
Gestão Pública ou Subconcessão a Privados? A Eficiência e os Seus Fatores
Explicativos nos Metropolitanos Europeus

Francisco José Pinto da Silva

Dissertação
Mestrado em Economia

Orientado por
Professora Doutora Maria Paula Vicente Sarmento

2018

Nota Biográfica

Francisco José Pinto da Silva nasceu em 1992 no município de Matosinhos. Desde sempre social, desportiva e politicamente ativo na freguesia de Labruge, Vila do Conde, viria a completar a sua formação escolar obrigatória no município vilacondense.

O gosto pelos números e pela compreensão das realidades socioeconómicas levaram-no a ingressar na Faculdade de Economia do Porto em 2010, onde frequentou a Licenciatura em Gestão, que viria a concluir em 2014. O percurso académico ficou marcado pela participação constante em inúmeras organizações de cariz social e cultural, bem como, pelo semestre de mobilidade internacional efetuado na Universidade de Kozminski (Varsóvia, Polónia).

Com o intuito de aprofundar e alargar os seus conhecimentos científicos, frequenta desde 2014 o Mestrado em Economia também na Faculdade de Economia do Porto. Paralelamente, iniciou a sua atividade profissional em 2015 na Toyota Caetano Portugal enquanto Gestor de Produto, função que ainda hoje exerce.

Agradecimentos

À Faculdade de Economia do Porto, pelo ambiente profundamente sábio, erudito e informal que proporciona a todo e qualquer aluno que entre nas suas portas.

À Professora Doutora Maria Paula Vicente Sarmento pela amabilidade, respeito e inspiração transmitida ao longo deste processo. Estarei eternamente grato à sua dimensão pessoal e intelectual, absolutamente decisiva para a conclusão desta dissertação.

À Ana Rita Bessa, que no início deste documento era namorada, entretanto tornou-se noiva e, hoje, já minha esposa, pelas infindáveis palavras, gestos e expressões de sincera generosidade e carinho que me guiaram excecionalmente neste caminho.

Ao irmão Bruno, pela admiração e confiança que sempre me transmitiu, mas também pelo orgulho de o ver a frequentar hoje a Faculdade de Economia do Porto.

Ao pai José e à mãe Helena, um agradecimento especial pelo exemplo de humildade, capacidade de trabalho e sacrifício que sempre me motivaram a exceder os limites da minha própria existência.

Por último, ao avô Paulino, que certamente estaria orgulhoso pela conclusão desta etapa 15 anos depois da sua partida. Jamais esquecerei o seu gosto pela leitura, pela informação, bem como, aquela caixa velha e perdida com ações centenárias da Companhia Real dos Caminhos de Ferro Portugueses e que me levaram até esta dissertação.

Resumo

O setor ferroviário, na sua conceção mais básica e primordial, assumiu desde sempre um papel dinamizador nas sociedades industriais e contemporâneas. Mais recentemente, o desenvolvimento dos sistemas de metropolitano mudou significativamente o paradigma da mobilidade nos grandes centros urbanos, ganhando cada vez maior preponderância em substituição do transporte individual.

A importância social e económica do setor ferroviário contrasta com as inúmeras debilidades operacionais e financeiras que este tipo de transporte enfrenta nas mais variadas geografias do globo. Transversalmente, o problema subsiste nos sistemas de metropolitano de uma parte substancial das grandes cidades, inclusive em Lisboa e no Porto.

Tendo como ponto de partida a existência de duas realidades distintas nos metropolitanos portugueses, um gerido operacionalmente por uma entidade pública e outro gerido por agentes privados, o objetivo desta investigação é, além de contribuir para a reduzida literatura dos sistemas de metropolitano, averiguar qual o metropolitano português mais eficiente tecnicamente entre 2006 e 2015, comparando-os ainda com outros 10 sistemas de metropolitanos europeus. Para tal, recorreu-se ao método não-paramétrico Análise Envoltória de Dados (DEA). Posteriormente, utilizou-se o modelo de Tobit para determinar quais os fatores explicativos que induzem variações nos rácios de eficiência.

Os resultados obtidos demonstram que, atendendo à amostra total de 12 metropolitanos europeus, o metropolitano do Porto é um dos sistemas mais eficientes, em contraposição com o metropolitano de Lisboa, uma das unidades com menores rácios de eficiência técnica. Adicionalmente, o modelo de Tobit indicou que o rácio do número de passageiros transportados por funcionários efetivos e o produto interno bruto por habitante (PIB_{pc}) na área metropolitana têm influência nos rácios de eficiência dos metropolitanos europeus.

Códigos JEL: C24; C61; L92; R40

Palavras-chave: Modelo de Tobit; Análise Envoltória de Dados; Eficiência Técnica; Sistema de Metropolitano

Abstract

The railway sector has always assumed a dynamic role in industrial and contemporary societies. More recently, the development of metro systems has significantly changed the paradigm of mobility in large urban centers, replacing gradually the individual and private transportation.

The social and economic influence of the rail sector contrasts with the numerous operational and financial weaknesses faced across the globe. Correspondingly, the problem subsists in the metro systems of countless large cities, including Lisbon and Porto.

Considering the dual portuguese metro system reality, one system operationally managed by a public entity and the other managed by private agents, the main goal of this research is to investigate which is the most technically efficient portuguese system between 2006 and 2015, comparing them with 10 other European metro systems. For this purpose, it was used the non-parametric method, Data Envelopment Analysis (DEA). Subsequently, the Tobit model was used to determine which explanatory factors induce variations in DEA efficiency ratios.

The investigation shows that, considering the total sample of 12 European metro systems, the Porto system is one of the most efficient, while Lisbon system is one of the units with lowest technical efficiency ratios. In addition, the Tobit model indicates that the ratio of the number of passengers carried by the number of permanent staff and the gross domestic product per inhabitant (GDP_{pc}) in the metropolitan area have an influence on the efficiency ratios of European metropolitans.

JEL Codes: C24; C61; L92; R40

Keywords: Tobit Model; Data Envelopment Analysis; Technical Efficiency; Metro Systems

Índice de Conteúdos

Nota Biográfica.....	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de Conteúdos.....	v
Índice de Quadros.....	vi
Índice de Figuras	vii
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura.....	5
2.1. Enquadramento.....	5
2.2. Relação entre Eficiência e Propriedade	6
2.3. Formas Contratuais entre o Setor Público e o Setor Privado.....	9
2.4. O Caso Português.....	10
3. Metodologia	13
3.1. Questão de Investigação I.....	13
3.1.1. Enquadramento da Metodologia para a Questão de Investigação I	13
3.1.2. Especificação dos Modelos para a Questão de Investigação I	18
3.2. Questão de Investigação II.....	22
3.2.1. Enquadramento da Metodologia para a Questão de Investigação II.....	22
3.2.2. Especificação do Modelo para a Questão de Investigação II.....	24
4. Recolha de Dados	28
4.1. Recolha de Dados para a Questão de Investigação I	28
4.2. Recolha de Dados para a Questão de Investigação II.....	31
5. Resultados.....	33
5.1. Análise dos Resultados da Questão de Investigação I	33
5.2. Análise dos Resultados da Questão de Investigação II.....	40
6. Conclusão	46
Referências Bibliográficas.....	49

Índice de Quadros

Quadro 1 - Análise comparativa entre o método SFA e o método DEA	15
Quadro 2 – Inputs selecionados para a técnica DEA.....	20
Quadro 3 - Outputs selecionados para a técnica DEA	21
Quadro 4 – Média dos inputs e outputs dos metropolitanos entre 2006 e 2015.....	30
Quadro 5 – Média das variáveis explicativas entre 2006 e 2015	31
Quadro 6 – Rácios de eficiência DEA assumindo rendimentos constantes à escala	33
Quadro 7 – Rácios de eficiência DEA assumindo rendimentos variáveis à escala	35
Quadro 8 – Eficiências de escala dos metropolitanos entre 2006 e 2015.....	37
Quadro 9 – Resumo do ajustamento necessário para atingir os valores ótimos.....	39
Quadro 10 – Análise de estatística descritiva para as variáveis explicativas	40
Quadro 11 – Relação entre os parâmetros obtidos e a sua correlação linear	41
Quadro 12 – Matriz com coeficientes de correlação entre as variáveis explicativas	41
Quadro 13 – Resumo da estimação obtida com a variável dependente “DEACCR”	43
Quadro 14 – Resumo da estimação obtida com a variável dependente “DEABCC”	45

Índice de Figuras

Figura 1 – Processo de seleção da amostra	29
---	----

1. Introdução

O crónico desequilíbrio financeiro das empresas públicas no setor dos transportes em Portugal constitui um tópico central do debate existente em relação à sustentabilidade do serviço público de transportes.

Ora, atendendo às fortes restrições orçamentais do Estado Português que colocam em risco o refinanciamento dos défices operacionais do setor ferroviário, a preocupação pela sustentabilidade do serviço público de transportes tem levado alguns agentes políticos a procurar novas formas de organização e gestão mais eficientes para o setor dos transportes, nomeadamente, pela indução de maior participação do setor privado. Contudo, não existe unanimidade neste assunto.

Se em 2015, o XX Governo Constitucional decidiu lançar um concurso para a subconcessão dos transportes públicos de Lisboa e do Porto a privados, pouco depois em 2016, o XXI Governo Constitucional decidiu cancelar esse mesmo concurso.

Metropolitanos Portugueses

O primeiro sistema metropolitano português começou a ser pensado ainda no Século XIX para servir a cidade de Lisboa, porém, os passos mais importantes para a sua materialização deram-se na década de 40 do Século XX, nomeadamente com o estabelecimento de uma concessão para a instalação e exploração do metropolitano em 1949. O metropolitano de Lisboa viria a ser inaugurado em 29 de Dezembro de 1959.

Em 1975, o metropolitano de Lisboa foi nacionalizado, sendo que a partir de 1978, este passa a ser uma empresa pública, denominada Metropolitano de Lisboa, Entidade Pública Empresarial (EPE). O metropolitano de Lisboa é hoje composto por 4 linhas autónomas, que totalizam 56 estações e 44,5 quilómetros de comprimento total da rede.

Mais a norte de Portugal, a área metropolitana do Porto começou a discutir a necessidade de um sistema de metropolitano no início da década de 90, sendo que no final de 1994, foi lançado um concurso público internacional para a conceção, construção e operação do metropolitano ligeiro do Porto. O novo sistema de transportes da cidade do Porto, que reaproveitou alguns troços de extintas vias-férreas, seria inaugurado a 7 de Dezembro de 2002, concessionado à Metro do Porto, Sociedade Anónima (SA), em regime de serviço público e de exclusividade por um prazo de 50 anos.

A 26 de Fevereiro de 2010, a Metro do Porto, SA celebrou um contrato para a subconcessão da operação e manutenção do metropolitano ligeiro do Porto com um consórcio de empresas privadas que vigora até aos dias de hoje. Atualmente, o metropolitano do Porto é uma das maiores redes de metropolitano ligeiro da Europa, constituída por 67 quilómetros de extensão, 6 linhas autónomas e 82 estações.

A Situação Financeira

Segundo o Boletim Informativo do Setor Empresarial do Estado do 4º Trimestre de 2015 disponibilizado pela Unidade Técnica de Acompanhamento e Monitorização do Setor Público Empresarial (UTAM), o setor dos transportes é responsável por mais de 60% do endividamento do Setor Empresarial do Estado. Do mesmo relatório é possível extrair que o endividamento do metropolitano de Lisboa ascende a mais de 3,7 mil milhões de euros, enquanto o metropolitano do Porto deve mais de 3,3 mil milhões de euros.

Apesar de uma parte substancial da dívida ter sido contraída para a construção e investimento das infraestruturas, os metropolitanos portugueses continuam a apresentar resultados operacionais negativos com bastante frequência, o que degrada ainda mais a já de si débil situação financeira.

Segundo o Relatório de Contas de 2015 da Metropolitano de Lisboa, EPE, esta empresa pública é incapaz de gerar receitas próprias capazes de cobrir pelo menos 50% dos custos de exploração, continuando a ter níveis de autonomia financeira bastante baixos. Já depois de fechar 2014 com um resultado operacional negativo de 5 milhões de euros, a Metropolitano de Lisboa fechou 2015 com um resultado operacional negativo de 13,5 milhões de euros. Assim sendo, para se fazer face ao elevado serviço da dívida e aos resultados operacionais negativos, o modelo de financiamento da Metropolitano de Lisboa é suportado pelo seu único acionista, o Estado, através de aumentos de capital por conversão de créditos e entradas de numerário.

Já segundo o Relatório de Contas de 2015 da Metro do Porto, SA, o metropolitano portuense registou pela primeira vez uma taxa de cobertura da operação do sistema superior a 100%. No entanto, o resultado operacional continuou a degradar-se. Se em 2014 o resultado operacional da Metro do Porto foi deficitário em cerca de 85,1 milhões de euros, 2015 fechou com um resultado operacional negativo de 101,6 milhões de euros. Tal como a Metropolitano de Lisboa, o financiamento e liquidez da Metro do Porto é assegurado pelo acionista Estado. Nesse sentido, o Conselho Fiscal da Metro do Porto tem

alertado que a continuidade das operações dependerá da obtenção de resultados positivos no futuro e da manutenção do apoio do Estado. Estas condições de sustentabilidade são transversais aos dois metropolitanos portugueses.

Objetivos, Motivação e Relevância da Investigação

A realidade portuguesa acomoda dois sistemas de metropolitano que diferem entre outras coisas na época de início da exploração, nos modelos de gestão adotados e na sua própria classificação. No sul de Portugal, o metropolitano de Lisboa foi inaugurado em 1959, a sua gestão é pública e, em linha com os seus homólogos europeus, transita predominantemente no subsolo. Já no norte de Portugal, o metropolitano do Porto abriu portas em 2002, foi subconcessionado a privados e é classificado como um metropolitano ligeiro pois circula maioritariamente à superfície. Porém, estas diferenças não impedem que os 2 metropolitanos das principais cidades portuguesas partilhem as mesmas dificuldades operacionais e financeiras. Neste âmbito, o intuito desta investigação é analisar simultânea e comparativamente estes dois sistemas de metropolitanos, por forma a contribuir para a discussão e decisão das políticas públicas ligadas ao serviço público de transportes.

Os principais objetivos da investigação prendem-se com a análise do ponto de vista técnico qual o modelo de gestão mais eficiente, isto é, gestão pública ou subconcessão a privados, e determinar os fatores que justificam eventuais discrepâncias financeiras e operacionais entre os metropolitanos europeus, incluindo Lisboa e Porto. Desta forma, procura-se ajudar na clarificação do papel da operação privada na sustentabilidade da rede de metropolitanos, bem como, contribuir academicamente para preencher a lacuna existente na atual literatura sobre os metropolitanos portugueses.

Questões de Investigação

Tendo como ponto de partida os objetivos acima citados, a investigação procurará então responder fundamentalmente a duas questões fundamentais:

1. A gestão pública do Metro de Lisboa é mais eficiente do que a subconcessão do Metro do Porto?
2. Quais os fatores explicativos que determinam alterações significativas na performance operacional e financeira dos metropolitanos europeus?

Por forma a responder às questões de investigação, serão utilizadas duas técnicas de análise distintas com uma amostra total de 12 metropolitanos europeus, entre os quais os metropolitanos de Lisboa e do Porto, e cobrindo o espaço temporal entre 2006 e 2015. A primeira questão que irá avaliar a eficiência técnica dos metropolitanos será analisada com recurso ao método não-paramétrico, Análise Envoltória de Dados (DEA), utilizando dados fornecidos e/ou publicados pelas próprias empresas. A segunda questão será investigada à luz do modelo Tobit por forma a determinar os fatores que explicam variações de performance dos metropolitanos, recorrendo parcialmente aos mesmos documentos da primeira questão de investigação e a novas fontes de informação externas relevantes.

Estrutura e Organização do trabalho

A presente dissertação está organizada em 5 partes. Na secção 2 será apresentada uma revisão de literatura que fornece uma contextualização do setor ferroviário, nomeadamente dos sistemas de metropolitano, e um retrato dos desafios inerentes ao incremento da performance operacional. Na secção 3 encontram-se enquadradas e explicadas as metodologias a adotar na investigação. Na secção 4 explica-se o processo de recolha de dados. Na secção 5 são apresentados os resultados da investigação. Por último, a secção 6 engloba as conclusões da dissertação, eventuais implicações nos processos de gestão e ainda possíveis limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2. Revisão de Literatura

2.1. Enquadramento

A literatura sobre o setor ferroviário é extensa, contudo tem-se focado essencialmente no transporte de longas distâncias, negligenciando assim o transporte urbano, nomeadamente os sistemas de metropolitano. Segundo o Conselho Consultivo Europeu de Investigação Ferroviária (ERRAC), um sistema de metropolitano, para ser considerado como tal, deve cumprir um conjunto de requisitos, tais como, ser movido a eletricidade, transitar numa linha dedicada (à superfície, sobre-elevada ou subterrânea), circular com elevada frequência e suportar enormes fluxos de passageiros por hora e direção.

Desde o surgimento do primeiro metropolitano na cidade de Londres em 1863, este meio de transporte tem sofrido profundas alterações no seu desenvolvimento, na sua operação e na sua propriedade. Tal como nos primórdios dos caminhos de ferro, os primeiros sistemas de metropolitano foram originalmente construídos e operados por privados (Martin, 2002), no entanto, foram passando gradualmente para a esfera pública por via de nacionalizações ocorridas durante a década de 50 do Século XX. A partir de então, Cantos e Maudos (2001) identificam a existência de um período no setor ferroviário caracterizado por fortes medidas regulatórias e elevada ineficiência da maioria das empresas a operar. Perante este cenário, foram-se sucedendo inúmeras tentativas de induzir a participação do setor privado (Jain *et al.*, 2008), que culminaram com o *Staggers Rail Act* (1980), cujo intuito era desregular o setor ferroviário nos Estados Unidos da América, e com a diretiva comunitária europeia 91/440, cujo objetivo principal era a separação vertical do setor ferroviário europeu.

Estas profundas alterações estruturais visavam aumentar a competitividade do setor e reduzir consideravelmente a necessidade de financiamento público, por via do aumento da concorrência e da eficiência. Assim, esperava-se introduzir melhorias significativas num meio de transporte dominado por monopólios naturais, financeiramente pouco sustentável e com cada vez menor protagonismo face a outras alternativas como o transporte rodoviário e aéreo.

O principal indicador utilizado para medir a performance operacional de uma empresa, inclusivamente do setor ferroviário, é a eficiência técnica. Segundo Gathon e Pestieau (1995), a eficiência técnica reside na construção de uma fronteira de produção,

denominada de “melhor prática”, que fornece a combinação entre os *inputs* e *outputs* da empresa. De seguida, a eficiência técnica é calculada pela distância entre o nível atual de produção da empresa e essa mesma fronteira de produção “melhor prática”. Os métodos mais comuns de calcular a fronteira de produção é utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA) ou a Análise da Fronteira Estocástica (SFA).

Apesar da literatura existente se concentrar extensivamente da determinação da eficiência técnica, estudos exploratórios têm procurado estudar os fatores exógenos que influenciam a performance dos sistemas de transporte ferroviário, nomeadamente, a influência das políticas de regulação, a autonomia administrativa ou o contexto socioeconómico envolvente.

2.2. Relação entre Eficiência e Propriedade

Uma das questões mais centrais é a relação entre a eficiência e a propriedade. Apesar de existir uma extensa literatura que procurou evidências empíricas sobre os méritos da gestão privada em diversos setores de atividade, não é possível concluir que o setor privado é efetivamente mais eficiente que o setor público. Se por um lado existe a crença de que o setor privado é mais eficiente, mais barato e mais capaz de responder às necessidades dos cidadãos (Lundqvist, 1989; Berechman, 1993), por outro, espera-se que a privatização de um bem ou serviço tenha elevados custos sociais, impactando particularmente a equidade, distribuição de rendimento, justiça social e poder político (Le Grand e Robinson, 1984).

Babalik-Sutcliffe (2002) com o intuito de descortinar as principais razões que levam ao sucesso dos sistemas de metropolitano em 8 cidades anglo-saxónicas, concluiu que a desregulação tem um efeito negativo na performance, especialmente quando o sistema está planeado para servir pessoas com baixos rendimentos. Também Mees (2005), ao analisar os efeitos da privatização dos transportes públicos em Melbourne, corroborou a ideia de que a gestão privada é menos eficiente do que a gestão pública. Na região da Catalunha, Pina e Torres (2001) compararam a eficiência entre o setor privado e o setor público no aprovisionamento de serviços urbanos de transporte. O estudo demonstrou que ao nível da eficiência não existem diferenças significativas entre a gestão pública e a gestão privada, além de que os fatores que influenciam mais a eficiência do serviço de transporte são os custos do combustível, os quilómetros realizados por cada veículo e o custo do serviço por viajante.

Contudo, existe ainda um conjunto de autores que defendem precisamente o contrário em diferentes geografias, isto é, o papel positivo da gestão privada na eficiência e performance operacional e a menor dependência do Estado.

Oum e Yu (1994) mediram a eficiência dos sistemas ferroviários de 19 países da Organização para a Cooperação Económica Europeia (OCDE) e identificar o efeito da subsidiarização e intervenção pública. Estes autores concluíram que a elevada dependência de subsídios públicos conduz a uma menor eficiência, bem como, um maior grau de intervenção estatal na gestão conduz a uma menor eficiência na operação. Assim sendo, os autores defendem que no setor ferroviário deve haver um enquadramento regulatório e institucional que assegure maior liberdade nas decisões operacionais. Este último ponto vai de encontro a estudos anteriores de Caves *et al* (1981) que, ao compararem a performance do sistema ferroviário americano e do sistema ferroviário canadiano, encontraram evidências que o crescimento da produtividade é superior no sistema ferroviário canadiano, menos regulado, do que no sistema americano, o mais regulado dos dois em análise. Mais recentemente, o contributo de outros autores, nomeadamente, Mallikarjun *et al* (2014) e Babalik-Sutcliffe (2016) têm corroborado os fundamentos acima citados. Mallikarjun *et al* (2014) desenvolveram uma metodologia que medisse a performance de um sistema de trânsito americano sobre carris, procurando de seguida determinar a origem de potenciais ineficiências e relacionar subsídios públicos com performance operacional. Segundo os autores, a performance podia ser melhorada por via da redução das despesas operacionais e pelo aumento das tarifas. Por outro lado, os investigadores encontraram uma relação negativa entre eficiência e subsidiarização, isto é, quanto maior o subsídio público, menor a eficiência do sistema. Segundo Babalik-Sutcliffe (2016), após analisar 3 operações urbanas ferroviárias na Turquia, os sistemas operados por companhias subsidiárias com orçamentos autónomos têm custos operacionais menores, reduzindo consequentemente os encargos financeiros para as autoridades e aumentando a sua eficiência. Além disso, salienta-se a importância da intervenção pública na promoção dos transportes públicos, bastante importante para os resultados do serviço mesmo que este seja prestado por operadores privados.

Já Cowie (1999) analisou o setor ferroviário suíço, parcialmente dividido entre linhas de propriedade privada e outras de propriedade pública, tendo concluído que as linhas privadas apresentam uma eficiência técnica superior em cerca de 13%. Esta mesma superioridade na eficiência técnica é vista como resultado da melhor gestão privada e das

maiores restrições organizacionais que os operadores públicos enfrentam. Mizutani (2004) procurou encontrar o tamanho ótimo de um operador privado e estimar a diferença da função de custo por propriedade no setor ferroviário do Japão. Os resultados mostraram que uma empresa 100% pública tem um custo 48% superior a uma empresa 100% privada. Brons *et al* (2005) realizaram uma meta análise sobre a eficiência no trânsito público urbano e avançaram que a importância da maximização do lucro versus acessibilidade é superior nos Estados Unidos da América do que na Europa. Outra conclusão extraída pelos autores é que a eficiência técnica de uma rede de transportes públicos é maior, quanto maior for o grau de privatização e quanto menor for a participação do Estado. Por seu lado, Tsamboulas (2006) analisou 15 sistemas europeus de transporte e concluiu que os sistemas privados são mais eficientes, bem como, a concorrência e a livre entrada têm um papel importante no aumento da produtividade. O estudo de Tsamboulas (2006) é corroborado por Jain *et al* (2008) que, na sua investigação a 15 sistemas urbanos de transporte, defendem que a entrada de privados no setor permite reduzir a dependência de dinheiros públicos e aumentar eficiência técnica do sistema. No entanto, os mesmos autores alertam que a privatização só deve acontecer como medida para reduzir a responsabilidade pública no aprovisionamento do transporte urbano. Com uma amostra de 73 cidades mundiais e com o recurso à Análise Envoltória de Dados (DEA), Pina e Torres (2006) encontraram apenas uma pequena correlação entre propriedade e eficiência, isto é, os operadores privados, público-privados ou de serviços desregulados são ligeiramente mais eficientes do que os operadores públicos. Após analisarem 17 sistemas de transporte urbanos sobre carris na China, Qin *et al* (2014) concluíram que a privatização permite um maior grau de eficiência, ao contrário dos modelos de gestão pública e público-privada, que geram um maior número de ineficiências. Nesse sentido, os autores alertam que para aumentar a performance operacional do sistema sob a orientação destes 2 modelos, é necessário melhorar as competências e autonomia na gestão.

Em suma, recorrendo a Karlaftis (2008) que revisita 30 anos de contributos teóricos e práticos dos efeitos da privatização na eficiência, a maioria da literatura encontra consistentemente que o setor privado tem menores custos, maior eficiência operacional e alocativa dos recursos em comparação com o setor público, uma vez que usa mais eficientemente o fator trabalho. Contudo, os efeitos da privatização não devem ser analisados exclusivamente pela eficiência, mas também por outros fatores como a magnitude do aumento de preços após a privatização e a variação das características do

serviço (tempo de espera, quantidade e qualidade da frota e inovação). O Estado desempenha um papel decisivo na maior abertura do mercado à concorrência para induzir melhores níveis de eficiência. No entanto, continuam a existir muitos pontos abertos relativamente ao nível ótimo de privatização e políticas de desregulação, ao consenso político necessário e à relação contratual a vigorar entre a empresa privatizada e os anteriormente funcionários públicos. As políticas públicas devem assim passar por uma forte ponderação entre os custos e benefícios do processo de privatização.

2.3. Formas Contratuais entre o Setor Público e o Setor Privado

Jain *et al* (2008) argumentam que desde a segunda metade do Século XX as políticas públicas ligadas ao setor ferroviário passaram da nacionalização (propriedade e operação pública) para a comercialização/subconcessão (propriedade pública e operação privada) ou privatização (propriedade e operação privada).

A forma mais comum e dominante para induzir a participação do setor privado nos serviços de transportes públicos é a subconcessão (Tynan, 1999). Apesar de alguns países como a Nova Zelândia ou o Canadá terem verdadeiramente privatizado as suas linhas ferroviárias, a maioria dos países prefere subconcessioná-las. Segundo Thompson e Budin (1997), esta preferência deve-se ao facto de a subconcessão combinar o melhor de dois mundos: o Estado mantém o controlo sobre a infraestrutura, enquanto o setor privado assume a responsabilidade pela operação. Martin (2002) concorda que esta parceria, ao invés da privatização, tem as vantagens de combinar otimamente a propriedade do Estado com os incentivos comerciais, as novas tecnologias e as técnicas de gestão do setor privado. Porém, a principal razão para a utilização de subconcessões é o facto do setor privado não querer assumir a propriedade da infraestrutura pois iria aumentar o seu risco operacional e deteriorar o seu balanço ao incluir um ativo potencialmente em fracas condições. Estache e Rus (2000) apontam ainda outra vantagem inerente à subconcessão, resultante do facto desta prática permitir uma regulação estatal mais efetiva do que a privatização, nomeadamente, com a fixação de preços máximos e níveis de serviço mínimos que reduzam assim o impacto na equidade. Em linha com esta argumentação, Cantos e Maudos (2001) assinalam que a subconcessão ferroviária é um mecanismo que permite atingir dois objetivos primordiais: maior eficiência de custos e melhoria na obtenção de fontes de receita.

A subconcessão dos sistemas de metropolitano pode ser formulada através da implementação de um modelo de gestão de Parceria Público-Privada (PPP), prática cada vez mais relevante e estudada em diversos contextos sociais, geográficos e económicos. A literatura tem-se focado essencialmente no desenho do contrato, na distribuição do risco e nos benefícios inerentes a este tipo de prática, sendo que os resultados são mais unânimes ao apontar vantagens para a utilização de PPP nos sistemas de metropolitano.

Chang (2013) concluiu que a existência de um mecanismo de partilha de receitas e de alocação do risco no modelo de PPP do Metro de Pequim traduziu-se numa redução dos custos operacionais por parte do operador privado. Nesse sentido, este tipo de contrato traduziu-se em benefícios substanciais sociais e financeiros para o setor público. A análise de Cohen e Boast (2016) em relação ao Metro de Milão seguiu os mesmos pergaminhos e enalteceu os méritos do modelo de PPP no aumento do controlo público sobre a informação técnica e financeira, na redução dos custos do projeto e na criação de incentivos à eficiência. Os trabalhos de Phang (2007), no estudo do risco das PPPs nos sistemas urbanos da América do Sul, Ásia e de Londres, e de Bray e Sayeg (2013), na análise da participação do setor privado no serviço urbanos de transportes em algumas cidades asiáticas, alertavam sobretudo para a necessidade do contrato de PPP ser sujeito a uma análise do risco e do custo-benefício, bem como, para a necessidade do risco operacional ser transferido para o concessionário, assegurando assim que este vai ser o mais eficiente possível.

Hong (2016) é mais cético em relação ao impacto da PPP no custo operacional do sistema urbano da Coreia do Sul, não tendo encontrado evidências de que a operação privada se traduz em menores custos do que a gestão pública.

2.4. O Caso Português

Os estudos existentes em Portugal têm-se preocupado essencialmente em abordar duas dimensões: a organização dos sistemas metropolitanos e a sua eficiência. Frasquilho (2005) traçou um quadro geral dos transportes urbanos, nomeadamente em Lisboa, e realçou o papel das Autoridades Metropolitanas de Transporte (AMT). A análise dos custos operacionais por unidades físicas da oferta, permitiram concluir que as empresas de transportes públicos de Lisboa têm uma menor eficiência em relação às congéneres europeias. Nesse sentido, é necessário promover uma melhoria da eficácia e eficiência do setor. Assim, Frasquilho (2005) defendia que a AMT tem um papel fundamental na

promoção da intermodalidade, na avaliação da eficiência e da qualidade do serviço e na gestão do financiamento do sistema.

Cruz (2012) realizou um *benchmarking* a nível europeu para distinguir as principais formas de AMT e as suas vantagens e desvantagens. O estudo defendia que o regime regulatório dos transportes em Portugal estava desatualizado com as competências legais a encontrarem-se bastante dispersas, o que se traduzia em significativas ineficiências do sistema e avultados custos financeiros. A sustentabilidade dos transportes públicos só seria então possível através de um enquadramento regulatório mais adequado e através de um sistema de financiamento mais transparente. Nesse sentido, a contratualização podia ser uma forma eficiente de utilizar subsídios públicos enquanto se promovia a qualidade do serviço e se atraía mais passageiros.

A principal literatura dedicada à análise da eficiência dos metropolitanos portugueses encontra-se nos contributos de Santos *et al* (2014) e Lobo e Couto (2015). Santos *et al* (2014) procuraram analisar a performance dos metropolitanos portugueses no contexto europeu. Para tal, selecionaram 37 sistemas de metropolitano de 18 países diferentes e aplicaram várias técnicas para a análise da performance, tais como, método DEA, *benchmarking* e abordagens não-paramétricas de *bootstrap*, *order-m* e *double-bootstrap*. Os resultados indicavam que o Metro de Lisboa e o Metro do Porto tinham aproximadamente a mesma eficiência técnica a rondar os 70%, em linha com a performance de outros metropolitanos europeus, sendo que o PIB e a população influenciavam positivamente a eficiência do metro, enquanto o número de estações e o comprimento da rede impactavam negativamente a performance. Já Lobo e Couto (2015), além de avaliarem a eficiência técnica dos metropolitanos portugueses à luz de 15 outros metropolitanos europeus, procuraram ainda estabelecer uma relação entre a performance operacional e o contexto socioeconómico. A análise realizada com recurso a um modelo de determinação da fronteira estocástica de produção demonstrou que a maioria dos metropolitanos tinha elevados níveis de eficiência. Neste âmbito, o Metro do Porto tinha uma eficiência operacional superior a 90%, enquanto, o Metro de Lisboa tinha uma eficiência na casa dos 80%. Após nova análise, agora com um modelo estocástico baseado numa função *translog* que incluía fatores produtivos internos e indicadores socioeconómicos que influenciavam a procura, os autores concluíram que o Metro de Lisboa era afetado pelo ambiente socioeconómico desfavorável, enquanto o Metro do Porto apresentava bons resultados pois era ajudado pelo contexto. Lobo e Couto (2015) determinaram também que fatores

como o número de empregados, número de carros, densidade populacional, PIB_{pc} ou preço do Diesel tinham um efeito positivo no processo produtivo. Pelo contrário, taxa de desemprego, número de estações e existência de outros sistemas urbanos afetavam negativamente o processo produtivo dos metropolitanos.

3. Metodologia

3.1. Questão de Investigação I

3.1.1. Enquadramento da Metodologia para a Questão de Investigação I

A análise da performance de uma organização constitui um elemento essencial para avaliar a sua sustentabilidade. Essa avaliação pode ser realizada através de três dimensões: eficiência técnica, eficácia técnica e eficácia de serviço.

Se por um lado a eficiência técnica pretende representar o processo de transformação dos recursos/*inputs* disponíveis de uma organização nos serviços/*outputs* por ela oferecidos, em que a organização é mais eficiente se, por exemplo, conseguir disponibilizar um maior número de lugares por hora (*output*) com uma determinada quantidade de *inputs* (veículos, combustível, empregados, entre outros). Eficácia técnica expressa a relação entre os recursos investidos por uma organização e o serviço que é efetivamente consumido pela comunidade, isto é, a organização será mais eficaz operacionalmente se conseguir aumentar o número de passageiros transportados sem aumentar o custo total de produzir o serviço. Por fim, eficácia de serviço analisa a correspondência entre o serviço produzido pela organização e o seu consumo por parte da comunidade, nesse sentido, a organização é mais eficaz se, por exemplo, reduzir o serviço por si prestado e mesmo assim conseguir manter o mesmo número de passageiros transportados. Em suma, Drucker (1977) resume eficiência à premissa “fazer as coisas bem”, enquanto eficácia remete para “fazer as coisas certas”.

Na primeira questão de investigação a performance das organizações será avaliada através da eficiência técnica, uma vez que para analisar a eficácia técnica ou a eficácia de serviço seria necessária informação complementar, nomeadamente ao nível de preços dos *inputs*, que além de sensível não é fácil de aceder para consulta.

Nesse sentido, existem diversos métodos para determinar a eficiência técnica de uma organização, que podem ser catalogados em três classes principais: indicadores rácio, métodos paramétricos e métodos não-paramétricos, sendo que as mais comuns são as duas últimas. Dentro dos métodos paramétricos, o mais utilizado é a Análise da Fronteira Estocástica (SFA), enquanto nos não-paramétricos, o mais comum é a Análise Envoltória de Dados (DEA).

Análise da Fronteira Estocástica

O método paramétrico de análise da fronteira estocástica utiliza os dados disponíveis para, através de técnicas econométricas, estimar a função de custo de uma empresa relativamente eficiente numa determinada indústria. A partir daqui esta função comum a todas as empresas da indústria é utilizada para medir a ineficiência.

Assim, este método pode resumir-se em dois passos:

1) Assume-se uma forma funcional para a relação entre custo e *outputs* e uma forma funcional para a probabilidade da distribuição da eficiência. Ao estimarmos os parâmetros, obtemos as estimativas para a fronteira de produção;

2) Subtrai-se ao custo previsto o custo atual e, posteriormente, decompõe-se os resíduos em duas partes: erro da amostra e ineficiência para cada empresa.

As principais vantagens da SFA prendem-se por permitir fazer inferência estatística para um dado intervalo de confiança e assim encontrar fatores individuais que influenciam a performance operacional, bem como, ser menos sensível a *outliers*, nomeadamente, por ser capaz de reconhecer a presença de erros e eliminá-los do cálculo das ineficiências. Ao nível das desvantagens, a SFA ao necessitar de uma forma funcional (por exemplo, Cobb-Douglas ou *translog*), requer pressupostos acerca da relação entre os diferentes *inputs* e *outputs* e da distribuição do erro aleatório e da ineficiência, o que pode tornar esta técnica demasiado arriscada e suscetível de não garantir não-enviesamento e consistência dos estimadores em amostras pequenas.

Análise Envoltória de Dados

O método não-paramétrico de Análise Envoltória de Dados requer programação matemática linear, ou seja, a resolução de um conjunto de problemas é feita pela sua maximização/minimização. Nesse sentido, este método utiliza primeiramente os dados disponíveis para identificar as unidades (por exemplo, metropolitanos) eficientes que formam uma fronteira de produção. Esta fronteira de produção passa então a constituir o *benchmark* pelo qual a performance das restantes unidades será medida e comparada. De seguida, o método DEA atribui a cada unidade uma ponderação em termos de eficiência comparando o rácio de serviços (*outputs*)/recursos (*inputs*) com as unidades eficientes que formam a fronteira. Como mencionado acima, a unidade mais eficiente é aquela que consegue produzir um maior número de serviços/*outputs* possível com uma determinada quantidade de recursos/*inputs* (orientação aos *outputs*) ou consegue produzir uma

determinada quantidade de serviços/*outputs* com o menor número de recursos/*inputs* possível (orientação aos *inputs*).

A técnica DEA é vista como uma forma eficiente e fácil de analisar simultaneamente múltiplos *inputs* e *outputs*, não requerendo informação de preços nem uma forma funcional *a priori* para a função de produção. Assim sendo, esta técnica não-paramétrica é considerada “menos intensiva” que a Análise da Fronteira Estocástica. Outra das vantagens mais comumente apontada a esta análise é o facto de, uma vez que a fronteira de produção apresenta a forma da empresa mais eficiente, permitir medir a eficiência operacional relativamente à performance observada mais elevada. No entanto, importa também salientar que a Análise Envoltória de Dados é alvo de algumas críticas, nomeadamente, devido à falta de parametrização e à sensibilidade dos dados aos *outliers* uma vez que atribui todos os desvios à fronteira de produção como ineficiências.

Quadro 1 - Análise comparativa entre o método SFA e o método DEA

Método	SFA	DEA
Tipo	Paramétrico	Não-Paramétrico
Estimação	Estimação econométrica	Programação matemática
Vantagens	1) Permite inferência estatística; 2) Menor sensibilidade dos dados aos <i>outliers</i> .	1) Não requer forma funcional para a função de produção; 2) Técnica menos intensiva; 3) Permite medir eficiência em relação a um <i>benchmark</i> .
Desvantagens	1) Requer forma funcional com a relação entre <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .	1) Falta de parametrização; 2) Sensibilidade dos dados aos <i>outliers</i> .

Fonte: Elaboração própria.

Com o intuito de responder à primeira questão de investigação a fronteira de produção dos metropolitanos portugueses e europeus será construída com a técnica não-paramétrica Análise Envoltória de Dados (DEA). Este método é extensivamente aplicado por inúmeros autores de diferentes geografias em variadíssimas áreas de investigação (educação, saúde, serviços públicos, entre outros), especialmente no sector dos transportes. No transporte ferroviário, os estudos de Oum e Yu (1994) e de Cowie (1999) recorreram à técnica DEA para analisar a eficiência da ferrovia em 19 países da OCDE e na Suíça, respetivamente. A nível portuário, Barros (2006) realizou *benchmark* dos portos italianos e Lozano (2009) calculou a produtividade dos portos espanhóis utilizando a Análise

Envoltória de Dados. Com o recurso ao mesmo método, Pacheco e Fernandes (2003) e Yu *et al* (2008) estudaram a performance dos aeroportos brasileiros e taiwaneses, respetivamente. Por último, também diferentes sistemas de transporte urbano foram alvo de escrutínio através da técnica DEA ora por Karlaftis (2004) para o mercado americano ora por Jain *et al* (2008) para diversas metrópoles internacionais.

Como sumariado por Markovits-Somogyi (2011), a técnica DEA apresenta variações comumente utilizadas no estudo do setor dos transportes, nomeadamente:

1) Método DEA CCR

Desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978, este é o método mais básico e considera que uma determinada unidade (por exemplo, metropolitano) opera à sua escala mais eficiente e com rendimentos constantes à escala.

2) Método DEA BCC

O método acima foi reformulado por Banker, Charnes e Cooper em 1984 com a adição de uma nova restrição por forma a ter em conta os rendimentos não constantes à escala. Caso os valores de eficiência obtidos pelo método DEA CCR não coincidam com os valores do modelo DEA BCC isto significa que existem ineficiências de escala e as unidades em análise apresentam rendimentos variáveis à escala.

3) Método Simar-Wilson

Com o intuito de corrigir algumas desvantagens da técnica DEA original, Simar e Wilson desenvolveram um método que combina regressão truncada e reamostragem *bootstrap*, o que permite aos investigadores calcular um intervalo de confiança para os seus resultados e parametrizar os valores de eficiência calculados.

4) Método DEA Super Eficiente

Especialmente desenvolvido para distinguir as unidades que atingem um valor de eficiência de 1 (máximo), o método de Andersen e Petersen cria uma fronteira de produção excluindo primeiramente uma determinada unidade da análise e incluindo-a de seguida na amostra. Desta forma, resolve o problema dos *outliers* associado à DEA.

5) Método DEA em Estruturas de Rede

Por último, cada vez mais autores têm começado a utilizar este novo método que considera que um determinado sistema em análise é composto por processos e etapas distintas, cada um deles com *inputs* e *outputs* próprios e com fluxos intermédios entre cada etapa (o método convencional DEA considera que o sistema tem um único processo).

Apesar desta técnica permitir resultados mais refinados, exige um maior número de informação e existem ainda poucos estudos sobre a sua aplicação.

O número crescente de variações da técnica DEA é bastante positivo para a literatura da Análise Envoltória de Dados e, sobretudo, para uma maior e melhor discussão dos resultados obtidos ao nível da eficiência técnica nos diversos setores de atividade. No entanto, para dar resposta à primeira questão de investigação, irá recorrer-se aos modelos mais rudimentares – Método DEA CCR e Método DEA BCC – pois, tal como defendido por Graham (2008), apesar de serem as técnicas mais simples disponíveis, apresentam modelos objetivos e fáceis de interpretar, bem como, são as técnicas mais testadas e bem-sucedidas neste domínio ao longo das últimas décadas.

Tal como mencionado acima, a fronteira de produção das unidades em análise pode ser construída segundo uma orientação aos recursos/*inputs* ou segundo uma orientação aos serviços/*outputs*. Ora, na análise à primeira questão de investigação será implementada uma abordagem orientada aos recursos/*inputs*. Esta opção é corroborada por diversos autores que argumentam ora que o objetivo de uma empresa ferroviária é minimizar os seus recursos/*inputs* para um determinado nível de serviços/*outputs* (Lan e Lin, 2006), ora que uma orientação aos recursos/*inputs* é mais apropriada pois os gestores ferroviários têm um controlo mais discricionário sobre os *inputs* do que sobre os *outputs* (Coelli e Perelman, 1996). Segundo Merkert *et al* (2010), o menor controlo das empresas ferroviárias sobre os *outputs* deriva da volatilidade destes aos fatores macroeconómicos e de muitas vezes os *outputs* serem externamente controlados por contratos que determinam o nível de serviço do transporte público.

3.1.2. Especificação dos Modelos para a Questão de Investigação I

O método DEA CCR introduzido por Charnes, Cooper e Rhodes e utilizado para medir a eficiência técnica global das organizações é um método de programação matemática não linear e não convexo que pode ser transformado num modelo de programação linear. O modelo, já transformado em programação linear, com rendimentos constantes à escala e orientado aos recursos/*inputs* pode ser expresso da seguinte forma:

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \quad (3.1)$$

Sujeito a,

$$\begin{aligned} -y_i + Y \cdot \lambda &\geq 0, \\ \theta \cdot x_i - X \cdot \lambda &\geq 0, \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Em que,

y_i é uma matriz vetorial $m \times 1$ dos *outputs* para o metropolitano,

x_i é uma matriz vetorial $k \times 1$ dos *inputs* para o metropolitano,

Y é uma matriz *output* $n \times m$ para 'n' número de metropolitanos,

X é uma matriz *input* $n \times k$ para 'n' número de metropolitanos,

θ é uma pontuação de eficiência para cada metropolitano e que varia de 0 a 1, sendo que $\theta = 1$ significa que o metropolitano é eficiente, caso contrário, o metropolitano está abaixo do nível de eficiência,

λ é um vetor de matriz $n \times 1$ que fornece a solução ideal. Os valores de λ são usados como pesos na combinação linear de metropolitanos eficientes para metropolitanos ineficientes.

O método DEA CCR aplica-se quando as empresas operam à sua escala mais eficiente, no entanto, nem sempre tal é possível quer devido à concorrência imperfeita quer às condicionantes internas das próprias organizações.

Assim sendo, aplicação do método DEA BCC desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper, que considera rendimentos variáveis à escala, é essencial para medir a eficiência técnica pura. O modelo DEA BCC é muito semelhante ao modelo DEA CCR expresso acima, a única diferença é a adição de uma restrição de convexidade no modelo DEA BCC, formalizando-o da seguinte maneira:

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \quad (3.3)$$

Sujeito a,

$$\begin{aligned} -y_i + Y \cdot \lambda &\geq 0, \\ \theta \cdot x_i - X \cdot \lambda &\geq 0, \\ \lambda &\geq 0 \\ N_1 \lambda &= 1 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Em que,

y_i é uma matriz vetorial $m \times 1$ dos *outputs* para o metropolitano,
 x_i é uma matriz vetorial $k \times 1$ dos *inputs* para o metropolitano,
 Y é uma matriz *output* $n \times m$ para 'n' número de metropolitanos,
 X é uma matriz *input* $n \times k$ para 'n' número de metropolitanos,
 θ é uma pontuação de eficiência para cada metropolitano e que varia de 0 a 1,
 λ é um vetor de matriz $n \times 1$ que fornece a solução ideal,
 N_1 é um vetor matriz $n \times 1$ formado por uns.

A diferença entre os dois modelos, CCR e BCC, permite obter a ineficiência de escala, indicando que os rendimentos à escala podem ser crescentes ou decrescentes. Assim, o rácio entre as pontuações de eficiência obtidas nos modelos CCR e BCC irá traduzir a eficiência de escala:

$$\theta_s = \frac{\theta_{CCR}(X_K, Y_K)}{\theta_{BCC}(X_K, Y_K)} \quad (3.5)$$

Em que,

$\theta_{CCR}(X_K, Y_K)$ é a eficiência técnica obtida pelo modelo DEA CCR,
 $\theta_{BCC}(X_K, Y_K)$ é a eficiência técnica obtida pelo modelo DEA BCC,
 θ_s é a eficiência de escala

Caso a eficiência de escala seja igual a 1, isto significa que a unidade (metropolitano) opera com rendimentos constantes à escala. Caso a eficiência de escala seja inferior a 1, a unidade em análise opera sob rendimentos variáveis à escala.

Após especificar os modelos que serão utilizados para responder à primeira questão de investigação, será necessário definir quais os *inputs* e *outputs* que serão utilizados na Análise Envoltória de Dados. A seleção dos melhores indicadores para avaliar a performance operacional dos sistemas de transporte é algo procurado por todos os autores,

porém, tal como sugerido por Benjamin e Obeng (1990), deve evitar-se a inclusão de um número excessivo de *inputs e outputs* pois podem dificultar a generalização de resultados e, como mencionado por Odeck (2008), reduzir o poder discricionário da técnica DEA pois quanto maior o número de *inputs e outputs*, maior o número de unidades eficientes.

Nesse sentido, Markovits-Somogyi (2011) revela duas regras importantes que permitem manter a validade e eficácia do método DEA, mais concretamente, o número de observações deve ser pelo menos três vezes superior à soma do número de *inputs e outputs*, bem como, o número de unidades em análise deve ser igual ou superior ao produto do número de *inputs e outputs*.

A escolha dos *inputs e outputs* teve em conta não só a disponibilidade dos dados como a salvaguarda de excluir indicadores redundantes entre si e, fundamentalmente, alinhar os *inputs e outputs* com as recomendações da teoria dos transportes, que considera relevante uma seleção com indicadores de capital, laborais e de energia.

Para dar resposta à primeira questão de investigação foram selecionados quatro *inputs*, três deles de índole de capital e o outro de carácter laboral. Dada a dificuldade de encontrar dados parametrizados e relevantes sobre indicadores energéticos para os diferentes metropolitanos, não foi possível incluí-los nos *inputs*. Quanto ao primeiro grupo de indicadores, estes incluem a extensão total da rede de metropolitano (ET) operada pela unidade num determinado ano civil, o número de estações (NE) da rede de metropolitano e, por último, o número de veículos (NV) a operar e a realizar o transporte de passageiros. Relativamente a este último indicador, importa salientar que os veículos são constituídos por módulos que formam uma composição, nesse sentido, o *input* NV é o produto do número de veículos pelo número de módulos acoplados. Por fim, o último *input* considerado é de carácter laboral e diz respeito ao número de funcionários (NF) efetivos ao serviço no final do exercício.

Quadro 2 – *Inputs* selecionados para a técnica DEA

Input	Símbolo	Designação
x_1	ET	Extensão total da rede (em quilómetros)
x_2	NE	Número de estações
x_3	NV	Número de veículos a operar
x_4	NF	Número de funcionários

Fonte: Elaboração própria.

Dado que a performance das organizações será analisada exclusivamente através da eficiência técnica, a seleção dos *outputs* irá incluir um indicador de eficiência e um indicador de eficácia pois, tal como defendido por alguns autores como Fielding (1987), a combinação destes dois tipos de indicadores permite obter uma medida geral de desempenho da organização.

Como *output* que espelhe a eficácia de serviço da organização será utilizado o número total de passageiros transportados (NP) num determinado ano civil. Relativamente à eficiência operacional da empresa irá recorrer-se ao número de veículo-quilómetros produzidos pela organização (VC), ou seja, uma unidade de medida de distância e tráfego que corresponde ao movimento de um veículo (e os seus módulos acoplados) ao longo de um quilómetro.

Quadro 3 - *Outputs* seleccionados para a técnica DEA

Output	Símbolo	Designação
y_1	NP	Número de passageiros transportados (em milhões)
y_2	VC	Número de veículo-quilómetros produzidos (em milhões)

Fonte: Elaboração própria.

3.2. Questão de Investigação II

3.2.1. Enquadramento da Metodologia para a Questão de Investigação II

Após apurar-se o nível de eficiência dos diferentes metropolitanos através da técnica DEA, uma das etapas mais importantes a seguir na investigação é apurar quais foram as determinantes da eficiência técnica pois tal análise permite fornecer dados e pistas para que os decisores políticos e operacionais possam tomar resoluções relevantes capazes de incrementar a performance operacional das suas unidades.

Por forma a cumprir a etapa acima mencionada, deve aplicar-se um modelo de regressão com variável dependente truncada ou censurada pois os rácios de eficiência calculados com a técnica DEA variam entre 0 e 1. Ora, o modelo de regressão com variável dependente truncada ou censurada aplica-se quando existe restrições de amostragem e a variável de interesse não pode ser observada em todo o seu domínio (variável dependente censurada) ou não é observada para alguns dos indivíduos que integram a amostra (variável dependente truncada), neste caso, a variável dependente não varia entre $-\infty$ e $+\infty$ mas sim entre 0 e 1.

Segundo Grosskopf (1996), o modelo desenvolvido pelo economista James Tobin em 1958 e conhecido como modelo Tobit, devido às semelhanças que apresentava com os modelos Probit e Logit, é a técnica apropriada de ser utilizada para determinar os fatores que influenciam a eficiência dos metropolitanos.

O modelo de Tobit tem sido aplicado em inúmeros estudos nas mais variadas áreas como saúde, setor bancário, educação, transporte aéreo ou transporte ferroviário como complemento à Análise Envoltória de Dados. Por exemplo, Chilingirian (1995) estudou durante 6 meses a eficiência de um grupo de médicos de um único hospital procurando inicialmente averiguar a sua eficiência e, posteriormente, por via do modelo de Tobit identificar as variáveis associadas a níveis mais altos de desempenho. Já Xiping e Yuesheng (2007) avaliaram a eficiência dos bancos na China e as suas determinantes através da técnica DEA e do modelo de regressão Tobit, respetivamente. Fethi *et al* (2000) investigaram as consequências da liberalização do transporte aéreo na Europa numa primeira instância ao nível da eficiência e, de seguida, na determinação dos efeitos das variáveis explicativas na eficiência. O modelo de Tobit foi também amplamente aplicado para identificar os motivos das variações de eficiência no setor ferroviário, nomeadamente, no estudo de Oum e Yu (1994) em vários países da OCDE, na investigação de Kerstens

(1996) para companhias francesas de transporte urbano e no trabalho de Kapetanovic *et al* (2017) que comparou empresas ferroviários da Europa ocidental, central e do leste.

Segundo estudos preliminares de Caves (1992) e Mayes *et al* (1994), importa referir que as determinantes da eficiência podem abranger 5 categorias:

- a) Concorrência. A falta de concorrência é vista como um fator indutor de ineficiência, nesse sentido, o impacto das condições concorrenciais na eficiência pode ser medido através do grau de concentração de uma companhia num determinado mercado ou grau de abertura do mercado;
- b) Fatores organizacionais e operacionais. Características como a estrutura societária da companhia ou a sindicalização dos trabalhadores podem influenciar o desempenho da organização;
- c) Heterogeneidade estrutural. As organizações são entidades bastante complexas com estruturas muito díspares entre elas, nomeadamente, no processo de transformação dos *inputs* em *outputs*, nesse sentido, podem surgir ineficiências relacionadas com a própria estrutura organizacional;
- d) Fatores dinâmicos. O crescimento do mercado, a inovação ou os investimentos em pesquisa e desenvolvimento são forças motrizes que incrementam os níveis de eficiência das organizações;
- e) Política pública. O papel que as entidades governamentais desempenham é fundamental para a promoção da eficiência. Por exemplo, a redução de subsídios estatais é uma medida que estimula as companhias a procurarem ganhos de eficiência.

3.2.2. Especificação do Modelo para a Questão de Investigação II

O modelo desenvolvido por James Tobin é, de acordo com Greene (2002), o melhor método de regressão quando a variável dependente está concentrada entre faixas de valores pois permite fazer inferência para toda a população sem perda de qualidade. O modelo Tobit pode ser definido da seguinte forma:

$$Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i \quad (3.6)$$

ou abreviado para:

$$Y_i^* = X_i \beta + u_i \quad (3.7)$$

Y_i^* , é a variável dependente estimada (variável latente),

X_i , é um vetor (1 x k) e representa as variáveis explicativas,

β , é um vetor de parâmetros (k x 1) e representa os coeficientes da regressão a serem estimados,

u_i , é o erro aleatório da equação,

O modelo Tobit trata dados censurados ou truncados, assim, a variável Y_i^* pode assumir valores à direita, à esquerda ou num determinado intervalo, não sendo portanto observada em todo o seu domínio. Caso haja truncamento à esquerda, a variável que é efetivamente observada é Y_i definida da seguinte forma:

$$\begin{cases} Y_i = Y_i^*, & \text{se } Y_i^* > Y_i^c \\ Y_i = Y_i^c, & \text{se } Y_i^* \leq Y_i^c \end{cases} \quad (3.8)$$

Y_i^c , é a variável dependente censurada,

Considerando u_i uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas,

$$u_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (3.9)$$

O valor de censura da variável dependente pode assumir valor de 0 ou 1. Dado que os valores de eficiência da técnica DEA são superiores a 0, o valor de censura que será assumido na variável dependente terá o valor de 0. Assim, a especificação do modelo Tobit será,

$$\begin{aligned} Y_i &= Y_i^*, \text{ se } Y_i^* > 0 \\ Y_i &= 0, \quad \text{se } Y_i^* \leq 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

O valor esperado para a variável Y_i atendendo às variáveis explicativas X_i para observações completas é dado por:

$$E(Y_i | X_i) = 0 \times \left[1 - \Phi\left(\frac{\beta X_i}{\sigma}\right) \right] + [E(Y_i | X_i, Y_i^* > 0)] \times \Phi\left(\frac{\beta X_i}{\sigma}\right) \quad (3.11)$$

ou seja,

$$E(Y_i | X_i) = \Phi\left(\frac{\beta X_i}{\sigma}\right) \left[\beta X_i + \sigma \frac{\phi\left(-\frac{\beta X_i}{\sigma}\right)}{1 - \Phi\left(-\frac{\beta X_i}{\sigma}\right)} \right] \quad (3.12)$$

σ , é o desvio-padrão,

Φ , representa a função distribuição cumulativa normal,

ϕ , representa a função densidade normal

Os efeitos marginais de variações *ceteris paribus* nas variáveis explicativas são complexos e não podem ser concluídos pela interpretação direta dos coeficientes do modelo Tobit. O efeito marginal das variáveis explicativas em Y_i é dado por:

$$\frac{\partial E[Y_i | X_i]}{\partial X_i} = \beta \Phi\left(\frac{\beta X_i}{\sigma}\right) \quad (3.13)$$

A formulação assim permite então conhecer o efeito marginal que por sua vez permite determinar o impacto de cada uma das variáveis explicativas na variável dependente, neste caso, nos rácios de eficiência calculados via DEA.

Para proceder à estimação do modelo iremos utilizar a Estimação de Máxima Verossimilhança (MLE) que permite estimar de forma consistente uma amostra censurada. O método MLE estima os parâmetros de um modelo estatístico e ajusta o próprio modelo

aos dados disponíveis para tornar *máximo* o valor da função de verossimilhança. Já o método de Estimção de Mínimos Quadrados (OLS) procura para um conjunto de dados minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados, contudo, as suas estimativas seriam enviesadas e inconsistentes devido à amostra censurada e à falta de algumas observações.

O modelo de Tobit será utilizado com dados em painel que, segundo Wooldridge (2002), permite uma análise quantitativa das relações económicas, associa dados temporais e seccionais no mesmo modelo e, por fim, possibilita estudar simultânea e eficientemente as variações das variáveis ao longo do tempo e entre indivíduos. Atendendo a que irá recorrer-se a dados em painel, na secção 5 será aplicado o Teste de Hausman para determinar que modelo será mais apropriado: o modelo de efeitos aleatórios ou o modelo de efeitos fixos.

Antes de avançar para o tratamento e análise dos dados, importa mencionar quais as variáveis, dependente e explicativas, que serão utilizadas para a estimação.

Variável Dependente (Y_i)

A variável dependente será constituída pelos rácios de eficiência obtidos na primeira questão de investigação. Nesse sentido, cada metropolitano terá um coeficiente que irá variar entre 0 e 1, calculado através dos modelos DEA CCR e DEA BCC. Y_i irá assumir o valor de “DEACCR” e “DEABCC”.

Variáveis Explicativas (X_i)

O objetivo primordial da seleção das variáveis explicativas seria cobrir as 5 categorias que podem ser determinantes da eficiência, no entanto, devido à falta de informação oficial e às características do próprio mercado não será possível incluir variáveis explicativas tão abrangentes.

Relativamente ao ponto concorrencial, o setor ferroviário é reconhecido por ser um mercado pouco concorrencial e extremamente concentrado. Assim, pelas características do próprio mercado e défice de informação sobre as condições concorrenciais não foi possível incluir uma variável explicativa que aborde esta determinante.

Quanto aos fatores organizacionais e operacionais foi possível reunir um conjunto de variáveis que podem explicar a diferença de performance dos metropolitanos:

X_1 , variável *dummy* tipologia de metropolitano (TIMET) que assume valor 1 quando estamos perante um “metro” e valor 0 se for um “metro ligeiro”;

X_2 , variável *dummy* controlo público na operação (CONPUB) que assume valor 1 quando estamos perante um metropolitano gerido por entidades públicas e valor 0 se a operação for controlada por privados;

X_3 , variável número de anos da infraestrutura do metropolitano (ANMET).

Outra categoria amplamente reconhecida como importante diz respeito à heterogeneidade estrutural que existe nas organizações, que deve ser incluída sempre que possível pois permite inferir inúmeras características dos serviços prestados pelas unidades, nomeadamente em termos espaciais, temporais e qualitativos. Assim, foram selecionadas de acordo com a informação disponíveis as seguintes variáveis:

X_4 , variável número de passageiros transportados por cada funcionário efetivo (STAPAS);

X_5 , variável densidade da rede de metropolitano (DENRE) que diz respeito à extensão total da rede de metropolitano em quilómetros a dividir pela área total de terra em quilómetros quadrados da área metropolitana que serve.

Apesar de não estar explicitamente inserida numa das categorias determinantes da eficiência, o ambiente externo que envolve o metropolitano tem sido recorrentemente estudado por inúmeros autores como importante influenciador da performance operacional das unidades, como tal, o presente estudo irá incluir um conjunto de 3 variáveis socioeconómicas para averiguar o seu respetivo impacto:

X_6 , variável densidade populacional na área metropolitana (DENPO) medida em habitantes por quilómetro quadrado de área total de terra;

X_7 , variável produto interno bruto per capita na área metropolitana (PIBPC) medida em milhares de euros e calculada a preços correntes;

X_8 , variável taxa de desemprego na área metropolitana (TXDES).

Por último, não foi possível encontrar variáveis que se enquadrassem nas restantes categorias determinantes da eficiência, fatores dinâmicos e política pública. Se por um lado a ausência da primeira categoria não causa surpresa dado os fracos índices de inovação associados ao setor ferroviário, a ausência de uma variável relacionada com as políticas públicas constitui uma lacuna na investigação cuja origem se deve à falta de informação oficial publicada pelos metropolitanos a respeito de subsídios e subvenções dadas pelos estados nacionais.

4. Recolha de Dados

4.1. Recolha de Dados para a Questão de Investigação I

A qualidade do processo de recolha de dados é fundamental para assegurar resultados representativos e inequívocos que contribuam de forma empírica para a literatura existente, nesse sentido, este procedimento foi alvo de especial atenção.

Também importante para que os resultados sejam significativos é cobrir uma janela temporal extensa que permita captar as dinâmicas e evoluções dos diversos metropolitanos em análise, nesse sentido, o âmbito inicial da recolha de dados é cobrir o período compreendido entre o 2006 e 2015, assim, para cada metropolitano serão recolhidos dados recentes de 10 anos de atividade.

Primeiramente, recorrendo à base de dados *World Metro Database* disponibilizada pela organização *Metrobits* foram encontrados 213 sistemas de metropolitanos distribuídos por diferentes geografias do globo.

Uma vez que o objetivo deste estudo é investigar a eficiência técnica dos metropolitanos portugueses no contexto europeu, foram posteriormente excluídos da análise todos os sistemas não europeus. Desta filtragem restaram ainda 77 sistemas de metropolitano localizados nos países europeus.

De seguida, foram excluídos da base de dados metropolitanos cuja informação operacional não estava sequer disponível a qualquer utilizador em formato digital ou eletrónico nos canais de comunicação oficiais. Este filtro levou à eliminação de 26 metropolitanos, nomeadamente do centro e leste europeu, entre eles Nizhny Novgorod (Rússia) ou Kryvyi Rih (Ucrânia).

O passo seguinte foi investigar até que ponto a informação pública e oficial disponibilizada pelos restantes 51 metropolitanos era completa e permitia numa primeira fase extrair e preencher *os inputs* e *outputs* da análise DEA. Esta fase envolveu uma investigação profunda e intensa, que conduziu à leitura de dezenas de relatórios de atividade de inúmeros metropolitanos europeus. Daqui resultou a exclusão de 33 metropolitanos da análise pois os dados que forneciam eram demasiado dispersos, incompletos e, muitas vezes, irrelevantes para a primeira questão de investigação. Destacar pela negativa a dificuldade de obtenção de informação operacional dos metropolitanos italianos e franceses, quer na língua materna quer em inglês.

Por fim, com cerca de 18 metropolitanos restantes e ainda com alguns dados por preencher, todas as entidades gestoras dos metropolitanos foram contactadas por e-mail por forma a recolher informação adicional em falta. Da recusa de fornecimento de dados, como foram os casos de Budapeste (Hungria) e Roterdão (Holanda), à não resposta às inúmeras tentativas de contacto, como Londres (Reino Unido), restaram 12 metropolitanos europeus com os dados totalmente extraídos ou de relatórios oficiais das entidades gestoras ou por correio eletrónico, que totalizam 120 observações (n igual ao número de metropolitanos a multiplicar pelo número de anos em análise).

Figura 1 – Processo de seleção da amostra



Fonte: Elaboração própria.

Os critérios apertados de recolha de dados encolheram o número de metropolitanos para 12 e 120 observações, contudo, para além da robustez dos dados, as unidades em análise são diversificadas e heterogéneas entre si, quer ao nível da distribuição geográfica quer ao nível da antiguidade das suas estruturas. Se por um lado temos na amostra metropolitanos do centro e norte da Europa amplamente reconhecidos pela sua eficiência e eficácia operacional, tais como Helsínquia (Finlândia) ou Viena (Áustria), do outro lado temos estruturas do sul da Europa, como Madrid (Espanha) ou Lisboa (Portugal), muitas vezes associadas a dificuldades no fornecimento de serviço. Já relativamente à idade das infraestruturas que operam, a amostra contém ora o terceiro metropolitano mais antigo do Mundo, Glasgow (Escócia), como alguns dos mais recentes da Europa como Copenhaga (Dinamarca) ou Porto (Portugal). De seguida, o Quadro 4

apresenta-se a média dos *inputs* e *outputs* obtidos dos sistemas de metropolitano em análise durante o período compreendido entre 2006 e 2015.

Quadro 4 – Média dos *inputs* e *outputs* dos metropolitanos entre 2006 e 2015

SISTEMA	Inauguração	Inputs Internos				Outputs	
		ET (kms)	NE	NV	NF	NP (milhões)	VC (milhões de kms)
Barcelona (Espanha)	1924	97,05	135	787	3575	373,22	81,43
Bruxelas (Bélgica)	1976	39,84	69	311	679	133,46	10,35
Copenhaga (Dinamarca)	2002	20,60	21	101	148	50,20	4,75
Glasgow (Escócia)	1896	10,50	15	41	199	13,18	3,30
Helsínquia (Finlândia)	1982	21,00	17	108	248	59,72	14,66
Lisboa (Portugal)	1959	40,28	51	337	1566	165,37	23,54
Madrid (Espanha)	1919	283,70	292	2259	6744	623,27	184,99
Oslo (Noruega)	1966	78,20	100	271	542	78,57	27,13
Porto (Portugal)	2002	63,67	76	270	90	52,51	13,62
Praga (Rep. Checa)	1974	58,82	57	730	2242	543,93	52,27
Varsóvia (Polónia)	1995	22,51	21	271	1710	136,65	24,47
Viena (Áustria)	1978	72,61	99	751	4896	479,00	74,34

Fonte: Elaboração própria com base em documentos e dados oficiais dos metropolitanos.

4.2. Recolha de Dados para a Questão de Investigação II

Em linha com a exigência praticada na primeira questão de investigação, a presente recolha de dados procurou manter a janela temporal compreendida entre 2006 e 2015, por forma a aproveitar assim todos os rácios de eficiência para os 12 metropolitanos em análise.

Os dados relativos à tipologia do metropolitano (TIMET), à existência ou não de controlo público na operação (CONPUB) e ao número de anos da infraestrutura (ANMET) foram recolhidos diretamente de relatórios oficiais das entidades gestoras. Já o rácio do número de passageiros transportados por trabalhadores efetivos (STAPAS) foi calculado de acordo com os dados utilizados na primeira questão de investigação, ou seja, extraídos de relatórios oficiais e de comunicações eletrónicas estabelecidas com os metropolitanos. Por outro lado, a densidade da rede (DENRE) foi deduzida pela divisão entre a extensão total da rede de metropolitano, já obtida na primeira questão de investigação, e a área de terra total de cada área metropolitana, indicada no portal EUROSTAT.

As variáveis da envolvente externa foram retiradas das bases de dados do EUROSTAT e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE). Se as variáveis DENPO e PIBPC são originárias do portal que agrega dados dos países europeus, EUROSTAT, já a taxa de desemprego (TXDES) por área metropolitana encontra-se na base de dados da entidade internacional OCDE.

Quadro 5 – Média das variáveis explicativas entre 2006 e 2015

SISTEMA	Estrutura e Organização					Envolvente Externa		
	TIMET	CONPUB	ANMET (anos)	DENRE (km/km ²)	STAPAS	DENPO (hab/km ²)	PIBPC (milhares de €)	TXDES (%)
Barcelona (Espanha)	1	1	86,5	0,013	104538	704	27,10	15,94
Bruxelas (Bélgica)	1	1	34,5	0,015	197217	889	47,60	10,84
Copenhaga (Dinamarca)	1	1	8,5	0,007	446558	686	52,70	6,11
Glasgow (Escócia)	1	1	114,5	0,003	66611	488	29,40	8,39
Helsínquia (Finlândia)	1	1	28,5	0,002	240873	168	47,90	6,20
Lisboa (Portugal)	1	1	51,5	0,014	105309	944	23,20	12,39
Madrid (Espanha)	1	1	91,5	0,036	92676	793	31,00	14,45
Oslo (Noruega)	1	1	44,5	0,016	145234	230	74,65	2,70
Porto (Portugal)	0	0	8,5	0,031	589906	860	15,50	12,47
Praga (Rep. Checa)	1	1	36,5	0,005	243400	221	22,30	3,41
Varsóvia (Polónia)	1	1	15,5	0,002	80405	328	19,00	7,79
Viena (Áustria)	1	1	32,5	0,009	98260	310	40,90	6,61

Fonte: Elaboração própria com base em documentos e dados oficiais dos metropolitanos, EUROSTAT e OCDE.

No Quadro 5 está sumarizado a média das variáveis explicativas que reportam ao período temporal compreendido entre 2006 e 2015 para cada um dos 12 metropolitanos analisados.

Do Quadro 5 sobressai desde logo o facto de o metropolitano do Porto ser o único “metro ligeiro” da amostra, bem como, é o único cujo principal sistema do metropolitano está sob a esfera da gestão privada. Quanto à idade média dos metropolitanos, as unidades mais recentes estão localizadas no Porto e em Copenhaga, enquanto as mais antigas encontram-se em Barcelona, Madrid e Glasgow. Relativamente à densidade da rede de metropolitano em termos médios, as unidades com uma menor densidade encontram-se em Helsínquia, Varsóvia e Glasgow, em contraposição, as redes mais densas tendo em conta a área total de terra encontram-se nas cidades de Madrid e do Porto. Comparativamente com o metropolitano de Lisboa, a unidade portuense apresentou entre 2006 e 2015 mais do dobro da densidade de rede que a sua congénere nacional. Já em relação ao rácio de passageiros transportados pelo número de funcionários efetivos, o metropolitano de Lisboa tem em média 1 funcionário efetivo por cada 105 mil passageiros transportados, enquanto o metropolitano do Porto apresenta cerca de 1 funcionário efetivo por cada 590 mil passageiros transportados, sendo claramente a unidade com maior rácio. Já o metropolitano com menor rácio é o de Glasgow.

Analisando as variáveis da envolvente externa, as áreas metropolitanas com maior densidade populacional localizam-se em Lisboa, Bruxelas e Porto, em contraciclo com as áreas metropolitanas de Helsínquia, Praga e Oslo. Como seria de esperar, também no norte e centro da Europa encontram-se as áreas metropolitanas com maior PIB_{pc} com Oslo à cabeça, seguido de Copenhaga e Helsínquia. As áreas metropolitanas destes países nórdicos apresentam ainda níveis de desemprego inferiores, nomeadamente em relação aos países do sul da Europa (Espanha e Portugal).

5. Resultados

5.1. Análise dos Resultados da Questão de Investigação I

Após recolha extensa dos dados, procedeu-se à análise da técnica DEA com recurso ao software DEA Frontier[®], utilizando a ferramenta Solver[®] do Excel[®]. Primeiramente, foi aplicado o método DEA CCR que assume rendimentos constantes à escala para cada um dos 10 anos em análise, compreendidos entre 2006 e 2015. Os resultados encontram-se sumarizados no Quadro 6.

Quadro 6 – Rátios de eficiência DEA assumindo rendimentos constantes à escala

Barcelona	0,959	0,981	1	0,939	0,968	0,998	0,957	0,972	0,953	0,936
Bruxelas	0,843	0,800	0,667	0,650	0,759	0,658	0,666	0,688	0,805	0,784
Copenhaga	1	1	1	1	1	1	1	0,800	0,920	0,914
Glasgow	0,595	0,623	0,610	0,572	0,562	0,613	0,616	0,627	0,634	0,629
Helsínquia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lisboa	0,805	0,776	0,745	0,759	0,809	0,765	0,638	0,618	0,694	0,680
Madrid	0,851	0,859	0,886	0,883	0,870	0,862	0,828	0,741	0,753	0,759
Oslo	0,729	0,688	0,718	0,681	0,764	0,840	0,834	0,985	1	0,969
Porto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Praga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Varsóvia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Viena	1	1	1	1	1	1	0,970	1	1	1
SISTEMA										
ANO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015

Fonte: Elaboração própria com base em documentos e dados oficiais dos metropolitanos.

A análise DEA CCR indica que um terço das unidades são eficientes ao longo de todo o período em análise, Helsínquia, Porto, Praga e Varsóvia. Para além da distribuição geográfica ser dispersa com 2 metropolitanos a representar o centro da Europa, Praga e Varsóvia, 1 a representar o norte da Europa, Helsínquia, e 1 a representar o sul da Europa, Porto, todos os metropolitanos eficientes foram inaugurados em décadas distintas. Também próximo de se apresentar como uma unidade eficiente entre 2006 e 2015 esteve o metropolitano de Viena, que apenas em 2012 não igualou os 4 pares acima mencionados pois podia minimizar em 3% os seus *inputs* para fornecer o mesmo nível de *outputs*. Um degrau abaixo encontra-se o recente metropolitano de Copenhaga que, apesar de ter sido

uma unidade eficiente entre 2006 e 2012, caiu abruptamente de performance em 2013 e apresenta nos últimos 2 anos de análise uma oportunidade de otimizar os seus *inputs* em 8%. Uma unidade que raramente é eficiente, apenas em 2008, mas mesmo assim apresenta rácios de eficiência interessantes é o metropolitano de Barcelona, cujo valor mais baixo é de 93,6% no ano de 2015.

No método DEA CCR, a unidade menos eficiente e com maior margem para minimizar os seus *inputs* é o metropolitano de Glasgow cujo os valores de eficiência nunca ultrapassam os 63,4% em comparação com as unidades mais eficientes. Destaque também negativo para os resultados dos metropolitanos de Lisboa e de Madrid. Tanto a unidade portuguesa como a espanhola viram os seus rácios decrescer consideravelmente no período compreendido entre 2006 e 2015. Se em 2006 o metropolitano de Lisboa apresentava um rácio de 80,5% de eficiência, 10 anos depois o rácio de eficiência situava-se em 68%, isto é, uma redução superior a 15% e que indica que a unidade lisboeta pode minimizar os seus *inputs* em 32%. Quanto ao metropolitano de Madrid, após um período inicial de melhoria do rácio de eficiência, assiste-se desde 2010 a uma degradação anual do rácio de eficiência, nesse sentido, após ter tido uma eficiência próxima dos 89% em 2008, 7 anos depois a eficiência da unidade espanhol tinha caído para cerca de 76% em relação aos metropolitanos mais eficientes. Com uma performance igualmente irregular encontra-se o metropolitano de Bruxelas que apresenta alterações bruscas nos rácios de eficiência, por exemplo, se em anos como os de 2006, 2007 e 2014 a oportunidade de minimizar os *inputs* é inferior a 20%, noutros como em 2008, 2009 e 2012 os *inputs* podem ser otimizados em mais de 33%.

Por último, uma menção para o metropolitano de Oslo que tem vindo a melhorar significativamente os seus níveis de eficiência em relação aos seus pares mais eficientes. Se em 2006, a unidade norueguesa podia minimizar os seus *inputs* em 27%, em 2015 esse valor cifrava-se em apenas 3%.

De seguida, assumindo rendimentos variáveis à escala de acordo com o modelo de Barnes, Charnes e Cooper, aplica-se o software DEA Frontier® para o período entre 2006 e 2015. Os resultados apresentados no Quadro 7 são contundentes.

Quadro 7 – Rádios de eficiência DEA assumindo rendimentos variáveis à escala

Barcelona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bruxelas	0,893	0,821	0,674	0,663	0,772	0,664	0,666	0,750	0,814	0,788
Copenhaga	1	1	1	1	1	1	1	1	0,976	0,984
Glasgow	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Helsínquia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lisboa	0,815	0,802	0,747	0,761	0,810	0,780	0,641	0,623	0,696	0,682
Madrid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oslo	0,912	0,896	0,967	0,923	1	1	1	1	1	1
Porto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Praga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Varsóvia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Viena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SISTEMA										
ANO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015

Fonte: Elaboração própria com base em documentos e dados oficiais dos metropolitanos.

No método DEA BCC 8 unidades são consideradas eficientes ao longo de todo o espaço temporal, ou seja, o dobro do número de metropolitanos considerados eficientes pelo método DEA CCR. Para além dos supracitados metropolitanos de Helsínquia, Porto, Praga e Varsóvia que já operavam à sua escala eficiente, também as unidades de Barcelona, Glasgow, Madrid e Viena passam agora a integrar o grupo dos metropolitanos eficientes. Se Viena não constitui uma surpresa pois já com rendimentos constantes à escala os seus rácios de eficiência estavam próximos dos valores de referência, os resultados obtidos em Glasgow e Madrid assumem-se como uma grande mudança de paradigma pois indicam que estes metropolitanos têm rendimentos variáveis à escala. Tanto a unidade escocesa como a unidade espanhola passaram de uma performance medíocre assumindo rendimentos constantes à escala para um desempenho eficiente com rendimentos variáveis à escala.

Apesar do método de análise ter sido diferente, os metropolitanos de Lisboa e de Bruxelas continuam a apresentar um desempenho muito aquém dos seus pares europeus. Tanto a unidade portuguesa como a unidade belga têm sofrido uma degradação dos seus rácios de eficiência. Nos 10 anos de atividade em análise, a unidade portuguesa é considerada a menos eficiente por 6 vezes, enquanto a unidade belga é a pior nos restantes 4 anos (2008, 2009, 2010 e 2011).

Uma nota ainda para os metropolitanos de Copenhaga e Oslo que melhoraram os seus rácios de eficiência em relação ao método BCC, nomeadamente, a unidade noruega que é considerada eficiente em 6 anos consecutivos quando no método CCR tinha sido eficiente somente em 2014.

Após realizar análise DEA quer com o método CCR quer com o método BCC, não restam dúvidas que, independentemente de considerar rendimentos constantes ou rendimentos variáveis à escala, o metropolitano do Porto, gerido operacionalmente por um contrato de subconcessão, apresenta rácios de eficiência francamente superiores aos rácios de eficiência do metropolitano de Lisboa, entidade gerida publicamente.

Outro tópico importante de estudar através da técnica DEA é averiguar se as unidades têm eficiências de escala e, em caso afirmativo, indicar se estas são de natureza crescente ou decrescente. A primeira questão implica aplicar a fórmula da eficiência de escala mencionada no ponto 3.1.2, em que um rácio igual a 1 significa que a unidade opera com rendimentos constantes à escala. Caso o rácio seja inferior a 1, o metropolitano apresenta rendimentos variáveis à escala. Já a segunda questão necessita que a eficiência de uma determinada unidade seja minimizada sujeita a duas condições:

- 1) Soma ponderada dos *inputs* de todas unidades deve ser menor ou igual que os *inputs* de uma determinada unidade;
- 2) Soma dos *outputs* de uma determinada unidade deve ser menor ou igual que a soma ponderada dos *outputs* das restantes unidades.

Esta formulação permite determinar o conjunto de referência de eficiência (ERS) para cada uma das unidades consideradas ineficientes e dar uma ponderação ótima (λ) às unidades que fazem parte do ERS. A soma de todos os lambdas do ERS irá determinar se os rendimentos são crescentes ou decrescentes. Por exemplo, em 2006 o rácio de eficiência do metropolitano de Lisboa foi de 0,805, já a soma dos lambdas do ERS, constituído por Helsínquia, Viena e Praga, do metropolitano de Lisboa foi de 0,487. Uma vez que a soma dos lambdas do ERS é inferior ao rácio de eficiência, a unidade lisboeta apresentou em 2006 rendimentos à escala decrescentes. Se a soma dos lambdas fosse superior ao rácio de eficiência, o metropolitano de Lisboa teria rendimentos crescentes.

Posto isto, foi aplicada a fórmula da eficiência de escala mencionada no ponto 3.1.2 e, para os casos cujo valor era inferior a 1, analisou-se a soma dos lambdas do ERS de cada uma das unidades ineficientes. O sumário desta análise encontra-se no Quadro 8.

Quadro 8 – Eficiências de escala dos metropolitanos entre 2006 e 2015

Barcelona	0,959	0,981	1	0,939	0,968	0,998	0,957	0,972	0,953	0,936	
Bruxelas	0,944	0,974	0,990	0,979	0,983	0,990	1,000	0,917	0,989	0,995	
Copenhaga	1	1	1	1	1	1	1	0,800	0,942	0,929	
Glasgow	0,595	0,623	0,610	0,572	0,562	0,613	0,616	0,627	0,634	0,629	
Helsínquia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Lisboa	0,988	0,968	0,996	0,999	0,999	0,980	0,996	0,992	0,998	0,998	
Madrid	0,851	0,859	0,886	0,883	0,870	0,862	0,828	0,741	0,753	0,759	
Oslo	0,800	0,768	0,742	0,738	0,764	0,840	0,834	0,985	1	0,969	
Porto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Praga	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Varsóvia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Viena	1	1	1	1	1	1	0,970	1	1	1	
SISTEMA	ANO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015

Legenda	
	Rendimentos constantes
	Rendimentos decrescentes
	Rendimentos crescentes

Fonte: Elaboração própria com base em documentos e dados oficiais dos metropolitanos.

Os metropolitanos de Helsínquia, Porto, Praga e Varsóvia apresentam rendimentos constantes à escala, ou seja, já operam à sua escala mais eficiente e um aumento dos *inputs* numa determinada proporção, irá fazer aumentar respetivamente os *outputs* na mesma proporção. Com rendimentos constantes à escala em quase todos os anos temos o metropolitano de Viena que apenas em 2012 exibiu rendimentos decrescentes, o que significa que nesse ano o aumento dos *inputs* numa determinada proporção é inferior em termos proporcionais ao aumento da quantidade produzida. Já o metropolitano de Copenhaga apresentou rendimentos constantes em 7 dos 10 anos em análise, nos restantes 3 a unidade dinamarquesa apresentou rendimentos crescentes à escala, isto é, o aumento dos *inputs* traduziu-se num aumento mais do que proporcional da quantidade produzida.

O outro metropolitano português em análise situado em Lisboa apresenta durante todo o período coberto rendimentos crescentes à escala, ao contrário da unidade portuense cujo os rendimentos à escala são constantes. Igualmente com rendimentos crescentes à escala temos o metropolitano de Glasgow e o metropolitano de Bruxelas, que apenas em 2010 apresentou rendimentos decrescentes. Claramente em contraciclo com os

metropolitanos português, escocês e belga temos as unidades espanholas e norueguesa. Se por um lado o metropolitano de Madrid apresenta durante os 10 anos de atividade rendimentos decrescentes à escala, o mesmo quase pode ser concluído para o metropolitano de Barcelona cujo único ano excecional aconteceu em 2008 onde foi capaz de obter rendimentos constantes. Em igual situação ao metropolitano de Barcelona temos o metropolitano de Oslo que em 9 dos 10 anos analisados apresentou um rendimento à escala decrescente, sendo que a única exceção deu-se em 2014 em que exibiu rendimentos constantes.

A seguir ao cálculo e análise dos rácios de eficiência técnica por intermédio do método DEA, uma das questões que importa colocar quando a análise é orientada aos *inputs* é quais os recursos que podem ser otimizados por forma a que a unidade atinja níveis de eficiência semelhantes às unidades mais eficientes. Ora, o cálculo desses tais valores ótimos dos *inputs* ($\hat{x}_i$) é dado pela multiplicação entre os valores dos *inputs* (x_i) e um vetor composto por valores ótimos de eficiência (θ^*), de seguida, os “excessos” (s_i^{-*}) são subtraídos a este resultado. Estes “excessos”, conhecidos como *slacks*, só existem nas unidades ineficientes e representam as sobras da ineficiência (consumo excessivo de *inputs* ou falta de *outputs*), sendo necessários para uma unidade alcançar o rácio de eficiência caso esta não o consiga atingir por intermédio da redução dos *inputs* ou aumento dos *outputs*.

Para calcular os valores ótimos dos *inputs* ($\hat{x}_i$) irá recorrer-se ao modelo DEA CCR, pois considera que uma unidade opera à sua escala mais eficiente e, tal como já vimos acima, um dos metropolitanos portugueses apresenta rendimentos constantes à escala o que permite constituir-lo como um *benchmark*. Assim, a fórmula que expressa num modelo DEA CCR orientado aos *inputs* os valores ótimos para os *inputs* é:

$$\hat{x}_i = \theta^* x_i - s_i^{-*} \quad (5.1)$$

Uma vez que a primeira questão de investigação pretende focar-se nos metropolitanos portugueses de Lisboa e do Porto, no Quadro 9 serão apenas apresentados os valores ótimos dos *inputs* para os metropolitanos portugueses.

Quadro 9 – Resumo do ajustamento necessário para atingir os valores ótimos

		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Lisboa	ET (kms)	-10,7 -30%	-13,4 -35%	-9,7 -26%	-9,5 -24%	-7,5 -19%	-10,2 -26%	-16,1 -37%	-16,5 -38%	-15,2 -35%	-14,2 -33%
	NE	-14 -33%	-17 -38%	-18 -39%	-22 -43%	-17 -32%	-20 -38%	-31 -57%	-30 -55%	-30 -55%	-30 -54%
	NV	-66 -20%	-76 -22%	-86 -26%	-81 -24%	-64 -19%	-79 -24%	-122 -36%	-129 -38%	-102 -31%	-107 -32%
	NF	-325 -20%	-369 -22%	-670 -41%	-635 -39%	-319 -19%	-376 -24%	-950 -62%	-723 -50%	-784 -55%	-745 -54%
Porto	ET (kms)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria com base em documentos e dados oficiais dos metropolitanos.

Dado que o metropolitano do Porto apresenta-se como uma unidade eficiente em todos os anos entre 2006 e 2015, é sem surpresa que se constata que não é necessário otimizar qualquer *input* ao longo dos anos. Pelo contrário, o metropolitano de Lisboa, considerado um dos mais ineficientes da amostra no modelo DEA CCR, necessita em todos os anos de um enorme ajustamento dos seus *inputs* para atingir um patamar de eficiência técnica. Ao longo dos anos, a deterioração do serviço prestado pelo metropolitano de Lisboa e captado pelos rácios de eficiência do modelo DEA tem incrementado substancialmente a necessidade de reduzir a extensão da rede, o número de estações, o número de veículos e, sobretudo, o número de pessoal efetivo. Por exemplo, se em 2006 era necessário reduzir em 10,7 quilómetros a extensão da rede, cortar 14 estações, deixar de utilizar 66 veículos e dispensar 325 colaboradores, em 2012 estes números eram francamente piores com o metropolitano de Lisboa a ter necessidade de reduzir em 37% (menos 16,1 quilómetros) a sua extensão da rede, a ter de encerrar 57% das suas estações (menos 31), a ter de parar 38% (menos 122) dos seus veículos e a dispensar o serviço de mais de 62% da sua mão de obra efetiva, ou seja, atirar para o desemprego 950 colaboradores.

Os números apresentados acima são esclarecedores e demonstram a grandeza do desafio que o metropolitano de Lisboa tem pela frente por forma a atingir rácios de eficiência semelhantes ao metropolitano do Porto e que garantam a sustentabilidade operacional da unidade lisboeta.

5.2. Análise dos Resultados da Questão de Investigação II

A seleção das variáveis explicativas é um processo que não termina na recolha de dados. Primeiramente, com recurso ao software EViews®, versão 10, procede-se à análise de estatística descritiva da amostra observada para cada uma das variáveis explicativas. O Quadro 10 apresenta um resumo das estatísticas descritivas:

Quadro 10 – Análise de estatística descritiva para as variáveis explicativas

Variáveis Explicativas (X_i)	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio- Padrão	Observações
TIMET	0,9167	1,0000	1,0000	0,0000	0,2775	120
CONPUB	0,9167	1,0000	1,0000	0,0000	0,2775	120
ANMET (anos)	46	36	119	4	33	120
DENRE (km)	0,013	0,010	0,038	0,002	0,011	120
STAPAS	200916	121382	749351	61111	168784	120
DENPO (hab/km ²)	552	576	1000	160	281	120
PIBPC (milhares de €)	35,94	31,00	82,00	14,00	16,76	120
TXDES (%)	8,94	7,79	23,10	1,63	4,97	120

Fonte: Elaboração própria com base em documentos e dados oficiais dos metropolitanos, EUROSTAT e OCDE.

Um dos dados que salta à vista na tabela acima é a grandeza unitária da variável STAPAS. Esta situação pode ser contornada ao logaritmizar a variável em questão pois, segundo Wooldridge (2002), a utilização do logaritmo permite suavizar e corrigir problemas de heterocedasticidade, tornando as estimativas menos sensíveis a observações extremas. Assim sendo, a variável explicativa STAPAS será logaritmizada, passando a denominar-se de LSTAPAS aquando da aplicação do modelo Tobit, permitindo relações não-lineares entre a variável dependente e a variável explicativa.

Após recolha e primeira análise das variáveis explicativas existe a necessidade de realizar o teste de Correlação Linear de Pearson, cujo principal objetivo é medir o grau de correlação entre duas variáveis. Caso existam variáveis explicativas com o mesmo comportamento (colinearidade), apenas uma delas poderá ficar, caso contrário, a sua manutenção prejudica o cálculo dos estimadores do modelo.

Atendendo ao Quadro 11, caso o coeficiente de correlação entre duas variáveis seja superior a 0,60, uma das variáveis explicativas será removida da análise.

Quadro 11 – Relação entre os parâmetros obtidos e a sua correlação linear

Parâmetros	Correlação Linear
Se $0,00 < \rho < 0,30$	Fraca
Se $0,30 \leq \rho < 0,60$	Moderada
Se $0,60 \leq \rho < 0,90$	Forte
Se $0,90 \leq \rho < 1,00$	Muito Forte

Fonte: Elaboração própria.

Para realizar o teste de Correlação Linear de Pearson atendendo às variáveis explicativas previamente selecionadas recorreu-se novamente ao software EViews®. De seguida, encontra-se no Quadro 12 a matriz de correlação linear entre as variáveis.

Quadro 12 – Matriz com coeficientes de correlação entre as variáveis explicativas

MATRIZ PEARSON	TIMET	CONPUB	ANMET	DENRE	LSTAPAS	DENPO	PIBPC	TXDES
TIMET	1							
CONPUB	1,000	1						
ANMET	0,344	0,344	1					
DENRE	-0,533	-0,533	0,119	1				
LSTAPAS	-0,595	-0,595	-0,662	0,196	1			
DENPO	-0,332	-0,332	0,138	0,613	0,127	1		
PIBPC	0,369	0,369	-0,113	-0,126	0,090	-0,303	1	
TXDES	-0,215	-0,215	0,357	0,510	-0,160	0,664	-0,430	1

Fonte: Elaboração própria.

A análise da tabela mostra que existe uma correlação linear muito forte entre a tipologia do metropolitano (TIMET) e o controlo da operação (CONPUB), tal deve-se ao facto de o único metropolitano ligeiro na amostra ser também o único administrado por entidades privadas. Assim, irá remover-se das variáveis explicativas a tipologia do metropolitano (TIMET).

Há ainda a realçar a correlação linear forte entre a densidade populacional (DENPO) com a taxa de desemprego (TXDES) e com a densidade da rede (DENRE). Por

forma a resolver este problema, será também excluída a variável explicativa densidade populacional (DENPO).

Posto isto, o modelo Tobit reformulado para a segunda questão de investigação ficará definido da seguinte forma:

$$Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 \text{CONPUB} + \beta_2 \text{ANMET} + \beta_3 \text{DENRE} + \beta_4 \text{LOGSTAPAS} + \beta_5 \text{PIBPC} + \beta_6 \text{TXDES} + u_i \quad (5.2)$$

O próximo passo envolve aplicar o Teste de Hausman pois, uma vez que a segunda questão de investigação irá recorrer a dados em painel, este teste permitirá saber se o modelo mais apropriado é de efeitos aleatórios (EA) ou de efeitos fixos (EF).

De forma resumida, o Teste de Hausman consiste em testar a seguinte hipótese nula:

$$H_0: \hat{\beta}^{EA} = \hat{\beta}^{EF} \quad (5.3)$$

A hipótese nula é verificada através da seguinte estatística teste:

$$W = (\beta^{EA} - \beta^{EF})' [\text{Var}(\beta^{EA}) - \text{Var}(\beta^{EF})]^{-1} (\beta^{EA} - \beta^{EF}) \quad (5.4)$$

Caso a hipótese nula não seja rejeitada, isso significa que β^{EA} (estimadores do modelo com efeitos aleatórios) são eficientes e consistentes. Assim, deve-se utilizar o estimador de efeitos aleatórios.

Caso a hipótese nula seja rejeitada, β^{EA} (estimadores do modelo com efeitos aleatórios) são inconsistentes e os β^{EF} (estimadores do modelo com efeitos fixos) são eficientes e consistentes. Assim, deve-se utilizar o estimador de efeitos fixos.

Para o Teste de Hausman vamos utilizar como variável dependente os coeficientes obtidos com a técnica DEA CCR, assim obtém-se:

$$\text{DEACCR} = \beta_0 + \beta_1 \text{CONPUB} + \beta_2 \text{ANMET} + \beta_3 \text{DENRE} + \beta_4 \text{LOGSTAPAS} + \beta_5 \text{PIBPC} + \beta_6 \text{TXDES} + u_i \quad (5.5)$$

O Teste de Hausman é realizado no software EViews[®]. Primeiramente, estima-se o modelo com efeitos aleatórios para as variáveis definidas acima. Posteriormente, aplica-se o Teste de Hausman, assumindo uma significância de cerca de 5%.

Correndo o Teste de Hausman obtemos um *p-value* de 0,9626. Uma vez que o *p-value* está muito acima do nível de significância, não é possível rejeitar a hipótese nula. Assim sendo, o modelo de efeitos aleatórios é apropriado para a análise.

A utilização do software EViews[®] termina por aqui, uma vez que este não é capaz de estimar um modelo Tobit com dados em painel e efeitos aleatórios. Assim sendo, para prosseguir na investigação irá recorrer-se ao software Stata[®] e ao comando *xttobit*. Primeiramente, há a necessidade de utilizar o comando *xtset* para formatar a base de dados em painel. De seguida, após realizar as habituais análises de estatística descritiva inserimos o comando *xttobit* para a variável dependente “DEA CCR” sujeita às variáveis explicativas “CONPUB”, “ANMT”, “DENRE”, “LSTAPAS”, “PIBPC” e “TXDES”. Os resumos obtidos encontram-se no Quadro 13.

Quadro 13 – Resumo da estimação obtida com a variável dependente “DEACCR”

VARIÁVEIS	Coeficientes	Erro-Padrão	Teste Z	P> z	[Int. Confiança 95%]	
CONPUB	-.0791451	.2052435	-0.39	0.700	-.481415	.3231249
ANMET	-.0000818	.001308	-0.06	0.950	-.0026455	.0024819
DENRE	-.9065867	4.285609	-0.21	0.832	-9.306226	7.493053
LSTAPAS	.285202	.0648222	4.40	0.000	.1581528	.4122513
PIBPC	.0050056	.0021943	2.28	0.023	.0007049	.0093062
TXDES	-.0020067	.0019287	-1.04	0.298	-.0057869	.0017735
Constante	-.6678324	.4213115	-1.59	0.113	-1.493588	.157923

Número de observações 120

Log likelihood 170.43949

Fonte: Elaboração própria.

A análise da tabela permite concluir que existem duas variáveis explicativas estatisticamente significativas, LSTAPAS e PIBPC, tendo em conta o nível de significância pretendido (5%). Ou seja, das 6 variáveis explicativas analisadas, 4 delas não são estatisticamente significativas pois o valor de $P > |z|$, isto é, a probabilidade do teste t rejeitar ou não a hipótese nula e assim um parâmetro estimado ter ou não significância, é superior a 5%. Atendendo a esta mesma coluna, as variáveis CONPUB, ANMET,

DENRE e TXDES não são significativas e, portanto, estatisticamente não está provado que tenham impacto nos rácios de eficiência dos metropolitanos.

Relativamente aos coeficientes da estimação das variáveis explicativas não estatisticamente significativas constata-se que estas apresentam um efeito negativo em relação aos rácios de eficiência dos metropolitanos. Assim sendo, caso o metropolitano seja gerido por uma entidade pública, isso traduz-se numa redução de 0,08 unidades no rácio de eficiência. Por outro lado, por cada ano que uma estrutura de metropolitano “envelheça”, a unidade perde 0,00008 unidades no rácio DEA com rendimentos constantes à escala. Já o aumento da densidade da rede em uma unidade de km/km^2 leva a uma perda de também quase uma unidade no rácio de eficiência, o que acaba por torná-la a variável com maior impacto negativo, apesar de estatisticamente não significativa. Por último, um aumento de uma unidade (+ 1 ponto percentual) na taxa de desemprego na área metropolitana induz a uma redução de 0,002 unidades nos rácios de eficiência dos metropolitanos.

Quanto às variáveis explicativas estatisticamente significativas, aquela que tem um maior impacto na eficiência dos metropolitanos é o PIBPC. Segundo a análise efetuada, um aumento em uma unidade (+1000€) do PIB_{pc} da área metropolitana tem como consequência um aumento de 0,005 no rácio de eficiência na unidade que serve essa mesma população. Apesar de ser estatisticamente significativa, o aumento em uma unidade do rácio número de passageiros transportados por funcionários efetivos tem um efeito positivo no resultado de eficiência DEA CCR.

Após analisar os efeitos das variáveis explicativas no rácio de eficiência DEA com rendimentos constantes à escala, é a vez de averiguar se o número de variáveis explicativas sem significância estatística reduz-se ou mantém-se, bem como, se os coeficientes estimados se alteram.

Repetindo novamente a totalidade dos passos realizados na análise anterior, o software Stata® e o comando *xttobit* devolvem o resultado conforme o Quadro 14.

Quadro 14 – Resumo da estimação obtida com a variável dependente “DEABCC”

VARIÁVEIS	Coeficientes	Erro-Padrão	Teste Z	P> z	[Int. Confiança 95%]	
CONPUB	-.1014813	.1221851	-0.83	0.406	-.3409597	.137997
ANMET	.0005122	.0008257	0.62	0.535	-.0011061	.0021305
DENRE	-1.486165	2.707554	-0.55	0.583	-6.792873	3.820543
LSTAPAS	.0428624	.043243	0.99	0.322	-.0418922	.1276171
PIBPC	.0009637	.0011376	0.85	0.397	-.0012659	.0031932
TXDES	-.0015089	.0013174	-1.15	0.252	-.004091	.0010732
Constante	.7990611	.2719017	2.94	0.003	.2661436	1.331979

Número de observações 120

Log likelihood 213.36018

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 14 não deixa qualquer dúvida, utilizando os rácios de eficiência DEA BCC, isto é, com rendimentos variáveis à escala, nenhuma variável explicativa é estatisticamente significativa. Aliás, nenhuma está sequer próxima de um nível de significância aceitável.

Apesar dos coeficientes da estimação serem distintos, há a realçar o facto de o número de anos do metropolitano passar aqui a ter um efeito positivo nos rácios de eficiência, quando na análise anterior o seu efeito na eficiência era negativo. Já as restantes variáveis explicativas mantêm o seu efeito nos rácios de eficiência, recapitulando, a gestão ou não da estrutura por entidades públicas (CONPUB), a densidade da rede de metropolitano (DENRE) e a taxa de desemprego observada na área metropolitana (TXDES) implicam negativamente os rácios de eficiência, enquanto o PIBpc na área metropolitana e o rácio de passageiros transportados por funcionários efetivos apresentam uma relação positiva com a eficiência das unidades.

6. Conclusão

A ferrovia continuará a ser um dos grandes motores económicos e sociais das economias mundiais, quer como parceiro privilegiado do comércio internacional quer como canal de comunicação para reduzir a distância entre as sociedades. O seu impacto ambiental e urbano será igualmente fundamental em diversas regiões do globo, onde o crescimento social e económico das cidades exige formas de transporte rápidas, eficientes, equilibradas e amigas do ambiente. É neste contexto dinâmico e exigente que o desenvolvimento e a crescente popularidade dos sistemas de metropolitano tem ganho protagonismo.

A literatura sobre o setor ferroviário é extensa e não tem dúvidas em apontar como principal desafio a necessidade de aumentar os rácios de eficiência operacional e financeira das empresas ferroviários, por forma a assegurar a viabilidade deste meio em detrimento do transporte individual e privado. Nesse sentido, inúmeras autoridades nacionais têm procurado inúmeras soluções para incrementar a performance dos seus sistemas, nomeadamente pela indução de maior participação dos privados no setor. Também os sistemas de metropolitano são confrontados com este desafio premente, assim sendo, apesar da literatura não ser conclusiva em relação aos méritos da gestão privada no setor, alguns sistemas têm promovido uma gestão privada da sua operação com o intuito de melhorar os rácios de eficiência e, por consequência, minimizar os recursos públicos consumidos neste tipo de transporte.

A realidade portuguesa dos metropolitanos fornece uma ótima oportunidade para investigar até que ponto um metropolitano gerido por entidades públicas é mais ou menos eficiente do que um sistema controlado pela gestão privada. Nesse sentido, após reunir dados de 12 metropolitanos europeus, inclusive de Lisboa e do Porto, para o período compreendido entre 2006 e 2015, foi utilizada a técnica Análise Envoltória de Dados (DEA) para calcular o rácio de eficiência técnica ao longo deste espaço temporal. Os resultados são contundentes e mostram que o metropolitano do Porto, gerido operacionalmente por privados, é considerado uma unidade eficiente tendo em conta a amostra, estando ao nível dos melhores metropolitanos europeus como Praga e Helsínquia. Por outro lado, o metropolitano de Lisboa é uma das unidades menos eficientes ao longo do período analisado estando bem abaixo dos seus congéneres europeus. Estes resultados estão em linha com o estudo de Lobo e Couto (2015) que, apesar de analisar a eficiência

técnica através de um método paramétrico, conclui também que o metropolitano do Porto é mais eficiente do que o de Lisboa.

O cálculo dos valores ótimos, tendo em conta os *inputs* selecionados para o método DEA, mostram claramente que o metropolitano de Lisboa está sobredimensionado em relação aos metropolitanos da amostra. Para que a unidade lisboeta atingisse um rácio de eficiência técnica de 1 atendendo aos metropolitanos da amostra, seria necessário reduzir drasticamente o número de funcionários efetivos e o número de veículos, nomeadamente nos últimos anos analisados, onde se tem notado que os rácios de eficiência do metropolitano de Lisboa têm caído sistematicamente. Estes indicadores mostram que, caso as entidades públicas queiram rentabilizar os recursos empregues no metropolitano de Lisboa, será necessário incrementar os *outputs* produzidos, isto é, especialmente aumentar o número de passageiros transportados com os mesmos *inputs*.

Os rácios de eficiência variam de acordo com inúmeras variáveis que podem ser de carácter estrutural, organizacional ou externo. A segunda parte da investigação procurou investigar os fatores explicativos que podiam estar a influenciar a performance operacional dos metropolitanos europeus. Com recurso ao modelo Tobit foi possível estimar o impacto e significância de 6 variáveis explicativas nos rácios de eficiência dos 12 metropolitanos analisados. Os dados obtidos com a estimação mostram que somente as variáveis explicativas rácio do número de passageiros transportados pelo número de funcionários efetivos e PIB_{pc} da área metropolitana são significativas e têm influência nos rácios de eficiência dos metropolitanos. As restantes variáveis, operação gerida por entidades públicas, densidade da rede, número de anos do metropolitano e taxa de desemprego na área metropolitana, não são estatisticamente significativas apesar de indicarem ter influência nos rácios de eficiência das unidades.

A investigação dos níveis de eficiência técnica dos metropolitanos e a determinação de eventuais causas de ineficiências reveste-se de especial relevância pois permite dar pistas aos decisores políticos e operacionais. Nesse sentido, o principal objetivo deste documento foi concretizado, uma vez que a análise DEA efetuada permitiu distinguir ao longo do tempo a evolução da performance dos metropolitanos portugueses no contexto europeu, bem como, indicar fatores produtivos que podem ser otimizados no metropolitano de Lisboa. Por outro lado, a presente investigação corroborou o trabalho de alguns investigadores como Lobo e Couto (2015) relativamente ao impacto do contexto

socioeconómico na performance dos metropolitanos, oferecendo novos argumentos ao debate e à ainda escassa literatura dos metropolitanos portugueses.

Não obstante os contributos elencados, as análises através do método DEA e do modelo de Tobit presentes na dissertação podem ser enriquecidas em investigações futuras, especialmente se forem ultrapassadas as dificuldades no acesso a informação financeira e operacional, aumentando assim o número de metropolitanos na amostra e a probabilidade das variáveis explicativas serem relevantes. Fruto desta dificuldade em obter dados, as variáveis explicativas não tiveram a significância e o alcance que se desejava ter.

Referências Bibliográficas

Babalik-Sutcliffe, E. (2002), “Urban Rail Systems: Analysis of the Factors Behind Success”, *Transport Reviews*, Vol. 22, N°. 4, pp. 415-447.

Babalik-Sutcliffe, E. (2016), “Urban Rail Operators in Turkey: Organisational Reform in Transit Service Provision and the Impact on Planning, Operation and System Performance”, *Journal of Transport Geography*, N°.54, pp. 464-475.

Barros, C. P. (2006), “A Benchmark Analysis of Italian Seaports using Data Envelopment Analysis”, *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 8, N°.4, pp. 347-365.

Benjamin, J., e Obeng, K., (1990), “The Effect of Policy and Background Variables on Total Factor Productivity for Public Transit”, *Transportation Research Part B*, Vol. 24, N°. 1, pp. 1-14.

Berechman, J. (1993), “Public Transit Economics and Deregulation Policy”, Amsterdão, Holanda.

Bray, D., e Sayeg, P. (2013), “Private Sector Involvement in Urban Rail: Experience and Lessons From South East Asia”, *Research in Transportation Economics*, Vol. 39, N°. 1, pp. 191-201.

Brons, M., Nijkamp, P., e Pels, Rietveld P. (2005), “Efficiency of Urban Public Transit: A Meta Analysis”, *Transportation* 32, pp. 1-21.

Cantos, P., e Maudos, J., (2001), “Regulation and Efficiency: The Case of European Railways”, *Transportation Research Part A*, N°. 35, pp. 459–472.

Caves, D., Christensen, L., e Swanson, J. (1981), “Economic Performance in Regulated and Unregulated Environments: a Comparison of US and Canadian Railways”, *The Quarterly Journal of Economics*, N°. 96, pp. 559–581.

Caves, R.E. (1992), “Industrial efficiency in Six Nations”, *MIT Press*, Cambridge, Massachussets.

Chang, Z. (2013), “Public-private Partnerships in China: A Case of the Beijing No.4 Metro Line”, *Transport Policy*, Vol. 30, pp. 153-160.

Chilingerian, J.A. (1995), “Evaluating Physician Efficiency in Hospitals: A Multivariate Analysis of Best Practices”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, N°. 3, pp. 548-574.

Coelli, T., e Perelman, S. (1996), “Efficiency Measurement, Multiple-output technologies and Distance Functions: With Application to European Railways”, CREPP 96/05, Universidade de Liège, Bélgica.

Cohen, R., e Boast, T. (2016), “Governance of Public-Private Partnerships and Infrastructure Delivery: Case of the Milan, Italy, Metro Line M4”, *Transportation Research Record*, N°. 2597, pp. 37-43.

Cowie, J. (1999), “The Technical Efficiency of Public and Private Ownership in the Rail Industry: The Case of Swiss Private Railways”, *Journal Transport Economics and Policy*, N°. 33, pp. 241–252.

Cruz, C. (2012), “Organization of Metropolitan Transport Systems: The Portuguese Case”.

Drucker, P. (1977), “An Introductory View of Management. Harper College Press”, Nova Iorque, NI.

Estache, A., e de Rus, G. (2000), “Privatisation and Regulation of Transport Infrastructure: Guidelines for Policymakers and Regulators”, Instituto Banco Mundial, Banco Mundial, Washington, D.C., 2000, p.1.

EUROSTAT (2018). *Area of the regions by metropolitan regions*. Disponível em http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=met_d3area&lang=en. Acedido em 27.08.2018.

EUROSTAT (2018). *Gross domestic product (GDP) at current market prices by metropolitan regions*. Disponível em http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=met_10r_3gdp&lang=en. Acedido em 27.08.2018.

EUROSTAT (2018). *Population density by metropolitan regions*. Disponível em http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=met_d3dens&lang=en. Acedido em 27.08.2018.

Fethi, M. D., Jackson, P., e Weyman-Jones, T. (2000), “Measuring the Efficiency of European Airlines: An Application of DEA and Tobit Analysis”, *EPRU Discussion Papers*, Universidade de Leicester, Reino Unido.

Fielding, G.J. (1987), “Managing Transit Strategically”, Jossey-Bass Publishers, San Francisco, CA.

Frasquilho, M. (2005), “Eficiência dos Transportes Urbanos e Autoridades Metropolitanas de Transporte”, Grupo Banco Espírito Santo, *Espírito Santo Research*.

Gathon, H.J., e Pestieau, P. (1995), “Decomposing Efficiency Into its Managerial and its Regulatory Components: The Case of European Railways”, *European Journal of Operational Research*, N.º. 80, pp. 500–507.

Graham D. J. (2008), “Productivity and Efficiency in Urban Railways: Parametric and Non-Parametric Estimates”, *Transportation Research Part E*, N.º.44, pp. 84–99.

Greene, W. (2003), “Econometric Analysis”, *Prentice Hall*, New Jersey.

Grosskopf, S. (1996), “Statistical Inference and Nonparametric Efficiency: A Selective Survey”, *Journal of Productivity Analysis*, N° 7, pp. 161-176.

Hong, S. (2016), “When Does a Public-private Partnership (PPP) Lead to Inefficient Cost Management? Evidence From South Korea's Urban Rail System”, *Public Money & Management*, Vol. 36, N° 6, pp. 447-454.

Jain, P., Cullinane, S., e Cullinane, K. (2008), “The Impact of Governance Development Models on Urban Rail Efficiency”, *Transportation Research Part A*, Vol. 42, N° 9, pp. 1238-1250.

Kapetanovic, M., Milenkovic, M., Bojovic, N., e Avramovic, Z. (2017), “Evaluation of European Railway Companies Efficiency: Application of a Two-Stage Analysis”, UDC: 656.2(4), Universidade de Belgrado, Sérvia.

Karlaftis, M. (2004), “A DEA Approach for Evaluating the Efficiency and Effectiveness of Urban Transit Systems”, *European Journal of Operational Research*, N° 152, pp. 354-364.

Karlaftis, M. (2008), “Privatization, Regulation and Competition: A Thirty-year Retrospective on Transit Efficiency”, OECD/ITF, *Privatisation and Regulation of Urban Transit Systems*, OECD Publishing, Paris, pp 67-108.

Kerstens, K. (1996), “Technical Efficiency Measurement and Explanation of French Urban Transit Companies”, *Transportation Research Part A*, Vol. 30, N° 6, pp. 431-452.

Lan, L.W., e Lin, E.T.J. (2006), “Performance Measurement for Railway Transport: Stochastic Distance Functions with Inefficiency and Ineffectiveness Effects”, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 40, N° 3, pp. 383-408.

Le Grand, J. e Robinson, R. (1984), “Privatisation and the Welfare State, Allen and Unwin”, Nova Iorque, NI.

Lobo, A., e Couto, A. (2015), “Technical Efficiency of European Metro Systems: The Effects of Operational Management and Socioeconomic Environment”, *Networks & Spatial Economics*, Vol. 16, N°. 3, pp. 723-742.

Lozano, S. (2009), “Estimating Productivity Growth of Spanish Ports using a Non-radial, Non-oriented Malmquist Index”, *Int. J. of Shipping and Transport Logistics*, Vol. 1, N°. 3, pp. 227-248.

Lundqvist, J.L. (1989), “The Literature of Privatisation”, *Scandinavian Political Studies*, Vol. 12, N°.3, pp. 271-277.

Mallikarjun, S., Lewis, H. F., e Sexton, T. R. (2014), “Operational Performance of US Public Rail Transit and Implications for Public Policy”, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 48, N°. 1, pp. 74-88.

Markovits-Somogyi, R. (2011), “Data Envelopment Analysis and its Key Variants utilized in the Transport Sector”, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, Vol. 39, N°. 2, pp. 63-68.

Martin, B. (2002), “Railway Privatisation Through Concessions”, *Public World*.

Mayes, D., Harris, C. e Lansbury, M. (1994), “Inefficiency in Industry”, Harvester Wheatsheaf.

Mees, P. (2005), “Privatization of Rail and Tram Services in Melbourne: What Went Wrong?”, *Transport Reviews*, Vol. 25, N°. 4, pp. 433-449.

Merkert, R., Smith, A.S.J., e Nash, C.A. (2010), “Benchmarking of Train Operating Firms - a Transaction Cost Efficiency Analysis”, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 33, N°. 1, pp. 35-53.

Mizutani, F. (2004), “Privately Owned Railways' Cost Function, Organization Size and Ownership”, *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 25, N°. 3, pp. 297-322.

OECD (2018). *Unemployment as a share of the labour force*. Disponível em <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=CITIES>. Acedido em 27.08.2018.

Odeck, J. (2008), “The Effect of Mergers on Efficiency and Productivity of Public Transport Services”, *Transportation Research Part A*, Vol. 42, N°. 4, pp. 696-708.

Oum, T.H., e Yu, C. (1994), “Economic Efficiency of Railways and Implications for Public Policy: a Comparative Study of the OECD Countries’ Railways”, *Journal Transport Economics and Policy*, N°. 28, pp. 121–138.

Pacheco, R., e Fernandes, E. (2003), “Managerial Efficiency of Brazilian Airports”, *Transportation Research Part A*, Vol. 37, N°. 8, pp. 667-680.

Phang, S. (2007), “Urban Rail Transit PPPs: Survey and Risk Assessment of Recent Strategies”, *Transport Policy*, Vol. 14, N°. 3, pp. 214-231.

Pina V., e Torres L. (2001), “Analysis of the Efficiency of Local Government Services Delivery. An Application to Urban Public Transport”, *Transportation Research Part A*, N°. 35, pp. 929-944.

Pina, V., e Torres, L. (2006), “Public-private Efficiency in the Delivery of Services of General Economic Interest: The Case of Urban Transport”, *Local Government Studies*, Vol. 32, N°. 2, pp. 177-198.

Qin, F., Zhang, X., e Zhou, Q. (2014), “Evaluating the Impact of Organizational Patterns on the Efficiency of Urban Rail Transit Systems in China”, *Journal of Transport Geography*, N°. 40, pp. 89-99.

Santos, J., Simões, P., Costa, A., e Marques, R.C. (2014), “Efficiency of the European Metros: The Portuguese Case”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, Vol. 167, N°. 3, pp. 143-155.

Thompson, L. S., e Budin, K. J. (1997), “Global Trend to Railway Concessions Delivering Positive Results”, in *Public Policy for the Private Sector*, Banco Mundial, Washington, D.C., Dezembro 1997.

Tsamboulas, D. (2006), “Assessing Performance Under Regulatory Evolution: A European Transit System Perspective”, *Journal of Urban Planning and Development-ASCE*, Vol. 132, Nº. 4, pp. 226-234.

Tynan, N. (1999), “Private Participation in the Rail Sector – recent trends”, in *Public Policy for the Private Sector*, Banco Mundial, Washington, D.C., 1999, p.3-4.

Unidade Técnica de Acompanhamento e Monitorização do Setor Público Empresarial (2016), “Boletim Informativo do Setor Empresarial do Estado – 4º Trimestre de 2015”.

Wooldridge, J. (2002). “Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data”, Cambridge: MIT Press.

Xiping, W., e Yuesheng, L. (2007), “Banking Efficiency in China: Application of DEA and Tobit Analysis”, In *International Conference of Management Science and Engineering of IEEE*.

Yu, M., Hsu, S., Chang, C., e Lee, D. (2008), “Productivity Growth of Taiwan’s Major Domestic Airports in the Presence of Aircraft Noise”, *Transportation Research Part E Logistics and Transportation*, Vol. 44, Nº. 3, pp. 543-554.