



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

CLAUDIA MARCIA MOREIRA

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS AEROPORTOS
BRASILEIROS PRIVATIZADOS E NÃO PRIVATIZADOS
COM MODELOS PARAMÉTRICOS E NÃO
PARAMÉTRICOS**

TESE DE DOUTORADO

**Belo Horizonte
20 de dezembro de 2017**

CLAUDIA MARCIA MOREIRA

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS AEROPORTOS
BRASILEIROS PRIVATIZADOS E NÃO PRIVATIZADOS
COM MODELOS PARAMÉTRICOS E NÃO
PARAMÉTRICOS**

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Administração.

Orientador: Dr. Robert Aldo Iquiapaza Coaguila

Belo Horizonte
20 de dezembro de 2017

Ficha catalográfica

M838a
2017
Moreira, Claudia Marcia.
Análise de eficiência dos aeroportos brasileiros privatizados e não privatizados com modelos paramétricos e não paramétricos [manuscrito] / Claudia Marcia Moreira. – 2017.
196 f.: il., tabs.

Orientador: Robert Aldo Iquiapaza Coaguila.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração.
Inclui bibliografia (f. 158-168).

1. Aeroportos – Brasil – Teses. 2. Administração – Teses. 3. Produtividade – Teses. I. Iquiapaza, Robert Aldo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração. III. Título.

CDD: 658

Elaborada por Rosilene Santos CRB6-2527
Biblioteca da FACE/UFMG. – RSS 91/2022



Universidade Federal de Minas Gerais
Faculdade de Ciências Econômicas
Departamento de Ciências Administrativas
Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração

ATA DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM ADMINISTRAÇÃO da Senhora **CLAUDIA MARCIA MOREIRA**, REGISTRO Nº 188/2017. No dia 20 de dezembro de 2017, às 15:00 horas, reuniu-se na Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo Colegiado do Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração do CEPEAD, em 06 de dezembro de 2017, para julgar o trabalho final intitulado "**Análise de Eficiência de Aeroportos Brasileiros com Modelos Paramétricos e não Paramétricos**", requisito para a obtenção do **Grau de Doutor em Administração**, linha de pesquisa: **Mercadologia e Administração Estratégica**. Abrindo a sessão, o Senhor Presidente da Comissão, Prof. Dr. Robert Aldo Iquiapaza Coaguila, após dar conhecimento aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

APROVAÇÃO:

() APROVAÇÃO CONDICIONADA A SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS CONSTANTES NO VERSO DESTA FOLHA, NO PRAZO FIXADO PELA BANCA EXAMINADORA (NÃO SUPERIOR A 90 NOVENTA DIAS);

() REPROVAÇÃO.

O resultado final foi comunicado publicamente a candidata pelo Senhor Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Senhor Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 20 de dezembro de 2017.

NOMES

ASSINATURAS

Prof. Dr. Robert Aldo Iquiapaza Coaguila.....
 ORIENTADOR (CEPEAD/UFMG)

Prof. Dr. Carlos Alberto Gonçalves.....
 (CEPEAD/UFMG)

Prof. Dr. Márcio Augusto Gonçalves.....
 (CEPEAD/UFMG)

Prof. Dr. José Edson Lara.....
 (Faculdades Integradas de Pedro Leopoldo/MG)

Profª. Drª. Teresinha Moreira de Magalhães.....
 (Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais)

À minha mãe Neuza que me ensinou a ser justa mesmo que acima de meus próprios interesses, que nunca desistiu de mim e me amou incondicionalmente, até o nosso momento final. No mesmo hospital em que nasci (Hosp.Belo Horizonte), você se foi. . . Mãos dadas entrelaçadas a esperar o seu momento do adeus. Te amo e vou encontrá-la novamente. Essa tese é sua, para você e por você. Ao meu Pai Gilberto, pelo carinho, cuidado, proteção e amizade, te amo por toda a minha vida. Agradeço por terem me dado a oportunidade de vir a este mundo, pela educação que recebi e ensinamentos que carrego em minha alma.

Agradecimentos

Agradeço a todos os que colaboraram e contribuíram para a realização deste trabalho em especial:

À Deus, criador do universo, fonte de inteligência e energia por meio do qual eu cheguei até este momento.

Ao Governo Federal da República Federativa do Brasil.

Ao Ministério da Educação.

À CAPES REUNI pelo apoio recebido.

Ao Prof. Dr. Robert, meu orientador, pela paciência, compreensão, companheirismo e por me fornecer a pedra angular desse trabalho, por me ensinar com tanta simplicidade coisas que só um ser muito iluminado pode fazer. Dedico meu trabalho ao conhecimento que adquiri de si. Nutro uma especial admiração que pelas suas virtudes, seu caráter, sua personalidade disciplinada e humilde, e seu saber que é absolutamente ímpar.

Ao Prof. Dr. Reynaldo Maia Muniz, meu professor.

Ao professor Dr. Márcio Augusto Gonçalves que terei uma gratidão eterna. Sua confiança, positividade e simplicidade me foram essenciais.

Ao Prof. Dr. Hudson Amaral pelo apoio e conselhos recebidos, pelo carinho e cordialidade.

Ao Prof. Carlos Alberto por aguçar a minha lógica com tantas perguntas que ainda estou tentando responder.

À professora Dra. Janete Lara pelas orientações recebidas e pelo direcionamento.

Aos professores que trouxeram mais luz ao meu saber e me mostrarem o quanto ainda tenho que aprender Bruno Pérez, Francisco Vidal Barbosa e Miria Miranda Oleto.

À Andrea Linhares pelo apoio, carinho, amizade, sustentação e força presentes em meu caminho, em especial nestes anos da tese. À Maria Helena e Norberto Manini pela amizade eterna. À família Linhares: Minha família na Terra.

À Ecy Antônia Amado por simplesmente existir em minha vida e contribuir com seu saber e visão. Tento seguir seus exemplos e aprimorar o gosto pelos poemas, livros e arte. Minha mãe materna se foi mas deixou você, Minha segunda mãe.

À Maria Zenaida Amado da Mata por tanto amor que me dedica por toda a vida. Ao seu esposo Ilacir, dócil pessoa a quem tenho como um quase pai, à Roseane e Alexandre meus primos e irmãos.

Aos meus irmãos Gustavo e Gilberto que amo profundamente.

Aos colegas do Doutorado em Administração da Universidade Federal de Minas Gerais, pelo suporte em cada etapa do curso, em especial, a Christiane Miranda.

Ao pessoal do Colegiado da Pós Graduação e da graduação. É difícil dizer em especial à alguém porque vocês são pessoas valiosas e foram meus colegas, são meus

amigos, foram meu esteio. À Érika, com muito carinho; Fernanda, Vera, à Luciana, Marli e Gustavo.

Não posso deixar de dedicar também ao pessoal do Colegiado do Curso de Controladoria e Finanças por amizade, carinho, incentivo e me faltam palavras escritas ou faladas: Jane Mary, Adriana e Luciana. Espero que nossos laços não se esvaíam com o tempo. Eu aprendi muito com vocês, são um grupo e tanto!

Resumo

Este estudo tem como objetivo principal a análise da eficiência de aeroportos brasileiros recém privatizados pelo Brasil e administrados pela Infraero, totalizando 59, utilizando as bases de dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. Nesse modelo estudado, a medida utilizada para representar o desempenho dos aeroportos foi a quantidade de movimentação de aeronaves para as variáveis que determinam o desempenho. Levou-se em conta passageiros, carga aérea e mala posta como saídas ou produtos (variáveis independentes) e movimentação de aeronaves como insumo ou entradas (variável dependente). Foi realizada uma Análise Envoltória de Dados (DEA), a fronteira estocástica (SFA), a livre disposição (FDH) e análise clusterizada com DEA (Fuzzy C-Means DEA). Com a identificação dos aeroportos mais eficientes, diante dos inputs e outputs considerados, realizou-se uma avaliação comparativa entre aeroportos privatizados e não privatizados buscando sedimentar a controvérsia entre pesquisadores de que a privatização leva inexoravelmente à eficiência. Concluiu-se que as eficiências mostram que há indícios de aumento da eficiência. Desta forma, a eficiência fornecida pelos métodos, comparativa com os demais parâmetros inseridos na análise, é maior quanto maior for a proporção de movimentos em relação ao tamanho da infraestrutura disponível do aeroporto observado. Os resultados encontrados mostram também que o tamanho de um aeroporto não foi determinante para atribuir eficiência, embora seja critério relevante para impulsionar melhorias no seu desempenho. A inovação trazida neste trabalho foi a utilização de métodos paramétricos e não paramétricos bem como Fuzzy C-Means. Os aeroportos foram ranqueados em função dos métodos e variáveis homogêneas foram utilizadas levando em conta a heterogeneidade dos aeroportos em si em função do tamanho e capacidade.

Palavras chaves: Eficiência de aeroportos brasileiros. Análise de eficiência. Privatização. Análise envoltória de dados. Eficiência operacional. Mudanças na produtividade.

Abstract

This study has as main objective the analysis of the efficiency of Brazilian airports recently privatized by Brazil and managed by Infraero, totaling 59, using the databases of the National Civil Aviation Agency (ANAC) and the Brazilian Airport Infrastructure Company (INFRAERO) of 2012, 2013, 2014, 2015 and 2016. In this model studied, the measure used to represent the performance of airports was the amount of aircraft movement for the variables that determine performance. Passengers, air cargo and suitcases taken as exits or products (independent variables) and aircraft movement as input or inputs (dependent variable) were taken into account. Data Envelopment Analysis (DEA), the stochastic frontier (SFA), free disposal (FDH) and cluster analysis with DEA (Fuzzy C-Means DEA) were performed. With the identification of the most efficient airports, given the inputs and outputs considered, a comparative assessment was carried out between privatized and non-privatized airports, seeking to settle the controversy among researchers that privatization leads inexorably to efficiency. It was concluded that the efficiencies show that there are signs of increased efficiency. In this way, the efficiency provided by the methods, compared with the other parameters inserted in the analysis, is greater the greater the proportion of movements in relation to the size of the available airport infrastructure observed. The results found also show that the size of an airport was not decisive for attributing efficiency, although it is a relevant criterion to drive improvements in its performance. The innovation brought about in this work was the use of parametric and non-parametric methods as well as Fuzzy C-Means. The airports were ranked according to the methods and homogeneous variables were used taking into account the heterogeneity of the airports themselves due to their size and capacity.

Keywords: Brazilian Airport Performance. Efficiency analysis. Privatization. Data envelopment analysis. Operational efficiency. Productivity changes.

Lista de ilustrações

| | |
|---|-----|
| Figura 1 – Evolução da quantidade de passageiros pagos transportados – mercados nacional e internacional, 2007 a 2016 | 48 |
| Figura 2 – Variação da quantidade de passageiros pagos transportados – mercados nacional e internacional, 2007 a 2016 | 48 |
| Figura 3 – Variação do PIB brasileiro, de 2007 a 2016 | 49 |
| Figura 4 – Evolução da população brasileira, 2007 a 2016 | 49 |
| Figura 5 – Evolução da quantidade de passageiros interestaduais de longa distância transportados pelos modais aéreo e rodoviário, 2007 a 2016 | 50 |
| Figura 6 – Distribuição dos embarques 20 mais expressivos aeroportos – mercado nacional, 2016 | 50 |
| Figura 7 – Ranking de Passageiros transportados por 16 aeroportos mais movimentados no ano de 2016 | 53 |
| Figura 8 – Eficiência técnica e eficiência distributiva | 55 |
| Figura 9 – Eficiência e entradas excesso | 57 |
| Figura 10 – Fonteira de Rendimentos Constantes | 57 |
| Figura 11 – FDH orientado a Input | 76 |
| Figura 12 – FDH orientado a Output | 76 |
| Figura 13 – Representação da função pertinência | 79 |
| Figura 14 – Algoritmo Fuzzy C-means | 82 |
| Figura 15 – Mapa Perceptual via Análise de Componentes Principais | 91 |
| Figura 16 – Índice entrópico | 99 |
| Figura 17 – Descrição das variáveis ao longo do tempo | 101 |
| Figura 18 – Mediana das variáveis ao longo do tempo. | 102 |
| Figura 19 – Descrição das variáveis por aeroporto | 104 |
| Figura 20 – Mediana de aeroportos privatizados e não privatizados ao longo de 2012-2016 | 105 |
| Figura 21 – Descrição da movimentação mediana de aeronaves por aeroporto . | 106 |
| Figura 22 – Descrição do número de passageiros mediano por aeroporto. | 107 |
| Figura 23 – Descrição da carga aérea mediana por aeroporto | 108 |
| Figura 24 – Descrição da mala postal mediana por aeroporto | 109 |
| Figura 25 – Descrição da movimentação mediana de aeronaves por aeroporto . | 110 |
| Figura 26 – Descrição da movimentação mediana de passageiros por aeroporto | 111 |
| Figura 27 – Descrição da mala postal mediana por aeroporto. | 112 |
| Figura 28 – Descrição da mala postal mediana por aeroporto. | 112 |
| Figura 29 – Categorização dos aeroportos ANAC | 114 |
| Figura 30 – Classificação quanto ao Porte do Aeroporto por Faixa de Passageiros processados por Ano | 115 |

| | |
|--|-----|
| Figura 31 – Aeroportos classificados em função do número de passageiros processados | 116 |
| Figura 32 – Aeroportos classificados em função do número de passageiros processados | 117 |
| Figura 33 – Eficiências média por aeroporto 2012-2016 | 118 |
| Figura 34 – Eficiências média por aeroporto 2012-2016 | 119 |
| Figura 35 – Formulação T^* | 121 |
| Figura 36 – Tecnologia FDH | 121 |
| Figura 37 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstap-VRS | 124 |
| Figura 38 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstap-VRS | 125 |
| Figura 39 – Eficiência por aeroporto– VRS Média | 126 |
| Figura 40 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstap-CRS | 128 |
| Figura 41 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstap-CRS | 129 |
| Figura 42 – Eficiências e ranking comparativos por método | 130 |
| Figura 43 – Eficiências e ranking comparativos por método | 131 |
| Figura 44 – Eficiências média 2012-2016 CRS,VRS e FDH | 132 |
| Figura 45 – Eficiências média 2012-2016 CRS,VRS e FDH | 133 |
| Figura 46 – Eficiência Bootstrap por aeroporto e por ano – FDH. | 135 |
| Figura 47 – Eficiência Bootstrap por aeroporto e por ano – FDH | 136 |
| Figura 48 – Gráfico de dispersão das eficiências (FDH1-elaborado a partir da supereficiência) | 137 |
| Figura 49 – Regressões Tobit para a eficiência | 139 |
| Figura 50 – Regressões Tobit para a eficiência – Aeroportos com mais de 3 milhões de passageiros por ano | 141 |
| Figura 51 – Previsão das eficiências para 2017, 2018 e 2019 | 142 |
| Figura 52 – Regressão Linear de Efeitos Mistos | 143 |
| Figura 53 – Representação dos Efeitos Aleatórios - VRS | 144 |
| Figura 54 – Representação dos Efeitos Aleatórios - CRS. | 146 |
| Figura 55 – Representação dos Efeitos Aleatórios - FDH. | 148 |
| Figura 56 – Representação dos Efeitos Aleatórios - SFA. | 150 |
| Figura 57 – Modelo CCR proporção | 151 |
| Figura 58 – Clusters Fuzzy e valor do índice entrópico | 152 |
| Figura 59 – Eficiência por aeroporto e por ano com Fuzzy Cmeans. | 153 |
| Figura 60 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS | 170 |
| Figura 61 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS | 170 |
| Figura 62 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS | 171 |
| Figura 63 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS | 172 |
| Figura 64 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS | 172 |
| Figura 65 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS | 173 |

| | |
|--|-----|
| Figura 66 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS | 174 |
| Figura 67 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 174 |
| Figura 68 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 175 |
| Figura 69 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 176 |
| Figura 70 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 176 |
| Figura 71 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 177 |
| Figura 72 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 178 |
| Figura 73 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 178 |
| Figura 74 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 179 |
| Figura 75 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS | 180 |
| Figura 76 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 181 |
| Figura 77 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 182 |
| Figura 78 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 183 |
| Figura 79 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 183 |
| Figura 80 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 184 |
| Figura 81 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 185 |
| Figura 82 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 185 |
| Figura 83 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH | 186 |
| Figura 84 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA | 187 |
| Figura 85 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA | 188 |
| Figura 86 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA | 189 |
| Figura 87 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA | 190 |
| Figura 88 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA | 191 |
| Figura 89 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA | 192 |

Lista de quadros

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Minimização de Input e Maximização de Output | 69 |
| Quadro 2 – Minimização de Input e Maximização de Output envelopada | 70 |
| Quadro 3 – Modelo envelopado de minimização de Inputs BCC-1 e Maximização de Output - BCC-0 | 72 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Serviços aeroportuários | 38 |
| Tabela 2 – Correlação entre as componentes do modelo DEA e a eficiência . . | 89 |

Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|----------|---|
| ANAC | Agência Nacional de Aviação Civil |
| ASK | Assentos-quilômetro oferecidos |
| BAA | British Airport Authority |
| BCC | Banker, Charnes & Cooper |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| BSB | Aeroporto Internacional de Brasília |
| CCR | Charnes, Cooper & Rhodes |
| CRS | Constant Return to Scale |
| DEA | Análise envoltória de dados |
| DMU | Decision Making Unit |
| EP | Eficiência Produtiva |
| ET | Eficiência Técnica |
| FCM | Fuzzy C-Means |
| FDH | Free Disposal Hull |
| FTP | Fator total de produtividade |
| FVP | Fator Variável de Produtividade |
| GEE | Generalized Equations Estimating |
| GIG | Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro-Galeão ou Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim |
| GRU | Aeroporto Internacional de Guarulhos |
| IATA | International Air Transport Association, ou Associação Internacional de Transporte Aéreo, em português. |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INFRAERO | Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária |
| PIB | Produto Interno Bruto |

| | |
|------|--|
| PND | Programa Nacional de Desestatização |
| RCE | Retornos constantes de escala |
| ROR | Return on Regulation |
| SBAR | Aeroporto de Aracaju |
| SBBE | Sociedade Bíblica Britânica e Estrangeira |
| SBBH | Aeroporto de Belo Horizonte (Pampulha) |
| SBBR | Aeroporto Internacional de Brasília |
| SBCF | Aeroporto Internacional de Confins |
| SBCG | Aeroporto Internacional de Campo Grande |
| SBCM | Aeroporto de Criciúma |
| SBCP | Sociedade Brasileira de Cirurgia Plástica |
| SBCR | Aeroporto Internacional de Corumbá |
| SBCT | Aeroporto Internacional de Curitiba |
| SBGO | Aeroporto de Goiânia |
| SBGR | Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos |
| SBHT | Aeroporto de Altamira |
| SBIL | Aeroporto de Ilhéus |
| SBIZ | Aeroporto de Imperatriz |
| SBJP | Aeroporto Internacional de João Pessoa |
| SBJU | Aeroporto de Juazeiro do Norte |
| SBJV | Aeroporto de Joinville |
| SBKG | Aeroporto de Campina Grande |
| SBKP | Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos |
| SBLO | Aeroporto de Londrina |
| SBMA | Aeroporto de Marabá |
| SBME | Aeroporto de Macaé |

| | |
|------|---|
| SBMK | Aeroporto de Montes Claros |
| SBMO | Aeroporto Internacional de Maceió |
| SBMQ | Aeroporto Internacional de Macapá |
| SBNF | Aeroporto Internacional de Navegantes |
| SBNT | Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo |
| SBPA | Aeroporto Internacional de Porto Alegre |
| SBPB | Aeroporto Internacional de Parnaíba |
| SBPJ | Aeroporto de Palmas |
| SBPK | Aeroporto Internacional de Pelotas |
| SBPL | Aeroporto Internacional de Petrolina |
| SBPV | Aeroporto Internacional de Porto Velho |
| SBRB | Aeroporto de Rio Branco |
| SBRF | Sistemas Baseados em Regras Fuzzy |
| SBRJ | Aeroporto Santos-Dumont |
| SBSJ | Aeroporto Internacional de São José dos Campos |
| SBSL | Aeroporto Internacional de São Luiz |
| SBSN | Aeroporto Internacional de Santarém |
| SBSP | Aeroporto de Congonhas |
| SBSV | Aeroporto Internacional de Salvador |
| SBTE | Aeroporto de Teresina |
| SBTF | Aeroporto de Tefé |
| SBTT | Aeroporto Internacional de Tabatinga |
| SBUF | Aeroporto de Paulo Afonso |
| SBUG | Aeroporto Internacional de Uruguaiana |
| SBUL | Aeroporto de Uberlândia |
| SBUR | Aeroporto de Uberaba |

| | |
|------|---|
| SBVT | Aeroporto Internacional de Vitória |
| SFA | Stochastic Frontier Analysis |
| US | United States |
| VCP | Aeroporto Internacional de Campinas - Viracopos |
| VRS | Variable returns to scale |
| WLU | Working Load Unit |

Sumário

| | | |
|------------|---|------------|
| 1 | Introdução | 20 |
| 1.1 | Objetivos | 24 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 24 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 24 |
| 1.2 | Justificativa | 25 |
| 2 | Revisão da Literatura | 28 |
| 2.1 | Investimentos em infraestrutura de transporte | 28 |
| 2.2 | Regulação | 31 |
| 2.2.1 | Aspectos históricos econômicos do liberalismo e seus antecedentes justificativos para a teoria da regulação | 32 |
| 2.2.2 | Da Regulação: conceito, características e principais teorias | 34 |
| 2.2.3 | Modos de regulação de preços | 37 |
| 2.2.4 | Regulação de preços em aeroportos | 38 |
| 2.3 | Privatização no setor aéreo | 42 |
| 2.3.1 | Antecedentes gerais à privatização de aeroportos no Brasil | 45 |
| 2.3.2 | Cenário do setor aéreo brasileiro | 47 |
| 2.4 | Conceitos elementares de eficiência e produtividade | 53 |
| 2.4.1 | Fundamentos teóricos de medição | 54 |
| 3 | Análises comparativas | 59 |
| 4 | Métodos | 64 |
| 4.1 | Análise envoltória de dados - DEA | 64 |
| 4.1.1 | Análise envoltória de dados com <i>bootstrap</i> | 73 |
| 4.2 | Fronteira estocástica- SFA | 74 |
| 4.3 | Free Disposal Hull – Livre Disposição | 75 |
| 4.4 | Fuzzy-DEA – Análise envoltória de dados | 77 |
| 5 | Materiais e Métodos | 85 |
| 5.1 | Amostra | 85 |
| 5.2 | Variáveis | 87 |
| 5.3 | Seleção das variáveis e validação | 88 |
| 5.4 | Procedimentos de análise | 94 |
| 5.4.1 | Procedimentos para análise Fuzzy C-Means DEA | 99 |
| 6 | Resultados e Discussão | 101 |
| 6.1 | Análise descritiva | 101 |

| | | |
|------------|---|----------------|
| 6.1.1 | Segundo Estágio | 137 |
| 6.1.2 | Comportamento das eficiências ao longo do tempo | 142 |
| 6.1.3 | Análise Fuzzy | 151 |
| 6.2 | Considerações finais | 154 |
| 6.3 | Conclusão | 154 |
| | | 155 |
| | Referências | 158 |
| | ANEXOS | 169 |
| | | 170 |

1 Introdução

A liberalização e a desregulamentação do tráfego aéreo mudou a economia globalizada, ao inserir aeroportos em um ambiente transnacional competitivo. A eficiência dos aeroportos vem aumentando em compasso com a importância estratégica do movimento de pessoas e da carga aérea no globo, (ADLER e LIEBERT, 2014).

A maioria dos aeroportos até meados de 1980 eram predominantemente de propriedade estatal. Nos últimos 20 anos de privatização (total e parcial), houve uma comercialização e internacionalização muito mais fortes dos aeroportos (GRAHAM, 2008). Ainda, conforme a autora, a existência e a manutenção dos aeroportos conferem impactos em renda, investimentos, receitas oriundas de arrecadação de impostos e taxas (relativas às atividades aeroportuárias), incremento do turismo, melhoria das vias urbanas. Como resultado disso, os aeroportos estão sob uma tremenda pressão para atualizar sua eficiência em face da concorrência. O modelo de propriedade sinaliza uma tendência de comparação mundial, nesse caso uma análise comparativa de eficiência é uma das maneiras de direcionar para as melhores práticas de gerenciamento.

Em áreas densamente povoadas, como Europa e Estados Unidos, os aeroportos estão se tornando cada vez mais competitivos de modo que muitos países estão debatendo se eles ainda devem ser regulamentados ou se a regulação em condições competitivas pode ser reformada, (FORSYTH, 2010). O aumento da pressão sobre os custos devido à elevada concorrência das empresas aeroportuárias, a privatização e a comercialização, bem como os regimes regulatórios reformados, tornar-se-ão determinantes para o desenvolvimento da indústria aeroportuária e sua eficiência na competição aeronáutica.

A desregulamentação da aviação criou, pela primeira vez, interessados em medir a eficiência das companhias aéreas para quantificar estes efeitos. No momento em que os aeroportos ainda estavam em plena propriedade do Estado, não havia interesse em se medir o desempenho deles, através de ferramentas de comparação de eficiência como com a ajuda da medida parcial de produtividade que esta é relacionada a uma entrada e a uma saída, principalmente a Unidades de Carga de Trabalho (WLU), calculada, (DOGANIS et al., 1995).

O tráfego aéreo aumentou o interesse pela comparação de aeroportos. A partir desse ponto o *benchmarking* foi usado como uma ferramenta de gerenciamento para manter uma posição competitiva através de melhoria em identificação e adaptação das melhores práticas, (GRAHAM, 2001).

O nível de desenvolvimento na avaliação comparativa de aeroportos está em ascensão, ao passo que o nível de outras indústrias de transporte já há cerca de trinta anos trazem interesse pelo tema. Para Graham (2005) uma razão para o início tardio

de uma comparação de desempenho reside na heterogeneidade dos aeroportos: em termos de qualidade, propriedade e regulação de preços, oferta de serviços (operações aéreas e terrestres) e outros fatores, como localização e fatores ambientais são muito diferentes.

É difícil colocar todos os aeroportos em um modo que possibilite uma comparação significativa, especialmente se contextualizados em um aspecto econômico mundial, (OUM et al.2003). A heterogeneidade *per se* torna difícil criar um modelo de eficiência relativo que se adapte em qualquer aeroporto, qualquer situação e toda forma de propriedade.

Devido ao interesse relativamente tardio em relação à eficiência, o método de medição parcial apenas faz sentido, se o desempenho geral de uma empresa for considerado, (FORSYTH, 2000). O Fator Total de Produtividade (FTP), que mede a produtividade geral agregando múltiplas entradas ou saídas em, uma entrada ou saída total virtual, o índice de saída é avaliado.

Hooper e Hensher (1997) realizaram uma análise usando índices multilaterais e examinaram seis aeroportos australianos, ao longo de um período de 4 anos. Em geral, esse método da FTP supera o problema de que a produtividade é apenas parcialmente considerada. No entanto, ele (o método) precisa de alguns dados financeiros para corresponder às variáveis pesos que muitas vezes não estão disponíveis. Nesse caso, a análise envoltória de dados (DEA) é um método mais vantajoso, porque entradas e saídas não são caracterizadas por custos e receitas. Na DEA, há uma “fronteira eficiente”: a eficiência relativa dos aeroportos é medida com base em fatores comparáveis. Porém, permanece a heterogeneidade dos aeroportos em função dos serviços prestados, que não necessariamente são concernentes apenas à atividade fim. A solução emprestada da lógica computacional, para mitigar os efeitos heterogêneos buscando-se um número menor de aeroportos eficientes mostra-se como uma possível saída.

Uma vez que os modelos de negócios dos aeroportos são muito complexos, em geral, muitos estudos se concentram frequentemente em áreas individuais no aeroporto. Gillen e Lall (1997), bem como Pels, Nijkamp e Rietveld (2001) dividiram o aeroporto em uma área de terra e ar para medição de eficiência. Essa subdivisão é muito útil em economias (de escala), para se analisar as variáveis constantes de escala e de retornos. Por vezes, foram utilizados vários métodos para se medir o desempenho dos aeroportos e uma seleção diferente de entradas e saídas.

Parker (1999) examinou novamente o desempenho dos britânicos (usando a DEA) na Autoridade de Aviação Britânica (BAA) antes e depois da privatização (1979/80 e 1995/96). Ele chegou ao resultado que o processo de privatização não tem impacto na eficiência. Além disso, foram observadas economias crescentes de escala, com a uma possível extensão na redução de custos permanecendo desconhecida. Embora a influência da privatização na eficiência dos aeroportos já tenha se tornado um problema

fixo na área de análises comparativas.

Parker (1999) concluiu que o processo de privatização pode ter influenciado de forma positiva o aumento da eficiência nos aeroportos pesquisados. Tendo em vista os diferentes graus de eficiência, Román (2006) estabeleceu políticas do plano de privatização do governo na Espanha. Barros e Sampaio (2004) trazem que o processo de privatização pelas autoridades aeroportuárias pode elevar o desempenho dos aeroportos considerados eficientes. Yokomi (2005) analisou os aeroportos do Reino Unido entre 1975 e 2001 e concluiu que os eles melhoraram seus índices de desempenho após a privatização e o crescimento foi significativo. Em relação ao modelo de propriedade os aeroportos operados por empresas de capital misto são robustamente mais eficientes do que aqueles que possuem operação exclusivamente gerida por governos. Barros e Dieke (2008) trazem os *hubs* ou aeroportos italianos parcialmente privatizados são mais eficientes do que os controlados pelo setor público. Na sequência Gitto e Mancuso (2012) dizem que o tipo de concessão dos aeroportos italianos podem influenciar positivamente a eficiência técnica deles. Os autores realizaram um estudo com 28 aeroportos italianos entre 2000-2006 e não conseguiram estabelecer uma relação entre a governança quer seja pública ou privada e os níveis de eficiência encontrados. Entre 2000 e 2007 Perelman e Serebriski estudaram 21 aeroportos na América Latina e concluíram que os níveis de eficiência são melhores nos aeroportos privatizados.

Muitos aeroportos estão em ascensão e a privatização deverá mudar o comportamento competitivo. O foco desta pesquisa no Brasil é porque há uma atração, por parte de investidores estrangeiros, pelo setor aeronáutico por ocasião das privatizações recentes e daquelas que estão por vir. Estudos já elaborados em países que experienciaram a privatização possuir resultados mais profícuos em relação à eficiência.

A demanda brasileira doméstica de transporte aéreo de passageiros mais do que triplicou entre 2003 e 2012. Em relação à passageiros/quilômetros pagos transportados, houve uma alta de 234%, com crescimento médio de 14,35% ao ano, no mesmo período. Esse índice mais que dobrou quando considerados os voos internacionais com origem ou destino no Brasil. O país é o quarto maior mercado do mundo em vôos domésticos, atrás apenas dos Estados Unidos, China e Japão, segundo a Organização de Transporte Aéreo Internacional (IATA), *apud* Infraero.

A Infraero, sendo uma empresa de capital misto no setor aeroportuário, até meados de 2012, era responsável por administrar 67 aeroportos nacionais, tendo participação em cerca de 97% dos passageiros transportados anualmente. O mercado brasileiro opera no regime de livre concorrência e qualquer empresa aérea pode nele operar, desde que respeitados os ditames legais e limites operacionais de cada aeroporto. As normas de prestação de serviço são expedidas pela reguladora ANAC, nos termos do art. 48 da Lei n.º 11.182/2005. O país privatizou, desde então, seis dos

seus aeroportos de maior tráfego responsáveis em conjunto por quase 50% do volume anual, de deslocamentos aéreos.

De modo a atender as demandas da Copa do Mundo de 2014 e das Olimpíadas de 2016, o setor desenvolveu o aumento da capacidade aeroportuária com inclusão, ampliação e reforma de terminais de passageiros e carga. A construção de pistas, pátios para aeronaves e torres de controle de sistemas operacionais (transporte de bagagens e pontes de embarque) dentre outros, melhora a infraestrutura para abarcar o impacto do aumento da demanda oriunda desses eventos. Nesse caso, tratava-se de investimentos do governo federal.

No entanto, há que se destacar as mudanças na regulação e reestruturação de processos por meio da terceirização. Fato esse que impacta diretamente nas receitas reguladas e não reguladas dos aeroportos provenientes de serviços inerentes à atividade aeroportuária. Conforme Oum et al. (2006) também há uma escassa evidência empírica acerca da eficiência das privatizações, em geral. Os autores afirmaram que apenas um estudo empírico testou o efeito da governança do aeroporto sobre sua eficiência produtiva, (AIROLA e CRAIG, 2001). Os autores examinaram 51 aeroportos dos Estados Unidos e comparou apenas uma medida de produtividade (movimentos e aeronaves).

Oum et al. (2006) chegaram aos resultados que os aeroportos operados por empresas de capital misto são significativamente menos eficientes que aeroportos de propriedade e operação exclusivamente públicas. Além disso, os aeroportos governamentais estadunidenses não são significativamente menos eficientes que os aeroportos mantidos por empresas com participação majoritária privada. Ademais, segundo eles, as formas de propriedade mais ineficientes são as que têm maioria governamental ou múltipla propriedade de vários níveis de governo (União, Estados e Municípios). Os aeroportos administrados por órgãos governamentais estadunidenses não são significativamente tão diferentes dos aeroportos de autoridades aeroportuárias com vistas à eficiência.

Lin e Hong (2003) e Oum et al.(2003) mediram os efeitos da propriedade no mundo e revelaram que não há relação significativa que expresse o que quer seja do ponto de vista financeiro ou de operações.

A investigação dos aeroportos brasileiros é uma tendência uma vez que a privatização do setor transformará os aeroportos brasileiros com padrões internacionais. Isso pode ser em parte devido à alta integração vertical de aeroportos. Cerca de 40% da movimentação dos aeroportos brasileiros passaram da administração pública para a privada e são regulados por um método baseado em custos pela agência Nacional de Aviação civil (ANAC).

Em relação a estudos que tratem da análise de aeroportos brasileiros à luz da eficiência temos que: Fernandes e Pacheco (2002) analisaram 35 aeroportos no Brasil

em 1998, utilizando DEA (retornos constantes de escala) CRS e DEA (retornos variáveis de escala) VRS, orientado à saída, tomando como essa variável o fluxo de passageiros. Fernandes e Pacheco (2003) elaboraram um estudo de 35 aeroportos do Brasil em 1998 e utilizaram DEA/VRS orientado a *inputs* para o modelo gerencial e orientado a *outputs* para o modelo operacional. Pacheco et al.(2006) fizeram um estudo de 58 aeroportos do Brasil entre 1998 e 2001. Wanke (2012; 2013) trouxe uma comparação entre 63 aeroportos brasileiros em 2009, portanto, antes da privatização dos aeroportos, utilizando análise envoltória de dados. Oliveira Neto e Wichmann (2014) avaliaram a eficiência técnica (ET) da infraestrutura dos sessenta e três principais aeroportos do Brasil. Os autores utilizaram uma abordagem não paramétrica relativamente nova não explorada pela literatura de ET em aeroportos chamada *order-m*, proposta por Cazals et al. (2002), e na qual os aeroportos são comparados com uma fronteira de entrada mínima esperada.

Portanto, em face da literatura não ser consensual, ao tratar a privatização como condicionante para o incremento da eficiência, levanta uma hipótese: se houver sempre eficiência em privatização de aeroportos, é necessário testar e buscar métodos que comprovem a veracidade de tal afirmativa relativamente ao setor aeroportuário brasileiro. Visto que existe a discordância parcial entre os pesquisadores quanto aos resultados gerados por um ou outro método, certos casos chegam a ser enfáticos. O que torna o terreno não sedimentado e propício para esta pesquisa doutoral.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é determinar se a evolução da eficiência dos aeroportos nacionais privatizados, ora administrados pela Infraero, em um universo de cinco anos, entre 2012 e 2016, tem de fato aumentado, tendo em vista o modo de transição de propriedade dos mesmos.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos dessa pesquisa são:

- 1) Analisar os índices de eficiência de aeroportos privatizados;

- 2) Verificar se a implantação do modelo de privatização gerou eficiência em aeroportos;
- 3) Levantar índices de eficiência de aeroportos não privatizados;

1.2 Justificativa

Com sua infraestrutura baseada em serviços e mercadorias, os aeroportos começaram a ser vistos como monopólio natural com economias de escala e relevante poder de mercado, CZERNY (2006). Desse modo, para ampliar a eficiência e diminuir a exploração do mercado pelo poder deste (mercado), a maioria dos aeroportos mundiais são regulados. Assim como as companhias aéreas, os aeroportos que eram, em sua maior parte, pertencentes ao setor público; foram desregulados e iniciaram uma transição para a iniciativa privada, quer seja para exploração completa, total ou sob a forma de parceria público-privada.

A privatização das companhias aéreas foram marcadas por sucesso e os empreendimentos pressionaram os aeroportos nesse sentido, os quais na Europa, esteio desse movimento, eram sujeitos a uma regulação, (GILLEN,2011). No entanto, os estudos em regulação, há quase quatro décadas, já preconizavam que os procedimentos com ela aumentavam a capitalização ao invés de aumentar a eficiência, (AVERCH e LELAND,1962). Foi quando um certo número de aeroportos adotou um método de incentivo à regulação, tendo o preço-teto ou *price-cap* proposto por Littlechild (1983) como o primeiro a ser utilizado na Inglaterra por meio da *British Airports Authority* (BAA), privatizada nos anos oitenta.

O crescimento da desregulação e o advento da privatização no setor aéreo, por sua natureza, contribuíram para aumento das taxas de produtividade e eficiência. Por esse motivo em especial, estão sujeitas à avaliação de desempenhos. Conforme Graham (2005), o interesse em análises comparativas de aeroportos seria o resultado de mudanças de propriedade e da liberalização, comercialização e globalização que influenciou fortemente o crescimento dos negócios aeroportuários, a competitividade e a complexidade.

Os aeroportos são mix heterogêneos de serviços: enquanto uns oferecem apenas serviços de pouso e decolagem de passageiros, outros oferecem também serviços de carga, hotelaria, serviços destinados a atender aos aeroportos, aos clientes dele e estacionamentos, dentre outros. Isso demonstra os estágios de determinados

aeroportos como sendo e sofrendo influência de centros urbanos ou não. Esse é o caso de aeroportos domésticos regionais e internacionais dentro do controle de um administrador ou de vários, a depender da estrutura dos mesmos. Isso não significa que um aeroporto seja a versão menor de outro maior, (FORSYTH et.al., 2011).

Os governos interessam-se pelo desempenho dos aeroportos. Há a tese de que as privatizações e mudanças no ambiente regulatório do setor impactam positivamente nessa sua eficiência.

A relevância do setor cobre características que se destacam: inserção internacional do país; contas externas impactadas por flutuações cambiais e importações; integração e desenvolvimento regional uma vez que serve para embasar políticas públicas/ de fomento regional (dos mais de cinco mil municípios brasileiros, o transporte aéreo regular é provido para duzentos, Gomes et al.(2002); importância na economia (na última década, o crescimento médio anual do transporte aéreo doméstico no Brasil representou mais de 3,5 vezes o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do País e mais de 14 vezes o crescimento da população, segundo dados da ANAC; impacto no crescimento econômico por ser o setor altamente elástico à renda (nos momentos em que o PIB aumenta, o impacto é sentido na aviação e *vis a vis*); por ser ligado à infraestrutura gerando serviços, quer sejam voos de passageiros ou transportes de carga, é gerador de investimentos.

Dugonjic (1989) diz que a oferta dos serviços de transporte é um fator decisivo para o desenvolvimento regional. As regiões providas de sistema rápido e ágil de deslocamento fixam o capital intelectual (investimentos devem ser distribuídos entre os modos de transporte). As eficiências de transportes são poderosos instrumentos a serem utilizados por investidores para atrair o capital e o investimento privado.

A análise comparativa de eficiência é um poderoso instrumento de gestão para governos, investidores, reguladores, gestores e *stakeholders*. Há um esforço mundial por parte da comunidade acadêmica para refinar os métodos quantitativos de aferição de eficiência e produtividade dos aeroportos. Há necessidade de se verificar o desempenho dos aeroportos, sejam eles não privatizados, mas que podem vir a ser objeto de exploração por parte da iniciativa privada; sejam privatizados; públicos ou de capital misto e controle estatal; ou totalmente públicos por motivos econômicos e estratégicos.

Tendo em face o exposto, uma pergunta precisa ser respondida nessa tese: Há realmente aumento da eficiência dos aeroportos com a privatização no Brasil? É possível afirmar que as privatizações sempre levam a aumento de eficiência?

Uma preocupação deste trabalho é quanto à recomendação de Emrouznejad e Witte (2010) que mostraram o quão difícil é a utilização de métodos não paramétricos quando há uma quantidade de variáveis em jogo, sendo necessário compilar várias técnicas para se obter uma margem de erros menor. Os autores propuseram um

framework para orientar projetos, cujo foco está em estudos não paramétricos, em especial o modelo DEA. Eles elaboraram um guia sistemático de referências de métodos que é de extrema importância para a manipulação das variáveis e dos resultados. O trabalho dos autores consistiu em analisar mais de 400 artigos publicados acerca de DEA, entre 1978 e 2007. Apesar da estrutura recomendada pelos autores, eles afirmam que ela não é limitada ao modelo DEA tradicional. Trabalhos anteriores a este, foram realizados por Avkiran (1999), Belton e Vickers (1993) Brown (2006), Dyson et AL.(2001), Hollingsworth (2008) e Pedraja-Chaparro et al (1989) para se construir a fronteira estocástica.

Portanto, este trabalho se constrói, em relação às eficiências de aeroportos brasileiros seguindo a recomendação da *framework* baseada em Cooper de Emrouznejad e Witte (2010) aplicada sobretudo àqueles recentemente privatizados podendo inclusive estabelecer um paralelo entre o *status quo ante* dos mesmos aeroportos administrados pela Infraero, utilizando as técnicas DEA, Free Disposal Hull (FDH), Stochastic Frontier Analysis (SFA) e Fuzzy DEA.

O transporte aéreo é estratégico para a economia de um país, e não é ponto pacífico entre os pesquisadores de que a privatização leve inexoravelmente à eficiência técnica *per se*.

Os aeroportos são grandes empreendimentos de modo que não somente contribuem com o aumento do PIB na linha de serviços como são fundamentais para, juntamente com os outros meios de transporte, diminuir os custos de deslocamento de pessoas e cargas. Com isso, há a promoção da renda, por meio do turismo, em regiões mais distantes, dadas as proporções geográficas do Brasil.

Este trabalho também apresenta um esforço produzido para gerar modelos empíricos que contemplem a eficiência de aeroportos brasileiros com técnicas baseadas em DEA, FDH, Stochastic Frontier Analysis (SFA) e Fuzzy C-Means- DEA. A combinação dos modelos visa a extrair a confirmação ou não da hipótese elaborada. O levantamento dos índices de produtividade permitem uma visão mais aprofundada do tema. Uma análise transversal e longitudinal é realizada, seguindo a orientação de Grahm (2008), que aponta a necessidade de análises mais profundas.

A análise da eficiência técnica de aeroportos, tendo em vista o tipo de propriedade e portanto, de governança, é um aspecto que Gong et al.(2012) trazem à tona, ao afirmarem que não há superioridade dos aeroportos privados perante aeroportos mistos, públicos, em parceria público-privada ou consórcio.

Conforme Perelman e Serebrisky (2012) o processo de privatização de aeroportos e a criação de agências reguladoras, cujo foco seja a gestão de tarifas e o aumento da competitividade entre as companhias aéreas, após a desregulação sobretudo, tem levado as mesmas a buscarem por *hubs* mais eficientes.

2 Revisão da Literatura

Este capítulo está dividido em seções. O liame objetivo que os conecta está centrado no fato de que são fatores que em conjunto impactam na eficiência. A primeira parte trata de resgatar a importância de investimento em infraestrutura de transportes para um país visto que a sua ausência estrangula o crescimento econômico e o desenvolvimento de uma região. Em seguida, traz o conhecimento da teoria da regulação, seus tipos e aspectos teóricos culminando nos tipos mais comuns de regulação por preços encontrados no setor de aeroportos por agências regulatórias ou reguladores puramente. Uma revisão teórica de métodos paramétricos e não paramétricos é apresentada.

2.1 Investimentos em infraestrutura de transporte

Segundo Ghosh, A., & Meagher, K. (2015), o investimento em infraestrutura estimula o crescimento econômico, pois, aumenta o retorno dos insumos, trabalho e capital, incentivando o emprego e renda. Dados os suprimentos, uma maior oferta ou melhoria na qualidade dos setores de infraestrutura leva a um incremento da produtividade, reduzindo os custos e influenciando a remuneração dos fatores.

A necessidade de investimentos em infraestrutura eleva a capacidade dos sistemas de transportes num todo e conduz inexoravelmente ao desenvolvimento. Pode-se entender a infraestrutura econômica, de forma geral, como a composição de setores com economias de escala e externalidades positivas, (MARTINS et al., 2005). Ainda, segundo os autores, para o Banco Mundial (1994), a infraestrutura pode ser dividida em três partes. a) eletricidade, telecomunicações, água, serviços de esgoto e coleta de lixo; b) rodovias, irrigação e sistemas de drenagem; c) sistemas de transportes: portos, serviços por vias de uso urbano e interurbano, transporte urbano intermunicipal e interestadual, águas internas e aeroportos.

Para Krugman (1994), a intensidade e a forma de investimento nos sistemas de transportes pode redirecionar a trajetória da economia de duas formas: os altos custos destes agem a favor da concentração de atividades, com efeitos retroativos e prospectivos, e corrobora a tendência natural à aglutinação das atividades econômicas. Os setores econômicos que compõem a infraestrutura podem ser mais racionais em situações de alta escala de produção e às vezes monopolísticos, como a energia, ou terem características de não exclusão do consumo, como no caso dos sistemas de transporte. A infraestrutura é tão importante que é gerida pelo próprio Estado. Assim

sendo, a atuação dos governos pode ser caracterizada frente ao uso estratégico dos investimentos em infraestrutura, como sendo inibidora do desenvolvimento; socialmente eficiente e Hirschmaniano.

Uma estratégia para o crescimento e o desenvolvimento econômico precisa considerar os investimentos públicos, para serem eficazes como meio de contrabalançar desigualdades regionais, compensando, pelo menos em parte, a deficiência de localização (e, portanto, de produtividade relativa) de que sofrem as regiões desfavorecidas.

Nielsen et al. (2003) apontam que os sistemas de transporte integrantes da cadeia de suprimentos, portanto, agregam valores substanciais em termos regionais e industriais. Se, por um lado, essas cadeias representam um forte impacto competitivo dado o seu alto grau de envolvimento na economia, por outro, esse mesmo sustentáculo se apresenta extremamente frágil. Uma instabilidade ocasionada em um dos parceiros logísticos ocasiona instabilidade na cadeia como um todo, Bowersox e Closs (2000). Conforme Hesse e Rodrigue (2004); Chandra e Thompson (2000); Krugman e Venables (1995) o transporte será responsável por custos de produção, fluxos de comércio e localização das firmas

Na União Europeia, os países que já alcançaram uma infraestrutura socialmente desejável, são encorajados a sustentarem investimentos anuais em infraestrutura da ordem de 1% do PIB, (SHORT e KOPP, 2005).

O custo logístico é um dos componentes do custo Brasil que compromete a competitividade do país face a outras nações. Quanto melhor forem a infraestrutura e a integração entre os modos de transporte para se romper a distribuição espacial, de acordo com Ingram (1971), menor será o custo da prestação de serviço relativa à movimentação e ao somatório de todas as movimentações. Os investimentos em transporte geram potencial para se minimizar os poderes de monopólio, seja na produção, na comercialização, na concentração geográfica, dentre outras.

A aplicação de recurso no setor gera empregos imediatos e renda a “posteriori”, pois, promove a atração de empresas dadas as facilidades de escoamento da produção; intensifica e agiliza as redes de comércio; promove uma maior rapidez na obtenção de matéria-prima para indústrias; induz a redução de preços aos consumidores que estão localizados em tal eixo de desenvolvimento, BERECHEMAN (1994).

O desenvolvimento da infraestrutura de transporte é um pré requisito para o alívio da pobreza e a criação de empregos em países em desenvolvimento, Owen (1975). Uma rápida modernização da infraestrutura é indispensável para o avanço sustentável de economias. Infraestruturas bem desenvolvidas asseguram melhor condição de vida geral para a população e aumentam a competitividade dos negócios, inclusive internacionalmente, na composição dos custos de produtos a serem exportados.

A intensificação do comércio internacional movida principalmente pela globalização passou a demandar cada vez mais dos meios de transporte, em escala mundial.

Para se fazerem competitivas, não basta às indústrias apenas estarem posicionadas próximo à mão de obra mais barata ou aos recursos necessários para a produção. Fez-se necessário movimentar, armazenar, distribuir, de modo a diminuir os custos de toda a cadeia de suprimentos, desde os insumos mais básicos até o produto finalizado. Intensificou-se o uso dos navios, dos trens, das rodovias, do modo aéreo e dutoviário. Sendo a limitação geográfica aliada ao clima, para muitas nações, um enorme problema, o único meio de transporte que se apresentou capaz de romper com esse paradigma foi o aéreo.

Owen (1975) destaca que o padrão e o tamanho de uma cidade são largamente moldados pela natureza das disponibilidades de transporte. Portanto, não é possível afirmar que um meio de transporte será, ou é, mais importante que outro, mesmo ao se considerar o aspecto geográfico da região, onde, em alguns casos, ele torna-se o principal limitador do desenvolvimento. O modo de transporte aéreo tem sua relevância na matriz de transportes.

Conforme Doganis (1992), as atividades de um aeroporto podem ser classificadas em três seções: operacional, manuseio e serviços. No âmbito operacional, tem-se: controle de tráfego aéreo; serviços meteorológicos; telecomunicações; policiamento e segurança; serviços relacionados ao corpo de bombeiros; ambulância e primeiros socorros; taxejamento; manutenção, estacionamento e pistas. No manuseio, há limpeza da aeronave; provisão para energia e abastecimento de aeronave; malas e com carregamento e descarregamento de aeronave, processamento de passageiros; bagagem e fretes. Por fim, no quesito serviços, tem-se: lojas Duty Free e outras de departamento; restaurantes e bares; acomodações em hotéis; bancos; aluguel e estacionamento de veículos; instalações para conferências e comunicação. Cabe destacar que as duas primeiras atividades são exclusivamente aeronáuticas ou aéreas e a última não.

As aeronaves não somente estão envolvidas com a realização pura e simples do vôo, quer seja de carga ou passageiros, mas também estão ligadas a atividades comerciais dos aeroportos e à infraestrutura disponível.

Os aeroportos são administrados e operados por governos locais, empresas públicas, sociedades de economia mista, parcerias público-privadas e consórcios.

A infraestrutura é objeto de discussão acerca da utilidade pública conferida aos aeroportos. Contudo, estrangulamentos na capacidade financeira de investimentos suportados pelo setor público e questões relativas à eficiência dos aeroportos levaram alguns países a repensarem seus gastos com investimento em infraestrutura. Por esses motivos, ao longo das últimas quatro décadas, os aeroportos têm sido objeto de privatizações em alguns países, devido à situações bem pontuais que invocou a participação privada em administração, gerenciamento e investimento nos negócios aeroportuários.

Como os aeroportos são um monopólio natural há a necessidade de regulação para equilibrar os interesses entre regulador, papel exercido pelo Estado, e regulados. Trata-se de uma construção histórica que teve lugar nos Estados Unidos, no final do século XIX. Uma vez que os custos de manutenção e investimentos são exacerbadamente altos, somente uma empresa possuirá capacidade econômica para custear e ainda extrair um lucro regulado. Eles passaram a ser tidos como monopólio natural, sobretudo pós-desregulamentação mundial do setor aeroportuário e privatizações ocorridas por volta de 1980 em escala global.

Há uma estreita relação entre os custos envolvidos na manutenção de aeroportos e eles se tornam uma *conditio sine qua non* para a caracterização de monopólio natural. Para Doganis (1992), o custo marginal por passageiro se mostra constante quando há uma movimentação de três milhões de passageiros por ano (em aeroportos no mundo). Já Pels (2004) mostra que o custo marginal é constante com movimentos acima de doze milhões e meio de passageiros por ano em aeroportos europeus. Como existe uma conexão entre tais custos e conflitos entre usuários finais há a necessidade de regulação. Logo, há um liame objetivo entre tais custos e seu repasse aos usuários finais do transporte (passageiros, sobretudo, mas também empresas, aqueles que se utilizam do serviço de carga por via aérea, etc.).

2.2 Regulação

A regulação econômica, de modo geral, é um resultado das ações dos Estados no sentido de corrigir falhas de mercado decorrentes de uma competição plutocrática.

Há toda uma perspectiva histórica-mundial que trata do assunto para que então venham a ser discutidos os papéis dos atores envolvidos institucionalmente. Não podem ser ignorados o investimento e as concessões para exploração de atividades econômicas. Na atualidade, tampouco a definição clara de como regular e o que regular, antevendo prováveis aspectos relacionados a uma estrutura econômica e legal capaz de dar aos investidores uma segurança jurídica que respaldará tais investimentos.

Em contraste ao ocorrido nas décadas de 70 e 80, quando as estatais tiveram sua grande expansão, porém com altos déficits públicos, o Tesouro Nacional não possuía liquidez suficiente para saldar as dívidas de modo que mecanismos foram criados para controlar as estatais. Contudo, tais mecanismos se mostraram ineficazes. Então, a partir da década de 80 um movimento contrário surge nos países desenvolvidos, bem como, nos em desenvolvimento cujo objetivo era transferir à iniciativa pública (doravante mencionado) entes estatais, até então, controlados pelo Estado, num sentido liberal. Esse movimento foi incisivo, pois, buscou liberar o Estado dos custos com as estatais, bem como visava arrecadar recursos com tal ato. Inspirados no modelo de Margaret

Thatcher e americano, a reforma estatal se promoveu pela redução da participação deste (O Estado) em alguns setores econômicos e priorização pela regulação de atividades não fim do Estado.

2.2.1 Aspectos históricos econômicos do liberalismo e seus antecedentes justificativos para a teoria da regulação

Um mercado organizado, mas não controlado, exige conhecimentos implícitos de demanda e renda de operações empresariais. A demanda pelo produto determina quanto uma firma pode vender, a qualquer preço, a partir da formação de seu custo do preço. O preço está atrelado a uma demanda para qualquer quantidade que a firma almeje transacionar. A demanda de mercado é, pois, um pilar na determinação da estrutura industrial que reage às condições do próprio mercado, quer este seja monopolista, competitivo ou de qualquer outra natureza.

As condições de produção e seus reflexos nos custos de operações empresariais fazem surgir uma correlação entre o custo de operação da empresa e as condições de oferta do setor. Em conjunto, receita e custo são relações díades para as empresas individuais, demanda e oferta para um mercado global mais abrangente, que definirão o preço de mercado e a produção da empresa e da atividade econômica. Em consequência as forças determinarão inexoravelmente uma alocação de recursos também assíncrona entre atividades ou setores econômicos.

Sendo que o mercado é aberto, ele opera livremente no sentido de que não exista um controle externo às estas forças de mercado. Um exemplo claro de forma de controle é aquele exercido pela intervenção estatal. O governo quer seja Federal, Estadual ou Municipal, através de leis, impõe vários tipos de regulamentos que condicionam as relações econômicas nas quais as empresas operam e às quais elas deveriam, portanto, ajustar-se. Independentemente de sua natureza, todos esses controles estabelecem condições artificiais de mercado, as quais as empresas, e tão somente elas, deverão cumprir, adequando-se

O comportamento acima descrito impõe um controle externo do mercado e limita o livre exercício de suas forças de mercado. Essa liberdade contratual, com crença na ideia de um Estado absenteísta em termos econômicos, teve seus primórdios em um momento histórico que teve como antecedente o Estado Absolutista. As relações contratuais eram veladas pelo Estado soberano, DOEHRING (2008).

Sem um controle jurídico propriamente dito, os direitos e liberdades individuais conduziram a um oceano de concentração dos meios de produção com poucos atores, o que se revelou pernicioso no mercado econômico em pontos que foram prejudiciais para a livre concorrência. No final do século XIX, surgem as primeiras leis de intervenção no

mercado (antitruste), SALGADO (2009).

O Estado fomenta a livre concorrência através de políticas públicas que asseguram a participação e a permanência de todos os agentes em seus respectivos mercados. Em mercados que não partem dos pressupostos de uma concorrência salutar, é *mister* que o Estado se apresente como balizador interventor, regulando as atividades e mantendo as condições econômicas para os *players* envolvidos.

Conforme Cazenave, Martimort e Pouyet (2005), em uma economia de livre concorrência, as autoridades públicas podem perseguir objetivos que o mercado não alcança espontaneamente. A regulação consiste, então, em atender objetivos variados como a estabilidade financeira, a segurança no fornecimento de energia, a saúde pública, dentre outros. Ela é em si uma atividade arriscada. Além disso, o risco tornou-se multidimensional. Os atores (responsáveis) do mercado são confrontados a vários riscos ao mesmo tempo: tecnológicos, econômicos, sociais ou jurídicos. O risco da regulação pode ter diferentes origens: o legislador pode cometer erros porque ele está mal informado. Má informação ou inexperiência podem ser os maiores problemas da regulação; além disso, a evolução do setor pode tornar a atividade (de regulação) mais difícil.

Na Europa, a experiência mostrada foi oriunda da desestatização da economia que ocorreu pela mudança do Estado intervencionista na ordem econômica para um Estado neoliberal regulador a partir da década de 1980. Esse modelo se apresentou fecundo na Inglaterra, por meio do Thatcherismo.

Conforme Souto (2001), a regulação trata da redução do intervencionismo estatal na ordem econômica, assim como a desestatização, por meio de:

- privatização: alienação do controle acionário da atividade empresarial do Estado ao privado-particular;
- terceirização: transferência da execução de alguma atividade para o particular, mantendo-se o planejamento e o controle do Poder Público;
- concessão e permissão: transferência de gestão de serviço público ao particular mediante pagamento;
- gestão associada: celebração de convênio, consórcio, contrato de gestão e acordos de programa.

Observa-se que, pela experiência estrangeira, o Estado pode e deve interceder normativamente para regular a economia por meio de leis e atos de cunho político e econômico.

A regulação encontra campo fértil quando há nitidamente deficiência na concorrência e na distribuição de bens essenciais à população e externalidades. As

externalidades são efeitos causados a terceiros, derivados de uma atividade econômica sobre a qual a terceira parte (custos de produção reduzidos, por exemplo) não tem controle, SALGADO e MOTTA (2005).

2.2.2 Da Regulação: conceito, características e principais teorias

As teorias relativas ao papel do Estado na economia são as teorias positivas e normativas. As Teorias Normativas – partem do pressuposto de que existem falhas naturais de mercado que precisam ser corrigidas. Essas teorias veem as falhas de mercado como “doenças” da economia, sendo o governo o “médico” honesto e experiente, que pode reconhecer as doenças e prescrever, na dosagem certa, a medicação correta capaz de curá-las.

Por outro lado, os enfoques puramente neoclássicos surgem logo após a Análise Normativa como Teoria Positiva, sendo também chamada de Teoria da Regulação que incorpora o modelo de Stigler (1971).

Conforme Rodrigues (2003), a teoria política positiva da regulação pode ser entendida como uma parte aprofundada da Teoria da Captura, tal como foi elaborada por Stigler (1971).

A formulação de políticas públicas pautadas na leitura positiva da teoria econômica da regulação apresenta um limite entre política aplicada a um setor e regulação econômica.

A atividade da regulação pode apresentar eventuais funcionalidades ou disfuncionalidades entre as atividades praticadas por agências e aquelas setoriais ligadas aos ministérios supervisores. Em outros termos, taxativamente, em um processo regulatório cabe apenas a teoria positiva sem delegar destaque às dinâmicas de poder que envolvem o processo de regular em si.

É necessário entender como a política regulatória se organiza. A escolha racional é considerada para os agentes maximizadores. Destarte, para a assimetria de informação, economia dos custos de transação, problemas relativos à delegação e às instituições políticas em que se tem problemas relativos à economia da regulação. Se, por um lado, a teoria normativa da regulação se ocupa em verificar como a regulação deve ser organizada tendo como ponto fundamental a eficiência econômica, por outro, a teoria positiva se preocupa em analisar porque ela de fato vai se organizar empiricamente.

Pindyck e Rubinfeld (2010) contribuem para a justificativa da existência da teoria da regulação, por meio da qual o Estado intervirá, devido a uma falha no sistema de preços, que será responsável pela distorção congruente dos requisitos para uma concorrência perfeita, desequilibrando o mercado de preços e gerando ineficiência.

Para os autores, as falhas esperadas são: poder monopolista, consequências das externalidades e assimetria de informações.

Em termos gerais, o monopólio é caracterizado pelo domínio econômico de uma firma sobre outras poucas em um determinado nicho. Essas organizações farão uso de todas as formas de controle para se manterem líderes e manipularem o preço, além da quantidade e da qualidade de produtos e serviços colocados à disposição dos consumidores. Nessa ânsia por segurarem e ampliarem sua participação no mercado relevante, elas irão se valer de práticas anticompetitivas, (POSSAS,1996); (HOVENKAMP, 2005) e (MOTTA, 2004).

Conforme argumentam Viscusi *et al* (2005), Carlton e Perloff (2000), Hovenkamp (2005), Kupfer e Hasenclever (2002) e Fagundes e Pondé (1998)., dentre as práticas da barreira de entrada, substituição e tempestividade movida contra outras empresas em disputa de um mesmo mercado. De acordo com conforme Viscusi *et al* (2005), Carton e Perloff (2000), Motta (2004), Possas (2002), Possas (2004) as firmas oligopolistas adotarão condutas anticompetitivas horizontais, As práticas são chamadas horizontais, quando incluem combinação de preços (cartéis e semelhantes), de cooperação entre concorrentes (condutas “concentradas”) e de preços predatórios, (PONDE, FAGUNDES E POSSAS,1997) e (FAGUNDES e PONDE, 2001).

Conforme Viscusi *et al*(2005), Carlton e Perloff (2000), Motta (2004), Hovenkamp (2005), Azevedo e Almeida (2009) e Azevedo e Henriksen (2010) há também as práticas anticompetitivas horizontais, . Essas práticas são assim denominadas, quando há o envolvimento de fusões, incorporações e outras formas, desde que dentro de uma mesma cadeia produtiva, tal como a barreira à entrada e o bloqueio de mercado, onde as empresas tratarão de impedir que outras tenham acesso a seu mercado.

Em síntese, se há um monopólio natural, não necessariamente pode-se dizer da ineficiência econômica substancial. Entrar na indústria é relativamente fácil a depender do mercado que está sendo verificado, permanecer é difícil porque há sempre quase uma exigência limitante do *output* o que, regulado, torna difícil o aumento dos preços, que permanecem de modo concorrencial. A política de preços é uma tendência aplicada na questão onde há uma primazia do preço baixo unitário e por vezes tarifas fixas, em alguns países regulados por mecanismos legais. Em ambos os casos, o consumidor final sai beneficiado.

Dadas as características retro mencionadas, uma alternativa que tem sido utilizada é que sendo uma possibilidade de fornecedores de um produto ou serviço em um monopólio, os leilões são práticas para que seja definido quem será o monopolista . Assim, pode ser utilizado para diminuir o preço do suprimento e aumentar a eficiência. Há que se falar em uma experiência pregressa no ramo da exploração da concessão, o que alguns países têm adotado como formas de mitigar o risco de gerenciamento de atividades estratégicas e para que o negócio cumpra com sua função social e seja

lucrativa.

Se um monopólio natural é regulado para produzir a quantidade ideal de produção, a empresa vai sofrer uma perda econômica. Para manter o funcionamento da mesma, o governo deve subsidiá-la para eliminar essa perda. Para que seja evitada a necessidade de um subsídio, os monopólios naturais são frequentemente regulados para ganhar lucro zero (a taxa normal de retorno). Isso leva a problemas tais como: o monopólio natural carece de incentivos para controlar os custos; os reguladores podem não ser capazes de obter informações precisas.

Além da teoria de captura, tem-se a teoria da escolha pública em que o Estado selecionará a melhor forma de regular os interesses públicos. A política pública aplicada no caso leva em consideração escolhas coletivas e não objetiva um interesse individual. As escolhas apropriadas são para os casos em que certos indivíduos manipularão as regras e os procedimentos de mercado, tal como ocorre na consulta pública para a licitação ou a tomada de melhor serviço, na administração pública, os quais devem ser cumprida, por força de dispositivo constitucional, para o caso brasileiro.

Um monopólio natural pode garantir a geração de economias de escala cujo custo unitário é mínimo entre duas ou mais empresas, para garantir isso, a tecnologia é uma aliada (inovação em produto e processo).

Nesse caso, cada mercado pode conter mais que uma firma, e as firmas podem ou não se abalar rapidamente para margem seus custos, ou irão falhar, ou a produção continuará a consumir mais recursos do que o necessário. No primeiro caso, a competição é de curto prazo e, no segundo, ela produzirá resultados ineficientes. A competição é, então, um mecanismo inviável sob condições de monopólio natural. Ela controla o necessário para assegurar o desempenho: controles sobre ganhos, taxas específicas, qualidade de serviço, ampliações e abandono de serviços e planos, mesmo havendo permissão para entrar no negócio. Esse conjunto de controles tem sido aplicado em empresas de fornecimento de gás, água, e energia elétrica onde é conhecida uma regulação da utilidade pública, e aos provedores de serviços públicos de transporte e telecomunicações. Um aeroporto está sujeito a competição entre aeroportos e à regras regulatórias.

Conforme Oum, Zhang e Zhang (2003), os efeitos das diferentes formas de regulação de preços interferem na eficiência dos aeroportos.

Nesses casos específicos, um modelo econômico monopolista se mostra mais eficiente do que um modelo baseado em economia perfeita. A corporação do Monopólio Natural tem que o custo da tecnologia da indústria é alto e, por isso, poucas firmas competirão no mercado, (SHARKEY, 1982). O custo do investimento inicial é alto e o retorno do capital precisa ser atrelado a uma política de preços eficiente de modo a permitir a recuperação do investido.

2.2.3 Modos de regulação de preços

A regulação da taxa de retorno é a forma conhecida de regulação de monopólios, onde o preço deve cobrir todos os custos da organização. A falta de incentivos para abaixar os custos é uma das críticas ao modelo bem como ao estímulo excessivo da capacidade. Por outro lado, esse adicional de custo oferece um incentivo para as firmas buscarem a eficiência produtiva.

Littlechild (1983) desenvolveu a regulação *price-cap* e ela foi gradualmente incorporada em regulamentos relativos à questão de monopólios. O *price-cap* ajusta preços fixos, de acordo com um índice de preços máximos que reflete a taxa de inflação na economia, em geral.

A regulação da receita-cap é um meio semelhante de regular os monopólios, mas em vez de preços, serem a variável regulada, os reguladores estabelecem limites de receita. Essas novas formas de regulação gradualmente foram substituídas pela regulação das taxas de retorno na economia, no caso estadunidense, e provaram ser uma tendência adotada por vários países do mundo.

Na regulação *price-cap*, a empresa pode alterar seu preço médio para uma cesta de serviços regulamentados ao índice geral de inflação ou índice geral de preços menos um fator de eficiência baseado na eficiência esperada da empresa regulamentada (o “fator X”). Alguns reguladores também permitem que a empresa mude seus custos além do seu controle, incluindo o componente de custo exógeno.

O fato de uma firma regulada poder reter quaisquer lucros realizados servem de incentivo para melhorar a eficiência e reduzir os custos, além do nível exigido pelo fator X. A fórmula sofreu poucas revisões e reduz os custos regulados de modo que sejam evitados casos de taxas frequentes. Cabe à gestão da empresa incentivar estratégias para reduzir os custos em períodos futuros, bem como presente. Por fim, uma empresa regulada tem muito mais flexibilidade nos preços uma vez que pode repassar custos a seus clientes enquanto a média dos preços não exceder o limite máximo. Para o caso de aeroportos, o fator X permite premiar o aeroporto com base em sua eficiência.

Por fim, uma empresa regulada tem muito mais flexibilidade nos preços uma vez que pode repassar aos seus clientes enquanto a média dos preços não excedam o limite máximo. Para o caso de aeroportos o fator X permite premiar o aeroporto com base em eficiência.

2.2.4 Regulação de preços em aeroportos

Conforme Betancor e Rendeiro (1999), os serviços fornecidos em um aeroporto são normalmente classificados como atividades aeronáuticas e não aeronáuticas. Os autores apresentam de maneira gráfica as atividades separadas em três grupos: operacional, capatazia e movimentação e, comercial. Com base na tabela 1 é possível desmembrar as atividades operacionais e de manuseio e capatazia que estão ligadas diretamente à atividade fim de um aeroporto em contraposição à atividade comercial que seria ligada à atividades acessórias.

Tabela 1 – Serviços aeroportuários

| Operacional | Manuseio e capatazia | Comercial |
|------------------------------|---|------------------------------------|
| 1) Controle de tráfego aéreo | 1) Limpeza da aeronave | 1) Lojas Duty Free (Lojas Francas) |
| 2) Serviços metereológicos | 2) Fornecimento de energia elétrica e combustível | 2. Outros serviços de compras |
| 3) Telecomunicações | 3. Bagagem e frete (carregamento e descarregamento) | 3. Restaurantes e bares |

| Operacional | Manuseio e capatazia | Comercial |
|--|---|--|
| 4) Policiamento e segurança | 4.Processamento de passageiros, bagagem e frete | 4. Serviços de entretenimento |
| 3) Corpo de Bombeiros e serviços de primeiros socorros | | 5.Acomodações hoteleiras |
| 4) Manutenção dos pátios de pouso, estacionamento e pistas | | 6.Bancos |
| | | 7. Aluguel de carros e estacionamento |
| | | 8. Serviços para realizações de conferências e comunicação |
| Serviços aeronáuticos ou aéreos | Serviços não aeronáuticos ou serviços em terra | |

Fonte: Betancor e Rendeiro (1999)

Com base na separação das atividades em operacionais e não operacionais de um aeroporto é possível descrever a opção do regulador. O campo do Dual Till e do Single Till é a regulamentação das taxas aeroportuárias em aeroporto. Uma pesquisa realizada na Europa para Aeroportos Conselho Internacional, ACI (2006) constatou que 42% dos aeroportos adotou Single Till, enquanto 29% adotou o Dual-Till (os restantes aeroportos eram descritos como híbridos ou mistos por utilizarem uma abordagem

híbrida 0,3%).

No Single Till, há uma separação das receitas líquidas não reguladas do total dos requisitos de receita regulados. Ele inclui o nível global dos custos necessários para fornecer todos os serviços no aeroporto, e não apenas os serviços para os quais as tarifas são reguladas. O nível de regulação dos encargos será definido de modo a recuperar todos os custos do aeroporto após a compensação, sem contar as receitas arrecadadas de serviços não regulados. Estas receitas não reguladas são também chamadas de receitas comerciais.

O Dual Till estabelece uma separação de receitas advindas de negócios regulados e não regulados. Apenas os custos associados à prestação daqueles serviços para os quais os encargos regulados são considerados. Todos os outros custos (e receitas de atividades não regulamentadas) são atribuídos a outro caixa. Por conseguinte, o nível de encargos regulados é definido para ser suficiente para recuperar os custos associados. As receitas e despesas de atividades não reguladas no aeroporto não afetam a taxa aeroportuária.

No Single Till as taxas aeroportuárias podem ser menores quanto maiores forem as receitas comerciais auferidas pela autoridade aeroportuária. Assim, menor será o nível das taxas exigidas para pagar o serviços correspondentes às taxas aeroportuárias. Se o aeroporto atinge alta rentabilidade em suas atividades comerciais, em seguida, mudar para um Dual Till pode levar a um aumento nas taxas aeroportuárias.

As companhias aéreas são beneficiadas ao trazer passageiros para o aeroporto. Algumas das receitas comerciais auferidas pelo aeroporto serão correlacionadas com o número de passageiros que o utilizam, por exemplo, receitas das lojas, espaço *gourmet* e estacionamento.

Esse Till (Dual) incentiva mais passageiros e estimula as companhias a utilizarem o aeroporto. As complementaridades entre as receitas comerciais e aeronáuticas em um aeroporto atuam em favor da eficiência alocativa. Um provedor de estabelecimentos comerciais pode auferir lucros mais altos por meio do aluguel de unidades localizadas no aeroporto. Ao utilizar essas rendas para manter as taxas aeroportuárias menores, pode ser que resulte em uma maior utilização de serviços aeronáuticos no aeroporto.

Com o Single Till há maior utilização de aeroportos com capacidade de reposição. Para um aeroporto não congestionado, incentivar uma maior atividade nele através de taxas aeroportuárias mais baixas pode melhorar o bem estar geral.

Em busca de novos empreendimentos comerciais, um projeto de um aeroporto pode ser concebido de forma a permitir que este inclua tanto os custos quanto possíveis como proporcionar espaço para circulação de passageiros. É possível para os aeroportos introduzirem novas taxas, apenas alguns dos quais podem ser objeto de regulação. Um usuário de uma companhia aérea pode questionar a taxa que deve pagar, se não for formalmente incluída na definição de Taxa aeroportuária regulada.

Há um incentivo para a competição nas atividades comerciais de um aeroporto. As companhias aéreas podem se beneficiar de taxas aeroportuárias mais baixas se o aeroporto for capaz para gerar lucros a partir dos seus serviços não aeronáuticos. Os interesses dos usuários desses serviços entra em conflito com os das companhias aéreas, uma vez que, qualquer tipo de concorrência na prestação deles, pode resultar em menores receitas comerciais para o operador do aeroporto e, para o próprio aeroporto.

A abordagem econômica procura identificar os serviços que o aeroporto tem poder de mercado. A ideia é que o foco de regulação deve ser nesses serviços para que já que o aeroporto goza de uma posição dominante. Quando o serviço está sujeito a pressões da concorrência, não há necessidade de incluir os custos do serviço no regulador. Como o poder de mercado do aeroporto em algumas áreas podem crescer ou diminuir ao longo do tempo, o regulador até pode necessitar de ser redefinir o *Till* ao longo do tempo.

O Estado deve regular o monopólio natural por causa do alto nível de competição entre os atores. A escolha do modo de regulação impacta no nível de eficiência em um todo. Este grau de eficiência das empresas nesse ambiente pode ser medido considerando fatores semelhantes. A privatização tende a melhorar os índices de produtividade e eficiência em empresas sob um monopólio natural e sob uma regulação.

Oum, Zhang e Zhang (2003) apresentam resultados que enquanto o ROR pode levar à um super investimento em capacidade, a regulação Price Cap conduz a um investimento menor. Quanto à esse investimento no Dual Till é maior se comparado ao Dual Till. Os autores realizaram uma pesquisa empírica que resultou confirmou os resultados. Em particular, o fator total de produtividade em Dual Till é maior que no Single Till ou no ROR. Eles afirmam com base nos dados que argumentos de vários economistas demonstraram que o Dual Till nas condições apresentadas no estudo, demonstram melhores resultados quanto à eficiência que o Single Till, especificamente se analisados os grandes aeroportos ou aeroportos congestionados. Forsyth (1997, 2002); Beesley (1999); Kunz e Niemeier (2000); Starkie e Yarrow (2000), Starkie (2001); Tretheway (2001) e Gillen e Morrison (2001) foram elencados pelos autores como sendo os estudiosos preocupados com a regulação dos preços aeroportuários.

Adler e Liebert (2014) elaboraram um estudo que indica em termos generalizados que a regulação ex-ante gera ineficiência operacional. Em presença de competitividade, aeroportos públicos e privados operam em eficiência, embora os preços cobrados pelos aeroportos sejam mais elevados.

Existe uma possibilidade de que em aeroportos que começam a ser privatizados ou em estágio inicial de privatização, se o regulador não modificar as bases regulatórias estes, por serem um monopólio natural disputando companhias aéreas e passageiros por conseguinte, podem competir entre si afetando negativamente a eficiência técnica relativa destes aeroportos. Em outras palavras, em presença de alta competitividade,

os aeroportos poderão mesmo privatizados apresentar índices ineficientes.

A escolha do tipo de regulação utilizada em aeroportos possui consenso mundial. No caso Brasileiro o ambiente já é regulado pela Agência Nacional de Aviação Civil por mais de duas décadas. É preciso apurar o grau de impacto do modelo brasileiro regulatório e verificar se será o mais adequado tendo em vista as privatizações.

2.3 Privatização no setor aéreo

De acordo com Gillen e Niemeier (2008) uma revisão teórica breve do setor não representa certeza quando cruzam a minimização de custos e a maximização da produtividade por transformação de propriedade pública para privada. Assim, o primeiro estudo empírico a observar o efeito de privatização em aeroporto foi realizado por Parker (1999) na BAA onde analisou o campo e seus efeitos antes e pós privatização com o uso da análise envoltória de dados (DEA) pelo período de 1979 a 1996. Ele concluiu que houve aumento da eficiência técnica bem como do valor das ações denominadas *golden shares*, que são as ações (no mercado mobiliário) que o governo mantinha para si não induzia pressões significativas no mercado de capitais de modo a pressionar o mercado de ações.

Um dos objetivos mais frequentemente observados de um programa de privatização é a eficiência das empresas antes estatais sofrem um considerável incremento. É possível discutir a relação entre a propriedade, o desempenho dos aeroportos e os seus modelos e regulatórios.

Oum, Yan e Yu (2008) estimam que há uma probabilidade de oitenta por cento de que os aeroportos operados por uma empresa privada sejam mais eficientes que aqueles operados por uma empresa pública. Esses resultados também são encontrados, OUM, ADLER e YU (2006). Por outro lado, Scotti et al. (2012) argumentam que os aeroportos públicos são mais eficientes do que os privatizados e se inseridos em um contexto híbrido.

Megginson e Netter (2001) discutem que existem argumentos teóricos para tratar o impacto da privatização em última *ratio* dependente do grau de falha do mercado. Isso porque os aeroportos se inseridos em um contexto de concorrência forte podem ser forçados a aumentar a sua eficiência produtiva e o impacto da mudança para privatização pode não ser tão significativa. Os autores examinam vários estudos aplicados a setores chamados de transição e de países em transição concluindo que a investigação global apoiou a proposição de que as empresas privadas são mais eficientes e mais rentáveis.

Além da relação entre propriedade aeroportuária e eficiência, outras também foram investigadas pela literatura em específico a ligação entre privatização e renta-

bilidade e os impactos e incentivos da expansão da capacidade aeroportuária após a privatização. Oum, Yan e Yu (2008) concluem que, à medida que os aeroportos privatizados são mais eficientes, são também mais rentáveis.

Noruzoliaee e Zhang (2015) sugerem que o aumento da capacidade aeroportuária depende da eficiência atrelada à um maior nível de investimento do operador em infraestrutura. Se outro operador não possui o mesmo aporte de capital a tendência é que este seja menos eficiente que o outro.

Zhang e Zhang (2003) discutem que a capacidade do aeroporto e sua consequente expansão é geralmente vista como a melhoria da qualidade do serviço reduzindo ou eliminando problema do congestionamento, resultante da forte utilização do aeroporto existente, considerada uma externalidade negativa e que pressiona os indicadores de eficiência para baixo. Em especial no tocante ao movimento de aeronaves e em segunda monta a capacidade de processar eficientemente os passageiros e cargas, como é o caso do aeroporto de Hong Kong. Os autores concluem que dada a crescente demanda e o aumento da capacidade através de grandes investimentos em infraestrutura aeroportuária como nova pista é construída. Esse tipo de decisão com vistas a aumentar o número de pousos e decolagens são frequentemente observados em aeroportos privatizados.

Existem análises indiretas que a privatização corrobora em algum sentido com o aumento da demanda dada a expansão da capacidade aeroportuária e eficiência e a competição dos aeroportos em sí, cujos custos melhor geridos servem de atrativos para as empresas aéreas uma vez que existe uma tendência de que bem administrados os custos operacionais sejam menores e assim, as companhias aéreas irão preferir um aeroporto a outro, por exemplo, (ZHANG e ZHANG, 2003) e (NORUZOLIAEE e ZHANG,2015).

Caso a privatização se revele um sucesso os seus efeitos devem ser contabilizados tanto na procura do aeroporto como das companhias aéreas. Além disso, há a possibilidade de um aumento na demanda futura de aeroportos privatizados devem serem explicitamente considerados no problema de avaliação de ativos da pré-privatização e demandarem um estudo de avaliação econômica. Dada uma expectativa de melhoria da demanda futura. As companhias aéreas podem considerar o aeroporto privatizado como mais atrativo por frequência de vôos ou até mesmo considerá-lo como um possível *hub* ou um aeroporto focal.

Megginson, Nash e Van Randenborgh (1994) e La Porta e López-de-Sillanes (1999) mostram que algum aumento da demanda é induzido na sequência de episódios de privatização – um efeito padrão que tem sido observado em uma ampla amostra de empresas, em um conjunto igualmente de indústrias e países. A atual implementação da privatização depende do modelo adotado pelo governo. De acordo com Graham (2008) e Carney e Mew (2003), um aeroporto pode ser totalmente privatizado

e parcialmente privatizado tendo o Estado como sócio majoritário ou minoritário.

A privatização de aeroportos podem ser categorizadas em: Fatiamento, ofertas, concessão, projetos financeiros de privatização, e gerenciamento de contratos. Donaldson e Wagle (1995) apresentam uma linha do tempo da privatização. Em seu estudo os autores argumentam que o projeto é concebido para assistir ao Banco Econômico Mundial, e em particular as Finanças Corporativas Internacionais, ao analisar as privatizações em diversos lugares do mundo existe uma *framework* geral e deve ser consistente em todas as categorias de privatização. Ela pode produzir impactos na demanda de passageiros por meio de sua infraestrutura aeroportuária, regulação e eficiência, mas esses efeitos podem ser moderados ou acentuados pela sequência de eventos ditada pelo cronograma de privatização.

Há uma tendência de que nos estágios iniciais de privatização, que consistem em preparação, processo de adjudicação e todas as disposições anteriores à transferência de controle possam conter ações antecipadas pelas companhias aéreas que venham a afetar a demanda, como por exemplo, mudança de operações de um aeroporto para outro ou o uso de *Code Share* (companhias buscando maximizar os assentos para aumentar sua produtividade usando uma aeronave da outra tendo um trecho em comum). Além disso, mesmo após a transferência de controle total da administração, em caso de expansão da capacidade, efeitos nos terminais e de pista podem afetar no curto prazo a demanda. O impacto em curto prazo pode materializar-se pelo menos após um ano particularmente devido ao aumento da publicidade permitida pelo processo de licitação.

Os efeitos a curto e a longo prazo da privatização dos aeroportos podem ter efeitos positivos sobre a procura, mas devido aos problemas temporários acima mencionados das construções de terminais e pistas estas podem afetar negativamente a demanda.

Constitui uma hipótese levantar suspeita de que no curto prazo a magnitude do efeito da privatização não seja tão expressivo e que isso venha a se materializar no longo prazo, mas é importante estimar empiricamente estes efeitos e realizar um *benchmarking* de eficiência para a tomada de decisão situacional e futura.

Os transportes compõem pois um importante fator determinante do crescimento de uma nação. Por volta dos anos 60/70, no Brasil, deu-se uma maior atenção ao modo rodoviário de transporte. Presenciou-se por cerca de 150 anos o auge das ferrovias e seu completo abandono. Pouco se fez em termos do modo marítimo e fluvial e muito menos acerca do transporte aéreo, delegado a uma esfera meramente econômica turística quiçá. Todos os modos de transporte são importantes na sua devida proporção e, quanto mais uma nação consegue desenvolvê-los e buscar mais e mais produtividade, maior será o retorno em escala, já mencionado anteriormente. Nielsen et al. (2003) apontam que os sistemas de transporte são parte integral da

cadeia de suprimentos e, portanto, agregam valores substanciais em termos regionais e industriais.

2.3.1 Antecedentes gerais à privatização de aeroportos no Brasil

Em contraste do ocorrido nas décadas de 70 e 80, onde as estatais tiveram sua grande expansão porém com altos déficits públicos, o Tesouro não possuía liquidez suficiente para saldar as dívidas de modo que mecanismos foram criados para controlar as estatais. Contudo, se mostraram ineficazes.

Então, à partir da década de 80 um movimento contrário surge nos países desenvolvidos bem como nos em desenvolvimento cujo objetivo era transferir à iniciativa pública (doravante mencionado) entes estatais absorvidos pelo Estado, num sentido liberal. Esse movimento foi incisivo, pois, buscou liberar o Estado dos custos com as estatais e, arrecadar recursos com tal ato. Inspirados no modelo de Margaret Thatcher e estadunidense, a reforma estatal se promoveu pela redução da participação deste em alguns setores provocando a desestatização, a desregulamentação e as privatizações.

Antes mesmo da constituição, o Dec. 86.215/81 foi o primeiro a encampar a ideia de transferência de empresas estatais para o âmbito privado. Seguido do Dec. 91.991/85 que em síntese tratou de um programa de privatizações de empresas controladas diretamente e indiretamente pelo governo federal e proibiu a criação de novas firmas desse tipo. Em resposta à globalização da economia internacional que experiêcia uma redução crescente das barreiras nas políticas de comércio exterior dos países, estes buscam tratar ostensivamente o arcabouço da eficiência econômica e com isso a obtenção de ganhos de competitividade no mercado mundial.

Com o processo de abertura econômica promovida pelo governo Collor e a implementação do programa de estabilização econômica com o foco de combate à inflação que assolava o país, permitiram que o Brasil ao final de 1993 lançasse um programa de longo prazo cujas metas iniciais eram o controle da inflação, lançamento de nova moeda e estabilização cambial.

Atento ao fato de que os meios de transporte brasileiros não eram nem eficientes nem rentáveis e, de que o governo não dispunha de excedente monetário para investir em infraestrutura, o Brasil, em um cenário competitivo e com capacidade de competir, deu então início o Programa Nacional de Desestatização (PND) pela lei 8.031/90 revogada pela lei 9.491/97 que alterou portanto procedimentos relativos ao PND. Entretanto, esta lei foi modificada outras vezes de modo que as alterações substanciais percebidas eram de que poderiam ser objeto de desestatização, dentre outros; serviços públicos, objeto de concessão, permissão ou autorização e bens móveis e imóveis pertencentes à união.

Dentre os vários trabalhos destacam-se Figueiredo, K.; Pereira, L.(2005); Lima, E. T.; Pasin, J A. B (1999); Pires, F.(2003); Sousa, R. A.; Prates, H. F (1997) porque seguiram essa linha de pensamento e perceberam incrementos substanciais na atividade de transporte após as concessões. O papel do Estado passou a ser de regulador.

No Brasil, o Estado manteve um perfil empreendedor entre os anos 1950 e 1970 (FARIAS, 2002). Com a crise social e econômica da década de 1980, houve o entendimento de que esse modelo, em que o Estado participava diretamente do processo de produção de bens e prestação de serviços, já havia se esgotado. A solução para essa situação se daria através de mudanças promovidas durante uma reforma administrativa, iniciada nos anos 1990 (Oliveira, Fujiwara e Machado, 2005), que resultou na privatização de diversas empresas estatais e na criação, em 1996, das primeiras agências reguladoras brasileiras, o que, segundo Santos (2004).

Com a criação do Ministério da Administração e da Reforma do Estado e a elaboração do Plano Diretor da Reforma do Estado, de 21 de setembro de 1995 Câmara... (1995), tem-se os marcos da segunda reforma administrativa do Estado brasileiro iniciada no governo de Fernando Henrique Cardoso. Depois disso, entre 1996 e 2005, foram criadas no Brasil dez agências reguladoras, como autarquias especiais, dentre elas destaca-se a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), criada pela Lei Nº 11.182, de 27 de setembro de 2005, regulamentada pelo Decreto Nº 5.731, de 20 de março de 2006 e vinculada ao Ministério da Defesa.

Administração Pública sofreu inúmeras mudanças após a reforma referida se tornando uma Administração mais eficiente e menos burocrática.

Conforme estudo elaborado pelo BNDES (2008), desde o período da privatização com laços entre 1990 e 2002, foi arrecadado US\$ 105,56 bilhões de dólares. Destes, respectivamente arrecadaram: Siderurgia 8%, Petroquímico 4%, Mineração 8%, Telecomunicações 32%, Energia Elétrica 30% Petróleo e gás 7%, Saneamento 1%, Financiamentos 6%, Decreto 1.068/ 94 1%, Transportes 2 % e outros 1%. Observa-se, pois, que o setor de transportes foi um dos que menos arrecadou. O crescimento do transporte aéreo tanto no quesito carga como passageiros são amplamente apresentados, em decorrência da liberalização de mercado e franca expansão do setor. Todavia, o mesmo crescimento não foi acompanhado pela infraestrutura presente. Ou seja, enquanto se tem um aumento substancial do porte das aeronaves, a infraestrutura disponível para o setor se manteve praticamente a mesma.

Por estes instrumentos legais *ab initio*, a administração aeroportuária irá, buscando atingir o princípio da eficiência, tratar de verificar a devida redução dos custos totais no sistema. Desse modo, a participação privada no setor pode ser viabilizada por meio de diferentes formas. Nem sempre as ações realizadas pelos aeroportos públicos e privatizadas coincidem. Os públicos primam pelo bem estar social na sua plenitude enquanto nos privatizados o foco está na maximização do retorno de capital investido.

Os aeroportos influenciam toda uma malha de transporte aeroviária. Por exemplo, um voo que começa em Belo Horizonte e termina em Natal passa por várias cidades intermediárias até chegar ao fim da rota. Isso significa que um atraso em um aeroporto é repassado para todos os demais, gerando situações caóticas fora as penalidades pecuniárias impostas pela ANAC à companhia. Desse modo, a eficiência de um aeroporto é maculada com tais congestionamentos. Observa-se isso com maior facilidade nos aeroportos mais congestionados do país como: Aeroporto de São Paulo Guarulhos e Congonhas; Rio de Janeiro, Galeão; Belo Horizonte, Confins; Brasília, Brasília.

2.3.2 Cenário do setor aéreo brasileiro

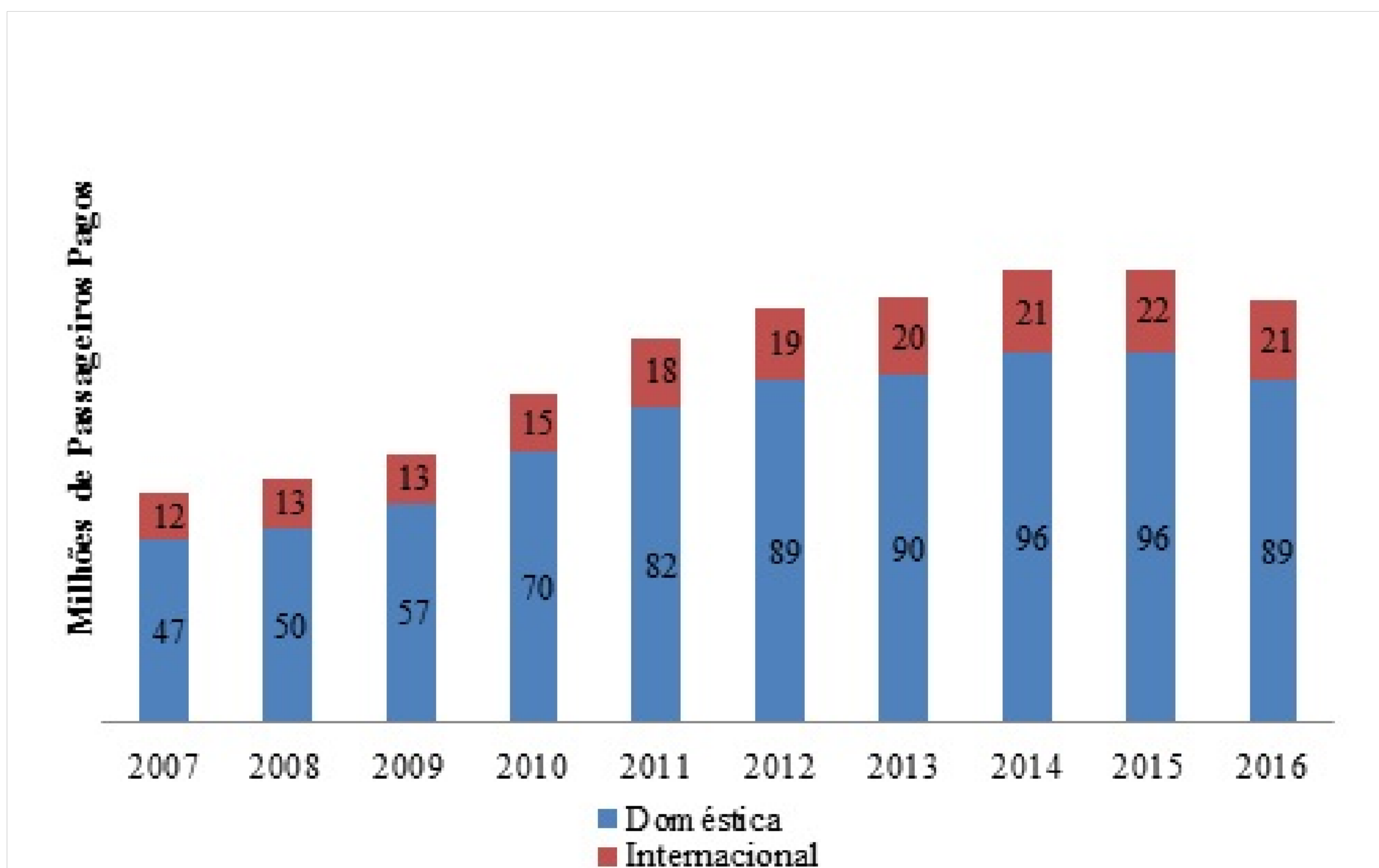
A Gol Linhas Aéreas foi a primeira empresa com o modelo de negócios “*Low Cost, Low Fare*” da América Latina. Sua entrada no mercado doméstico brasileiro aconteceu em janeiro de 2001. A empresa apresentou, junto ao Departamento de Aviação Civil, o então regulador, considerável grau de acessibilidade a aeroportos congestionados como Congonhas e Santos Dumont, mesmo sendo uma nova entrante. Os resultados do modelo de precificação proporcionaram uma avaliação do sucesso das medidas de incentivo ao acesso de uma nova entrante em aeroportos dessa natureza, com relevantes implicações regulatórias.

A liberalização tarifária do setor aéreo se deu em 2006. O Brasil seguia em escala de crescimento comprovada pela ascensão do PIB. Como o setor era subutilizado, não havia como apontar as deficiências de infraestrutura aeroportuárias.

A privatização dos aeroportos iniciou em 2012. Pode ser observado pela figura 1 a evolução crescente do número de passageiros, carga aérea e movimentação de aeronaves no Brasil é crescente e com números interessantemente altos. Isso mostra como o setor é promissor e foi um atrativo para empresas multinacionais explorarem a atividade.

Conforme a figura 1 o transporte de passageiros nacional e internacional pagos ocorreram sempre em escala acidentada para o período de 2007 à 2015, porém, em 2016 houve um decréscimo sobretudo em transportes nacionais.

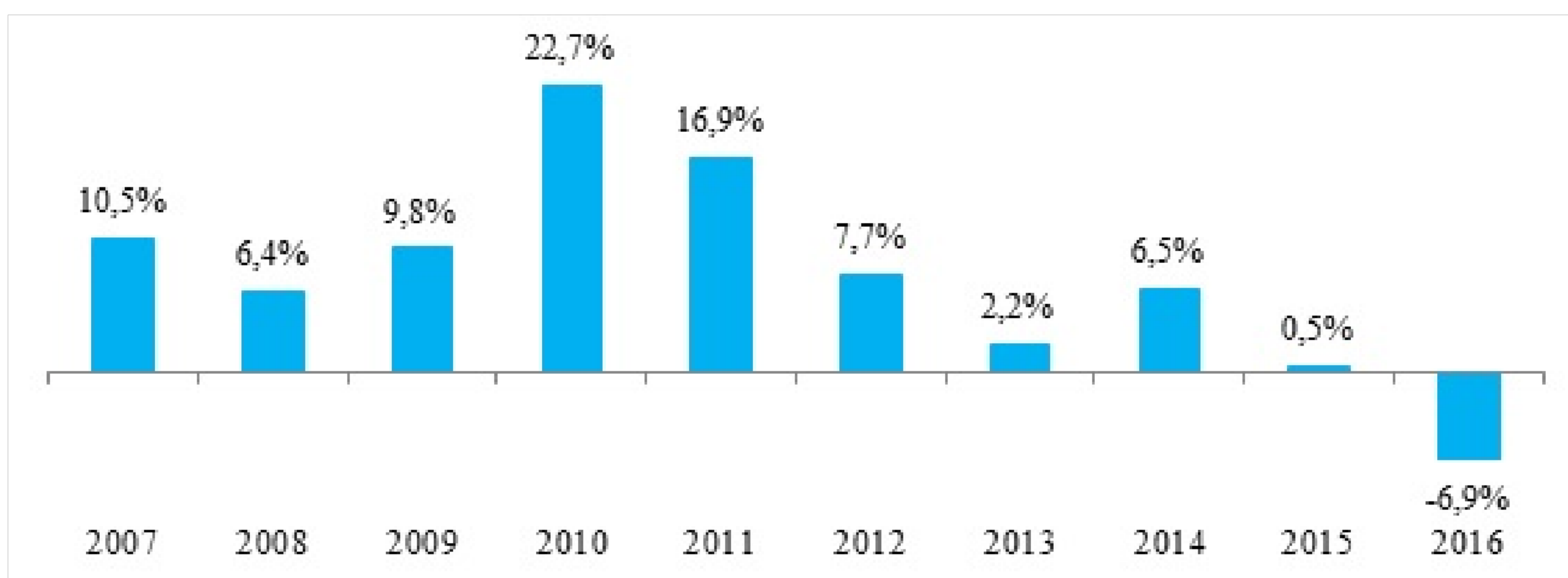
Figura 1 – Evolução da quantidade de passageiros pagos transportados – mercados nacional e internacional, 2007 a 2016



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da ANAC

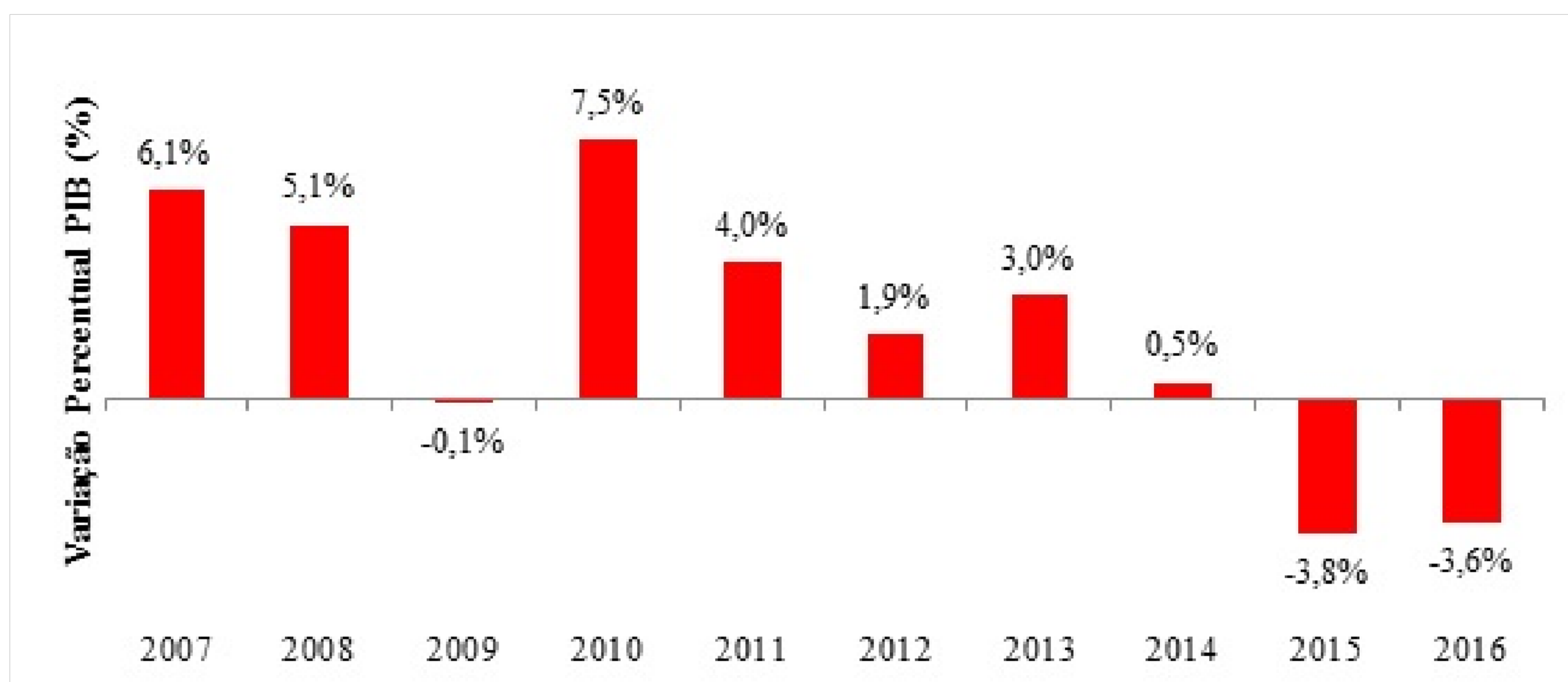
Como o setor de aeroportos é extremamente elástico, a variação do produto interno bruto em especial nos anos de 2015 e 2016, como pode ser visto na figura 3, pode ser um fator que explique a queda da demanda no ano de 2016, figura 2. É perceptível a relação existente entre o PIB e a variação percentual que ocorre na demanda por transporte aéreo figuras 3 e 4.

Figura 2 – Variação da quantidade de passageiros pagos transportados – mercados nacional e internacional, 2007 a 2016



Fonte: Elaboração própria com base na ANAC

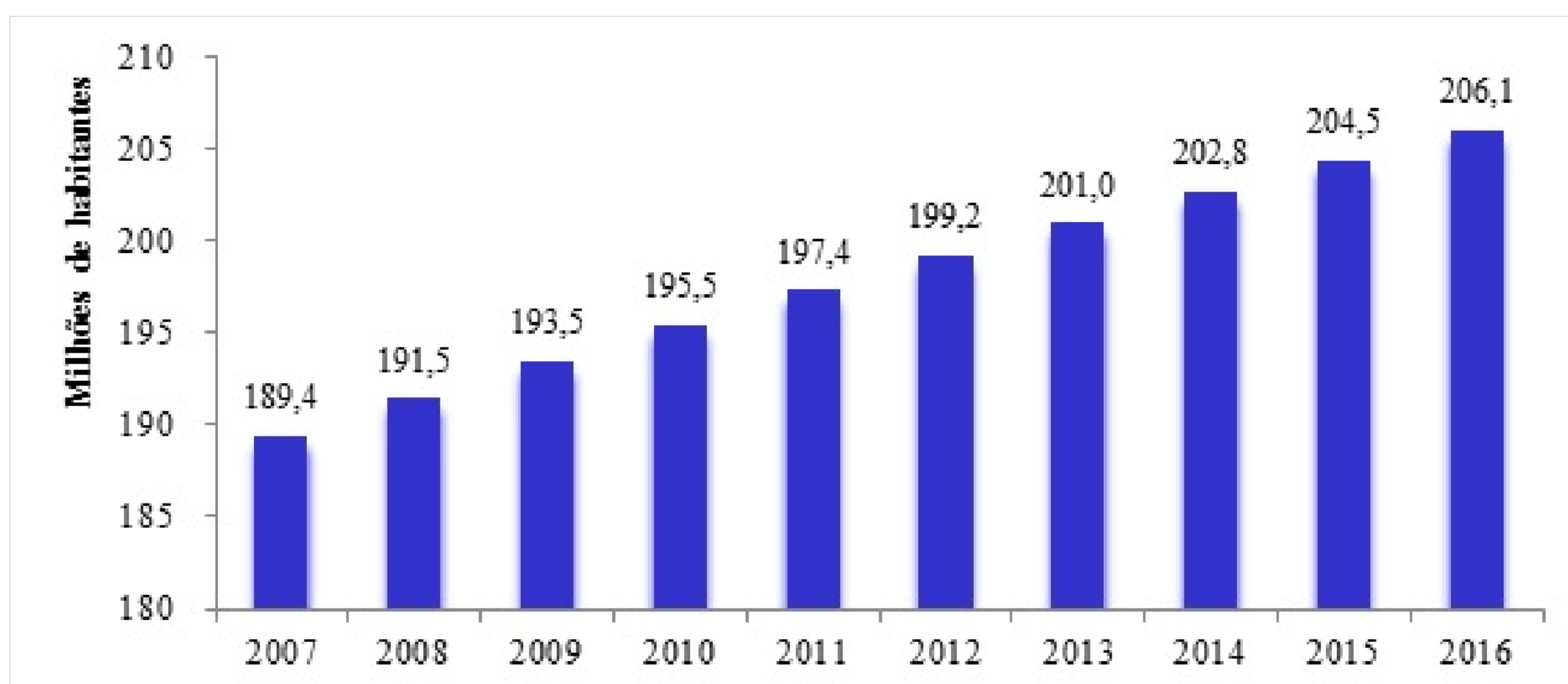
Figura 3 – Variação do PIB brasileiro, de 2007 a 2016



Fonte: Elaboração própria com base no IBGE

A população brasileira vem aumentando em decorrer dos anos figura 4.

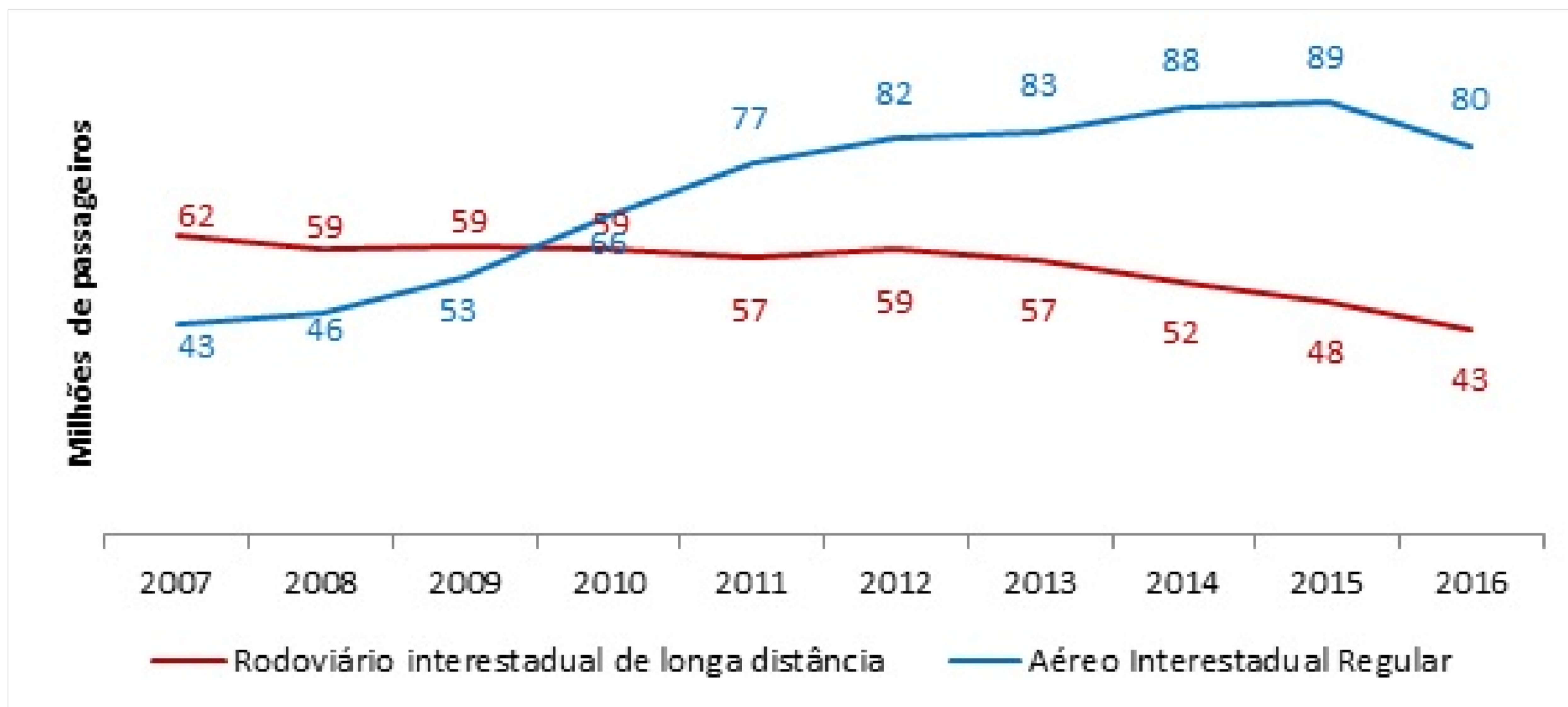
Figura 4 – Evolução da população brasileira, 2007 a 2016



Fonte: Banco Central do Brasil - Série 21774

Transporte pelo modo aéreo de passageiros em longa distância em meados do ano de 2009 ultrapassou concorrencialmente o rodoviário sendo que em 2016 atingiu oitenta milhões de passageiros, figura 5.

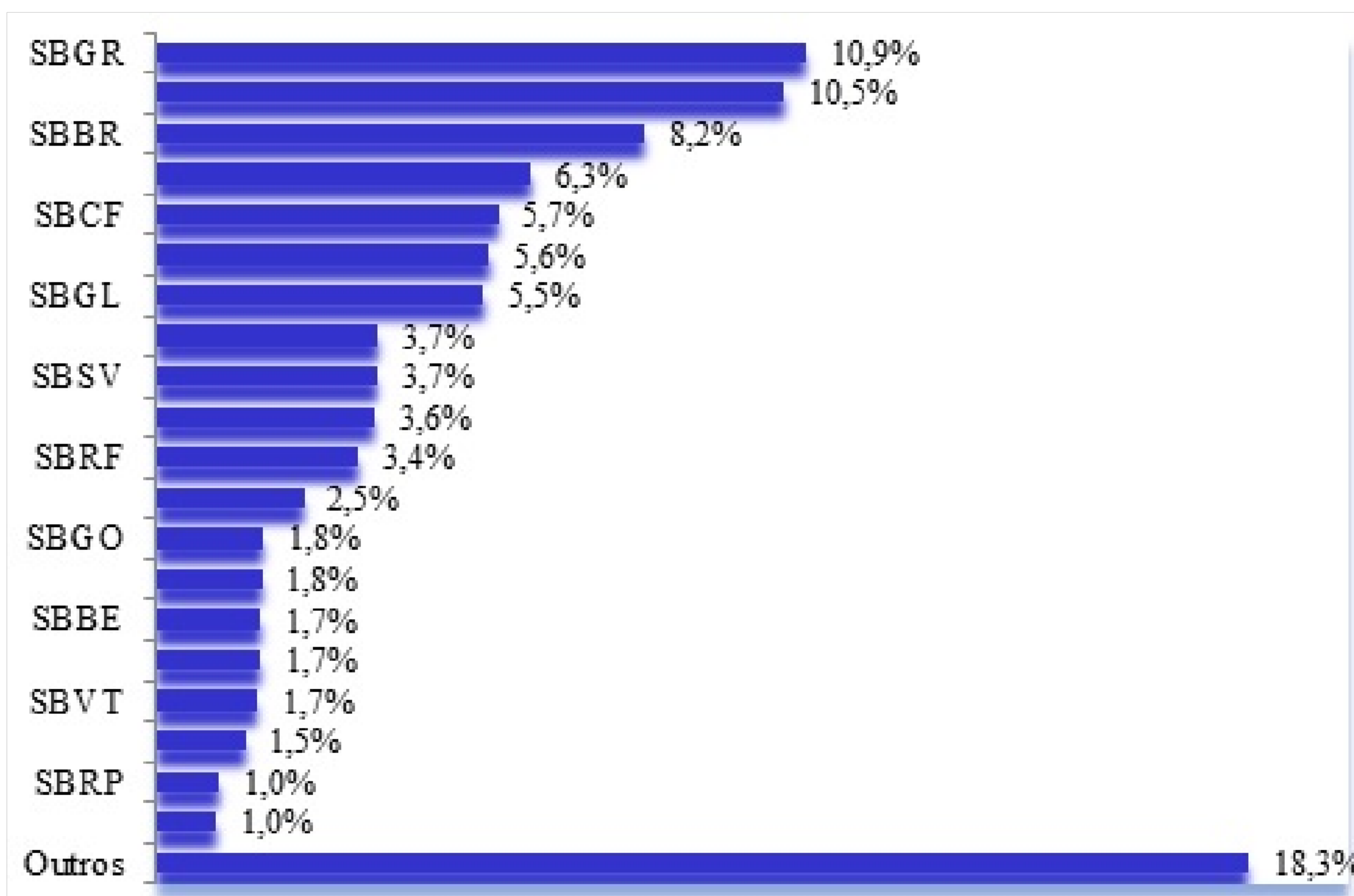
Figura 5 – Evolução da quantidade de passageiros interestaduais de longa distância transportados pelos modais aéreo e rodoviário, 2007 a 2016



Elaboração própria com base nos dados da ANAC e ANTT

Os aeroportos de Guarulhos, Congonhas, Brasília, Viracopos, Confins e Galeão respondem por quase metade de todo o transporte nacional realizado no país em 2016, figura 6.

Figura 6 – Distribuição dos embarques 20 mais expressivos aeroportos – mercado nacional, 2016



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da ANAC

Conforme dados do relatório de demanda aérea publicado pela ANAC, a demanda passageiros/quilômetros (Pagos transportados) e a oferta (em assentos/quilômetros (oferecidos) por transporte aéreo doméstico de passageiros registraram queda de 5,6% em dezembro de 2016, comparadas com o mesmo mês de 2015. Com o resultado de dezembro de 2016, a demanda doméstica apresentou o décimo sétimo mês consecutivo de retração. Já a oferta doméstica apresentou a décima sexta baixa sucessiva do indicador.

A quantidade de carga paga transportada no mercado doméstico foi de 28,5 mil toneladas em dezembro de 2016, o que representou queda de 5,7% em relação a dezembro de 2015. No acumulado do ano, a carga paga doméstica transportada acumulou redução de 7,4% em relação ao mesmo período de 2015, atingindo 261,8 mil toneladas. Em relação ao mercado internacional, em 2016, a demanda do transporte aéreo internacional de passageiros das empresas aéreas brasileiras registrou aumento de 2,6%, em comparação a 2015, enquanto a oferta internacional (em ASK) apresentou redução de 2,9% no mesmo período. No acumulado de janeiro a dezembro de 2016, a demanda internacional caiu 1,7% em relação ao mesmo período de 2015. A oferta (internacional) também apresentou queda, da ordem de 4,1%, no período.

O Brasil teve um crescimento da demanda por transportes aéreos. Além disso, sediar a Copa do Mundo de 2014 bem os Jogos Olímpicos de 2016 forçaram o governo a ser investidor e daí derivaram as principais mudanças no setor aeroportuário. A INFRAERO possuía 67 aeroportos em todo o país, sendo que os mais movimentados foram licitados. O plano de privatização foi lançado em 31 de maio de 2011. Foi realizada uma oferta para licitação para um contrato de longo prazo e incluiu os principais aeroportos: São Paulo / Guarulhos - O GRU, que é o maior aeroporto internacional do país e o maior *hub* da América Latina; Brasília - BSB, o mais importante e com localização geográfica central e São Paulo / Viracopos - VCP, único aeroporto secundário relevante e eficaz operado por uma transportadora.

Em 6 de fevereiro de 2012, o leilão dos três principais aeroportos arrecadou um total de US \$ 14 bilhões. O Governo realizou concessões com contratos de 20 anos (GRU), 25 anos (BSB) e 30.

Os contratos se deram em 14 de junho de 2012 e as unidades passam a ser administradas por Sociedades de Propósitos Específicos (SPEs). Em uma forma de propriedade, na qual a Infraero ainda detém uma participação de 49% do capital social de cada um dos aeroportos. Ela participa da governança dos deles. Sendo que se dá à proporção de sua participação acionária nas concessionárias, com poder de decisão em temas relevantes, que foram estabelecidos em acordos de acionistas firmados entre as partes.

As concessões tiveram início em 11 de julho de 2012. As datas reais de transferência de controle de gestão da Infraero para os novos proprietários foram novembro

15, 2012 (GRU e VCP) e 1º de dezembro de 2012 (BSB). As concessões do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim – Galeão (GIG), no Rio de Janeiro e do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins(CNF), em Minas Gerais, ocorreram maio de 2014. O primeiro foi arrematado pelo Consórcio Aeroportos do Futuro, formado pela Odebrecht e Transport, com participação de 60%, e a Operadora do Aeroporto de Cingapura CHANGI, com 40%. O segundo, Aeroporto, Confins, foi arrematado pelo consórcio Aero Brasil formado pela Cia. de Participações em Concessões – CCR, com participação de 75%, Operadora do Aeroporto de Zurique, Flughafen Zürich AG, com 24% e Munich Airport International Beteiligungs GMBH, com 1%.

Imediatamente após as privatizações, os aeroportos passaram por intensas construções e expansão de capacidade para adequarem à expectativa de demanda por ocasião da Copa do Mundo de 2014. Grandes projetos dos três aeroportos incluíram o alargamento e a remodelação da pista, da rampa e do avental de construção e implantação de novos terminais, entre outros. Contudo, muitos dos projetos de melhoria aeroportuária sofreram atrasos na sua obras que causaram problemas associados a linhas de *check-in* mais longas, afetando sobremaneira a eficiência do processamento dos passageiros.

Em 2016, aeroportos administrados pelo setor privado responderam por 46,7% do total de passageiros transportados embarque e desembarques, nacional e internacionais. Os seis aeroportos sob o gerenciamento de concessionárias foram responsáveis por receber um total de 91,9 milhões de passageiros em 2016. O somatório dos aeroportos administrados pela Infraero totalizou 104,8 milhões para o mesmo período. A maioria dos aeroportos brasileiros é administrado Infraero, isso corresponde à 59, com base na figura 7.

Figura 7 – Ranking de Passageiros transportados por 16 aeroportos mais movimentados no ano de 2016

| Posição | Aeroporto | Passageiros Transportados | Cidade | Estado |
|---------|---|---------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 1 | Aeroporto Internacional de São Paulo-Guarulhos | 36.596.326 | São Paulo-Guarulhos | São Paulo |
| 2 | Aeroporto de São Paulo-Congonhas | 20.816.957 | São Paulo | São Paulo |
| 3 | Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek | 17.947.153 | Brasília | Distrito Federal |
| 4 | Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim-Galeão | 16.103.011 | Rio de Janeiro | Rio de Janeiro |
| 5 | Aeroporto Internacional Tancredo Neves | 9.638.798 | Belo Horizonte-Confins | Minas Gerais |
| 6 | Aeroporto Internacional de Viracopos | 9.325.252 | Campinas | São Paulo |
| 7 | Aeroporto Santos Dumont | 9.065.905 | Rio de Janeiro | Rio de Janeiro |
| 8 | Aeroporto Internacional Salgado Filho | 7.648.743 | Porto Alegre | Rio Grande do Sul |
| 9 | Aeroporto Internacional Dep. Luis Eduardo Magalhães | 7.526.358 | Salvador | Bahia |
| 10 | Aeroporto Internacional dos Guararapes | 6.811.676 | Recife | Pernambuco |
| 11 | Aeroporto Internacional Afonso Pena | 6.385.838 | Curitiba / São José dos Pinhais | Paraná |
| 12 | Aeroporto Internacional Pinto Martins | 5.706.489 | Fortaleza | Ceará |
| 13 | Aeroporto Internacional Hercílio Luz | 3.536.435 | Florianópolis | Santa Catarina |
| 14 | Aeroporto Internacional Val-de-Cans | 3.282.513 | Belém | Pará |
| 15 | Aeroporto Eurico de Aguiar Salles | 3.120.166 | Vitória | Espírito Santo |
| 16 | Aeroporto Santa Genoveva | 3.016.798 | Goiânia | Goiás |
| 17 | Aeroporto Internacional Marechal Rondon | 2.840.559 | Cuiabá / Várzea Grande | Mato Grosso |
| 18 | Aeroporto Internacional Eduardo Gomes | 2.651.452 | Manaus | Amazonas |

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Infraero, Relatório Operacional do Aeroporto de Guarulhos 2016, Dados Operacionais do Aeroporto de Brasília Números do Aeroporto do Rio 2016, BH Airport - Estatísticas Aeroporto de Viracopos

É possível observar que dezesseis aeroportos movimentaram mais do que três milhões de passageiros o que em tese aplicando o argumento de Doganis (1992), que o custo marginal por passageiro.

Já para o argumento de Pelz (2004) os aeroportos: Internacional de São Paulo-Guarulhos, Aeroporto Internacional de São Paulo-Congonhas, Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim-Galeão e Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek apresentam o custo marginal por passageiro constantes.

2.4 Conceitos elementares de eficiência e produtividade

O conceito de função de produção é introduzido como uma ferramenta para avaliar a eficiência, e a maioria dos métodos relacionados são baseados na aproximação dessa função. Considerando o papel da função de produção, podemos classificar os métodos de avaliação da eficiência em dois tipos: primeiro, métodos paramétricos que buscam aproximar a função de produção (Kumbhakar e Knox Lovell, 2003); e segundo,

métodos não-paramétricos que indiretamente se aproximam dessa função. A análise de envolvimento de dados (DEA) é um dos métodos mais conhecidos e amplamente aceitos em classes não paramétricas, (RAY,2004).

Farrell (1957) introduziu um método de avaliação de eficiência conhecido como origem da DEA. A eficiência técnica com base em Farrell (1957) significa que uma firma, pessoa ou entidade está produzindo a quantidade máxima de produção de uma dada quantidade de insumos ou alternativamente, produzindo um dado produto com quantidades mínimas de entrada, de modo que quando uma empresa é tecnicamente eficiente quando opera em fronteira de produção. A eficiência alocativa ocorre quando o conjunto de entrada é aquele que minimiza o custo, dado o preço dos insumos ou, alternativamente, quando o mix de produção é aquele que maximiza a receita, dados os preços de produção. A eficiência técnica e alocativa englobam a “eficiência global”. Quando uma empresa é eficiente em termos globais, ela opera em sua fronteira de custo ou receita.

2.4.1 Fundamentos teóricos de medição

Cabe ressaltar que o conceito de eficiência refere-se a eficácia com os meios utilizados para alcançar os resultados. São várias as formas de eficiência, sendo que as mais comuns são:

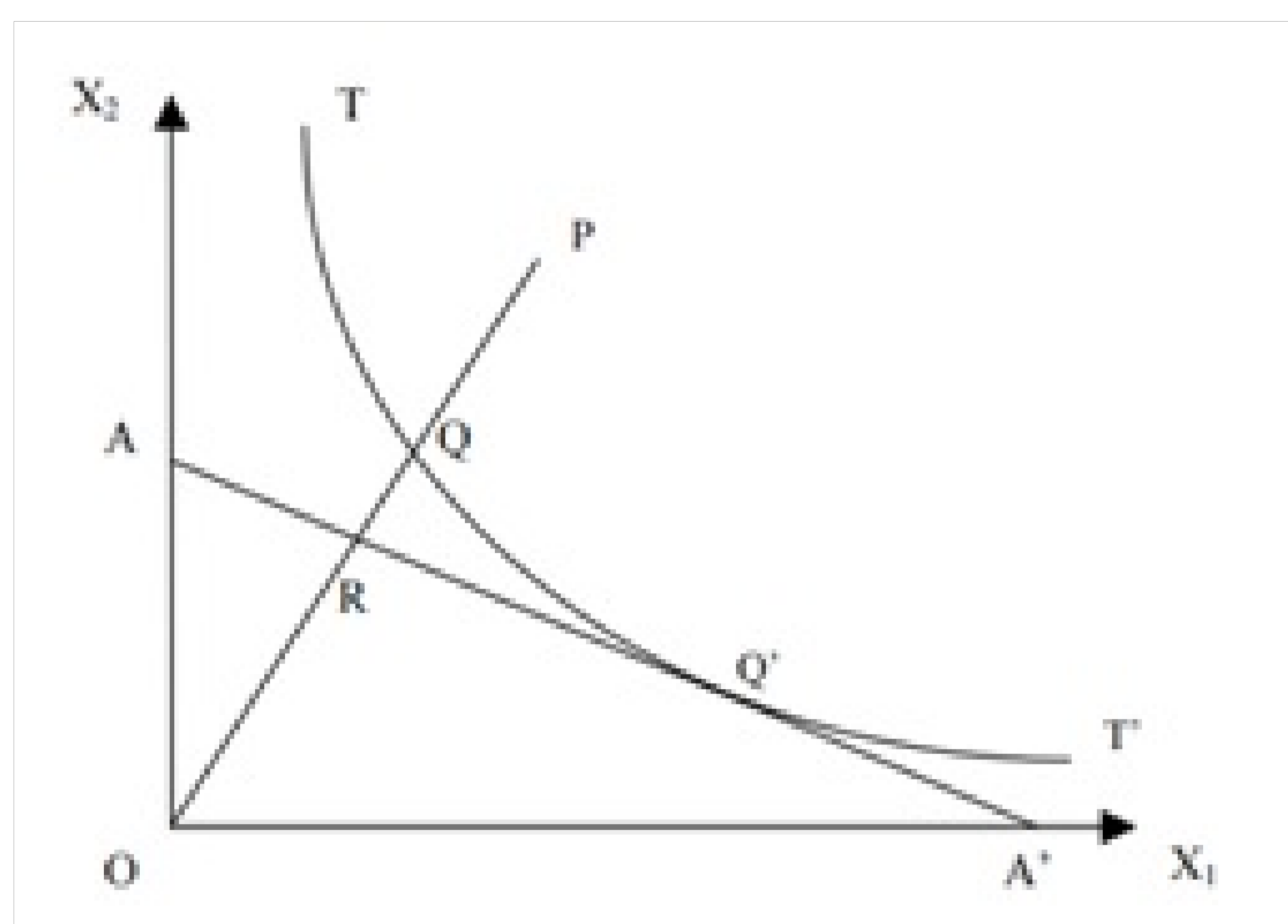
- eficiência técnica
- eficiência alocativa ou preço
- eficiência econômica
- eficiência de escala

O conhecimento da fronteira mede a eficiência técnica, figura 8. A eficiência técnica indica como uma organização utiliza recursos físicos disponíveis para um dado nível de produção.

A eficiência alocativa, ou preço é a primeira a determinar a custo total de produção de uma instituição e, em seguida, para localizar este custo total em comparação com a eficiência técnica. A diferença entre o custo, a produção total e eficiência técnica fornece uma indicação da ineficiência de uma firma, cuja origem encontra-se em combinação inadequada dos fatores (de produção) no que diz respeito aos custos. O retorno aumentando quando a produção varia significativamente mais do que a mudança nos fatores produção utilizado, ou seja, a produção de uma unidade adicional é acompanhado por uma diminuição do custo unitário (= economias de escala). Os

rendimentos diminuem se a variação produção for menor do que os fatores de variação da utilizados. Em outras palavras, o custo marginal vai aumentando, isso quer dizer que quanto mais são produzidos maior o custo de produção de uma unidade adicional (deseconomia de escala).

Figura 8 – Eficiência técnica e eficiência distributiva



Fonte:Elaboração própria

A eficiência econômica leva simultaneamente em conta a eficiência técnica e alocativa; quando essas eficiências sobrepõem, a propriedade é economicamente eficiente. Para esclarecer melhor estes conceitos, observe uma empresa produtora de uma única saída de Y a partir de dois insumos de X1 e X2 (figura 9).

Assim, a curva de indiferença (ou isoquanta) TT' representa o limite de produção de todas as empresas "Técnicamente eficientes" para um determinado nível de Y. Por esta curva, a variação na quantidade de fatores de substituição comportam-se vis-à-vis a variação substituindo o fator da mesma forma que se comporta a produtividade marginal tal e qual do fator substituído, isto é:

$$\frac{dx_1}{dx_2} = \frac{\delta y}{\delta x_2} + \frac{\delta y}{\delta x_1} \quad (2.1)$$

Se uma empresa utiliza uma quantidade de entradas, definido por um ponto P, ao produzir uma unidade de saída, sua ineficiência técnica pode ser medida pela distância QP. Ele corresponde às proporções de entradas que podem ser reduzidas sem reduzir a

quantidade de saída. Sob estas condições, para cada unidade de produção e eficiência técnica é medida pela relação:

$$E_r = \partial Q / \partial P \quad (2.2)$$

$$0 \leq ET \leq 1 \quad (2.3)$$

Um valor de 1 significa que a empresa é eficiente do ponto de vista técnico. Entre as muitas combinações de X_1 e X_2 que atingem o nível de produção Y , a melhor combinação é a que custa menos. É o ponto de tangência entre a isoquanta TT e linha AA isocusto com uma inclinação igual à razão dos preços dos fatores. Neste caso, a combinação de fatores é alocativamente eficiente: a taxa marginal de substituição técnica é igual a preços relativos dos fatores. Para o ponto P , eficiência distributiva é medida por:

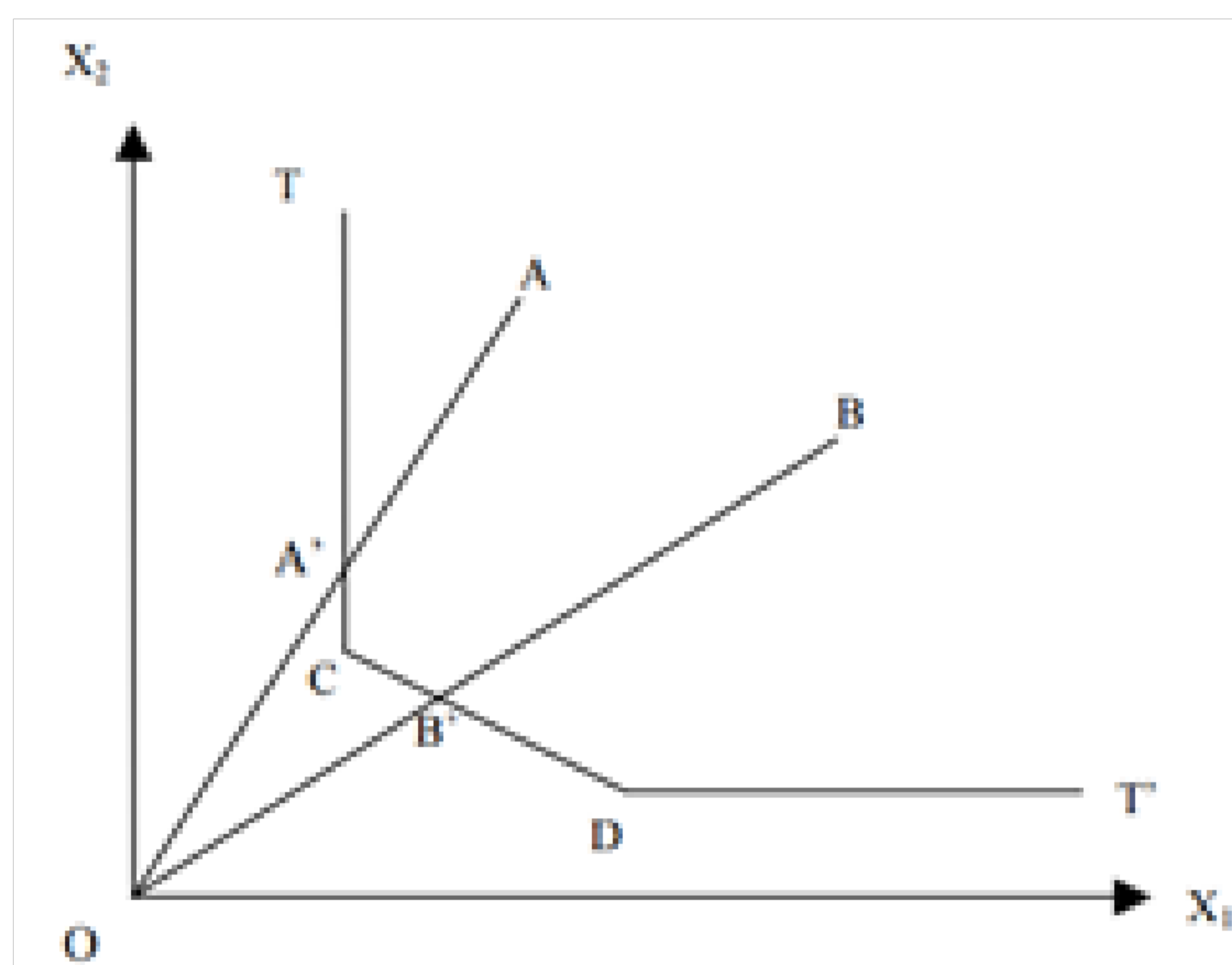
$$EA = \partial R / \partial P_{com} \leq \partial EA \leq 1 \quad (2.4)$$

A distância RQ representa a redução no custo de produção se correspondeu ao ponto Q' . O último é eficiente do ponto de alocação de vista, uma vez que é determinado pela tangente do AA isocusto para o TT isoquanta. Para cada unidade de produção, a eficiência total de ETO é medido por:

$$ETO = \partial R / \partial P = (\partial Q / \partial P) \times (\partial r / \partial Q) = ET \quad (2.5)$$

No entanto, na prática, a produção fronteira eficiente raramente corresponde a uma curva, mas sim uma linha a tracejado (figura 10). Este resultado não é sem desvantagem quando se trata de avaliar a eficiência técnica. Na Figura 10, unidades de produção que consomem combinações C e D entradas x_1 e x_2 são empresas eficientes uma vez que estão na fronteira. As empresas A e B , eles são ineficientes. A eficiência técnica das empresas A e B são iguais, respectivamente, a OA'/OA e OB'/OB . Estas medidas são discutíveis desde o ponto A' não é eficiente uma vez que é possível obter o mesmo nível de produção, reduzindo a quantidade de quantidade X_2 da CA' . CA é chamado de folga de entrada ou de entrada em excesso.

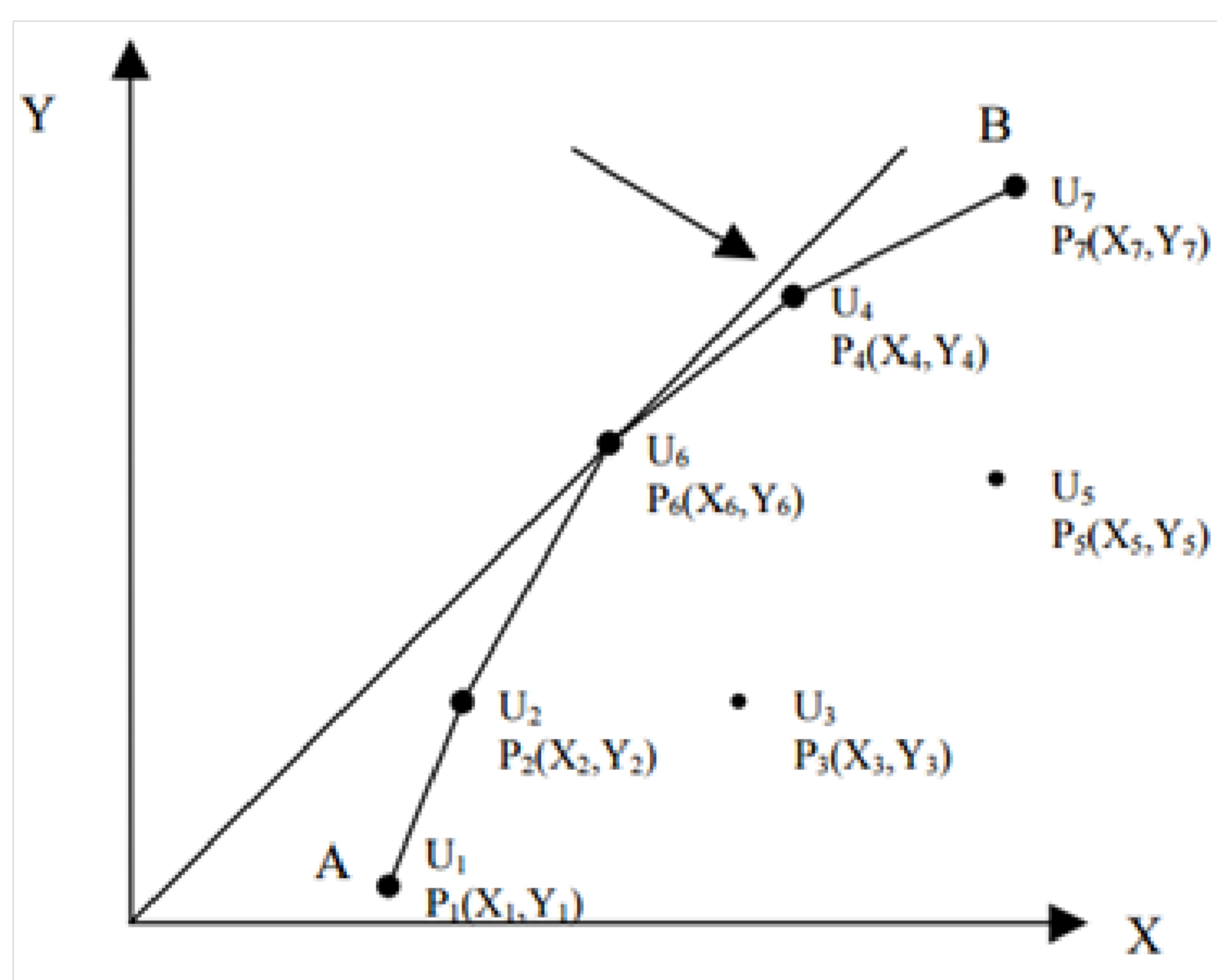
Figura 9 – Eficiência e entradas excesso



Fonte: Elaboração própria

Em suma, o método de análise envoltória de dados não requer especificação da função de produção. Consiste na determinação da “fronteira eficiente” de produzir um conjunto de unidades de decisão.

Figura 10 – Fronteira de Rendimentos Constantes



Fonte: Elaboração própria

Cada unidade x_j consome uma quantidade de entradas para produzir uma quantidade y_j de saídas. O problema se resume a estabelecer, por meio de programação linear, a posição de cada unidade em relação à sua situação ótima, que seria a de uma unidade ideal que iria conseguir dada uma quantidade de saída com entradas mínimas (ou, com entradas dadas, propor saídas máximas). No caso geral, é considerado um número infinito de entradas e saídas, a medição da eficiência EP produtiva é medida pela relação:

$$EP = \text{soma ponderada das saídas} / \text{soma ponderada de entradas}$$

Na figura 11, cada unidade consome entradas X Y para produzir saídas. A fronteira eficiente é composta por unidades que exibem contagens EP igual a 1 (se os rendimentos são constantes) ou mais próximos de 1 (se os rendimentos variáveis AB , linha quebrada).

3 Análises comparativas

O *benchmarking* é conduzido para analisar a eficácia das funções e processos individuais na organização. Isso permite que você determine mais precisamente as causas da ineficiência nas atividades de produção e forneça recomendações para resolver problemas identificados. O método encontra aplicação em todas as esferas da atividade empresarial como logística, marketing, finanças, etc.

A produtividade é uma medida da quantidade de um produto ou serviço produzido (volume de produção) em relação à quantidade de recursos investidos na produção (custos de produção). Ela é caracterizada pela soma dos custos de produção por unidade produzida, o fator de utilização da capacidade e o pessoal, o número de unidades produzidas por dia e o tempo médio para reconfigurar o equipamento também podem ser levados em consideração. O desempenho mostra a eficiência dos recursos.

Nas práticas modernas de gerenciamento e comercialização, o *benchmarking* é um produto do desenvolvimento evolutivo do conceito de competitividade, que envolve o desenvolvimento de um programa de melhoria de qualidade baseado em uma análise comparativa de seus indicadores de desempenho com indicadores similares de concorrentes.

Os estudos de *benchmarking* e as comparações de produtividade e eficiência dos aeroportos têm diferentes assuntos de investigação. Graham (2005) subdividiu-os nas seguintes categorias: 1) Investigação de indicadores financeiros: análise de números clássicos da conta de ganhos e perdas e do balanço, que pode ser realizado em diferentes indústrias; 2) Desempenho econômico: análise de dados relacionados ao aeroporto, por exemplo, Produtividade do trabalho (número de passageiros por empregado); 3) Desempenho operacional: ex.: Nível de utilização da capacidade; 4) Aspectos de marketing: ex.; Satisfação do cliente de passageiros ou companhias aéreas 5) Desempenho ambiental: medidas ambientais.

O objetivo dos estudos de avaliação comparativa também pode ser diferente, como explicado por Kincaid e Tretheway (2006): 1) *benchmarking* como ferramenta reguladora para determinar tarifas reguladas nos aeroportos; 2) *benchmarking* para fins de política para avaliar medidas de privatização ou avaliar o desenvolvimento regional; 3) *benchmarking* como ferramenta de gerenciamento para aeroportos para identificar padrões de melhores práticas; 4) Benchmarking como ferramenta de tomada de decisão para companhias aéreas ou investidores.

O desenvolvimento técnico de aeroportos baseia-se na necessidade de reequipar completamente a base terrestre destes, introduzir novas tecnologias para a manutenção de aeronaves e passageiros. Mas, ao mesmo tempo, é necessário desenvolver e financiar esses programas, o que seria de acordo com a importância e o *status* do

aeroporto. A essência é encontrar a melhor correspondência entre o desenvolvimento técnico do aeroporto e suas novas oportunidades econômicas e a relevância para o transporte aéreo do país, região e regiões individuais.

Assim, a gestão do aeroporto é um sistema multifuncional com uma grande quantidade de fatores de mudança, tanto no ambiente operacional externo quanto no interno do aeroporto. Por conseguinte, as decisões de gerenciamento e a sua implementação pela administração do aeroporto é uma tarefa complexa, exigindo um treinamento extensivo e habilidades organizacionais que asseguram a implementação de padrões internacionais de segurança, regularidade e qualidade do tratamento terrestre do transporte aéreo, assegurando ao mesmo tempo, o crescimento da atividade financeira do aeroporto.

O aumento constante no volume de transporte aéreo de passageiros, carga e correio é o resultado de uma melhoria técnica constante e sustentada da aviação civil. Existe um processo contínuo de melhoria de todas as características operacionais, técnicas e de voo, principalmente de aeronaves. Isso se reflete no aumento da capacidade de passageiros, capacidade de carga, velocidade de vôo, economia, confiabilidade e, portanto, segurança. Uma possível alternativa é considerada apenas pequenas aeronaves para a entrega mais rápida de um número limitado de passageiros VIR.

Se falamos sobre as perspectivas globais para o desenvolvimento dos transportes, as posições de liderança, sem dúvida, assumirão o transporte aéreo GILLEN (2006), GILLEN (2008) e GILLEN (2010). Nas últimas décadas, seu volume mundial tem crescido constantemente, representando entre 5% e 7% a cada ano, e não há motivo para falar de saturação do mercado. E, de acordo com as estatísticas, apenas 7% da população do mundo usa hoje os serviços de transporte aéreo, os dados do transporte testemunham com eloqüência que uma parte muito significativa da humanidade prefere viajar de avião, economizando a maior parte do tempo (IATA). O transporte aéreo desempenhará um papel cada vez mais proeminente na vida da sociedade e na civilização geral.

O *benchmarking* como sendo uma função mais detalhada, formalizada e ordenada do que o método ou abordagem da análise competitiva em empresas similares, indústrias ou setores. É uma função indispensável do sucesso de qualquer organização, incluindo aeroportos e companhias aéreas. Um benefício está em identificar as deficiências e performances excepcionais sem adentrar em um detalhamento complexo dos processos. Sem essa comparação seria difícil e complexo o processo para determinar se uma empresa esta de fato sendo produtiva.

Como muitos aeroportos se tornaram cada vez mais utilizados em negócios privados, houve um aumento no uso de *benchmarking* para avaliar e melhorar o desempenho. O *benchmarking* foi feito das seguintes maneiras:

- Preço: o custo de voar para o aeroporto em termos de taxas de aterrissagem, taxas de terminal, etc.
- Qualidade do serviço: níveis de satisfação do cliente, tempos médios de fila, incidências de atrasos.
- Custo: custo unitário, pesquisa como custo operacional ou total por unidade de carga de trabalho Working Load Unit (WLU).
- Produtividade ou eficiência: Fator Total de Produtividade (FTP), Fator Variável de Produtividade (FVP), ou medidas de produtividade de fatores únicos (por exemplo, mão de obra por hora de trabalho).

Como resultado da demanda por *benchmarking* do aeroporto, publicações são produzidas para avaliar os aeroportos em várias dimensões. Vale destacar Gillen e LAll (1997) os autores utilizaram DEA em duas etapas sendo a primeira etapa DEAVRS/BCC orientado a output e segunda etapa regressão Tobit para 21 aeroportos estadunidenses entre 1989-1993, Parker (1999) utilizou DEA CRS/CCR e DEA VRS/BCC para 32 aeroportos na Grã Bretanha entre 1979/1978 e 1995/1996 e segunda etapa entre 1988/1989 e 1996/1997. Os resultados desses estudos de avaliação comparativa são frequentemente usados para destacar alguns aspectos positivos ou negativos de um aeroporto.

A seleção de aeroportos para comparação também é fundamental para a análise. A obtenção de dados adequados é um dos maiores desafios no *benchmarking* do desempenho de aeroportos. A disponibilidade e qualidade dos dados sobre operações e finanças do aeroporto varia de acordo com o estado da economia, práticas contábeis em cada país e os dados coletados pelas agências estatísticas governamentais.

Embora a maioria dos aeroportos privados e sem fins lucrativos não forneça contas financeiras detalhadas, elas não estão disponíveis em nenhum detalhe excelente. Mesmo que não tenha dados em um formato compatível com alguns outros aeroportos, diferentes práticas contábeis podem assim criar inconsistências de dados. Por exemplo, alguns aeroportos tratam as despesas de juros como um custo operacional, enquanto outros o tratam como uma despesa não operacional. Alguns aeroportos cobram suas taxas para uma única taxa de pouso com base em peso (talvez com uma taxa de terminal separada para passageiros ou assentos). Além disso, muitos aeroportos cobram taxas diretamente aos passageiros.

Um grande desafio com a interpretação dos resultados dos estudos de avaliação comparativa é que alguns aeroportos podem ter taxas mais elevadas do que outros simplesmente porque fornecem uma variedade de serviços. Embora as tarifas de alguns aeroportos sejam cobradas, os outros serviços são prestados por prestadores de serviços de navegação aérea e, portanto, têm taxas mais baixas. Na verdade, há

uma série de fatores que podem afetar a comparação do preço, custo ou eficiência do aeroporto:

- Grau de contratação pelo aeroporto. Quando certos serviços são contratados para terceiros, que cobram diretamente as companhias aéreas, isso reduz os custos operacionais do aeroporto. Tempo. Os aeroportos em climas frios exigem que o equipamento de desobstrução e desengate de neve aumente a base de seus custos (a não ser que, obviamente, esses serviços sejam contratados). Do mesmo modo, os aeroportos sujeitos a inclemências climáticas (furacões, ventos fortes) podem ter custos mais elevados ou produção reduzida. Os aeroportos em áreas quentes poderiam ter reduzidos os níveis de produção, já que as aeronaves às vezes têm que tomar pesos de decolagem mais baixos (o ar quente é menos denso).
- Subsídio ou assistência do governo. Subvenções para operação, custos de capital. Assim, estes podem ter acesso a financiamentos de menor custo, já que os empréstimos ou títulos são apoiados pelo governo.
- Mistura de tráfego. Os passageiros internacionais tendem a exigir mais infraestrutura e espaço do que os passageiros domésticos (por exemplo, alfândega e imigração, cargas de bagagem mais elevadas). Eles têm direito a taxas aeroportuárias mais elevadas, através de taxas e encargos mais altos para a companhia aérea e maiores taxas de gastos de varejo. Assim, a proporção de passageiros de conexão, em relação aos passageiros de Origem / Destino, pode, portanto, ter implicações de custo e receita.
- Restrições de capacidade. A capacidade do aeroporto pode ser limitada por fatores fora do controle do aeroporto. Por exemplo, o aeroporto pode estar sujeito a toque de recolher noturno, quotas de ruído.
- Custo de vida. Alguns aeroportos enfrentam custos de mão de obra mais elevados, pois operam em países com maior custo trabalhista.
- Economias de escala. A produtividade do aeroporto pode ser reforçada por economias de escala. Os aeroportos com maiores volumes de tráfego têm níveis de produtividade maiores do que os aeroportos menores, simplesmente porque se beneficiam de economias de escala.
- Qualidade do serviço. Os ganhos de produtividade ou reduções de custos podem ser alcançados reduzindo o nível de serviço no aeroporto. Uma comparação baseada em medidas financeiras pode perder este aspecto do desempenho.

- Congestionamento. Sempre que reduzam a eficiência econômica da aviação comercial. Abordagens foram desenvolvidas para superar esses tipos de problemas. Por exemplo, alguns estudos “normalizam” os dados para que os indicadores de desempenho sejam baseados em um conjunto uniforme de atividades. Outra abordagem é avaliar os indicadores de desempenho para fatores externos, em uma abordagem conhecida como benchmarking residual. Produzido replicável e consistente ao longo do tempo e entre os aeroportos.

É uma ferramenta útil para identificar deficiências e excelência em desempenho. Pode acompanhar as forças competitivas. O *benchmarking* pode servir como uma ferramenta efetiva de ajuda à decisão, mas os gestores devem estar atentos às limitações da análise.

4 Métodos

Muitas vezes, os termos produtividade e eficiência são usados como sinônimos, mas há uma diferença no seu significado. A produtividade é essencialmente a proporção de saídas para entradas. Aqui, pode-se medir a produtividade parcial, dando uma saída por uma entrada (por exemplo, a produtividade do trabalho em aeroportos é calculada pelo número de passageiros por empregado) ou agrega todas as saídas e insumos em um índice para os Fatores Totais de Produção. Por outro lado, a eficiência mede a proporção da saída observada (ou entrada) para a saída máxima possível ou a entrada mínima possível. Esta seria a razão do ponto ineficaz A para o destino eficiente B, (COELLI et al., 2005).

Geralmente, existem duas famílias de métodos baseados em fronteira eficiente são eles:

- Métodos não paramétricos, como Análise envoltória de dados (DEA) ou Casco de descarte livre (FDH). Os métodos são originários de pesquisa em operações e uso de programação linear para calcular uma fronteira determinista eficiente contra as quais as unidades são comparadas.
- Métodos paramétricos, como análise de fronteira estocástica (SFA) usam a teoria econômica para estimar a forma funcional pré-especificada e a ineficiência modelada como um termo estocástico adicional.

4.1 Análise envoltória de dados - DEA

O modelo DEA origina da teoria microeconômica relacionada com a produção voltada para medição da eficiência Debreu (1951) com o coeficiente de utilização do recurso; Koopmans (1951) ao medir eficiência em termos de distância. E especificamente refere-se ao conceito de desempenho produtivo definido na teoria da eficiência-X, (LEIBENSTEIN, 1966 e 1972).

O método DEA (análise envoltória de dados) visto como uma potencial ferramenta de análise da eficiência possui uma abordagem multidimensional de desempenho pode ser potencialmente útil na gestão.

Os métodos de aplicação DEA são técnicas matemáticas de programação linear baseados em hipóteses não paramétricos para estabelecer valores de referência, Charnes, Cooper e Rhodes(1978) e Banker et al. (1984 i), Banker et al. (1984 ii) Banker et al. (2004). Eles podem revelar, com base em uma análise multicritério do desempenho, as entidades com as melhores práticas. Simultaneamente, entidades ineficientes são

destacadas, uma medida da sua ineficiência é proposto e maneiras diferentes para atingir um melhor desempenho são identificados.

Emrouznejad et al. (2008) e Liu et al. (2013) pesquisaram mais de milhares de artigos e aplicações da DEA em diferentes campos.

A Teoria da Produção teve raízes em Cournot (1897), Pareto, Alfred Marshall, Koopmans (1951), Debreu (1951) e Leontief (1970). Já para as medidas para apurar a eficiência econômica tem-se como a publicação clássica, FARREL, 1957), CHARNES, COOPER e RHODES(1978), (RHODES, 1978), (BANKER et al.,1984), e (FOSUND, 2004), FOSUND e SARAFIOGLOU (1999).

O método permite aferir eficiência das unidades de produção, em geral. Vale dizer que pode envolver múltiplas entradas e saídas. Os pressupostos de que necessita são naturalmente mais fracos do que os utilizados por métodos paramétricos. A DEA determina os parâmetros de eficiência (unidades de produção de referência) e para colocar todas as unidades em relação a estes parâmetros. Em seguida procede por envoltório de dados. As unidades estão localizados no envelope (ou fronteira de produção empírica) são, portanto, os pontos de referência. Uma distância de outras unidades na fronteira de produção é uma medida da sua ineficiência.

Uma vantagem principal da análise envoltória é que não exige nenhuma estatística específica de distribuição para entradas e saídas. No entanto, como mencionado anteriormente, a DEA é desenvolvida sob o ideia da homogeneidade das DMU's, lidando com dois aspectos: usando insumos e saídas; e com as mesmas características funcionais e operacionais. Porém a heterogeneidade parece inevitável característica da prática. Em relação a esse fato, aeroportos devem ser levadas em consideração. Embora pareçam um com o outro, são influenciados por vários fatores como situação socioeconômica, economia, temperatura, clima, tamanho, local onde está inserido, sendo capazes de mudar inteiramente sua eficiência.

Existem diferentes tipos de funções remotas. O mais antigo é a função de distância radial (SHEPHARD,1970). Mas isso requer que a relação entre os diferentes fatores de produção ou de produtos são mantidas constantes. Mas a grande preocupação é arbitrar sobre as prioridades para dar aos diferentes fatores estudados. Se a empresa quer se concentrar em reduzir a quantidade de entrada especialmente a redução proporcional de todas as entradas, é preciso referir ao plano de produção eficiente, que vai usar a menor quantidade possível de entrada preferencial. Isso só pode ser implementado com a função distância radial.

Conforme Chambers et al.(1996) uma função de distância direcional permite a favorecer um ou mais fatores em relação aos outros. Ele também ajuda a concentrar, simultaneamente, os componentes de entrada e saída. Isto irá permite identificar as possibilidades de melhoria das empresas ineficientes na direção desejada. Por isso, podem ser pesados custos, qualidade e prazos com base no interesse que é trazido

para eles, por exemplo.

A implementação da DEA exige a emissão de suposições sobre rendimentos ou valores de escala. Os dois modelos mais utilizados são aqueles com rendimentos constantes de escala e rendimentos variáveis de escala. especificação incorreta de retornos constantes de escala pode levar a erros de medição significativas Simar e Wilson (2002), que vai contar com a hipótese mais flexível dos rendimentos variáveis de escala.

A DEA é usada para analisar e avaliar o desempenho. Conforme Gervais e Thenet Thenet (2004), (2012); Meyssonier 2012), ela parece particularmente bem adaptada para controlar as atividades de gerenciamento de serviços.

A utilização de métodos para as fronteiras de apresentam que a melhoria do nível de eficiência depende compensações que são feitas entre os elementos analisados. Uma das ferramentas usadas para medir a eficiência é a função de distância direcional (CHAMBERS et al., 1996). Esta função de distância para analisar cada uma das diferentes orientações possíveis (eficiência) e sublinha a existência de limites na escolha correspondente. Por exemplo, ele mostra até que ponto é possível reduzir significativamente os custos sem reduzir a qualidade e ao mesmo tempo melhorar os tempos de produção, ou até que ponto é possível melhorar a qualidade sem aumentar custos ou atrasos.

Vale explorar as duas abordagens DEA. A abordagem orientada a entradas minimiza o consumo de entradas (concentra-se em minimizar possíveis entradas) para um dado nível de saída. Em outras palavras, devemos entender quanto podem ser reduzidas proporcionalmente as quantidades de insumos sem mudar as quantidades produzidas. A abordagem voltada para produto ou saídas maximiza as saídas a um nível constante de entradas.

O método consiste em determinar (N) otimizações (observacionais) que seja, para identificar a mais conveniente para cada caso, sem que isso tenha um efeito negativo sobre as entradas ou saídas das outras unidades.

O valor ótimo para cada unidade em análise pode ser localizada sobre a fronteira. Cada unidade que não está na fronteira terá como referência ideal o ponto da curva. A unidade mais próxima localizada significa que as entradas podem assim deduzir que uma unidade pode estar menos bem posicionada para conseguir quantidade de saídas ou, simetricamente, para induzir uma unidade para fazer esforços para aumentar a sua saída com entradas dadas.

Já quando os rendimentos são variáveis, basta adicionar uma constante no numerador em cada equação que o relatório é maximizar:

A abordagem DEA permite análises comparativas ou *benchmarking*. Assim, é possível procurar por DMU's que têm combinações dos fatores mais eficientes e levá-los de pontos de referência para outros. Ela permite análise de desempenho, de

modo que embora as DMU's escolheram diferentes dotações de fatores produção, o método assume que as unidades são relativamente homogêneas e comparáveis entre si, que é muitas vezes o caso com unidades de produção de serviços.

Em suma, o método de análise envoltória de dados não requer especificação da função de produção. Consiste na determinação da “fronteira eficiente” de produzir um conjunto de unidades de decisão. Cada unidade consome uma quantidade de entradas para produzir uma quantidade de saídas. O problema se resume a estabelecer, por meio de programação linear, a posição de cada unidade em relação à sua situação ótima, que seria a de uma unidade ideal que iria conseguir dada uma quantidade de saída com entradas mínimas (ou, com entradas dadas, propor saídas máximas).

Na verdade, a ferramenta assume que a alocação é definida pela estratégia satisfazendo *a priori* uma questão de como otimizar (a verificação *a posteriori* de se utilização de recursos é ótima em relação às escolhas feitas). É, portanto, uma ótica padrão de controle de gestão (estratégia de implementação).

Em serviços, não há uma garantia de que a solução resultante é desejável para a empresa. Esta exige que sua operação signifique um certo volume, mas também alguma produção de qualidade. Se os meios não são utilizados para a sua capacidade qualitativa, é possível fazer mais, mas fornecendo aos clientes uma qualidade inferior. Uma formulação adequada do programa linear pode superar esta desvantagem. A saída resultante pode ser medida por um indicador quantitativo, e refinamentos apreciando a satisfação do cliente ou atributos “Qualidade” do serviço. É neste caso otimizar a produção que é compreendida tanto em termos quantitativos como qualitativos.

Seja qual for o contexto, o método continua a ser muito estático. Ele executa otimização baseada em elementos conhecidos em algum ponto. Ele ignora o fato de que a deficiência de hoje pode tornar-se fator de sucesso de amanhã e a compreensão da dinâmica do desequilíbrio é muitas vezes mais importante para o sucesso.

Apesar do esforço de Farrel (1957) em entender o método para vários produtos, não ficou claras as definições e interpretações matemáticas, assim Forsund e Sarafo-glou (1999) fazem uma crítica ao modelo ao passo que apresentam suas limitações. O modelo apresenta valores puros e simples de eficiência sem que há algo substancial para explicar as eficiências ou ineficiências e chamam a atenção ao cuidado desde as seleção dos dados, o que é importante em qualquer método como a qualidade dos mesmos.

Uma sensibilidade para a seleção correta dos insumos e produtos é um dos pontos fundamentais para analisar um modelo DEA. Essas variáveis são agrupadas em DMU (Decision Making Unit) Charnes, Cooper e Rhodes (1978) (ou unidade de decisão usando múltiplas medidas de *Inputs* (insumos) e *Outpus* (produtos)).

Conforme Dyson (1995) e Emrouznejad (2004), a orientação do modelo DEA pode ser para insumos ou produtos de modo que o cálculo de produtividade não mais é

por um único insumo e um único produto mas que o cálculo da eficiência técnica fosse ajustado como uma espécie de extensão formulada por :

$$Eficiencia = \frac{somaponderadadosinsumos}{somaponderadadosprodutos} \quad (4.1)$$

Obviamente que para a definição acima era necessária uma notação de modo que os pesos fossem um conjunto o que era difícil à época. Por tal dificuldade, os autores buscaram uma solução teórico/empírica para o problema e propuseram um modelo em que cada unidade poderia adotar um conjunto de pesos que se lhes fosse mais apropriados tendo em vista que organizações e setores são diferentes e se comportam diferentemente.

Por tal atributo e tendo em vista a utilização de vários insumos e produtos tem-se o CCR (retornos constantes de escala) das iniciais dos autores. O problema de otimização linear era de mais fácil compreensão e utilização. O formato desse modelo , foi estendido para retornos variáveis de escala e elasticidade de escala já retro mencionado (VRS), por Banker, Charnes e Cooper (1984), e que levou ao novo modelo codinome BCC, advindo do sobrenome dos autores.

Assim, esse modelo mede a eficiência técnica assegura como a restrição de convexidade que a unidade composta tem um tamanho de escala semelhante ao da unidade a ser medida. A eficiência resultante é sempre pelo menos igual à dada pelo modelo CCR, e aquelas DMUs com os menores níveis de entrada ou de maior produção são classificadas como eficientes. Ao contrário do modelo CCR, o modelo BCC permite retornos variáveis a escala.

Desse modo, o modelo DEA é usado para resolver eficiências relativas para um determinado grupo de DMU usando medidas múltiplas de inpus ou insumos e seus produtos ou outputs. Dado um conjunto de DMU, insumos e produtos, o modelo DEA determina para cada DMU uma eficiência obtida pela razão da proporção dos pesos atribuídos aos insumos e aos produtos.

Orientações do DEA voltada a insumo com eficiência da DMUo, por meio do modelo dos multiplicadores CCR/CRS ou RCE (voltada a insumo e produto) é visualizada no Quadro1.

Quadro 1 – Minimização de Input e Maximização de Output

| Minimização de inputs - CCR-I | Maximização de Outputs - CCR-O |
|---|---|
| $\text{Max } Eff_0 = \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{j0}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}}$ | $\text{Min } Eff_0 = \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}$ |
| <p>Sujeito a:</p> $\frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \quad K = 1, 2, \dots, n$ | <p>Sujeito a:</p> $\frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}} \geq 1, \quad K = 1, 2, \dots, n$ |
| $u_j e v_i \geq 0 \forall j, i$ | $u_j e v_i \geq 0 \forall j, i$ |

Fonte: Guerreiro (2006)

Assim:

 Eff_0 = eficiência da DMU₀; u_j, v_i - pesos de outputs e inputs respectivamente; x_{ik}, y_{jk} – inputs i e outputs j da DMU_K, x_{i0} ,

O modelo CCR orientado a *input* pode ser definido como um problema de programação fracionária e que pode ser transformado em uma programação linear, onde o denominador da função objetivo necessariamente precisa ser igual a uma constante, normalmente igual a um. Se igual ou maior que 1 a escala de eficiência é eficiente se menor do que 1 a escala é ineficiente, quadro 2.

Quadro 2 – Minimização de Input e Maximização de Output envelopada

| Minimização de <i>Inputs</i> - CCR-I | Maximização de <i>Outputs</i> - CCR-O |
|---|---|
| <u>Primal (Multiplicadores)</u> | <u>Primal (Multiplicadores)</u> |
| $Max\ Eff_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0}$ <p>Sujeito a:</p> $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} = 1$ $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j, v_i \geq 0 \forall j, i$ | $Min\ Eff_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0}$ <p>Sujeito a:</p> $\sum_{i=1}^r u_j y_{jk} = 1$ $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j, v_i \geq 0 \forall j, i$ |
| <u>Dual (Envelope)</u> | <u>Dual (Envelope)</u> |
| <p><i>Min</i> θ</p> <p>Sujeito a:</p> $\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$ $-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$ $\lambda_k \geq 0 \forall k$ | <p><i>Max</i> θ</p> <p>Sujeito a:</p> $-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, s$ $x_{i0} + \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, r$ $\lambda_k \geq 0 \forall k$ |

Fonte: Guerreiro (2006)

De modo que:

h_0 e ϑ — eficiência;

u_j, v_i - pesos de outputs e inputs respectivamente;

x_{ij}, y_{jk} — inputs i e outputs j da DMUK ;

x_{i0}, y_{j0} – inputs i e outputs j da DMU 0 ;

λ_k – k -ésima coordenada da DMU 0 em uma base formada pelas DMU's de referência.

A forma de maximizar a eficiência pode ser por aumento dos *inputs* ou insumos, diminuição dos *outputs* ou produtos, ou diminuição de ambos observando ao produto da relação numerador/denominador. O primeiro visa minimizar o consumo de insumos de modo a produzir o máximo com o mínimo. Sendo que do modelo primal é factível desenvolver o modelo dual envelopado. O modelo envelopado busca os valores de λ_k de modo que haja a minimização do valor θ , sendo λ_k a contribuição da DMU k na formação da DMU 0. Observar que as DMUs com λ_k não são nulos e são os benchmarks da DMU 0.

Bogetoft e Otto (2011) trazem à baila o motivo pelo qual as organizações fazem benchmark e a ideia de análise de eficiência. Conforme os autores, Benchmark É: “ a

sistemática comparação de performance de uma firma contra outras firmas”. De modo geral há uma comparação de entidades que transformam o mesmo tipo de recursos com o mesmo tipo de produtos e serviços. As entidades ou atores tratados podem ser empresas, divisões, indústrias, projetos, DMUs, ou indivíduos como gerentes ou pessoas que trabalham em chão de fábrica.

Os modelos básicos ou modelos de retornos constantes ou CCR, Charnes, Cooper e Rhodes(1978), anteriormente apresentados baseiam-se em pressupostos de eficiência com minimização de *inputs* e maximização de *output* e vis a vis. Em seguida será apresentado o modelo de retorno de escala variável.

O modelo BCC, Banker, Charnes e Cooper (1984), surgiu como uma forma de eficiência resultante da divisão do modelo CCR em duas componentes: eficiência técnica e a eficiência de escala. A medida de eficiência técnica, resultante do modelo BCC, identifica a correta utilização dos recursos à escala de operação da DMU. A eficiência de escala é igual ao quociente da eficiência BCC com a eficiência CCR, e dá uma medida da distância da DMU em análise até uma DMU fictícia, que opera com o tamanho da escala mais produtivo. Abaixo seguem a formulação do modelo e sua representação no quadro 3.

Quadro 3 – Modelo envelopado de minimização de Inputs BCC-1 e Maximização de Output - BCC-0

| Minimização de <i>Inputs</i> – BCC-1 | Maximização de <i>Outputs</i> – BCC-0 |
|--|--|
| <u>Primal (Envelope)</u> | <u>Primal (Envelope)</u> |
| <p><i>Min</i> θ</p> <p>Sujeito a:</p> $\theta x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad i = 1, \dots, r$ $-y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad j = 1, \dots, s$ $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ $\lambda_k \geq 0 \forall k$ | <p><i>Max</i> θ</p> <p>Sujeito a:</p> $x_{i0} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \quad \forall i$ $-\theta y_{j0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \quad \forall j$ $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$ $\lambda_k \geq 0 \forall k$ |
| <u>Dual (Multiplicadores)</u> | <u>Dual (Multiplicadores)</u> |
| <p><i>Max</i> $h_0 = \sum_{j=1}^s u_j y_{j0} - u_s$</p> <p>Sujeito a:</p> $\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1$ $\sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - u_s \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j, v_i \geq 0 \forall j, i$ $u_s \in \mathfrak{R}$ | <p><i>Min</i> $h_0 = \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} - u_s$</p> <p>Sujeito a:</p> $\sum_{j=1}^s u_j y_{j0} = 1$ $\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - v_s \leq 0, \quad K = 1, 2, \dots, n$ $u_j, v_i \geq 0 \forall j, i$ $v_s \in \mathfrak{R}$ |

Fonte: Guerreiro (2006)

A homogeneidade das DMUs é uma dessas premissas relativas à homogeneidade nas atividades e nas fontes das DMUs. Considerando um conjunto de unidades não homogêneas ou heterogêneas. Essa heterogeneidade pode ser aumentada a partir da escala de atividade das unidades, ou seja, duas escolas superiores, por exemplo, com diferentes tamanhos diferentes ou diferentes tipos de atividades (com pós graduação e extensão), ou seja, diferentes departamentos de uma universidade. Se as DMUs heterogêneas são avaliadas pela DEA sem modificações, a DEA produz escores de desempenho tendenciosos e análises imprecisas, (SHARMA e JIN, 2011).

Dyson et al. (2001) argumentaram que os modelos clássicos DEA deveriam ser modificados para lidar com unidades heterogêneas. Algumas abordagens são propostas para lidar com o problema das DMUs heterogêneas. Haas e Murphy (2003) compararam três métodos diferentes para compensar a não homogeneidade. Estes três métodos incluem o método de dois estágios de Sexton et al. (1994), juntamente

com dois métodos adicionais da magnitude do erro e a proporção de real para previsão. Na prática, eles aconselharam tentar todos os métodos ou uma cesta de métodos e comparar os resultados com o conhecimento da situação real.

Sengupta (2005) investigou dois tipos de heterogeneidade, incluindo: primeiro, o problema da heterogeneidade que surge quando o conjunto de dados compreende vários *clusters* em vez de um e as variações não são constantes em todos os *clusters*; e segundo, o tamanho diferente das DMUs. São introduzidos dois conjuntos de transformações, um que reduz a heterogeneidade do conjunto de dados ao escolher o modelo apropriado, por exemplo, a fronteira de custos quadrática ou logarítmica e, em seguida, aplicando uma técnica de suavização e a outra que aplica os testes estatísticos padrão de heteroscedasticidade ou heterocedasticidade para as equações de regressão usando resultados de DEA e testando o padrão de variações.

Farzipoor Saen et al. (2005) propuseram uma modificação da DEA para unidades ligeiramente não homogêneas. Eles indicaram que, depois de inserir os valores faltantes por série, os pesos das DMUs são medidos pelo processo de hierarquia analítica e, em seguida, a eficiência relativa das DMUs é computável pela DEA restrita aleatoriamente.

Uma possibilidade de lidar com DMUs heterogêneas é usar a abordagem de análise de agrupamento. Samoilenko e Osei-Bryson (2008) propuseram uma metodologia de três passos que permite um aumento do poder discriminatório da DEA na presença da heterogeneidade. Em primeiro lugar, a análise de *cluster* (AC) é aplicada para testar a presença dos subconjuntos de ocorrência natural na amostra. Na segunda fase, a DEA é realizada para calcular a eficiência relativa das DMUs, bem como a eficiência relativa média de cada subconjunto identificado na fase anterior. Eventualmente, a árvore de decisão é usada para examinar a natureza específica do subconjunto da eficiência relativa das DMUs na amostra. Samoilenko e Osei-Bryson (2010) propuseram um algoritmo de cinco passos e aumentaram a DEA com AC e redes neurais para determinar se a diferença nas pontuações de DMUs heterogêneas em escala deve-se à heterogeneidade dos níveis de entradas e saídas, ou é causada pela eficiência de conversão delas.

A análise de *cluster* exata tinha uma característica binária na qual uma DMU poderia estar em um *cluster* específico ou não. É certo que, quando as DMUs são classificadas em diferentes grupos, parece mais realista que um grau de adesão seja atribuído a cada DMU em diferentes grupos. Esta situação pode ser caracterizada como uma Análise de Agrupamento Difusa (AAD).

4.1.1 Análise envoltória de dados com *bootstrap*

Com o objetivo de corrigir os valores de eficiência observando o erro aleatório

inerente aos dados, Simar e Wilson (1998) propuseram uma abordagem. Por meio dela aplica-se a técnica *bootstrap* aos valores obtidos pela DEA. O método também pode ser utilizado para estimar o erro aleatório em SFA. Com isso, procede-se a inferência estatística dos resultados de eficiência. É possível, portanto, estimar para cada DMU analisada, o intervalo de confiança de eficiência e sua correção para avaliar o desempenho dos aeroportos.

O processo para geração do intervalo de confiança para o indicador de eficiência é representado pela equação 3.2:

$$Pr(\hat{\theta} - \delta \leq \theta \leq \hat{\theta} + \delta) = 1 - \alpha \quad (4.2)$$

θ é o “verdadeiro” indicador de eficiência; $\hat{\theta}$ é uma estimativa do indicador de eficiência; δ é a margem de erro; α é o nível de significância estatística. Com o intervalo de confiança do estimador de eficiência, obtido via o processo de reamostragem, $IC[\theta, (1 - \alpha) \%] = \hat{\theta} \pm \delta$, encontra-se um índice de eficiência mais robusto à sensibilidade dos dados.

4.2 Fronteira estocástica- SFA

A eficiência técnica foi primeiro empiricamente por Farrell (1957) usando programação linear examinado. O trabalho de Farrell também inspirou Aigner e Chu (1968) desenvolveram a produção determinista antes de Aigner et al. (1977) e Meeusen e van den Broeck (1977) independentemente um do outro desenvolveu a análise da fronteira estocástica (SFA). Desde então, ambos os métodos, DEA e SFA, foram variaram em termos de seu valor informativo, (KUMBHAKAR e LOVELL, 2000).

Uma aplicação do DEA é a análise de *benchmark*. Pelo modelo podem ser extraídos DMUs eficientes e ineficientes. Uma limitação da técnica, dentre tantas conforme Cooper et al. (1978) é o fato de apresentar um DMU virtual que em síntese significa que pode não existir um processo de produção efetivo de tal DMU em um dado modelo empírico. Uma maneira de minimizar esse efeito é por meio do modelo FDH ou Free Disposal Hull.

Em contraste com a DEA, o SFA é um método paramétrico que assume uma relação funcional entre as entradas e as saídas. Trata-se de um método de modelagem econômica. A análise da fronteira estocástica (SFA) tem seu ponto de partida nos modelos de fronteira de produção estocástica introduzidos simultaneamente por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Van Den Broeck (1977). Para este fim, a função estimada de produção ou custo é especificada e determinada por econometria. Em contraste com a DEA, a SFA tem a vantagem de que um desvio do limite de eficiência é explicado não apenas pela ineficiência, mas também por variáveis pertur-

badoras estocásticas, como por exemplo, o tempo ou desastres imprevisíveis, podem ser explicados.

Em outras palavras, a SFA é motivada pela ideia de que os desvios da “fronteira” da produção podem não estar sob o controle da firma. Sob a interpretação da fronteira determinística por exemplo, em números invulgarmente altos de falhas de equipamentos aleatórios, ou mesmo mau tempo, podem finalmente parecer ao analista como ineficiência. Ainda, qualquer erro ou imperfeição na especificação do modelo ou medida de suas variáveis componentes, incluindo a saída (log), também pode se traduzir em medidas de ineficiência aumentadas.

Esta é uma característica pouco atraente de qualquer especificação de fronteira determinística. A fronteira é colocada aleatoriamente por toda a coleção de elementos estocásticos que podem entrar no modelo fora do controle da empresa. (Este é um argumento semelhante ao racional de Førsund e Jansen (1977) para uma função de fronteira média *versus* melhor prática.) Uma formulação apropriada:

$$y_i = f(x_i) \cdot ET \cdot e^{v_i} \quad (4.3)$$

onde todos os termos são o mais cedo possível e são irrestritos. O último termo incorpora erros, qualquer outro ruído estatístico e variação aleatória da fronteira entre as empresas. O modelo reformulado é:

$$\ln y_i = \alpha + \beta^T x_i + v_i - u_i = \alpha + \beta^T x_i + \varepsilon_i \quad (4.4)$$

Como já demonstrado $x_i > 0$ mas v_i pode tomar qualquer valor. Uma distribuição simétrica, como a distribuição normal, geralmente é assumida para v_i . Assim, a fronteira estocástica é $a + \mathbf{b}^T \mathbf{x}_i + v_i$ e u_i representa a ineficiência.

A SFA produz estimativas de eficiência ou pontuações de eficiência de unidades individuais. Assim, pode-se identificar aqueles que precisa de intervenção e medidas corretivas. Uma vez que os escores de eficiência variam em todas as unidades, eles podem ser relacionados às características da unidade como tamanho, propriedade, localização, etc. Assim, pode-se identificar a fonte de ineficiência.

4.3 Free Disposal Hull – Livre Disposição

Uma das ferramentas de trabalho teórico e empírico sobre a medição da eficiência produtiva é o FDH. Trata-se de uma medida não paramétrica, assim como o DEA. Como resultado de seu caráter, muitas das observações pertencentes a um conjunto de dados avaliados são rotuladas eficientes por este método e posteriormente colocadas em rank onde afere-se o mais eficiente dos mais eficientes que utilizaram

o mesmo método. O FDH modificado, semelhante em espírito como a Análise de Evoltória de Dados foi desenvolvido por Deprins, Simar e Tulkens (1984) podendo assim ser utilizado para discriminar entre unidades eficientes de FDH.

O FDH pode ser feito de dois modos. Um utiliza modelo de programação linear misto e outro seria feito por meio de algoritmos que envolvem o conceito de dominância. Os modelos abaixo apontam sinalizados a insumo e a produto. Assim tem-se a orientação voltada a produto de modo que pela figura 12 e 13 orientado a *Output*.

Figura 11 – FDH orientado a Input

$$\begin{aligned}
 &\min \theta_K \\
 &\text{s, a } \theta_K X_K \geq X \lambda \\
 &Y \lambda \geq Y_K \\
 &\sum_{s=1}^S \lambda_s = 1 \\
 &\lambda \in \{0, 1\}, \theta_K \text{ irrestrita}
 \end{aligned}$$

Figura 12 – FDH orientado a Output

$$\begin{aligned}
 &\max \Theta_K \\
 &\text{s, a } \Theta_K Y_K \leq Y \Lambda \\
 &X \Lambda \leq X_K \\
 &\sum_{s=1}^S \Lambda_s = 1 \\
 &\Lambda \in \{0, 1\}, \Theta_K \text{ irrestrita}
 \end{aligned}$$

Este método determina uma fronteira da possibilidade de produção que representa a combinação das melhores resultados observados em uma dada amostra, permite medir a relativa ineficiência de produtores dentro a fronteira de possibilidade de produção, medida pela distância da fronteira. De acordo com Gupta, Keiko e Verhoeven (1997), a utilidade da análise de FDH é visualizar que um produtor é relativamente ineficiente se outro produtor usa menos insumos para gerar a mesma quantidade de produtos ou até mais. No lado oposto de um produtor é relativamente eficaz, se não houver outro produtor utilizando menos entradas para gerar a mesma ou mais produtos.

4.4 Fuzzy-DEA – Análise envoltória de dados

Zadeh (1965), introduziu a lógica Fuzzy e é chamada de raciocínio similar, de tal forma que, assim como a mente humana, ela possa interpretar comandos de forma imprecisa e complexa. A lógica Fuzzy basea-se em conjuntos Fuzzy, que interpretam o raciocínio através de relações nebulosas. Seus valores são expressos na forma linguística, de tal maneira que possibilita uma variedade de predicados, tensidades e probabilidades, tais como: verdade, muito verdade, alto, muito alto e provável, (GOMIDE, GUDWIN e TANSCHHEIT, 1995).

Os conjuntos Fuzzy possuem potenciais maiores para a aplicabilidade de filtros em classificação de padrões e processamento de informações. Além disso, tal conjunto prevê problemas relacionados com imprecisão e existência por causa da ausência de um critério bem definido da classe de pertinência, (ZADEH, 1965). Estas diferenças podem ser demonstradas na seguinte definição: Dado um conjunto universo U , um conjunto *crisp* é representado por uma função característica, que define o grau de pertinência de um elemento x ao conjunto $A \subseteq U$. Na teoria dos conjuntos são chamadas como conjunto *crisp* ou somente *crisp* (ZADEH, 1965). Conforme Gomide, Gudwin e Tanscheit (1995) a função é apresentada:

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (4.5)$$

Tal expressão associa elementos do conjunto U a elementos do conjunto $\{0; 1\}$, especificando que, quando o grau de pertinência é igual a 1, indica que o elemento x pertence ao conjunto A . Do mesmo modo quando a pertinência é igual a 0, significa que o elemento x não pertence ao conjunto em questão. Essa expressão denota-se formalmente como:

$$\mu(x) : U \mapsto \{0, 1\} \quad (4.6)$$

Com relação ao conjunto Fuzzy, o grau de pertinência é definido do seguinte modo: Seja $K = \{k\}$, de tal forma que K representa um conjunto de objetos e k elementos de K . Um conjunto Fuzzy A em K é caracterizado pela pertinência $\mu_A(k)$, que associa cada objeto em K com um valor real num intervalo $[0; 1]$. O valor $\mu_A(k)$ representa o grau de pertinência de k em A . Conforme Zadeh (1995) quanto maior esse grau, mais próximo o seu valor será da unidade. Pode-se representar as funções de pertinência no conjunto fuzzy da seguinte maneira:

$$\mu_A : K \rightarrow [0, 1] \quad (4.7)$$

em que μ_A representa a função de pertinência de A e A que, por sua vez, representa o conjunto Fuzzy. Ou seja:

$$A : K \rightarrow |0, 1| \quad (4.8)$$

Neste caso, representa-se a função de pertinência A e o conjunto Fuzzy ao mesmo tempo. O grau de pertinência pode assumir qualquer valor num intervalo entre 0 e 1. Quando esse fator assume o valor igual a zero, significa uma completa exclusão do elemento k ao conjunto A, da mesma maneira, quando assume o valor igual a 1, significa uma completa pertinência (inclusão) do elemento ao conjunto em questão, (ZADEH, 1965).

Nicoletti e Camargo (2004) diz que uma relação de ordem parcial é considerada uma relação transitiva, anti-simétrica e reflexiva. A relação de pertinência de um elemento em um determinado conjunto é descrita por Zadeh (1965) da seguinte maneira:

Seja α e β níveis de valores do tipo $(0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, \alpha > \beta)$, então:

— “o elemento u pertence ao conjunto qualquer B”, se $\mu_B(u) \geq \alpha$;

— “o elemento u não pertence ao conjunto qualquer B”, se $\mu_B(u) \leq \beta$;

— “o elemento u tem um status relativo e indeterminado ao conjunto qualquer B”,

se,

$$\beta < \mu_B(u) < \alpha.$$

De acordo com Nicoletti e Camargo (2004) existem três maneiras distintas para representar a relação da função de pertinência de conjuntos Fuzzy. Por meio de representação gráfica unidimensional e bidimensional, representação tabular e lista. Para este último, o modelo é aplicado a um conjunto de universo finito. As funções de pertinência são representadas por tabelas que listam os elementos de um conjunto universo e seus respectivos valores presentes na função. Uma forma de representação poderia incluir todos os elementos do conjunto universo que possuem graus de pertinência diferentes de zero, subtendendo-se que os elementos que não aparecem na tabela têm grau de pertinência zero.

Utilizando este método, é possível definir um conjunto Fuzzy por uma lista em que os elementos do conjunto são caracterizados junto com seus respectivos graus de pertinência.

Em forma de lista, a função de pertinência de Y_Alfa pode ser escrita da seguinte maneira:

$$TD = \{ \langle 0; 0 \rangle; \langle 10; 0 \rangle; \langle 20; 0 \rangle; \langle 30; 0 \rangle; \langle 40; 0,5 \rangle; \langle 50; 0,9 \rangle; \langle 60; 1 \rangle \} \quad (4.9)$$

Nesta expressão, o primeiro valor, após o símbolo “<”, representa o elemento, e o segundo valor é o seu grau de pertinência. Outra maneira de representar o conjunto TD é:

$$TD = 0=0 + 0=10 + 0=20 + 0=30 + 0,5=40 + 0,9=50 + 1=60:$$

Neste caso, a barra(=) apenas agrupa os elementos de acordo com os seus graus de pertinência, enquanto que o sinal (+) indica que os pares grau_de_pertinência/elemento formam a definição do conjunto *fuzzy*. Quando se tem elementos cujo o grau de pertinência é igual a zero, pode-se desconsiderar esses valores na descrição da expressão. Desse modo, a função de pertinência apresentada acima ficará:

$$TD = 0; 0,5=40+ 0; 9=50+ 1=60:$$

Há duas maneiras diferentes de descrever, de forma generalizada, a notação acima, seja através da Equação acima, em que a_i representa o grau de pertinência de x_i , ou através da Equação abaixo, que denota-se uma síntese da equação anterior.

Figura 13 – Representação da função pertinência

$$A = \sum_{i=1}^n a_i/x_i$$

$$A = \sum A(x)/x$$

Porém, para Nicoletti e Camargo (2004) quando o conjunto Fuzzy está definido em um universo infinito, há possibilidade de representá-lo na forma analítica, através de funções parametrizáveis: Tratam-se de funções triangulares, trapezoidais, sinuziais. As funções de pertinência triangulares são utilizadas quando uma variável linguística, que está sendo avaliada, possui intervalos de variação com um pico maior que os demais, (MELLO,2016). No formato trapezoidal, as funções de pertinência que possuem valores diferentes de zero. Para que uma função de pertinência seja considerada máxima, o seu valor deverá ser igual a 1

O formato de sino, também conhecido como Gaussiana ou sinusoidal, representa uma distribuição de probabilidade que gera o desvio padrão de um número grande de variáveis aleatórias independentes. Neste formato, a variável c representa os valores

de pertinência em um intervalo $[0,1]$, a variável a demonstra o ponto máximo da função de pertinência e a variável b é o grau de incerteza da função. Na função de pertinência há um decaimento suave e valores diferentes de zero para todo o domínio. Este tipo de função é considerada simples por permitir que operações algébricas sejam implementadas com facilidade, e por não necessitar de técnicas de cortes de nível e linearização. De acordo com Lima, Murari e Pereira (2003) e Cavalcante (2010) *apud* Santos (2016) seus dados e resultados são representados por apenas dois parâmetros, a que é o valor de maior grau e b que é o grau de incerteza da função.

Além de conhecer a função de pertinência, outros conceitos importantes com relação à teoria de conjuntos fuzzy é sobre a definição de conjuntos presentes nesse universo. Existem definições no conjunto clássico que também são encontradas no conjunto fuzzy, porém, o modo de interpretá-los pode ter alguma diferença.

Considere os conjuntos fuzzy B e C em um universo U e veja as diferenças nas definições dos conjuntos clássicos. O conjunto vazio é um conjunto clássico porque ele não possui elementos. Esse conjunto é representado por 0 ou $\{\}$. No conjunto fuzzy, o conjunto é considerado vazio quando a função de pertinência dos elementos desse conjunto é igual a zero. O grau de pertinência total deve ser igual a 1 e se não o for é necessário um complemento. Ele é a resultante de $1 -$ o valor para que ele (elemento) pertença, por completo, ao conjunto B .

Se em um conjunto U , havendo subconjuntos fuzzy B e C , o produto deles é a multiplicação da pertinência dos elementos comuns aos dois.

Na lógica fuzzy, a função de pertinência possui todos os valores de um intervalo entre $[0,1]$. Para que os elementos que pertencem apenas a um conjunto fuzzy, o valor da pertinência é inexistente e representado por zero, o que significa uma completa exclusão do elemento a esse conjunto.

Outro conceito importante da teoria de conjunto fuzzy, é referente ao algoritmo Fuzzy c-Means. Ele é um conjunto fuzzy caracterizado pela pertinência, que associa cada elemento de um conjunto universo em um valor real no intervalo $[0,1]$, denominado grau de pertinência.

De acordo com Bezdek, Ehrlich e Full (1984) uma das técnicas conhecidas para fazer essa classificação é chamada algoritmos de agrupamento, também conhecidos como *clustering*. Este algoritmo separa um conjunto Y em c -partições (ou c -classes), ou seja, subdivide-se um conjunto de dados Y em c subconjuntos ou clusters distintos, não vazios e que reproduzam a união de Y .

Além disso, Pal e Srahar (2014) apontam que os algoritmos de agrupamento particionam um conjunto de dados $Y = \{y_1; y_2; \dots; y_n\}$ em c subgrupos (clusters), de maneira que os membros do mesmo subgrupo possuam alguma similaridade uns com os outros e uma dissimilaridade com os membros dos demais clusters.

A respeito da função de pertinência, esta é uma forma de analisar a similaridade

da amostra (ou elemento) em cada subconjunto: quanto maior o grau de pertinência, maior será a similaridade entre a amostra e o subconjunto.

Desta forma, a finalidade do agrupamento fuzzy é atribuir à amostra níveis de pertinência, produzindo dados pertencentes a um ou mais grupos. Isso significa que o valor de pertinência do k -ésimo elemento conforme Ganapathy et.al (2012) pode estar na i -ésima classe. A Equação 2.14 apresenta a função de pertinência:

$$\mu_{ik} = \mu_{ui}(x_k) \in | 0, 1 | \quad (4.10)$$

onde μ_{ik} corresponde à função de pertinência do k -ésimo elemento e da i -ésima classe, representa a relação de pertinência para os conjuntos fuzzy e U_i indica o universo, em que $\{U_i; i = 1; 2; \dots; c\}$ é uma c -partição fuzzy no conjunto universo em questão. Entretanto, essa notação possui duas restrições:

i) A soma de todos os valores de pertinência de um único elemento, em todas as classes, deve ser igual a 1. Essa restrição é representada pela Equação 2.15, (ROSS, 2009):

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1 \forall k = 1, 2, \dots, n. \quad (4.11)$$

ii) Nenhuma classe (partição) pode ser vazia. Além disso, não pode haver alguma que contenha todos os elementos, porque, conforme dito por Ross (2009), cada elemento pode pertencer parcialmente em mais de uma classe, ou seja, $\min(\mu_{ik}; \mu_{jk}) = 0$. Essa restrição é apresentada por 2.16:

$$0 \leq \sum_{k=1}^n \mu_{ik} < N. \quad (4.12)$$

Há outros algoritmos de agrupamento fuzzy, porém o mais conhecido é o Algoritmo Fuzzy c-means (FCM), (PAL e SARKAR, 2014). Este algoritmo é baseado na minimização de uma função objetivo denominada c-means function, que procura, de modo iterativo, encontrar centros de cluster ou centróides que minimizem a dissimilaridade, mostrada pela função 2.17, (CHIMPHLEE et al., 2005):

$$d_{ik}^2 = \| z_k - v_i \|_A^2 = (z_k - v_i)^T A (z_k - v_i) \quad (4.13)$$

onde $J_m(U; v)$ é a função c-means e as variáveis dessa função apresentam os seguintes valores:

1. O conjunto de amostra $Z = \{z_1; z_2; \dots; z_n\} \subset \mathbb{R}^p$;
2. $1 \leq c < n$ representa o total de partições, ou b centróides;
3. $1 \leq m < \infty$ representa o peso exponencial;

4. U pertence a M_{fcm} representa a matriz de c -partição fuzzy de Z ;
5. $v = (v_1; v_2; \dots; v_c)$ representa os vetores centrais;
6. $v_i = (v_{i1}; v_{i2}; \dots; v_{in})$ representa o centro do cluster i ;
7. A é a norma em R_p ;
8. A é a matriz de peso ($n \times n$).

De acordo com Bezdek, Ehrlich e Full (1984), o cálculo da norma entre a distância z_k e v_i é calculado pela normal de A como:

Conforme Santos (2016), no cálculo da norma, está presente o cálculo da matriz de peso A . Isso ocorre porque cada norma em R_p é um produto induzido pela fórmula $\langle x; y \rangle = x^T A y$. A matriz de peso A é responsável por controlar a escolha de um subconjunto ótimo em R_p . O cálculo da norma, presente na Equação acima, apresenta o m como o peso exponencial; sua finalidade é fazer o controle dos pesos relativos existentes em cada erro quadrático. A escolha de m define todos os outros parâmetros de FCM. De acordo com Bezdek, Ehrlich e Full (1984) *apud* Santos(2016), na maioria dos casos, os valores entre $1; 5 _ m _ 3; 0$ apresentam bons resultados. A distância da norma entre z_j e v_i expressa o peso do erro quadrático da pertinência (u_{ij}) no subconjunto i .

Havens et al. (2012) apresenta-se o algoritmo FCM como Figura 16:

Figura 14 – Algoritmo Fuzzy C-means

```

Algoritmo 1: Algoritmo FCM
Input:  $c, m, Z, \| \cdot \|$ 
Output:  $U, V$ 
while  $\max_{i,j} \| v_{i, novo} - v_{i, velho} \|^2 > \epsilon$  do
    
$$u_{ij} = \left[ \sum_{k=1}^c \left( \frac{\| z_j - v_i \|}{\| z_j - v_k \|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1}, \forall i, j$$

    
$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m z_j}{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^m}, \forall i$$

end

```

Fonte:Havens et al. (2012)

Neste algoritmo, U representa a matriz de partição ($c \times n$), $V = \{v_1; \dots; v_c\}$ é o conjunto de centros de cluster c em R_p , $m > 1$ representa a constante de fuzzificação e todo e qualquer A é qualquer produto interno da norma induzida por A , ou seja, todo x todo $A = x^T A y$. Neste algoritmo, o cálculo da norma utilizada é a norma euclidiana, que pode ser descrita como $A = I$, em que I representa a matriz de identidade.

O procedimento desse algoritmo começa inicializando randomicamente a matriz

U conforme a condição

$$\sum_{i=1}^e u_{ij} = 1 \quad (4.14)$$

$i=1$. Em seguida, os centróides são calculados pelas equações acima. A dissimilaridade entre os centróides e os pontos de dados são calculados pela norma através da equação apresentada na condição do while. Se, caso essa dissimilaridade não seja satisfeita, então uma nova matriz U e outro centróide serão novamente calculados, (CHIMPHLEE et al., 2005).

Aplica-se o algoritmo FCM por exemplo em um conjunto de objetos de tamanho m e cada objeto seja representado como um vetor numérico de características que tem a forma $Z = [z_1; z_2; \dots; z_m] \in R^m$, tal que as coordenadas z_i representam os valores das características. Então, define-se o particionamento desse objeto como uma matriz de partições reais $c \times m$, em que a matriz $U = [u_{ik}]$ seja o valor que refere-se ao grau de pertinência daquele objeto no *kesimo cluster*, (HAVENS et al., 2012).

Como os algoritmos de agrupamento não utilizam valores categóricos, para esse tipo definiu-se o grau de pertinência 1, explicitando que o elemento em questão possui a característica categórica apresentada. Para aquelas do tipo numéricas, utiliza-se o algoritmo fuzzy c-means para gerar os graus de pertinências dos objetos em questão, compostos por 3 partições que referem-se aos subconjuntos fuzzy. Isso significa que aquele vetor que aparece como um elemento z_i , possui características que, pelo grau de pertinência, podem ser considerados como cada uma das partições.

Sistemas Baseados em Regras Fuzzy (SBRF) são sistemas que aplicam a lógica fuzzy para produzir uma saída a cada entrada fuzzy. A saída representa uma ação (que é um conseqüente) e a entrada uma condição (que é um antecedente). SBRF utiliza variáveis linguísticas para realizar as tarefas. Sua base de conhecimento denominada como uma base de regras fuzzy, é utilizada para obter as relações fuzzy. Estas produzem a saída como uma ação para cada entrada representada pela condição (BARROS, 2006).

Os sistemas baseados em regras fuzzy possuem 4 fases: fuzzificação, base de regras, inferência fuzzy e defuzzificação. Destas cabe destacar:

1) Fuzzificação

Como descrito anteriormente, uma variável linguística é aquela cujos valores assumidos são subconjuntos fuzzy, caracterizados por graus de pertinência que associam cada elemento u do conjunto universo U em questão, com um valor real num intervalo [0,1]. Esses valores, por sua vez, definem o quão pertinente o elemento u faz parte do subconjunto fuzzy.

Nesta fase, faz-se a modelagem dos subconjuntos fuzzy e a geração dos seus valores de pertinência.

2) Base de regras

Nesta etapa, geram-se as proposições fuzzy. Como exemplo, considere as variáveis lingüísticas k , w e seus valores representados como termos primários B e C . Pode-se fazer uma proposição fuzzy da seguinte forma:

Se (k_1 é B_1) e (k_2 é B_2) e ... e (k_n é B_n)

Então (w_1 é C_1) e (w_2 é C_2) e ... e (w_n é C_n).

Este é o momento no qual modelam-se e registram-se as variáveis e suas classificações lingüísticas por meio de funções de pertinência. A função de pertinência pode ser gerada de diversas formas. O algoritmo utilizado no trabalho foi o Fuzzy c-means, descrito na seção anterior. Conforme Barros (2006) há, ainda, outras formas de se obter a função de pertinência.

5 Materiais e Métodos

5.1 Amostra

A amostra investigada nesta pesquisa foi constituída pelos 59 aeroportos nacionais e internacionais brasileiros. A delimitação se deu pelo fato da ANAC disponibilizar dados desagregados somente para essa categoria de aeroportos. Buscou-se trabalhar com aeroportos de diferentes portes, de forma a permitir que a análise fosse feita também considerando esse aspecto. Os aeroportos investigados são listados:

- 1) SBAR - Aeroporto de Aracaju
- 2) SBBE - Aeroporto Internacional de Belém
- 3) SBBH - Aeroporto de Belo Horizonte
- 4) SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília
- 5) SBBV - Aeroporto Internacional de Boa Vista
- 6) SBCF - Aeroporto Internacional de Confins
- 7) SBCG - Aeroporto Internacional de Campo Grande
- 8) SBCJ - Aeroporto de Carajás
- 9) SBCM - Aeroporto de Criciúma
- 10) SBGP - Aeroporto Internacional de Campos
- 11) SBGR - Aeroporto Internacional de Corumbá
- 12) SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba
- 13) SBCY - Aeroporto Internacional de Cuiabá
- 14) SBCZ - Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul
- 15) SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus
- 16) SBFI - Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu
- 17) SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis
- 18) SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza
- 19) SBGL - Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão

- 20) SBGO - Aeroporto de Goiânia
- 21) SBGR - Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos
- 22) SBHT - Aeroporto de Altamira
- 23) SBIL - Aeroporto de Ilhéus
- 24) SBIZ - Aeroporto de Imperatriz
- 25) SBJP - Aeroporto Internacional de João Pessoa
- 26) SBJU - Aeroporto de Juazeiro do Norte
- 27) SBJV - Aeroporto de Joinville
- 28) SBKG - Aeroporto de Campina Grande
- 29) SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos
- 30) SBLO - Aeroporto de Londrina
- 31) SBMA - Aeroporto de Marabá
- 32) SBME - Aeroporto de Macaé
- 33) SBMK - Aeroporto de Montes Claros
- 34) SBMO - Aeroporto Internacional de Maceió
- 35) SBMQ - Aeroporto Internacional de Macapá
- 36) SBNF - Aeroporto Internacional de Navegantes
- 37) SBNT - Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo
- 38) SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre
- 39) SBPB - Aeroporto Internacional de Parnaíba
- 40) SBPJ - Aeroporto de Palmas
- 41) SBPK - Aeroporto Internacional de Pelotas
- 42) SBPL - Aeroporto Internacional de Petrolina
- 43) SBPV - Aeroporto Internacional de Porto Velho
- 44) SBRB - Aeroporto de Rio Branco
- 45) SBRF - Aeroporto Internacional de Recife

- 46) SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont
- 47) SBSJ - Aeroporto Internacional de São José dos Campos
- 48) SBSL - Aeroporto Internacional de São Luiz
- 49) SBSN - Aeroporto Internacional de Santarém
- 50) SBSP - Aeroporto de Congonhas
- 51) SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador
- 52) SBTE - Aeroporto de Teresina
- 53) SBTF - Aeroporto de Tefé
- 54) SBTT - Aeroporto Internacional de Tabatinga
- 55) SBUF - Aeroporto de Paulo Afonso
- 56) SBUG - Aeroporto Internacional de Uruguaiana
- 57) SBUL - Aeroporto de Uberlândia
- 58) SBUR - Aeroporto de Uberaba
- 59) SBVT - Aeroporto Internacional de Vitória

Em 15/11/2012 o Aeroporto Internacional de Guarulhos e o Aeroporto Internacional de Viracopos foram transferidos de gestão da Infraero para gestão privada. O mesmo ocorrendo com o Aeroporto Internacional de Brasília, em 1/12/2012. Em maio de 2014 houve a transferência do Aeroporto Internacional de Confins e Aeroporto Internacional do Galeão.

5.2 Variáveis

O presente estudo avaliou o comportamento dos 59 aeroportos do Brasil ao longo de 5 anos (2012-2016). Como o banco de dados original apresentava a informação das variáveis por cada mês em todos os anos e havia uma preocupação quanto a efeitos que alteram a demanda (copa, olimpíadas, visita do papa Francisco), optou-se por resumir essas informações utilizando a mediana dos meses de cada ano, uma vez que a mediana não é afetada por valores extremos como acontece com a média. Dessa forma, com esses dados foi realizada uma análise descritiva por ano e por aeroporto, utilizando medidas de tendência central, posição e dispersão.

A proposta inicial de escolha de variáveis e definição de um modelo teórico se pautou em dois fatores: (i) disponibilidade de dados dos aeroportos brasileiros; (ii) diferentes modelos de eficiência aeroportuária.

Como as unidades analisadas foram os aeroportos brasileiros, uma medida considerada adequada para avaliar o seu desempenho foi como Input ou Insumo-Movimentação de aeronaves e Output ou produto passageiros, carga aérea e mala postal. Em ambos os casos, os aeroportos nacionais e internacionais com embarques domésticos e internacionais bem como desembarques foram selecionados.

Considerando-se os dois fatores anteriormente mencionados, foi possível identificar algumas variáveis operacionais que podem ter relação com a medida de desempenho proposta (número de passageiros processados).

5.3 Seleção das variáveis e validação

Para verificar a correlação entre as componentes do modelo DEA e a eficiência foi utilizada a correlação de Spearman, (HOLLANDER e WOLFE, 1999). A correlação de Spearman é uma medida limitada entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo o coeficiente estiver de -1 maior a correlação negativa e quanto mais próximo o coeficiente estiver de 1 maior a correlação positiva. Uma correlação de Spearman não significativa representa um coeficiente de correlação estatisticamente igual à zero, ou seja, não existe correlação entre as duas variáveis testadas.

A Tabela apresenta a correlação de Spearman. A partir dela pode-se destacar que as variáveis foram positivamente correlacionadas entre si, sendo todas as correlações significativas (Valor- $p < 0,050$). Para ilustrar a interpretação do coeficiente de correlação, vamos considerar o primeiro caso: Houve correlação positiva e significativa entre a movimentação de aeronaves e a eficiência VRS ($r = 0,52$), CRS ($r = 0,52$) e FDH ($r = 0,51$), ou seja, quanto maior a movimentação, maior tende a ser as eficiências.

Tabela 2 – Correlação entre as componentes do modelo DEA e a eficiência

| Variáveis | Movimentação | Carga Aérea | Mala Postal | Número de Passageiros | Eficiência VRS | Eficiência CRS | Eficiência FDH | Eficiência SFA |
|------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Movimentação | 1,00 | - | | | | | | |
| Carga Aérea | 0,79 | 1,00 | | | | | | |
| Mala Postal | 0,78 | 0,83 | 1,00 | | | | | |
| Número de Passageiros | 0,99 | 0,81 | 0,85 | 1,00 | | | | |
| Eficiência VRS | 0,52 | 0,43 | 0,39 | 0,51 | 1,00 | | | |
| Eficiência CRS | 0,52 | 0,40 | 0,40 | 0,51 | 0,96 | 1,00 | | |
| Eficiência FDH com supereficiência | 0,51 | 0,77 | 0,67 | 0,55 | 0,58 | 0,55 | 1,00 | |
| Eficiência SFA | 0,75 | 0,51 | 0,43 | 0,68 | 0,21 | 0,31 | 0,25 | 1,00 |

Fonte:Elaboração Própria

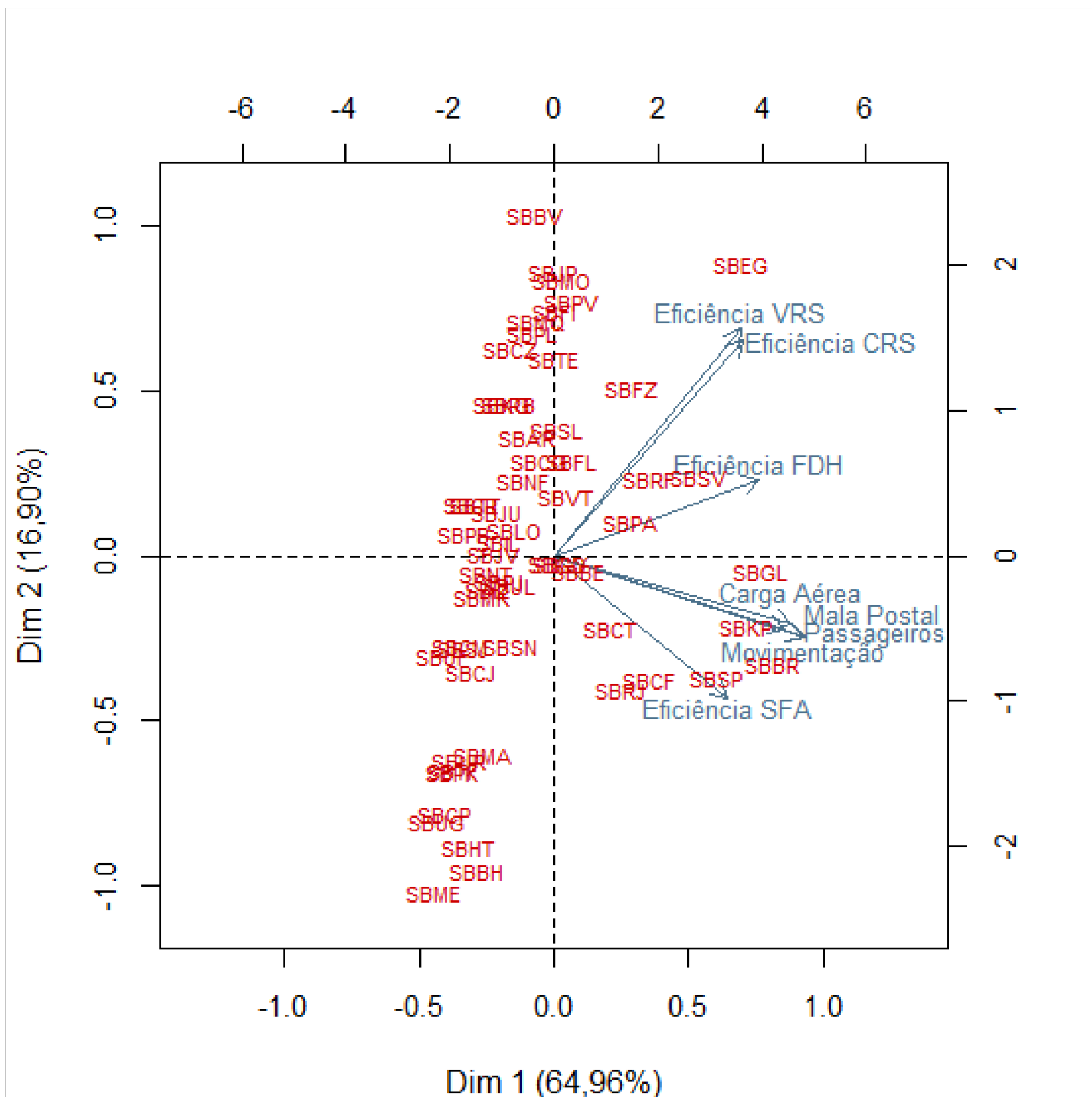
Buscando visualizar as correlações entre as componentes do modelo DEA e a eficiência, foi construído um mapa perceptual via Análise de Componentes Principais. O mesmo encontra-se abaixo, sendo possível afirmar que:

A quantidade de variação explicada pelas duas componentes principais foi de 81,86% (64,96% da primeira componente e 16,90% da segunda componente), o que indica que é possível obter uma boa interpretação da relação entre as variáveis interpretando somente duas dimensões.

Todas as variáveis foram positivamente correlacionados entre si, uma vez que suas setas apontam na mesma direção. Cabe ressaltar que a correlação entre as variáveis movimentação, número de passageiros e carga aérea foi ainda mais forte, assim como a correlação entre as eficiências VRS e CRS.

Cabe ressaltar ainda que os aeroportos SBEG (Aeroporto Internacional de Manaus) e SBSV (Aeroporto Internacional de Salvador) apresentaram os maiores valores de eficiência.

Figura 15 – Mapa Perceptual via Análise de Componentes Principais



Fonte: Elaboração própria

Emrouznejad e Witte (2010) propuseram que a seleção de variáveis seguiu o modelo de Cooper para projetos não paramétricos. Algumas pesquisas são embasadas em trabalhos que abordam o método, as unidades, os insumos e produtos. Os autores sintetizaram estes trabalhos e sinalizaram sobre o quão difícil é a utilização de métodos não paramétricos quando há uma quantidade de variáveis em jogo. É necessário compilar várias técnicas para obter margem de erro menor. Desse modo eles propuseram um framework para orientar projetos cujo foco está em estudos não paramétricos em especial o modelo DEA.

Os autores elaboraram um guia sistemático de referências de métodos que é de extrema importância para a manipulação das variáveis e dos resultados. O trabalho dos autores consistiu em analisar mais de 400 artigos publicados acerca de DEA

entre 1978 e 2007. Apesar de uma estrutura recomendada dos autores estes afirmam que ela não é limitada ao modelo tradicional DEA. Outros métodos similares são usados para construir a fronteira estocástica. Avkiran(1999), Belton e Vickers(1993) Brown (2006), Dyson et AL.(2001), Hollingsworth (2008) e Pedraja-Chaparro et.al.(1989) desenvolveram trabalhos anteriores na mesma linha.

À priori, o modelo proposto para processar os projetos não paramétricos pode ajudar e gerenciar as interações do complexo processo de análise da eficiência. Todavia, ele auxilia como um check list na busca de resultados mais confiáveis.

O modelo de COOPER pode ser sintetizado em 6 (seis) fases sendo elas:

- 1) Conceitos e objetivos
- 2) Estruturar dados
- 3) Modelo operacional
- 4) Modelo de comparação de performance
- 5) Avaliação
- 6) Resultados e Desenvolvimento

Conforme o modelo de COOPER acima Emrouznejad e Witte (2010) recomendam elaborar um conjunto do que será realizado (-1-C), em seguida selecionar os Inputs e Outputs bem como as DMU's que serão utilizadas (2- O); o terceiro ponto é detectar qual modelo usar (3-O); daí buscar significados para avaliar a eficiência dos resultados (4-P); sugerir as DMU's apropriadas (5-E) e por fim sistematizar os resultados (6-R).

O modelo pode ser usado e adaptado facilmente conforme as especificações e portanto pode ser FDH, SFA, modelos MLM (multi level models) ou modelos multiníveis e COLS (Corrected ordinary Least Squares) ou mínimos quadrados. Estas fases são interconectadas de modo cíclico de forma que a fase posterior depende da anterior. O objetivo da primeira fase é estender os objetivos, o processo de produção e os requisitos de stakeholders. A ideia é converter a informação em insumos e produtos e elaborar o projeto para alcançar os objetivos. A subfase conceitos é dividida em background das DMU's; estender o processo de produção e objetivo do projeto e propósito do DEA.

A subfase processo de produção traça o escopo se paramétrico ou não paramétrico, em seguida temos o modelo insumo/produto e por fim o processo em si de produção e critérios. A subfase DEA examina os indicadores de desempenho DEA, em seguida DEA e valores de ajustes, e por fim as vantagens e desvantagens do método DEA; a quarta subfase é o nível de análise sendo dividida em análise macro e micro

nível; por fim a última subfase plano de projeto traz a disponibilidade inicial dos dados, o critério de avaliação dos resultados e o plano de projeto incluindo custo/benefícios.

A segunda fase tem o objetivo de estruturar a fase de dados para obter familiaridade com os dados e identificar a qualidade dos mesmos. É importante descobrir e detectar qualquer irregularidade nos dados desde as diferentes abordagens que podem ser usadas para as entidades com valores ausentes, negativos e zero. Ela, a fase, pode ser desmembrada em:

- 1) Coleta de dados;
- 2) Descrever e explorar dados;
- 3) Qualidade dos dados;
- 4) Preparação dos dados.

Para a subfase 1, ela é composta por método de coleta de dados, rotina de coleta de dados e coleta de dados inicial. A subfase 2 deve ser subdividida em um relatório de descrição de dados, sumário e visualização dos dados e categorização de dados. A subfase 3 busca os valores zero, negativos ou ausentes, redução de ruído de valores e inconsistência, relatório de qualidade de dados. Por fim a quarta fase busca integrar os conjuntos de dados, lidar com valores ausentes e elaboração de relatório de limpeza dos dados. Assim sendo a quarta etapa tem como objetivo a fase de comparação, sendo para selecionar e aplicar vários modelos DEA. Retornos de escala, julgamento de valores, seleção de input/output, orientação do modelo e painel das técnicas de dados é analisada. A etapa é desmembrada em:

- 1) Definição de desempenho subdividida em revisitar a seleção dos dados input/outputs;
- 2) Seleção dos retornos de escala;
- 3) Julgamento de valor.

A subetapa seguinte trata da seleção de medidas e são separadas conforme a orientação ou não orientação os input/outputs; as medidas aditivas e multiplicativas e radial, não radial, etc. A subetapa painel de dados é segmentada em medida de produtividade por exemplo o índice malquimista; análises de janelas; DEA seqüencial, rede DEA e DEA dinâmico. A última fase em que o modelo é rodado tem-se a seleção final do modelo; o relatório inicial dos escores de eficiência e a análise de pesos, alvos e fatias a serem analisadas.

Assim sendo a quinta parte recomenda que antes de publicar os dados seja importante avaliar o modelo em um todo. Em particular, as etapas executadas devem

ser revistas, a seleção de input/output, bem como o modelo de especificação deve ser analisado. O objetivo principal é a fase de avaliação onde é verificado o processo e ser assegurado de que nada importante foi ignorado. Finalmente, a lista de possíveis ações com os resultados DEA serão obtidos.

O modelo de retornos DEA não é o final de um projeto. De modo geral, o sucesso é obtido ao ser organizado e apresentado de modo que o usuário mesmo com pouco conhecimento em DEA possa rodar o modelo e interpretar os resultados. A fase pode ser tão simples como produzir um relatório como complexa tal como implementar um receptáculo de processo DEA desenvolvendo software para um uso futuro. Um quadro abaixo elenca as fases e suas respectivas teorias que as sustentam.

Essa framework abordou uma grande amostra de dados extraídos mundialmente de forma tal que seis fases foram interrelacionadas que beneficiam a quem seja se envolver e orientar-se sobre como fazer e estruturar elementos, dados e cuidados que são devidos ao trabalhar com esses processos metodológicos. Os autores

5.4 Procedimentos de análise

Modelos paramétricos e não paramétricos foram utilizados nesta tese. A análise envoltória da dados (DEA), não paramétrica, foi preferida por ser a mais utilizada mundialmente para análise de eficiências em aeroportos. A fronteira estocástica, paramétrico, foi o método utilizado para aferir as eficiências como complemento da tese porém, a maior contribuição desse trabalho foi a combinação da lógica *fuzz-c means* como um meio de mitigar a heterogenidade dos aeroportos em si e as variáveis estudadas.

Busca-se, na tese, detalhar as eficiências de aeroportos brasileiros que eram geridos pela Infraero até 2012. Com o processo de privatização alguns passaram a ser administrados por consórcios e foram objetos de licitação. Assim, privatizados e não privatizados fazem parte deste trabalho doutoral. Tem-se então 59 aeroportos com 5 variáveis e um espaço temporal de 5 anos totalizando 1.180 observações.

A pesquisa da tese é predominantemente descritiva, mas contém elementos de pesquisas exploratórias e explicativas. Foi adotada a pesquisa quantitativa com uso de dados secundários obtidos na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), na Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no Banco Central do Brasil (BACEN). O presente estudo avaliou o comportamento dos 59 aeroportos do Brasil ao longo de 5 anos (2012-2016). Como o banco de dados original apresentava a informação das variáveis por cada mês em todos os anos e havia uma preocupação quanto a efeitos que alteram a demanda (copa, olimpíadas, visita do papa Francisco), optou-se por resumir essas informações utilizando a mediana dos meses de cada ano, uma vez que a mediana não é afetada por valores extremos como acontece com a média. Dessa forma, com esses dados foi realizada uma análise

descritiva por ano e por aeroporto, utilizando medidas de tendência central, posição e dispersão.

A pesquisa foi dividida em três etapas para buscar alcançar os objetivos da tese e facilitar a abordagem e o aprofundamento no assunto pesquisado. A primeira etapa foi composta por levantamento bibliográfico das áreas acima descritas. Em seguida foi realizado o modelo DEA com análise de supereficiência, *bootstrapping*, modelo estocástico, fronteira de eficiência, Free Disposall Hull e comparação entre os métodos. Por fim foi realizada uma proposta com base em logica Fuzzy.

No *bootstrapping* foi utilizado o BCC (Banker, Charnes e Cooper (1984)) e CCR (CHARNES, COOPER e RHODES, 1978). Em seguida foi aplicado um algoritmo baseado em fuzzy c-means combinado com os valores alcançados pelo DEA BCC e CCR. Os dados do envelopamento foram fuzzyficados com vistas a diminuir a heterogeneidade das variáveis, uma vez que os aeroportos resguardam características distintas entre si em termos de localidade, região, estão por si submetidos à intempéries da natureza como chuvas ou neblinas, a um poder local de compra, à uma zona de industrialização e distribuição maior ou menor, bem como encontram-se caracterizados em quatro pela Anac.

Para avaliar a eficiência dos aeroportos foi utilizada a Data Envelopment Analysis (DEA), a Stochastic Frontier Analysis (SFA) E o FDH. A DEA é uma metodologia de benchmarking largamente utilizada para estimar eficiência técnica de DMU's (Decision-Making Units). Apresentada por Charnes et al. (1978) e estendida por Banker et al. (1984), o método DEA através de programação linear avalia a eficiência das DMU's, comprando unidades que realizam operações similares mas se diferenciam na utilização de insumos utilizados (inputs) e produtos produzidos (outputs). Inicialmente, o método calcula a fronteira de melhor prática utilizando um conjunto de inputs e outputs, definidos previamente. A eficiência relativa de cada DMU é calculada baseada na distância da fronteira eficiente, variando entre zero e 1. Quanto mais ineficiente é a DMU, mais distante ela se encontra da fronteira eficiente. Já a SFA, conforme Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Van den Broeck (1977) é um método de modelagem paramétrico, introduzida simultaneamente por . Ela parte da definição de uma relação funcional entre os *inputs* e *outputs*, incorporando um termo de erro estocástico e um termo que pode ser caracterizado como ineficiência.

Dessa forma, para o cálculo das eficiências dos aeroportos foram realizados quatro modelos **(1)** Modelo CRS/CCR (Charnes, Cooper e Rhodes; 1978); **(2)** Modelo VRS/BCC (Banker, Charnes e Cooper; 1984); **(3)** Modelo FDH (Deprins, Simar e Tulkens, 1984) e **(4)** Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Meeusen e Van den Broeck (1977) propuseram o Modelo SFA .A DEA e SFA foram selecionadas e com os dados obtidos na DEA foi trabalhado um algoritmo Fuzzy C-Means para diminuir a heterogeneidade da dos aeroportos visto. Os métodos resguardam características diferentes.

O modelo CCR é o modelo que deu início as análises de fronteira DEA. É também conhecido como modelo CRS (Constant Returns to Scale), ou seja, parte do pressuposto que qualquer incremento ou diminuição dos insumos gere um incremento, ou diminuição proporcional nos produtos. O modelo BCC é uma extensão do modelo CCR, e é também conhecido como modelo VRS (Variable Returns to Scale). Parte do pressuposto que um incremento nos insumos poderá gerar um incremento nos produtos, não necessariamente proporcional, ou até mesmo uma diminuição. Já o modelo FDH (Free Disposal Hull) se difere da técnica DEA ao não pressupor a hipótese de convexidade e que o modelo FDH gera a fronteira a partir das comparações das DMU's efetivamente observadas, enquanto o modelo DEA gera a fronteira teórica, a partir da combinação convexa entre as unidades de decisão.

Os modelos podem ser orientados a inputs, outputs, ou sem orientação. A orientação para inputs indica que o modelo visa à redução de inputs sem alterar o quantitativo de outputs. A orientação do modelo para outputs tem como objetivo aumentar os outputs, mantendo o mesmo nível de consumo de inputs. Já o modelo sem orientação consiste na junção dos modelos orientados a inputs e a outputs, o que permite aumentar ao máximo os outputs e reduzir ao mínimo os inputs. Wanke (2012) discute sobre a falta de consenso quanto a orientação dos modelos DEA aplicado a eficiência nos aeroportos, e adota a orientação de minimização de insumos, favorecendo a visão do serviço público.

Nesse estudo optou-se por ajustar o modelo DEA com orientação ao input, uma vez que se desejava reduzir os inputs sem alterar o quantitativo de outputs. Sendo assim, a movimentação de aeronaves foi utilizada com input, enquanto que o número de passageiros, a carga aérea e a mala postal foram utilizadas com outputs.

Os modelos DEA e os índices de eficiências foram ajustados e calculados para cada um dos anos, apresentando assim uma visão longitudinal das eficiências de cada DMU, visando assim uma abordagem mais direta na avaliação dos aeroportos, possibilitando a mensuração dos escores da média global de eficiência do período analisado, e a eficiência para cada período em separado, demonstrando a tendência do desempenho.

Como no FDH muitos aeroportos apresentaram a eficiência igual a 1, optou-se por utilizar também a super eficiência para possibilitar o desempate entre eles. Como a super eficiência não é limitada ao intervalo 0-1, foi utilizada a seguinte fórmula para que ela ficasse na mesma escala que as demais eficiências:

$$Eficiencia = \frac{SuperEficiencia - \min(SuperEficiencia)}{\max(SuperEficiencia) - \min(SuperEficiencia)} \quad (5.1)$$

Na Análise da Fronteira Estocástica (SFA) são feitas suposições específicas quanto à distribuição de ineficiência (por exemplo, half-normal) para isolar o ruído da eficiência. Na DEA pode-se usar o Bootstrap para corrigir o viés das eficiências e

estimar os intervalos de confiança, reconhecendo que os dados estão sujeitos a ruídos aleatórios e buscando resultados mais consistentes. Cabe ressaltar ainda que não é possível utilizar o bootstrap quando se trabalha com a super eficiência.

Assumimos que a distribuição de probabilidade das eficiências observadas no DEA imita a realidade, mas desconhece a população de eficiência da DEA. Assim, se uma amostra das eficiências DEA observadas for selecionada com substituição, seria como extrair uma amostra da própria população. Reamostrando repetidamente a partir das eficiências de DEA observadas, é possível construir uma distribuição empírica da amostragem para as eficiências de DEA das unidades que é utilizada para estimar os intervalos de confiança nas eficiências da DEA.

Dessa forma, o bootstrap produz limites de confiança das eficiências para capturar a verdadeira fronteira eficiente dentro do intervalo especificado, (DYSON e SHALE, 2010). Portanto, para corrigir os valores de eficiência, tendo em vista o erro de dados aleatórios inerentes foi utilizada a abordagem proposta por Simar e Wilson (1998, 2000) que fornece as eficiências *bootstrap*. Trata-se de um método de simulação que objetiva “(...) encontrar uma resposta à necessidade de testar a confiabilidade das estatísticas largamente utilizadas e estimar testes de hipóteses e intervalos de confiança mais próximos da verdadeira distribuição estatística, que é desconhecida” (BARROS e TENÓRIO JÚNIOR, 2010, p. 2). Os resultados de bootstrap foram gerados por uma reamostragem de 1.000 pseudo amostras (B=1000). Os resultados médios por aeroporto com a correção anual do viés foram apresentados visto que este mantiveram uma certa estabilidade no decorrer dos anos avaliados.

Para avaliar a influência da privatização, da população e do PIB sobre os índices de eficiência bootstrap VRS, CRS e FDH foram ajustadas regressões Tobit, TOBIN (1958). Foi utilizada a abordagem de Simar e Wilson (1998) para corrigir os valores de eficiência considerando um erro inerente dos dados. Visto que os escores de eficiência produzidos no método DEA resultam em valores entre zero e um, torna-se problemática a aplicação de Mínimos Quadrados Ordinários para regredir tal variável dependente. A aplicação É comum na literatura do modelo DEA, tanto em estudos transversais quanto em painel, utilizar regressões Tobit para modelar as eficiências geradas pelo modelo DEA a partir de variáveis ambientais, uma vez que as eficiências estão restritas ao intervalo 0 a 1. O modelo Tobit é o mais popular modelo linear generalizado para variáveis dependentes censuradas ou truncadas, no qual assume distribuição normal para as observações não censuradas (Smithson e Merkle, 2014). Como a variável está limitada no intervalo 0-1, o modelo Tobit estaria censurado a esquerda e direita, dessa forma, poderíamos escrever a equação do modelo da seguinte forma:

$$y_i = x_{\beta} + \varepsilon_i \text{com } i = \text{simoaeroporto} \quad (5.2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ se } y_i^* \leq 0 \\ y_i^* \text{ se } 0 \leq y_i^* \leq 1 \\ 1, \text{ se } y_i^* \geq 1 \end{array} \right\} \quad (5.3)$$

sendo que y_i é o índice de interesse a ser modelado, FDH, CCR e BBC, X é matriz com todas as variáveis independentes, β o vetor com os coeficientes da regressão e ε_i os erros, com $\varepsilon_i \sim (0, N\sigma^2)$.

A interpretação do modelo Tobit não pode ser realizada da mesma forma que usualmente se faz sobre os modelos lineares, onde β representa o aumento de uma unidade em determinada variável independente (x_p). No modelo Tobit o valor do β deve ser ponderado pela probabilidade de y_i estar no intervalo não censurado. Dessa forma, de acordo com (Greene, 2003), o efeito parcial é dado por:

$$\frac{\partial E[y_i|x]}{\partial x} = \beta \cdot \text{Prob}(0 \leq y_i^* \leq 1) \quad (5.4)$$

em que $\text{Prob}(0 \leq y_i^* \leq 1)$ é dado por $\left(\frac{1-x\beta}{\theta}\right) - \theta\left(\frac{0-x\beta}{\theta}\right)$ sendo a função de distribuição acumulada da normal. Ou seja, informalmente, $\text{Prob}(0 \leq y_i \leq 1)$ é a proporção de dados não censurados.

Para tratar a possível correlação existente entre as respostas de um mesmo aeroporto, foram utilizados estimadores sandwich (Zeileis, 2006) para a matriz de covariância. Com isso, os estimadores para os erros padrões foram grupos-robustos (*cluster-robust*), equivalente a quando se define uma matriz de trabalho independente (*working independence*) nos modelos GEE (Generalized Equations Estimating) (Liang e Zeger, 1986). O método GEE é conhecido como Modelos Marginais e pode ser considerado uma extensão dos Modelos Lineares Generalizados. McCullagh e Nelder (1989) diretamente incorporam a correlação entre as medidas da mesma unidade amostral. Usar essa análise requer especificar: a) função de ligação, b) distribuição da variável dependente e c) a estrutura de correlação. Os parâmetros de regressão β s são estimados pelo estimador de máxima verossimilhança. Os cálculos das variâncias são realizados usando uma função de ligação, que transforma a variável dependente em uma equação de estimativas de parâmetros na forma de um modelo aditivo ($y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots$). Os resultados a partir dessas equações dão início a um processo iterativo que procede utilizando de mínimos quadrados que envolvem a minimização extensa da alteração do parâmetro estimado a partir de um modelo de regressão perfeitamente ajustado. À medida que o tamanho destas alterações tende a ser igual a zero e as estimativas dos parâmetros β e erros padrão estabilizam. Isso faz com que as estimativas fiquem mais eficientes.

Para selecionar as variáveis foi utilizado o método Backward. O método Backward é o procedimento de retirar, por vez, a variável de maior valor-p, sendo esse procedimento repetido até que restem no modelo somente as variáveis significativas. Para o método Backward foi adotado um nível de 5% de significância.

O software utilizado nas análises foi o R (R Core Team, 2016; versão 3.3.1). Para os modelos DEA foi utilizada a função *dea* do pacote *Benchmarking* (Bogetoft e Otto, 2015).

5.4.1 Procedimentos para análise Fuzzy C-Means DEA

A matriz de insumos e produtos gerada serve de base inicial para envelopar o modelo CCR orientada à entrada das DMU's. As DMU's são classificadas como forte eficiente se todas as entradas e saídas são zero, como fraca e eficiente se pelo menos uma das entradas e saídas forem positivas ou ineficientes. Os modelos BCC orientado à entrada é empregado.

Algoritmo Fuzzy C-means segue uma ordem para aplicação, Cannon et al., 1986:.

- 1) Definir o número de clusters, neste caso 4.
- 2) Inicialize a partição ,
- 3) Então b, b=1, 2, ..., 4,
- 4) Calcular o c centro cluster,
- 5) Calcular o pertencimento,
- 6) Computa o valor de pertencimento,
- 7) Compare o pertencimento em uma norma de matriz,

Para valores diferentes de c, são obtidos esquemas diferentes de agrupamento. Dessa forma é uma maneira é necessária para determinar o melhor cluster. Bezdek, (1981); Wu e Yang (2005); Zhang et al. (2008) e Arbelaitz et al.(2013) propuseram vários índices para avaliar a validade do agrupamento difuso . O índice entrópico de partição é usado para encontrar o agrupamento mais validado, (BEZDEK, 1973; 1974):

Figura 16 – Índice entrópico

$$V_{PE} = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ij} \cdot \log(u_{ij})$$

Fonte: Bezdek (1973)

- Um valor mínimo do índice entrópico determina o melhor agrupamento.

O algoritmo DEA baseado em FCA é para diminuir o impacto da heterogeneidade das unidades. Conforme já retromencionado, o problema das DMUs heterogêneas pode ser levantado em problemas DEA. Essa heterogeneidade pode estar em diferentes entradas ou saídas de DMUs, em suas diferentes atividades, ou em seu tamanho e escala. O problema considerado de heterogeneidade é como terceiro tipo. Portanto, há um conjunto de n DMUs em diferentes tamanhos e escalas, usando m entradas para produzir s saídas. O algoritmo proposto para diminuir o impacto da heterogeneidade sobre a eficiência. A avaliação inclui etapas, conforme elaborado abaixo.

1. Definir o problema: identifique a(s) DMUs e defina entradas e saídas. Então, dados são reunidos e a matriz de entrada-saída é construída.

2. Usar o Algoritmo Fuzzy C means para agrupamento de *DMUs* com base em sua matriz de entrada-saída.

3. Encontrar o melhor agrupamento fuzzy pelo índice VPE.

4. Construir a matriz de associação DMUs

5. Calcular a eficiência de cada DMU em cada cluster e construir a matriz de associação de resultados de eficiência

7. Calcular os escores de eficiência unificados

8. Classificar as DMUs com base em valores.

A inicialização do algoritmo é dada pela identificação de DMUs e definição de entradas e saídas. E Depois, os dados serão coletados em entradas e saídas de DMUs. Consequentemente, uma matriz é formada no final desta etapa e o agrupamento difuso é gerado. Nesse momento, o impacto da heterogeneidade sobre DMUs em resultados da DEA é avaliado. Portanto, um algoritmo de C-means difusado, é executado para classificar as DMUs. Para alcançar esse objetivo, CA é aplicada para diferentes valores para cada cluster ou agrupamento. Para cada valor de c , uma partição de índice de entropia VPE é calculada e o clustering com o índice mínimo é escolhido. Finalmente, uma matriz $n \times c$ de DMUs para é obtida em diferentes clusters.

6 Resultados e Discussão

6.1 Análise descritiva

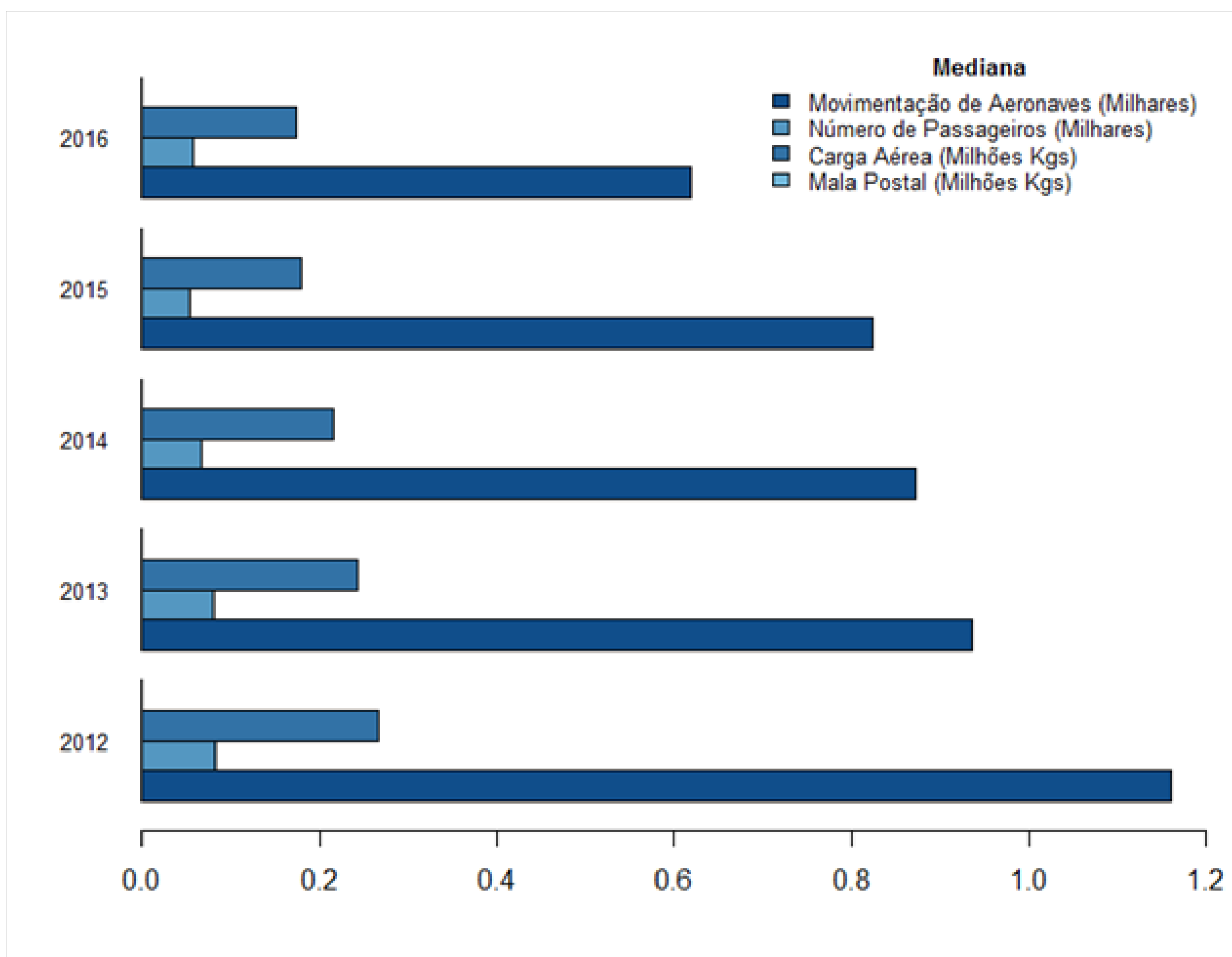
As figuras 18 e 19 apresentam um sumário das estatísticas descritivas de cada dos inputs e outputs. Para analisar a evolução dos inputs e dos outputs ao longo dos anos foi selecionada a mediana anual embora na análise inicial os dados estejam por meses, uma vez que a media é relativamente afetada pelas observações individuais e os dados são heterogêneos porque seu coeficiente de variação são maiores que 0,5 para todas as observações. a descrição das variáveis do estudo. A partir dela pode-se destacar que pelo coeficiente de variação de forma geral não houve variação significativa entre os inputs e outputs. No entanto, a movimentação de aeronaves mediana e a carga aérea mediana apresentaram uma tendência decrescente ao longo do tempo. O número de passageiros mediano apresentou uma tendência decrescente até 2015, sendo que em 2016 apresentou um crescimento quando comparado a 2015. A mala postal mediana apresentou uma tendência constante ao longo do tempo, sendo igual a zero em todos os anos.

Figura 17 – Descrição das variáveis ao longo do tempo

| Variável | Ano | N | Média | D.P. | Min. | 1º Q | 2º Q | 3º Q | Máx. | Coef.Varia. % |
|---------------------------|------|----|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------------|
| Movimentação de Aeronaves | 2012 | 57 | 2873,77 | 4267,86 | 38 | 362 | 1161,5 | 3237 | 21081,5 | 1,49 |
| | 2013 | 58 | 2740,24 | 4266,26 | 0 | 264,5 | 935,5 | 3113 | 22282,5 | 1,56 |
| | 2014 | 58 | 2706,36 | 4407,18 | 38 | 261 | 872 | 2922 | 23561 | 1,63 |
| | 2015 | 59 | 2623,27 | 4368,91 | 0 | 219 | 824 | 2870 | 22908 | 1,67 |
| | 2016 | 58 | 2352,98 | 4027,72 | 0 | 159 | 618,5 | 2409 | 20938 | 1,71 |
| Número de Passageiros | 2012 | 57 | 281391 | 492828 | 220,5 | 25166,5 | 82543,5 | 271646 | 2730566 | 1,75 |
| | 2013 | 58 | 280463 | 508121 | 0 | 16615,5 | 80794,5 | 270729 | 2965432 | 1,81 |
| | 2014 | 58 | 293765 | 545619 | 1386,5 | 14632 | 66630,3 | 283886 | 3237396 | 1,86 |
| | 2015 | 59 | 285082 | 532491 | 0 | 13862,5 | 53625,5 | 273249 | 3085245 | 1,87 |
| | 2016 | 58 | 267896 | 508923 | 0 | 10802,5 | 57252 | 244106 | 2898702 | 1,9 |
| Carga Aérea | 2012 | 57 | 2154069 | 5850211 | 0 | 15722,5 | 265884 | 806768 | 3,5E+07 | 2,72 |
| | 2013 | 58 | 2217679 | 6339617 | 0 | 17980,5 | 243732 | 810786 | 4,1E+07 | 2,86 |
| | 2014 | 58 | 2105185 | 6133713 | 437 | 23938 | 216031 | 880129 | 4E+07 | 2,91 |
| | 2015 | 59 | 1885251 | 5663908 | 0 | 19158,5 | 179867 | 705792 | 3,8E+07 | 3 |
| | 2016 | 58 | 1805592 | 5535025 | 0 | 20266 | 173682 | 602187 | 3,8E+07 | 3,07 |
| Mala Postal | 2012 | 57 | 370145 | 1061989 | 0 | 0 | 0 | 340138 | 7023869 | 2,87 |
| | 2013 | 58 | 379653 | 1150193 | 0 | 0 | 0 | 302532 | 7955453 | 3,03 |
| | 2014 | 58 | 384465 | 1177341 | 0 | 0 | 0 | 312184 | 8119945 | 3,06 |
| | 2015 | 59 | 337532 | 1046188 | 0 | 0 | 0 | 246561 | 7316972 | 3,1 |
| | 2016 | 58 | 292944 | 938455 | 0 | 0 | 0 | 236395 | 6686095 | 3,2 |

Fonte: Elaboração própria

Figura 18 – Mediana das variáveis ao longo do tempo.



Fonte:Elaboração própria

A figura 18 mostra as medianas dos inputs e outputs ao longo dos cinco anos estudados.

A figura 19 apresenta a descrição das variáveis do estudo por aeroporto. A partir dela pode-se destacar que:

O aeroporto SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos) apresentou os maiores valores medianos de movimentação, passageiros, carga aérea e mala postal. Os menores valores medianos de movimentação foram encontrados nos aeroportos SBUF (Aeroporto de Paulo Afonso) e SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana).

O menor valor mediano de passageiros foi encontrado no aeroporto SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana). Os menores valores medianos de carga aérea foram encontrados nos aeroportos SBME (Aeroporto de Macaé) e SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana).

Os aeroportos SBAR (Aeroporto de Aracaju), SBBH (Aeroporto de Belo Horizonte), SBBV (Aeroporto Internacional de Boa Vista), SBCJ (Aeroporto de Carajás),

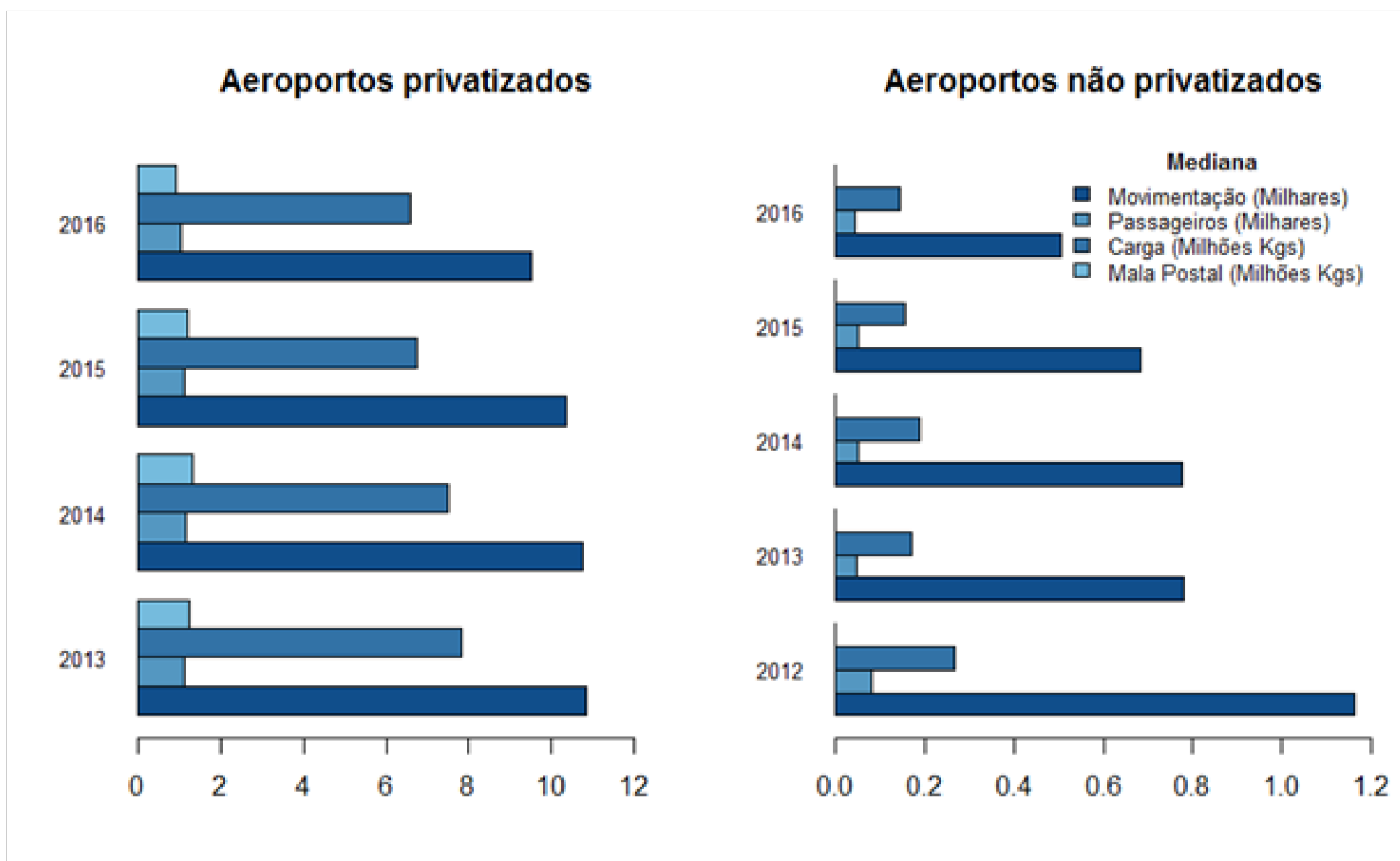
SBCM (Aeroporto de Criciúma), SBCP (Aeroporto Internacional de Campos), SBCR (Aeroporto Internacional de Corumbá), SBCZ (Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul), SBF1 (Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu), SBHT (Aeroporto de Altamira), SBIL (Aeroporto de Ilhéus), SBIZ (Aeroporto de Imperatriz), SBJP (Aeroporto Internacional de João Pessoa), SBJU (Aeroporto de Juazeiro do Norte), SBJV (Aeroporto de Joinville), SBKG (Aeroporto de Campina Grande), SBKP (Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos), SBLO (Aeroporto de Londrina), SBMA (Aeroporto de Marabá), SBME (Aeroporto de Macaé), SBMK (Aeroporto de Montes Claros), SBMO (Aeroporto Internacional de Maceió), SBMQ (Aeroporto Internacional de Macapá), SBNF (Aeroporto Internacional de Navegantes), SBNT (Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo), SBPB (Aeroporto Internacional de Parnaíba), SBPJ (Aeroporto de Palmas), SBPK (Aeroporto Internacional de Pelotas), SBPL (Aeroporto Internacional de Petrolina), SBRB (Aeroporto de Rio Branco), SBRJ (Aeroporto Santos-Dumont), SBSJ (Aeroporto Internacional de São José dos Campos), SBSN (Aeroporto Internacional de Santarém), SBSP (Aeroporto de Congonhas), SBTF (Aeroporto de Tefé), SBTT (Aeroporto Internacional de Tabatinga), SBUF (Aeroporto de Paulo Afonso), SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana), SBUL (Aeroporto de Uberlândia) e SBUR (Aeroporto de Uberaba) apresentaram a mala postal mediana igual a zero.

Figura 19 – Descrição das variáveis por aeroporto

| DMLs | Movimentação | | | Número de Passageiros | | | Carga Aérea | | | Mala Postal | | |
|------|--------------|--------|---------|-----------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|----------|----------|
| | 1º Q | 2º Q | 3º Q | 1º Q | 2º Q | 3º Q | 1º Q | 2º Q | 3º Q | 1º Q | 2º Q | 3º Q |
| SBAR | 916 | 1032 | 1215 | 100498,5 | 107934,5 | 108309 | 233645,5 | 233902,5 | 242291 | 0 | 0 | 0 |
| SBBE | 3271 | 3436 | 3442,5 | 274122 | 286119,5 | 300703 | 2223195,5 | 2394677 | 2642859 | 452774,5 | 505926,5 | 544501,5 |
| SBBH | 695 | 1144 | 1443,5 | 35425 | 43836 | 53094,5 | 5456,5 | 8037,5 | 13262,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBBR | 12327 | 13072 | 13226 | 1442563,5 | 1443760 | 1539367 | 5692832 | 6055793,5 | 6090019,5 | 2404687 | 2416913 | 2680771 |
| SBBV | 201 | 216 | 261 | 25166,5 | 27887 | 30128 | 101172 | 104646,5 | 121957,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBCF | 8808 | 9066,5 | 9263 | 851864,5 | 875979 | 900713 | 2070900 | 2315890 | 2342941 | 523788,5 | 559139 | 601264,5 |
| SBCG | 1341 | 1341 | 1424,5 | 126530,5 | 130531,5 | 136891 | 366716 | 368028 | 395104 | 229168 | 229825 | 233866 |
| SBCJ | 195 | 225 | 240 | 9557,5 | 10578 | 12589,5 | 11218,5 | 23938 | 26090,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBCM | 105 | 109 | 110 | 5211,5 | 5748,5 | 6017,5 | 273 | 1721,5 | 4265,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBCP | 108 | 118 | 119 | 3126 | 3552 | 4102,5 | 75,5 | 498,5 | 672 | 0 | 0 | 0 |
| SBCR | 47 | 52 | 52 | 2575 | 2769 | 2785 | 329 | 1165,5 | 2462 | 0 | 0 | 0 |
| SBCT | 5941 | 6188 | 6350,5 | 568387,5 | 590606 | 604841 | 1994471,5 | 2584964 | 2922815,5 | 161827 | 173690 | 536067,5 |
| SBCY | 2829 | 2913 | 2913 | 230184,5 | 245332,5 | 267209,5 | 633207 | 648460,5 | 732591 | 355543 | 395468,5 | 424549 |
| SBCZ | 60 | 60 | 61 | 4526,5 | 4675,5 | 5332,5 | 5744 | 7022,5 | 9121,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBEG | 2965 | 3237 | 3237 | 262383 | 266634 | 267929,5 | 9696657 | 12136609 | 13305347 | 489896,5 | 595350 | 609159 |
| SBFI | 1232 | 1241 | 1350 | 143303 | 151038,5 | 152503 | 62250,5 | 63655,5 | 63744,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBFL | 2714 | 2756 | 3113 | 284183,5 | 288933,5 | 297824,5 | 387092 | 420299 | 472223 | 398212,5 | 428835 | 440178 |
| SBFZ | 3968 | 4207 | 4331 | 478267 | 486362,5 | 490264 | 3434176 | 3968233 | 4006312,5 | 525008,5 | 576726,5 | 583038 |
| SBGL | 10408 | 10765 | 11269,5 | 1361507 | 1380308 | 1402842,5 | 7760326 | 8822523,5 | 8980080 | 1609515 | 1852581 | 1866563 |
| SBGO | 2814,5 | 2827 | 2872 | 239943 | 241755,5 | 264738,5 | 678993,5 | 762538,5 | 800324,5 | 302430 | 312183,5 | 337606 |
| SBGR | 21082 | 22283 | 22908 | 2898702 | 2965431,5 | 3085244,5 | 37760989 | 38427789 | 40444342 | 7023869 | 7316972 | 7955453 |
| SBHT | 412,5 | 423 | 451 | 13091,5 | 16615,5 | 18666 | 17980,5 | 20266 | 41729 | 0 | 0 | 0 |
| SBIL | 517 | 589 | 593,5 | 41852,5 | 45451 | 45545 | 124628 | 125180,5 | 127956,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBIZ | 359 | 362 | 445 | 25403,5 | 26053 | 27662,5 | 130537 | 151121 | 168367,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBJP | 853 | 856,5 | 913 | 100011 | 108355,5 | 110495,5 | 316434 | 321380 | 324705 | 0 | 0 | 0 |
| SBJU | 406 | 435 | 496 | 33757 | 35633 | 36332 | 66643 | 68821,5 | 69376,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBJV | 472 | 476 | 524 | 35462 | 41280,5 | 42633,5 | 85415,5 | 90961,5 | 96660 | 0 | 0 | 0 |
| SBKG | 105 | 154 | 155 | 10249 | 10802,5 | 11645,5 | 21088,5 | 22814,5 | 25054,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBKP | 9393 | 10332 | 10395 | 769111,5 | 796302 | 842443,5 | 18304215 | 20458804 | 22570934 | 0 | 0 | 0 |
| SBLO | 951 | 985 | 1014 | 86589,5 | 87654 | 91483 | 149422,5 | 152047 | 163647,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBMA | 574 | 699 | 833 | 30054,5 | 30674 | 34913 | 163310 | 256930,5 | 265883,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBME | 73,5 | 166,75 | 212,75 | 1960,25 | 4233,5 | 5183,5 | 0 | 2 | 454 | 0 | 0 | 0 |
| SBMK | 334 | 378 | 405 | 26660,5 | 26807 | 27666,5 | 20674 | 24695,5 | 25850 | 0 | 0 | 0 |
| SBMO | 1162 | 1183 | 1188 | 151627 | 152387 | 154410,5 | 236093 | 245173,5 | 253535,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBMQ | 398 | 457 | 584 | 46281 | 53625,5 | 54908 | 303768,5 | 312653 | 326537 | 0 | 0 | 0 |
| SBNF | 1116 | 1125 | 1251,5 | 103653 | 110528,5 | 116719 | 167226 | 173078,5 | 179867 | 0 | 0 | 0 |
| SBNT | 0 | 38 | 1627,5 | 0 | 3405 | 193991,5 | 0 | 2282 | 678792 | 0 | 0 | 0 |
| SBPA | 5968 | 6068 | 6082 | 661545 | 672018,5 | 677437 | 2130103 | 2205363 | 2217492,5 | 665157 | 705050,5 | 722115,5 |
| SBPB | 24,5 | 41 | 41,5 | 939 | 1242,5 | 1314,5 | 242 | 433 | 435 | 0 | 0 | 0 |
| SBPJ | 653 | 685 | 701 | 46469 | 48865,5 | 51431 | 192980,5 | 213055,5 | 213135,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBPK | 83 | 89 | 130,5 | 2617 | 2745,5 | 4106 | 0 | 842 | 1428 | 0 | 0 | 0 |
| SBPL | 341 | 377,5 | 413 | 37101,5 | 38215 | 38744,5 | 296912,5 | 305488,5 | 311045,5 | 0 | 0 | 0 |
| SBPV | 864 | 891 | 933 | 72493 | 74999,5 | 77365,5 | 374024,5 | 376523 | 392778 | 252655,5 | 282476,5 | 284941 |
| SBRB | 318 | 319 | 322 | 29513,5 | 30865,5 | 31224 | 110239 | 117344 | 122282 | 0 | 0 | 0 |
| SBRF | 4669 | 4887 | 5457,5 | 549343,5 | 561079,5 | 564037 | 3595369 | 3629639 | 3643254,5 | 1009821 | 1192272 | 1340049 |
| SBRJ | 8527,5 | 8621 | 8709,5 | 762279,5 | 786792 | 799181,5 | 532903 | 604678,5 | 636868 | 0 | 0 | 0 |
| SEBJ | 26 | 115 | 214 | 1724 | 5755 | 10297,5 | 87,5 | 1025 | 1246,5 | 0 | 0 | 0 |
| SESL | 1445,5 | 1510 | 1529 | 136888,5 | 141850 | 148599 | 625387 | 806767,5 | 810786 | 174895 | 293961 | 302532 |
| SESN | 682 | 737 | 824 | 38677 | 44092 | 51701 | 471225,5 | 513735,5 | 527694 | 0 | 0 | 629 |

Pela figura 20 a mediana das variáveis ao longo do tempo para aeroportos privatizados acompanha os aeroportos não privatizados. Cabe destaque à atividade de transporte de mala postal que é em peso realizado pelos primeiros.

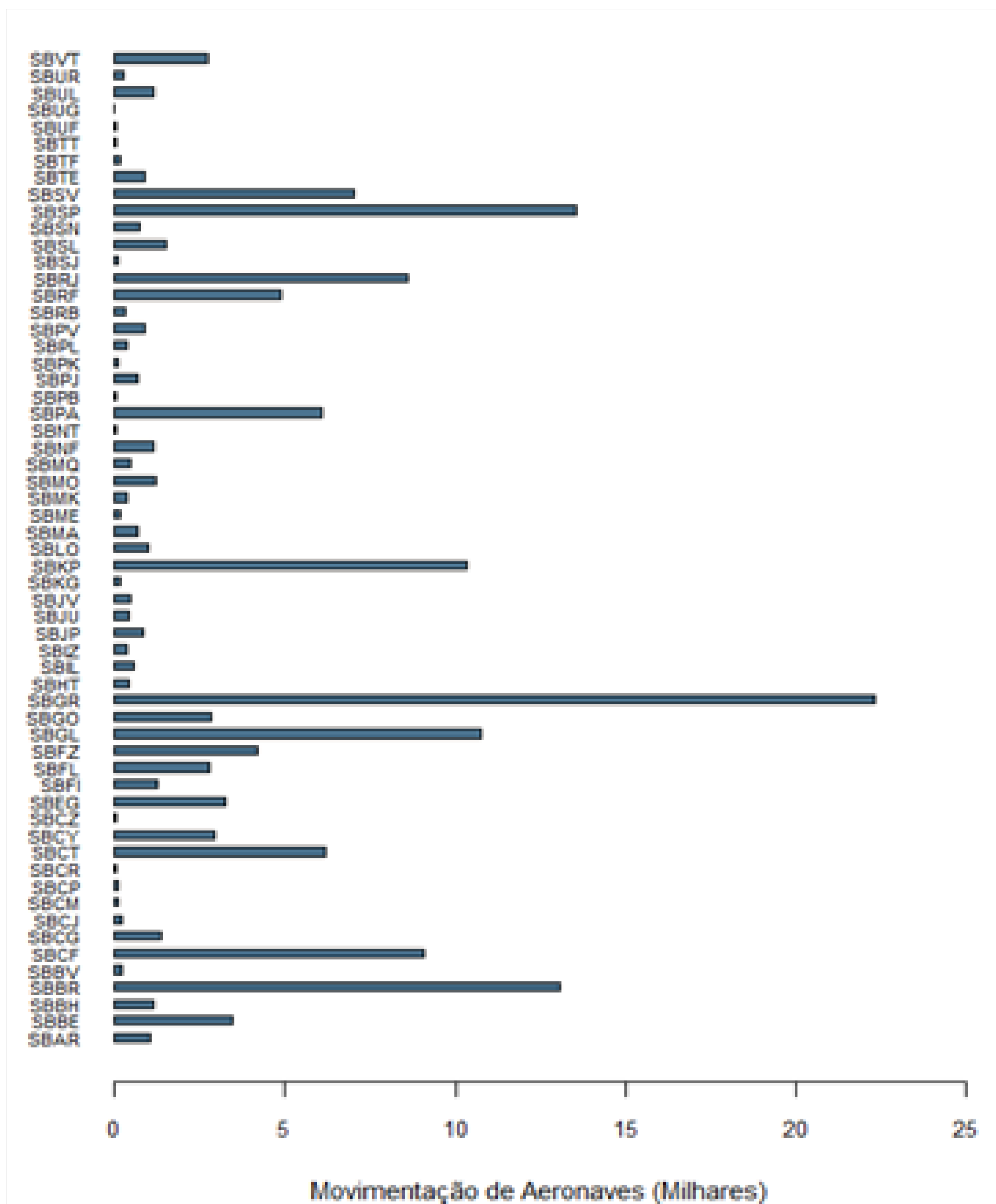
Figura 20 – Mediana de aeroportos privatizados e não privatizados ao longo de 2012-2016



Fonte:Elaboração própria

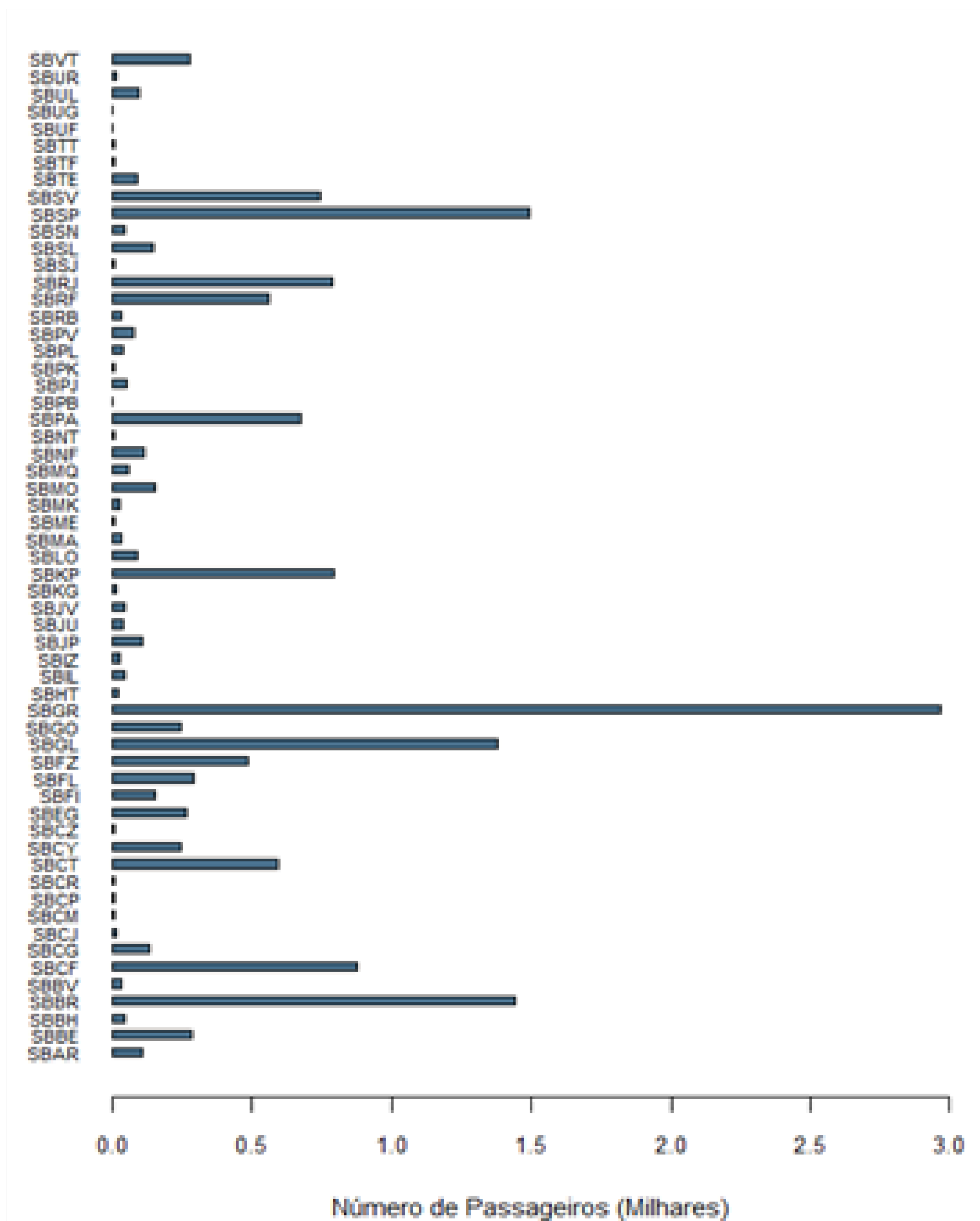
As figuras 21, 22 e 23 representam as medianas de movimentação de aeronaves para todos os aeroportos o destaque pode ser visto a superioridade do aeroporto de Guarulhos em relação aos demais, o mesmo segue para mala postal, carga aérea e passageiros. O aeroporto contribui para a elevação da média geral das variáveis. Cabe destacar que o aeroporto somente foi passado à iniciativa privada ao final de 2012.

Figura 21 – Descrição da movimentação mediana de aeronaves por aeroporto



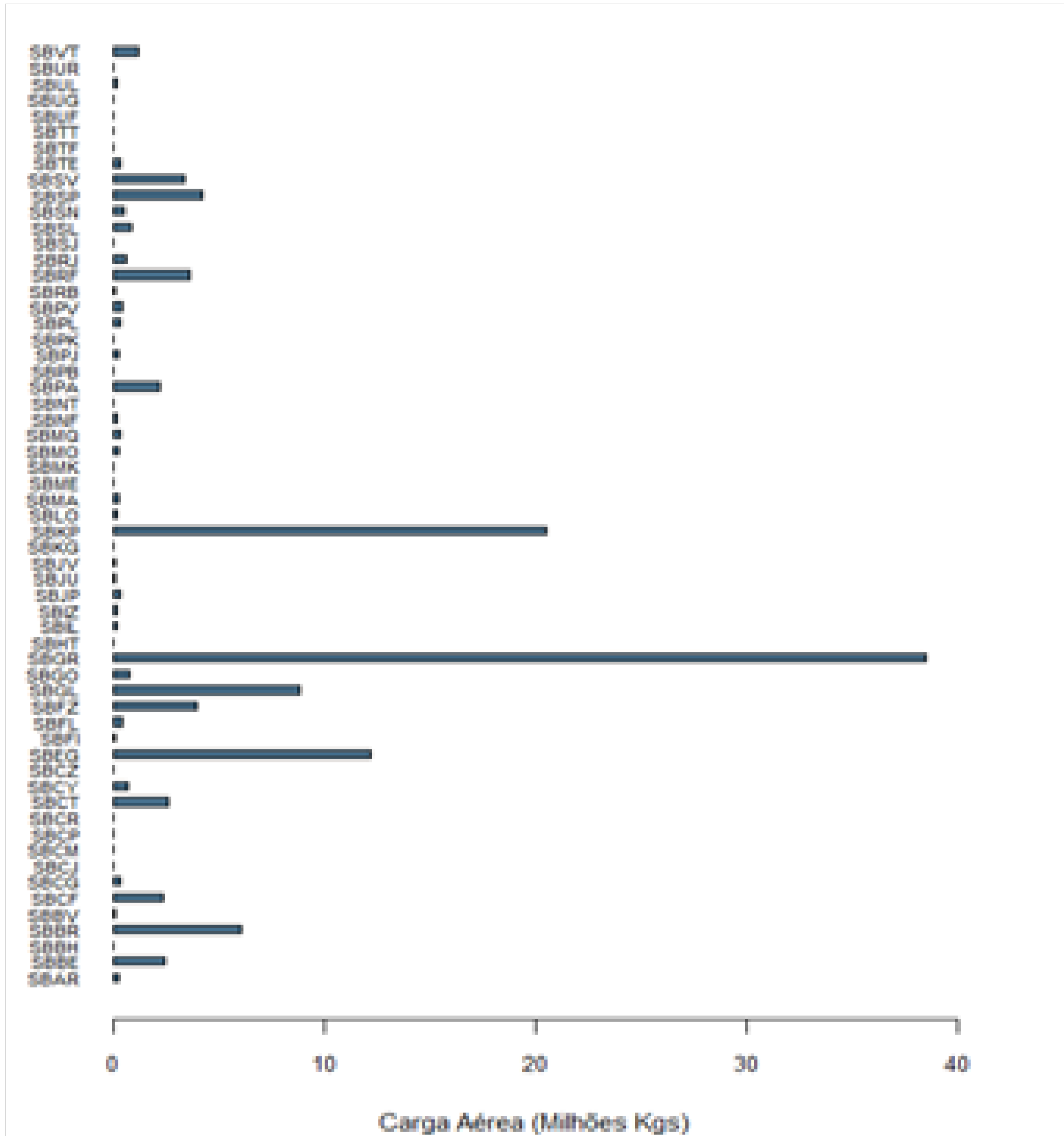
Fonte: Elaboração própria

Figura 22 – Descrição do número de passageiros mediano por aeroporto.



Fonte:Elaboração própria

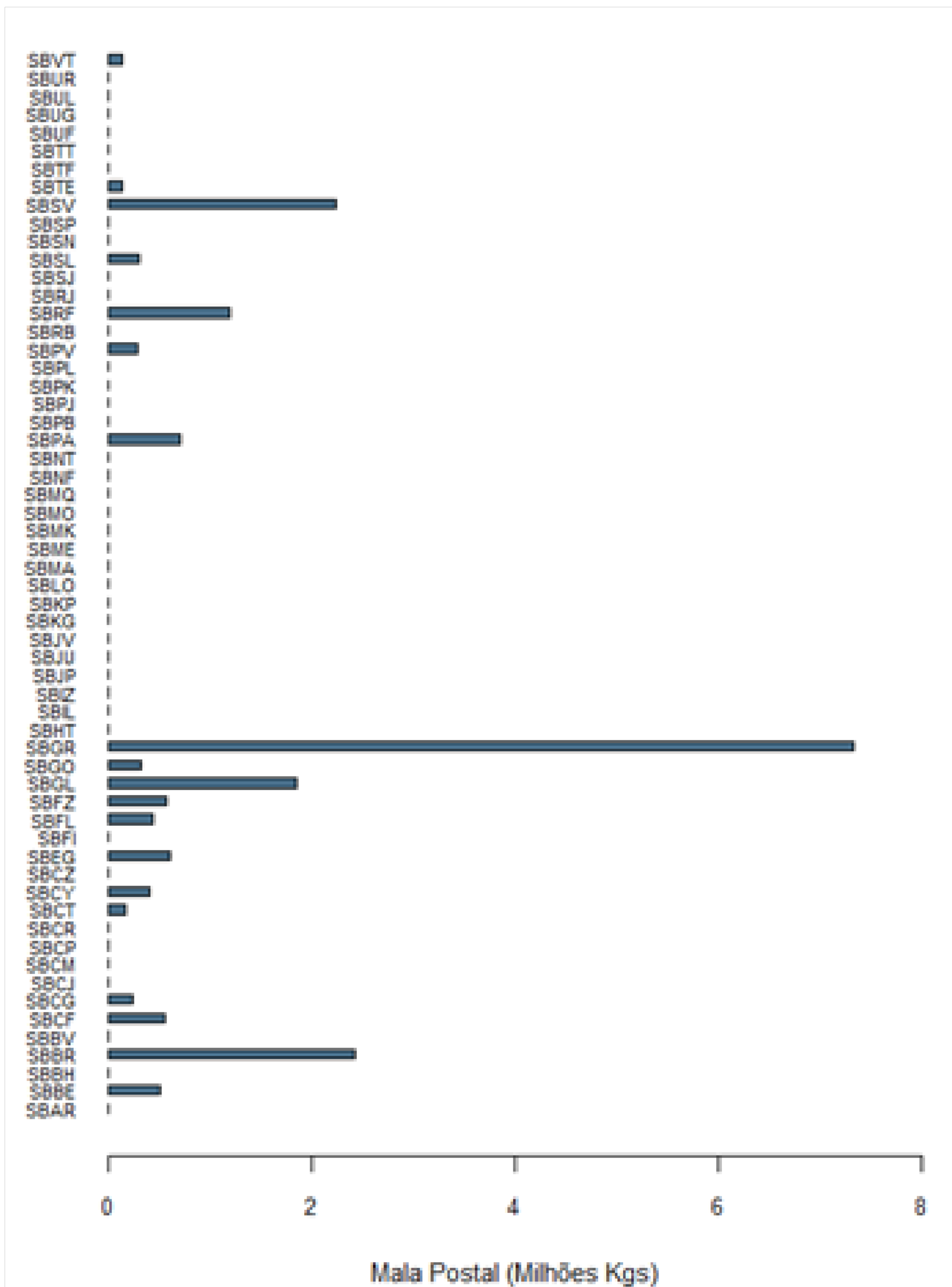
Figura 23 – Descrição da carga aérea mediana por aeroporto



Fonte:Elaboração própria

Com base na figura 24 é possível perceber a formação de Cluster onde os aeroportos sobretudo os privatizados são responsáveis pela maior movimentação do setor. Ainda, isso pode em parte ser explicada por fatores relacionados ao PIB por região e à disposição geográfica dos centros de distribuição dos Correios do Brasil.

Figura 24 – Descrição da mala postal mediana por aeroporto

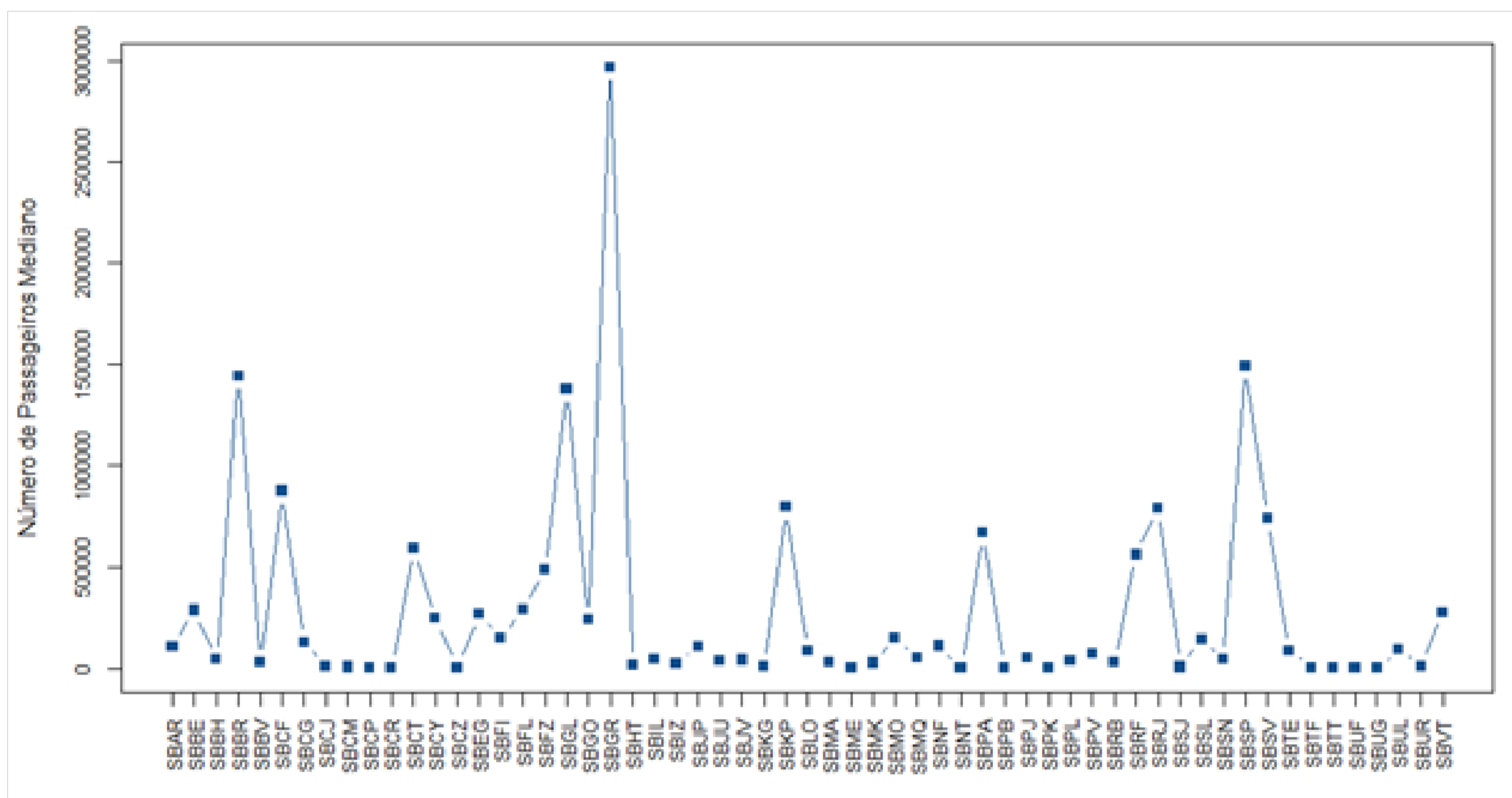


Fonte:Elaboração própria

A movimentação de aeronaves mediana (Figura 27) e a carga aérea mediana apresentaram uma tendência decrescente ao longo do tempo. O número de passagei-

e SBGL. Os menores valores medianos de movimentação foram encontrados nos aeroportos SBUF (Aeroporto de Paulo Afonso) e SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana).

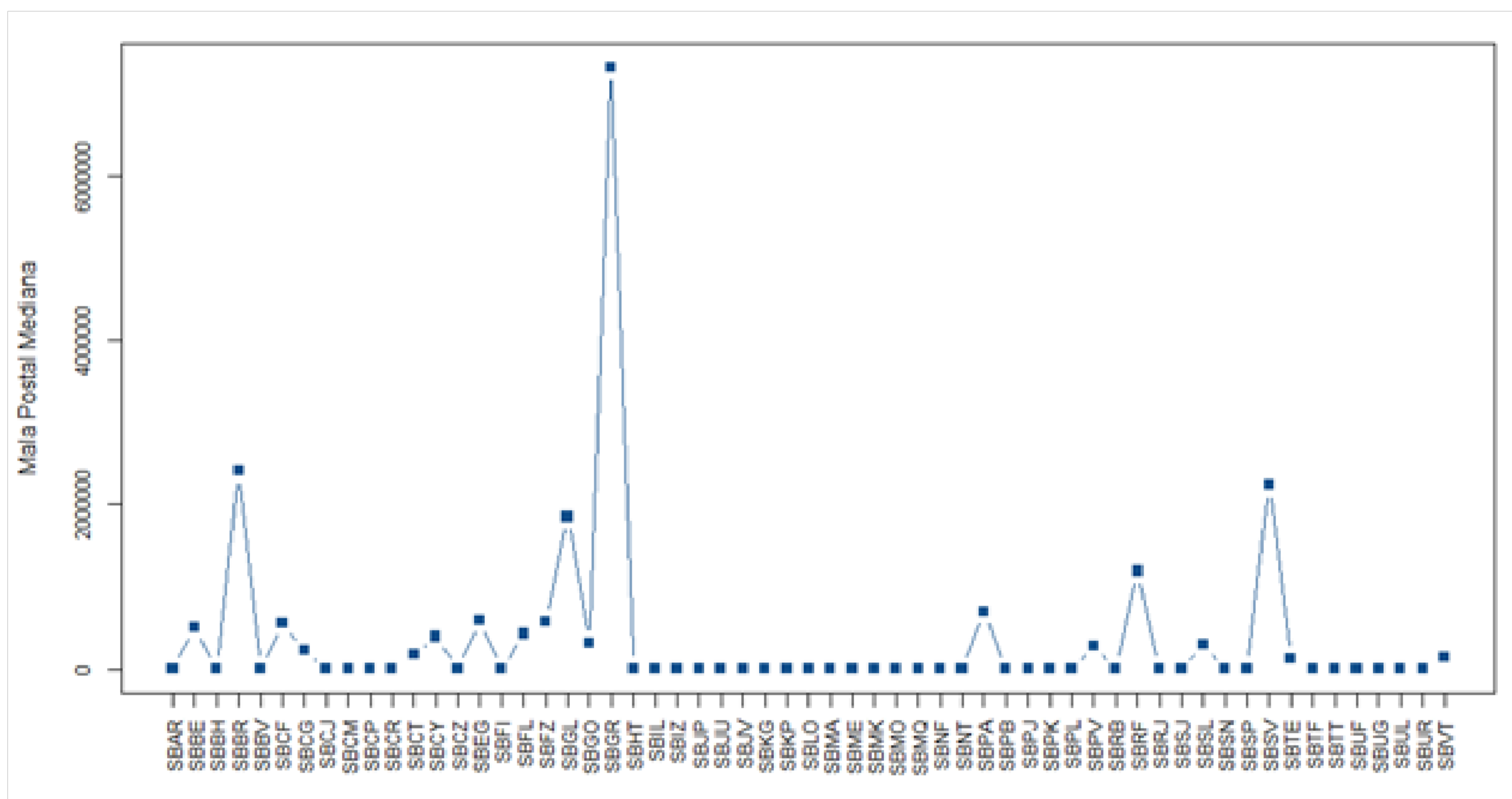
Figura 26 – Descrição da movimentação mediana de passageiros por aeroporto



Fonte:Elaboração própria

A figura 27 traz a descrição do número de passageiros por aeroporto privatizados e não privatizados para o período de 2012 à 2016. O aeroporto SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos) apresentou os maiores valores medianos de passageiros movimentados. Seguido por SBGR, SBSP, SBGL, SBBR, SBCF, SBKP e SBRJ. O menor valor mediano de passageiros foi encontrado no aeroporto SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana).

Figura 27 – Descrição da mala postal mediana por aeroporto.

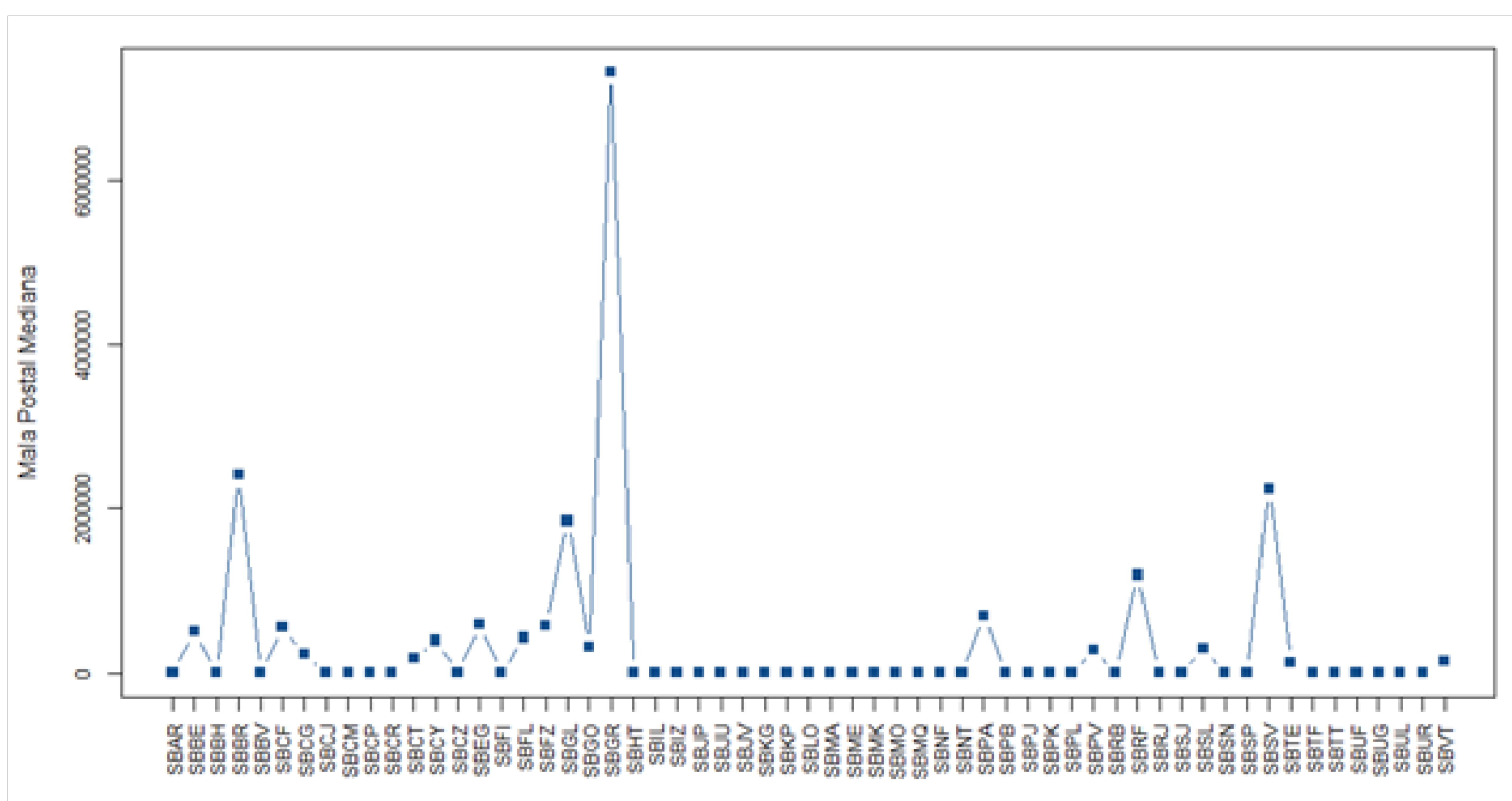


Fonte:Elaboração própria

A figura 28 traz a descrição mala postal mediana por aeroporto privatizados e não privatizados para o período de 2012 à 2016. O aeroporto SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos) apresentou os maiores valores medianos de mala postal movimentados. Seguido por SBGR, SBBR e SBSV.

O aeroporto SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos) apresentou os maiores valores medianos de mala postal.

Figura 28 – Descrição da mala postal mediana por aeroporto.



Fonte:Elaboração própria

A partir da figura 29 pode-se destacar que: os aeroportos SBAR (Aeroporto de Aracaju), SBBH (Aeroporto de Belo Horizonte), SBBV (Aeroporto Internacional de Boa Vista), SBCJ (Aeroporto de Carajás), SBCM (Aeroporto de Criciúma), SBGP (Aeroporto Internacional de Campos), SBGR (Aeroporto Internacional de Corumbá), SBCZ (Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul), SBFI (Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu), SBHT (Aeroporto de Altamira), SBIL (Aeroporto de Ilhéus), SBIZ (Aeroporto de Imperatriz), SBJP (Aeroporto Internacional de João Pessoa), SBJU (Aeroporto de Juazeiro do Norte), SBJV (Aeroporto de Joinville), SBKG (Aeroporto de Campina Grande), SBKP (Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos), SBLO (Aeroporto de Londrina), SBMA (Aeroporto de Marabá), SBME (Aeroporto de Macaé), SBMK (Aeroporto de Montes Claros), SBMO (Aeroporto Internacional de Maceió), SBMQ (Aeroporto Internacional de Macapá), SBNF (Aeroporto Internacional de Navegantes), SBNT (Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo), SBPB (Aeroporto Internacional de Parnaíba), SBPJ (Aeroporto de Palmas), SBPK (Aeroporto Internacional de Pelotas), SBPL (Aeroporto Internacional de Petrolina), SBRB (Aeroporto de Rio Branco), SBRJ (Aeroporto Santos-Dumont), SBSJ (Aeroporto Internacional de São José dos Campos), SBSN (Aeroporto Internacional de Santarém), SBSP (Aeroporto de Congonhas), SBTF (Aeroporto de Tefé), SBTT (Aeroporto Internacional de Tabatinga), SBUF (Aeroporto de Paulo Afonso), SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana), SBUL (Aeroporto de Uberlândia) e SBUR (Aeroporto de Uberaba) apresentaram a mala postal mediana igual a zero.

Cabe ressaltar de plano que a ANAC classifica os aeroportos brasileiros entre três categorias realizada mediante índices de eficiência e produtividade, conforme a Resolução número 180, de 2011. A variação tarifária de cada categoria dá-se com base na recomposição dos déficits de cada atividade aeroportuária. A identificação da situação financeira de cada atividade aeroportuária é obtida após a aplicação dos mecanismos de subsídio cruzado entre aeroportos e entre atividades. O subsídio cruzado consiste em ratear, entre as categorias aeroportuárias, a receita total de cada atividade aeroportuária e não regulada, na proporção dos custos da categoria.

A INFRAERO parte dessa categorização para fazer a redistribuição dos recursos financeiros. Porém, não é relatado o uso de metodologia específica na classificação dos aeroportos. Contudo, é importante identificar os aeroportos pares para discussão.

Figura 29 – Categorização dos aeroportos ANAC

| Aeroporto | | 2a. Categoria | |
|----------------------|---|---------------|---|
| 1a. Categoria | | 1 | SBAR - Aeroporto de Aracaju |
| 1 | SBBE - Aeroporto Internacional de Belém | 2 | SBBH - Aeroporto de Belo Horizonte |
| 2 | SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília | 3 | SBBV - Aeroporto Internacional de Boa Vista |
| 3 | SBCF - Aeroporto Internacional de Confins | 4 | SBCG - Aeroporto Internacional de Campo Grande |
| 4 | SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba | 5 | SBCJ - Aeroporto de Carajás |
| 5 | SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus | 6 | SBCR - Aeroporto Internacional de Corumbá |
| 6 | SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis | 7 | SBCY - Aeroporto Internacional de Cuiabá |
| 7 | SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza | 8 | SBFI - Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu |
| 8 | SBGL - Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão | 9 | SBGO - Aeroporto de Goiânia |
| 9 | SBGR - Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos | 10 | SBIL - Aeroporto de Ilhéus |
| 10 | SBMO - Aeroporto Internacional de Maceió | 11 | SBIZ - Aeroporto de Imperatriz |
| 11 | SBNT - Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severiano | 12 | SBJP - Aeroporto Internacional de João Pessoa |
| 12 | SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre | 13 | SBJU - Aeroporto de Juazeiro do Norte |
| 13 | SBRF - Aeroporto Internacional de Recife | 14 | SBJV - Aeroporto de Joinville |
| 14 | SBSL - Aeroporto Internacional de São Luiz | 15 | SBKG - Aeroporto de Campina Grande |
| 15 | S BSP - Aeroporto de Congonhas | 16 | SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos |
| 16 | SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador | 17 | SBLO - Aeroporto de Londrina |
| 3a. Categoria | | 18 | SBMA - Aeroporto de Marabá |
| 1 | SBCZ - Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul | 19 | SBMK - Aeroporto de Montes Claros |
| 2 | SBHT - Aeroporto de Altamira | 20 | SBMQ - Aeroporto Internacional de Macapá |
| 3 | SBME - Aeroporto de Macaé | 21 | SBNF - Aeroporto Internacional de Navegantes |
| 4 | SBCM - Aeroporto de Criciúma | 22 | SBPJ - Aeroporto de Palmas |
| 5 | SBCP - Aeroporto Internacional de Campos | 23 | SBPL - Aeroporto Internacional de Petrolina |
| 6 | SBPB - Aeroporto Internacional de Parnaíba | 24 | SBPV - Aeroporto Internacional de Porto Velho |
| 7 | SBPK - Aeroporto Internacional de Pelotas | 25 | SBRB - Aeroporto de Rio Branco |
| 8 | SBTF - Aeroporto de Tefé | 26 | SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont |
| 9 | S BTT - Aeroporto Internacional de Tabatinga | 27 | SBSJ - Aeroporto Internacional de São José dos Campos |
| 10 | SBUF - Aeroporto de Paulo Afonso | 28 | SBSN - Aeroporto Internacional de Santarém |
| | | 29 | SBTE - Aeroporto de Teresina |
| | | 30 | SBUL - Aeroporto de Uberlândia |
| | | 31 | S BUR - Aeroporto de Uberaba |
| | | 32 | S BVT - Aeroporto Internacional de Vitória |

Fonte: Elaboração própria com base na Resolução 180, 2011 da ANAC

Embora exista essa categorização, ela não é única. Conforme dados do Infraero, ANAC e DAESP, os aeroportos podem ser classificados em pequeno, médio, grande e extra grande em função do número de passageiros processados, Figura 30. Desse modo, pode ser percebido em conjunto com a Figura 31 que há uma divergência entre esse quantum em alguns aeroportos conforme os anos apresentados.

Figura 30 – Classificação quanto ao Porte do Aeroporto por Faixa de Passageiros processados por Ano

| PORTE | CLASSE | FAIXA DE DEMANDA ANUAL DE PASSAGEIROS |
|-------------------------------|---------------|--|
| Pequeno | PP1 | Abaixo 100 mil |
| | PP2 | 100 mil até 399,9 mil |
| | PP3 | 400 mil até 999,9 mil |
| Médio | MP | 1 milhão até 2,9 milhões |
| Grande | GP | 3 milhões até 7,9 milhões |
| Extra Grande | EP | Acima de 8 milhões |
| TOTAL DE AEROPORTOS | | |
| Fonte: INFRAERO; ANAC e DAESP | | |

Fonte: INFRAERO; ANAC e DAESP

As figuras 31 e 32 apontam que conforme o número de passageiros processados em média temos em extra grande 9 aeroportos ou 15,25 %, grandes 8 ou 13,55 e médios 42 ou 71,86%. Apesar de representarem a amostra em um todo, não cabe tecer comentários acerca da metodologia abordada pelos órgãos mas apenas trazer à baila que existem e por este motivo podem ser utilizadas para comparar os afins. Isto porque para os órgãos brasileiros não são consideradas as propostas de Pelz (2004) ou Doganis (1992). Os aeroportos privatizados encontram-se na linha classificados como extra grandes.

Figura 31 – Aeroportos classificados em função do número de passageiros processados

| Aeroporto | Cidade | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Média |
|---|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SBAR - Aeroporto de Aracaju | Aracaju | 1.299.091 | 1.286.619 | 1.322.910 | 1.244.879 | 1.211.864 | 1.273.073 |
| SBBE - Aeroporto Internacional de Belém | Belém | 3.294.523 | 3.414.517 | 3.790.647 | 3.662.730 | 3.208.350 | 3.474.153 |
| SBBH - Aeroporto de Belo Horizonte | Pampulha | 524.139 | 719.392 | 651.361 | 423.154 | 118.988 | 487.407 |
| SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília | Brasília | 17.086.981 | 17.296.463 | 18.354.633 | 19.576.589 | 17.754.277 | 18.013.789 |
| SBBV - Aeroporto Internacional de Boa Vista | Boa Vista | 311.780 | 358.496 | 369.777 | 340.203 | 286.864 | 333.424 |
| SBCF - Aeroporto Internacional de Confins | Confins | 10.561.928 | 10.365.313 | 10.960.732 | 11.165.964 | 9.571.191 | 10.525.026 |
| SBCG - Aeroporto Internacional de Campo Grand | Campo Grand | 1.689.622 | 1.595.925 | 1.627.209 | 1.558.940 | 1.448.841 | 1.584.107 |
| SBCJ - Aeroporto de Carajás | Carajás | 125.537 | 112.543 | 132.492 | 205.054 | 155.254 | 146.176 |
| SBCM - Aeroporto de Criciúma | Criciúma | 33.231 | 63.044 | 69.291 | 73.642 | 55.473 | 58.936 |
| SBCP - Aeroporto Internacional de Campos | Campos | 36.758 | 40.569 | 51.561 | 48.985 | 33.935 | 42.362 |
| SBCR - Aeroporto Internacional de Corumbá | Corumbá | 30.049 | 28.158 | 33.678 | 32.986 | 34.183 | 31.811 |
| SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba | Curitiba | 6.998.872 | 6.801.448 | 7.332.121 | 7.227.303 | 6.339.623 | 6.939.873 |
| SBCY - Aeroporto Internacional de Cuiabá | Cuiabá | 2.687.641 | 2.877.763 | 3.203.811 | 3.212.395 | 2.820.955 | 2.960.513 |
| SBCZ - Aeroporto Internacional de Cruzeiro do S | Cruzeiro do S | 53.228 | 54.606 | 56.580 | 64.764 | 64.760 | 58.788 |
| SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus | Manaus | 3.222.598 | 3.198.517 | 3.420.039 | 3.317.947 | 2.634.811 | 3.158.782 |
| SBFI - Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu | Foz Iguaçu | 1.712.598 | 1.655.299 | 1.850.369 | 2.026.341 | 1.826.727 | 1.814.267 |
| SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas/Vi | Campinas | 8.778.616 | 9.544.148 | 10.196.442 | 10.282.327 | 9.238.163 | 9.607.939 |
| SBGO - Aeroporto de Goiânia | Goiânia | 2.885.310 | 2.837.769 | 3.233.062 | 3.192.253 | 2.904.606 | 3.010.600 |
| SBHT - Aeroporto de Altamira | Altamira | 147.672 | 197.117 | 228.843 | 311.053 | 166.472 | 210.231 |
| SBIL - Aeroporto de Ilhéus | Ilhéus | 513.179 | 507.244 | 567.830 | 616.777 | 589.781 | 558.962 |
| SBIZ - Aeroporto de Imperatriz | Imperatriz | 301.645 | 322.073 | 336.287 | 314.438 | 271.969 | 309.282 |
| SBJP - Aeroporto Internacional de João Pessoa | João Pessoa | 1.231.184 | 1.222.088 | 1.314.574 | 1.445.676 | 1.401.635 | 1.323.031 |
| SBJU - Aeroporto de Juazeiro do Norte | Juazeiro do N | 439.671 | 379.815 | 414.736 | 438.201 | 524.339 | 439.352 |
| SBJV - Aeroporto de Joinville | Joinville | 421.317 | 393.819 | 488.353 | 514.468 | 512.124 | 466.016 |
| SBKG - Aeroporto de Campina Grande | Campina Gran | 118.070 | 138.588 | 175.817 | 113.787 | 133.027 | 135.858 |
| SBLO - Aeroporto de Londrina | Londrina | 1.086.040 | 1.044.646 | 1.116.968 | 1.041.553 | 916.043 | 1.041.050 |
| SBMA - Aeroporto de Marabá | Marabá | 369.339 | 434.091 | 429.870 | 371.828 | 302.121 | 381.450 |
| SBME - Aeroporto de Macaé | Macaé | 51.173 | 71.392 | 52.877 | 9.399 | 0 | 36.968 |
| SBMK - Aeroporto de Montes Claros | Montes Claro | 314.841 | 328.769 | 354.740 | 376.184 | 280.422 | 330.991 |
| SBMO - Aeroporto Internacional de Maceió | Maceió | 1.688.010 | 1.910.116 | 1.874.765 | 1.949.020 | 1.978.361 | 1.880.054 |
| SBMQ - Aeroporto Internacional de Macapá | Macapá | 553.680 | 654.077 | 738.147 | 658.515 | 561.482 | 633.180 |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da ANAC

Figura 32 – Aeroportos classificados em função do número de passageiros processados

| | | | | | | | |
|---|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SBNF - Aeroporto Internacional de Navegantes | Navegantes | 1.209.313 | 1.173.905 | 1.329.801 | 1.459.971 | 1.444.925 | 1.323.583 |
| SBNT - Aeroporto Internacional de Natal/Augus | Natal | 2.600.313 | 2.421.902 | 896.549 | 165 | 56 | 1.183.797 |
| SBPJ - Aeroporto de Palmas | Palmas | 560.371 | 560.878 | 618.665 | 625.355 | 603.590 | 593.772 |
| SBPK - Aeroporto Internacional de Pelotas | Pelotas | 4.479 | 33.690 | 53.899 | 46.665 | 37.307 | 35.208 |
| SBPL - Aeroporto Internacional de Petrolina | Petrolina | 461.586 | 459.862 | 495.506 | 448.460 | 456.414 | 464.366 |
| SBPV - Aeroporto Internacional de Porto Velho | Porto Velho | 1.047.509 | 939.109 | 897.019 | 937.653 | 831.652 | 930.588 |
| SBRB - Aeroporto de Rio Branco | Rio Branco | 358.050 | 365.028 | 379.934 | 384.144 | 354.881 | 368.407 |
| SBRF - Aeroporto Internacional de Recife | Recife | 6.623.194 | 6.784.990 | 7.023.338 | 6.998.988 | 6.818.259 | 6.849.754 |
| SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont | Santos-Dumo | 9.163.789 | 9.298.964 | 9.941.094 | 9.685.396 | 9.019.107 | 9.421.670 |
| SBSJ - Aeroporto Internacional de São José dos | S.J. dos Camp | 172.845 | 132.684 | 69.816 | 31.046 | 23.871 | 86.052 |
| SBSL - Aeroporto Internacional de São Luiz | São Luís | 1.949.803 | 1.741.623 | 1.799.221 | 1.703.147 | 1.558.540 | 1.750.467 |
| SBSN - Aeroporto Internacional de Santarém | Santarém | 468.916 | 516.328 | 602.573 | 650.514 | 477.469 | 543.160 |
| SBSP - Aeroporto de Congonhas | Congonhas | 17.311.981 | 17.332.313 | 17.935.960 | 19.070.150 | 20.563.065 | 18.442.694 |
| SBTE - Aeroporto de Teresina | Teresina | 999.314 | 1.052.494 | 1.126.587 | 1.176.289 | 1.059.556 | 1.082.848 |
| SBTF - Aeroporto de Tefé | Tefé | 62.384 | 64.190 | 74.088 | 53.673 | 46.912 | 60.249 |
| SBTT - Aeroporto Internacional de Tabatinga | Tabatinga | 45.836 | 55.169 | 63.561 | 61.380 | 60.760 | 57.341 |
| SBUF - Aeroporto de Paulo Afonso | Paulo Afonso | 0 | 891 | 25.564 | 21.129 | 10.564 | 11.630 |
| SBUG - Aeroporto Internacional de Uruguaiana | Uruguaiana | 2.669 | 727 | 0 | 5.977 | 29.179 | 7.710 |
| SBUL - Aeroporto de Uberlândia | Uberlândia | 978.306 | 1.091.558 | 1.094.895 | 1.121.639 | 1.009.167 | 1.059.113 |
| SBUR - Aeroporto de Uberaba | Uberaba | 164.003 | 130.437 | 141.676 | 124.019 | 92.171 | 130.461 |
| SBVT - Aeroporto Internacional de Vitória | Vitória | 3.466.924 | 3.304.548 | 3.355.288 | 3.419.541 | 3.030.328 | 3.315.326 |
| SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis | Florianópolis | 3.267.667 | 3.752.315 | 3.512.064 | 3.638.701 | 3.444.198 | 3.522.989 |
| SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza | Fortaleza | 5.888.150 | 5.885.875 | 6.415.697 | 6.276.031 | 5.643.466 | 6.021.844 |
| SBGL - Aeroporto Internacional do Rio de Janeir | Galeão | 17.354.005 | 17.105.208 | 17.224.487 | 16.680.413 | 16.047.193 | 16.882.261 |
| SBGR - Aeroporto Internacional de São Paulo/G | Guarulhos | 31.621.922 | 35.521.317 | 39.183.615 | 38.339.010 | 36.051.699 | 36.143.513 |
| SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre | Porto Alegre | 8.093.395 | 7.878.117 | 8.347.122 | 8.260.520 | 7.562.458 | 8.028.322 |
| SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador | Salvador | 9.294.999 | 8.811.589 | 9.372.898 | 9.087.785 | 7.576.905 | 8.828.835 |
| SBSG - Sao Goncalo Do Amarante | Natal | 0 | 3.562 | 1.585.879 | 2.581.671 | 2.073.396 | 1.248.902 |

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da ANAC

As figuras 33 e34 apresentam as eficiências obtidas através da análise DEA para os modelos VRS, CRS e FDH, FDH com supereficiência e SFA. A utilização das variáveis acompanha estudos prévios para o setor em especial Parker (1999). Com base em Wanke (2012) optou-se pela eficiência com segundo estágio. A perspectiva visa avaliar o desempenho geral vertical e longitudinal.

Figura 33 – Eficiências média por aeroporto 2012-2016

| Aeroporto | VRS | | CRS | | FDH | | FDH ¹ | | SFA | |
|---|---------|------|---------|------|---------|------|------------------|------|--------|------|
| | Média | Rank | Média | Rank | Efic. | Rank | Média | Rank | Efic. | Rank |
| SBAR - Aeroporto de Aracaju | 73,90% | 22 | 73,30% | 20 | 93,30% | 34 | 11,60% | 40 | 52,20% | 35 |
| SBBE - Aeroporto Internacional de Belém | 66,90% | 32 | 66,80% | 30 | 100,00% | 1 | 15,40% | 23 | 73,50% | 14 |
| SBBH - Aeroporto de Belo Horizonte | 30,50% | 57 | 30,20% | 52 | 49,30% | 57 | 4,60% | 58 | 81,90% | 8 |
| SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília | 87,20% | 12 | 87,00% | 10 | 100,00% | 1 | 21,90% | 17 | 87,10% | 6 |
| SBBV - Aeroporto Internacional de Boa Vista | 91,30% | 5 | 90,30% | 5 | 100,00% | 1 | 19,10% | 19 | 30,60% | 56 |
| SBCF - Aeroporto Internacional de Confins | 71,90% | 24 | 71,60% | 23 | 100,00% | 1 | 14,80% | 27 | 88,70% | 5 |
| SBCG - Aeroporto Internacional de Campo Grande | 70,40% | 27 | 70,10% | 26 | 100,00% | 1 | 16,50% | 22 | 55,20% | 32 |
| SBCJ - Aeroporto de Carajás | 42,50% | 48 | 40,00% | 46 | 82,00% | 44 | 10,70% | 43 | 51,30% | 39 |
| SBCM - Aeroporto de Criciúma | 43,40% | 47 | 35,20% | 48 | 80,70% | 46 | 11,80% | 39 | 42,00% | 48 |
| SBCP - Aeroporto Internacional de Campos | 28,10% | 58 | 22,30% | 57 | 51,00% | 55 | 4,90% | 57 | 56,80% | 26 |
| SBCR - Aeroporto Internacional de Corumbá | 59,30% | 37 | 41,70% | 45 | 94,60% | 33 | 13,80% | 31 | 29,80% | 57 |
| SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba | 71,20% | 25 | 71,00% | 24 | 98,00% | 28 | 12,70% | 35 | 82,80% | 7 |
| SBCY - Aeroporto Internacional de Cuiabá | 66,80% | 33 | 66,60% | 31 | 100,00% | 1 | 14,40% | 28 | 70,10% | 17 |
| SBCZ - Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul | 73,90% | 21 | 60,20% | 35 | 100,00% | 1 | 32,20% | 3 | 27,10% | 59 |
| SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 77,40% | 11 |
| SBFI - Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu | 87,30% | 11 | 86,50% | 11 | 99,30% | 27 | 18,50% | 20 | 47,30% | 43 |
| SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis | 77,30% | 18 | 77,10% | 17 | 100,00% | 1 | 15,20% | 24 | 61,50% | 23 |
| SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza | 89,70% | 8 | 89,30% | 8 | 100,00% | 1 | 27,90% | 6 | 64,30% | 21 |
| SBGL - Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão | 94,60% | 3 | 94,10% | 3 | 100,00% | 1 | 25,90% | 11 | 80,70% | 9 |
| SBGO - Aeroporto de Goiânia | 67,20% | 31 | 66,90% | 29 | 100,00% | 1 | 12,90% | 34 | 69,00% | 18 |
| SBGR - Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 92,00% | 3 |
| SBHT - Aeroporto de Altamira | 30,70% | 56 | 29,30% | 53 | 50,50% | 56 | 5,00% | 56 | 75,90% | 12 |
| SBIL - Aeroporto de Ilhéus | 59,40% | 36 | 58,70% | 36 | 86,70% | 38 | 10,60% | 44 | 51,50% | 38 |
| SBIZ - Aeroporto de Imperatriz | 52,60% | 44 | 51,80% | 40 | 87,10% | 37 | 10,90% | 41 | 51,60% | 37 |
| SBJP - Aeroporto Internacional de João Pessoa | 90,20% | 7 | 89,40% | 7 | 100,00% | 1 | 20,00% | 18 | 44,30% | 46 |
| SBJU - Aeroporto de Juazeiro do Norte | 61,30% | 35 | 60,40% | 34 | 85,20% | 39 | 10,30% | 45 | 46,90% | 45 |
| SBJV - Aeroporto de Joinville | 57,70% | 40 | 57,10% | 38 | 80,70% | 45 | 9,30% | 48 | 50,60% | 40 |
| SBKG - Aeroporto de Campina Grande | 68,60% | 30 | 62,90% | 33 | 100,00% | 1 | 21,90% | 16 | 33,40% | 53 |
| SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos | 88,00% | 10 | 72,00% | 22 | 100,00% | 1 | 28,50% | 5 | 96,90% | 1 |
| SBLO - Aeroporto de Londrina | 64,10% | 34 | 63,50% | 32 | 85,10% | 40 | 9,50% | 46 | 56,80% | 27 |
| SBMA - Aeroporto de Marabá | 39,70% | 50 | 39,20% | 47 | 66,80% | 51 | 7,30% | 53 | 70,60% | 16 |
| SBME - Aeroporto de Macaé | 19,90% | 59 | 14,50% | 58 | 37,20% | 59 | 3,00% | 59 | 60,10% | 24 |
| SBMK - Aeroporto de Montes Claros | 51,90% | 45 | 51,20% | 41 | 69,40% | 50 | 7,50% | 51 | 49,90% | 42 |

Figura 34 – Eficiências média por aeroporto 2012-2016

| | | | | | | | | | | |
|--|--------|-----------|--------|-----------|----------------|----|--------|-----------|--------|-----------|
| SBMO - Aeroporto Internacional de Maceió | 90,80% | 6 | 90,00% | 6 | 100,00% | 1 | 22,00% | 15 | 47,20% | 44 |
| SBMQ - Aeroporto Internacional de Macapá | 81,30% | 16 | 80,70% | 16 | 100,00% | 1 | 22,90% | 13 | 41,20% | 49 |
| SBNF - Aeroporto Internacional de Navegantes | 70,00% | 28 | 69,40% | 27 | 92,20% | 35 | 10,90% | 42 | 55,40% | 31 |
| SBNT - Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo | 55,20% | 43 | 47,60% | 43 | 60,00% | 53 | 12,70% | 36 | 43,30% | 47 |
| SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre | 82,50% | 15 | 82,10% | 13 | 100,00% | 1 | 15,20% | 25 | 74,40% | 13 |
| SBPB - Aeroporto Internacional de Parnaíba | 57,30% | 41 | 34,70% | 49 | 84,90% | 42 | 13,10% | 33 | 29,40% | 58 |
| SBPJ - Aeroporto de Palmas | 56,00% | 42 | 55,50% | 39 | 87,70% | 36 | 11,90% | 37 | 56,50% | 29 |
| SBPK - Aeroporto Internacional de Pelotas | 33,40% | 54 | 25,80% | 56 | 58,30% | 54 | 5,90% | 55 | 56,70% | 28 |
| SBPL - Aeroporto Internacional de Petrolina | 77,00% | 19 | 76,30% | 18 | 100,00% | 1 | 24,70% | 12 | 39,90% | 51 |
| SBPV - Aeroporto Internacional de Porto Velho | 89,10% | 9 | 88,20% | 9 | 100,00% | 1 | 26,00% | 9 | 54,60% | 33 |
| SBRB - Aeroporto de Rio Branco | 71,20% | 26 | 70,30% | 25 | 96,70% | 31 | 14,00% | 30 | 39,50% | 52 |
| SBRF - Aeroporto Internacional de Recife | 82,50% | 13 | 82,30% | 12 | 100,00% | 1 | 27,60% | 7 | 71,90% | 15 |
| SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont | 68,70% | 29 | 68,10% | 28 | 97,90% | 29 | 11,90% | 38 | 91,20% | 4 |
| SBSJ - Aeroporto Internacional de São José dos Campos | 36,80% | 51 | 33,60% | 50 | 85,00% | 41 | 17,40% | 21 | 40,60% | 50 |
| SBSL - Aeroporto Internacional de São Luiz | 72,80% | 23 | 72,30% | 21 | 100,00% | 1 | 26,00% | 10 | 55,70% | 30 |
| SBSN - Aeroporto Internacional de Santarém | 47,30% | 46 | 46,50% | 44 | 95,40% | 32 | 22,70% | 14 | 66,20% | 19 |
| SBSP - Aeroporto de Congonhas | 82,50% | 14 | 81,80% | 14 | 97,20% | 30 | 14,00% | 29 | 93,20% | 2 |
| SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador | 94,00% | 4 | 93,10% | 4 | 100,00% | 1 | 28,50% | 4 | 77,90% | 10 |
| SBTE - Aeroporto de Teresina | 81,10% | 17 | 81,00% | 15 | 100,00% | 1 | 26,20% | 8 | 50,50% | 41 |
| SBTF - Aeroporto de Tefé | 32,00% | 55 | 27,20% | 55 | 74,40% | 48 | 8,30% | 49 | 54,30% | 34 |
| SBTT - Aeroporto Internacional de Tabatinga | 58,10% | 39 | 48,10% | 42 | 83,70% | 43 | 13,30% | 32 | 32,40% | 55 |
| SBUF - Aeroporto de Paulo Afonso | 40,30% | 49 | 27,50% | 54 | 66,20% | 52 | 9,40% | 47 | 32,80% | 54 |
| SBUG - Aeroporto Internacional de Uruguaiana | 33,90% | 52 | 10,00% | 59 | 42,90% | 58 | 7,20% | 54 | 51,90% | 36 |
| SBUL - Aeroporto de Uberlândia | 59,10% | 38 | 58,60% | 37 | 75,70% | 47 | 8,30% | 50 | 61,70% | 22 |
| SBUR - Aeroporto de Uberaba | 33,70% | 53 | 32,00% | 51 | 71,60% | 49 | 7,50% | 52 | 57,60% | 25 |
| SBVT - Aeroporto Internacional de Vitória | 74,40% | 20 | 73,90% | 19 | 100,00% | 1 | 15,00% | 26 | 66,20% | 20 |

Fonte: Elaboração própria

Para a análise DEA segundo Cooper et al. (2001) o número total de variáveis deve ser no máximo um terço do total de DMU analisadas. No caso, cada DMU corresponde a um aeroporto dos 59 estudados. A nossa amostra totaliza 59 aeropor-

tos analisados em 5 anos 2012-2016 ($t=5$) = 295 observações.

Para validar as variáveis foi realizada uma correlação conforme tabela 2.

Foram elaborados estudos com métodos diferentes para que seja selecionado aquele que melhor representa a realidade. Utilizando como variável de input a movimentação de aeronaves e como variáveis de output o número de passageiros, a carga aérea e a mala postal. Como no FDH muitos aeroportos apresentaram a eficiência igual a 1, optou-se por utilizar a super eficiência para possibilitar o desempate entre eles.

De acordo com Bogetoft e Otto (2010), supondo que a tecnologia foi dada e que avaliando um determinado aeroporto, então, o cenário pode ser descrito da seguinte maneira: Um aeroporto k usou m inputs $x^k = (x_1^l, \dots, x_m^k) \in \mathfrak{R}_+^m$ para produzir n outputs $y^k = (y_1^l, \dots, y_n^k) \in \mathfrak{R}_+^n$. O conjunto de planos de produção viáveis ou combinações input-output disponíveis para a empresa k é dado pela tecnologia ou conjunto de possibilidades de produção T :

$$T = \{ (x, y) \in \mathfrak{R}_+^m \mid x \text{ pode produzir } y \} \quad (6.1)$$

A abordagem mais utilizada para medir o grau de eficiência em um cenário geral é a estratégia sugerida por Debreu e Farrell, geralmente referida simplesmente como eficiência de Farrell. A ideia é perguntar se é possível reduzir o input sem alterar o output. Buscando processar múltiplos inputs e outputs de forma simples, procuramos uma redução proporcional de todos os inputs.

A eficiência baseada no input de Farrell ou apenas a eficiência de input de um plano (x, y) relativo a uma tecnologia T é definida como:

$$E = \min \{ E > 0 \mid (Ex, y) \in T \} \quad (6.2)$$

Isto é, é a contração proporcional máxima de todos os inputs x que permite produzir y . Assim, se $E = 0,8$, tem-se que poderíamos ter economizado 20% de todos os inputs e ainda produzido os mesmos outputs.

Da mesma forma, a eficiência baseada no output de Farrell ou a eficiência de output é definida como:

$$F = \max \{ F > 0 \mid (x, Fy) \in T \} \quad (6.3)$$

Isto é, a expansão proporcional máxima de todos os outputs y que é viável com os inputs x . Assim, uma pontuação de $F = 1,3$ sugere que poderíamos expandir a produção em 30% sem gastar recursos adicionais.

Quando se combina a ideia de extrapolação mínima com a ideia de Farrell de medir a eficiência como uma melhoria proporcional, tem-se programas matemáticos considerados por muitos como sinônimo da abordagem DEA.

Do lado do input, é medida a eficiência de Farrell na firma o como eficiência de input:

$$E^0 = E((x^0, y^0); T^*) = \min E \in \mathfrak{R}_+ | (Ex^0, y^0) \in T^* \quad (6.4)$$

Inserindo a formulação de $T^*(\gamma)$, tem-se segue :

Figura 35 – Formulação T*

$$\begin{aligned} & \min_{E, \lambda^1, \dots, \lambda^K} E \\ & \text{sujeito a } Ex^0 \geq \sum_{k=1}^K \lambda^k x^k, \\ & y^0 \leq \sum_{k=1}^K \lambda^k y^k, \\ & \lambda \in \Lambda^K(\gamma). \end{aligned}$$

Em que $\Lambda^k(CRS) = \lambda \in \mathfrak{R}_+^k | \sum_{k=1}^k \lambda^k free = \mathfrak{R}_+^k$, $\Lambda^k(VRS) = \lambda \in \mathfrak{R}_+^k | \sum_{k=1}^k \lambda^k = 1$ e λ são os pesos, ou seja, a importância relativa dos pares das DMUs.

Nesse caso o problema de otimização é relativamente simples. Nos casos CRS e VRS, os programas são problemas simples de programação linear (LP), e no caso FDH, eles são problemas de programação inteira mista (MIP) com λ variáveis inteiras. Embora o modelo FDH tenha sido formulado de forma similar ao modelo acima, o modelo FDH normalmente não será resolvido usando rotinas MIP, uma vez que é possível reescrever o programa como uma série de problemas simples que podem ser resolvidos usando uma série bem definida de comparações simples. É fácil ver, por exemplo, que a eficiência de input relativa à tecnologia FDH é:

Figura 36 – Tecnologia FDH

$$E^o(fdh) = \min_{k: y^k \geq y^0} \max_{i=1, \dots, m} \frac{x_i^k}{x_i^0}$$

Fonte: Elaboração própria

Para entender essas formulações, note que para encontrar a eficiência de input de uma tecnologia FDH, devemos olhar para todos os aeroportos que estão produzindo mais a partir dos outputs para encontrar um comparador relevante. Estamos procurando o comparador que faz o aeroporto o menos eficiente, portanto, nós minimizamos a otimização do output. Agora, devemos determinar quais os inputs levam à maior avaliação de desempenho da empresa, porque isso determina a maior redução proporcional que podemos fazer a todos os inputs ao mesmo tempo. Então, na segunda otimização interna, nós maximizamos. A lógica da medida baseada em resultados no caso FDH é semelhante. Como resultado destas formulações, pode-se escrever facilmente rotinas com dois loops aninhados que encontram resultados de eficiência de FDH.

De acordo com Bogetoft e Otto (2010), considere uma função de produção f . Baseado no conjunto de tecnologia T , ela é derivada como:

Onde x é um vetor de input n dimensional e y é o output $m = 1$ dimensional.

A priori é assumido que a função de produção tem uma forma funcional específica, mas que os detalhes desta função como definidos pelos parâmetros β são desconhecidos. Ou seja, é assumido que:

$$f(x) = f(x; \beta)$$

Para algum vetor desconhecido de parâmetros β . Pode-se assumir que a produção é uma função Cobb-Douglas:

$$y = b_0 x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \dots x_m^{\beta_m}$$

Os modelos de fronteira estocástica combinam o termo de eficiência u com o termo de erro v , ou seja, os modelos SFA incluem um termo de erro estocástico e um termo que pode ser caracterizado como ineficiência.

O modelo tem a seguinte aparência, após uma transformação log:

$$y^k = f(x^k, \beta) + v^k - u^k$$

$$v^k \sim N(0, \delta_v^2), u^k \sim N_+(0, \delta_u^2) \quad k = 1, \dots, K.$$

O termo v representa a natureza estocástica do processo de produção e possíveis erros de medição dos inputs e outputs, enquanto que o termo u representa a possível ineficiência da empresa. É assumido que os termos v e u são independentes. Se $u=0$, a empresa é 100% eficiente, e, se $u > 0$, então há alguma ineficiência. O N_+ denota uma distribuição *half-normal*, isto é, uma distribuição normal truncada onde o ponto de truncamento é 0 e a distribuição é concentrada no half-intervalo $[0, \infty[$.

Para estimar os modelos SFA, ou seja, para determinar os valores dos parâmetros desconhecidos; β , e δ_u^2 e δ_v^2 , é utilizado o princípio da máxima verossimilhança. Assim, os valores dos parâmetros são estimados como os valores que tornam as observações tão prováveis quanto possível.

Como a super eficiência não é limitada ao intervalo 0-1, foi utilizada a fórmula descrita na metodologia para que ela ficasse na mesma escala que as demais eficiên-

cias. A partir dessa tabela pode-se concluir que:

No modelo VRS com *bootstrap*, o número de aeroportos eficientes em 2012 foi de 6 e representam 10,1% da amostra. Em 2013 este número caiu para 4 representando 6,7%. Em 2014 foram 5 e representam 8,4%. Em 2015 apenas dois representando 3,38%. Por fim em 2016 temos 3 aeroportos representando 5,08%. Os aeroportos que apontaram eficiência de 100% para o ano de 2012 foram: Aeroporto Internacional de Boa Vista, Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul, Aeroporto Internacional de Manaus, Aeroporto Internacional de Guarulhos, Aeroporto Internacional de Viracopos.

O Aeroporto Internacional de Macaé foi o pior desempenho com apenas 24,6%. Em média, Os aeroportos SBEG (Aeroporto Internacional de Manaus), SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos), SBGL (Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão), SBSV (Aeroporto Internacional de Salvador), SBBV (Aeroporto Internacional de Boa Vista), SBMO (Aeroporto Internacional de Maceió) e SBJP (Aeroporto Internacional de João Pessoa), enquanto que os aeroportos mais ineficientes foram SBME (Aeroporto de Macaé) e SBCP (Aeroporto Internacional de Campos).

Ao eliminar o período pré privatização os anos de 2015 e 2016 mostram todos os aeroportos já privatizados. Isso é pertinente uma vez que as DMUs estudadas possuem períodos diferentes e por consequência estágios diferentes em relação à concessão. Isso significa que investimentos em infraestrutura começaram a ser realizados para ampliação de terminais, estruturas para movimentação de malas e carga bem como viabilidade de aumento de demanda de passageiros. Porém o que pode ser observado é que os aeroportos privatizados com base nestes dois últimos anos não necessariamente apresentaram retornos de escala variável. Apenas o Aeroporto de Guarulhos foi eficiente. O Aeroporto Internacional de Manaus é administrado pela Infraero e foi eficiente nos dois períodos. A Zona Franca de Manaus e a posição geográfica de Manaus podem explicar isso. O aeroporto nesta cidade concentra altos níveis de transporte de carga, Figuras 38 e 39.

Figura 37 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstrap-VRS

| Eficiência corrigida e corrigida Bootstrap por aeroporto e por ano – VRS. | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|
| Aeroporto | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | | 2016 | | MÉDIA | MÉDIA |
| | Eficiência | Efic. Bootstrap IC95 | Eficiência | Efic. Bootstrap IC95 | Eficiência | Efic. Bootstrap IC95 | Eficiência | Efic. Bootstrap IC95 | Eficiência | Efic. Bootstrap IC95 | Eficiência | Efic. Bootstrap IC95 |
| \$BAR | 60,20% | 62,80% | 67,00% | 69,60% | 77,40% | 79,40% | 81,50% | 82,30% | 83,50% | 84,70% | 73,92% | 75,76% |
| \$BBE | 61,30% | 69,30% | 62,60% | 68,30% | 65,90% | 69,80% | 68,30% | 71,30% | 76,60% | 80,60% | 66,94% | 71,86% |
| \$BBH | 22,90% | 23,70% | 30,70% | 31,90% | 34,90% | 36,00% | 37,80% | 38,20% | 26,10% | 27,50% | 30,48% | 31,46% |
| \$BBR | 84,10% | 90,20% | 87,90% | 92,20% | 84,80% | 90,30% | 87,90% | 92,50% | 91,20% | 94,40% | 87,18% | 91,92% |
| \$BBV | 100,00% | 100,00% | 86,90% | 91,30% | 89,00% | 92,50% | 95,90% | 97,20% | 84,90% | 87,20% | 91,34% | 93,64% |
| \$BCF | 70,70% | 74,70% | 70,60% | 74,30% | 74,50% | 77,50% | 72,50% | 74,90% | 71,10% | 72,90% | 71,88% | 74,86% |
| \$BCG | 63,40% | 67,90% | 68,90% | 72,80% | 75,20% | 77,80% | 70,10% | 73,20% | 74,50% | 78,90% | 70,42% | 74,12% |
| \$BCJ | 27,30% | 28,40% | 30,60% | 33,60% | 42,40% | 45,40% | 51,60% | 52,30% | 60,60% | 62,90% | 42,50% | 44,52% |
| \$BCM | 46,80% | 51,40% | 41,30% | 46,50% | 52,30% | 57,20% | 40,90% | 42,00% | 35,90% | 38,40% | 43,44% | 47,10% |
| \$BCP | 29,70% | 32,10% | 22,60% | 27,30% | 40,20% | 45,00% | 25,60% | 26,70% | 22,60% | 25,50% | 28,14% | 31,32% |
| \$BCR | 85,50% | 91,60% | 35,40% | 44,50% | 73,10% | 80,00% | 43,70% | 46,50% | 58,70% | 65,80% | 59,28% | 65,68% |
| \$BCT | 67,00% | 71,30% | 67,30% | 70,00% | 72,40% | 74,60% | 75,60% | 77,30% | 73,80% | 75,00% | 71,22% | 73,64% |
| \$BCY | 60,50% | 65,10% | 63,30% | 66,60% | 67,60% | 69,70% | 74,30% | 78,90% | 68,30% | 70,50% | 66,80% | 70,16% |
| \$BCZ | 100,00% | 100,00% | 55,80% | 62,80% | 80,10% | 87,90% | 69,70% | 71,80% | 64,20% | 68,70% | 73,96% | 78,24% |
| \$BEG | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| \$BFI | 81,20% | 84,90% | 86,30% | 89,70% | 90,50% | 92,70% | 89,30% | 90,30% | 89,10% | 90,30% | 87,28% | 89,58% |
| \$BFL | 66,70% | 71,10% | 75,80% | 79,00% | 76,70% | 79,30% | 81,50% | 83,20% | 85,80% | 87,90% | 77,30% | 80,10% |
| \$BFZ | 83,20% | 88,70% | 86,90% | 91,20% | 90,80% | 93,70% | 91,70% | 94,20% | 95,70% | 97,00% | 89,66% | 92,96% |
| \$BGL | 90,20% | 93,80% | 92,00% | 95,00% | 94,90% | 96,70% | 97,10% | 98,20% | 98,50% | 99,00% | 94,54% | 96,54% |
| \$BGO | 61,20% | 65,00% | 64,10% | 66,70% | 70,30% | 72,20% | 69,50% | 70,90% | 70,80% | 73,00% | 67,18% | 69,56% |
| \$BGR | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| \$BHT | 26,90% | 28,20% | 30,30% | 32,30% | 33,00% | 34,60% | 37,00% | 37,40% | 26,20% | 27,20% | 30,68% | 31,94% |
| \$BIL | 49,10% | 50,80% | 51,60% | 54,00% | 66,50% | 68,70% | 61,60% | 62,40% | 68,00% | 69,20% | 59,36% | 61,02% |
| \$BIZ | 53,50% | 56,40% | 60,30% | 63,50% | 48,20% | 50,90% | 42,00% | 42,80% | 59,20% | 60,80% | 52,64% | 54,88% |
| \$BJP | 89,30% | 92,70% | 90,00% | 93,40% | 93,90% | 96,30% | 90,60% | 91,60% | 87,40% | 88,60% | 90,24% | 92,52% |
| \$BJU | 54,10% | 56,30% | 54,30% | 57,00% | 70,50% | 73,20% | 65,20% | 65,90% | 62,40% | 63,50% | 61,30% | 63,18% |
| \$BJV | 46,10% | 48,00% | 50,50% | 53,00% | 65,90% | 68,00% | 60,40% | 61,10% | 65,90% | 67,00% | 57,76% | 59,42% |
| \$BKG | 92,10% | 95,30% | 56,80% | 61,40% | 77,20% | 81,40% | 67,60% | 69,00% | 49,10% | 51,10% | 68,56% | 71,64% |
| \$BKP | 100,00% | 100,00% | 92,80% | 96,90% | 85,80% | 94,50% | 86,50% | 100,00% | 75,10% | 89,90% | 88,04% | 96,26% |
| \$BLO | 53,60% | 55,70% | 64,20% | 66,70% | 70,90% | 72,80% | 68,40% | 69,10% | 63,20% | 64,20% | 64,06% | 65,70% |
| \$BMA | 28,70% | 30,40% | 31,30% | 33,20% | 39,00% | 41,00% | 38,90% | 39,60% | 60,80% | 62,40% | 39,74% | 41,32% |

Fonte:Elaboração Própria

Figura 38 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstap-VRS

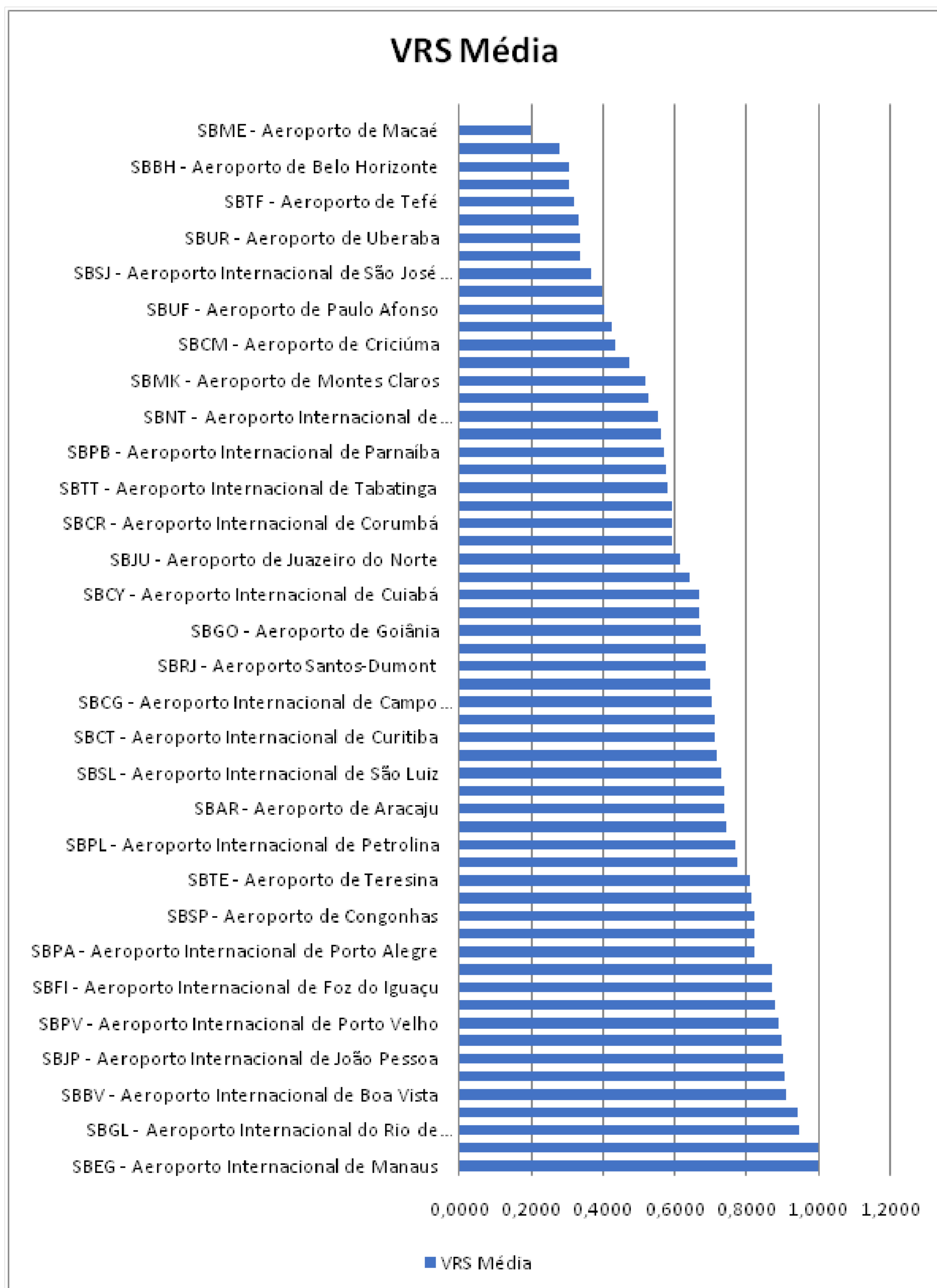
| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| SBME | 24,60% | 26,20% | 23,50% | 26,40% | 31,50% | 34,90% | 0,00% | 0,00% | - | - | 15,92% | 17,50% |
| SBMK | 34,00% | 35,70% | 49,70% | 52,30% | 56,70% | 59,00% | 69,10% | 69,80% | 50,20% | 51,40% | 51,94% | 53,64% |
| SBMO | 87,50% | 91,30% | 78,60% | 81,50% | 93,90% | 96,20% | 98,70% | 99,20% | 95,40% | 96,50% | 90,82% | 92,94% |
| SBMQ | 97,50% | 99,00% | 62,80% | 65,70% | 78,00% | 80,60% | 87,10% | 88,80% | 80,90% | 82,60% | 81,26% | 83,34% |
| SBNF | 63,30% | 65,80% | 66,50% | 69,20% | 72,60% | 74,40% | 71,90% | 72,60% | 75,50% | 76,60% | 69,96% | 71,72% |
| SBNT | 86,50% | 90,60% | 89,60% | 92,90% | 100,00% | 100,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 55,22% | 56,70% |
| SBPA | 79,20% | 83,40% | 81,90% | 85,40% | 83,70% | 86,50% | 84,30% | 86,50% | 83,10% | 84,70% | 82,44% | 85,30% |
| SBPB | - | - | - | - | 92,70% | 95,30% | 22,00% | 24,90% | 57,40% | 74,30% | 34,42% | 38,90% |
| SBPJ | 53,80% | 55,60% | 46,60% | 48,70% | 55,30% | 57,10% | 56,50% | 57,20% | 68,10% | 69,50% | 56,06% | 57,62% |
| SBPK | 25,20% | 31,00% | 15,10% | 19,60% | 52,00% | 57,60% | 36,70% | 38,10% | 38,10% | 43,30% | 33,42% | 37,92% |
| SBPL | 78,10% | 82,70% | 63,20% | 67,10% | 75,40% | 78,40% | 89,90% | 93,20% | 78,60% | 82,70% | 77,04% | 80,82% |
| SBPV | 89,70% | 91,80% | 80,80% | 85,60% | 86,10% | 90,30% | 88,80% | 92,80% | 100,00% | 100,00% | 89,08% | 92,10% |
| SBRB | 54,70% | 57,40% | 72,70% | 76,30% | 78,80% | 81,80% | 72,00% | 73,10% | 77,70% | 79,50% | 71,18% | 73,62% |
| SBRF | 74,70% | 80,10% | 77,70% | 84,90% | 86,10% | 91,10% | 89,30% | 93,30% | 85,00% | 89,70% | 82,56% | 87,82% |
| SBRJ | 67,50% | 71,10% | 69,30% | 72,40% | 67,40% | 70,00% | 68,80% | 70,70% | 70,40% | 72,00% | 68,68% | 71,24% |
| SBSJ | 38,90% | 40,70% | 36,20% | 39,50% | 47,90% | 52,00% | 49,20% | 52,40% | 11,70% | 39,00% | 36,78% | 44,72% |
| SBSL | 77,30% | 80,70% | 73,70% | 79,10% | 72,50% | 77,00% | 66,50% | 70,50% | 74,10% | 76,60% | 72,82% | 76,78% |
| SBSN | 46,40% | 51,30% | 45,00% | 49,40% | 44,60% | 49,10% | 46,60% | 49,10% | 53,90% | 55,20% | 47,30% | 50,82% |
| S BSP | 83,40% | 87,90% | 80,20% | 84,90% | 81,90% | 87,20% | 82,10% | 86,80% | 84,80% | 89,90% | 82,48% | 87,34% |
| SBSV | 99,00% | 99,40% | 88,60% | 92,90% | 100,00% | 100,00% | 90,00% | 93,70% | 92,50% | 95,40% | 94,02% | 96,28% |
| SBTE | 70,90% | 74,80% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 63,80% | 65,10% | 70,90% | 72,20% | 81,12% | 82,42% |
| SBTF | 37,40% | 39,20% | 20,70% | 23,80% | 37,20% | 40,60% | 34,30% | 35,50% | 30,20% | 33,00% | 31,96% | 34,42% |
| SBTT | 56,70% | 60,20% | 36,80% | 42,30% | 80,50% | 88,10% | 59,40% | 61,40% | 56,90% | 61,00% | 58,06% | 62,60% |
| SBUF | - | - | 0,00% | 0,00% | 90,50% | 94,30% | 35,80% | 39,40% | 34,80% | 48,80% | 32,22% | 36,50% |
| SBUG | 100,00% | 100,00% | 0,00% | 0,00% | - | - | 0,00% | 0,00% | 35,50% | 40,80% | 27,10% | 28,16% |
| SBUL | 48,70% | 50,60% | 62,00% | 64,40% | 58,80% | 60,40% | 60,40% | 61,00% | 65,70% | 66,70% | 59,12% | 60,62% |
| SBUR | 29,10% | 30,50% | 33,70% | 36,70% | 33,70% | 35,80% | 37,00% | 37,60% | 35,20% | 37,00% | 33,74% | 35,52% |
| SBVT | 66,80% | 70,10% | 73,10% | 76,10% | 79,60% | 81,70% | 75,90% | 77,20% | 76,80% | 78,40% | 74,44% | 76,70% |

Fonte: Elaboração própria

Conforme as Figuras 38 e 39, os percentis médios bootstrap por ano é de 65,98% para o ano de 2012, 62,74% para 2013, 73,19% para 2014, 65,94% para 2015 e 68,15% para 2016.

A figura 40 apresenta a VRS média e pode ser visualizado que apenas 3 aeroportos privatizados encontram-se na faixa de eficiência de 80 e 100% eficientes. Guarulhos, Galeao e Viracopos. Ainda assim, os aeroportos por exemplo Manaus, Boa vista, João Pessoa administrados pela Infraero, também estão na mesma faixa de eficiência.

Figura 39 – Eficiência por aeroporto– VRS Média



Fonte:Elaboração própria

No modelo CRS, o número de aeroportos eficientes em 2012 foi de 3 e repre-

sentam 5,08% da amostra. Em 2013 estes números seguiram os mesmos. Em 2014 foram 5 e representam 8,4%. Em 2015 apenas dois representando 3,38%. Por fim em 2016 temos também 2 aeroportos com 3,38%. Os aeroportos que apontaram eficiência de 100% para o ano de 2012 foram: Aeroporto Internacional de Boa Vista, Aeroporto Internacional de Manaus, Aeroporto Internacional de Guarulhos.

Em 2013 os aeroportos eficientes foram Aeroporto Internacional de Manaus, Aeroporto Internacional de Guarulhos e Aeroporto Internacional de Teresina. O mesmo ocorreu para o ano de 2014. Em 2015 tivemos os aeroportos de Manaus e Guarulhos e em 2016 novamente Manaus, Guarulhos e Porto Velho. Assim, no modelo CRS, em média, os aeroportos mais eficientes foram SBEG (Aeroporto Internacional de Manaus), SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos), SBGL (Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão), SBSV (Aeroporto Internacional de Salvador), SBBV (Aeroporto Internacional de Boa Vista), SBMO (Aeroporto Internacional de Maceió) e SBJP (Aeroporto Internacional de João Pessoa), enquanto que os aeroportos mais ineficientes foram SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana), SBME (Aeroporto de Macaé), SBCP (Aeroporto Internacional de Campos), SBPK (Aeroporto Internacional de Pelotas), SBTF (Aeroporto de Tefé), SBUF (Aeroporto de Paulo Afonso) e SBHT (Aeroporto de Altamira). Seguindo a lógica anterior, para os anos de 2015 e 2016 apenas o Aeroporto Internacional de Guarulhos figura entre os privatizados com eficiência plena. O Aeroporto Internacional de Campos foi o pior com 22,60% em 2016. A eficiência média CRS por ano é: 59,77% em 2012, 62,54% em 2013, 65,21% em 2014, 67,36% em 2015 e 67,20% para 2016, Figura 33 e 34.

Figura 40 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstrap-CRS

| com e sem Bootstrap por aeroporto e por ano – CRS. | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| Aeroporto | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | | 2016 | | Média | |
| | Eficiência | Efic.IC95 | Eficiência | Efic.IC95 | Eficiência | Efic.IC95 | Eficiência | Efic.IC95 | Eficiência | Efic.IC95 | Eficiência | Efic.IC95 |
| SBAR | 58,30% | 59,60% | 67,00% | 69,40% | 76,10% | 77,90% | 81,50% | 82,20% | 83,50% | 84,40% | 73,28% | 74,70% |
| SBBE | 60,90% | 68,80% | 62,60% | 68,10% | 65,60% | 69,40% | 68,30% | 71,20% | 76,60% | 80,40% | 66,80% | 71,58% |
| SBBH | 22,50% | 23,00% | 30,70% | 31,70% | 33,80% | 34,60% | 37,80% | 38,10% | 26,10% | 26,40% | 30,18% | 30,76% |
| SBBR | 83,30% | 89,70% | 87,90% | 92,20% | 84,70% | 87,50% | 87,90% | 90,20% | 91,20% | 93,50% | 87,00% | 90,62% |
| SBBV | 100,00% | 100,00% | 86,90% | 90,10% | 84,00% | 86,10% | 95,90% | 97,00% | 84,90% | 86,00% | 90,34% | 91,84% |
| SBCF | 69,20% | 72,90% | 70,60% | 73,30% | 74,40% | 76,40% | 72,50% | 73,50% | 71,10% | 72,00% | 71,56% | 73,62% |
| SBCG | 62,90% | 67,20% | 68,90% | 72,50% | 74,30% | 76,50% | 70,10% | 73,10% | 74,50% | 78,70% | 70,14% | 73,60% |
| SBCJ | 21,70% | 22,10% | 30,60% | 31,70% | 35,70% | 36,60% | 51,60% | 52,00% | 60,60% | 61,40% | 40,04% | 40,76% |
| SBCM | 17,80% | 18,20% | 41,30% | 42,80% | 40,20% | 41,10% | 40,90% | 41,20% | 35,90% | 36,20% | 35,22% | 35,90% |
| SBCP | 12,70% | 12,90% | 22,60% | 23,40% | 28,00% | 28,70% | 25,60% | 25,80% | 22,60% | 22,80% | 22,30% | 22,72% |
| SBCR | 31,80% | 32,50% | 35,40% | 36,60% | 39,00% | 39,90% | 43,70% | 44,10% | 58,70% | 59,30% | 41,72% | 42,48% |
| SBCT | 65,90% | 70,10% | 67,30% | 69,80% | 72,20% | 74,10% | 75,60% | 76,50% | 73,80% | 74,70% | 70,96% | 73,04% |
| SBCY | 60,00% | 64,50% | 63,30% | 66,40% | 67,20% | 69,10% | 74,30% | 78,50% | 68,30% | 70,40% | 66,62% | 69,78% |
| SBCZ | 53,50% | 54,60% | 55,80% | 57,70% | 57,70% | 59,00% | 69,70% | 70,30% | 64,20% | 64,90% | 60,18% | 61,30% |
| SBEG | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBFI | 78,50% | 80,20% | 86,30% | 89,30% | 89,40% | 91,50% | 89,30% | 90,10% | 89,10% | 90,10% | 86,52% | 88,24% |
| SBFL | 65,90% | 70,20% | 75,80% | 78,80% | 76,30% | 78,70% | 81,50% | 83,10% | 85,80% | 87,80% | 77,06% | 79,72% |
| SBFZ | 81,60% | 87,50% | 86,90% | 91,20% | 90,50% | 93,40% | 91,70% | 94,20% | 95,70% | 96,90% | 89,28% | 92,64% |
| SBGL | 88,20% | 92,80% | 92,00% | 95,00% | 94,80% | 96,70% | 97,10% | 98,20% | 98,50% | 99,00% | 94,12% | 96,34% |
| SBGO | 60,30% | 64,00% | 64,10% | 66,60% | 69,90% | 71,70% | 69,50% | 70,90% | 70,80% | 72,90% | 66,92% | 69,22% |
| SBGR | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBHT | 22,90% | 23,40% | 30,30% | 31,30% | 30,10% | 30,80% | 37,00% | 37,30% | 26,20% | 26,50% | 29,30% | 29,86% |
| SBIL | 48,30% | 49,30% | 51,60% | 53,40% | 64,00% | 65,50% | 61,60% | 62,20% | 68,00% | 68,70% | 58,70% | 59,82% |
| SBIZ | 52,40% | 53,70% | 60,30% | 62,50% | 45,20% | 46,80% | 42,00% | 42,60% | 59,20% | 59,90% | 51,82% | 53,10% |
| SBJP | 86,50% | 88,20% | 90,00% | 93,00% | 92,40% | 94,60% | 90,60% | 91,40% | 87,40% | 88,30% | 89,38% | 91,10% |
| SBJU | 53,40% | 54,60% | 54,30% | 56,30% | 66,90% | 68,60% | 65,20% | 65,80% | 62,40% | 63,10% | 60,44% | 61,68% |
| SBJV | 45,50% | 46,50% | 50,50% | 52,30% | 63,10% | 64,50% | 60,40% | 61,00% | 65,90% | 66,50% | 57,08% | 58,16% |
| SBKG | 72,30% | 73,90% | 56,80% | 58,80% | 68,70% | 70,30% | 67,60% | 68,30% | 49,10% | 49,70% | 62,90% | 64,20% |
| SBKP | 78,40% | 86,70% | 72,10% | 83,20% | 70,30% | 82,70% | 72,10% | 82,90% | 66,80% | 79,80% | 71,94% | 83,06% |
| SBLO | 52,00% | 53,10% | 64,20% | 66,40% | 69,60% | 71,30% | 68,40% | 69,00% | 63,20% | 63,90% | 63,48% | 64,74% |
| SBMA | 27,90% | 29,00% | 31,30% | 32,80% | 37,10% | 38,40% | 38,90% | 39,50% | 60,80% | 61,60% | 39,20% | 40,26% |
| SBME | 12,20% | 12,40% | 23,50% | 24,30% | 22,50% | 23,00% | 0,00% | 0,00% | - | - | 11,64% | 11,94% |
| SBMK | 33,90% | 34,60% | 49,70% | 51,40% | 53,30% | 54,60% | 69,10% | 69,60% | 50,20% | 50,70% | 51,24% | 52,18% |
| SBMO | 84,60% | 86,50% | 78,60% | 81,20% | 92,90% | 95,00% | 98,70% | 99,20% | 95,40% | 96,40% | 90,04% | 91,66% |
| SBMQ | 96,80% | 98,40% | 62,80% | 65,20% | 75,70% | 77,80% | 87,10% | 88,70% | 80,90% | 82,00% | 80,66% | 82,42% |

Fonte:Elaboração própria

Figura 41 – Eficiência por aeroporto e por ano com e sem Bootstap-CRS

| | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| SBNF | 61,40% | 62,70% | 66,50% | 68,90% | 71,50% | 73,10% | 71,90% | 72,50% | 75,50% | 76,40% | 69,36% | 70,72% |
| SBNT | 83,40% | 85,20% | 89,60% | 92,70% | 65,20% | 66,70% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 47,64% | 48,92% |
| SBPA | 77,50% | 81,30% | 81,90% | 85,10% | 83,50% | 85,80% | 84,30% | 85,80% | 83,10% | 84,10% | 82,06% | 84,42% |
| SBPB | - | - | - | - | 24,60% | 25,20% | 22,00% | 22,10% | 57,40% | 58,00% | 20,80% | 21,06% |
| SBPJ | 52,90% | 54,10% | 46,60% | 48,30% | 53,40% | 54,80% | 56,50% | 57,10% | 68,10% | 69,00% | 55,50% | 56,66% |
| SBPK | 1,80% | 1,80% | 15,10% | 15,60% | 37,20% | 38,10% | 36,70% | 37,00% | 38,10% | 38,60% | 25,78% | 26,22% |
| SBPL | 77,50% | 80,30% | 63,20% | 66,30% | 72,20% | 74,30% | 89,90% | 93,00% | 78,60% | 82,00% | 76,28% | 79,18% |
| SBPV | 86,70% | 88,60% | 80,80% | 85,30% | 84,70% | 88,00% | 88,80% | 92,70% | 100,00% | 100,00% | 88,20% | 90,92% |
| SBRB | 54,40% | 55,60% | 72,70% | 75,20% | 74,70% | 76,60% | 72,00% | 72,90% | 77,70% | 78,70% | 70,30% | 71,80% |
| SBRF | 73,60% | 79,10% | 77,70% | 84,60% | 85,80% | 90,90% | 89,30% | 93,20% | 85,00% | 89,60% | 82,28% | 87,48% |
| SBRJ | 64,90% | 66,30% | 69,30% | 71,70% | 67,30% | 69,00% | 68,80% | 69,40% | 70,40% | 71,10% | 68,14% | 69,50% |
| SBSJ | 34,50% | 35,20% | 36,20% | 37,40% | 36,40% | 37,30% | 49,20% | 49,70% | 11,70% | 11,80% | 33,60% | 34,28% |
| SBSL | 75,50% | 78,60% | 73,70% | 78,90% | 71,60% | 75,90% | 66,50% | 70,40% | 74,10% | 76,40% | 72,28% | 76,04% |
| SBSN | 44,00% | 48,00% | 45,00% | 48,90% | 43,00% | 46,90% | 46,60% | 48,90% | 53,90% | 54,80% | 46,50% | 49,50% |
| SBSP | 80,10% | 81,90% | 80,20% | 83,00% | 81,80% | 83,90% | 82,10% | 82,90% | 84,80% | 85,70% | 81,80% | 83,48% |
| SBSV | 98,70% | 99,20% | 86,90% | 92,20% | 97,60% | 99,10% | 90,00% | 93,70% | 92,20% | 95,20% | 93,08% | 95,88% |
| SBTE | 70,10% | 73,70% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 63,80% | 65,00% | 70,90% | 71,90% | 80,96% | 82,12% |
| SBTF | 21,90% | 22,30% | 20,70% | 21,50% | 28,70% | 29,40% | 34,30% | 34,60% | 30,20% | 30,50% | 27,16% | 27,66% |
| SBTT | 27,10% | 27,70% | 36,80% | 38,00% | 60,20% | 61,70% | 59,40% | 59,90% | 56,90% | 57,50% | 48,08% | 48,96% |
| SBUF | - | - | 0,00% | 0,00% | 39,40% | 40,40% | 35,80% | 36,10% | 34,80% | 35,10% | 22,00% | 22,32% |
| SBUG | 4,30% | 4,40% | 0,00% | 0,00% | - | - | 0,00% | 0,00% | 35,50% | 35,90% | 7,96% | 8,06% |
| SBUL | 47,30% | 48,30% | 62,00% | 64,10% | 57,70% | 59,10% | 60,40% | 60,90% | 65,70% | 66,50% | 58,62% | 59,78% |
| SBUR | 25,20% | 25,70% | 33,70% | 34,90% | 29,10% | 29,80% | 37,00% | 37,30% | 35,20% | 35,60% | 32,04% | 32,66% |
| SBVT | 64,40% | 65,70% | 73,10% | 75,90% | 79,10% | 81,10% | 75,90% | 77,00% | 76,80% | 78,30% | 73,86% | 75,60% |

A eficiência em escala foram aferidos os índices que são de 0 (zero) até 1. Assim, em retornos de escala CRS, em 2012 apenas 5 aeroportos apresentaram o índice de 1. Isso equivale a 8,4%. Para os anos seguintes seguem 54 aeroportos ou 91,5% em 2013, 13 aeroportos ou 22,03% em 2014, 4 aeroportos ou 6,77% em 2015, 3 aeroportos ou 5,08% em 2016. Os aeroportos que possuem melhor eficiência operacional tendem a apresentar índices próximos a 100%. Observa-se que o ano de 2014 foi o que apresentou piores eficiências. Não necessariamente a forma de propriedade implicou diretamente em tais fatores, visto que tanto aeroportos privatizados e não privatizados apresentaram em 2015 e 2016, por exemplo, eficiências iguais a 100%.

No modelo FDH, Figuras 44 e 45, em média, 44,06% dos aeroportos tiveram a eficiência igual a um. No modelo FDH calculado a partir da super eficiência, em média, os aeroportos mais eficientes foram SBEG (Aeroporto Internacional de Manaus) e SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos), enquanto que os aeroportos mais ineficientes foram SBME (Aeroporto de Macaé), SBBH (Aeroporto de Belo Horizonte), SBCEP (Aeroporto Internacional de Campos) e SBHT (Aeroporto de Altamira). Destaque para os Aeroportos Internacionais de Manaus e Guarulhos que com o modelo de super eficiência com a PIB e a população como variáveis que poderiam afetar o modelo, de fato apresentaram as únicas referências que comparadas aos scores obtidos em VRS e CRS, chegaram ao mesmo resultado. Ou seja, as duas DMU's eficientes apenas Guarulhos é privatizado.

Figura 42 – Eficiências e ranking comparativos por método

| Eficiência média por aeroporto. | | | | | | | | | | |
|---|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|--------|------|
| Aeroporto | VRS | | CRS | | FDH | | FDH' | | SFA | |
| | Média | Rank | Média | Rank | Efic. | Rank | Média | Rank | Efic. | Rank |
| SBAR - Aeroporto de Aracaju | 73,90% | 22 | 73,30% | 20 | 93,30% | 34 | 11,60% | 40 | 52,20% | 35 |
| SBBE - Aeroporto Internacional de Belém | 66,90% | 32 | 66,80% | 30 | 100,00% | 1 | 15,40% | 23 | 73,50% | 14 |
| SBBH - Aeroporto de Belo Horizonte | 30,50% | 57 | 30,20% | 52 | 49,30% | 57 | 4,60% | 58 | 81,90% | 8 |
| SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília | 87,20% | 12 | 87,00% | 10 | 100,00% | 1 | 21,90% | 17 | 87,10% | 6 |
| SBBV - Aeroporto Internacional de Boa Vista | 91,30% | 5 | 90,30% | 5 | 100,00% | 1 | 19,10% | 19 | 30,60% | 56 |
| SBCF - Aeroporto Internacional de Confins | 71,90% | 24 | 71,60% | 23 | 100,00% | 1 | 14,80% | 27 | 88,70% | 5 |
| SBCG - Aeroporto Internacional de Campo Grande | 70,40% | 27 | 70,10% | 26 | 100,00% | 1 | 16,50% | 22 | 55,20% | 32 |
| SBCJ - Aeroporto de Carajás | 42,50% | 48 | 40,00% | 46 | 82,00% | 44 | 10,70% | 43 | 51,30% | 39 |
| SBCM - Aeroporto de Criciúma | 43,40% | 47 | 35,20% | 48 | 80,70% | 46 | 11,80% | 39 | 42,00% | 48 |
| SBCP - Aeroporto Internacional de Campos | 28,10% | 58 | 22,30% | 57 | 51,00% | 55 | 4,90% | 57 | 56,80% | 26 |
| SBCR - Aeroporto Internacional de Corumbá | 59,30% | 37 | 41,70% | 45 | 94,60% | 33 | 13,80% | 31 | 29,80% | 57 |
| SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba | 71,20% | 25 | 71,00% | 24 | 98,00% | 28 | 12,70% | 35 | 82,80% | 7 |
| SBCY - Aeroporto Internacional de Cuiabá | 66,80% | 33 | 66,60% | 31 | 100,00% | 1 | 14,40% | 28 | 70,10% | 17 |
| SBCZ - Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul | 73,90% | 21 | 60,20% | 35 | 100,00% | 1 | 32,20% | 3 | 27,10% | 59 |
| SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 77,40% | 11 |
| SBFI - Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu | 87,30% | 11 | 86,50% | 11 | 99,30% | 27 | 18,50% | 20 | 47,30% | 43 |
| SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis | 77,30% | 18 | 77,10% | 17 | 100,00% | 1 | 15,20% | 24 | 61,50% | 23 |
| SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza | 89,70% | 8 | 89,30% | 8 | 100,00% | 1 | 27,90% | 6 | 64,30% | 21 |
| SBGL - Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão | 94,60% | 3 | 94,10% | 3 | 100,00% | 1 | 25,90% | 11 | 80,70% | 9 |
| SBGO - Aeroporto de Goiânia | 67,20% | 31 | 66,90% | 29 | 100,00% | 1 | 12,90% | 34 | 69,00% | 18 |
| SBGR - Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 92,00% | 3 |
| SBHT - Aeroporto de Altamira | 30,70% | 56 | 29,30% | 53 | 50,50% | 56 | 5,00% | 56 | 75,90% | 12 |
| SBIL - Aeroporto de Ilhéus | 59,40% | 36 | 58,70% | 36 | 86,70% | 38 | 10,60% | 44 | 51,50% | 38 |
| SBIZ - Aeroporto de Imperatriz | 52,60% | 44 | 51,80% | 40 | 87,10% | 37 | 10,90% | 41 | 51,60% | 37 |
| SBJP - Aeroporto Internacional de João Pessoa | 90,20% | 7 | 89,40% | 7 | 100,00% | 1 | 20,00% | 18 | 44,30% | 46 |
| SBJU - Aeroporto de Juazeiro do Norte | 61,30% | 35 | 60,40% | 34 | 85,20% | 39 | 10,30% | 45 | 46,90% | 45 |
| SBJV - Aeroporto de Joinville | 57,70% | 40 | 57,10% | 38 | 80,70% | 45 | 9,30% | 48 | 50,60% | 40 |
| SBKG - Aeroporto de Campina Grande | 68,60% | 30 | 62,90% | 33 | 100,00% | 1 | 21,90% | 16 | 33,40% | 53 |
| SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos | 88,00% | 10 | 72,00% | 22 | 100,00% | 1 | 28,50% | 5 | 96,90% | 1 |
| SBLO - Aeroporto de Londrina | 64,10% | 34 | 63,50% | 32 | 85,10% | 40 | 9,50% | 46 | 56,80% | 27 |
| SBMA - Aeroporto de Marabá | 39,70% | 50 | 39,20% | 47 | 66,80% | 51 | 7,30% | 53 | 70,60% | 16 |
| SBME - Aeroporto de Macaé | 19,90% | 59 | 14,50% | 58 | 37,20% | 59 | 3,00% | 59 | 60,10% | 24 |
| SBMK - Aeroporto de Montes Claros | 51,90% | 45 | 51,20% | 41 | 69,40% | 50 | 7,50% | 51 | 49,90% | 42 |
| SBMO - Aeroporto Internacional de Maceió | 90,80% | 6 | 90,00% | 6 | 100,00% | 1 | 22,00% | 15 | 47,20% | 44 |
| SBMQ - Aeroporto Internacional de Macapá | 81,30% | 16 | 80,70% | 16 | 100,00% | 1 | 22,90% | 13 | 41,20% | 49 |

Fonte: Elaboração própria

Figura 43 – Eficiências e ranking comparativos por método

| | | | | | | | | | | |
|--|--------|----|--------|----|---------|----|--------|----|--------|----|
| SBNF - Aeroporto Internacional de Navegantes | 70,00% | 28 | 69,40% | 27 | 92,20% | 35 | 10,90% | 42 | 55,40% | 31 |
| SBNT - Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo | 55,20% | 43 | 47,60% | 43 | 60,00% | 53 | 12,70% | 36 | 43,30% | 47 |
| SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre | 82,50% | 15 | 82,10% | 13 | 100,00% | 1 | 15,20% | 25 | 74,40% | 13 |
| SBPB - Aeroporto Internacional de Parnaíba | 57,30% | 41 | 34,70% | 49 | 84,90% | 42 | 13,10% | 33 | 29,40% | 58 |
| SBPJ - Aeroporto de Palmas | 56,00% | 42 | 55,50% | 39 | 87,70% | 36 | 11,90% | 37 | 56,50% | 29 |
| SBPK - Aeroporto Internacional de Pelotas | 33,40% | 54 | 25,80% | 56 | 58,30% | 54 | 5,90% | 55 | 56,70% | 28 |
| SBPL - Aeroporto Internacional de Petrolina | 77,00% | 19 | 76,30% | 18 | 100,00% | 1 | 24,70% | 12 | 39,90% | 51 |
| SBPV - Aeroporto Internacional de Porto Velho | 89,10% | 9 | 88,20% | 9 | 100,00% | 1 | 26,00% | 9 | 54,60% | 33 |
| SBRB - Aeroporto de Rio Branco | 71,20% | 26 | 70,30% | 25 | 96,70% | 31 | 14,00% | 30 | 39,50% | 52 |
| SBRF - Aeroporto Internacional de Recife | 82,50% | 13 | 82,30% | 12 | 100,00% | 1 | 27,60% | 7 | 71,90% | 15 |
| SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont | 68,70% | 29 | 68,10% | 28 | 97,90% | 29 | 11,90% | 38 | 91,20% | 4 |
| SBSJ - Aeroporto Internacional de São José dos Campos | 36,80% | 51 | 33,60% | 50 | 85,00% | 41 | 17,40% | 21 | 40,60% | 50 |
| SBSL - Aeroporto Internacional de São Luiz | 72,80% | 23 | 72,30% | 21 | 100,00% | 1 | 26,00% | 10 | 55,70% | 30 |
| SBSN - Aeroporto Internacional de Santarém | 47,30% | 46 | 46,50% | 44 | 95,40% | 32 | 22,70% | 14 | 66,20% | 19 |
| SBSP - Aeroporto de Congonhas | 82,50% | 14 | 81,80% | 14 | 97,20% | 30 | 14,00% | 29 | 93,20% | 2 |
| SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador | 94,00% | 4 | 93,10% | 4 | 100,00% | 1 | 28,50% | 4 | 77,90% | 10 |
| SBTE - Aeroporto de Teresina | 81,10% | 17 | 81,00% | 15 | 100,00% | 1 | 26,20% | 8 | 50,50% | 41 |
| SBTF - Aeroporto de Tefé | 32,00% | 55 | 27,20% | 55 | 74,40% | 48 | 8,30% | 49 | 54,30% | 34 |
| SBTT - Aeroporto Internacional de Tabatinga | 58,10% | 39 | 48,10% | 42 | 83,70% | 43 | 13,30% | 32 | 32,40% | 55 |
| SBUF - Aeroporto de Paulo Afonso | 40,30% | 49 | 27,50% | 54 | 66,20% | 52 | 9,40% | 47 | 32,80% | 54 |
| SBUG - Aeroporto Internacional de Uruguaiana | 33,90% | 52 | 10,00% | 59 | 42,90% | 58 | 7,20% | 54 | 51,90% | 36 |
| SBUL - Aeroporto de Uberlândia | 59,10% | 38 | 58,60% | 37 | 75,70% | 47 | 8,30% | 50 | 61,70% | 22 |
| SBUR - Aeroporto de Uberaba | 33,70% | 53 | 32,00% | 51 | 71,60% | 49 | 7,50% | 52 | 57,60% | 25 |
| SBVT - Aeroporto Internacional de Vitória | 74,40% | 20 | 73,90% | 19 | 100,00% | 1 | 15,00% | 26 | 66,20% | 20 |

Fonte: Elaboração própria

No modelo SFA, os aeroportos mais eficientes foram SBKP (Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos) 96,90%, SBSP (Aeroporto de Congonhas) 93,20%, SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos) 92% e SBRJ (Aeroporto Santos-Dumont) 91,20%, enquanto que os aeroportos mais ineficientes foram SBCZ (Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul) 27,10%, SBPB (Aeroporto Internacional de Parnaíba) 29,4% e SBCR (Aeroporto Internacional de Corumbá) 29,8%.

A abordagem *bootstrap* ao corrigir os valores de eficiência, tendo em vista o erro de dados aleatório inerentes. A Figura 44 apresenta as eficiências *bootstrap* obtidas através da análise DEA para os modelos VRS, CRS e FDH, utilizando como variável de input a movimentação de aeronaves e como variáveis de output o número de passageiros, a carga aérea e a mala postal.

Figura 44 – Eficiências média 2012-2016 CRS,VRS e FDH

| Aeroporto | VRS | | CRS | | FDH | |
|-----------|---------|------|---------|------|---------|------|
| | Efic. | Rank | Efic. | Rank | Efic. | Rank |
| SBAR | 75,80% | 23 | 74,70% | 22 | 95,80% | 34 |
| SBBE | 71,90% | 28 | 71,60% | 27 | 100,00% | 1 |
| SBBH | 31,50% | 57 | 30,80% | 52 | 56,10% | 57 |
| SBBR | 91,90% | 11 | 90,60% | 10 | 100,00% | 1 |
| SBBV | 93,60% | 6 | 91,80% | 6 | 100,00% | 1 |
| SBCF | 74,80% | 24 | 73,60% | 23 | 100,00% | 1 |
| SBCG | 74,10% | 25 | 73,60% | 24 | 100,00% | 1 |
| SBCJ | 44,50% | 50 | 40,80% | 46 | 88,20% | 44 |
| SBCM | 47,10% | 47 | 35,90% | 48 | 87,30% | 45 |
| SBCP | 31,30% | 58 | 22,70% | 57 | 58,00% | 56 |
| SBCR | 65,70% | 35 | 42,50% | 45 | 96,70% | 33 |
| SBCT | 73,70% | 26 | 73,00% | 25 | 98,50% | 29 |
| SBCY | 70,10% | 32 | 69,80% | 29 | 100,00% | 1 |
| SBCZ | 78,20% | 20 | 61,30% | 35 | 100,00% | 1 |
| SBEG | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 |
| SBFI | 89,60% | 12 | 88,20% | 11 | 99,60% | 27 |
| SBFL | 80,10% | 19 | 79,80% | 18 | 100,00% | 1 |
| SBFZ | 93,00% | 8 | 92,60% | 5 | 100,00% | 1 |
| SBGL | 96,50% | 3 | 96,30% | 3 | 100,00% | 1 |
| SBGO | 69,60% | 33 | 69,20% | 31 | 100,00% | 1 |
| SBGR | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 | 100,00% | 1 |
| SBHT | 31,90% | 56 | 29,90% | 53 | 59,00% | 55 |
| SBIL | 61,00% | 39 | 59,80% | 36 | 91,60% | 38 |
| SBIZ | 54,90% | 44 | 53,10% | 40 | 91,60% | 37 |
| SBJP | 92,50% | 9 | 91,10% | 8 | 100,00% | 1 |
| SBJU | 63,20% | 37 | 61,70% | 34 | 88,90% | 43 |
| SBJV | 59,40% | 41 | 58,20% | 38 | 86,10% | 46 |
| SBKG | 71,60% | 30 | 64,20% | 33 | 100,00% | 1 |
| SBKP | 96,30% | 5 | 83,10% | 15 | 100,00% | 1 |
| SBLO | 65,70% | 34 | 64,70% | 32 | 89,80% | 40 |
| SBMA | 41,30% | 51 | 40,20% | 47 | 73,60% | 51 |
| SBME | 21,90% | 59 | 14,90% | 58 | 42,70% | 59 |
| SBMK | 53,60% | 45 | 52,20% | 41 | 74,70% | 50 |
| SBMO | 93,00% | 7 | 91,60% | 7 | 100,00% | 1 |
| SBMQ | 83,30% | 16 | 82,40% | 16 | 100,00% | 1 |

Fonte: Elaboração própria

Figura 45 – Eficiências média 2012-2016 CRS,VRS e FDH

| | | | | | | |
|------|--------|----|--------|----|---------|----|
| SBNF | 71,70% | 29 | 70,70% | 28 | 95,20% | 35 |
| SBNT | 56,70% | 43 | 48,90% | 44 | 60,00% | 54 |
| SBPA | 85,30% | 15 | 84,40% | 13 | 100,00% | 1 |
| SBPB | 64,90% | 36 | 35,10% | 49 | 89,00% | 42 |
| SBPJ | 57,60% | 42 | 56,70% | 39 | 92,40% | 36 |
| SBPK | 37,90% | 52 | 26,20% | 56 | 65,50% | 53 |
| SBPL | 80,80% | 18 | 79,20% | 19 | 100,00% | 1 |
| SBPV | 92,10% | 10 | 90,90% | 9 | 100,00% | 1 |
| SBRB | 73,60% | 27 | 71,80% | 26 | 97,60% | 31 |
| SBRF | 87,80% | 13 | 87,50% | 12 | 100,00% | 1 |
| SBRJ | 71,30% | 31 | 69,50% | 30 | 98,70% | 28 |
| SBSJ | 44,70% | 49 | 34,30% | 50 | 90,20% | 39 |
| SBSL | 76,80% | 21 | 76,00% | 20 | 100,00% | 1 |
| SBSN | 50,80% | 46 | 49,50% | 42 | 97,10% | 32 |
| SBSP | 87,30% | 14 | 83,50% | 14 | 98,20% | 30 |
| SBSV | 96,30% | 4 | 95,90% | 4 | 100,00% | 1 |
| SBTE | 82,40% | 17 | 82,10% | 17 | 100,00% | 1 |
| SBTF | 34,40% | 55 | 27,70% | 55 | 82,10% | 47 |
| SBTT | 62,60% | 38 | 49,00% | 43 | 89,50% | 41 |
| SBUF | 45,60% | 48 | 27,90% | 54 | 69,40% | 52 |
| SBUG | 35,20% | 54 | 10,10% | 59 | 45,50% | 58 |
| SBUL | 60,60% | 40 | 59,80% | 37 | 80,60% | 48 |
| SBUR | 35,50% | 53 | 32,70% | 51 | 80,60% | 49 |
| SBVT | 76,70% | 22 | 75,60% | 21 | 100,00% | 1 |

Fonte: Elaboração própria

Cabe ressaltar ainda que não é possível utilizar o *bootstrap* quando se trabalha com a super eficiência, nem quando se trabalha com SFA. A partir dessa tabela pode-se concluir que:

No modelo VRS, em média, os aeroportos mais eficientes foram SBEG (Aeroporto Internacional de Manaus), SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos), SBGL (Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão), SBSV (Aeroporto Internacional de Salvador), SBKP (Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos), SBBV (Aeroporto Internacional de Boa Vista), SBMO (Aeroporto Internacional de Maceió), SBFZ (Aeroporto Internacional de Fortaleza), SBJP (Aeroporto Internacional de João Pessoa), SBPV (Aeroporto Internacional de Porto Velho) e SBBR (Aeroporto Internacional de Brasília), enquanto que o aeroporto mais ineficiente foi o SBME (Aeroporto de Macaé).

No modelo CRS, em média, os aeroportos mais eficientes foram SBEG (Aeroporto Internacional de Manaus), SBGR (Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos), SBGL (Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão), SBSV (Aeroporto Internacional de Salvador), SBFZ (Aeroporto Internacional de Fortaleza), SBBV (Aeroporto Internacional de Boa Vista), SBMO (Aeroporto Internacional de Maceió), SBJP (Aeroporto Internacional de João Pessoa), SBPV (Aeroporto Internacional de Porto Velho) e SBBR (Aeroporto Internacional de Brasília), enquanto que os aeroportos mais ineficientes foram SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana), SBME (Aeroporto de Macaé), SBCE (Aeroporto Internacional de Campos), SBPK (Aeroporto Internacional de Pelotas), SBTF (Aeroporto de Tefé), SBUF (Aeroporto de Paulo Afonso) e SBHT (Aeroporto de Altamira).

No modelo FDH, Figuras 46 e 47, em média, 26 aeroportos tiveram a eficiência igual a 100%, enquanto que o aeroporto mais ineficiente foi o SBME (Aeroporto de Macaé).

Figura 46 – Eficiência Bootstrap por aeroporto e por ano – FDH.

| Eficiência Bootstrap por aeroporto e por ano – FDH. | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Aeroporto | Efic. | Efic. | Efic. | Efic. | Efic. |
| SBAR - Aeroporto de Aracaju | 90,10% | 100,00% | 88,90% | 100,00% | 100,00% |
| SBBE - Aeroporto Internacional de Belém | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBBH - Aeroporto de Belo Horizonte | 34,50% | 58,80% | 60,20% | 50,80% | 76,00% |
| SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBBV - Aeroporto Internacional de Boa Vista | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBCF - Aeroporto Internacional de Confins | 100,00% | 100,30% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBCG - Aeroporto Internacional de Campo Grande | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBCJ - Aeroporto de Carajás | 67,90% | 79,60% | 100,00% | 93,70% | 100,00% |
| SBCM - Aeroporto de Criciúma | 69,80% | 100,00% | 100,00% | 93,90% | 72,80% |
| SBCP - Aeroporto Internacional de Campos | 43,30% | 63,20% | 60,10% | 54,10% | 69,40% |
| SBCR - Aeroporto Internacional de Corumbá | 100,00% | 100,00% | 83,30% | 100,00% | 100,00% |
| SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba | 100,00% | 100,10% | 100,00% | 100,00% | 92,50% |
| SBCY - Aeroporto Internacional de Cuiabá | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBCZ - Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBFI - Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 97,90% |
| SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBGL - Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBGO - Aeroporto de Goiânia | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBGR - Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBHT - Aeroporto de Altamira | 59,00% | 70,40% | 64,00% | 50,20% | 51,60% |
| SBIL - Aeroporto de Ilhéus | 71,50% | 100,00% | 100,00% | 86,20% | 100,00% |
| SBIZ - Aeroporto de Imperatriz | 99,40% | 100,00% | 95,30% | 77,50% | 86,00% |
| SBJP - Aeroporto Internacional de João Pessoa | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBJU - Aeroporto de Juazeiro do Norte | 75,00% | 100,00% | 100,00% | 83,30% | 86,50% |
| SBJV - Aeroporto de Joinville | 67,40% | 80,20% | 100,00% | 92,60% | 90,30% |
| SBKG - Aeroporto de Campina Grande | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBLO - Aeroporto de Londrina | 75,80% | 86,10% | 91,70% | 97,70% | 97,70% |
| SBMA - Aeroporto de Marabá | 48,50% | 64,60% | 89,70% | 65,10% | 100,00% |
| SBME - Aeroporto de Macaé | 37,10% | 89,10% | 44,50% | 0,00% | - |
| SBMK - Aeroporto de Montes Claros | 64,30% | 71,50% | 76,10% | 93,40% | 68,40% |
| SBMO - Aeroporto Internacional de Maceió | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBMQ - Aeroporto Internacional de Macapá | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Fonte: Elaboração própria

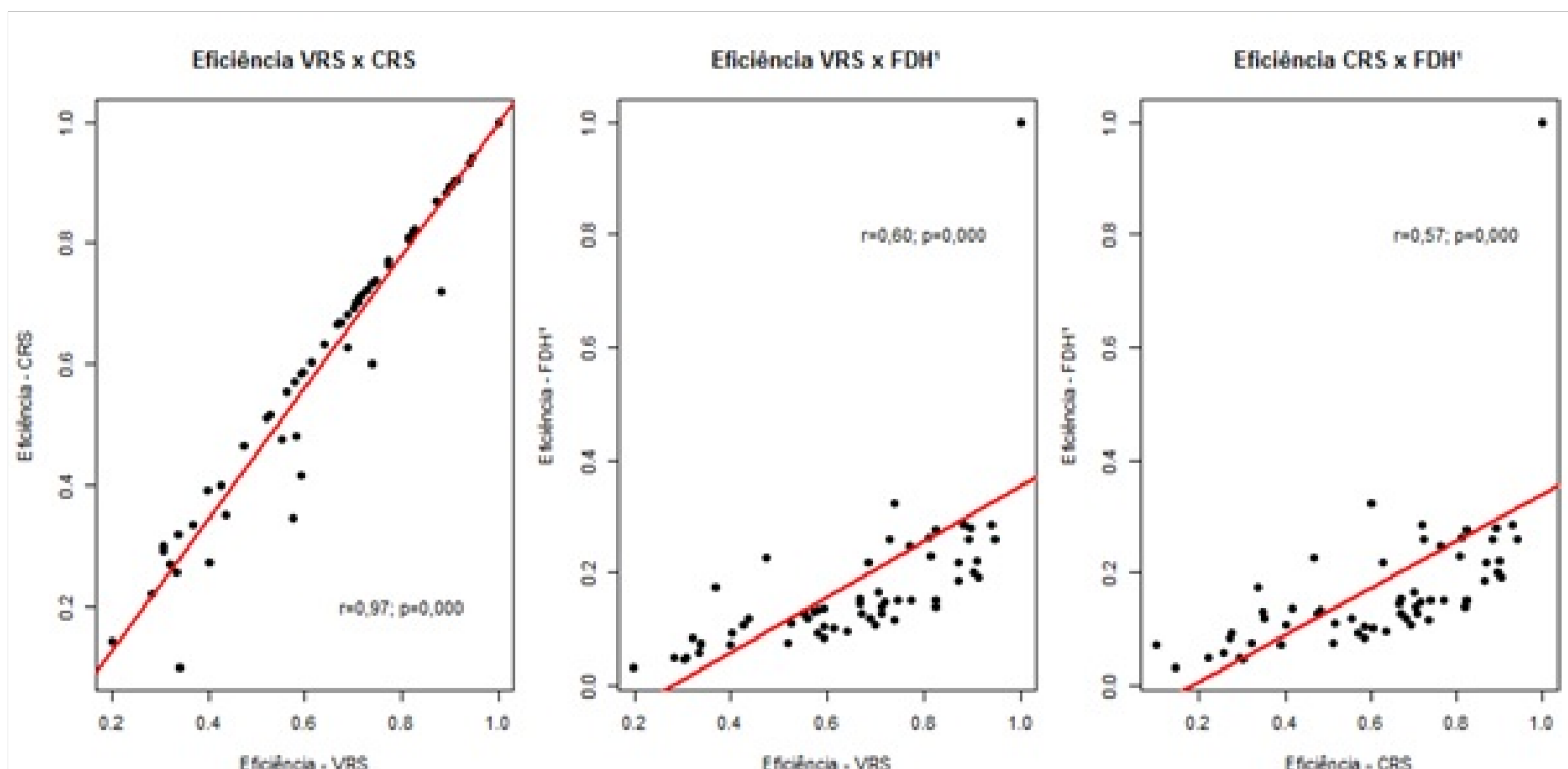
Figura 47 – Eficiência Bootstrap por aeroporto e por ano – FDH

| | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| SBNF - Aeroporto Internacional de Navegantes | 95,70% | 84,80% | 100,00% | 95,40% | 100,00% |
| SBNT - Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 0,00% | 0,00% |
| SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBPB - Aeroporto Internacional de Parnaíba | - | - | 95,30% | 71,60% | 100,00% |
| SBPJ - Aeroporto de Palmas | 100,00% | 93,00% | 89,00% | 80,20% | 100,00% |
| SBPK - Aeroporto Internacional de Pelotas | 42,20% | 56,80% | 73,00% | 76,60% | 78,90% |
| SBPL - Aeroporto Internacional de Petrolina | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBPV - Aeroporto Internacional de Porto Velho | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBRB - Aeroporto de Rio Branco | 91,50% | 100,10% | 100,00% | 96,30% | 100,00% |
| SBRF - Aeroporto Internacional de Recife | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont | 93,50% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBSJ - Aeroporto Internacional de São José dos Campos | 72,40% | 81,90% | 96,90% | 100,00% | 100,00% |
| SBSL - Aeroporto Internacional de São Luiz | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBSN - Aeroporto Internacional de Santarém | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 85,50% |
| SBSP - Aeroporto de Congonhas | 100,00% | 94,80% | 99,70% | 96,40% | 100,00% |
| SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBTE - Aeroporto de Teresina | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| SBTF - Aeroporto de Tefé | 73,40% | 91,70% | 99,60% | 75,90% | 69,80% |
| SBTT - Aeroporto Internacional de Tabatinga | 74,40% | 78,80% | 100,00% | 97,10% | 97,00% |
| SBUF - Aeroporto de Paulo Afonso | - | 0,00% | 94,30% | 83,10% | 100,00% |
| SBUG - Aeroporto Internacional de Uruguaiana | 100,00% | 0,00% | - | 0,00% | 81,90% |
| SBUL - Aeroporto de Uberlândia | 71,80% | 81,00% | 76,50% | 82,90% | 91,00% |
| SBUR - Aeroporto de Uberaba | 62,00% | 76,00% | 68,10% | 98,40% | 98,30% |
| SBVT - Aeroporto Internacional de Vitória | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Fonte: Elaboração própria

É possível perceber as eficiências comparadas de modo que a dispersão CRS x VRS tende a corroborar para um número menor de aeroportos o que é perfeitamente cabível quando comparamos a teoria. Neste caso, o método FDH apresenta um número maior de aeroportos se comparado com o VRS ou CRS, Figuras 44 e 47 apresentam eficiência média de VRS 67,99 %, CRS 63,57% e FDH 90%

Figura 48 – Gráfico de dispersão das eficiências (FDH1-elaborado a partir da supereficiência)



Fonte: Elaboração própria

6.1.1 Segundo Estágio

Na Figura 49 é apresentado o modelo Tobit inicial com todas as variáveis e o modelo Tobit final após a aplicação do método Backward para os índices de eficiência bootstrap VRS e CRS, de super eficiência FDH e SFA. Dessa forma, conclui-se que:

O modelo de segundo estágio apresentou resultados diferentes do que apurado no primeiro estágio. No segundo estágio, no VRS, houve influência significativa (Valor-p=0,031) da privatização sobre a eficiência, sendo que a eficiência foi 0,189 unidades maior nos aeroportos privatizados que naqueles não privatizados.

Equação da Regressão Tobit VRS final:

$$E(Y) = 0,674 + 0,208XI(Privatizao = Sim) \quad (6.5)$$

Em CRS, houve influência marginalmente significativa (Valor-p=0,078) da privatização sobre a eficiência, sendo que a eficiência foi 0,176 unidades maior nos aeroportos privatizados que naqueles não privatizados. Além disso, houve influência significativa (Valor-p=0,049) da população sobre a eficiência, sendo que a cada um milhão de habitantes que se aumenta na população, espera-se um aumento de 0,007 unidades na eficiência.

Equação da Regressão Tobit CRS final:

$$E(Y) = -0,863 + 0,189XI(privatizao = Sim) + 0,007XPopulao \quad (6.6)$$

No FDH, houve influência marginalmente significativa (Valor-p=0,084) da população sobre a eficiência, sendo que a cada um milhão de habitantes que se aumenta na população, espera-se uma redução de -0,003 unidades na eficiência.

Equação da Regressão Tobit FDH¹ final com supereficiência :

$$E(Y) = 0,839 - 0,003.Populao \quad (6.7)$$

No SFA, houve influência significativa (Valor-p=0,001) da privatização sobre a eficiência, sendo que a eficiência foi 0,260 unidades maior nos aeroportos privatizados que naqueles não privatizados. Além disso, houve influência significativa (Valor-p=0,000) da população sobre a eficiência, sendo que a cada um milhão de habitantes que se aumenta na população, espera-se uma redução de -0,023 unidades na eficiência. Também houve influência marginalmente significativa (Valor-p=0,063) do PIB sobre a eficiência, sendo que a cada unidade acrescida no PIB, espera-se uma redução de -0,004 unidades na eficiência.

Equação da Regressão Tobit SFA final:

$$E(Y) = 5,388 + 0,260XI(Privatizao + Sim) - 0,023XPopulao - 0,004XPIB \quad (6.8)$$

Figura 49 – Regressões Tobit para a eficiência

| Fonte | Modelo Inicial | | | | Modelo Final | | | | |
|------------------|---------------------|------------------|---------|-----------------|--------------|------------------|---------|-----------------|--------|
| | β | E.P. (β) | Valor-p | β^* P(NC) | β | E.P. (β) | Valor-p | β^* P(NC) | |
| VRS | Intercepto | 0,915 | 1,561 | 0,558 | - | 0,674 | 0,028 | 0,000 | - |
| | Privatização = Sim | 0,209 | 0,097 | 0,031 | 0,190 | 0,208 | 0,096 | 0,031 | 0,189 |
| | População (milhões) | -0,001 | 0,008 | 0,877 | -0,001 | | | | |
| | PIB | 0,000 | 0,007 | 0,954 | 0,000 | | | | |
| CRS | Intercepto | -1,544 | 1,361 | 0,257 | - | -0,863 | 0,764 | 0,259 | - |
| | Privatização = Sim | 0,188 | 0,108 | 0,084 | 0,175 | 0,189 | 0,107 | 0,078 | 0,176 |
| | População (milhões) | 0,011 | 0,007 | 0,109 | 0,010 | 0,007 | 0,004 | 0,049 | 0,007 |
| | PIB | 0,003 | 0,006 | 0,583 | 0,003 | | | | |
| FDH ¹ | Intercepto | 1,215 | 1,008 | 0,228 | - | 0,839 | 0,384 | 0,029 | - |
| | Privatização = Sim | 0,172 | 0,136 | 0,206 | 0,162 | | | | |
| | População (milhões) | -0,005 | 0,005 | 0,298 | -0,005 | -0,003 | 0,002 | 0,084 | -0,003 |
| | PIB | 0,000 | 0,004 | 0,990 | 0,000 | | | | |
| SFA | Intercepto | 5,388 | 0,695 | 0,000 | - | 5,388 | 0,695 | 0,000 | - |
| | Privatização = Sim | 0,260 | 0,077 | 0,001 | 0,260 | 0,260 | 0,077 | 0,001 | 0,260 |
| | População (milhões) | -0,023 | 0,003 | 0,000 | -0,023 | -0,023 | 0,003 | 0,000 | -0,023 |
| | PIB | -0,004 | 0,002 | 0,063 | -0,004 | -0,004 | 0,002 | 0,063 | -0,004 |

¹ Calculada a partir da super eficiência.

Fonte:Elaboração própria

Uma análise complementar foi realizada tendo como marco o número de passageiros superior à 3 milhões de modo que é apresentado o modelo Tobit inicial e final após a aplicação do método Backward para os índices de Bootstrap VRS e CRS, Supereficiência e SFA.

No segundo estágio, no VRS, houve influência não significativa (Valor-p=003) da privatização sobre a eficiência, sendo que a eficiência foi 0,102 unidades maior nos aeroportos privatizados que naqueles não privatizados.

Equação da Regressão Tobit VRS final:

$$E(Y) = 0,823 + 0,113XI(Privatizao = Sim) \quad (6.9)$$

Em CRS, houve influência marginalmente significativa (Valor-p=0,101) da privatização sobre a eficiência, sendo que a eficiência foi 0,084 unidades maior nos aeroportos privatizados que naqueles não privatizados. Além disso, houve influência significativa (Valor- p = 0,049) da população sobre a eficiência de modo que se a população aumenta a cada um milhão de habitantes é esperada um aumento da eficiência da ordem de 0,007 unidades de eficiência.

Equação da Regressão Tobit CRS final:

$$E(Y) = -0,810 + 0,89XI(privatizao = Sim) \quad (6.10)$$

No FDH, houve influência marginalmente significativa (Valor-p=0,011) da população sobre a eficiência, sendo que a cada um milhão de habitantes que se aumenta na população, espera-se uma redução de -0,006 unidades na eficiência.

Equação da Regressão Tobit FDH¹ final com supereficiência :

$$E(Y) = 1,554 - 0,006.Populao \quad (6.11)$$

No SFA, não houve influência significativa (Valor-p=0) da privatização sobre a eficiência, sendo que a eficiência foi 0,142 unidades maior nos aeroportos privatizados que naqueles não privatizados. Além disso, houve influência significativa (Valor-p=0) da população sobre a eficiência, sendo que a cada um milhão de habitantes que se aumenta na população, espera-se uma redução de -0,021 unidades na eficiência. Também houve influência marginalmente significativa (Valor-p=0,038) do PIB sobre a eficiência, sendo que a cada unidade acrescida no PIB, espera-se uma redução de -0,007 unidades na eficiência.

Equação da Regressão Tobit SFA final:

$$E(Y) = 5,014 + 0,142XI(Privatizao + Sim) - 0,021XPopulao - 0,007XPIB \quad (6.12)$$

Figura 50 – Regressões Tobit para a eficiência – Aeroportos com mais de 3 milhões de passageiros por ano

| Fonte | Modelo Inicial | Modelo Final | | | | | | | |
|------------------|---------------------|--------------|------------------|---------|----------------|--------|-------|-------|--------|
| | | β | E.P. (β) | Valor-p | $\beta^*P(NC)$ | | | | |
| VRS | Intercepto | 1,701 | 1,662 | 0,306 | - | 0,823 | 0,026 | 0 | - |
| | Privatização = Sim | 0,114 | 0,055 | 0,04 | 0,102 | 0,113 | 0,052 | 0,03 | 0,102 |
| | População (milhões) | -0,004 | 0,008 | 0,597 | -0,004 | | | | |
| | PIB | -0,006 | 0,005 | 0,217 | -0,006 | | | | |
| CRS | Intercepto | 0,206 | 1,251 | 0,869 | - | 0,81 | 0,025 | 0 | - |
| | Privatização = Sim | 0,085 | 0,057 | 0,138 | 0,079 | 0,089 | 0,054 | 0,101 | 0,084 |
| | População (milhões) | 0,003 | 0,006 | 0,629 | 0,003 | | | | |
| | PIB | -0,001 | 0,004 | 0,721 | -0,001 | | | | |
| FDH ¹ | Intercepto | 4,636 | 2,952 | 0,116 | - | 1,554 | 0,514 | 0,003 | - |
| | Privatização = Sim | 0,215 | 0,157 | 0,171 | 0,202 | | | | |
| | População (milhões) | -0,022 | 0,014 | 0,131 | -0,02 | -0,006 | 0,002 | 0,011 | -0,006 |
| | PIB | -0,008 | 0,009 | 0,372 | -0,008 | | | | |
| SFA | Intercepto | 5,014 | 1,039 | 0 | - | 5,014 | 1,039 | 0 | - |
| | Privatização = Sim | 0,142 | 0,039 | 0 | 0,142 | 0,142 | 0,039 | 0 | 0,142 |
| | População (milhões) | -0,021 | 0,005 | 0 | -0,021 | -0,021 | 0,005 | 0 | -0,021 |
| | PIB | -0,007 | 0,003 | 0,038 | -0,007 | -0,007 | 0,003 | 0,038 | -0,007 |

Fonte: Elaboração própria

A Figura 51 apresenta a previsão das eficiências para 2017, 2018 e 2019. A partir dela pode-se destacar que, por exemplo:

Para o modelo VRS, em 2017, para os aeroportos que não são privatizados a eficiência esperada é de 0,674, enquanto que para os aeroportos privatizados a eficiência esperada é de 0,882. Para o modelo CRS, em 2017, considerando que a população será de 211,6056 milhões, para os aeroportos que não são privatizados a eficiência esperada é de 0,618, enquanto que para os aeroportos privatizados a eficiência esperada é de 0,807. Para o modelo FDH¹, em 2017, considerando que a população será de 211,6056 milhões, a eficiência esperada é de 0,204. Para o modelo SFA, em 2017, considerando que a população será de 211,6056 milhões e que o PIB será de 0,30, para os aeroportos que não são privatizados a eficiência esperada é de 0,520, enquanto que para os aeroportos privatizados a eficiência esperada é de 0,780.

Figura 51 – Previsão das eficiências para 2017, 2018 e 2019

| | | Variáveis | Eficiência prevista |
|------------------|------|--|---------------------|
| VRS | 2017 | Privatização = Não | 0,674 |
| | | Privatização = Sim | 0,882 |
| | 2018 | Privatização = Não | 0,674 |
| | | Privatização = Sim | 0,882 |
| | 2019 | Privatização = Não | 0,674 |
| | | Privatização = Sim | 0,882 |
| CRS | 2017 | População = 211,6056 milhões / Privatização = Não | 0,618 |
| | | População = 211,6056 milhões / Privatização = Sim | 0,807 |
| | 2018 | População = 213,5100 milhões / Privatização = Não | 0,632 |
| | | População = 213,5100 milhões / Privatização = Sim | 0,821 |
| | 2019 | População = 215,4316 milhões / Privatização = Não | 0,645 |
| | | População = 215,4316 milhões / Privatização = Sim | 0,834 |
| FDH ¹ | 2017 | População = 211,6056 milhões | 0,204 |
| | 2018 | População = 213,5100 milhões | 0,198 |
| | 2019 | População = 215,4316 milhões | 0,193 |
| CRS | 2017 | População = 211,6056 milhões / PIB = 0,30 / Privatização = Não | 0,520 |
| | | População = 211,6056 milhões / PIB = 0,30 / Privatização = Sim | 0,780 |
| | 2018 | População = 213,5100 milhões / PIB = 2,50 / Privatização = Não | 0,467 |
| | | População = 213,5100 milhões / PIB = 2,50 / Privatização = Sim | 0,727 |
| | 2019 | População = 215,4316 milhões / PIB = 3,00 / Privatização = Não | 0,421 |
| | | População = 215,4316 milhões / PIB = 3,00 / Privatização = Sim | 0,681 |

Fonte:Elaboração Própria

6.1.2 Comportamento das eficiências ao longo do tempo

Para verificar o comportamento das eficiências obtidas através dos modelos VRS, CRS e FDH ao longo do tempo foi ajustado um modelo de efeitos mistos. A Figura 51 apresenta esse modelo. Cabe ressaltar que para facilitar a apresentação dos coeficientes na tabela, optou-se por multiplicar a eficiência por 100, uma vez que se isso não fosse feito seria necessário inserir mais duas casas decimais para ilustrar os resultados. A partir dela pode-se concluir que a taxa de crescimento não foi significativa nos modelos VRS (Valor-p=0,615) e FDH (Valor-p=0,110), ou seja, nesses modelos a eficiência não se altera com o passar dos anos. Porém nos modelos CRS (Valor-p=0,004) e SFA (Valor-p=0,000) a taxa de crescimento foi significativa, ou seja, nesse modelo a eficiência se altera com o passar dos anos.

Figura 52 – Regressão Linear de Efeitos Mistos

| Fonte | | β | E.P. (β) | Valor-p |
|-------------------------|-----|---------|------------------|---------|
| VRS | Ano | 0,340 | 0,673 | 0,615 |
| CRS | Ano | 1,966 | 0,647 | 0,004 |
| <u>FDH</u> ¹ | Ano | -0,516 | 0,318 | 0,110 |
| SFA | Ano | -2,810 | 0,117 | 0,000 |

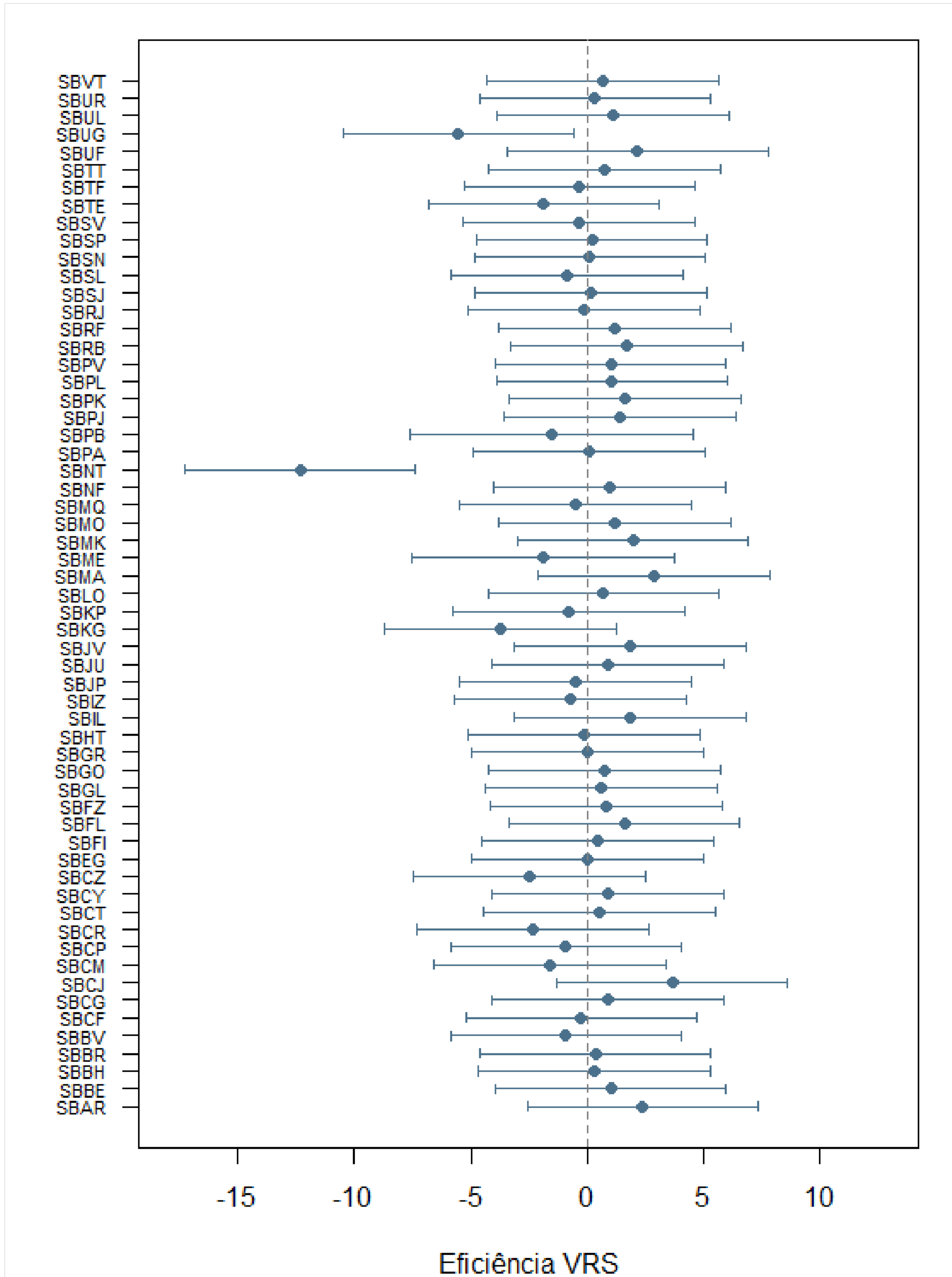
¹ Calculada a partir da super eficiência.

Fonte:Elaboração própria

Nas figuras 53, 54,55 e 56 pode ser verificada a representação gráfica dos efeitos aleatórios para os três modelos, ou seja, o comportamento da eficiência para cada aeroporto ao longo do tempo. Dessa forma, considerando que um coeficiente estatisticamente igual a zero significa uma estagnação no tempo, enquanto que coeficientes positivos indicam crescimento e negativos decaimento, deve-se destacar que:

No modelo VRS, os aeroportos SBNT (Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo) e SBUG (Aeroporto Internacional de Uruguaiana) apresentaram um coeficiente significativamente negativo, evidenciando assim que ao longo do tempo, houve um decaimento na eficiência.

Figura 53 – Representação dos Efeitos Aleatórios - VRS

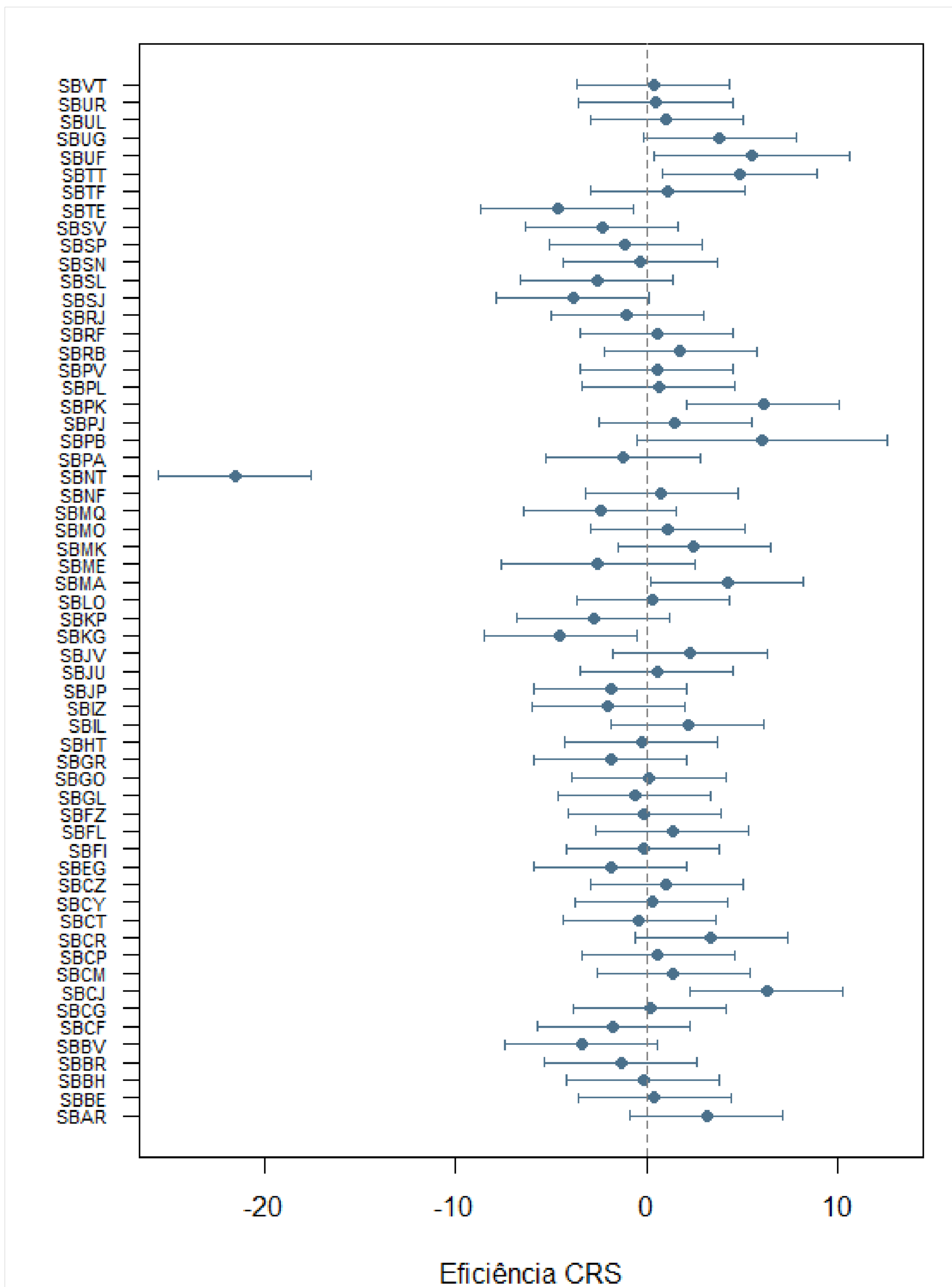


Fonte:Elaboração própria

No modelo CRS, os aeroportos SBKG (Aeroporto de Campina Grande, SBNT (Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo) e SBTE (Aeroporto de Teresina)

apresentaram um coeficiente significativamente negativo, evidenciando assim que ao longo do tempo, houve um decaimento na eficiência. Já os aeroportos SBCJ (Aeroporto de Carajás), SBMA (Aeroporto de Marabá), SBPK (Aeroporto Internacional de Pelotas), SBTT (Aeroporto Internacional de Tabatinga) e SBUF (Aeroporto de Paulo Afonso) apresentaram um coeficiente significativamente positivo, evidenciando assim que ao longo do tempo, houve um crescimento na eficiência.

Figura 54 – Representação dos Efeitos Aleatórios - CRS.

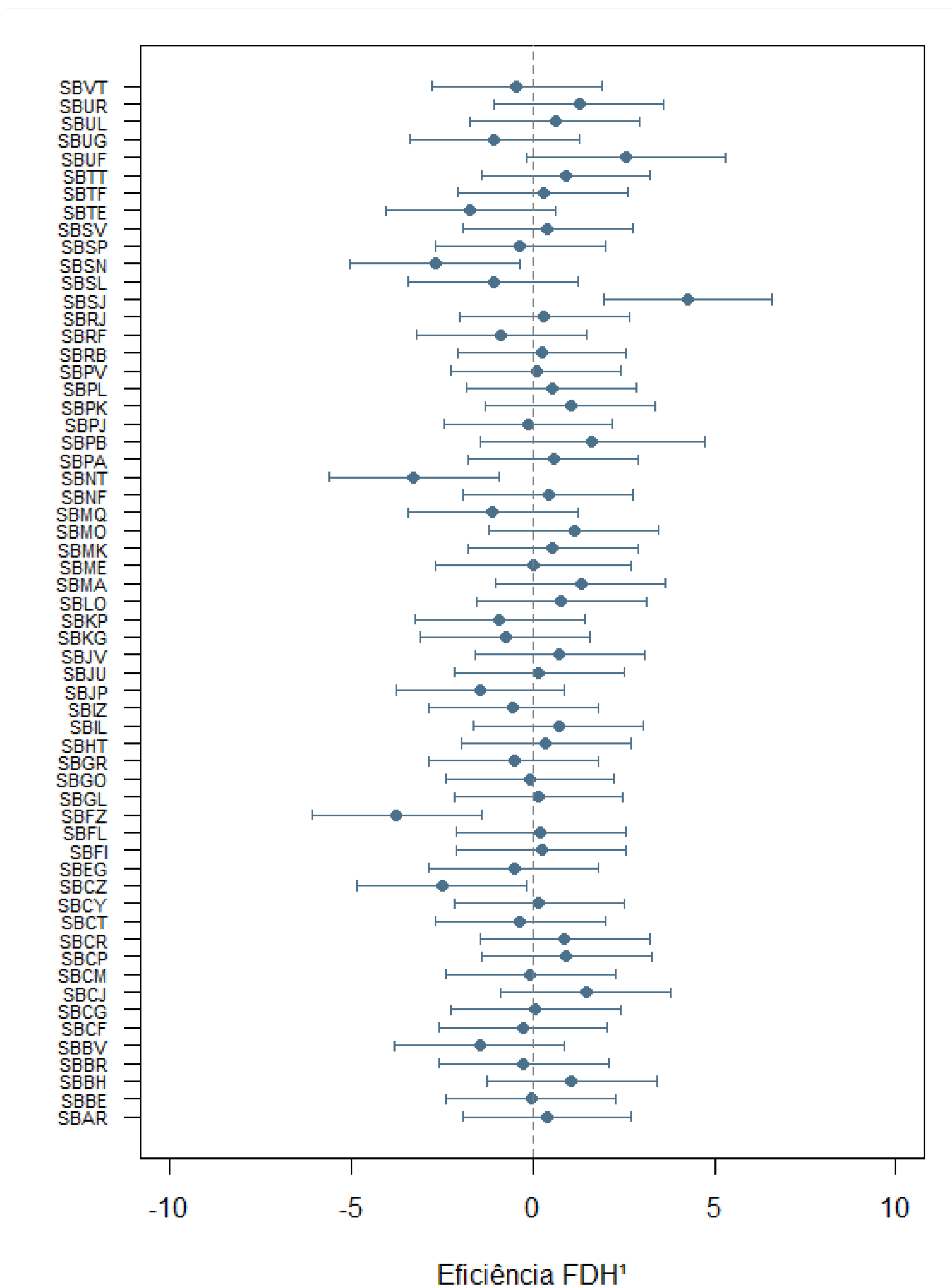


Fonte:Elaboração própria

No modelo FDH, os aeroportos SBCZ (Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul), SBFZ (Aeroporto Internacional de Fortaleza), SBNT (Aeroporto Internacional

de Natal/Augusto Severo) e SBSN (Aeroporto Internacional de Santarém) apresentaram um coeficiente significativamente negativo, evidenciando assim que ao longo do tempo, houve um decaimento na eficiência. Já o aeroporto SBSJ (Aeroporto Internacional de São José dos Campos) apresentou um coeficiente significativamente positivo, evidenciando assim que ao longo do tempo, houve um crescimento na eficiência.

Figura 55 – Representação dos Efeitos Aleatórios - FDH.



Fonte: Elaboração própria

No modelo SFA, apenas o aeroporto SBFZ (Aeroporto Internacional de Fortaleza) não apresentou um coeficiente significativo.

6.1.3 Análise Fuzzy

A medida tida como eficiente é aquela que depois de eliminado o impacto das heterogeneidades. O algoritmo proposto é apresentado para apurar as eficiências dos aeroportos brasileiros de 2012 a 2016. O problema considerado avalia as eficiências de 59 aeroportos brasileiros. Um conjunto de uma entrada e três saídas são empregados para avaliar as eficiências. de acordo com as diretrizes da Berger e Humphrey (1997) e Luo et al. (2012) essas entrada e saídas foram definidas como:

Input(Entrada ou Insumo): Movimentação;

Output(Saída ou Produto): Passageiros, mala postal e carga.

A idéia central é desenvolver uma estrutura difusa para lidar com a heterogeneidade das DMUs, em que estas são classificadas em diferentes grupos de acordo com sua similaridade, enquanto um grau de adesão é alcançado para cada DMU em cada cluster, o que mostra sua pertença a esse cluster. Esses graus de pertencimento são então aplicados na avaliação de eficiência das DMUs para reduzir o impacto das diferenças situacionais em suas eficiências.

Dadas n unidades de tomada de decisão, $DMU_{j,r=1,2,\dots,n}$, onde a unidade j th e DMU_j usou o vetor de entrada $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ para produzir o fator de saída $y = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})$. Seguindo o modelo DEA original, o modelo CCR agregou o múltiplas entradas e múltiplas saídas e constituiu uma proporção como segue:

Figura 57 – Modelo CCR proporção

$$E_j = \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}$$

Fonte:Elaboração própria

onde $u_r, r=1, 2, \dots, s$ representa o valor de saída e $v_i, i=1,2, \dots, m$ ilustra o valor de entrada na determinação da eficiência relativa do DMU_j . Adicionando o restrição de normalização de que a eficiência relativa de cada unidade que é delimitada acima de 1, e usando a técnica de transformação de Charnes e Cooper (1962), a seguinte forma multiplicadora do modelo CCR orientado a entrada é obtida para avaliar a relativa eficiência de $DMU_{o,0} \{1, 2, \dots, n\}$:

O próximo estágio é encontrar o melhor agrupamento de aeroportos. Para alcançar esse objetivo, o algoritmo *C-means* difuso é executado sobre os dados dos aeroportos, começando com $c=2$. Além disso, m é fixado em 2 e $\epsilon=0.01$.

A Figura 60 revela o índice VPE resultante para diferentes valores de c . De acordo com esses valores, o número de clusters é escolhido como $c=2$. O próximo estágio é realizar a adesão de aeroportos em diferentes clusters para avaliar a eficiência dos mesmos.

Figura 58 – Clusters Fuzzy e valor do índice entrópico

| Número De Clusters | Ano | VPE |
|--------------------|------|---------------|
| C2 | 2012 | 0,0667 |
| C3 | 2012 | 0,1645 |
| C4 | 2012 | 0,2115 |
| C2 | 2013 | 0,0631 |
| C3 | 2013 | 0,1242 |
| C4 | 2013 | 0,2075 |
| C2 | 2014 | 0,0593 |
| C3 | 2014 | 0,126 |
| C4 | 2014 | 0,2165 |
| C2 | 2015 | 0,0506 |
| C3 | 2015 | 0,1436 |
| C4 | 2015 | 0,2077 |
| C2 | 2016 | 0,0445 |
| C3 | 2016 | 0,1276 |
| C4 | 2016 | 0,1885 |

Fonte:Elaboração própria

A Figura 61 demonstra a eficiência das unidades em cada cluster. As DMU's são avaliadas usando o modelo BCC orientado a entradas.

Figura 59 – Eficiência por aeroporto e por ano com Fuzzy Cmeans.

| Aeroporto | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Média |
|---|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| SBAR - Aeroporto de Aracaju | 88,16% | 99,56% | 92,72% | 88,50% | 91,84% | 92,15% |
| SBBE - Aeroporto Internacional de Belém | 79,02% | 86,40% | 92,58% | 85,27% | 85,69% | 85,79% |
| SBBH - Aeroporto de Belo Horizonte | 93,84% | 98,69% | 92,72% | 88,31% | 89,31% | 92,57% |
| SBBR - Aeroporto Internacional de Brasília | 98,34% | 99,38% | 92,73% | 89,02% | 89,71% | 93,84% |
| SBBV - Aeroporto Internacional de Boa Vista | 99,83% | 99,99% | 92,73% | 92,45% | 92,65% | 95,53% |
| SBCF - Aeroporto Internacional de Confins | 99,44% | 99,74% | 92,72% | 91,37% | 92,65% | 95,18% |
| SBCG - Aeroporto Internacional de Campo Grande | 99,90% | 85,39% | 92,72% | 88,68% | 86,94% | 90,73% |
| SBCJ - Aeroporto de Carajás | 85,66% | 93,96% | 93,58% | 99,91% | 99,89% | 94,60% |
| SBCM - Aeroporto de Criciúma | 90,02% | 97,56% | 92,69% | 85,55% | 86,33% | 90,43% |
| SBCP - Aeroporto Internacional de Campos | 87,67% | 99,96% | 93,13% | 99,98% | 99,98% | 96,14% |
| SBCR - Aeroporto Internacional de Corumbá | 91,11% | 97,36% | 99,47% | 99,99% | 99,99% | 97,58% |
| SBCT - Aeroporto Internacional de Curitiba | 90,61% | 95,27% | 92,73% | 92,45% | 92,09% | 92,63% |
| SBCY - Aeroporto Internacional de Cuiabá | 88,67% | 99,84% | 92,73% | 89,93% | 89,71% | 92,18% |
| SBCZ - Aeroporto Internacional de Cruzeiro do Sul | 87,56% | 96,04% | 92,73% | 91,95% | 92,09% | 92,07% |
| SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus | 99,49% | 99,90% | 96,37% | 99,98% | 99,98% | 99,14% |
| SBFI - Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu | 82,76% | 93,38% | 92,73% | 90,94% | 91,60% | 90,28% |
| SBFL - Aeroporto Internacional de Florianópolis | 93,67% | 99,98% | 92,73% | 94,19% | 94,66% | 95,05% |
| SBFZ - Aeroporto Internacional de Fortaleza | 93,84% | 97,84% | 92,73% | 90,94% | 91,84% | 93,44% |
| SBGL - Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão | 85,92% | 94,41% | 92,72% | 90,13% | 90,90% | 90,82% |
| SBGO - Aeroporto de Goiânia | 93,13% | 94,24% | 92,73% | 93,96% | 94,35% | 93,68% |
| SBGR - Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos | 97,58% | 98,20% | 92,73% | 94,61% | 95,10% | 95,64% |
| SBHT - Aeroporto de Altamira | 87,19% | 98,88% | 92,73% | 89,43% | 91,18% | 91,88% |
| SBIL - Aeroporto de Ilhéus | 87,48% | 95,13% | 92,76% | 99,28% | 99,16% | 94,76% |
| SBIZ - Aeroporto de Imperatriz | 87,41% | 99,06% | 92,73% | 98,49% | 97,06% | 94,95% |
| SBJP - Aeroporto Internacional de João Pessoa | 87,66% | 96,34% | 92,69% | 85,34% | 85,81% | 89,57% |
| SBJU - Aeroporto de Juazeiro do Norte | 97,58% | 99,94% | 92,77% | 99,23% | 98,72% | 97,65% |
| SBJV - Aeroporto de Joinville | 88,81% | 100,00% | 92,73% | 92,45% | 92,65% | 93,33% |
| SBKG - Aeroporto de Campina Grande | 84,06% | 94,15% | 92,73% | 92,45% | 92,65% | 91,21% |
| SBKP - Aeroporto Internacional de Campinas/Viracopos | 88,60% | 95,82% | 92,73% | 90,94% | 91,60% | 91,94% |
| SBLO - Aeroporto de Londrina | 74,90% | 85,41% | 85,46% | 84,90% | 85,30% | 83,19% |
| SBMA - Aeroporto de Marabá | 83,24% | 93,73% | 89,82% | 92,45% | 92,65% | 90,38% |
| SBME - Aeroporto de Macaé | 85,52% | 95,13% | 85,73% | 92,31% | 92,54% | 90,25% |
| SBMK - Aeroporto de Montes Claros | 76,11% | 87,63% | 87,46% | 92,44% | 92,65% | 87,26% |
| SBMO - Aeroporto Internacional de Maceió | 81,39% | 91,23% | 93,11% | 92,45% | 92,65% | 90,17% |
| SBMQ - Aeroporto Internacional de Macapá | 87,81% | 99,58% | 92,73% | 92,45% | 92,65% | 93,04% |
| SBNF - Aeroporto Internacional de Navegantes | 79,03% | 85,38% | 85,96% | 92,45% | 92,65% | 87,09% |
| SBNT - Aeroporto Internacional de Natal/Augusto Severo | 80,34% | 92,43% | 99,93% | 92,90% | 93,01% | 91,72% |
| SBPA - Aeroporto Internacional de Porto Alegre | 87,48% | 95,13% | 90,30% | 92,45% | 92,65% | 91,60% |
| SBPB - Aeroporto Internacional de Parnaíba | 87,45% | 94,52% | 98,69% | 92,69% | 92,87% | 93,24% |
| SBPJ - Aeroporto de Palmas | 93,53% | 100,00% | 100,00% | 99,72% | 99,87% | 98,62% |
| SBPK - Aeroporto Internacional de Pelotas | 87,43% | 94,40% | 92,30% | 92,45% | 92,65% | 91,85% |
| SBPL - Aeroporto Internacional de Petrolina | 87,69% | 95,21% | 91,52% | 92,45% | 92,65% | 91,90% |
| SBPV - Aeroporto Internacional de Porto Velho | 87,48% | 95,13% | 92,73% | 92,45% | 92,65% | 92,09% |
| SBRB - Aeroporto de Rio Branco | 87,95% | 95,32% | 99,98% | 95,19% | 94,56% | 94,60% |
| SBRF - Aeroporto Internacional de Recife | 93,14% | 99,98% | 92,17% | 92,45% | 92,65% | 94,08% |
| SBRJ - Aeroporto Santos-Dumont | 89,11% | 93,75% | 92,34% | 92,45% | 92,65% | 92,06% |
| SBSJ - Aeroporto Internacional de São José dos Campos | 93,77% | 100,00% | 92,07% | 92,45% | 92,65% | 94,19% |
| SBSL - Aeroporto Internacional de São Luiz | 87,48% | 95,13% | 94,01% | 92,45% | 92,65% | 92,34% |
| SBSN - Aeroporto Internacional de Santarém | 82,31% | 93,10% | 90,30% | 92,45% | 92,65% | 90,16% |
| SBSP - Aeroporto de Congonhas | 87,47% | 95,12% | 94,55% | 92,45% | 92,65% | 92,45% |
| SBSV - Aeroporto Internacional de Salvador | 87,49% | 95,13% | 90,30% | 92,45% | 92,65% | 91,60% |
| SBTE - Aeroporto de Teresina | 87,26% | 95,09% | 99,01% | 92,49% | 92,67% | 93,30% |
| SBTF - Aeroporto de Tefé | 87,48% | 95,13% | 95,15% | 92,45% | 92,65% | 92,57% |
| SBTT - Aeroporto Internacional de Tabatinga | 87,47% | 95,12% | 100,00% | 92,45% | 92,65% | 93,54% |
| SBUF - Aeroporto de Paulo Afonso | 88,35% | 95,44% | 93,68% | 92,44% | 92,62% | 92,51% |
| SBUG - Aeroporto Internacional de Uruguaiana | 86,07% | 94,89% | 95,84% | 92,45% | 92,65% | 92,38% |
| SBUL - Aeroporto de Uberlândia | 88,53% | 95,51% | 92,73% | 92,45% | 92,65% | 92,37% |
| SBUR - Aeroporto de Uberaba | 87,48% | 95,13% | 91,44% | 92,45% | 92,65% | 91,83% |
| SBVT - Aeroporto Internacional de Vitória | 87,46% | 95,12% | 85,46% | 92,45% | 92,65% | 90,63% |

Fonte: Elaboração própria

A Figura 61 apresenta a distribuição de pontuação baseada em FCA com DEA em pertencimento das classes de eficiência. O método resultou em pontuações de eficiência entre 85,30% e 99,9 % em uma faixa estreita. Na verdade, a distribuição das pontuações é altamente densa.

O método BCC fuzzyficado resultou em 2 DMUs com eficiência de 100 em 2013, Tabatinga e Palmas. O método produziu métodos eficientes completos com o maior poder de discriminação, sendo que para o ano de 2016 nenhum aeroporto teve eficiência igual a 100 e os maiores scores ficaram para SBCR Aeroporto Internacional de Corumbá com 0,999, SBEG-Aeroporto Internacional de Manaus 0,9998 e SBCJ 0,9989 Aeroporto de Carajás.

Embora a heterogeneidade possa fazer alguns impactos altos ou baixos nas pontuações de eficiência de DMUs, o método proposto pode ser aplicado e apurar esses impactos nos resultados. O algoritmo consiste em unidades de distribuição de DMUs aplicando o algoritmo de C-means difusado.

Análise à posteriori dos resultados obtidos indicaram que independentemente do nível de heterogeneidade presente entre as unidades, os achados de análise numérica provou impactos do algoritmo proposto para justificar a DEA resulta em problemas com unidades heterogêneas.

6.2 Considerações finais

É uma possibilidade ainda a ser explorada acerca da eficiência dos aeroportos privatizados que poderiam auferir maiores patamares porém há sinais de que eles competiram entre si na disputa por passageiros e companhias aéreas.

Em 2012 os aeroportos do Galeão e Salvador processaram mais passageiros e ingressaram na linha de aeroportos mais movimentados. Contudo o seu desempenho não era tão satisfatório e ao comparar com Congonhas, Brasília, Guarulhos e Confins, a amostra aumentou de tamanho e a eficiência global foi levemente reduzida. O aeroporto de Manaus foi classificado como de grande porte em 2012 e apresentou performance eficiente e não era privatizado em alguns anos do estudo e comparativamente com todos os métodos aplicados.

O método DEA não considera o tamanho em si do aeroporto para classificá-lo como eficiente. A utilização dos recursos é que permitem essa análise.

6.3 Conclusão

O estudo de eficiência de aeroportos proposto com cenário antes e pós privatização com utilização do modelo DEA e lógica fuzzy c means mostrou que em casos de aeroportos de primeira categoria, o aeroporto de Guarulhos foi o aeroporto que se destacou em eficiência. Os demais aeroportos não apresentaram significativos aumentos embora sim tenham sido mais eficientes em cenário de privatização. É possível verificar com os dados que outros aeroportos podem ser objeto de privatização. Os dados apresentados pelo C-means corroboraram com os dados apresentados pela fronteira estocástica.

Embora utilizados outros métodos conforme sugestão do framework, os resultados não se assemelham e encontram-se no apêndice porque os métodos divergem em si. Houve uma dificuldade de obtenção de dados mais específicos em relação às finanças para realizar uma análise cruzada de eficiência com relação aos custos por não serem as receitas/despesas disponíveis no setor como ocorre no caso do setor elétrico com empresas listada na bolsa de valores e portanto uma publicização dos seus retornos até para utilizar a abordagem da BAA como parâmetro. Desse modo a solução foi a utilização de input/output disponíveis de modo uniforme pela Anac. Uma das contribuições da tese foi conseguir utilizar dados que dificilmente são disponibilizados para pesquisas já que são sigilosos e estratégicos.

A eficiência é uma importante medida gerencial que mostra a capacidade de uma organização unidade na utilização de seus recursos para produzir os resultados pretendidos. A abordagem DEA é um aceita amplamente e utilizada para avaliar a eficiência relativa de um grupo de unidades similares. A não homogeneidade das DMUs não estava implícita na avaliação de eficiência, podendo causar alguns vies na avaliação, tendo um efeito positivo em algumas DMUs e efeitos negativos em alguns outras. A necessidade de uma abordagem para lidar com a heterogeneidade das DMUs é entendida por alguns autores. Um algoritmo baseado em conceito de agrupamento difuso é proposto para mitigar os impactos da heterogeneidade em relação aos resultados da DEA. O investimento em infraestrutura por meio de privatização não necessariamente trouxe ganhos. Nem sempre privatizações resultam em eficiência, o que corrobora com alguns achados na literatura.

Este trabalho permitiu fornecer algumas evidências sobre a privatização e a eficiência de aeroportos. Com a privatização há uma tendência a melhorar a sua rentabilidade através da diversificação dos seus negócios comerciais e outras atividades não aeronáuticas. Provavelmente o resultado mais surpreendente dessa análise é que os aeroportos que eram 100% públicos (INFRAERO) sinalizavam ser eficientes ex-ante privatização. Esse foi o caso de Confins, Guarulho, Brasília e Galeão o que corrobora com os achados de (GONG et.al.2012). Por esse motivo é necessária uma investigação mais profunda para definir critérios que possam identificar o real impacto da privatização na eficiência desses aeroportos antes e pós privatização, conforme Grham(2008) o

que corrobora com o modelo de Emrouznejad e Witte (2010).

Dado que os aeroportos operados 100% pela Infraero portanto pública, foram quase tão eficientes quanto os aeroportos com 100% ou uma participação majoritária no setor privado, parece ser importante para participação nos aeroportos quando buscam financiamento do setor privado ou participação na propriedade e gestão dos aeroportos. Aeroportos com maior participação privada (incluindo 100% de propriedade privada) não conseguem eficiência muito maior do que o governo com 100% aeroportos.

Conforme os achados de Oum et.al(2003) a heterogeneidade realmente tornou difícil criar um modelo de eficiência que adaptasse a qualquer aeroporto dos 59 estudados.

Pelas As concessionárias deveriam ter realizado as ampliações conforme plano de concessão porém várias delas estavam envolvidas na operação Lava Jato e isso provavelmente restringiu o aporte de capital necessário. Em 2014 agrava-se a crise política e econômica brasileira. Mais pessoas perderam seus postos de trabalho e muitas empresas mergulharam em recessão, recuperação e falências. Isso corroborou para a queda do PIB e conseqüentemente para a redução no volume de carga, passageiros e movimentações de aeronaves em conjunto e isoladamente.

É possível questionar porque a privatização não conseguiu melhorar a produtividade de todos os aeroportos. Em tese houve melhora e haverá incremento de eficiência porém este efeito não ficou claro se efetivamente se deu ou dará tão somente pela privatização. Os mercados de quase monopólio para muitos aeroportos (Vickers e Yarrow, 1991), o tipo de regulamento imposto (Oum et al., 2004) são problemas descritos nesta análise.

Os pesquisadores apontaram que os resultados empíricos de análise de eficiência pode depender do método de medição utilizada por OUM et.al (1999). Métodos paramétricos e não paramétricos foram testados. Os melhores resultados foram de certa forma compartilhados pela fronteira estocástica. As outras metodologias como várias formas de DEA, livre disposição e fuzzy foram testadas e iferentes resultados empíricos alcançados. Algumas das descobertas aqui são provelmente controversas, é importante para testar diferentes metodologias de medição antes de atingir uma conclusão firme quanto aos efeitos da privatização sobre a aeroportos.

Esta pesquisa abordou uma lacuna em Fuzzy DEA. Não foi proposta uma regressão de segundo estágio visto que foi opção a utilização da entropia para filtrar os resultados. Contudo seria apropriado testar mais métodos no segundo estágio como simulação monte carlo e bootstrap com efeitos fixos.

As limitações desta pesquisa estão relacionadas ao tipo de abordagem Fuzzy DEA usada e ao conjunto de dados. Estudos posteriores devem ser conduzidos para aprimorar essa análise visto que não há ainda a utilização desta metodologia em

aeroportos brasileiros. Os valores de entrada e saída são coletados pela Infraero e concessionárias de modo que por si, apresentam uma possibilidade de aleatoriedade e incerteza já que o método não é claro para atestar tais valores levantados.

Uma análise longitudinal deve ser realizada e os dados aqui apresentados teriam uma maior robustez se explicados por profissionais e empresas do setor a fim de serem melhores explicadas. Para tanto seria plausível considerar entrevistas e pesquisas qualitativas.

Pelos métodos apresentados, os estudos corroboram com achados anteriores. A maior parte dos aeroportos se beneficiam de crescentes retornos de escala. É importante ressaltar que a proximidade de alguns aeroportos de carga aos grandes centros urbanos são influenciados negativamente pela indústria e população. É uma recomendação a redistribuição de aeroportos maiores congestionados para aeroportos não localizados em áreas que sofrem de fluxo urbano intenso. Porém, isso deve ser bem amparado pela regulação de modo a viabilizar a concorrência tendo em vista estarmos tratando de monopólios naturais. Aspectos gerenciais devem ser abordados em pesquisas futuras.

Estimar a eficiência dos aeroportos ineficientes para dar subsídio à gestão mais eficaz e melhoria da produtividade num todo. A adoção de prêmios para as concessionárias que elevarem a sua produtividade é um exemplo a ser seguido como aplicado pela BAA. O oposto também deve ser encorajado.

Como sugestão para trabalhos futuros elaborar uma análise após a privatização dos aeroportos em 2020 e comparar a probabilidade do modelo probabilístico apontado na tese e confrontar com o realizado. Agrupar aeroportos com características semelhantes e realizar uma análise DEA CRS x VRS para avaliar o comportamento das eficiências. Realizar o mesmo trabalho apenas com aeroportos extra grandes no Brasil e avaliar suas eficiências após privatização completa.

Referências

- ACI. **Understanding Airport Business**. <http://www.aci-europe.org>, 2006. Acessado em 28/11/2013
- ADLER N.; LIEBERT V. Joint Impact of Competition, Ownership Form and Economic Regulation on Airport Performance and Pricing. **Transportation Research part A**, 64, 92-109, 2014.
- AIGNER, D., LOVELL, CA K. e SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of Econometrics**, v. 6, n. 1, p. 21-37, 1977.
- AIGNER, D.J. CHU, S.F. On Estimating the Industry Production Function. **American Economic Review**, 58, 826-839, 1968.
- AIROLA, J. & CRAIG, S. Institutional efficiency in airport governance. Houston: University of Houston. **Mimeo**, 2001.
- AVERCH, H., LELAND, L. J. Behavior of the Firm under Regulatory Constraint. **American Economic Review**, 52(5), 1052–1069, 1962.
- AZEVEDO, P. F. ; ALMEIDA, S. F. Poder Compensatório: coordenação horizontal na defesa da concorrência. **Estudos Econômicos** (USP. Impresso), v. 39, p. 737-762, 2009.
- AZEVEDO, P. F.; HENRIKSEN, A. L. Cartel deterrence and settlements: the brazilian experience. **Textos para Discussão EESP**, 2010.
- BALLOU, Ronald. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimento**. Bookman: São Paulo, 2006.
- BANKER, R. D., CHARNES, A. e COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.
- BARROS, L. C. **Tópicos de lógica Fuzzy e biomatemática**. [S.l.]: Campinas, SP, v. 5, 2006.
- BARROS, C.P. & DIEKE, P.U., Measuring the economic efficiency of airports: A Simar–Wilson methodology analysis. **Transportation Research Part E**, 44(6), 1039–1051, 2008.
- BARROS, E. S.; TENÓRIO JÚNIOR, A. J. A.; OLIVEIRA, S. A.; SILVA JÚNIOR, L. H. Aplicação do método Bootstrap na estimação de fronteiras não-paramétricas: o caso dos fruticultores do Vale do São Francisco. **48º SOBER** (Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Campo Grande, 25 a 28 de julho de 2010, 16p.
- BARROS, C.P. SAMPAIO, A. Technical and allocative efficiency in airports. **International Journal of Transport Economics**, 31(3), 355–377, 2004.

- BELTON, V., VICKERS, SP. Demystifying DEA-a Visual Interactive Approach Based on Multiple Criteria Analysis. **JORS** 44(9): 883-896,1993.
- BEESELEY, M.E. Airport Regulation in: M.E. Beesley, (ed.): *Regulating Utilities: A New Era?* **Institute of Economic Affairs**, London,1999.
- BERECHMAN, J. A Network Model for the Evaluation of the Impact of European Aviation Markets Liberalization on the Position of Schipol Airport, Final Report, 1994,**The Netherlands Ministry of Transport**, Directorate General of Civil Aviation.
- BETANCOR, O.; RENDEIRO, R. Regulating privatized infrastructures and airport services. Washington, DC: **World Bank**, 1999 (Policy Research Working Paper, n. 2.180).
- BEZDEK, J. C.; EHRLICH, R.; FULL, W. Fcm: The fuzzy c-means clustering algorithm. **Computers & Geosciences**, v. 10, n. 2, p. 191–203, 1984.
- BEZDEK, J. C.; CORAY C, GUNDERSON, R., WATSON J. Detection and characterization of cluster substructure I. Linear structure: fuzzy c-Lines. **SIAM J Appl Math** 40(2):339 14, 1981.
- BEZDEK, J. C.; CORAY C, GUNDERSON, R., WATSON J. Detection and characterization of cluster substructure II. Fuzzy c-Varieties and convex combinations thereof. **SIAM J Appl Math** 40(2):358, 1981.
- BNDES. **Banco Nacional de Desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>> Acessado em 28/11/2013
- BOGETOFT, P & OTTO, L. **Benchmarking with DEA, SFA, and R**. Springer Science+Business Media B.V., New York, 2010.
- BOGETOFT. P. e OTTO, L. **Benchmarking with DEA and SFA, R** package version 0.26, 2015.
- BRAEUTIGAM, Ronald E.PANZAR, John C. Effects of the Change from Rate-of-Return to Price-Cap Regulation. **American Economic Review** 83 (2): 191–198,1998.
- BRASIL. Lei Nº 11.182, de 27 de setembro de 2005. Cria a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11182.htm> Acesso em: 05 jan. 2014.
- _____. Decreto Nº Dec 91.991, de 28 de Novembro de 1985. Dispõe sobre o processo de privatização de empresas sob controle direto ou indireto do Governo Federal, e dá outras providências. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-91991-28-novembro-1985-442714-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em: 05 jan. 2014.
- BROWN. R. Mismanagement or mismeasurement? Pitfalls and protocols for DEA studies in the financial services sector. **European Journal of Operational Research** 174, 1100-1116, 2006.
- BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J.. **Logística Empresarial - O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. (Tradução: Equipe do Centro de Estudos em Logística e Adalberto Neves.) São Paulo, SP: Atlas, 2001.

- CÂMARA DA REFORMA DO ESTADO. Plano Diretor da Reforma do Aparelho do Estado. **Presidência da República**. Brasília, nov.1995. 68p.
- CARLTON, D.W.; PELOFF, J.M. Modern Industrial organization. **Reading, Massachusetts**: Addison Wesley Longman, 2000.
- CAZENAVE, Thomas, MARTIMORT, David, POUYET, Jérôme. Crise de régulation in FRISON-ROCHE, Marie-Anne (ed.), Les risques de régulation, collection. Droit et Economie de la Régulation, vol. 3, **Daloz/Presses de Sciences Po**, 2005, p.1-10.
- CARNEY, M. MEW K. Airport Governance Reform: A Strategic Management Perspective. **Journal of Air Transport Management** 9(2): 221-232, 2003.
- CARVALHO. Kildare. **Direito constitucional**. Belo Horizonte, Del Rey, 2007.
- CAVALCANTE, P. L. **Fluxo de carga trifásico com modelagem de incertezas via função de pertinência sinusoidal**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP, 2010.
- CAZALS, Catherine. DUCHEMIN, Pascale., FLORENS, Jean-Pierre., BERNARD, R., VIALANEIX, OLIVIER. An Econometric Study of Cost elasticity in the Activities of post-office counters. In **Postal and Delivery Services**, edited by M.A. Crew, and P.R. Kleindorfer, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- CHIMPHLEE, W. et al. Unsupervised clustering methods for identifying rare events in anomaly detection. **Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 2, n. 1, p. 253...258, October 2005.
- CZERNY, A. I. Price-cap regulation of airports: Single-till versus dual-till. **Journal of Regulatory Economics**, 30, 85-97, 2006.
- CHAMBERS R.G., Chung Y. et Färe R. Benefit and Distance Functions, **Journal of Economic Theory**, 70, p. 407-419, 1996.
- CHANDRA, A., THOMPSON, E. Does public infrastructure affect economic activity? evidence from the rural interstate highway system. **Regional Science and Urban Economics**, v. 30, p. 457–490, 2000.
- CHARNES A., COOPER W.W., RHODES E.L. Measuring the Efficiency of Decision Making Units, **European Journal of Operational Research**, Vol. 2, n° 6, p 429-444, 1978.
- CHARNES A., COOPER W.W., SEIFORD, L.M. **Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications**. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1978.
- CHARNES, A., COOPER, W., LEWIN A. Y., SEIFORD, L. M. **Data envelopment analysis: theory, methodology, and application**. Boston: Kluwer Academic, 1994.
- CURI, C., GITTO, S., MANCUSO, P. New evidence on the efficiency of Italian Airports: a bootstrapped DEA analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, 45(2), 84-93, 2011.
- DEBREU G. The Coefficient of Ressources Utilization, **Econometrica** 3, pp 273-292, 1951 .
- DEPRINS, D., SIMAR, L. e TULKENS, H. Measuring Labor-Efficiency in Post Offices, in Marchand, M., Pestieau, P. e Tulkens, H. (eds). **The performance of Public Enterpri-**

- ses: Concepts and Measurement.** Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1984.
- DOEHRING, Karl. **Teoria Geral do Estado.** Belo Horizonte : Del Rey, 2008.
- DOGANIS, R. **The Airport Business.** Routledge. London,1992.
- DOGANIS, R., GRAHAM, A. & LOBBONBERG, A. The economic performance of European airports. **Research Report 3. Dept of Air Transport, Colleague of Aeronautics,** February 1995, University of Westminster, London,1995.
- DONALDSON, D., WAGLE, D. **Privatization: Principles and Practice,** IFC,1995.
- DUGONJIC, V. Transportation: benign influence or an antidote to regional inequality? **Papers of the Regional Science Association.** Vol. 66; pp. 61-76, 1989.
- DYSON, R. G. e SHALE, E. A. Data envelopment analysis, operational research and uncertainty. **Journal of the Operational Research Society,** v. 61, n. 1, p. 25-34, 2010.
- DYSON, R.G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A.S;PODINOVSKI, V.V.;SARRICO, C.S.;SHALE, E.A. Pitfalls and Protocols in DEA. **European Journal of Operational Research,** v. 132 n.1, p. 245 – 259, 2001.
- EMROUZNEJAD, A. ; De Witte, K. COOPER-framework: A unified process for non-parametric projects. **European Journal of Operational Research** 207(3): 1573-1586, 2010.
- EMROUZNEJAD, A., B. R. Parker, et al. Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. **Socio-Economic Planning Sciences** 42(3): 151-157, 2008.
- FAGUNDES, J. e PONDÉ, J. Barreiras à Entrada e Defesa da Concorrência: Notas Introdutórias. Texto para Discussão n°1, **Cadernos de Estudo, Universidade Cândido Mendes,** 1998.JEL: L4 –
- FARIAS, Pedro César Lima de. Regulação e Modelo de Gestão. In: **Balanço da Reforma do Estado no Brasil.** Brasília: MP/SEGES, 2002, p. 95-101.
- FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society,** v. 120 n, 3, p 253 – 290, 1957.
- FARZIPOOR Saen, R., A. MEMARIANI; HOSSEINZADEH Lotfi F., The effect of correlation coefficient among multiple input vectors on the efficiency mean in data envelopment analysis. **Applied Mathematics and Computation,** Vol. 162, No. 2, pp. 503- 521, 2005.
- FERNANDES, E., PACHECO, R. R. Efficient use of airport capacity. **Transportation Research Part A,** Policy and Practice, 36(3), 225-238, 2002.
- FORSYTH, P.Price Regulation of Airports: Principles with Australian Applications. **Transportation Research** E33 297-309,1997.
- FORSYTH, P.J., 2000. Models of airport performance. In: Hensher, D.A. & Button, K.J (eds.) **Handbook of Transport Modelling,** 597-608.
- FORSYTH, P. Privatization and Regulation of Australian and New Zealand Airports. **Journal of Air Transport Management** 8,19 -28, 2002.

- FORSYTH, P. et al., **The Economic Regulation of Airports: Recent Developments in Australasia, North America and Europe**. Aldershot (UK), Ashgate Publishing, 2004.
- FORSYTH, P., Gillen, D., Müller, J., & Niemeier, H.-M. (Eds.). **Airport Competition: The European Experience**. Ashgate Publishing, Ltd, 2010.
- FORSUND, F. R.; SARAFIOGLOU, N. On the origins of data envelopment analysis. In: **European Workshop on Efficiency and productivity analysis**. Discussion Paper #D- 02/1999, Copenhagen, 1999.
- FORSUND, F. R. Categorical variables in DEA. *International Journal of Business and Economics*, v. 1, p. 33-43, 2002. [24] FORSUND, F. R.; HJALMARSSON, L. Calculating scale elasticity in DEA models. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 55, p. 1023, 2004.
- FULDA, Carl. **Competition in the Regulated Industries: Transportation**. Little, Brown and Company, Boston, 1961.
- GANAPATHY, S. et al. A novel weighted fuzzy c-means clustering based on immune genetic algorithm for intrusion detection. *Procedia Engineering*, v. 38, n. 0, p. 1750–1757, 2012. **International Conference on Modelling Optimization and Computing**.
- GERVAIS M. et Thenet, G. Comment évaluer la productivité dans les activités de service? **Comptabilité Contrôle Audit** vol. 10, n° 1, p. 147-163, 2004.
- GILLEN, David. **Airport governance and regulation: The evolution over three decades of aviation system reform**. *A Handbook of Transport Economics*, 2008.
- GILLEN, D. Models of Airport Ownership and Governance: **Workshop on Transport Economics**, FEDEA-Abertis, 2008.
- GITTO,S.,MANCUSO,P. Bootstrapping the Malmquist indexes for Italian airports. **International Journal of Production Economics**, 2012.
- GOMIDE, F.; GUDWIN, R.; TANSCHKEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. In: Proc. 6 th IFSA **Congress-Tutorials**. [S.l.: s.n.], 1995. p. 1–38.
- GONG, SXH.; CULLINANE, KPB, Firth M. The impact of airport and seaport privatization on efficiency and performance: A review of the international evidence and implications for developing countries. **Transport Policy** 24:37-47, 2012.
- GRAHAM, A. **Managing airports: an international perspective**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- GRAHAM, A. **Managing airports: an international perspective**.3ed.Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009.
- GRAHAM,A. Airport benchmarking: a review of the current situation. **Benchmarking: An International Journal**, 12(2), 99–111, 2005.
- GRAHAM, A. **Airport planning and regulation in the United Kingdom**. In:Winston, C.de Rus.G.(Eds), *Aviation Infrastructure Performance. A Study in Comparative Political Economy*. Brooking Institution Press,Washington.

- GRAHAM,A. Airport benchmarking: a review of the current situation. **Benchmarking: An International Journal**, 12(2), 99–111, 2005.
- GRAHAM,A. **Managing Airports: An International Perspective**. 3rd.ed. Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2008.
- HAAS, DA; Murphy, FH. Compensating for Non-Homogeneity in Decision-Making Units in Data Envelopment Analysis. **EJOR** 144(3): 530-544, 2003.
- HAVENS, T. C. et al. Fuzzy c-means algorithms for very large data. **Fuzzy Systems, IEEE Transactions on**, v. 20, n. 6, p. 1130–1146, November, 2012.
- HESSE, M., RODRIGUE, J. P. The transport geography of logistics and freight distribution. **Journal of Transport Geography**, v. 12, n. 3, p.171-184, Sept., 2004.
- HOLLINGSWORTH, B. The measurement of efficiency and productivity of health care delivery. **Health Economics** 17, 1007-1028, 2008.
- HOOPER, PG., HENSHER, DA. Measuring Total Factor Productivity of Airports – an Index Number Approach. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review** 33(4): 249-259,1997.
- IATA. International Air Transport Association. **Anual Report. 2008**. Acessado em 20 de abril de 2014. <http://www.iata.org/about/Documents/iata-%20annual-%20report-%202008.pdf>
- INFRAERO. **Infraestrutura Aeroportuária**.<http://www.infraero.gov.br/?PHPSESSID=7mgj5sotbbo2h6dl8t1aa6ngl0>. Acessado em 10 de setembro de 2016.
- INGRAM, D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**, v.5, n. 2, p. 101-107, 1971.
- KOOPMANS T.C. An Analysis of Production as an Efficace Combination of Activities in Koopmans T.C., (Ed.) Activity Analysis of Production and Allocation, **Cowles Commission for Research in Economics**, Monograph n°13, New York, John Wiley & Sons, 1951.
- KUNZ, M. e NIEMEIER, H. M. Regulating Airports: Some Lessons from the UK and Germany. Paper presented at the **4th Air Transport Research Group Conference**, Amsterdam, 2000.
- LA PORTA, Rafael; LOPEZ, Florencio. **Law and Finance**. Working Paper 5661. Cambridge. Mass. NBER, 1996
- LIANG, K. Y. e ZEGER, S.L. Longitudinal data analysis using generalized linear models. **Biometrika**, v. 73, n. 1, p. 13-22, 1986.
- LIMA, E. T.; PASIN, J. A. B. Regulação no Brasil: Colocando a Competitividade nos Trilhos. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v.6, n.12, p.169-194, Dez 1999.
- LIMA, M. M. P.; MURARI, C. A. F.; PEREIRA, M. A. Uma nova metodologia para fluxos de carga fuzzy. **SBA: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica**, v. 14, n. 1, p. 69–75, Março 2003.

- Lin, L.C., Hong, C.H., Operational performance evaluation of international major airports: An application of data envelopment analysis. **Journal of Air Transport Management** 12 (6), 342–351, 2006.
- LIU, J. S.; LU, L. Y. Y.; LU, W. M.; LIN, B. J. Y.. A survey of DEA applications. **Omega**, v. 41, n. 5, p. 893-902, 2013.
- LITTLECHILD, Stephen. **Regulation of british telecommunications profitability**. Department of Industry London, 1983.
- MARTIMORT, David, CAZENAVE, T. POUYET, J. Les crises de régulation : une approche méthodologique, in *Droit et Économie de la régulation* (M-A Frison-Roche, dir.), Dalloz / **Presses de Sciences Po**, Paris, 2005.
- MARTIN, J. C., ROMAN, C.. A benchmarking analysis of Spanish commercial airports: a comparison between SMOP and DEA ranking methods. **Networks and Spatial Economics**, 6(2), 111-134, 2006.
- MARTINS, R. S. ; LEMOS, M. B. ; CYPRIANO, L. A. ; CUTTINO, J. C. ; BOSKE, L. B. Investment Shortages in the Brazilian Transportation System: Evidence from the Agribusiness Case. In: 52nd Annual North American Meetins of the Regional Science Association International, 2005, Las Vegas - EUA. **Proceedings of...**, 2005.
- MEEUSEN, W. e VAN DEN BROECK, J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. **International economic review**, p. 435-444, 1977.
- MEGGINSON, William ; NASH, Robert; VAN RANDENBORGH, Matthias. The Financial and Operating Performance of Newly Privatized Firms: An International Empirical Analysis. **Journal of Finance**. 49. 403-52. 10.1111/j.1540-6261.1994.tb05147.x. ,1994.
- MELLO, F. J. C. **Uma abordagem quantitativa para a avaliação da qualidade em serviços**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- NICOLETTI, M. d. C.; CAMARGO, H. d. A. **Fundamentos da teoria de conjuntos Fuzzy**. [S.l.]: São Carlos, 2004. (Apontamentos, 65).
- MEYSSONNIER F. Le contrôle de gestion des services : Réflexion sur les fondements et l'instrumentation , **Comptabilité Contrôle Audit**, vol. 18, n° 2, p. 73-98, 2012.
- MOTTA, M. **Competition Policy. Theory and Practice**. 12th. Printing. Cambridge: Cambridge University Press, 2004
- NIELSEN, L. D.; JESPERSEN, P. H.; PETERSEN, T.; Hansen, L. G. Freight transport-growth – a theoretical and methodological framework. **European Journal of Operational Research**, 144: 295 –305, 2003.
- NORUZOLIAEE, M., ZOU, B., & ZHANG, A. Airport partial and full privatization in a multi-airport region: Focus on pricing and capacity. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 77, 45-60, 2015
- OLIVEIRA, Gesner; FUJIWARA, Thomas; MACHADO, Eduardo L. **A Experiência Brasileira com Agências Reguladoras**. In: SALGADO, Lucia H.; MOTTA, Ronaldo S.

- Marcos Regulatórios no Brasil: O que foi feito e o que falta fazer. Rio de Janeiro: IPEA, 2005. p.163-197.
- OWEN, Wilfred. **Estratégia para os transportes**. São Paulo, Pioneira, 1975
- OUM, T. H., ZHANG, A., ZHANG, Y. Alternative Forms of Economics Regulation and their Efficiency Implications for Airports. **Journal of Transport Economics and Policy**. Volume 38, Part 2, p. 217-246, 2004.
- OUM, T.H., ADLER, N. YU, C. Privatization, corporatization, ownership forms and their effects on the performance of the world's major airports. **Journal of air Transport management**, 12(3), 109–121, 2006.
- OUM, T.H., ADLER, N., Yu, C.A comparative analysis of productivity performance of the world's major airports: summary report of the ATRS global airport benchmarking research report—2002. **Journal of Air Transport Management** 9, 285–297, 2003.
- OUM, T. H., YAN, J., YU, C. Ownership forms matter for airport efficiency: a stochastic frontier investigation of worldwide airports. **Journal of Urban Economics**, 64(2), 422-435, 2008.
- PAL, N. R.; SARKAR, K. What and when can we gain from the kernel versions of c-means algorithm? Fuzzy Systems, **IEEE Transactions on**, v. 22, n. 2, p. 363–379, 2014.
- PANZAR, John C.; WILLIG, Robert D. Free Entry and the Sustainability of Natural Monopoly. **The Bell Journal of Economics**. Vol. 8, No. 1, pp. 1-22, 2003.
- PARKER, D. The performance of BAA before and after privatisation: A DEA study. **Journal of Transport Economics and Policy**, 33(2), 133-145, 1999.
- PEDRAJA -CHAPARRO, F., J. Salinas-Jimenez, P. Smith On the Quality of the Data Envelopment Analysis Model. **The Journal of the Operational Research Society** 50 (6), 636 - 644, 1999.
- PELS, E., P. NIJKAMP., RIETVELD, P. Relative efficiency of European airports, **Transport Policy**, 8(3), 183-192, 2001.
- PERELMAN, S., SEREBRISKY, T. Measuring the technical efficiency of airports in Latin America- **Utilities Policy**, 2012.
- PINDYCK, Robert S. RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia**.Prentice Hall . - 7ª Ed. Saraiva.São Paulo, 2010.
- PIRES, Silvio R.I. **Supply Chain Management**. <<http://www.numa.org.br>> Acessado em 27/11/2013.
- POSSAS, M. Os conceitos de mercado relevante e de poder de mercado no âmbito da defesa da concorrência. **Revista do IBRAC**, 3 (5), 1996.
- POSSAS, M. Elementos para uma integração micro-macrodinâmica na teoria do desenvolvimento econômico. **Revista Brasileira de Inovação**, v.1, n.1, 2002.
- POSSAS, M. Eficiência Seletiva: uma Perspectiva Neo-Schumpeteriana Evolucionária sobre Questões Econômicas Normativas. **Revista de Economia Política**, vol. 24, nº 1 (93), janeiro-março/2004

- POSSAS, M. L. ; FAGUNDES, J. ; PONDE, J. L. Defesa da Concorrência e Regulação de Setores de Infraestrutura em Transição. **Revista do IBRAC**, São Paulo, SP, v. 8, n.8, p. 99-121, 2001.
- RODRIGUES, R. **O mercado da aviação doméstica no Brasil: o processo de desregulação comparado com a experiência norte-americana, sob o enfoque da teoria política positiva da regulação** – dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Brasília, 2003.
- R Core Team (2016). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- SALGADO, Lúcia. MOTTA, Ronaldo. **Marcos Regulatórios no Brasil: O que foi feito e o que falta fazer**. 2005 < http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1017&context=lucia_salgado > acessado em 10 de agosto de 2014
- SALGADO, Lucia. **Defesa da Concorrência no Brasil: Aspectos Institucionais**, Desempenho Recente e Perspectivas de Reforma. IPEA. 2009. <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=4625> Acessado em 10 de agosto de 2014.
- SANTOS, A.F. **Aplicação de técnicas fuzzy e mineração de dados para detecção e invasão em redes de computadores**. Dissertação de Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.128. 2016.
- SCOTTI, D., MALIGHETTI, P., MARTINI, G., VOLTA, N. The impact of airport competition on technical efficiency: a stochastic frontier analysis applied to Italian airports. **Journal of Air Transport Management** 22, 9e15,2012.
- SENGUPTA, J. Nonparametric efficiency analysis under uncertainty using data envelopment analysis, **International Journal of Production Economics** 95(1), 39–49. 2005.
- SHARKEY, W. **The Theory of Natural Monopoly**. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-27194-3, 1982.
- SHARMA, M.J., & JIN, Y.S. **Self Organizing Maps Infusion with Data Envelopment Analysis**.Disponível: <<http://cdn.intechweb.org/pdfs/13293.pdf>>. Acessado em 10 de agosto de 2016.
- SHERPHARD, R. W., **Theory of cost and production functions**. Princeton: Princeton University Press, 1970.
- SHORT, J.; KOPP, A. Transport infrastructure: investment and planning – Policy and research aspects. **Transport Policy**, 12, p. 360-367, 2005.
- SIMAR, L. et WILSON, P.W. Nonparametric Test of Returns to Scale. **European Journal of Operational Research** 139: 115-132, 2002.
- SIMAR, L. et WILSON, P.W. Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. **Management science**, v. 44, n. 1, p. 49-61, 1998.

- SIMAR, L. et WILSON, P.W. A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of applied statistics*, v. 27, n. 6, p. 779-802, 2000.
- SAKAWA, M. **Fuzzy sets and interactive multiobjective optimization**. 1. ed. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1993. Janeiro: Lumen Juris, 2001.
- SMITHSON, M. e MERKLE, E. C. **Generalized Linear Models for Categorical and Continuous Limited Dependent Variables**, 2014.
- SOUTO, Marcos. **Desestatização, privatização, concessões e terceirizações**. 3.ed. Rio de ROSS, T. J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. [S.l.]: University of New Mexico, Albuquerque, 2009.
- SOUSA, Raimunda Alves de; PRATES, Haroldo Fialho. O processo de desestatização da RFFSA: principais aspectos e primeiros resultados. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, n. 8, 1997.
- STARKIE, D. Reforming UK Airport Regulation, **Journal of Transport Economics and Policy**, 35, 119 -35, 2001.
- STIGLER, George. **The Theory of Economic Regulation**. **Bell Journal of Economics and Management Science**. 2.,1971.
- THENET G. **Un modèle d'imputation des coûts à partir de l'approche Data Envelopment Analysis (DEA)**. in Ducrocq C. et Levant Y., 2012, *Contrôle de Gestion, Comptabilité, Stratégie, Mélanges en l'honneur du Professeur Michel Gervais*, 2012.
- THENET G., GUILLOUZO R. La conception de la technologie comme boîte noire par le contrôle de gestion bancaire : la mesure de la performance opérationnelle des agences par la méthode DEA (Data Envelopment Analysis), **23e congrès de l'AFC**, mai, 21 pages, 2002.
- TOBIN, J. Estimation of relationships for limited dependent variables. **Econometrica: journal of the Econometric Society** ,1958.: 24-36.
- TRETHERWAY, M. W. Airport Ownership, Management and Price Regulation, **Report to the Canadian Transportation Act Review Committee**, Ottawa, 2001.
- VICKERS, J. YARROW,G. **Privatization: An economic analysis**. The Mit Press, Cambridge, MA, 1991.
- VISCUSI, W.K; Vernon, J.M; e Harrington, J.E. **Economics of Regulation and Anti-trust**. Cambridge, Mass., The MIT Press, 2005.
- YOKOMI, M.,. Measurement of Malmquist Index of Privatized BAA plc. Paper presented at the **9th ATRS Conference 2005**, Rio de Janeiro, 2005.
- YOSHIDA, Y., FUJIMOTO, H. Japanese-airport benchmarking with the DEA and endogenous-weight TFP methods: testing the criticism of overinvestment in Japanese regional airports. **Transportation Research Part E, Logistics and Transportation Review**, 40(6), 533-546, 2004.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.
- ZEILEIS, A. **Object-oriented computation of sandwich estimators**, 2006.

ZHANG, A.;ZHANG, Y. Airport charges and capacity expansion: effects of concessions and privatization. **Journal of Urban Economics**, 53(1): 54-75, 2003.

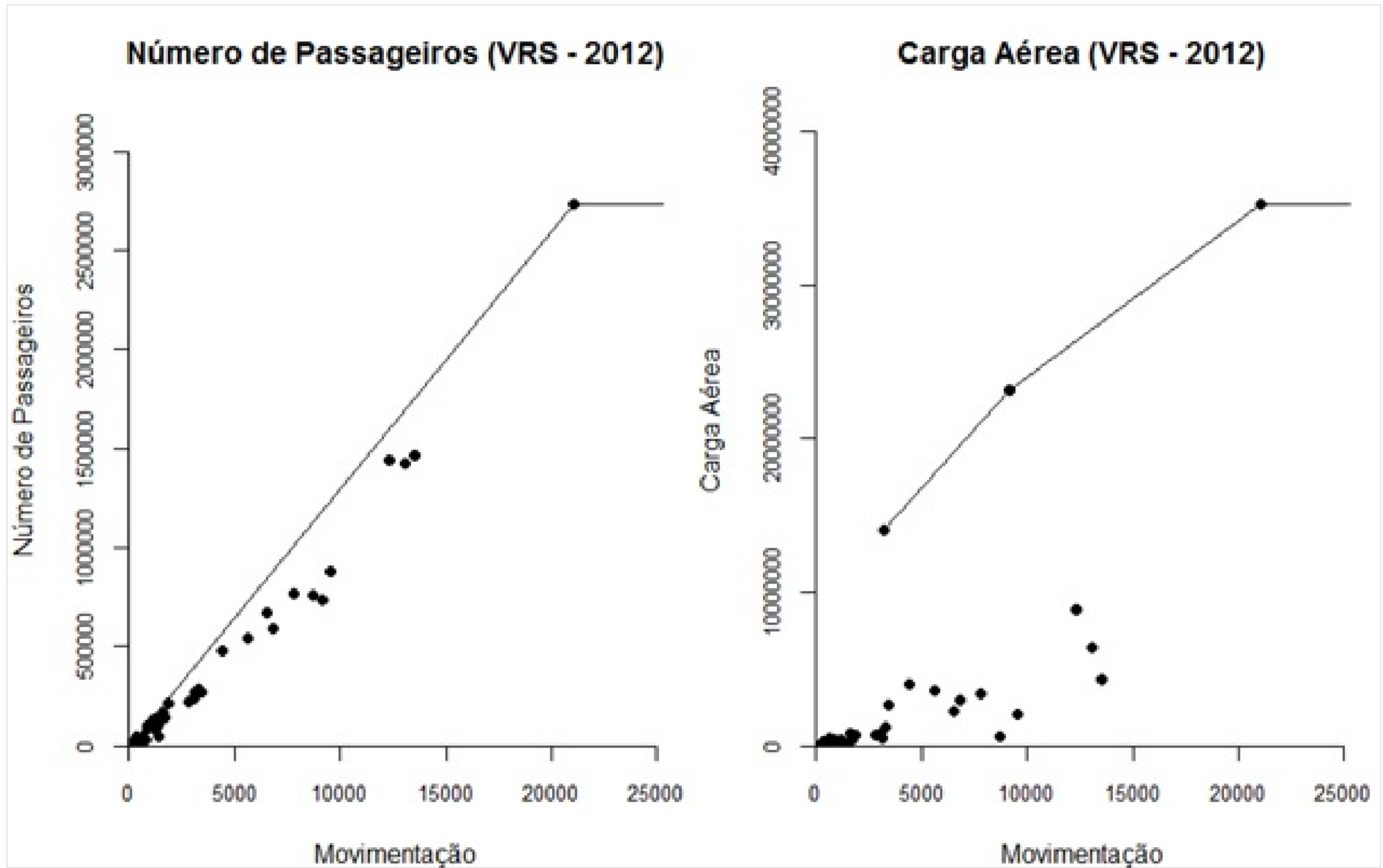
WANKE, Peter F. . Physical infrastructure and flight consolidation efficiency drivers in Brazilian airports: A two-stage network-DEA approach. **Journal of Air Transport Management** , v. 31, p. 1-5, 2013.

WANKE, P. F. Efficiency of Brazil's airports: Evidences from bootstrapped DEA and FDH estimates. **Journal of Air Transport Management**, v. 23, p. 47-53, 2012.

WORLD BANK. World development report: **Infrastructure for development**. Washington, 1994.

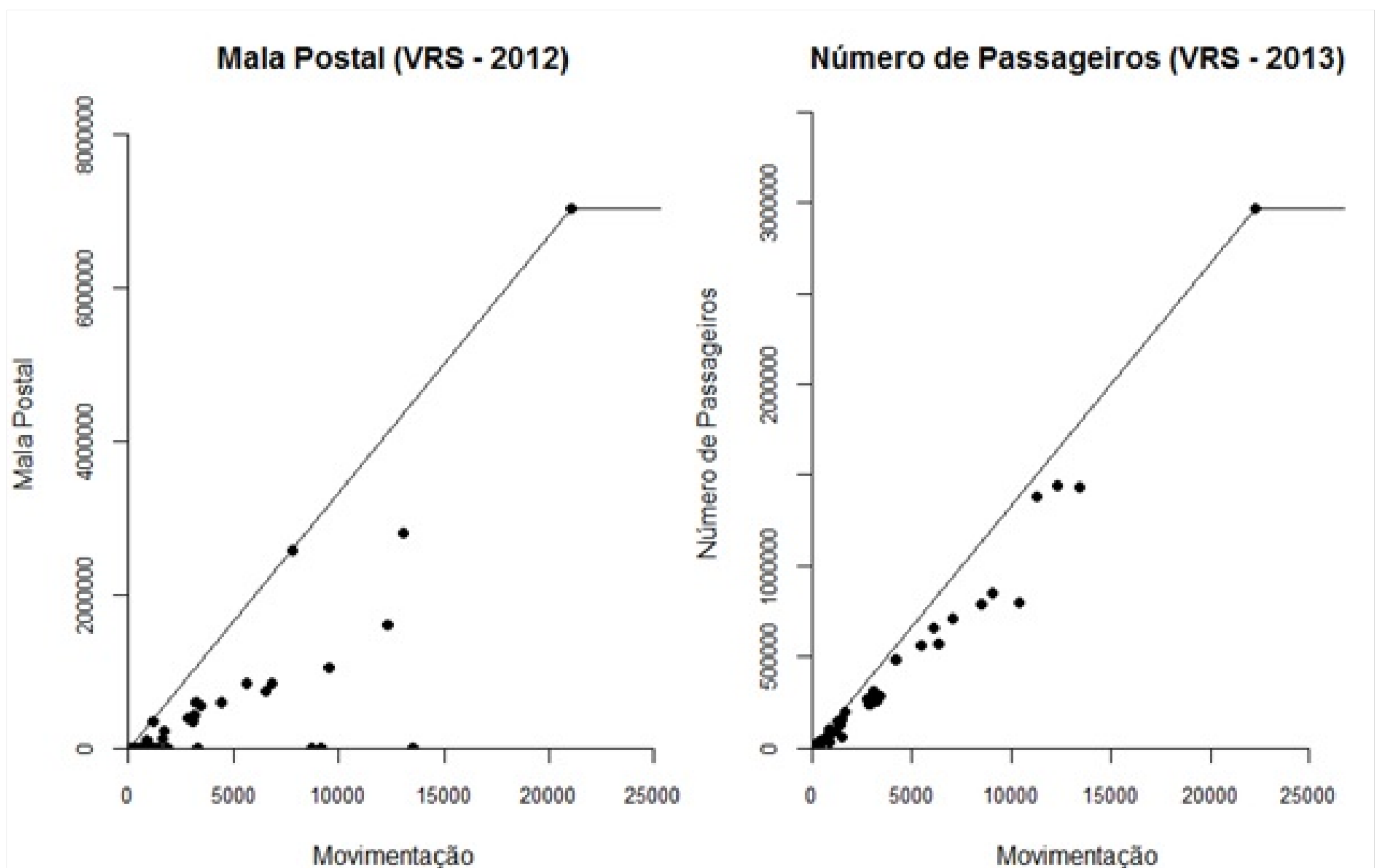
Anexos

Figura 60 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS



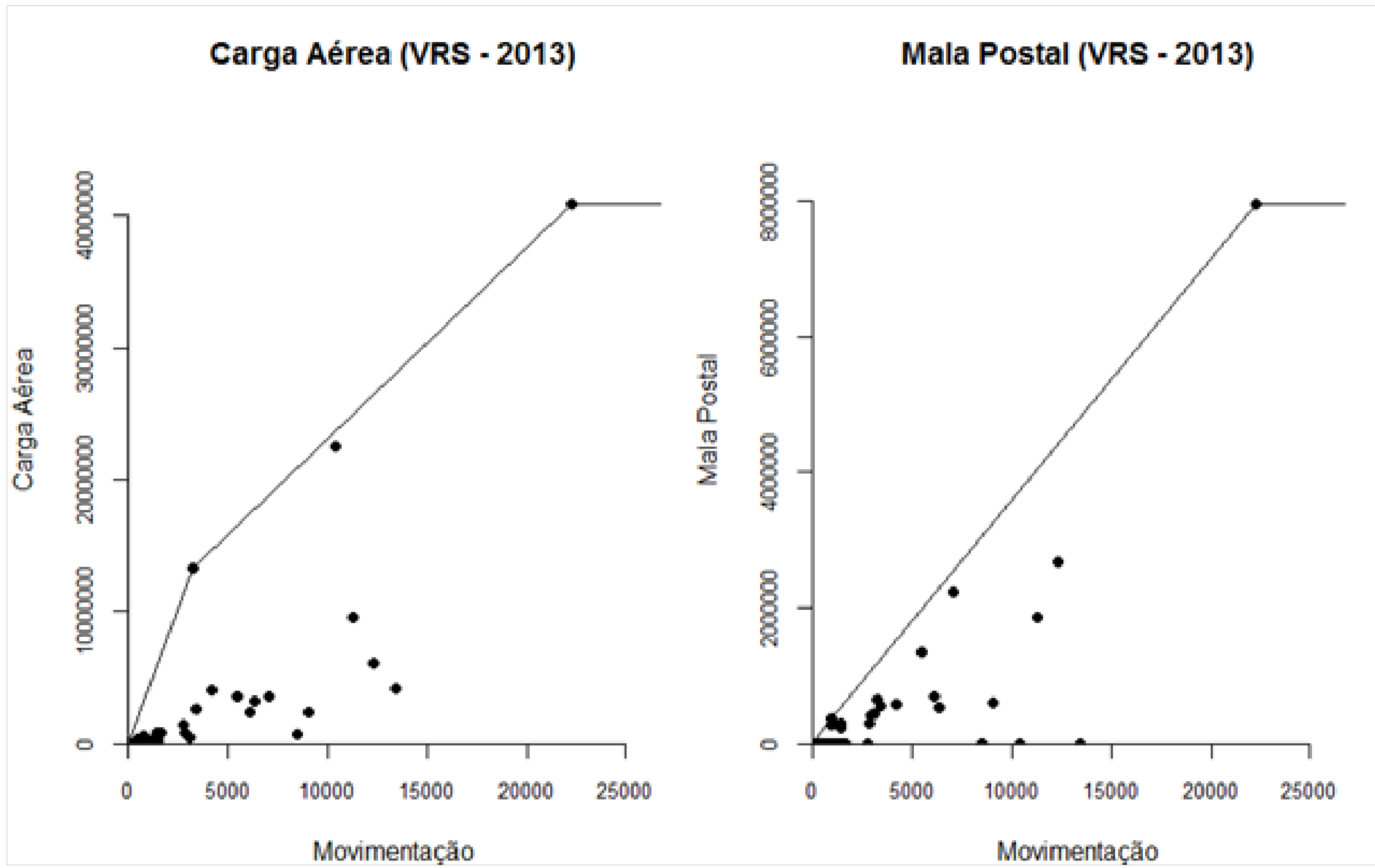
Fonte: Elaboração própria

Figura 61 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS



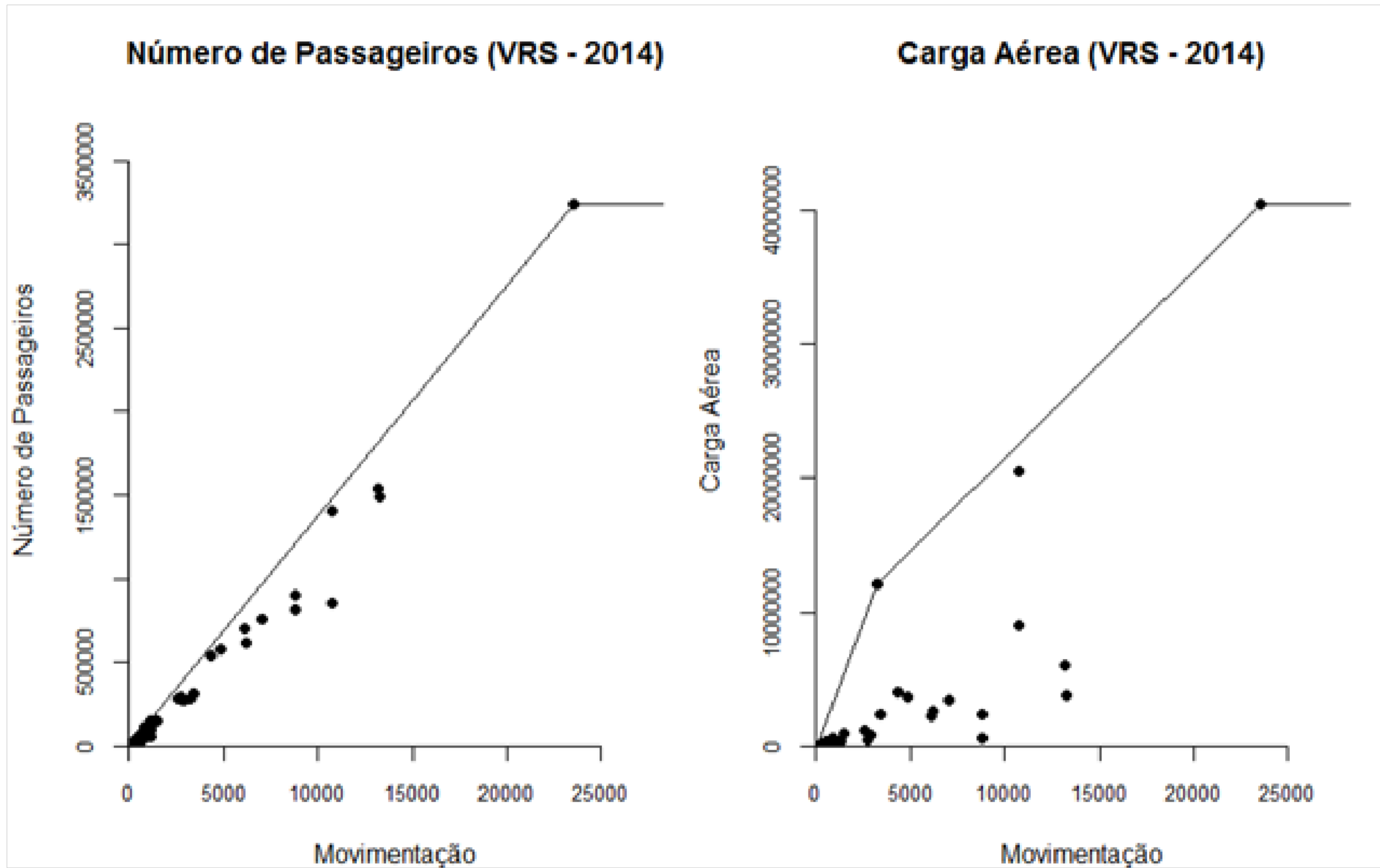
Fonte: Elaboração própria

Figura 62 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS



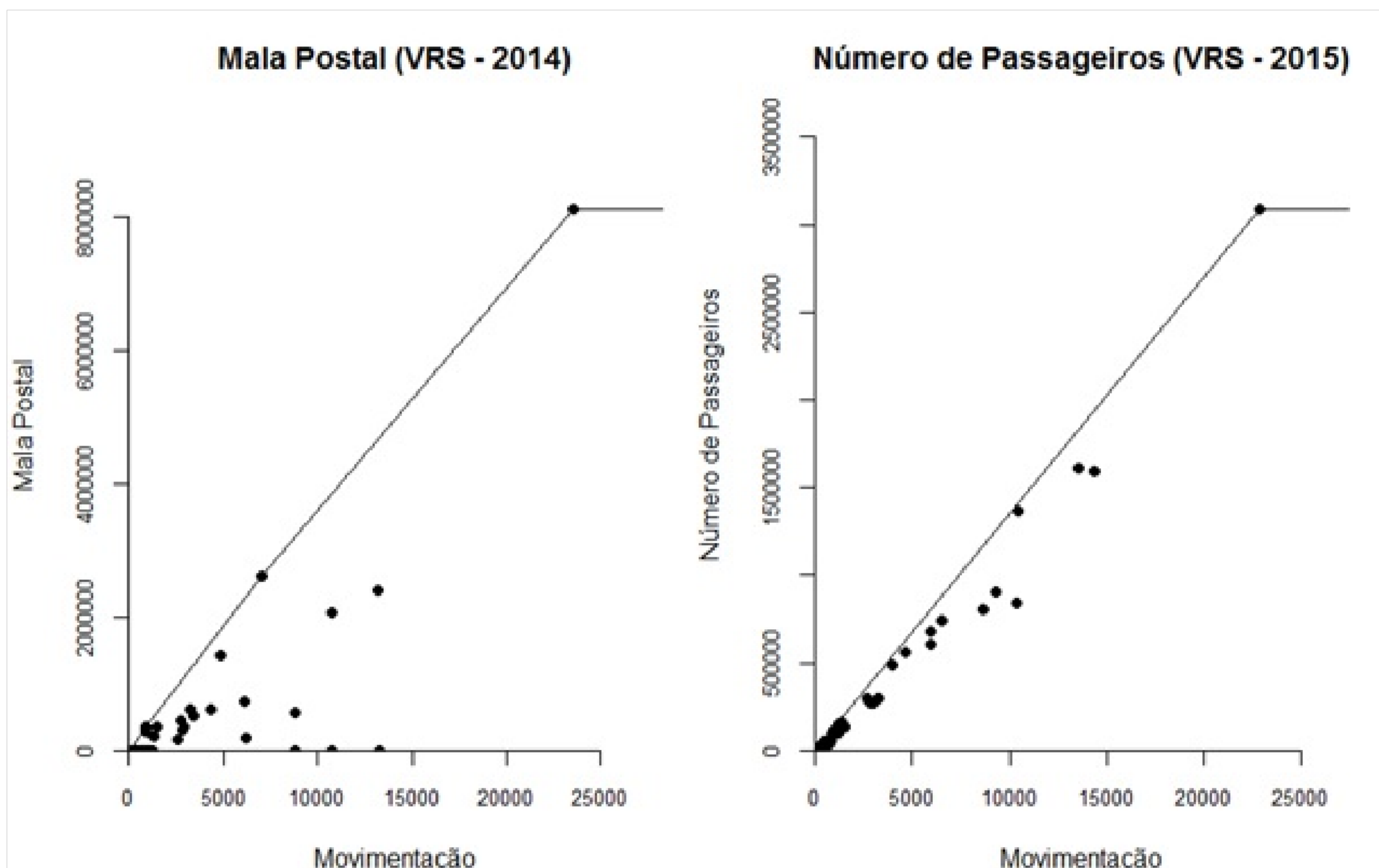
Fonte: Elaboração própria

Figura 63 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS



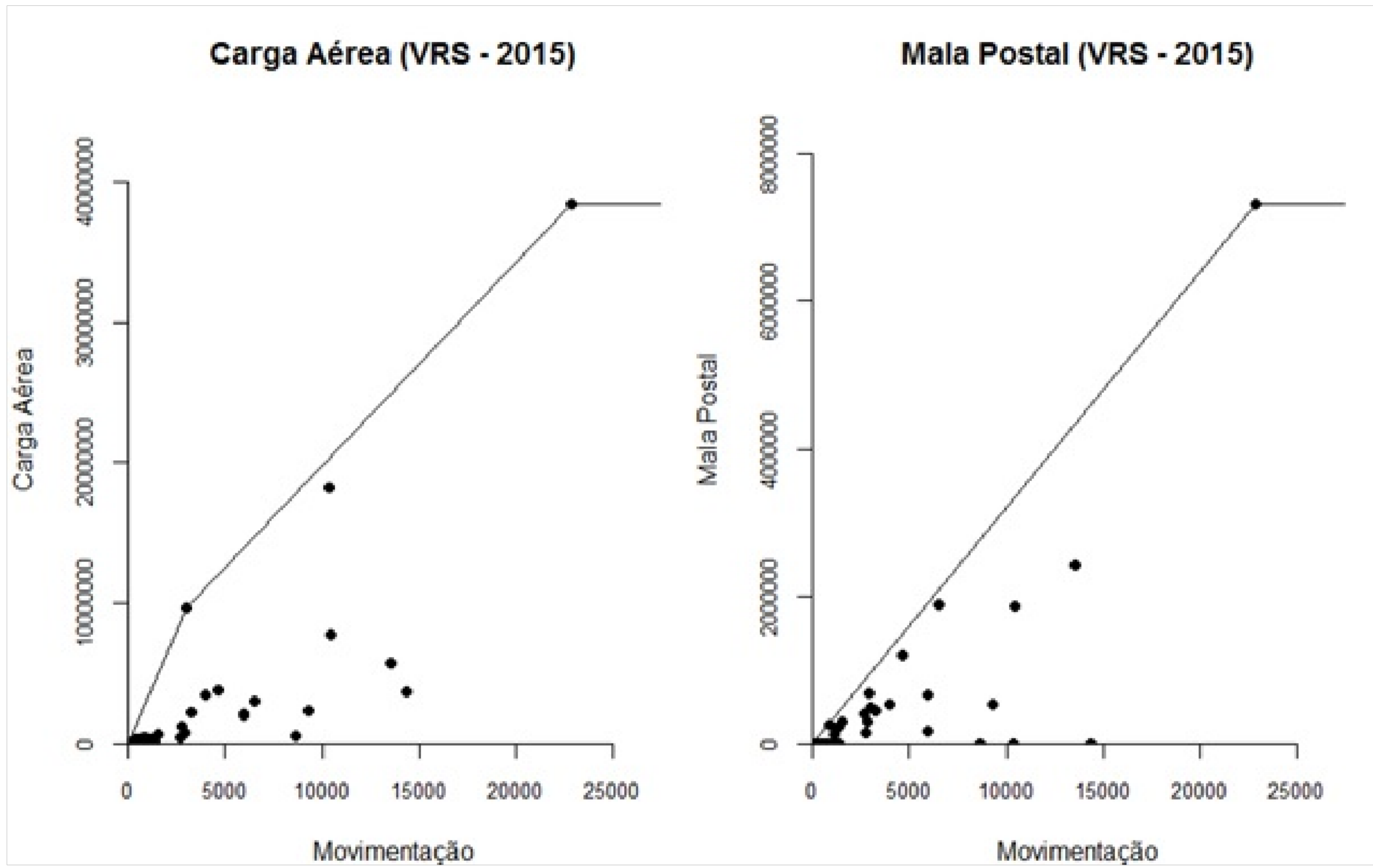
Fonte: Elaboração própria

Figura 64 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS



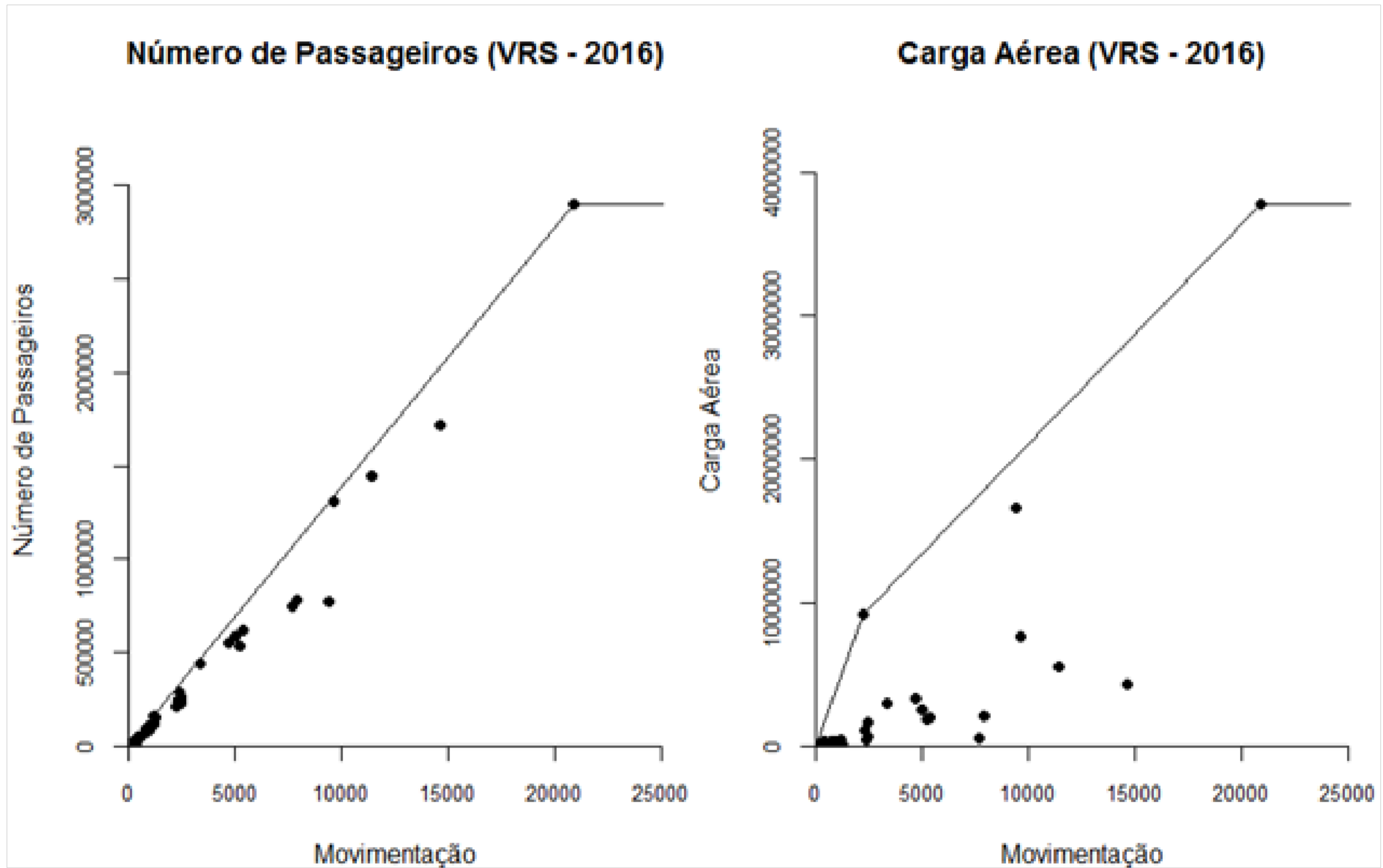
Fonte: Elaboração própria

Figura 65 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS



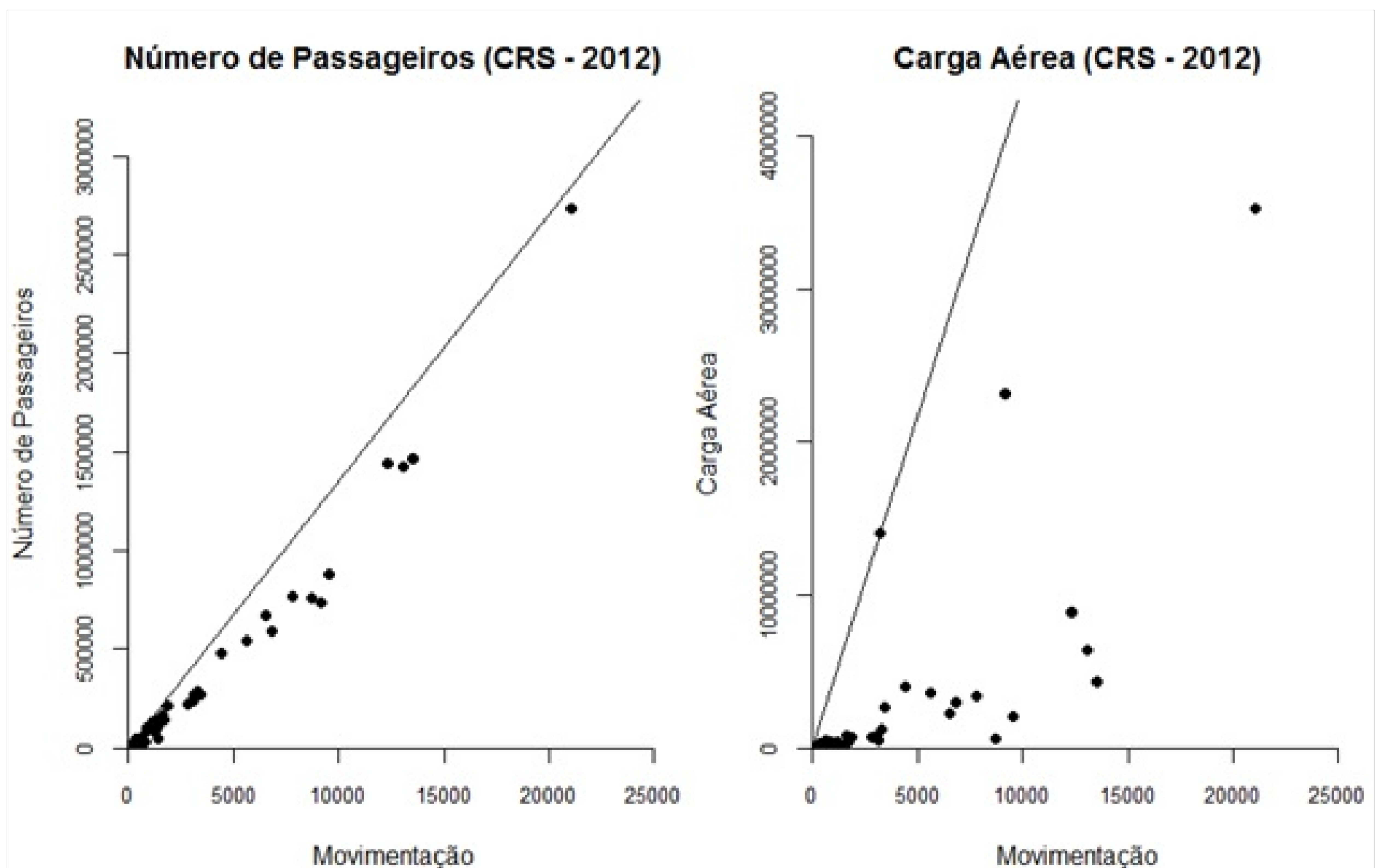
Fonte: Elaboração própria

Figura 66 – Gráfico de dispersão das eficiências VRS



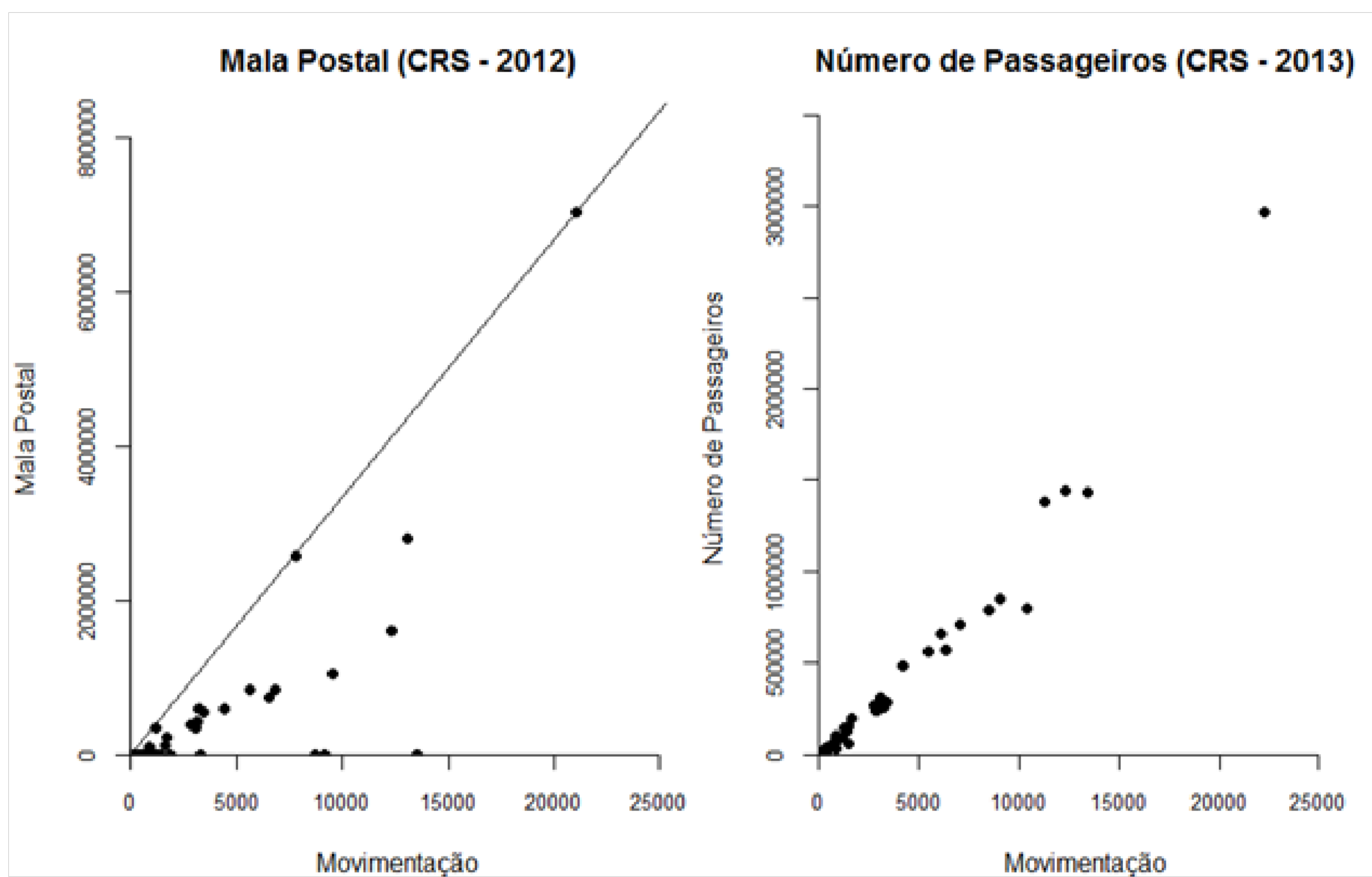
Fonte: Elaboração própria

Figura 67 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



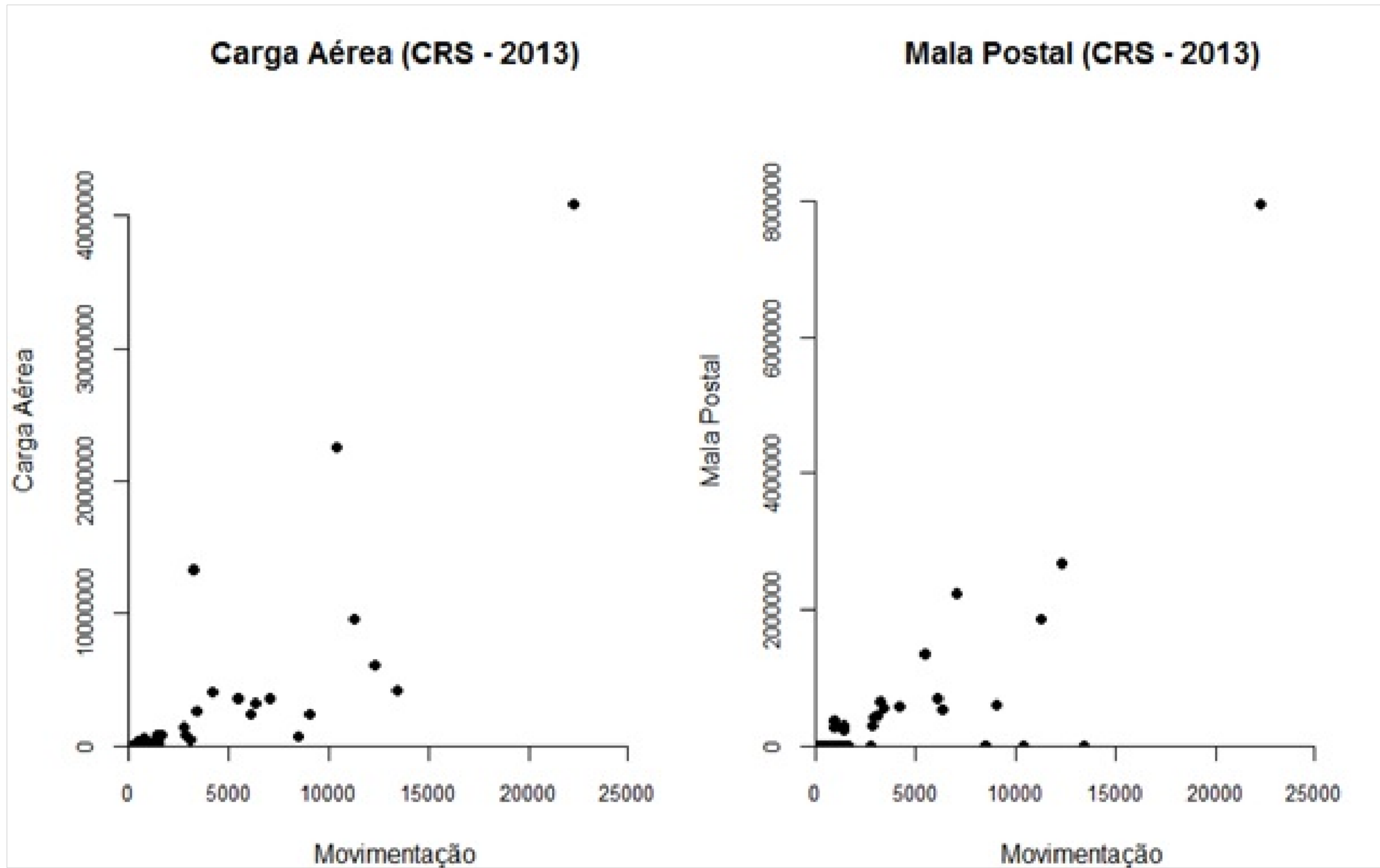
Fonte: Elaboração própria

Figura 68 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



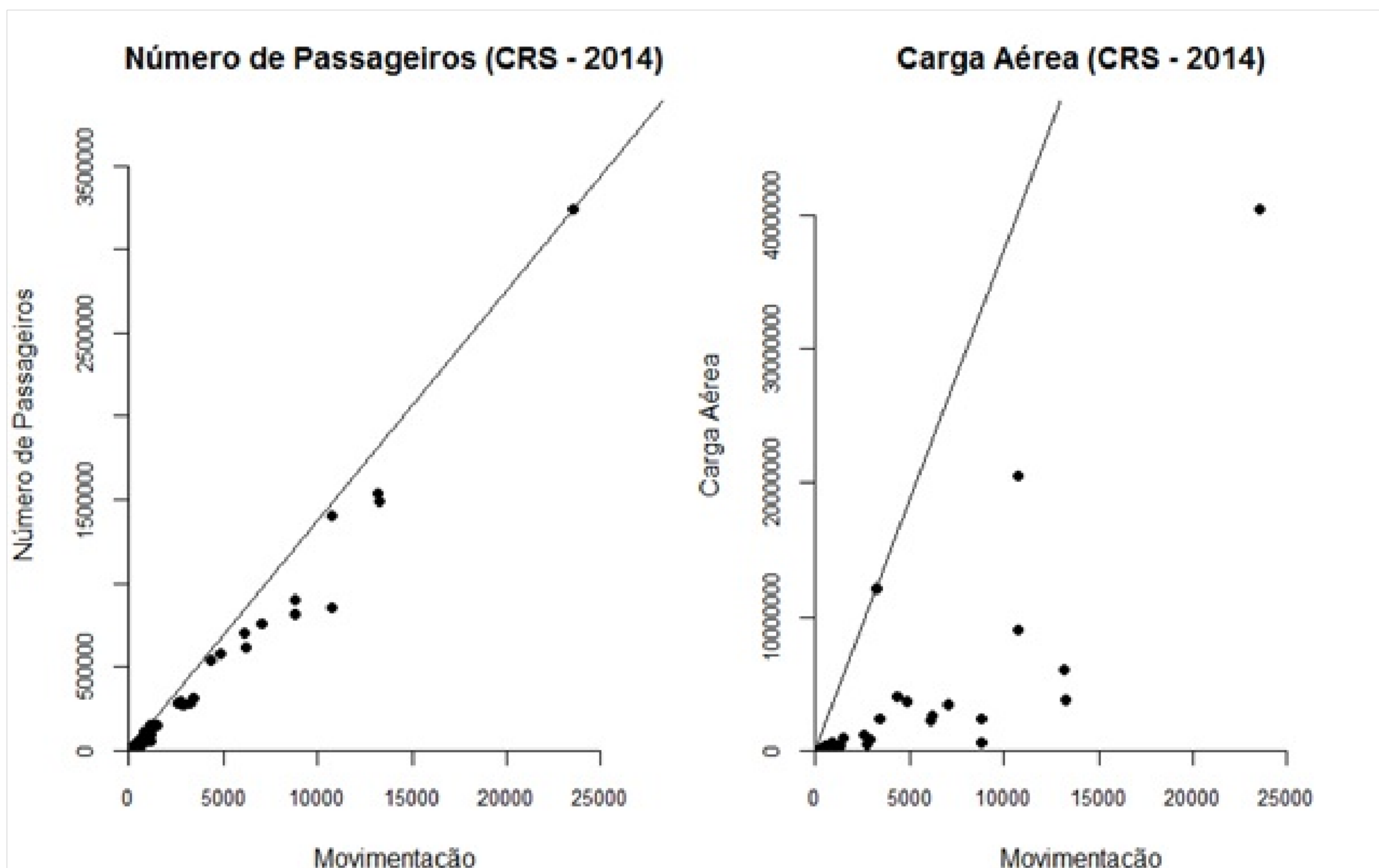
Fonte: Elaboração própria

Figura 69 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



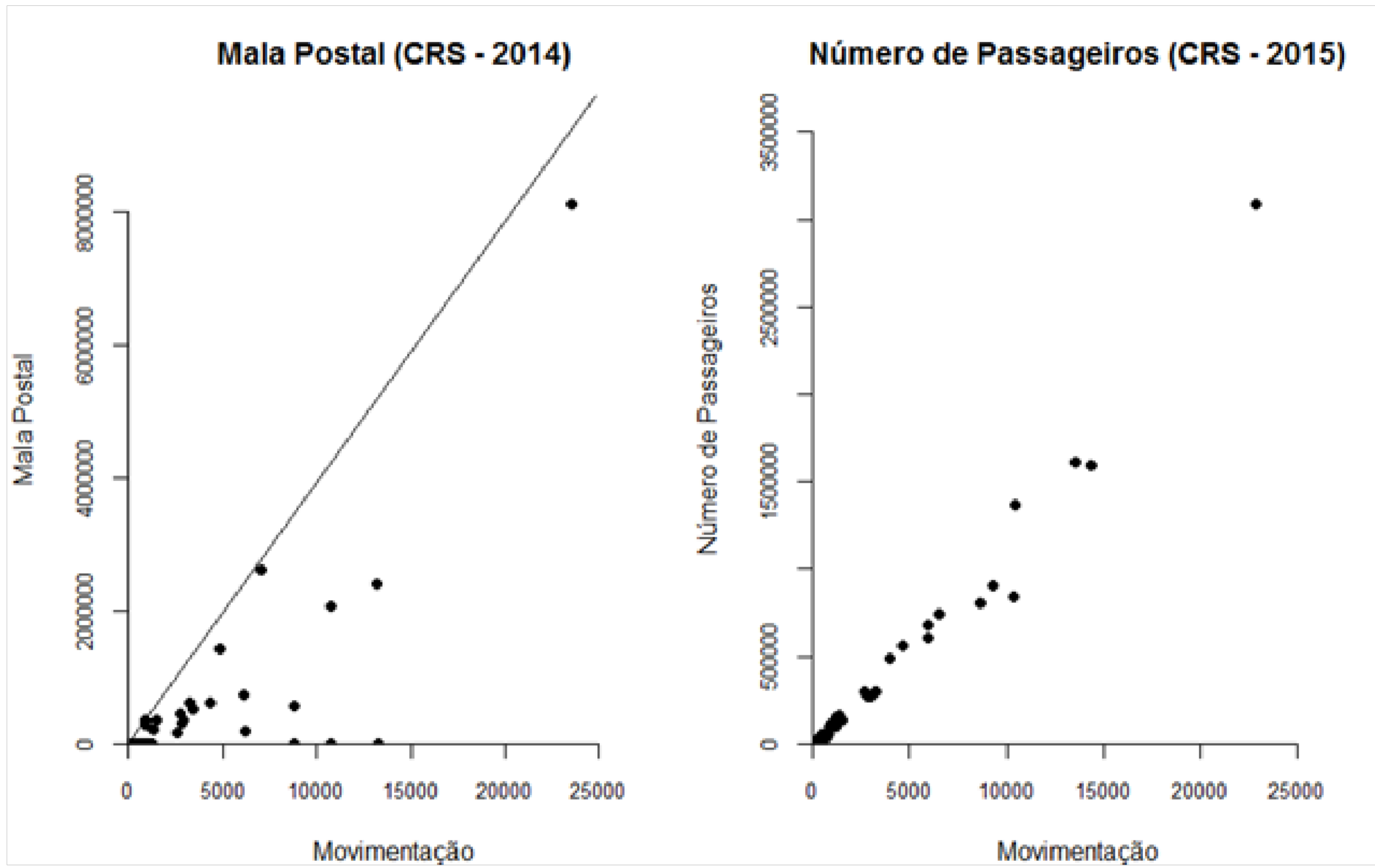
Fonte: Elaboração própria

Figura 70 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



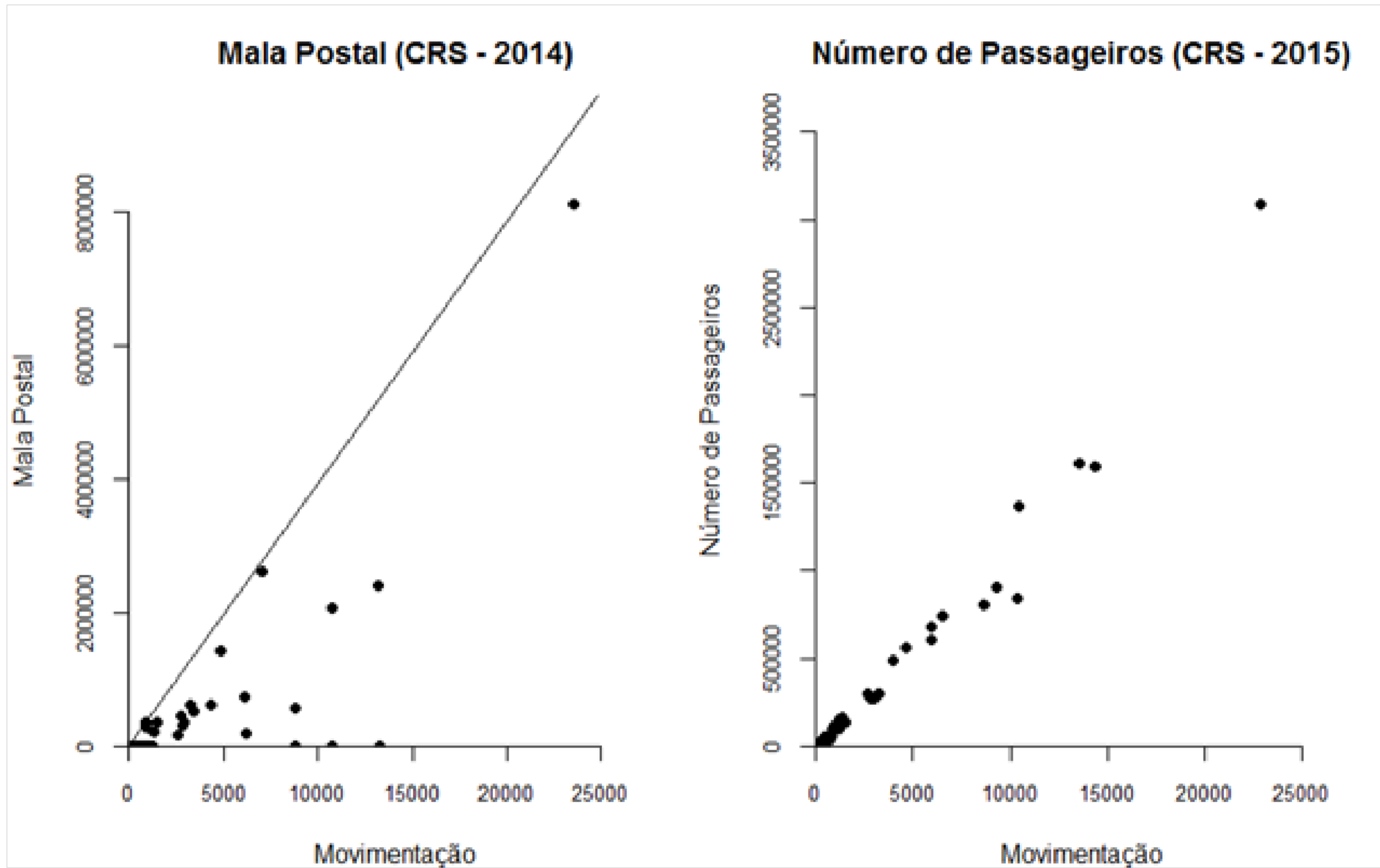
Fonte: Elaboração própria

Figura 71 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



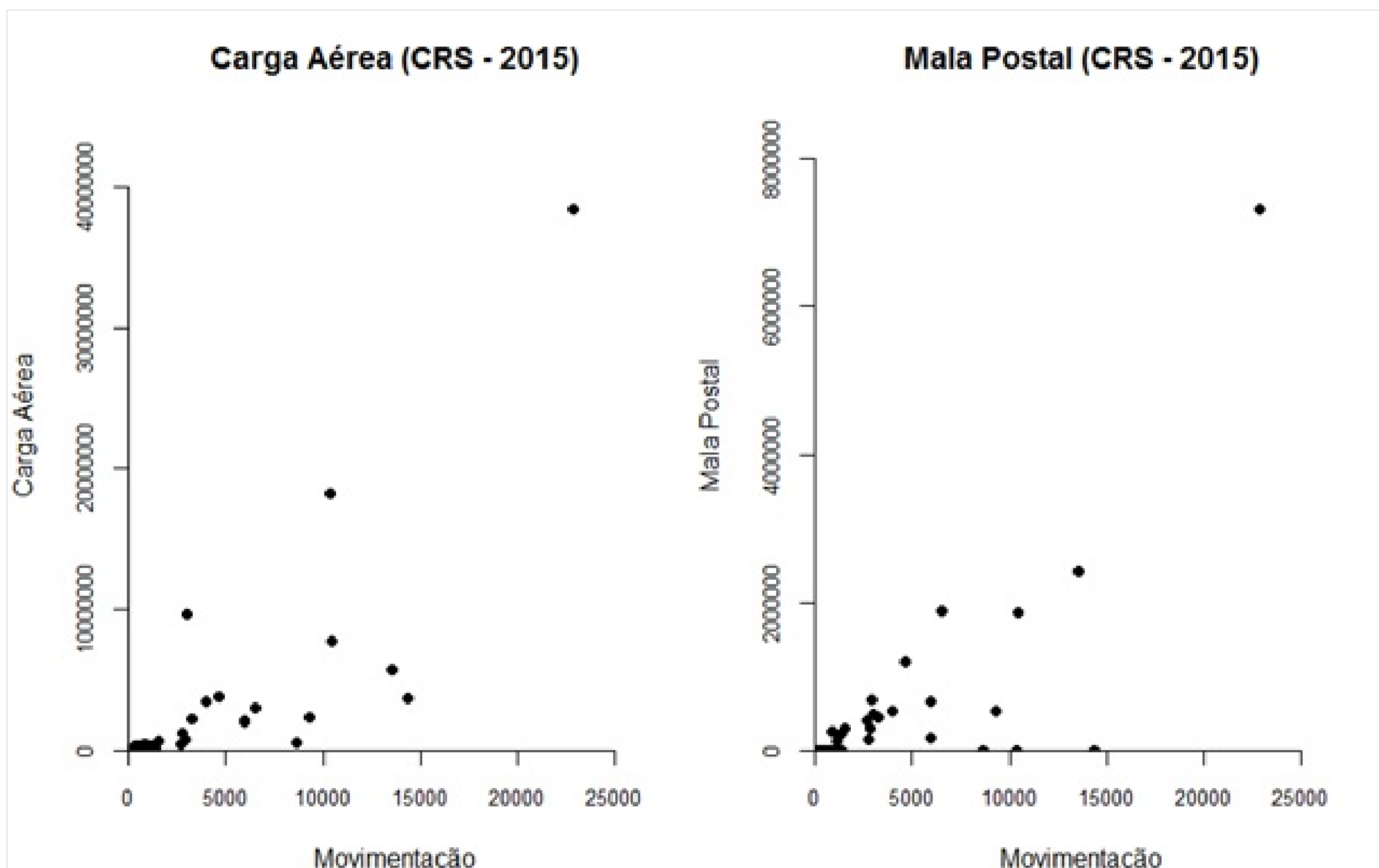
Fonte: Elaboração própria

Figura 72 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



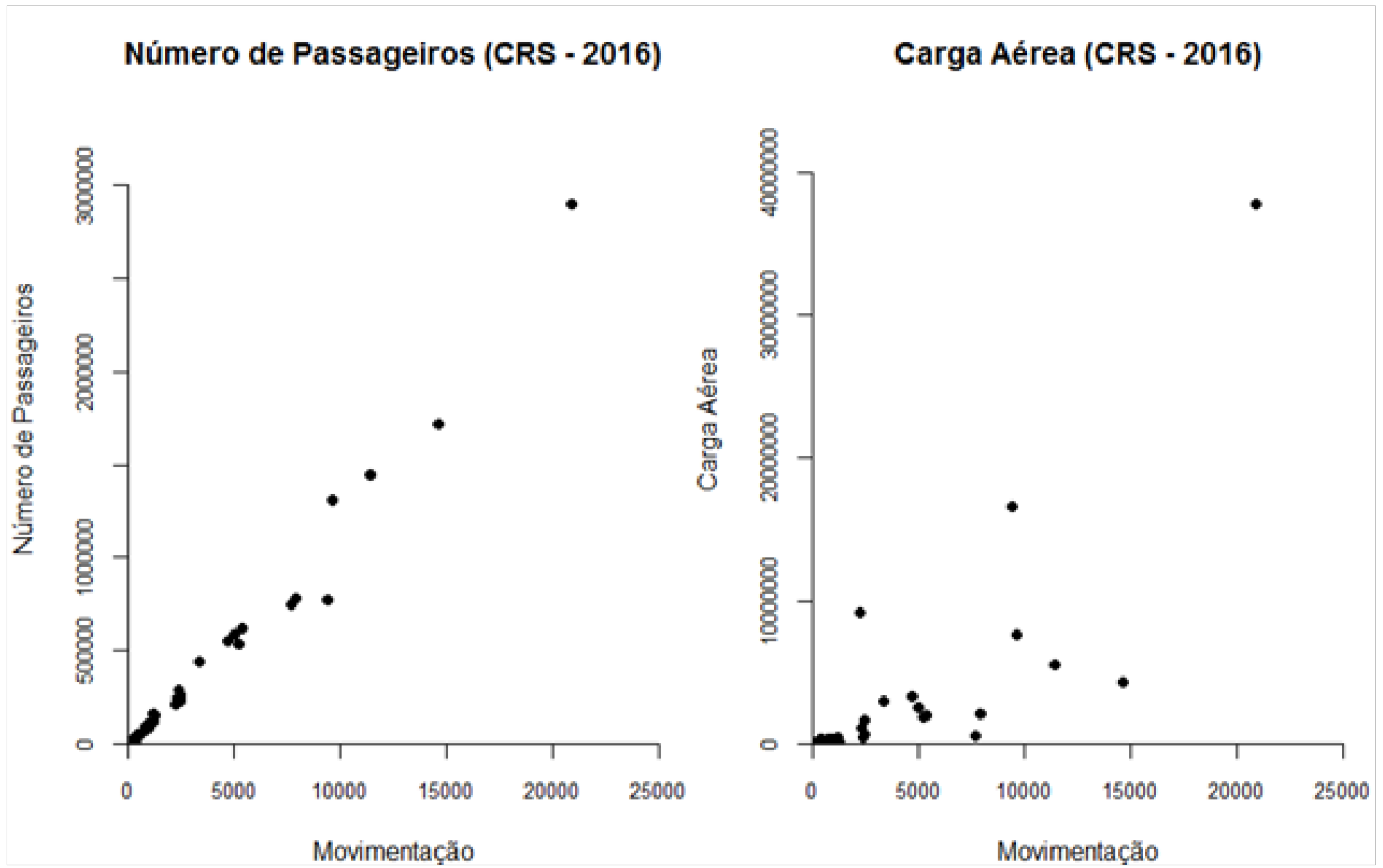
Fonte: Elaboração própria

Figura 73 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



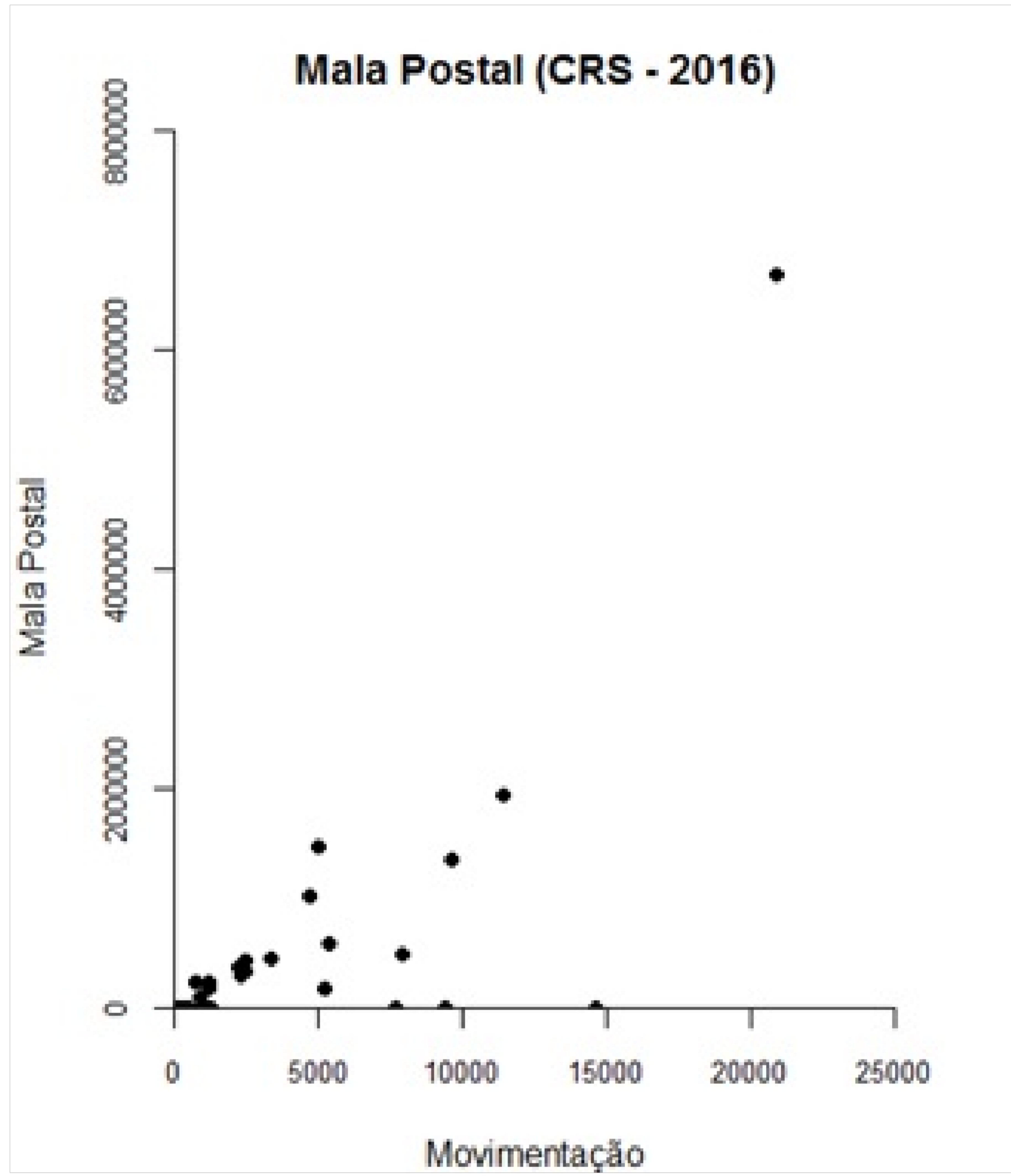
Fonte: Elaboração própria

Figura 74 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



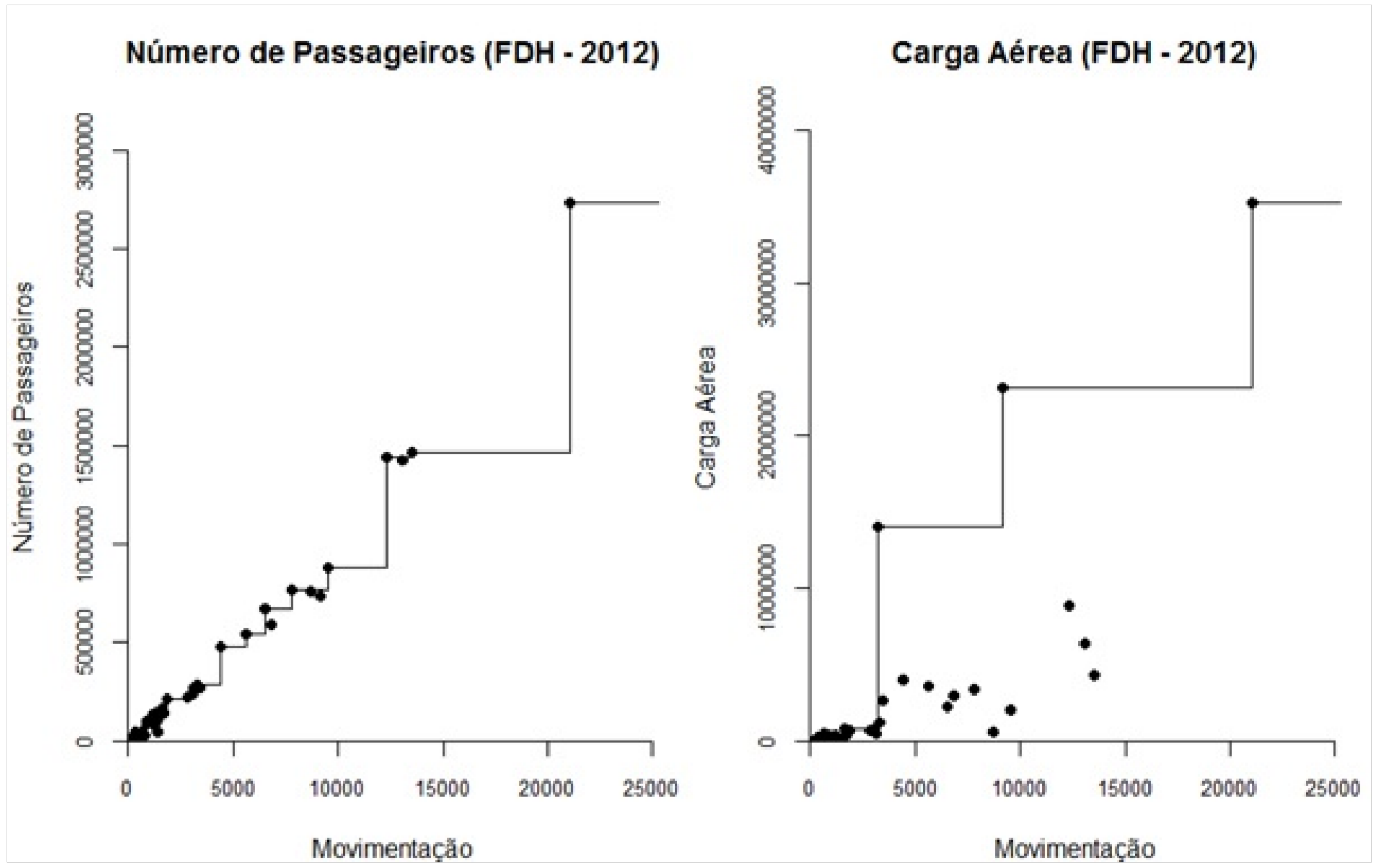
Fonte: Elaboração própria

Figura 75 – Gráfico de dispersão das eficiências CRS



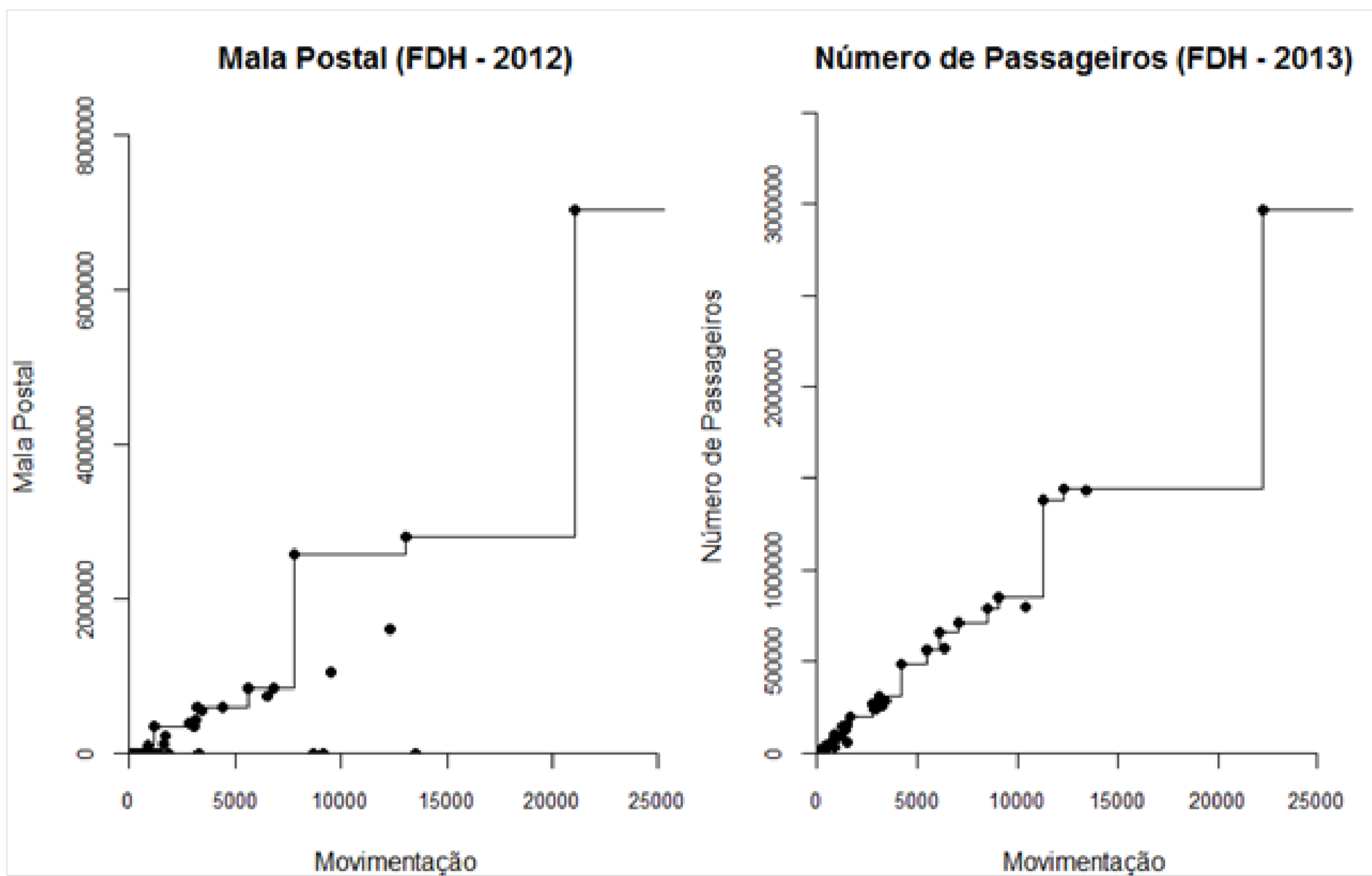
Fonte: Elaboração própria

Figura 76 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



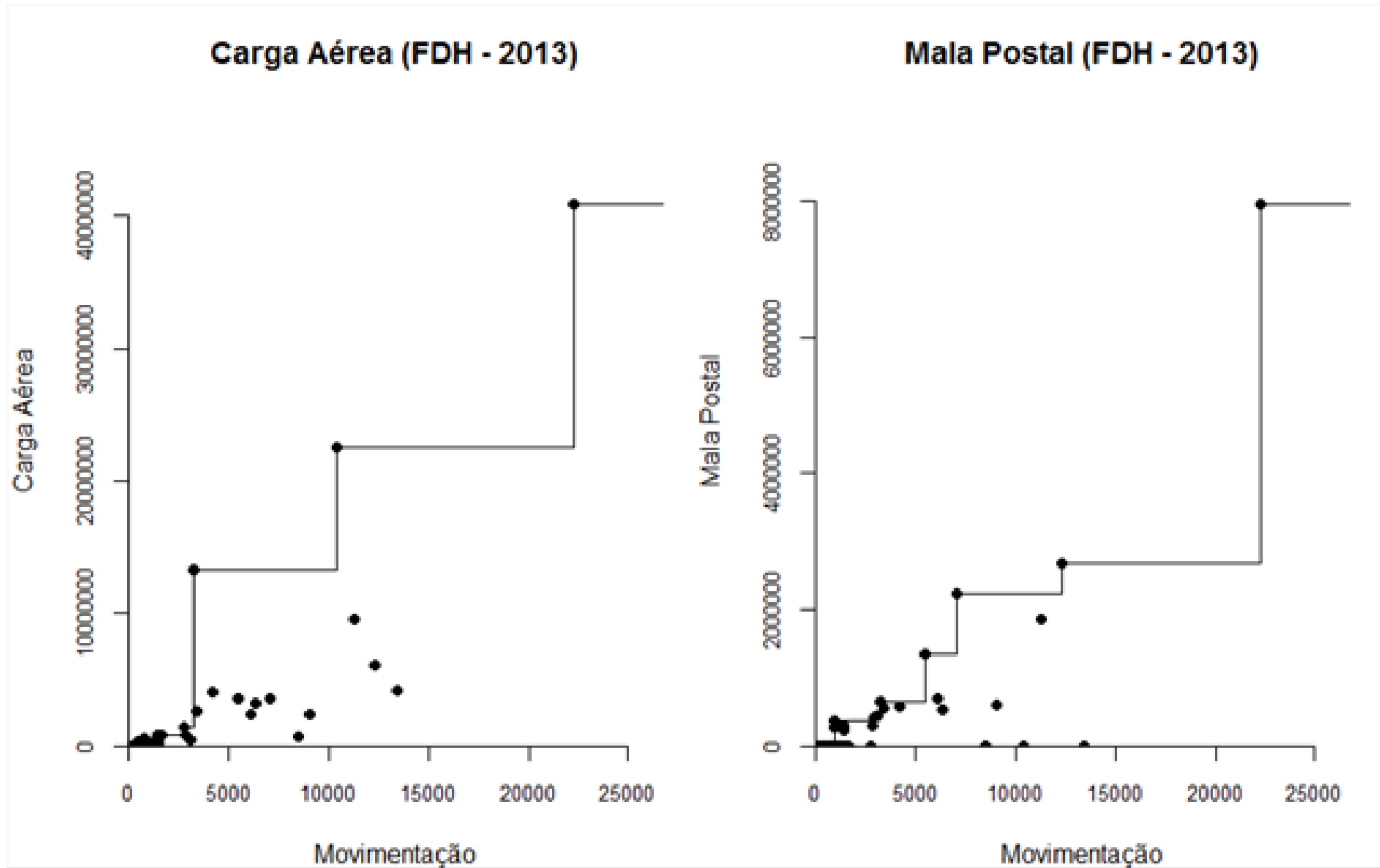
Fonte: Elaboração própria

Figura 77 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



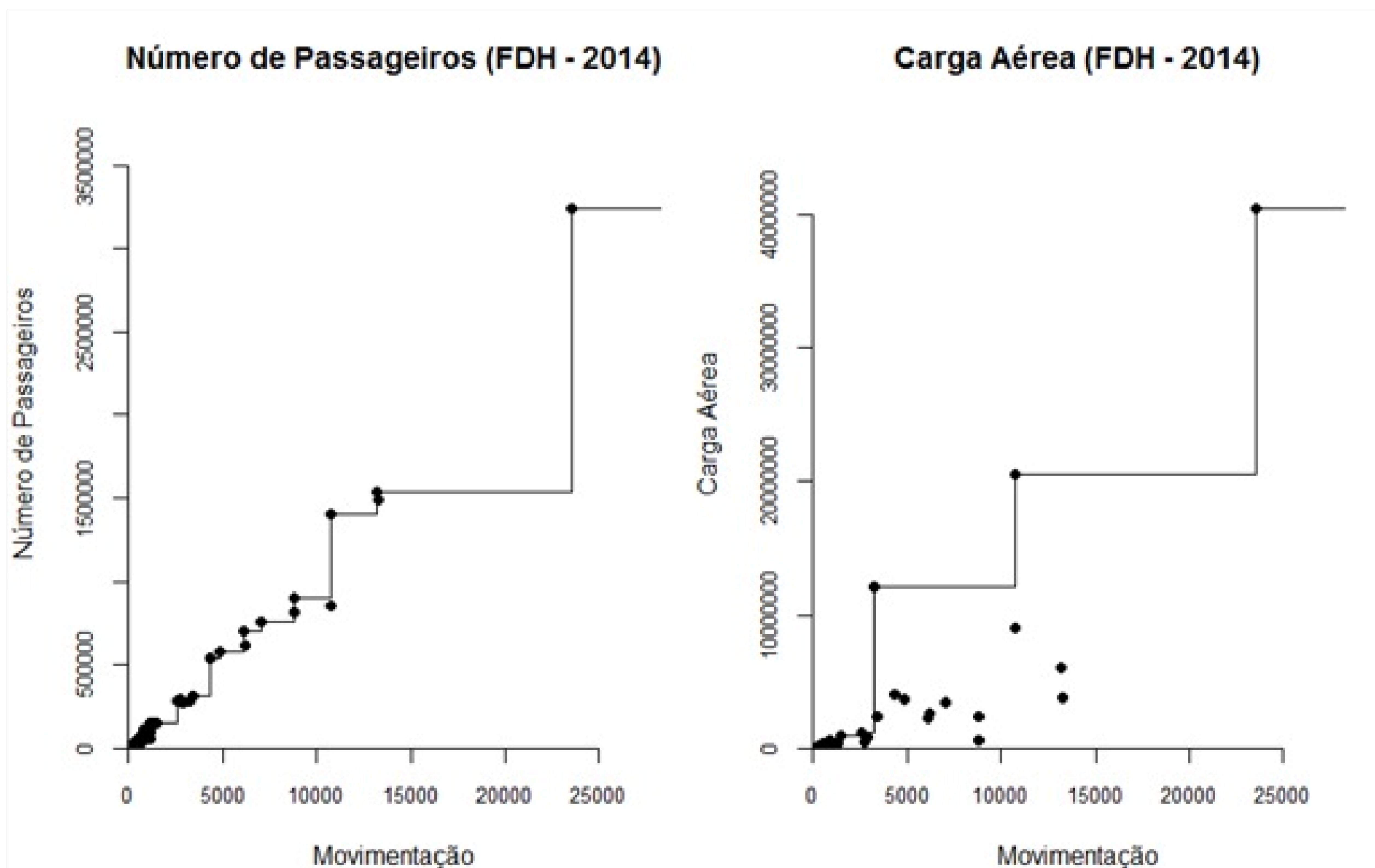
Fonte: Elaboração própria

Figura 78 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



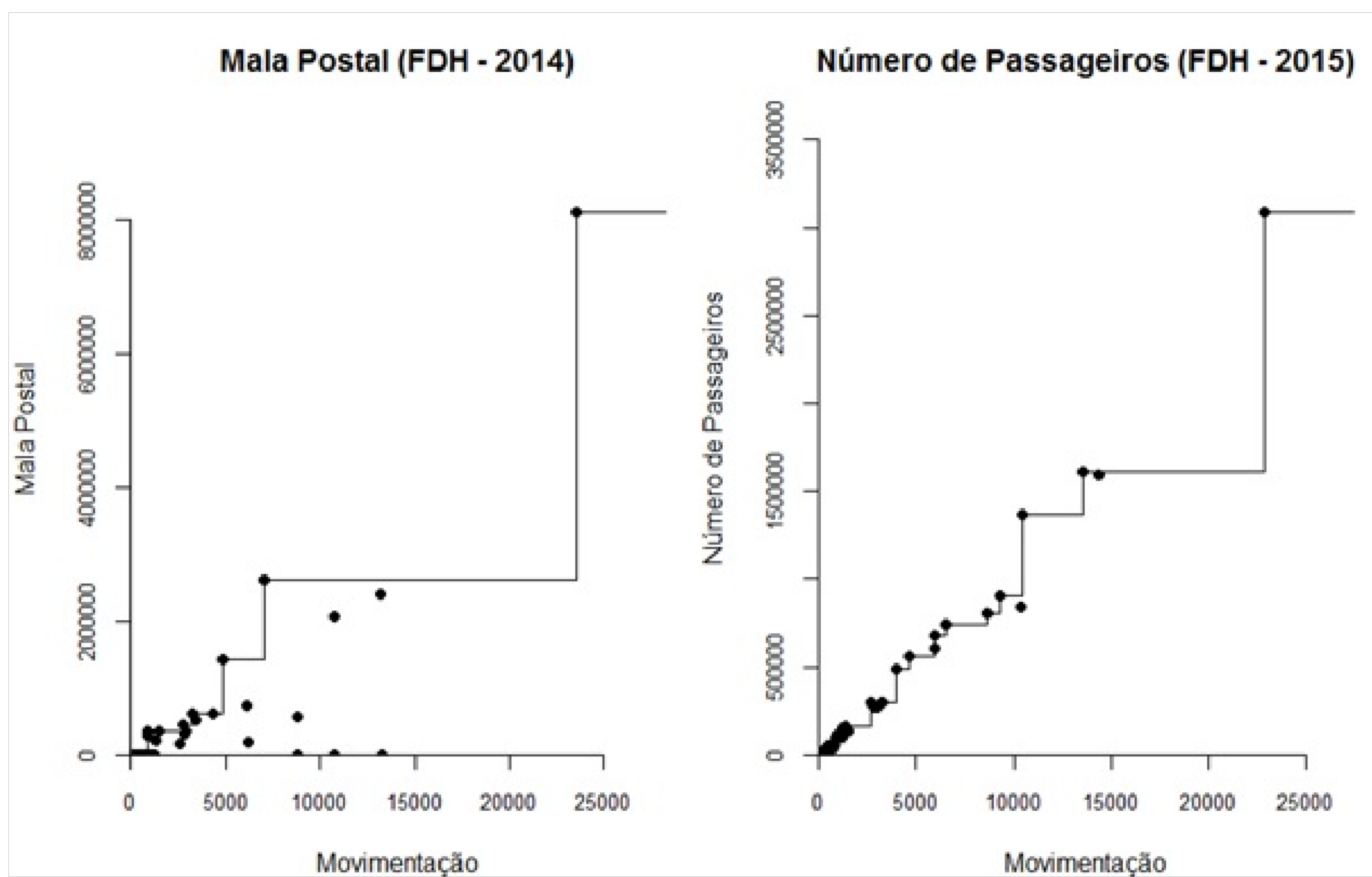
Fonte: Elaboração própria

Figura 79 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



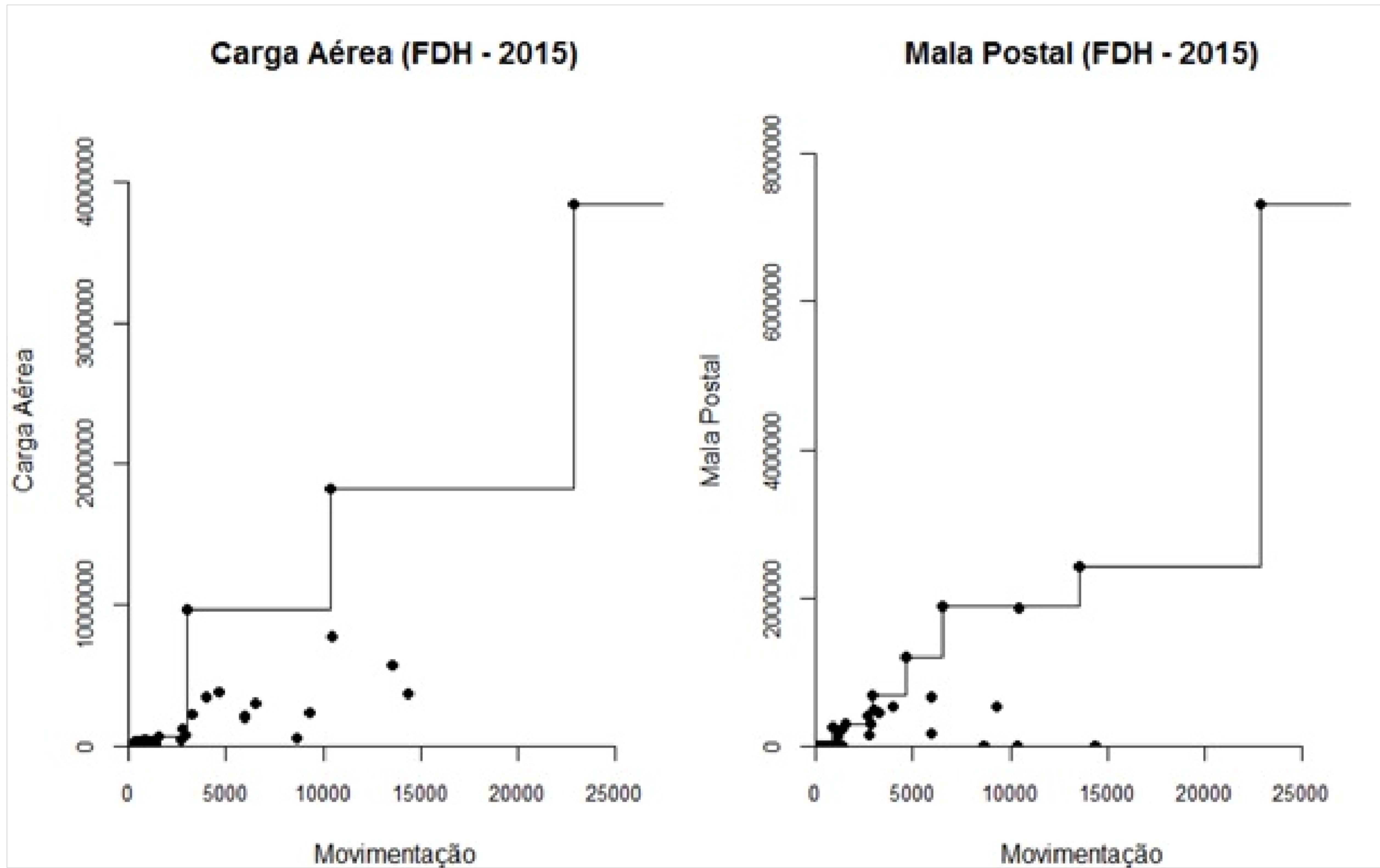
Fonte: Elaboração própria

Figura 80 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



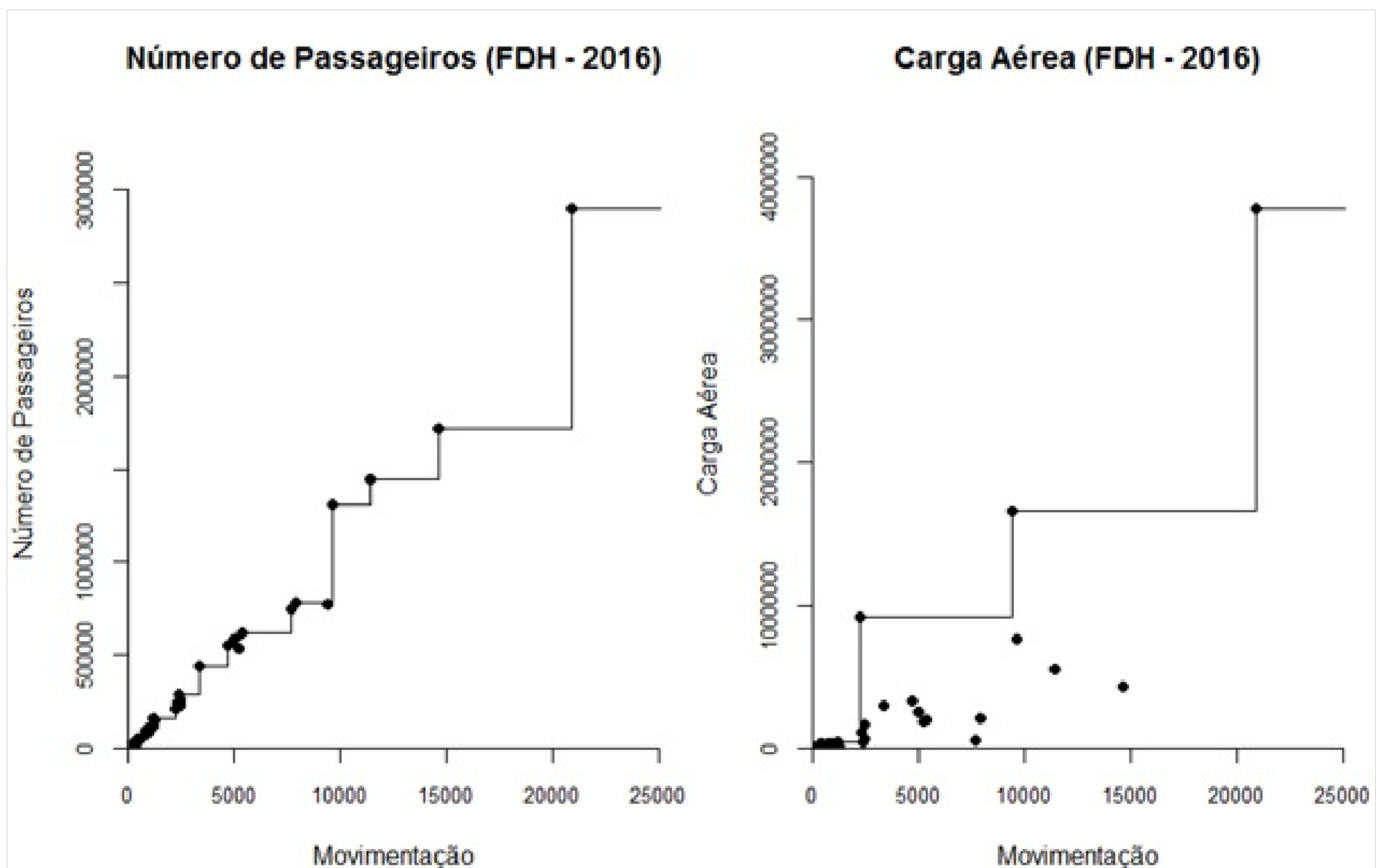
Fonte: Elaboração própria

Figura 81 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



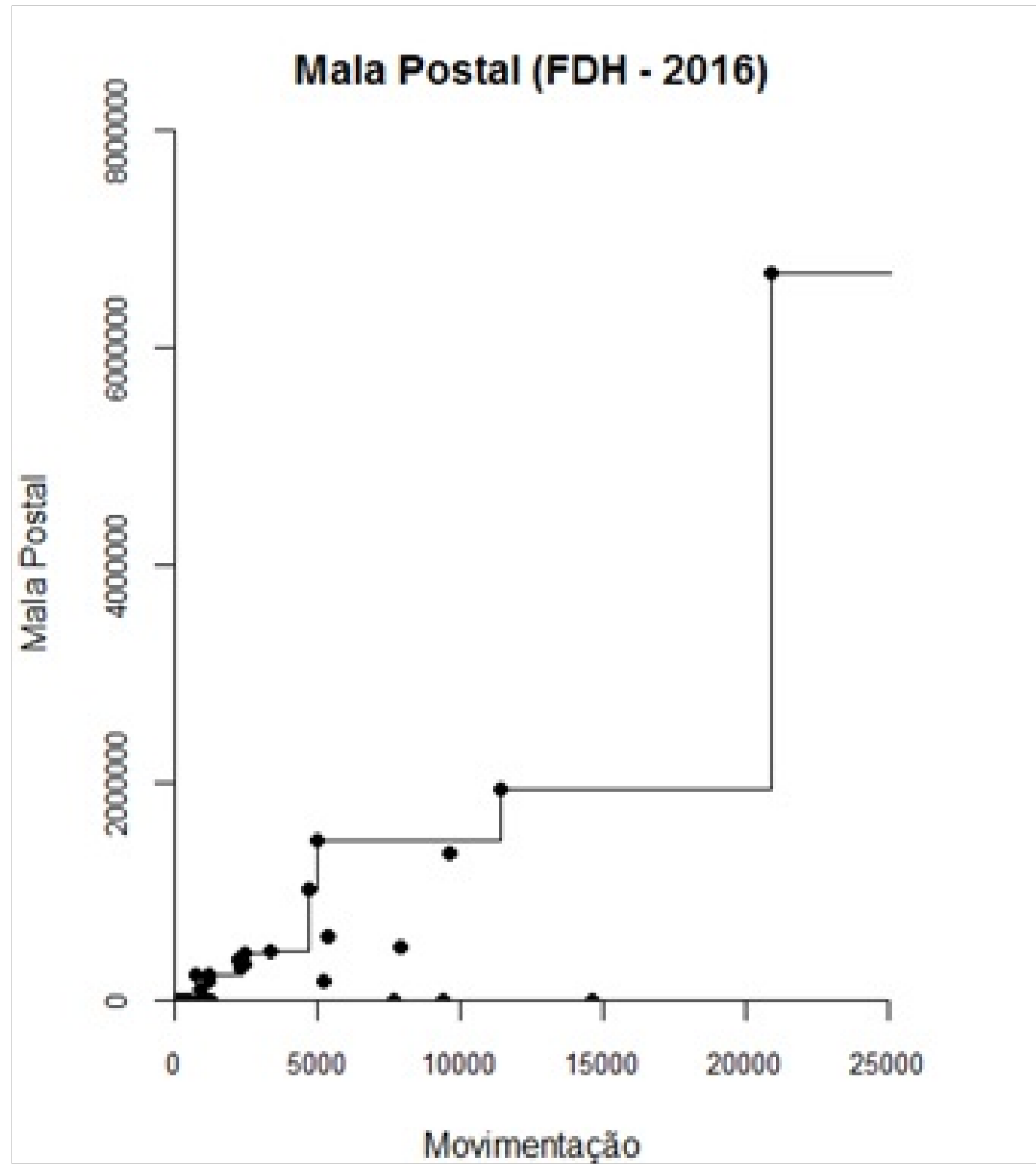
Fonte: Elaboração própria

Figura 82 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



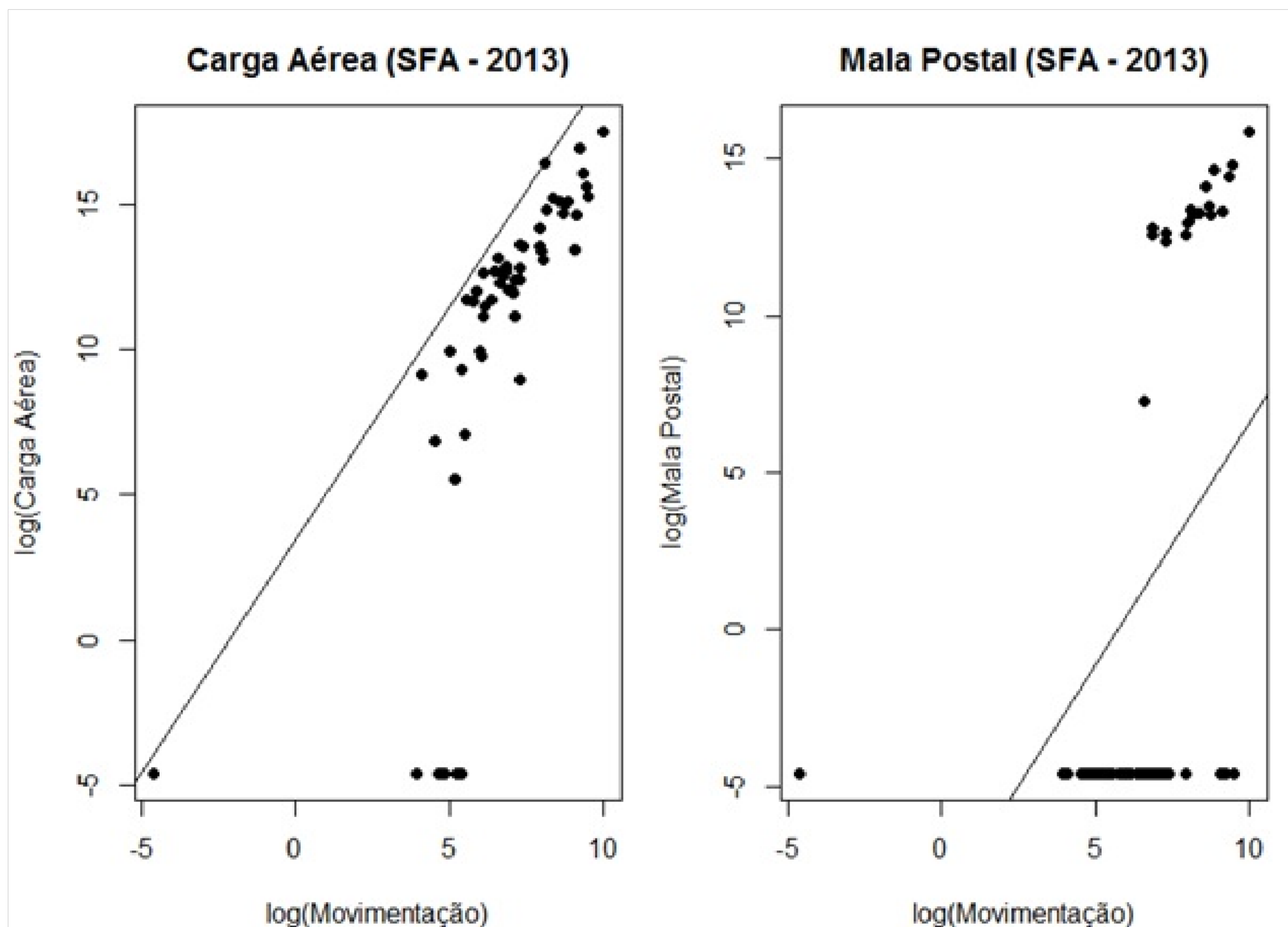
Fonte: Elaboração própria

Figura 83 – Gráfico de dispersão das eficiências FDH



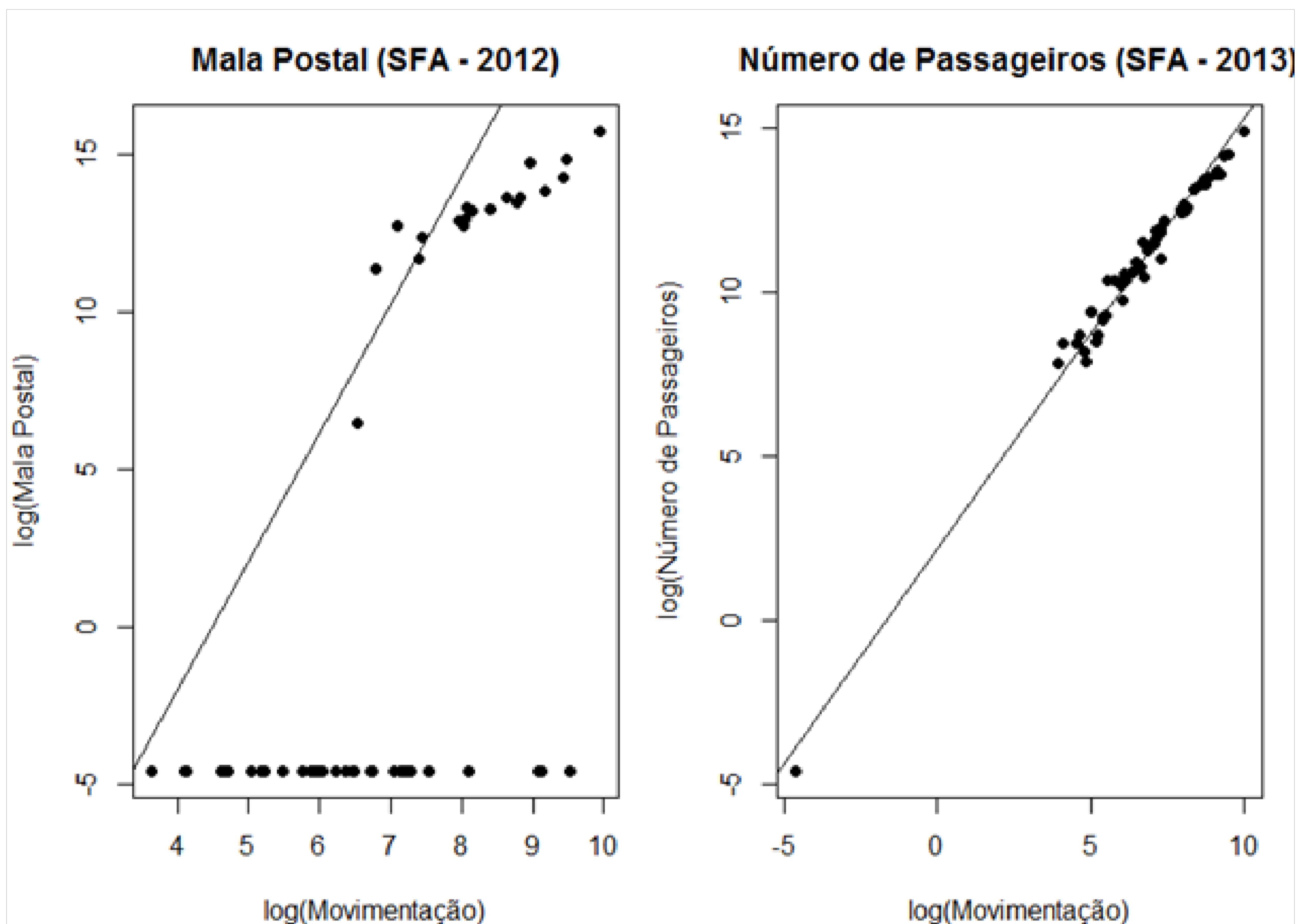
Fonte: Elaboração própria

Figura 84 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA



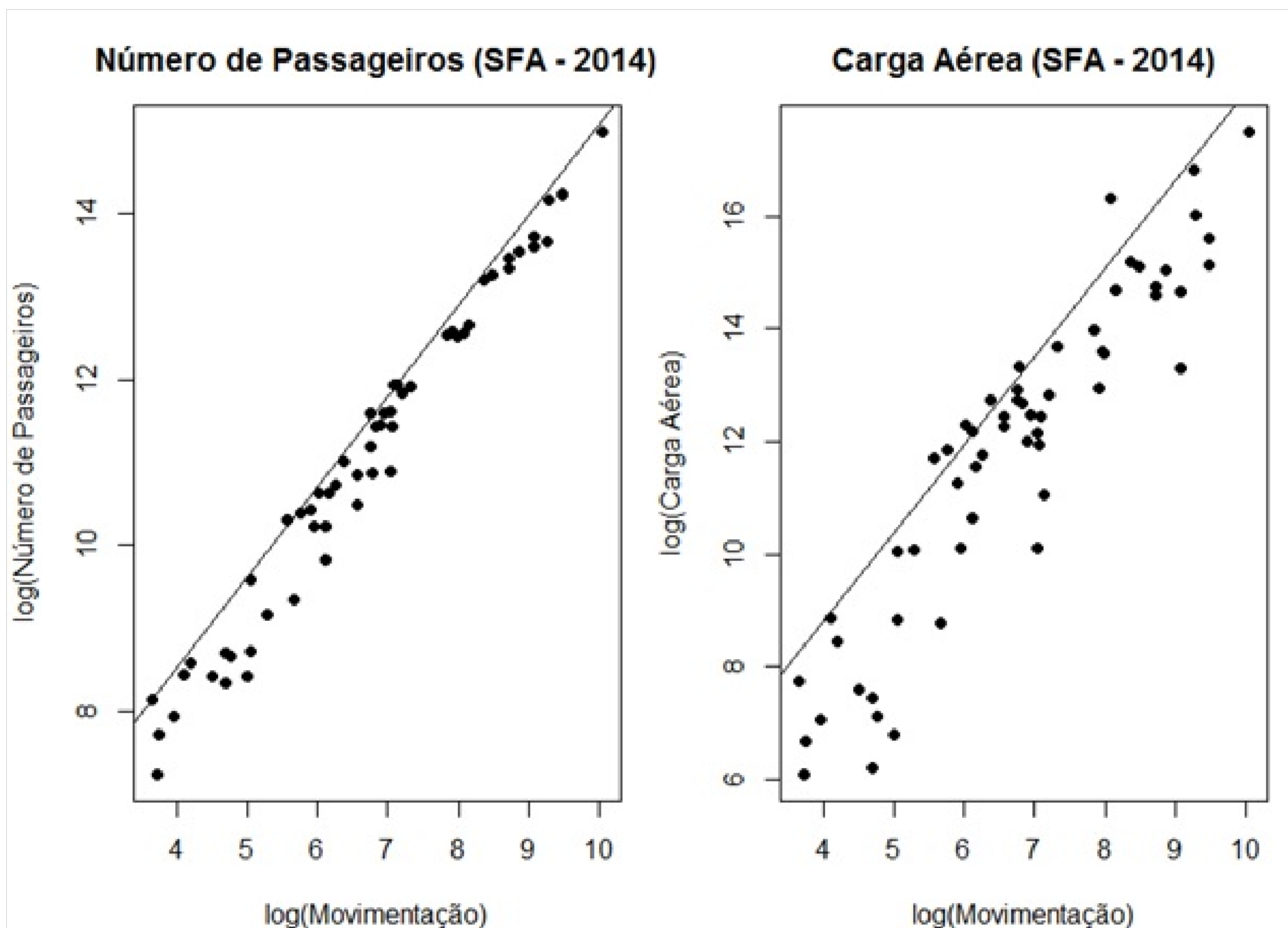
Fonte: Elaboração própria

Figura 85 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA



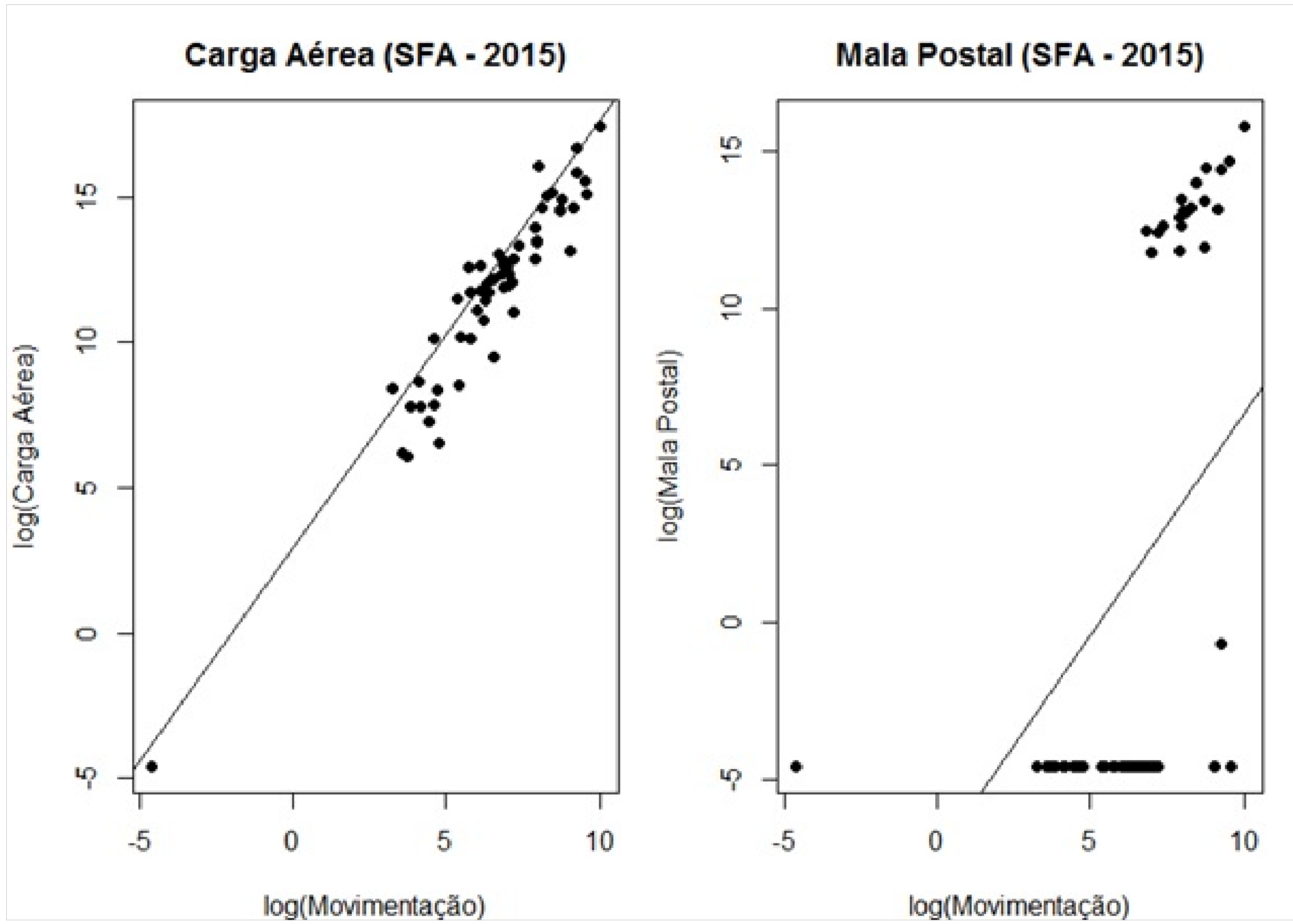
Fonte: Elaboração própria

Figura 86 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA



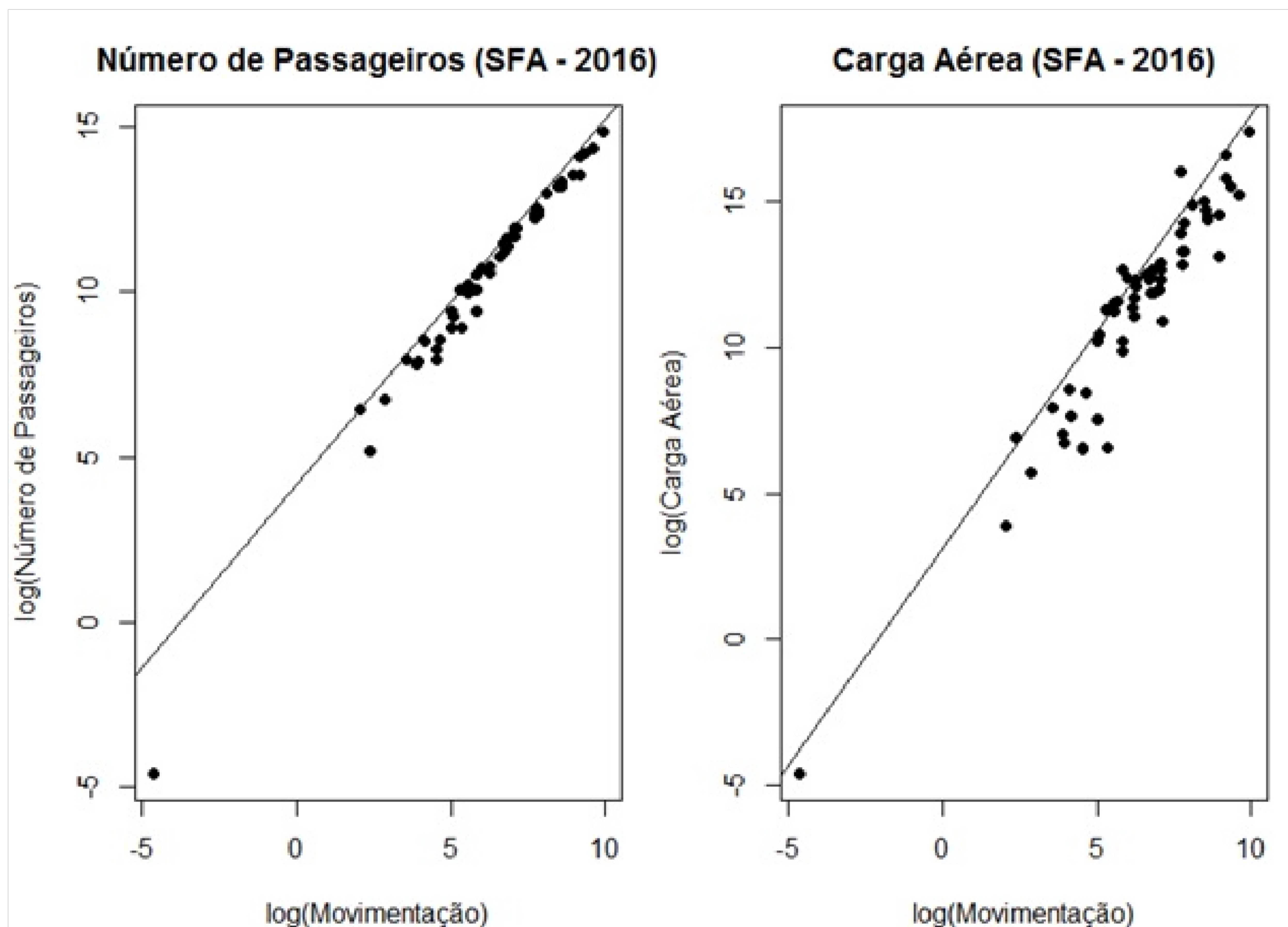
Fonte: Elaboração própria

Figura 87 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA



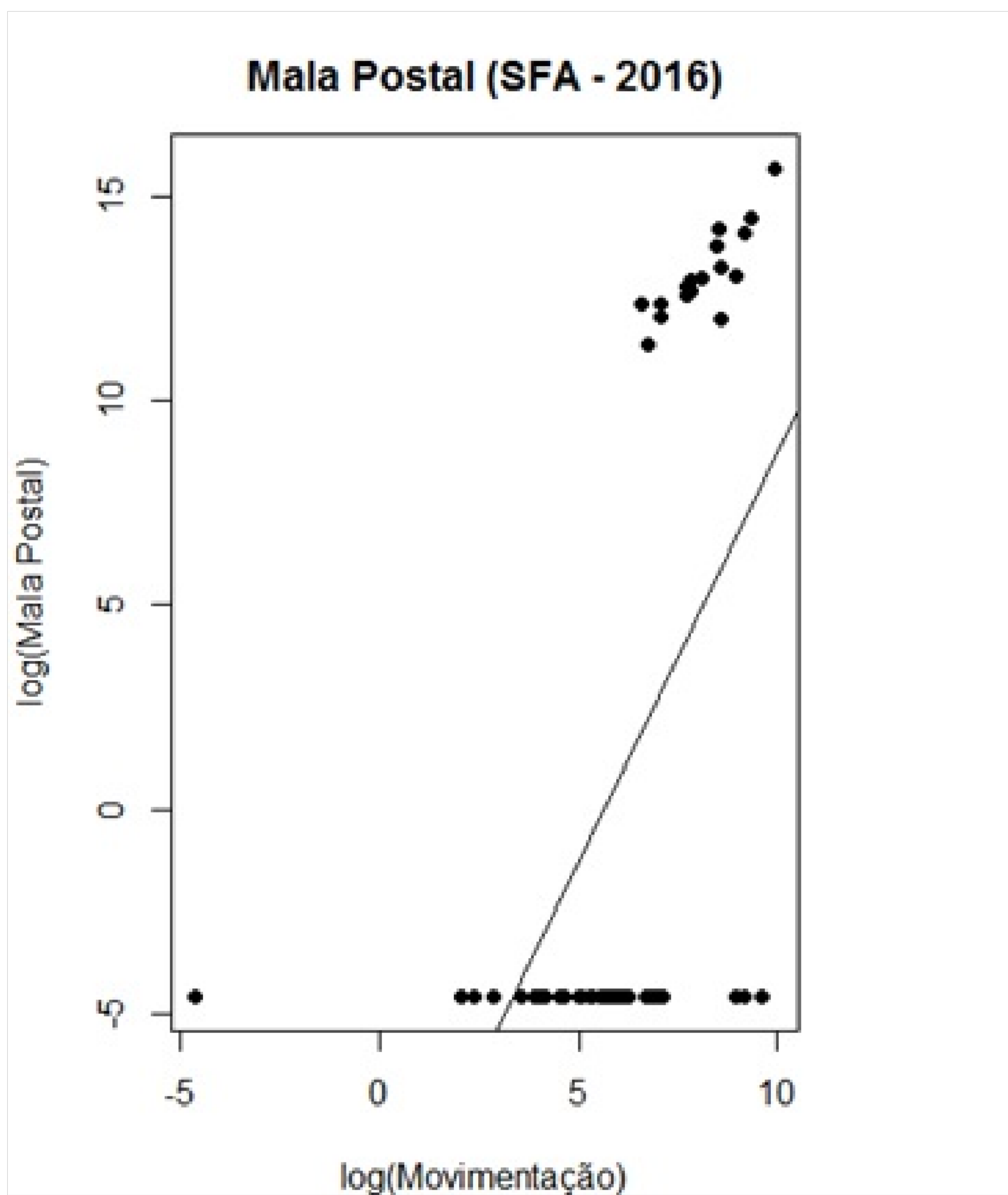
Fonte: Elaboração própria

Figura 88 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA



Fonte: Elaboração própria

Figura 89 – Gráfico de dispersão das eficiências SFA



Fonte: Elaboração própria