual de pessoas próximas a áreas sem carros	PC2 (0,27), PC3 (0,25)
	Percentual de pessoas seguros de rodovias	PC1 (-0,20), PC11 (-0,20), PC15 (-0,25)
Demográficas e Econômicas	População	PC2 (0,21)
	Área	PC5 (0,21), PC9 (-0,34), PC11 (0,25), PC14 (0,28)
	Densidade	PC2 (0,24), PC9 (0,23)
	PIB	PC2 (0,28)
	PIB per capita	PC1 (-0,22), PC14 (0,27)
	Rendimento domiciliar	PC1 (-0,22), PC8 (-0,22), PC14 (0,24)
	Idade média	PC6 (-0,28), PC8 (-0,34), PC14 (-0,41)
	Unidades habitacionais	PC2 (0,24), PC3 (-0,22)

(continua na próxima página)

Tabela 31 - Componentes principais do BD2 com cargas maiores que 0,20 e menores que -0,20 em função das variáveis (continuação).

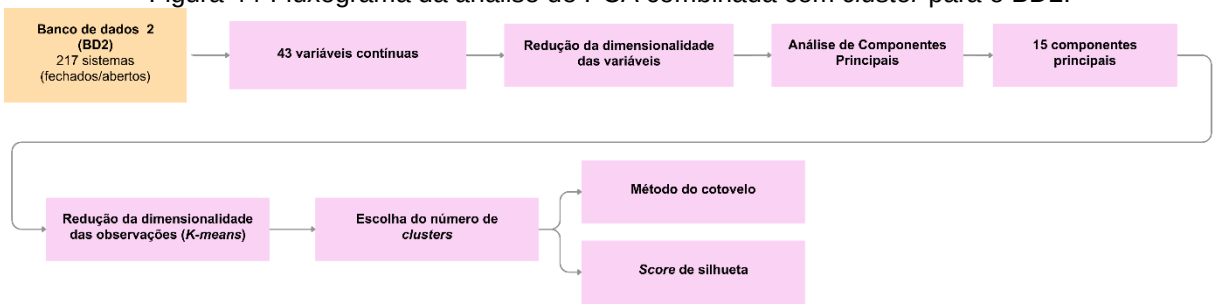
Grupo	Variável	Componentes principais
	Percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo	PC8 (-0,28)
	Percentual de pessoas ocupadas ou empregadas	PC9 (0,24), PC10 (-0,26), PC12 (0,44), PC13 (-0,22)
Transportes e mobilidade	Frota de veículos	PC3 (-0,20), PC4 (-0,23), PC5 (0,20), PC13 (-0,25)
	Percentual de pessoas com veículos	PC4 (-0,25), PC5 (0,23), PC8 (-0,21), PC13 (-0,42)
	Percentual estimado da população que utiliza veículo privado	PC13 (-0,21)
	Percentual estimado da população que utiliza transporte público	PC1 (0,24)
	Percentual estimado da população que utiliza bicicleta	PC12 (0,46)
Climáticas	Temperatura mínima média	PC2 (-0,22), PC8 (-0,22)
	Temperatura máxima média	PC8 (0,25), PC12 (0,30), PC14 (-0,30), PC15 (0,31)
	Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	PC8 (0,32)
	Período de temperatura elevada ou quente, em meses	PC12 (0,23)
	Período de temperatura baixa ou frio, em meses	PC7 (-0,24), PC12 (0,23), PC13 (0,25)
	Período mais claro com poucas nuvens, em meses	PC3 (-0,23), PC5 (-0,23), PC6 (-0,22), PC7 (-0,25), PC10 (-0,35)
	Período nublado, em meses	PC3 (0,23), PC5 (0,23), PC6 (0,22), PC7 (0,25), PC10 (0,35)
	Período úmido, em meses	PC5 (0,49), PC7 (-0,21), PC10 (-0,34)
	Período seco, em meses	PC5 (-0,49), PC7 (0,21), PC10 (0,34)
	Período chuvoso/nevoso, em meses	PC6 (-0,47), PC7 (0,34)
	Período sem chuva/sem neve, em meses	PC6 (0,47), PC7 (-0,33)
	Dia mais curto, em horas	PC1 (0,21), PC2 (-0,23)
	Dia mais longo, em horas	PC1 (-0,21), PC2 (0,24)
	Período com mais ventos, em meses	PC7 (0,35), PC9 (-0,24), PC10 (-0,26)
	Período com menos ventos, em meses	PC7 (-0,36), PC9 (0,24), PC10 (0,26)
Topográficas	Elevação topográfica média em metros	PC3 (0,28), PC4 (-0,27)
	Elevação topográfica mínima em metros	PC3 (0,29), PC4 (-0,28)
	Elevação topográfica máxima em metros	PC3 (0,22), PC4 (-0,25), PC14 (-0,22)
	Diferença entre elevação máxima e mínima em metros	PC8 (-0,25), PC11 (0,29), PC13 (0,26), PC15 (-0,26)
Sistemas	Número total de bicicletas	PC8 (0,21), PC9 (0,39), PC11 (0,46), PC15 (0,45)
	Tempo de duração do sistema em dias	PC8 (0,36), PC9 (0,45), PC10 (0,23), PC11 (0,41), PC15 (-0,43)

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2.1. Análise de *cluster* com o algoritmo *K-means* para os componentes principais do BD2

Após a redução da dimensionalidade das variáveis, foi realizada uma análise de *cluster* para agrupar os sistemas e segmentar o BD2 em diferentes grupos. Para definir o número ideal de *clusters*, foram aplicados, assim como no BD1, dois métodos: o método do cotovelo e o *score* de silhueta (Figura 44)

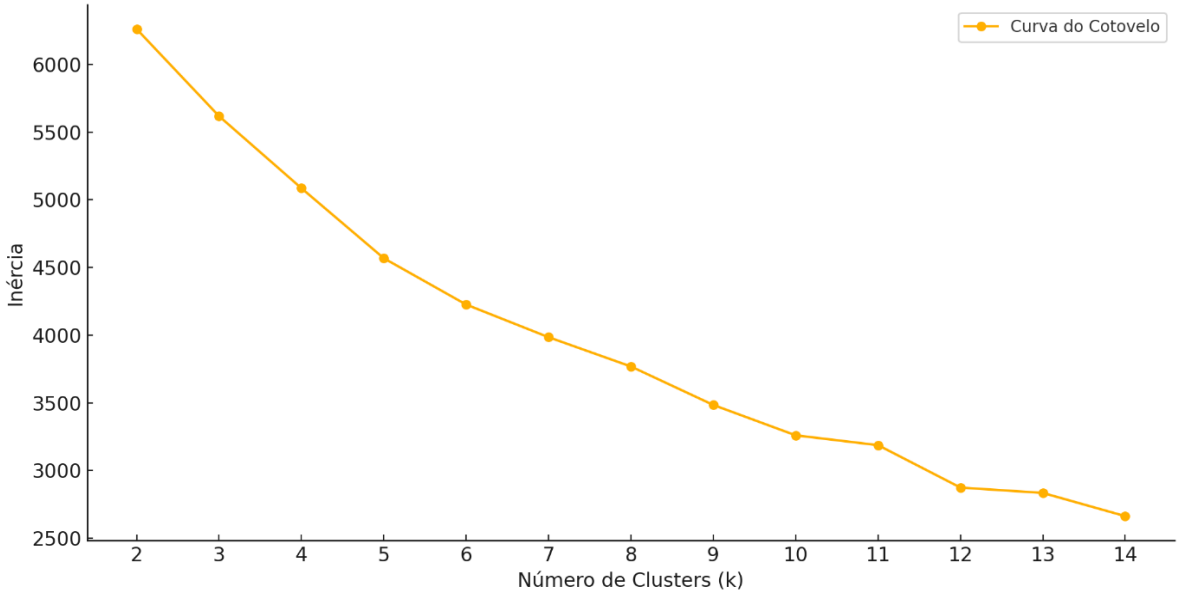
Figura 44-Fluxograma da análise de PCA combinada com *cluster* para o BD2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que tange ao método do cotovelo, observou-se que a curva se estabiliza a partir de 5 *clusters*, indicando que, nesse ponto, a redução na inércia se torna menos acentuada. Dessa forma, o agrupamento em 5 *clusters* seria considerado adequado para a segmentação dos dados

Figura 45 - Método do cotovelo para definição dos *clusters* dos componentes principais do BD2.

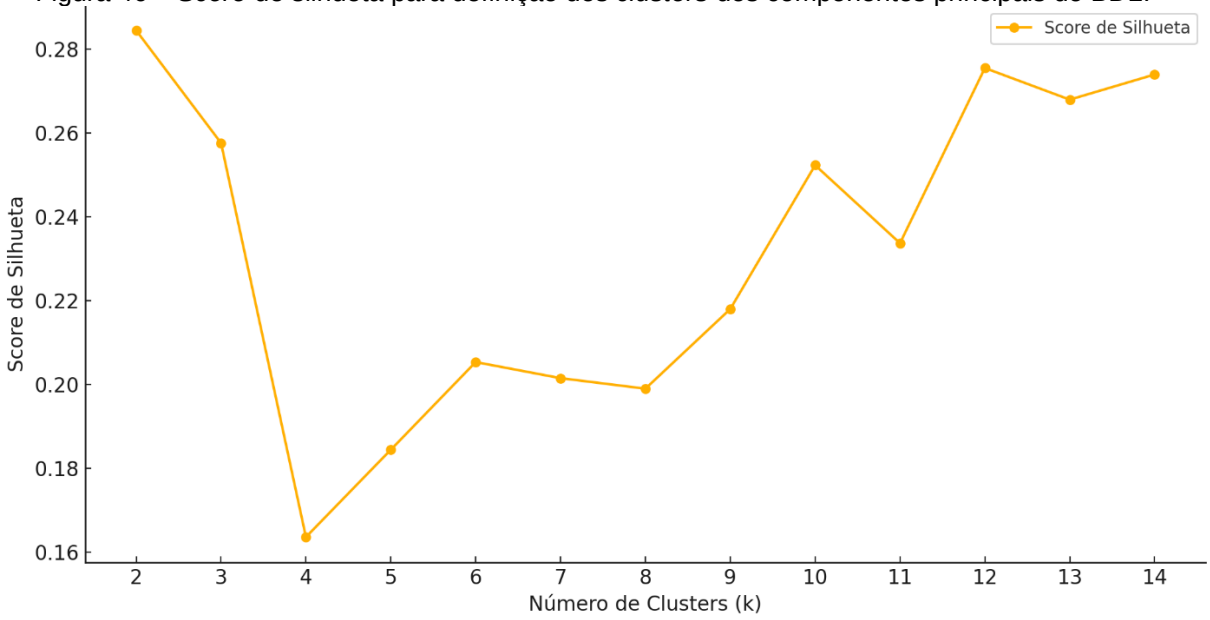


Fonte: Elaborado pelo autor.

No entanto, ao analisar o gráfico de silhueta (Figura 46), percebe-se que o *score* apresenta valores mais altos para as configurações com 2, 3, 12, 13 e 14 agrupamentos, em comparação com outras opções. Apesar de o método do cotovelo sugerir uma estabilização da inércia a partir de 5 *clusters*, o *score* de silhueta para esse número é consideravelmente menor, indicando que o agrupamento pode ser menos representativo.

Assim, a escolha de 3 *clusters* se mostra mais viável nesta análise, pois permite agrupar de forma mais eficiente os sistemas e as cidades em escalas extremas, bem como as intermediárias. Além disso, essa separação possibilita a comparação do uso deste método com o anterior, por meio do fator de inflação de variância (VIF).

Figura 46 – *Score* de silhueta para definição dos *clusters* dos componentes principais do BD2.



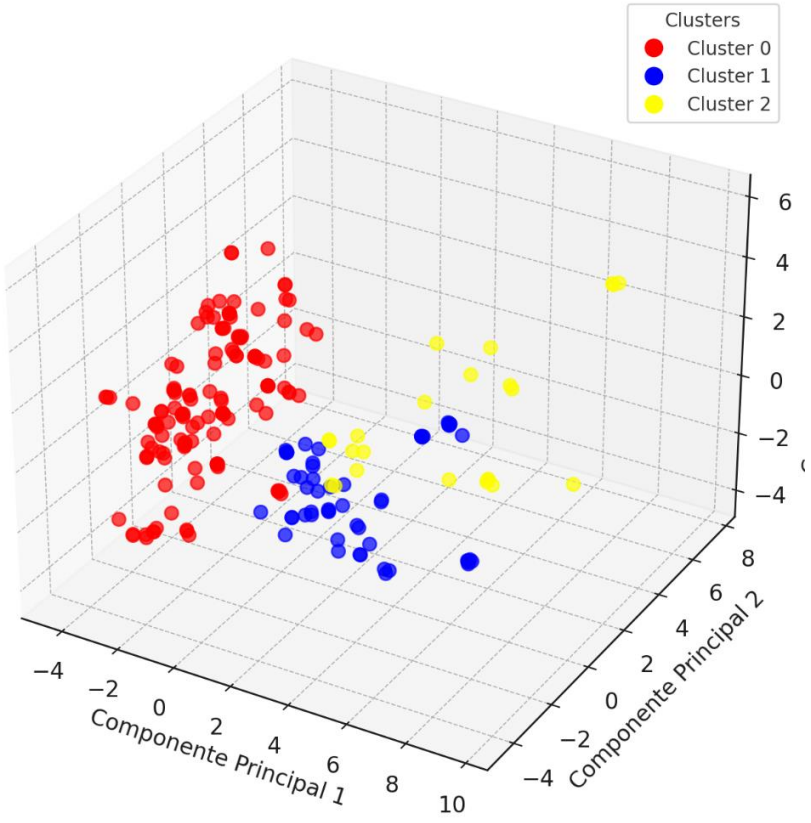
Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico 3D apresenta a distribuição dos sistemas em relação aos três primeiros componentes principais (Figura 47). Utilizaram-se as mesmas cores do BD1 para distinguir os grupos: *Cluster* 0 (vermelho), *Cluster* 1 (azul) e *Cluster* 2 (amarelo). Observa-se uma clara separação entre o *Cluster* 0 e os demais grupos, indicando que esse *cluster* é bem distinto nos três primeiros componentes.

Por outro lado, ao analisar os *Clusters* 1 e 2, percebe-se uma sobreposição de algumas observações, o que pode indicar que as diferenças entre esses grupos não são totalmente representadas pelos três primeiros componentes principais. Ainda

assim, essa divisão fornece uma base útil para identificar padrões gerais e agrupamentos nos dados.

Figura 47 - *Clusters* identificados pelos três primeiros componentes principais do BD2.



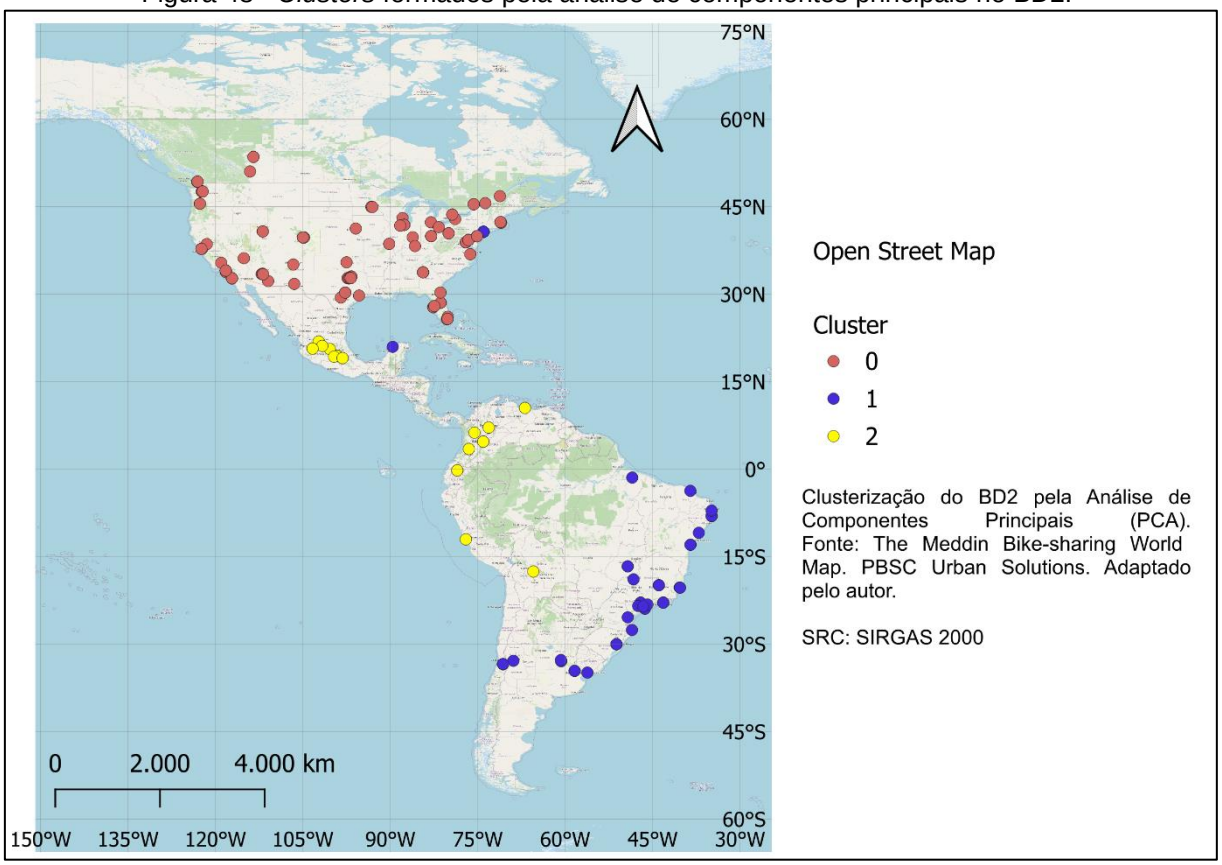
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação à divisão dos *clusters* pelos 15 componentes principais combinados com o algoritmo *K-means* para o BD2 (Figura 48), percebe-se que o *Cluster* 0 representa predominantemente sistemas na América do Norte, mais especificamente os Estados Unidos e o Canadá. O que chama a atenção nessa nova divisão é que os *Clusters* 1 e 2 parecem agrupar sistemas de países latinos, sendo o primeiro associado, principalmente, ao Brasil, Chile e Argentina, países vizinhos com realidades econômicas emergentes.

Diferentemente do método anterior, o *Cluster* 2 incluiu sistemas latinos de países como México, Colômbia, Equador, Bolívia e Venezuela. Isso pode indicar que os componentes principais são mais eficazes em agrupar características sociais, culturais, demográficas, econômicas e geográficas do continente nos sistemas de

bicicleta compartilhada, quando comparados às variáveis brutas utilizadas anteriormente.

Figura 48 - *Clusters* formados pela análise de componentes principais no BD2.



Fonte: *The Meddin Wolrd Bike Sharing Map* (2023). Elaborado pelo autor

O *Cluster* 0 agrupou 135 sistemas, dos quais 56,3% estão fechados, e apenas 43,7% permanecem operacionais. Este *cluster* é particularmente influenciado por fatores climáticos, como indicado pelo PCA 8, que destaca cidades com baixa densidade de blocos e variações climáticas mais acentuadas, incluindo amplitudes térmicas.

Os componentes PCA 6 e PCA 7 indicam que essas cidades enfrentam períodos chuvosos ou com neve mais longos, que podem dificultar a operação contínua dos sistemas. Além disso, o PCA 15 também indica uma moderada dependência do total de bicicletas, incluindo sistemas menores e com menor cobertura.

Em suma, os sistemas deste *cluster* estão em cidades com menor densidade urbana e variações climáticas mais marcantes, o que pode dificultar a operação de

sistemas de bicicletas compartilhadas em certas estações do ano. Isso pode explicar a maior proporção de sistemas fechados.

No que tange o *Cluster* 1, com 58 observações, ele apresenta uma distribuição em que 43,1% permanecem abertos, enquanto 56,9% estão fechados. Este grupo é fortemente associado a áreas urbanas densas, onde a infraestrutura é dominada por uma alta densidade de blocos e pela proximidade a áreas sem carros, como indicado pelos componentes principais PCA 1 e PCA 4.

Além disso, a variável relacionada ao uso de transporte público desempenha um papel significativo, sugerindo que esses sistemas estão localizados em cidades onde o transporte coletivo é predominante. O PCA 9 destaca o tamanho das cidades, que tendem a ser grandes em área e população. A relevância da frota de veículos e da densidade de blocos, evidenciada pelo PCA 13, aponta para um contexto urbano com infraestruturas densamente interligadas, mas que podem enfrentar desafios de integração com modos de transporte sustentável.

Por último, no que corresponde ao *Cluster* 2, composto por 24 observações, ele apresenta uma distribuição em que 54,2% dos sistemas permanecem abertos, enquanto 45,8% estão fechados. Este grupo não é fortemente associado a áreas urbanas densas, mas sim a um equilíbrio entre infraestrutura urbana e aspectos climáticos.

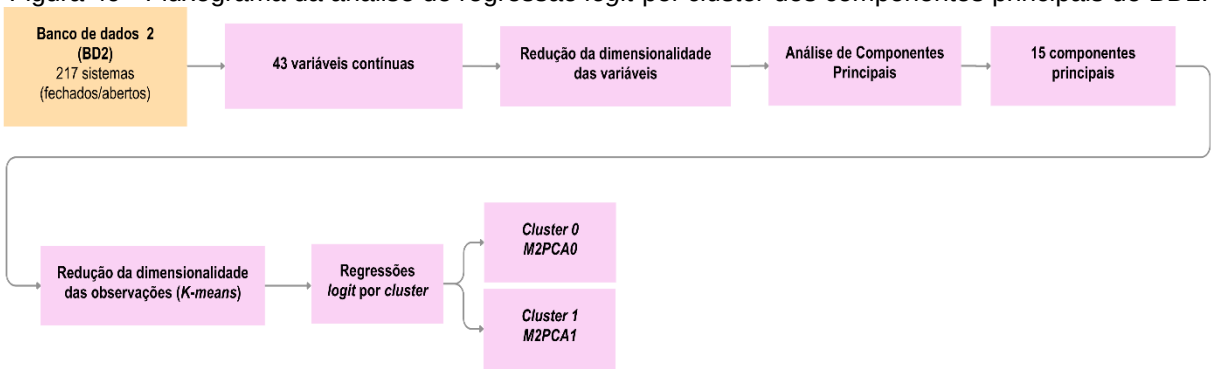
As variáveis mais relevantes, indicadas pelos componentes principais, incluem a elevação média das cidades, proximidade a serviços e áreas sem carros (PCA 3), além de uma maior proporção de uso de bicicletas como meio de transporte (PCA 12). Isso pode indicar uma maior aceitação cultural e integração com modos de transporte sustentável. Regiões com clima moderado a quente, destacadas pelo PCA 14, também contribuem para o sucesso destes sistemas, permitindo sua operação durante a maior parte do ano.

4.3.2.2. Regressões *logit* por *cluster* para os componentes principais do BD2

Após a redução da dimensionalidade das variáveis, foi aplicada a técnica de *K-means* para agrupar os sistemas em clusters, reduzindo a dimensionalidade das observações. Em seguida, foram realizadas regressões *logit* separadas por *cluster*, permitindo a análise individualizada dos grupos (Figura 49). Entretanto, devido ao

baixo número de observações e à repetição de cidades, como no caso de Nova York, o modelo correspondente ao *Cluster* 2 (M2PCA2) não convergiu no algoritmo.

Figura 49 - Fluxograma da análise de regressão *logit* por *cluster* dos componentes principais do BD2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados dos modelos de regressão logística para os clusters 0 e 1 (M2PCA0 e M2PCA1) destacam como diferentes componentes principais (PCA) influenciam as chances de fechamento dos sistemas de bicicletas compartilhadas (Tabela 32).

Para o modelo M2PCA0, os resultados revelaram que os componentes os PCA10 e PC11 foram estatisticamente significados para explicar o fechamento dos sistemas de bicicletas compartilhadas. Já os componentes PC8 e PC9 apresentaram valores próximos ao limiar de significância estatística, com p-valores de 0,06 e 0,09, respectivamente.

O PC10 apresentou um coeficiente de -1,264, indicando que cada aumento unitário nesse componente reduz as chances de fechamento em 71,76%. Entre as variáveis com maiores cargas dentro deste componente, destacam-se o tempo de duração do sistema (0,45), o número total de bicicletas (0,39) e a amplitude térmica (0,29).

Igualmente, o PC11 apresentou uma redução de 68,79% na chance de fechamento para cada aumento unitário. As variáveis mais influentes neste componente incluem a diferença entre a elevação máxima e mínima em metros (0,29), a extensão territorial (0,20), o número total de bicicletas (0,46) e o tempo de duração do sistema (0,41).

No que tange os componentes próximos da significância, o PC8 está associado a uma redução de 36,44% na chance de fechamento (OR = 0,636), influenciado pela

diferença entre elevação máxima e mínima em metros (0,36), amplitude térmica (0,32) e temperatura mínima média (-0,22). Já o PC9 apresenta uma redução de 48,03% na chance de fechamento (OR = 0,520), destacando as variáveis percentual de pessoas com veículos (-0,42), densidade populacional (0,23) e extensão territorial (-0,34).

Já em relação ao modelo reduzido (M2PCA0 red), após a exclusão, uma a uma, das variáveis menos significativas, os componentes 8, 9, 10 e 11 apresentaram-se altamente significativos. O oitavo componente apresentou um coeficiente de -0,680, indicando uma redução de 49,34% na chance de fechamento para cada aumento unitário, enquanto o nono componente apresentou um coeficiente de -0,902, associado a uma redução de 59,44% por unidade. Similarmente, os componentes PC10 e PC11 também apresentaram coeficientes negativos, com reduções de 58,39% e 75,95% na chance de fechamento, respectivamente.

Os resultados da regressão logística para o Cluster 1 (M2PCA1) apresentaram quatro componentes estatisticamente significativos: PC4, PC6, PC8 e PC14. O PC4, com um coeficiente de 1,549, está associado a um aumento de 370,81% na chance de fechamento. Entre as variáveis com maiores cargas, destacam-se o percentual de pessoas ocupadas ou empregadas (-0,20), a frota de veículos (-0,23), o percentual de pessoas com veículos (-0,25), a elevação média (-0,27), a elevação mínima (-0,28) e a elevação máxima (-0,25).

O PC6 apresenta um comportamento oposto, com uma redução de 83,09% na chance de fechamento para cada aumento unitário no componente. Esse componente incorpora cargas significativas de variáveis climáticas complementares, como o período chuvoso/nevoso (-0,47), o período sem chuva/sem neve (0,47), o período nublado (0,22) e o período mais claro com poucas nuvens (-0,22), representando regiões com climas bem definidos.

No que concerne ao oitavo componente, este apresentou um coeficiente de -3,278, indicando uma redução de 96,23% na chance de fechamento para cada aumento unitário. Entre as variáveis com impacto positivo, destacam-se a densidade de quadras e blocos (0,31), a amplitude térmica (0,32), o número total de bicicletas (0,21) e o tempo de duração do sistema (0,36). Por outro lado, variáveis como o rendimento domiciliar (-0,22), a idade média (-0,34), o percentual de pessoas com veículos (-0,21) e a diferença entre elevação máxima e mínima em metros (-0,25) apareceram como fatores negativos.

O PC14 teve o maior impacto, aumentando as chances de fechamento em 1652,19% para cada aumento unitário. Entre os fatores positivos, a área territorial (0,28), o PIB per capita (0,27) e o rendimento domiciliar (0,24), já os negativos destacaram-se o percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas (-0,20), a temperatura máxima média (-0,30), a idade média (-0,41) e a elevação topográfica máxima (-0,22).

Embora não significativos, mas próximos da significância, os componentes PC2 e PC9 apresentaram, respectivamente, coeficientes de 0,853 e -1,605, o que implica em razões de chances de 2,347 e 0,201. No caso do PC2, um aumento unitário no componente estaria associado a um aumento de 134,7% na chance de fechamento, enquanto o PC9 demonstra uma redução de 79,9% na chance de fechamento para cada aumento de uma unidade.

No PC2, entre as variáveis de maiores cargas, destacam-se a população (0,21), a densidade (0,24) e o PIB (0,28), indicando que sistemas em regiões mais densamente povoadas e economicamente mais desenvolvidas poderiam enfrentar desafios. Por outro lado, no PC9, as variáveis mais relevantes incluem o percentual de pessoas com veículos (-0,42), a densidade populacional (0,23) e a extensão territorial (-0,34). Esses fatores refletem o impacto negativo da posse de veículos e da logística em áreas amplas, enquanto a densidade populacional se mostra como um possível fator mitigador.

Em relação ao modelo reduzido para o cluster 1 (M2PCA1 red), apenas os componentes 8 e 14 apresentaram significância. Contudo, é importante destacar que o modelo reduzido apresenta coeficientes e métricas que indicam um ajuste limitado e baixa discriminação entre os sistemas de bicicletas compartilhadas analisados.

No que concerne as métricas de ajuste e eficácia dos modelos completos, o modelo do *cluster* 0 apresentou um AIC de 142,914 e um BIC de 189,398, enquanto o modelo do *cluster* 1 apresentou valores inferiores, com AIC de 88,208 e BIC de 121,175. Contudo, no que diz respeito ao Pseudo-R^2, o *cluster* 0 apresentou um valor superior (0,400) em relação ao *cluster* 1 (0,291), assim como no R^2 de Tjur (0,473 contra 0,350).

Tabela 32 - Regressões *logit* para os Clusters do BD2 em função dos componentes principais.

Variáveis	M2PCA0 (n=135)	M2PCA0 red	M2PCA1 (n=58)	M2PCA1 red
const	1,206 (1,117)	0,200 (0,857)	-1,546 (-0,913)	0,417 (1,443)
PC1	0,417 (0,982)		-0,507 (-0,920)	
PC2	0,050 (0,177)		0,853* (1,726)	
PC3	0,380 (0,970)		-0,397 (-0,505)	
PC4	0,021 (0,060)		1,549** (1,990)	
PC5	-0,152 (-0,521)		-0,037 (-0,060)	
PC6	0,415 (1,519)		-1,777** (-1,965)	
PC7	0,617 (1,595)		-0,133 (-0,269)	
PC8	-0,453* (-1,888)	-0,680*** (-3,362)	-3,278** (-2,526)	-0,511* (-1,795)
PC9	-0,655* (-1,684)	-0,902*** (-3,624)	-1,605* (-1,882)	
PC10	-1,264*** (-3,446)	-0,877*** (-3,382)	-0,757 (-1,326)	
PC11	-1,164** (-2,096)	-1,425*** (-4,569)	-0,492 (-0,874)	
PC12	-0,681 (-1,037)		1,113 (1,525)	
PC13	0,630 (1,149)		-1,208 (-1,112)	
PC14	-0,174 (-0,452)		2,863** (2,078)	0,569* (1,782)
PC15	0,206 (0,346)		-0,713 (-0,891)	
AIC	142,914	132,797	88,208	79,898
BIC	189,398	147,323	121,175	86,080
Log-Likelihood	-55,457	-61,398	-28,104	-36,949
Pseudo-R^2	0,400	0,336	0,291	0,068
R^2 de Tjur	0,473	0,414	0,350	0,084
Eficácia do Modelo	0,807	0,787	0,778	0,625

***p < 0,01, **p < 0,05, *p < 0,1, Z-valor em parênteses

Fonte: Elaborado pelo autor.

5. DISCUSSÃO

A análise do banco de dados inicial (BD0) revelou características importantes sobre a distribuição e os tipos de sistemas de bicicletas compartilhadas no continente americano. A predominância geográfica na América do Norte e cultural na América Anglo-Saxônica indica uma expansão inicial desses sistemas em regiões com economia e infraestrutura mais consolidadas, especialmente a partir da década de 1990.

No entanto, em resposta ao objetivo específico 1, os resultados apontam que a América Latina, embora com menor quantidade de sistemas, apresenta maior vitalidade proporcional, com uma porcentagem significativa de sistemas abertos. Esse cenário pode ser explicado por um contexto socioeconômico em que os modos de transporte ativo e público desempenham papéis mais centrais no cotidiano das cidades, caracterizadas por uma maior demanda cativa.

Os testes estatísticos realizados reforçam que a associação entre o *status* do sistema (aberto ou fechado) e variáveis como porção cultural, geográfica e tipo de operação é significativa. Em particular, os sistemas do tipo fluxo livre apresentaram maior vulnerabilidade, com maior proporção de encerramentos.

A análise central do BD1 revelou uma ampla diversidade, tanto nos sistemas quanto nas cidades mapeadas nas Américas, abrangendo desde pequenas localidades até grandes centros urbanos. Além disso, os sistemas mapeados variam consideravelmente em termos de número de bicicletas, estações, tipologia e tempo de duração, trazendo novas reflexões sobre como gerir e criar mecanismos de governança contínuos para cada operação.

No que concerne o objetivo específico 2, associado aos fatores demográficos e econômicos, variáveis como população, extensão territorial e unidades habitacionais apresentaram medianas maiores nos sistemas abertos, o que pode estar associado a áreas mais populosas e com maiores extensões urbanas. Em contrapartida, indicadores como densidade populacional, PIB per capita e renda domiciliar foram mais elevados nos sistemas fechados, o que pode indicar que cidades com melhores condições econômicas e maior densidade populacional tendem a apresentar menor adesão à bicicleta compartilhada.

No que tange às variáveis de transporte e mobilidade urbana, apenas a porcentagem de viagens realizadas de bicicleta apresentou diferença significativa,

sendo maior nos sistemas abertos. Dessa forma, no âmbito do objetivo específico 3, como já era esperado, há evidências de maior vitalidade dos sistemas em locais onde já existe uma demanda consolidada, com ciclistas ativos para o uso de bicicletas.

Outro ponto de destaque foi o baixo uso de transporte público e uma adesão modesta às bicicletas, especialmente em cidades anglo-saxônicas ao norte. Esses dados refletem uma cultura ciclista ainda pouco consolidada nessa região, sobretudo em comparação com outros países desenvolvidos, como os europeus.

Em relação aos quesitos climático e topográfico (objetivo específico 4), inesperadamente poucas variáveis apresentaram diferenças estatísticas entre os sistemas fechados e abertos. No entanto, a análise topográfica revelou que os sistemas abertos operam em áreas com elevações médias e máximas com medianas discretamente mais altas, contrariando expectativas iniciais de que elevações elevadas seriam um empecilho para a vitalidade de bicicletas compartilhadas.

Por fim, os fatores associados aos sistemas (objetivo específico 5) apareceram nesta pesquisa como os mais frequentes nas análises. Nesse contexto, os sistemas abertos destacaram-se pelo maior número total de bicicletas e maior tempo de operação, sugerindo que sistemas com ampla cobertura e consolidação tendem a ser mais sustentáveis ao longo do tempo.

Em relação às regressões *logit* aplicadas a esse banco, os modelos preditivos apresentaram diferenças em termos de variáveis explicativas, ajuste estatístico e eficácia. Os modelos parciais por grupos econômicos, demográficos, de mobilidade, clima e topografia (M1A, M1B e M1C), analisados separadamente, apresentaram as piores métricas, o que pode indicar que os grupos isolados não explicam de forma eficaz o fechamento dos sistemas no contexto americano.

Por outro lado, o modelo parcial M1D (variáveis do sistema) e o modelo reduzido alcançaram desempenhos melhores, próximos ao modelo completo. Vale destacar, ainda, que o modelo reduzido incluiu variáveis significativas além das operacionais, como as viagens por transporte público, que diminuem a chance de fechamento dos sistemas, enquanto a densidade, embora com efeito quase nulo, parece reduzir a chance de sucesso.

Na etapa de análise de *clusters*, cada grupo apresentou características demográficas, econômicas, de mobilidade, topográficas e operacionais distintas, evidenciando a influência desses fatores na sustentabilidade dos sistemas. Analogamente, as regressões *logit* aplicadas aos clusters mostraram que as variáveis

unidades habitacionais e tempo de duração parecem influenciar as chances de fechamento nos dois primeiros clusters, sendo a primeira associada de forma positiva e a segunda de forma negativa.

No *Cluster* 0, predominantemente composto por sistemas norte-americanos, a variável extensão territorial apresentou um coeficiente negativo próximo de zero, enquanto o tipo outro demonstrou estar associado a uma menor chance de fechamento em comparação aos sistemas baseados em estações. Já o *Cluster* 1, com a maioria das observações provenientes de sistemas latino-americanos, destacou-se pela diminuição das chances de fechamento devido a fatores relacionados à mobilidade urbana, como o uso de transporte público e bicicletas.

O *Cluster* 2, apesar de representar grandes metrópoles, apresentou limitações no modelo preditivo devido ao número reduzido de observações. Esse resultado enfatiza a importância de equilibrar o número de observações com a quantidade de preditores em regressões logísticas. Embora o modelo tenha utilizado apenas 9 das 38 variáveis contínuas iniciais, juntamente com a variável categórica tipo, os preditores se mostraram insignificantes, indicando que, nesse grupo, eles não influenciam de forma conjunta na chance de insucesso.

A análise de componentes principais (PCA) aplicada ao BD1 proporcionou uma redução significativa no tratamento da dimensionalidade das variáveis. O método condensou as 38 variáveis contínuas em 18 componentes principais, capazes de explicar 90% da variância acumulada. Embora esse método seja mais eficaz que o anterior, por não excluir nenhum preditor, ele tornou as análises mais complexas, já que cada componente é influenciado por múltiplas variáveis, o que dificulta a interpretação.

Para contornar essa complexidade, considerando o número ainda elevado de componentes, foram avaliadas as cargas das variáveis com valores maiores que 0,20 e menores que -0,20. Esse parâmetro de corte permitiu identificar as variáveis com as cargas mais altas dentro de cada componente, facilitando o entendimento de suas influências.

Na sequência, o novo processo de clusterização baseado nos componentes principais demonstrou uma capacidade superior de distinguir as observações do BD1 em três clusters, em comparação ao modelo anterior. O *Cluster* 0 representou predominantemente sistemas localizados em cidades da América Anglo-Saxônica,

caracterizadas por menor porte populacional, estabilidade econômica e mobilidade urbana focada no automóvel, porém com uma maior proporção de sistemas fechados.

O *Cluster* 1 agrupou grandes centros urbanos latino-americanos que, apesar de enfrentarem desafios econômicos e estruturais, segundo os componentes, demonstram maior resiliência na manutenção dos sistemas operacionais. Por outro lado, o *Cluster* 2 representa sistemas localizados em metrópoles com alta densidade populacional e infraestrutura extensa, mas que enfrentam dificuldades operacionais e climáticas significativas.

Os resultados das regressões logísticas aplicadas ao *Cluster* 0 revelaram que os componentes PC6 e PC9 apresentaram coeficientes negativos, indicando que variáveis associadas negativamente a indicadores socioeconômicos, como PIB per capita e rendimento, e positivamente a características operacionais, como número de bicicletas e tempo de duração do sistema, contribuem para a redução da probabilidade de fechamento dos sistemas. Em outras palavras, cidades menos ativas economicamente, mas com maior utilização de bicicletas, sistemas operacionais maiores e mais duradouros, tendem a apresentar menor chance de fechamento.

Esses resultados destacam a relevância de sistemas consolidados e com forte presença de usuários como fatores de resiliência. Ao mesmo tempo, reforçam a ideia de que, em contextos onde a bicicleta desempenha um papel significativo como meio de transporte, a viabilidade desses sistemas é ampliada, mesmo em cenários de menor dinamismo econômico.

Por outro lado, componentes como o PC10, com carga positiva para densidade populacional e percentual de pessoas por habitação, e negativa para posse de veículos e tempo de duração, demonstraram maior risco de fechamento. Isso reflete a fragilidade de sistemas em áreas densamente povoadas, mesmo com menor posse de automóveis e maior tempo de duração. Já o PC14, assim como o PC9, destacou-se por reduzir as chances de fechamento, sendo positivamente associado a variáveis como o número de bicicletas e o tempo de duração do sistema.

No *Cluster* 1, os componentes PC3 e PC4 foram estatisticamente significativos. O PC3, associado a melhores indicadores socioeconômicos como PIB, rendimento domiciliar e nível educacional, apresentou, contrastemente, um efeito negativo, reduzindo a probabilidade de fechamento dos sistemas. Por outro lado, o PC4 destacou-se por aumentar a chance de fechamento, sendo relacionado a condições

climáticas e topográficas mais desafiadoras, como altitudes elevadas e variações climáticas extremas.

No modelo reduzido, os componentes PC9 e PC14 também reforçaram a relevância de fatores operacionais, como maior uso de bicicletas e sistemas mais duradouros, para a sustentabilidade, enquanto o PC4 manteve sua associação com contextos climáticos e topográficos adversos, destacando a importância de adaptar os sistemas a essas condições específicas.

Em suma, a combinação da análise de componentes principais e da clusterização permitiu explorar de forma aprofundada as interações entre as variáveis e identificar padrões que ajudam a compreender as características determinantes para o sucesso dos sistemas de bicicletas compartilhadas no continente americano. Além disso, diversos componentes adicionais foram utilizados, uma vez que os primeiros componentes englobaram principalmente aspectos demográficos.

No que tange, o período da pandemia, as análises do BD1 COVID mostraram, no contexto do objetivo específico 7, que a crise sanitária trouxe impactos aos sistemas de bicicletas compartilhadas na América, com 124 sistemas encerrados entre março de 2020 e maio de 2023, representando 38,27% do total. Os Estados Unidos foram o país mais afetado, concentrando 86,29% dos encerramentos, seguidos por Canadá, México, Brasil, Chile e Colômbia com impactos menores.

Os fechamentos ocorreram principalmente entre sistemas operados pela empresa Zagster, que enfrentou dificuldades operacionais durante a pandemia. Esse cenário reflete os desafios enfrentados pelos modelos de negócios dependentes de financiamento privado e por sistemas com menor flexibilidade operacional. Não obstante, a América Latina demonstrou maior resiliência, proporcionalmente, com menos encerramentos.

O que chama atenção é que duração dos sistemas não foi significativamente impactada pela pandemia. Além disso, os modelos *logit* mostraram que variáveis relacionadas ao tipo de sistema e uso do transporte público influenciaram a resiliência dos sistemas durante a crise. Em consonância com a revisão bibliográfica, o uso do transporte público foi um fator relevante para a continuidade dos sistemas, com uma redução de 5,2% na chance de fechamento para cada aumento percentual no uso desse modo.

Já as cidades com elevações mínimas mais altas tiveram uma ligeira e quase nula tendência a maiores taxas de encerramento. A duração dos sistemas também foi

um indicador importante de resiliência, com sistemas mais longevos demonstrando menor chance de encerramento. Inesperadamente, em relação ao tipo do sistema, os sistemas de fluxo livre (*free-floating*) atingiram chances menores de fechamento em comparação aos sistemas baseados em estações fixas, o que evidenciou a importância da flexibilidade operacional em períodos de restrições de mobilidade.

Nessa lógica, conclui-se que sistemas com acessibilidade mais flexível e adaptados ao contexto local, aliados a uma conexão mais eficiente com o transporte público, podem ter demonstrado maior resiliência frente às restrições impostas pela crise sanitária. Esses resultados reforçam novamente a necessidade de planejar sistemas mais diversificados e adaptáveis, visando garantir sua sustentabilidade em tempos de crise que impactem a rede de transportes como um todo.

O BD2 trouxe um panorama mais restrito em relação ao BD1, com 217 sistemas em 170 regiões metropolitanas das Américas. Contudo, esse banco integrou variáveis importantes associadas ao transporte sustentável, incluindo densidade de quadras e blocos, proximidade de ciclovias protegidas, acesso a serviços e áreas sem carros, além da proteção contra rodovias.

Assim como no BD1, a maioria das observações está em áreas de influência anglo-saxônica, e o tipo predominante de sistema é o baseado em estações fixas. Diferentemente do contexto pandêmico, os sistemas com estações fixas demonstraram maior vitalidade em comparação aos de fluxo livre, reforçando a importância do modelo operacional para a continuidade dos serviços.

A análise descritiva também destacou a heterogeneidade tanto dos sistemas quanto das regiões metropolitanas, com as realidades latino-americanas apresentando maior densidade populacional, enquanto as norte-americanas se caracterizam por serem mais dispersas e menos populosas. Um ponto de destaque foi que as novas variáveis de transporte sustentável não apresentaram diferenças significativas entre os grupos de sistemas fechados e abertos, em resposta ao objetivo específico 6.

Apenas as variáveis rendimento domiciliar, taxa de emprego, número de bicicletas e tempo de duração apresentaram diferenças significativas entre os sistemas abertos e fechados. Ou seja, os sistemas fechados estão localizados em regiões com maiores medianas de rendimento e emprego, o que reforça a ideia de que os sistemas que continuam operacionais tendem a atender demandas cativas em regiões com menores níveis socioeconômicos.

Por outro lado, sistemas com maior número de bicicletas e maior tempo de operação demonstraram maior resiliência, corroborando a ideia de que a escala e a estabilidade operacional são determinantes para a continuidade dos serviços. Esses resultados reforçam ainda mais a necessidade de políticas públicas e subsídios para garantir a viabilidade dos sistemas, especialmente em regiões metropolitanas mais vulneráveis economicamente.

No que tange às regressões *logit*, os grupos de variáveis novamente não se mostraram significativos quando analisados isoladamente, exceto pelos fatores associados ao sistema. O modelo reduzido indicou que apenas o tempo de duração do sistema e o tipo de sistema classificado como outros foram preditores negativamente associados ao fechamento.

O coeficiente negativo associado ao tempo de duração reflete que sistemas mais consolidados apresentam menor chance de encerramento, reforçando a importância da maturidade operacional. Já os sistemas classificados como outros demonstraram maior resiliência do que o de estações, possivelmente devido à maior adaptabilidade ou características específicas que favorecem sua consolidação às condições locais.

Analogamente ao BD1, mesmo com um número menor de observações, a clusterização dos sistemas em três grupos apresentou características bem distintas. O *Cluster* 0 agrupou cidades menos extensas, com rendimento domiciliar elevado, menor frota de veículos e topografia mais plana. A menor frota de veículos nesse banco pode não ser uma surpresa visto que que as observações se referem a metrópoles americanas, geralmente com redes de transporte público mais consolidadas.

No *Cluster* 1, formado predominantemente por cidades latino-americanas, destaca-se a maior proximidade a ciclovias protegidas e maior adoção de bicicletas, apesar de barreiras econômicas e topográficas. Já o *Cluster* 2 concentrou grandes metrópoles, caracterizadas por economias complexas, alta frota de veículos e sistemas de maior escala, mas com baixa adesão ao uso de bicicletas e altas taxas de encerramento.

Nos modelos *logit* reduzidos por *cluster*, o tempo de duração foi novamente a única variável significativa para os *Clusters 0 e 1*. No entanto, no modelo completo do *Cluster* 1, a variável percentual de viagens por bicicleta apresentou valor próximo à

significância. Já no *Cluster* 2, o modelo não convergiu devido à separação perfeita, evidenciando a complexidade e as especificidades das grandes cidades.

Nesse banco, a análise de componentes principais (PCA) foi ainda mais relevante, considerando o aumento no número de variáveis e a redução significativa no número de observações. Por meio desse método, foi possível condensar 43 variáveis em 15 componentes principais. Assim como no BD1, esses componentes foram utilizados para a análise de clusters e modelos logit.

A porcentagem de pessoas próximas de ciclovias protegidas destacou-se positivamente em PC2 e PC3, reforçando sua importância para sistemas de bicicletas compartilhadas. Em contrapartida, o percentual de pessoas em áreas livres de carros apresentou cargas negativas em PC1, PC11 e PC15, o que pode ter caracterizado obstáculos para a expansão e o uso seguro das bicicletas nos sistemas nessas áreas.

Já condições como amplitude térmica elevada (PC8) e regiões mais planas (PC4) mostraram-se mais favoráveis ao uso de bicicletas compartilhadas nos sistemas desses componentes. Por outro lado, climas extremos e terrenos acidentados, representados por componentes como PC11 e PC7, podem dificultar a adoção e operação.

No que tange a análise de PCA combinada com o algoritmo *K-means*, o *Cluster 0*, assim como no BD1, se apresentou predominante na América do Norte, incluindo sistemas localizados em cidades de baixa densidade e com maior variação climática. Nessas regiões, as condições adversas podem dificultar a operação de bicicletas compartilhadas, resultando em uma proporção maior de sistemas fechados dentro do grupo

O diferencial dessa análise em relação as anteriores foi que os *Clusters* 1 e 2 agruparam sistemas latinos em dois grupos estruturalmente distintos. O *Cluster* 1, formado principalmente por sistemas brasileiros, argentinos e chilenos, destacou-se pela alta densidade urbana e pelo uso expressivo de transporte público. Já o *Cluster* 2 incluiu países latinos como México, Colômbia, Equador, Bolívia e Venezuela, caracterizados por indicadores econômicos mais modestos.

Os modelos *logit* baseados nos componentes principais, mostraram que o *Cluster* 0, os componentes associados ao tempo de duração dos sistemas, número total de bicicletas e amplitude térmica foram os mais significativos. Já no *Cluster* 1, variáveis relacionadas à densidade de blocos, uso de transporte público e

características climáticas bem definidas foram fatores chave para a vitalidade dos sistemas.

Esses resultados reforçam a importância de políticas que promovam a integração dos sistemas de bicicletas compartilhadas com redes de transporte público e infraestrutura cicloviária, especialmente em contextos urbanos densos. Além disso, destaca-se a necessidade de adaptação às condições locais, como variações climáticas e desafios topográficos, para garantir a sustentabilidade dos sistemas a longo prazo.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Esta Tese objetiva investigar os fatores condicionantes da vitalidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas em uma escala continental, abrangendo o continente americano e suas diversas realidades urbanas, sociais e econômicas. Esse enfoque inovador diferencia este estudo de outros, que, na maioria das vezes, se concentraram em casos locais ou, raramente, em contextos nacionais, como as análises realizadas na Espanha e na China.

Além disso, a análise apresenta uma abordagem pioneira para o continente americano ao avaliar as bicicletas compartilhadas pela perspectiva do fracasso, considerando também aqueles que já foram desativados, em vez de focar apenas nos que ainda estão em operação. Desse modo, a recente expansão desses sistemas nas Américas evidencia uma preocupação crescente com a mobilidade urbana sustentável, além das novas mudanças culturais proporcionadas pela economia compartilhada.

Em relação ao processo metodológico, foram utilizadas duas abordagens para a redução de dimensionalidade dos bancos de dados, que, de certa forma, puderam ser comparadas: a primeira, mais tradicional, por meio do fator de inflação da variância (VIF), e a segunda, mais complexa, com a aplicação da análise de componentes principais (PCA) para converter variáveis em componentes.

Na análise utilizando o VIF, a maioria das variáveis foi eliminada. Por esse motivo, recomenda-se, em trabalhos futuros, a aglutinação e/ou transformação de variáveis como uma estratégia para melhorar a performance dos modelos preditivos. Já na análise de PCA, a utilização de componentes que explicam 90% da variância foi necessária para capturar aqueles componentes significativos para a chance de fechamento, que não estavam necessariamente entre os primeiros.

No geral, embora a pesquisa ofereça contribuições significativas, algumas limitações devem ser destacadas. A falta de dados abertos sobre mobilidade urbana em muitas cidades da América Central e do Sul restringiu a representatividade da análise, especialmente ao tentar construir uma visão mais complexa dos sistemas de bicicletas compartilhadas em todo o continente.

Em diversas cidades dessa porção do continente, informações sobre indicadores demográficos, infraestrutura cicloviária, operação dos sistemas e dados específicos de uso são limitadas ou indisponíveis ao público. Essa carência de dados

dificulta a obtenção de resultados em uma escala continental, sobretudo ao considerar as diferenças econômicas e estruturais entre o contexto anglo-saxônico, onde a disponibilidade de informações é mais ampla, e o contexto latino-americano, caracterizado por maior escassez.

Essa limitação restringiu a inclusão de cidades menores e regiões mais remotas, dificultando a generalização completa dos resultados para todo o continente. Além disso, a escassez de informações sobre a gestão e operação dos sistemas de bicicletas compartilhadas, especialmente em relação aos modelos de financiamento e ao tipo de gestão (pública, privada ou híbrida), representou outro obstáculo.

Informações sobre a governança desses sistemas são fundamentais para avaliar como diferentes abordagens impactam sua vitalidade e continuidade. Como demonstrado na análise, sistemas classificados como outros apresentam maior resiliência, mas a compreensão completa dos fatores que impulsionam esse sucesso requer dados adicionais sobre os modelos de operação e financiamento.

Apesar da ausência de dados sobre governança, propõem-se, a seguir, sete estratégias de governança baseadas nos objetivos específicos. No contexto objetivo 1, observa-se que a implantação desses sistemas seguiu uma sequência histórica, iniciando-se no hemisfério norte a partir da década de 1990 e expandindo-se para as Américas do Sul e Central nas duas últimas décadas. De modo geral, a maioria desses sistemas ainda está concentrada na América do Norte, que apresenta a maior proporção de sistemas desativados. Por outro lado, na América Latina, embora existam menos sistemas, a maioria permanece em operação.

Nesse sentido, a estratégia de governança E1 propõe superar barreiras culturais em países anglo-saxônicos, onde o uso da bicicleta ainda é frequentemente percebido como secundário em relação ao carro. Para alcançar esse objetivo, campanhas de sensibilização que destaquem os benefícios da bicicleta, combinadas com programas educativos, podem ajudar a transformar essas percepções. Além disso, a introdução de incentivos financeiros, como subsídios e benefícios fiscais, junto com a integração dos sistemas de bicicletas a outros modos, pode ampliar sua atratividade e funcionalidade.

O objetivo específico 2, melhor respondido pela inferência estatística do BD1, aponta que as dimensões geográfica e econômica diferem entre os sistemas fechados e os abertos. Nessa lógica, é essencial, por meio da estratégia E2, reconhecer os

desafios enfrentados em cidades com maior desenvolvimento socioeconômico, onde a ausência de ciclistas cativos pode dificultar a adesão.

Dessa forma, em vez de insistir no uso ativo da bicicleta pela população geral, torna-se mais estratégico direcionar os sistemas para atender usuários recreativos, turistas e aqueles que utilizam o serviço de forma esporádica. Além disso, a oferta de opções flexíveis de assinatura e/ou mensalidade, como tarifas semanais ou diárias, pode ampliar o alcance e atrair um público mais diversificado.

Para o objetivo específico 3, foi observada significância nas proporções de viagens por transporte público, identificando-o como um fator redutor da chance de fechamento do sistema. Entretanto, a frota de veículos não parece ser um fator diretamente significativo para o sucesso.

Portanto, recomenda-se, para a terceira estratégia (E3), integrar bicicletas ao transporte público, priorizando a integração tarifária e física. Além disso, a implementação de melhorias na infraestrutura cicloviária pode consolidar a bicicleta como uma alternativa de mobilidade sustentável, acessível e complementar, especialmente como solução para a primeira e última milha no transporte de massa.

No que tange o objetivo específico 4, nesta pesquisa, a topografia e as variáveis climáticas parecem influenciar menos no sucesso dos sistemas, apesar de algumas variáveis e componentes principais terem sido significativos. É importante destacar que a bibliografia aponta esses fatores como determinantes para o êxito.

Nessa lógica, para a estratégia E4, é essencial buscar soluções para cidades com climas extremos e variações significativas de altitude. A implantação de bicicletas elétricas pode ajudar a superar barreiras topográficas, enquanto ciclovias protegidas contra intempéries podem oferecer conforto adicional aos usuários. Adicionalmente, modelos sazonais de operação e aplicativos que integram informações meteorológicas podem aumentar a adesão, principalmente entre usuários esporádicos.

No que concerne à operação dos sistemas (objetivo específico 5), os modelos com estações em docas (*station-based*) predominam, enquanto os sistemas de fluxo livre sem estações (*free-floating*) enfrentam maiores dificuldades de continuidade no contexto geral. Por outro lado, os modelos alternativos (classificados como outros), geralmente híbridos (com e sem estações), demonstram maior resiliência. Conclui-se, portanto, que o modelo operacional se destaca como um fator-chave para a

viabilidade dos sistemas. Sobretudo, o tempo de operação e a expansão, como apontado na bibliografia, podem determinar o sucesso a médio e longo prazo.

Desse modo, na estratégia E5, recomenda-se expandir gradualmente os sistemas de bicicletas compartilhadas de forma responsável, iniciando em áreas de alta densidade, como uma estratégia fundamental para garantir adesão e eficiência. Igualmente, o uso de modelos híbridos, que combinam estações fixas com sistemas *free-floating*, pode maximizar tanto a cobertura quanto a acessibilidade para os usuários.

Para assegurar o sucesso dessas iniciativas, o monitoramento contínuo do desempenho do sistema torna-se indispensável. Isso permite identificar demandas específicas e ajustar recursos de forma ágil e estratégica, garantindo uma operação mais eficaz e alinhada às necessidades locais.

No âmbito do objetivo específico 6, surpreendentemente, os indicadores de mobilidade e transporte sustentável não apresentaram significância nas diferenças entre os grupos de sistemas fechados e abertos no BD2, nem nas análises preditivas. Contudo, acredita-se ser fundamental construir uma infraestrutura de mobilidade urbana sustentável, segura e bem conectada aos principais geradores de viagens e terminais de transporte público (E6).

Essa infraestrutura deve ser acompanhada por um planejamento urbano que priorize pequenos deslocamentos, garantindo acessibilidade e segurança aos usuários. Para viabilizar esses investimentos, as parcerias público-privadas podem desempenhar um papel fundamental, fornecendo recursos e expertise para a implementação e manutenção.

No que concerne ao objetivo específico 7, as análises indicaram que o tempo de duração dos sistemas fechados durante a pandemia e daqueles encerrados em outros períodos não apresentou diferenças estatisticamente significativas. No entanto, o volume de sistemas fechados durante a pandemia acende um alerta para momentos de crise.

Além disso, o modelo preditivo indicou que cidades com baixo uso de transporte público foram mais propensas ao fechamento, evidenciando o papel central da integração modal. Analogamente, de acordo com a bibliografia, sistemas que implementaram medidas como higienização reforçada e tarifas reduzidas conseguiram manter suas operações e até aumentar a adesão. Assim, é fundamental que os sistemas estejam preparados para crises futuras.

Nesse âmbito, a última estratégia (E7) propõe a criação de planos de contingência contínuos, essenciais para garantir a continuidade dos sistemas de bicicletas compartilhadas durante crises sanitárias futuras. Esses planos devem ser acompanhados por estratégias como promoções pós-pandemia, que ajudem a recuperar a demanda e atrair novos usuários. Além disso, a digitalização dos serviços pode aumentar a eficiência operacional, reduzindo a necessidade de contato físico e oferecendo maior conveniência aos usuários.

Em resumo, esta Tese não só contribui para a literatura ao oferecer uma perspectiva continental sobre os sistemas de bicicletas compartilhadas, mas também evidencia a relevância de inovações no modelo operacional. Espera-se que os resultados e as recomendações apresentados contribuam para fortalecer os sistemas de bicicletas compartilhadas, consolidando-os como alternativas de mobilidade e alinhadas aos objetivos de desenvolvimento urbano sustentável.

Ao integrar essas estratégias, a pesquisa fornece um roteiro simples e objetivo para gestores e operadores de sistemas de bicicletas compartilhadas. Cada estratégia aborda uma dimensão específica, mas juntas, formam um conjunto coeso de ações capazes de promover a consolidação desses sistemas como alternativas de transporte sustentável, adaptadas às diversas realidades das Américas.

REFERÊNCIAS

ALOI, A., ALONSO, B., BENAVENTE, J., CORDERA, R., ECHÁNIZ, E., GONZÁLEZ, F., ... & SAÑUDO, R. Effects of the COVID-19 lockdown on urban mobility: Empirical evidence from the city of Santander (Spain). **Sustainability**, *12*(9), 3870, 2020.

AN, Q.; QIN, Z.; CHENG, L.; LI, W. Assessing the Temporal and Spatial Resilience of Bike-Sharing Demand: A Spatiotemporal Dynamic Analysis*.* **KSCE Journal of Civil Engineering**, 2024.

ANAYA-BOIG, E.; DOUCH, J.; CASTRO, A. The death and life of bike-sharing schemes in Spain: 2003–2018. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 149, p. 227-236, 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - SIMOB**. Relatório Geral 2018. São Paulo: ANTP, maio 2020. Disponível em: https://www.antp.org.br. Acesso em: 2 dez. 2024.

AZIMI, S.; DAVIS, J.; PELLETIER, A. Exploring the impact of COVID-19 on bike-share usage in Houston, Texas. **Future Transportation**, v. 4, n. 1, p. 14, 2024.

BANISTER, David. **The sustainable mobility paradigm**. *Transport Policy*, v. 15, n. 2, p. 73-80, 2008.

BELSEY, D. A.; KUH, E.; WELSCH, R. E**. Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity**. New York: John Wiley & Sons, 1980.

BERGANTINO, A. S., INTINI, M., & TANGARI, L. Influencing factors for potential bike-sharing users: an empirical analysis during the COVID-19 pandemic. **Research in Transportation Economics**, *86*, 101028, 2021.

BISHOP, C. M. **Pattern Recognition and Machine Learning**. New York: Springer, 2006. ISBN: 978-0387310732.

BOTSMAN, R. **What's Mine is Yours: How Collaborative Consumption is Changing the Way We Live**. London: Harper Business, 2013.

BRACARENCE E OLIVEIRA, Á., PÉREZ-LÓPEZ, J. B., & BUGARÍN, M. R. Impact on city bus transit services of the COVID–19 lockdown and return to the new normal: the case of A Coruña (Spain). **Sustainability**, *12*(17), 7206, 2020.

BRACARENSE, L. D. S. F. P., & de OLIVEIRA, R. L. M. Access to urban activities during the Covid-19 pandemic and impacts on urban mobility: the Brazilian context. **Transport Policy**, 2021.

BUCSKY, P. Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, *8*, 100141, 2020.

BULLOCK, C.; BRERETON, F.; BAILEY, S. The economic contribution of public bike-share to the sustainability and efficient functioning of cities. **Sustainable Cities and Society**, v. 28, p. 76-87, 2016.. Acesso em: 5 dez. 2024.

BUTLER, L.; YIGITCANLAR, T.; PAZ, A. Barriers and risks of Mobility-as-a-Service (MaaS) adoption in cities: A systematic review of the literature. **Cities**, v. 109, 2021.

CERVERO, R. Transit-oriented development in the United States: Experiences, challenges, and prospects. **Transportation Research Board**, 2004.

CHEMLA, D.; MEUNIER, F.; WOLFLER CALVO, R. Bike sharing systems: Solving the static rebalancing problem. **European Journal of Operational Research**, v. 239, n. 3, p. 701-711, 2013.

CHIARIOTTI, F.; PIELLI, C.; ZANELLA, A.; & ZORZI, M. A dynamic approach to rebalancing bike-sharing systems. **Sensors**, v. 18, n. 2, p. 512, 2018.

CHIBWE, J., HEYDARI, S., IMANI, A. F., & SCURTU, A. An exploratory analysis of the trend in the demand for the London bike-sharing system: From London Olympics to Covid-19 pandemic. ***Sustainable Cities and Society***, *69*, 102871, 2021.

COHEN A. & SHAHEEN S. **Planning for Shared Mobility**. 2018

COSTER, RODRIGO. **Um alerta sobre o uso de amostras pequenas na regressão logística**. 2009. Monografia (Bacharelado em Estatística) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Matemática, Departamento de Estatística, Porto Alegre, 2009.

CRUZ, F.; SUBRAMANIAN, A.; BRUCK, B. P.; IORI, M. A heuristic algorithm for a single vehicle static bike sharing rebalancing problem. **Computers & Operations Research**, v. 77, p. 19-33, 2017

DE CHARDON, C. M.; CARUSO, G.; THÉVENIN, T**.** Bike-share rebalancing strategies, patterns, and purpose. **Journal of Transport Geography**, v. 55, p. 22-39, 2016.

DELL'AMICO, M.; HADJICOSTANTINOU, E.; IORI, M.; NOVELLANI, S. The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances. **Omega**, v. 45, p. 7-19, 2014.

DELL'AMICO, M.; IORI, M.; NOVELLANI, S.; SUBRAMANIAN, A**.** The bike sharing rebalancing problem with stochastic demands. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 118, p. 362-380, 2018.

EL-ASSI, W.; MAHMOUD, M. S.; HABIB, K. N. Effects of built environment and weather on bike sharing demand: A station level analysis of commercial bike sharing in Toronto. **Transportation**, 2017.

FATMI, M. R. COVID-19 impact on urban mobility. **Journal of Urban**

Management, *9*(3), 270-275, 2020.

FELLMETH, L. M. **Utilizing ARMA models for non-independent replications of point processes**. Milwaukee: University of Wisconsin, 2024.

FISHMAN, E. Bikeshare: A review of recent literature. **Transport Reviews**, v. 36, n. 1, p. 92-113, 2015.

FISHMAN, E.; WASHINGTON, S.; HAWORTH, N**.** Bike share: A synthesis of the literature. *Transport Reviews*, v. 33, n. 2, p. 148-165, 2014.

FRIENDLY, M. Corrgrams: Exploratory displays for correlation matrices**. The American Statistician**, v. 56, n. 4, p. 316-324, 2012.

FURNO, M.; PIERREL, S.; OUBRAIM, M. Comparing the resilience of bike-sharing systems during COVID-19: Insights from Lyon and Toulouse. **Transportation**, v. 51, p. 345–367, 2024

GAMMELLI, D.; WANG, Y.; PRAK, D.; RODRIGUES, F. Predictive and prescriptive performance of bike-sharing demand forecasts for inventory management. **Transportation Research Part A**, 2022.

GODELNIK, R.. Millennials and the sharing economy: Lessons from a 'buy nothing new, share everything month'project. **Environmental Innovation and societal transitions**, v. 23, p. 40-52, 2017.

GOH, Y. L.; BIN, R. L. L**.** Predicting the demand for shared bicycles in Seoul by multiple linear regression. **International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches**, v. 8, n. 2, p. 211-215, 2024.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2011.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: Concepts and Techniques**. 3. ed. Elsevier, 2011. ISBN: 978-0123814791.

HERNANDEZ, I.; TANG, X.; LI, Z.; WANG, B. Exploring spatiotemporal variations of bike-share usage during COVID-19 lockdowns: A Chicago case study. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, v. 17, p. 100704, 2024.

ARRISON, C.; ECKMAN, B.; HAMILTON, R.; et al. Foundations for Smarter Cities. **IBM Journal of Research and Development**, v. 54, n. 4, p. 350-365, 2010.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction**. 2. ed. Springer, 2009. ISBN: 978-0387848570.

HENSHER, D. A., MULLEY, C., HO, C., WONG, Y., SMITH, G., & NELSON, J. D. **Understanding Mobility as a Service (MaaS): Past, present and future**. Elsevier, 2020.

HERNANDEZ, A.; RAYMER, M.; CHEN, Y. Where did bike-share boom? Analyzing impact of infrastructure lockdowns on bike-sharing in Chicago. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, 2024.

HEROY, S., LOAIZA, I., PENTLAND, A., & O'CLERY, N. COVID-19 policy analysis: labour structure dictates lockdown mobility behaviour. **Journal of the Royal Society Interface**, *18*(176), 20201035, 2021.

HOLTZMAN, D. Share-a-bike. **Planning**, v. 74, n. 5, 2008.

HORNBERG, J., HASELHOFF, T., LAWRENCE, B. T., FISCHER, J. L., AHMED, S., GRUEHN, D., & MOEBUS, S. Impact of the COVID-19 Lockdown Measures on Noise Levels in Urban Areas—A Pre/during Comparison of Long-Term Sound Pressure Measurements in the Ruhr Area, Germany. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, *18*(9), 4653, 2021.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S.; STURDIVANT, R. X**. Applied Logistic Regression**. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2013.

HU, S., XIONG, C., LIU, Z., & ZHANG, L. Examining spatiotemporal changing patterns of bike-sharing usage during COVID-19 pandemic. **Journal of transport geography**, *91*, 102997, 2021.

HUANG, K.; CHEN, X.; GUAN, Y.; LI, Y. **Partially linear single-index models and functional principal component analysis of spatially and temporally indexed point processes**. SSRN, 2024

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. **Computing in Science & Engineering**, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY (ITDP)**. Atlas of Bike Sharing**. Disponível em: https://atlas.itdp.org. Acesso em: 12 jun. 2024.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY (ITDP). **Financiamento e administração de sistemas públicos de bicicletas compartilhadas**. ITDP, 2018. Disponível em: http://itdpbrasil.org.br. Acesso em: 6 dez. 2024.

INSTITUTE FOR TRANSPORTATION AND DEVELOPMENT POLICY (ITDP). **Guia de Sistemas de Bicicletas Compartilhadas**. Edição 2018. Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento, 2018. Disponível em: *https://itdp.org*. Acesso em: 20 ago. 2024.

JENELIUS, E., & CEBECAUER, M. Impacts of COVID-19 on public transport ridership in Sweden: Analysis of ticket validations, sales and passenger counts. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, *8*, 100242, 2020.

JI, S.; CHERRY, C. R.; HAN, L. D.; JORDAN, D. A. Electric bike sharing: Simulation of user demand and system availability. **Journal of Cleaner Production**, 2014

JIN, S. .; SUI, D. A comparative analysis of the spatial determinants of e-bike and e-scooter sharing link flows*.* **Journal of Transport Geography**, v. 119, p. 103959, 2024.

JOBE, J., & GRIFFIN, G. P. Bike share responses to COVID-19. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, *10*, 100353, 2021.

jolliffe, i. t. Principal Component Analysis*.* 2. ed. Springer, 2002.

KAMARGIANNI, M. LI, W., MATYAS, M., SCHÄFER, A. A critical review of new mobility services for urban transport. **Transportation Research Procedia**, v. 14, p. 3294-3303, 2016.

KAUFMAN, L.; ROUSSEEUW, P. J**. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis***.* New York: John Wiley & Sons, 2009

KUBAĽÁK, S., KALAŠOVÁ, A., & HÁJNIK, A. The Bike-Sharing System in Slovakia and the Impact of COVID-19 on This Shared Mobility Service in a Selected City. **Sustainability**, *13*(12), 6544, 2021.

LANFRANCHI, G.; MADARIAGA, J. Urban Transport in the Sharing Economy Era: **Collaborative Cities**. Buenos Aires: CIPPEC, 2018.

LEE, M.; HWANG, S.; PARK, Y.; CHOI, B**.** Factors affecting bike-sharing system demand by inferred trip purpose: Integration of clustering of travel patterns and geospatial data analysis. **International Journal of Sustainable Transportation**, 2022.

LEI, Y., OZBAY, K. A robust analysis of the impacts of the stay-at-home policy on taxi and Citi Bike usage: A case study of Manhattan. **Transport Policy**, *110*, 487-498, 2021.

LEITE, K.; ANDRADE, M.; NETO, O. Sistemas de bicicletas públicas compartilhadas: fatores de influência da boa governança a luz dos agentes da quádrupla hélice de inovação. **Peer Review**, v. 6, n. 13, p. 44-67, 2024.

LI, A.; ZHAO, P.; HUANG, Y.; GAO, K.; AXHAUSEN, K. W. An empirical analysis of dockless bike-sharing utilization and its explanatory factors: Case study from Shanghai, China. **Journal of Transport Geography**, 2020.

LI, Y.; ZHENG, Y.; ZHANG, H.; CHEN, L. Traffic Prediction in a Bike Sharing System. **ACM Digital Library**, 2015.

LIU, J.; SUN, L.; CHEN, W.; XIONG, H. Rebalancing bike sharing systems: A multi-source data smart optimization. In: ***Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining***. New York: ACM, 2016. p. 581-590.

LONG, B.; VAN WAES, A. When bike sharing business models go bad: Incorporating responsibility into business model innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126679, 2021.

MARINCEK, D.; RÉRAT, P.; LURKIN, V. Cargo bikes for personal transport: A user segmentation based on motivations for use. **International Journal of Sustainable Transportation**, 2024.

MEDDIN BIKE-SHARING WORLD MAP**. The Meddin Bike-sharing World Map Report: 2022 editio***n*. [S.l.]: PBSC Urban Solutions, 2022. Disponível em: <arquivo digital enviado pelo usuário>. Acesso em: 18 jun. 2022.

MENARD, S**. Applied Logistic Regression Analysis**. 2. ed. Thousand Oaks: Sage, 2002.

MIDGLEY, P**.** Bicycle-sharing schemes: Enhancing sustainable mobility in urban areas. **United Nations Department of Economic and Social Affairs**, 2011.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5th ed. New York: Wiley, 2012.

MORO, S. R., IMHOF, A. C., FETTERMANN, D. C., & CAUCHICK-MIGUEL, P. A. Barriers to bicycle sharing systems implementation: analysis of two unsuccessful PSS. **Procedia CIRP**, *73*, 191-196, 2018.

NEW YORK CITY DEPARTMENT OF CITY PLANNING. **Bike-share opportunities in New York City***.* Nova York: NYC Department of City Planning, 2009. Disponível em: https://www.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/plans/transportation/bike_share_complete.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024.

NIKIFORIADIS, A., AYFANTOPOULOU, G., & STAMELOU, A. Assessing the impact of COVID-19 on bike-sharing usage: The case of Thessaloniki, Greece. **Sustainability**, *12*(19), 8215, 2020.

OBSERVATÓRIO DA BICICLETA**.** Crise e brigas internas: o que está por trás do fim da Yellow no Brasil. **Observatório da Bicicleta**, 2020. Disponível em: https://observatoriodabicicleta.org.br/crise-e-brigas-internas-o-que-esta-por-tras-do-fim-da-yellow-no-brasil/. Acesso em: 18 jun. 2022.

ORTIZ-PRADO, E., HENRIQUEZ-TRUJILLO, A. R., RIVERA-OLIVERO, I. A., LOZADA, T., & Garcia-Bereguiain, M. A. High prevalence of SARS-CoV-2 infection among food delivery riders. A case study from Quito, Ecuador. **Science of the Total Environment**, *770*, 145225, 2021.

OSKARBSKI, J.; BIRR, K.; ŻARSKI**, K.** Bicycle traffic model for sustainable urban mobility planning. **Energies**, 2021.

PADMANABHAN, V.; PENMETSA, P.; LI, X.; DHONDIA, F.; DHONDIA, S.; PARRISH, A. COVID-19 effects on shared-biking in **New York, Boston, and**

Chicago. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, v. 9, p. 100282, 2021.

PAL, A.; ZHANG, Y. Free-floating bike sharing: Solving real-life large-scale static rebalancing problems. **Transportation Research Procedia**, v. 22, p. 85-95, 2017.

PASE, F., CHIARIOTTI, F., ZANELLA, A., & ZORZI, M. Bike sharing and urban mobility in a post-pandemic world. **IEEE** *Access*, *8*, 187291-187306, 2020.

PEARSON, K**. Note on regression and inheritance in the case of two parents**. Proceedings of the Royal Society of London, 1895.

PEKDEMIR, M. I.; ALTINTASI, O.; OZEN, M. Assessing the impact of public transportation, bicycle infrastructure, and land use parameters on a small-scale bike-sharing system: A case study of Izmir, Türkiye. **Sustainable Cities and Society**, 2024.

PLATAFORMA LATINO-AMERICANA DE SISTEMAS DE BICICLETAS PÚBLICAS E COMPARTILHADAS. **Sistemas de bicicletas compartilhadas na América Latina: Relatório Anual 2019**. Latino SBP, 2019. Disponível em: http://www.latinosbp.org/. Acesso em: 6 dez. 2024.

PORTUGAL, L. S.; MELLO, A. J. R. Um panorama inicial sobre transporte, mobilidade, acessibilidade e desenvolvimento urbano. In: PORTUGAL, Licinio da Silva. **Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2017. p. 1-18.

PURNAMA, IBI**.** Spatiotemporal analysis of urban mobility dynamics: A case study of bicycle sharing system. **Core**, 2018

QUACH, J.; MALEKIAN, R. **Exploring the weather impact on bike sharing usage through a clustering analysis**. Malmö: Malmö University, 2020.

r, Y.; PARK, S.; WANG, Q.; ZHANG, J. Z.; BEHL, A. The survival of bike-sharing startups in China: an empirical analysis of the influencing factors. **Kybernetes, Emerald**, 2023.

RADZIMSKI, A.; DZIĘCIELSKI, M. Exploring the relationship between bike-sharing and public transport in Poznań, Poland. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 2021.

RAJPUT, K., SUD, A., REES, M., & RUTKA, O. Epidemiology of trauma presentations to a major trauma centre in the North West of England during the COVID-19 level 4 lockdown**. European journal of trauma and emergency surgery**, *47*(3), 631-636, 2021.

ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 20, p. 53–65, 1987.

RYLANDER, F.; PENG, B.; WHEELER, J. **Bike share usage prediction in London**. Stanford University, 2014.

SAATCHIAN, V., AZIMKHANI, A., TÜRKMEN, M., & LAEIN, D. D. Cycling as Transportation & COVID-19: Advantages of Shared Bicycles during Epidemics. **Sport Mont**, *19*(1), 51-57, 2021.

SCHOR, J. Debating the Sharing Economy**. Great Transition Initiative**, 2014.

SCHUIJBROEK, J.; HAMPSHIRE, R. C.; VAN HOEVE, W.-J. Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems**. European Journal of Operational Research**, v. 257, n. 3, p. 992-1004, 2017.

SCORRANO, M., & DANIELIS, R. Active mobility in an Italian city: Mode choice determinants and attitudes before and during the Covid-19 emergency. ***Research in Transportation Economics***, *86*, 101031, 2021.

SHAHEEN, S. A.; GUZMAN, S.; ZHANG, H.. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: past, present, and future. **Transportation Research Record**, v. 2143, n. 1, p. 159-167, 2010.

SHAHEEN, S. A.; COHEN, A.; MARTIN, E. Public bikesharing in North America: Early operator understanding and emerging trends. **Transportation research record**, v. 2387, n. 1, p. 83-92, 2013.

SHAHEEN, S.; SPERLING, D.; WAGNER, C.. Carsharing in Europe and North America: Past, Present, and Future. **Transportation Quarterly**, v. 52, n. 3, p. 35-52, 1998.

SHANG, W. L., CHEN, J., BI, H., SUI, Y., CHEN, Y., & YU, H. Impacts of COVID-19 pandemic on user behaviors and environmental benefits of bike sharing: A big-data analysis. **Applied Energy**, *285*, 116429, 2021.

SHEN, Y.; ZHANG, X.; ZHAO, J**.** Understanding the Usage of Dockless Bike Sharing in Singapore. **MIT**, 2018.

SOHRABI, S.; PALETI, R.; BALAN, L.; CETIN, M**.** Real-time prediction of public bike sharing system demand using generalized extreme value count model. **Transportation Research Part A**, 2020.

SUCHANEK, M.; JAGIEŁŁO, A.; SUCHANEK, J**.** Substitutability and complementarity of municipal electric bike sharing systems against other forms of urban transport. **Applied Sciences**, 2021.

SUN, F.; CHEN, P.; JIAO, J. Promoting public bike sharing: A lesson from the unsuccessful Pronto system. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 63, p. 533-547, 2018.

SUN, S.; DUAN, Z. Sustaining the development of campus bike-sharing: A lesson from the unsuccessful practice in Dalian Maritime University, China**. Journal of**

Cleaner Production, v. 295, p. 126483, 2021.

SWINSCOW, T. D. V.; CAMPBELL, M. J. **Statistics at Square One**. 9. ed. London: BMJ Publishing Group, 2002.

TAN, P.-N.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Introduction to Data Mining**. Pearson, 2005. ISBN: 978-0321321367.

TEIXEIRA, J. F., LOPES, M. The link between bike sharing and subway use during the COVID-19 pandemic: The case-study of New York's Citi Bike. **Transportation research interdisciplinary perspectives**, *6*, 100166, 2021.

THOMAS, M.; VERMA, A.; MAYAKUNTLA, S. Imputation of trip data for a docked bike-sharing system. **Current Science**, v. 122, n. 3, p. 310-318, 2022.

TOOLE DESIGN GROUP; PEDESTRIAN AND BICYCLE INFORMATION CENTER. **Bike Sharing in the United States: State of the Practice and Guide to Implementation***.* Washington, D.C.: Federal Highway Administration, 2012. Disponível em: https://www.bikesharing.ch/fileadmin/minisites/redaktion/bikesharing/Dokumente/Bikesharing_in_the_United_States.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024.

TORRISI, V., CAMPISI, T., INTURRI, G., IGNACCOLO, M., & TESORIERE, G. Continue to share? An overview on italian travel behavior before and after the COVID-19 lockdown. In **AIP Conference Proceedings** (Vol. 2343, No. 1, p. 090010). AIP Publishing LLC, 2021.

TULCANAZA-PRIETO, A.; ZHOU, C.; TANG, X.; NORES, M.; GORGEON, P. The evolution of urban bike-sharing systems post-COVID-19: Evidence from the Bicing system in Barcelona, Spain*.* **Sustainability**, v. 16, n. 14, p. 6209, 2023.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis***.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1977.

UTRIAINEN, R.; PÖLLÄNEN, M. Review on mobility as a service in scientific publications. **Research in Transportation Economics**, v. 69, p. 98-104, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.04.003. Acesso em: 9 dez. 2024.

VASCONCELLOS, E. O transporte urbano do século 21. **Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano**, v. 24, p. 3º, 2002.

VILLA, N.; MONZÓN, A. Mobility restrictions and e-commerce: holistic balance in Madrid centre during COVID-19 lockdown. ***Sustainability***, v. 13, n. 13, p. 1-21, 2021.

VOGEL, P.; GREISER, T.; MATTFELD, D. C. Understanding bike-sharing systems using data mining: exploring activity patterns. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 20, p. 514-523, 2011.

WANG, H.; NOLAND, R. B. Bikeshare and subway ridership changes during the COVID-19 pandemic in New York City. **Transport Policy**, v. 106, p. 262-270, 2021.

WANG, X.; SUN, H.; ZHANG, S.; LV, Y. Bike sharing rebalancing problem with variable demand. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 589, p. 126576, 2022.

WASKOM, M. L. Seaborn: statistical data visualization*. Journal of Open Source Software*, v. 6, n. 60, p. 3021, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 – 11 March 2020**. Geneva: World Health Organization, 2021.

WU, C.; KIM, I.; CHUNG, H. The effects of built environment spatial variation on bike-sharing usage: A case study of Suzhou, China. **Cities**, 2021.

WU, S. A fuzzy association rules mining analysis of the influencing factors on the failure of oBike in Taiwan. **Mathematics**, v. 8, n. 11, p. 1-16, 2020.

YANG, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, L.; ZHANG, X.; LING, Z. Exploring spatial variation of bike sharing trip production and attraction: A study based on Chicago's Divvy system. **Applied Geography**, 2020.

ZAMPROGNO, M. M.; ESZTERGÁR-KISS, D. Applying cluster analysis for the investigation of travel behavior and user profiles. **Periodica Polytechnica Transportation Engineering**, 2024.

ZHANG, J.; MENG, M.; KOH, P. P.; WONG, Y. D. Life duration of bike sharing systems. **Case Studies on Transport Policy**, Elsevier, 2021

ZHAO, J.; DENG, W.; SONG, Y. Ridership and effectiveness of bikesharing: The effects of urban features and system characteristics on daily use and turnover rate of public bikes in China. **Transport Policy**, 2014.

ZHOU, X.; NIU, X.; WANG, Y. Clustering analysis of bike-sharing systems: A study on station grouping and demand prediction. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 123, p. 102947, 2021.

ZHU, B.; HU, S.; KAPARIAS, I.; ZHOU, W.; OCHIENG, W. Revealing the driving factors and mobility patterns of bike-sharing commuting demands for integrated public transport systems. ***Sustainable Cities and Society***, 2024.

ZUO, Y.; QI, S.; ZHU, F. *Does the sharing economy improve social trust? Evidence from China*. **SSRN**, 2024.

APÊNDICES

APÊNDICE A - CARGAS DOS COMPONENTES PRINCIPAIS – BD1

Variável/Componente	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18
População	0,22	0,30	0,16	0,08	-0,04	0,16	0,01	-0,08	-0,12	-0,02	-0,04	0,02	-0,01	-0,04	0,00	0,12	0,03	-0,07
Área	0,08	-0,01	-0,06	0,06	0,18	0,17	-0,04	0,22	-0,16	-0,29	-0,38	0,30	0,37	0,02	0,31	-0,07	-0,40	-0,11
Densidade	0,15	0,29	0,12	-0,09	0,03	-0,10	0,07	0,11	0,08	0,18	0,17	-0,09	-0,14	-0,08	-0,04	0,02	0,03	-0,14
PIB	0,11	0,33	0,21	0,02	-0,06	0,14	0,06	0,02	-0,01	0,06	-0,06	0,03	0,07	0,05	0,03	-0,18	-0,06	-0,03
PIB per capita	-0,22	0,12	0,23	-0,02	0,00	-0,23	0,09	0,03	0,02	0,05	0,03	-0,03	0,14	0,09	0,00	-0,21	-0,14	-0,11
Rendimento domiciliar	-0,21	0,08	0,20	-0,02	0,00	-0,34	0,21	-0,04	0,03	-0,02	-0,06	-0,03	0,17	0,10	-0,12	-0,05	-0,24	-0,08
Idade média	-0,15	0,06	0,15	0,09	0,19	-0,16	0,18	-0,29	-0,03	-0,07	0,08	0,02	-0,10	0,08	0,31	0,03	0,18	0,02
Unidades habitacionais	0,20	0,32	0,16	0,06	-0,03	0,17	0,02	-0,07	-0,10	-0,01	-0,03	0,02	-0,02	-0,05	0,00	0,10	0,03	-0,07
Número de pessoas por habitação	0,08	-0,05	-0,07	-0,01	-0,06	0,04	-0,03	0,16	-0,24	0,19	-0,10	-0,31	0,23	0,73	-0,16	0,34	0,07	0,02
Percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo	-0,14	0,07	0,27	-0,04	-0,05	-0,31	0,10	0,01	0,20	-0,03	-0,21	0,04	0,14	-0,07	-0,29	0,25	-0,20	-0,01
Percentual de pessoas ocupadas ou empregadas	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,07	0,06	-0,12	-0,12	0,04	0,31	0,55	0,56	0,47	0,05	-0,10	0,11	0,02	0,03
Frota de veículos	0,19	0,28	0,15	0,13	-0,03	0,17	0,00	-0,13	-0,17	-0,08	0,03	-0,02	-0,01	-0,04	0,00	0,20	-0,06	-0,03
Percentual de pessoas com veículos	-0,17	-0,01	0,11	0,27	-0,08	-0,02	0,08	-0,31	-0,12	-0,21	0,09	-0,02	-0,06	-0,02	0,07	0,38	-0,08	0,29
Tempo médio de deslocamento em minutos	0,21	0,21	0,04	-0,14	0,01	-0,13	0,12	-0,03	-0,11	0,07	0,07	-0,03	-0,03	0,04	-0,01	-0,11	-0,01	-0,15
Percentual estimado da população que utiliza veículo privado	-0,25	-0,10	-0,01	0,16	-0,04	0,14	-0,03	-0,17	-0,14	-0,08	0,10	-0,07	0,00	0,11	0,21	-0,10	0,06	-0,12
Percentual estimado da população que utiliza transporte pútlico	0,21	0,02	0,00	-0,15	0,06	0,01	0,00	0,11	0,01	0,20	-0,06	0,03	-0,14	-0,05	0,08	0,01	-0,04	0,37
Percentual estimado da população que utiliza bicicleta	0,19	-0,09	0,02	-0,11	0,08	-0,10	-0,01	0,12	0,24	0,02	-0,30	0,22	0,00	-0,14	-0,10	0,26	0,29	0,03
Temperatura mínima média	0,19	0,05	-0,32	-0,05	-0,01	-0,16	0,27	-0,21	-0,02	-0,17	-0,03	0,09	0,06	0,06	-0,05	0,01	-0,01	0,09
Temperatura máxima média	-0,06	0,06	-0,22	0,04	-0,20	0,29	0,20	-0,09	-0,03	-0,18	0,04	-0,01	0,01	-0,04	-0,57	-0,30	-0,12	0,07
Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	-0,22	-0,02	0,22	0,07	-0,07	0,28	-0,19	0,17	0,01	0,11	0,04	-0,09	-0,06	-0,07	-0,17	-0,11	-0,04	-0,06
Período de temperatura elevada ou quente, em meses	-0,20	0,18	-0,05	0,19	0,13	0,08	-0,10	0,10	0,02	-0,05	-0,12	0,04	0,06	-0,11	-0,16	0,17	0,05	0,25
Período de temperatura baixa ou frio, em meses	-0,17	0,18	0,08	0,20	0,15	-0,02	-0,19	0,01	-0,01	-0,13	-0,17	0,05	0,10	-0,03	-0,22	-0,05	0,37	0,20
Período mais claro com poucas nuvens, em meses	0,08	0,13	-0,23	0,36	0,27	-0,11	-0,17	-0,15	0,19	0,20	-0,08	-0,07	-0,05	0,08	-0,04	-0,10	-0,14	-0,08
Período nublado, em meses	-0,08	-0,13	0,23	-0,36	-0,27	0,11	0,17	0,15	-0,19	-0,20	0,08	0,07	0,05	-0,08	0,04	0,10	0,14	0,08
Período úmido, em meses	0,03	-0,20	0,21	-0,22	0,36	0,24	0,05	-0,32	0,02	0,08	-0,13	-0,05	-0,03	0,03	-0,13	-0,01	-0,09	0,00
Período seco, em meses	-0,03	0,20	-0,21	0,23	-0,36	-0,24	-0,05	0,32	-0,02	-0,08	0,13	0,05	0,03	-0,03	0,13	0,01	0,09	0,00
Período chuvoso/nevoso, em meses	0,09	-0,18	0,09	0,31	0,22	0,07	0,42	0,29	-0,03	0,03	0,13	-0,02	0,00	-0,05	-0,05	0,01	0,07	-0,02
Período sem chuva/sem neve, em meses	-0,09	0,18	-0,09	-0,31	-0,23	-0,07	-0,42	-0,28	0,03	-0,03	-0,13	0,02	0,00	0,05	0,05	-0,01	-0,07	0,02
Dia mais curto, em horas	0,06	-0,02	-0,09	-0,01	-0,06	0,03	0,05	-0,13	0,01	0,17	-0,03	-0,54	0,62	-0,46	0,13	0,00	0,13	0,03
Dia mais longo, em horas	-0,21	0,06	0,23	-0,01	0,15	0,04	-0,19	0,19	-0,05	0,06	-0,05	-0,01	0,03	0,05	0,10	-0,12	0,22	-0,10
Período com mais ventos, em meses	-0,21	0,06	-0,10	0,05	-0,22	0,20	0,26	-0,08	0,15	0,33	-0,25	0,15	-0,05	0,03	0,13	0,08	0,05	-0,09
Período com menos ventos, em meses	0,21	-0,05	0,10	-0,04	0,22	-0,20	-0,27	0,08	-0,15	-0,33	0,25	-0,15	0,04	-0,03	-0,12	-0,08	-0,05	0,09
Elevação topográfica média em metros	0,19	-0,23	0,21	0,21	-0,23	-0,01	-0,13	-0,05	0,07	0,07	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	0,02	0,03	-0,17	0,02
Elevação topográfica mínima em metros	0,16	-0,23	0,20	0,23	-0,23	-0,01	-0,16	0,01	0,11	0,10	0,02	-0,03	-0,05	-0,06	0,01	0,06	-0,27	0,05
Elevação topográfica máxima em metros	0,21	-0,20	0,19	0,20	-0,22	-0,07	-0,07	-0,13	0,04	0,00	-0,11	0,08	0,06	0,07	-0,03	-0,18	0,12	0,00
Diferença entre elevação máxima e mínima em metros	0,20	-0,11	0,13	0,12	-0,15	-0,11	0,03	-0,20	-0,04	-0,07	-0,19	0,15	0,13	0,15	-0,06	-0,34	0,40	-0,04
Número total de bicicletas	0,05	0,16	0,13	-0,07	-0,02	0,15	0,11	0,08	0,47	-0,09	0,09	-0,11	0,10	0,28	0,23	-0,23	-0,06	0,57
Tempo de duração do sistema em dias	0,05	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,21	-0,03	-0,01	0,59	-0,41	0,16	-0,11	0,08	0,14	0,01	0,21	0,12	-0,43

APÊNDICE B - CARGAS DOS COMPONENTES PRINCIPAIS – BD2

Variável	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15
Densidade de quadras e blocos	0,11	0,03	0,11	0,04	-0,21	0,01	-0,12	0,31	-0,22	-0,23	0,08	0,16	-0,42	-0,02	0,08
Percentual de pessoas próximas a ciclovias protegidas	0,00	0,25	0,26	0,01	-0,13	-0,22	0,04	0,02	-0,21	-0,02	0,14	0,07	-0,15	-0,20	0,09
Percentual de pessoas próximas a próximas a serviços	0,17	0,23	0,03	0,19	-0,03	-0,18	-0,07	0,01	-0,07	0,04	-0,03	-0,02	0,08	-0,14	-0,17
Percentual de pessoas próximas a áreas sem carros	0,07	0,27	0,25	0,13	-0,10	-0,14	0,01	-0,08	-0,16	0,06	0,08	0,00	-0,16	-0,10	-0,03
Percentual de pessoas seguros de rodovias	-0,20	0,01	-0,07	-0,08	0,10	0,05	-0,07	0,16	0,14	-0,10	-0,20	0,11	0,15	-0,19	-0,25
População	0,18	0,21	-0,19	-0,17	0,14	0,09	0,04	0,03	-0,11	-0,04	-0,01	0,01	-0,12	-0,03	-0,06
Área	0,14	0,01	-0,08	-0,16	0,21	0,15	-0,05	0,09	-0,34	0,18	0,25	0,15	-0,01	0,28	0,14
Densidade	0,14	0,24	-0,17	0,01	-0,04	-0,13	0,14	0,03	0,23	-0,15	-0,20	-0,03	0,02	-0,05	-0,19
PIB	0,05	0,28	-0,19	-0,16	0,09	0,11	0,18	0,07	-0,05	-0,08	0,06	-0,13	0,08	0,07	0,14
PIB per capita	-0,22	0,17	0,04	-0,10	-0,05	0,11	0,08	-0,06	0,06	-0,13	0,10	-0,03	0,01	0,27	0,05
Rendimento domiciliar	-0,22	0,09	0,03	-0,06	0,01	0,09	0,13	-0,22	0,12	-0,16	0,13	0,05	0,03	0,24	0,07
Idade média	-0,09	-0,01	-0,14	0,17	0,20	-0,28	0,02	-0,34	-0,04	0,10	0,16	-0,07	-0,07	-0,41	0,11
Unidades habitacionais	0,17	0,24	-0,22	-0,15	0,15	0,06	0,06	0,04	-0,09	-0,04	-0,05	0,02	-0,12	-0,03	-0,04
Número de pessoas por habitação	0,20	-0,12	0,09	-0,11	-0,05	0,08	0,02	0,09	-0,11	-0,01	0,09	-0,16	0,15	0,12	-0,11
Percentual de pessoas com pelo menos ensino superior completo	-0,17	0,19	0,09	-0,09	-0,07	-0,01	0,11	-0,28	0,13	-0,11	0,06	0,15	-0,06	0,10	0,10
Percentual de pessoas ocupadas ou empregadas	-0,11	0,10	0,11	-0,20	-0,03	0,08	0,05	-0,10	0,24	-0,26	-0,19	0,44	-0,22	-0,07	-0,02
Frota de veículos	0,16	0,15	-0,20	-0,23	0,20	0,03	0,01	-0,02	-0,06	0,02	-0,07	-0,07	-0,25	0,02	-0,12
Percentual de pessoas com veículos	-0,11	-0,14	0,05	-0,25	0,23	-0,12	-0,04	-0,21	-0,01	0,11	-0,01	-0,06	-0,42	-0,06	-0,04
Tempo médio de deslocamento em minutos	0,19	0,19	-0,18	0,03	-0,02	0,01	0,07	-0,03	-0,01	-0,03	-0,14	0,09	0,03	-0,14	-0,03
Percentual estimado da população que utiliza veículo privado	-0,20	-0,16	0,05	-0,14	0,06	-0,02	-0,11	0,10	-0,13	-0,02	0,11	-0,06	-0,21	-0,02	-0,14
Percentual estimado da população que utiliza transporte pútlico	0,24	0,14	0,00	0,12	-0,01	-0,02	0,04	0,01	0,05	0,00	-0,09	-0,03	0,15	0,00	0,04
Percentual estimado da população que utiliza bicicleta	0,17	0,10	0,14	0,14	-0,08	-0,02	-0,08	0,05	-0,05	-0,09	0,13	0,46	0,17	0,11	0,10
Temperatura mínima média	0,15	-0,22	-0,20	0,18	0,04	0,04	0,08	-0,22	0,03	-0,06	0,08	0,19	-0,11	-0,01	0,04
Temperatura máxima média	-0,11	-0,20	-0,13	-0,02	0,16	0,08	0,12	0,25	-0,07	0,05	-0,18	0,30	0,08	-0,30	0,31
Amplitude térmica (Tmáx-Tmín)	-0,19	0,12	0,13	-0,18	0,03	0,00	-0,02	0,32	-0,06	0,08	-0,16	-0,05	0,14	-0,13	0,10
Período de temperatura elevada ou quente, em meses	-0,17	0,06	-0,18	-0,15	-0,01	-0,17	-0,15	0,07	-0,07	0,10	-0,02	0,23	0,15	-0,03	0,12
Período de temperatura baixa ou frio, em meses	-0,15	0,10	-0,16	-0,18	0,02	-0,11	-0,24	-0,10	-0,14	0,09	0,19	0,23	0,25	-0,13	-0,01
Período mais claro com poucas nuvens, em meses	0,08	-0,14	-0,23	-0,18	-0,23	-0,22	-0,25	0,01	0,03	-0,35	0,10	-0,11	0,03	-0,02	0,06
Período nublado, em meses	-0,08	0,14	0,23	0,18	0,23	0,22	0,25	-0,01	-0,03	0,35	-0,10	0,11	-0,03	0,02	-0,06
Período úmido, em meses	0,00	0,03	0,16	0,18	0,49	-0,04	-0,21	0,07	0,02	-0,34	0,00	-0,05	0,04	0,05	0,03
Período seco, em meses	0,00	-0,03	-0,16	-0,18	-0,49	0,04	0,21	-0,07	-0,02	0,34	0,00	0,05	-0,04	-0,05	-0,03
Período chuvoso/nevoso, em meses	0,10	-0,14	0,09	-0,15	0,13	-0,47	0,34	0,07	-0,01	-0,01	-0,02	0,10	0,09	0,18	-0,03
Período sem chuva/sem neve, em meses	-0,10	0,14	-0,09	0,15	-0,13	0,47	-0,33	-0,07	0,01	0,01	0,02	-0,10	-0,09	-0,18	0,03
Dia mais curto, em horas	0,21	-0,23	-0,05	0,08	0,02	0,13	0,09	-0,05	0,06	-0,08	-0,03	0,11	-0,11	-0,03	0,13
Dia mais longo, em horas	-0,21	0,24	0,05	-0,06	-0,01	-0,10	-0,11	0,02	-0,04	0,05	0,04	-0,12	0,10	0,06	-0,12
Período com mais ventos, em meses	-0,19	-0,07	-0,06	0,08	-0,05	0,09	0,35	0,10	-0,24	-0,26	0,15	-0,05	0,03	-0,16	-0,19
Período com menos ventos, em meses	0,19	0,07	0,06	-0,08	0,05	-0,09	-0,36	-0,10	0,24	0,26	-0,14	0,06	-0,03	0,16	0,18
Elevação topográfica média em metros	0,17	-0,05	0,28	-0,27	0,00	0,08	0,01	0,01	0,08	-0,02	-0,07	-0,10	-0,01	-0,17	0,06
Elevação topográfica mínima em metros	0,13	-0,06	0,29	-0,28	-0,06	0,04	0,01	0,04	0,10	0,01	-0,10	-0,13	0,03	-0,19	0,15
Elevação topográfica máxima em metros	0,18	-0,06	0,22	-0,25	0,03	0,15	0,00	-0,14	0,02	-0,04	0,14	0,02	0,19	-0,22	-0,09
Diferença entre elevação máxima e mínima em metros	0,16	-0,04	0,11	-0,16	0,10	0,19	0,00	-0,25	-0,05	-0,07	0,29	0,14	0,26	-0,19	-0,26
Número total de bicicletas	0,02	0,15	-0,06	0,01	0,07	0,00	0,17	0,21	0,39	0,00	0,46	-0,19	-0,01	-0,18	0,45
Tempo de duração do sistema em dias	0,02	-0,02	-0,04	0,03	0,04	-0,03	-0,05	0,36	0,45	0,23	0,41	0,20	-0,17	0,00	-0,43