



Portos Secos Brasileiros: Análise de Eficiência Usando um Modelo DEA em Dois Estágios

Autoria

Antonio Carlos Rodrigues - tonimacr@gmail.com

Centro de Pós-Grad e Pesquisas em Admin - CEPEAD/UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

Roberta de Cássia Macedo - roberta.c.macedo@gmail.com

Centro de Pós-Grad e Pesquisas em Admin - CEPEAD/UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

Resumo

O artigo enfoca portos secos brasileiros que, frente a um histórico institucional e a um cenário competitivo, buscam maiores níveis de eficiência. Seu objetivo é avaliar a eficiência de escala e suas variáveis determinantes, por meio um modelo Data Envelopment Analysis (DEA) em dois estágios. Foram utilizados dados secundários extraídos da Revista Tecnológica de 2015. Os inputs e outputs para essa análise foram identificados, bem como as variáveis contextuais que podem impactar na eficiência de escala dos portos secos. No primeiro estágio de análise foi verificado um grande nível de ociosidade nas operações. No segundo estágio, usando a Bootstrap Truncated Regression (BTR), as variáveis contextuais: Certificação, Warehouse Management System (WMS), código de barras e Radio Frequency Identification (RFID) foram significantes. Os resultados corroboram o impacto positivo dos processos de coordenação por Tecnologias de Informação (TIs) no desempenho logístico.





Portos Secos Brasileiros: Análise de Eficiência Usando um Modelo DEA em Dois Estágios

Resumo

O artigo enfoca portos secos brasileiros que, frente a um histórico institucional e a um cenário competitivo, buscam maiores níveis de eficiência. Seu objetivo é avaliar a eficiência de escala e suas variáveis determinantes, por meio de um modelo *Data Envelopment Analysis* (DEA) em dois estágios. Foram utilizados dados secundários extraídos da Revista Tecnológica de 2015. Os *inputs* e *outputs* para essa análise foram identificados, bem como as variáveis contextuais que podem impactar na eficiência de escala dos portos secos. No primeiro estágio de análise foi verificado um grande nível de ociosidade nas operações. No segundo estágio, usando a *Bootstrap Truncated Regression* (BTR), as variáveis contextuais: Certificação, *Warehouse Management System* (WMS), código de barras e *Radio Frequency Identification* (RFID) foram significantes. Os resultados corroboram o impacto positivo dos processos de coordenação por Tecnologias de Informação (TIs) no desempenho logístico.

Palavras-chave: porto seco, Brasil, DEA, eficiência, *Bootstrap Truncated Regression*

1 Introdução

O crescimento de economias é marcado por uma transformação nos transportes e na logística, buscando a integração de funções ao longo das cadeias de suprimentos. Os portos secos têm um papel importante na facilitação do comércio internacional e no estímulo ao desenvolvimento econômico de países emergentes – como, por exemplo, Brasil, Rússia, China e Índia (KOROVYAKOVSKY; PANOVA, 2011; LI; DONG; SUN, 2015; NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013; NG, A. K. Y.; TONGZON, 2013). O desenvolvimento de portos secos permite que mercadorias sejam distribuídas entre os modais de transporte e garante o uso eficiente das redes logísticas (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017).

Os portos secos, no entanto, enfrentam desafios que impactam significativamente suas operações. Devido ao volumosos investimentos necessários e custos significativos para operação e manutenção associados à infraestrutura dos portos secos, há uma pressão cada vez maior por melhor desempenho. No Brasil, os portos secos têm seu contexto agravado pela falta de um sistema institucional claro para regulamentação. Isso pode ser exemplificado pelo envolvimento de diversos órgãos públicos na operação cotidiana dos portos secos brasileiros, notadamente a Receita Federal, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Agricultura (MAPA) e a concorrência com portos marítimos na prestação de serviços (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). Diante disso, os operadores de portos secos devem buscar formas para se manterem competitivos, sendo para isso indispensável a mensuração de eficiência.

Uma técnica robusta para medir a eficiência é *Data Envelopment Analysis* (DEA). Apesar de ter sido criada há mais de 40 anos, a utilização da técnica no setor de portos secos ainda estar ainda em um estágio inicial (YANG; TAUDES; DONG, 2015). Por um lado, mesmo que estudos anteriores já tenham demonstrado a aplicabilidade do método como uma ferramenta de *benchmarking* (CARVALHO; CARVALHO; LIMA, 2010; HARALAMBIDES; GUJAR, 2012; MARKOVITS-SOMOGYI; GECSE; BOKOR, 2011; YANG; TAUDES; DONG, 2015), por outro, existe a necessidade de estudos que combinem técnicas multivariadas de análise de dados para avaliar o impacto de variáveis contextuais na eficiência. Levando em consideração essa limitação, é importante para ampliar as discussões a este respeito.

Este artigo foca o setor de portuário seco brasileiro, com o objetivo de identificar os principais determinantes de sua eficiência de escala. Especificadamente, após o cálculo da



eficiência pela técnica de DEA, seguiu-se a *Bootstrap Truncated Regression* (BTR), permitindo medir o impacto de variáveis contextuais na eficiência de escala do setor. Os resultados demonstram o alto nível de ociosidade do setor e corroboram o impacto positivo de processos de coordenação, pelo uso de Tecnologias de Informação (TIs), no desempenho logístico.

O restante do artigo está dividido em cinco seções. A seção 2 discute os portos secos no contexto brasileiro, TIs passíveis de serem adotadas e estudos anteriores que aplicaram DEA para setor de portos secos em outros países. Na seção 3, a modelagem de DEA em dois estágios é apresentada mais detalhadamente. Na seção 4, os dados são analisados e os resultados discutidos. Finalizando o artigo, a seção 5 apresenta as conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

2 Revisão de literatura

2.1 Portos secos no Brasil

Os portos secos foram introduzidos na década de 1970 pelo Decreto-Lei nº 1.455 que autorizava a implementação de despacho aduaneiro em áreas secundárias (SANTOS, 2016). Entretanto, eles aumentaram em quantidade somente após a década de 1990, quando o país realizou uma transformação política e econômica significativa (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013).

Até o final da década de 1980, o Brasil consistia em uma economia altamente protegida, com um aparato estatal muito forte, dominado por elites políticas (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). Com o planejamento centralizado e o protecionismo mostrando-se ineficazes, houve a necessidade de reformas econômicas e políticas fundamentais (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013).

A Constituição de 1988 abriu o caminho para a descentralização do poder do governo federal e permitiu investimentos estrangeiros diretos em setores estratégicos da economia, como bancos e infraestrutura de transporte (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). O governo iniciou a liberalização do comércio com extinção de barreiras tarifárias e não-tarifárias (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013). O Programa Nacional de Desestatização criado pela Lei 8.031/90 permitiu a privatização de empresas públicas nas indústrias siderúrgica, petroquímica e de fertilizantes. Mais tarde, a implantação do Plano Real suprimiu a hiperinflação e estabeleceu a base para a estabilidade macroeconômica futura, apoiada na austeridade fiscal, nas políticas de metas de inflação e nas altas taxas de juros (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013; PADILHA; NG, 2012). O governo continuou promovendo abertura de mais setores, como telecomunicações, navegação costeira e doméstica, e as indústrias de petróleo e gás para participação privada (NG, A. K. Y.; LIU, 2014).

Nesse período, os terminais se encontravam em meio ao caos operacional e, ao mesmo tempo houve um crescimento da demanda por serviços portuários, logo, a solução encontrada foi a expansão do número de portos secos no Brasil (NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013; PADILHA; NG, 2012). Em 2015, havia 58 portos secos no Brasil que eram administrados por 44 operadores privados.

Os portos secos enfrentam dois desafios: (1) concorrência com portos (na sequência da privatização dos terminais portuários) e (2) falta de um sistema institucional claro para regulamentação do setor (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). Em relação ao primeiro, a legislação para a reforma do porto representou uma mudança institucional na concorrência portuária, em função das novas regras para regulamentar portos marítimos (NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013). A Lei de Modernização dos Portos 8.630, afetou significativamente o papel dos portos secos após 1993 (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). Houve uma descentralização da



estrutura administrativa dos portos marítimos por meio da transferência poder para os níveis estadual e municipal, introduzindo medidas para melhoria da governança.

Com a promulgação da Lei de Modernização dos Portos 8.630, reformas institucionais e novos investimentos em capacidade melhoraram significativamente a eficiência do porto marítimo. No entanto, isso afetou o desenvolvimento dos portos secos, dado que os operadores de portos marítimos (e terminais) começaram a competir por negócios com eles (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013). Para manter competitividade, os portos secos precisavam ser mais eficientes e fornecer serviços mais sofisticados, sendo forçados a diversificar suas atividades e a oferecer serviços de maior valor agregado para embarcadores (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). Muitos portos secos não conseguiram enfrentar tais desafios e até mesmo encerraram suas atividades, a exemplo do porto seco de Piracicaba, em São Paulo (PADILHA; NG, 2012).

As reformas na legislação portuária afetaram também a integração de diferentes componentes ao longo das cadeias de suprimentos. Com o aumento da quantidade de atores envolvidos na cadeia de suprimentos, o planejamento e a tomada de decisões tornaram-se mais complexos exigindo uma maior coordenação das atividades. De fato, durante o processo, a concorrência foi criada não apenas entre operadores privados, mas também entre agências governamentais que contribuíram para um controle fragmentado de alguns componentes das cadeias de fornecimento (NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013). Por exemplo, os portos secos e as áreas alfandegadas nos portos marítimos eram regulados pela Receita Federal, enquanto os portos marítimos eram regulados pela Secretaria Especial dos Portos (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; PADILHA; PALLIS, 2013; SANTOS, 2016). Simultaneamente, o órgão regulador das operações portuárias, a Agência Nacional de Transporte Aquático (ANTAQ), foi instituído em 2002 – uma década após a privatização dos portos no Brasil. Além disso, enquanto a Lei 10.233 (2001) foi originalmente prescrita como uma única agência reguladora para todos os modos de transporte, um projeto substituto foi submetido ao Congresso dividindo esta agência na ANTAQ, para que a regulação do transporte aquático e na Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), para o transporte terrestre (NG, A. K. Y.; LIU, 2014).

Muitos portos secos também enfrentaram incertezas consideráveis devido à falta de um marco legal adequado, esse foi o segundo desafio enfrentado pelos portos secos. Até 1995, os portos secos eram estabelecidos por meio de um simples processo de autorização da Receita Federal (SANTOS, 2016). A situação tornou-se mais complexa depois que a Constituição Federal de 1988 foi reformada em 1996, a nova legislação declarava que tanto os portos marítimos quanto os portos secos eram propriedades estatais e, portanto, o governo federal deveria explorá-los diretamente ou, alternativamente, por meio de contratos de concessão a empresas privadas (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; TONGZON, 2013; SANTOS, 2016). Além disso, a reforma exigia que tais concessões e exploração de serviços públicos por empresas privadas deveriam ser feitas via licitações públicas (Ng et al., 2013). No entanto, a questão de saber se os portos secos constituíam serviços públicos ou privados só ficou claro em 1995 com a Lei 8.987, que declarou que quaisquer serviços oferecidos por portos secos eram públicos e, portanto, sujeitos a licitações públicas (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; SANTOS, 2016). Entre 1995 e 2003, todas as concessões foram realizadas por meio de licitações públicas, com vigência de 25 anos e extensíveis por uma década (Ng e Liu, 2014).

O Decreto-Lei 1.455 de 1976 autorizou a execução do despacho aduaneiro em áreas secundárias, três portos secos foram inicialmente chamados de Armazéns Alfandegados Públicos (Depósitos Alfandegados Públicos), posteriormente renomeados para Estações Aduaneiras do Interior (EADI). De fato, o termo porto seco (porto seco) só foi adotado em 2002 pelo Decreto 4.543, art. 724. No mesmo ano, o uso de portos secos para operações industriais foi introduzido pela Instrução Normativa 241/02, que suspendeu certos impostos



para produtos montados ou produzidos em portos secos para exportação (NG, A. K. Y.; LIU, 2014).

Ocorram três tentativas de alteração do vigente paradigma dos portos secos, a saber: Medida Provisória 320/2006 (rejeitada), Projeto de Lei do Senado 327/2006 (arquivado) e Medida Provisória 612/2013 (vigência encerrada) (SANTOS, 2016). Respondendo a disputas judiciais envolvendo os operadores de portos secos, a Medida Provisória 320 foi introduzida em 2006. O objetivo era terminar a exigência da licitação pública e permitir que os portos secos operassem por meio de licenças emitidas pela Receita Federal. Essa medida também ampliou o escopo dos portos secos – chamado de Centro Logístico e Industrial Aduaneiro (CLIA) (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). Entretanto, essa nova medida foi logo considerada inconstitucional e, portanto, rejeitada pelo Senado brasileiro (SANTOS, 2016). O que significou uma indicação clara de que as configurações institucionais iniciais não seriam alteradas, já que o novo sistema não cumpria normas políticas e econômicas do Brasil. O Projeto de Lei 327/2006, substituto da Medida Provisória 327, perdeu força em sua tramitação no Senado, mantendo a exigência de licitação para operação dos portos secos (SANTOS, 2016).

Após o arquivamento do Projeto de Lei 327/2006, entrou em vigor a Medida Provisória 612/2013. Durante sua vigência, somente pedidos de conversão de portos secos em CLIA foram aprovados. Nenhum pedido de instalação de novos centros foi analisado. Com a expiração da vigência da Medida Provisória 612/2013, a avaliação destes pedidos foi suspensa, até a análise jurídica quanto aos efeitos decorrentes da sua perda de eficácia (SANTOS, 2016).

2.2 Tecnologias de informação (TIs) e eficiência nas operações de portos secos

O uso de TIs é crucial para operadores portuários secos que cada vez mais coordenam uma ampla gama de atividades para seus clientes (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017). Transmitir a informação correta, para a pessoa correta, no momento correto e de forma que possa ser utilizada em tempo real é um dos principais desafios para operadores logísticos (WANKE, 2012). Um fluxo de informação confiável e preciso entre os membros da cadeia de suprimentos, pode atuar como um mecanismo de coordenação no desempenho logístico (CHRISTIAANSE; KUMAR, 2000; JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017; ROSS; DROGE, 2004; WANKE, 2012; YANG; TAODES; DONG, 2015).

TIs podem padronizar e integrar as informações de demanda, tornando-as mais confiáveis para o planejamento dos recursos de transporte e armazenagem dos estoques do cliente, possibilitando, assim, a melhoria de seu desempenho operacional (ROSS; DROGE, 2004; WANKE, 2012). Tecnologias de radiofrequência (RFID) e código de barras, por exemplo, fornecem maior visibilidade das operações da cadeia, aumentando a produtividade e reduzindo o tempo de entrega (WANG *et al.*, 2014).

Os operadores logísticos são reconhecidos pelo mercado quando detêm o domínio de tecnologias de informação mais sofisticadas e disponibilizam diversas informações via internet, como, por exemplo, a consulta do status da carga em trânsito (WANKE, 2012). Esses e outros benefícios só são possíveis devido ao uso de sistemas para a troca fácil e ágil de informações, simplificando o acesso a diferentes tipos de informações e procedimentos relacionados às cadeias de transporte (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017).

Processos de coordenação da cadeia de suprimentos podem impactar as atividades de transporte e a armazenagem dos sistemas logísticos (NG, B.; FERRIN; PEARSON, 1997; ROSS; DROGE, 2004). A utilização de TI tem mudado o modo de operação dessas atividades, alavancando o desempenho da cadeia de suprimentos (MASON *et al.*, 2003; STEFANSSON; LUMSDEN, 2009; WANKE, 2012). Sistemas de gerenciamento de



transporte e de armazenagem, por exemplo, *Warehouse Management System* (WMS), são tecnologias-chave usadas para gerir o fluxo físico de mercadorias ao longo da cadeia de suprimentos (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017). Sistemas integrados, que abrangem sistemas de gestão de transporte, sistemas de gerenciamento de armazenagem e visibilidade global de estoque através da internet, podem potencialmente conduzir à redução de custos e à melhoria no serviço ao cliente através de melhor adequação entre recursos e demandas, com a diminuição de tempos de ciclo de envio e recebimento, o aumento da precisão no embarque e a diminuição da variabilidade nos tempos de resposta (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017; WANKE, 2012).

Os processos de certificação são outro quesito valorizado na indústria logística (WANKE, 2012). A certificação, como aquelas desenvolvidas pela *International Organization for Standardizations* – ISO, pode elevar os níveis de serviço prestados, por meio da estruturação e implantação de procedimentos padronizados (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017; LO; YEUNG; CHENG, 2009). A certificação impacta o desempenho logístico, podendo apresentar resultados positivos logo após a sua adoção (LO; YEUNG; CHENG, 2009), como intervalo de tempo mais curto para a circulação de recursos entre fornecedores, clientes e prestadores de serviço.

De acordo, Yang, Taudes and Dong (2015) o fluxo de pesquisas no setor de portos secos conduzidos até então por meio da técnica de DEA, ainda está em um estágio inicial. Há um número limitado de variáveis incluídos nos modelos, o que sugere uma lacuna a ser preenchida. O Quadro 1 mostra diferentes estudos que tratam da eficiência em operações em portos secos. Apesar da escassez dos estudos que relatam a aplicação de DEA, especificamente no setor de portos secos, nota-se que as variáveis identificadas e estudadas nos modelos de eficiência são distintas. Logo, entende-se que não há um padrão de mensuração único para esse tipo de operação.

Artigos	Propósito do estudo	DMU	Método	País	Inputs	Outputs
Yang, Taudes e Dong (2015)	Mensurar a eficiência de FV europeus	20	CRS, VRS e SE	Nove países diferentes na Europa	Área total, área intermodal e área de armazenagem	Número de empregos, carga anual manuseada e número de empresas instaladas
Haralambides e Gujar (2012)	Lidar com resultados desejáveis e indesejáveis, ajustando os escores de eficiência e o número de DMUs eficientes	16	VRS	Índia	Número de equipamentos, número de funcionários e área total	TKU e emissão de CO ₂
Markovits-Somogyi, Gecse e Bokor (2011)	Investigar como a DEA pode ser usada para avaliação de eficiência de centros logísticos	12	CRS, VRS e SE	Hungria	Área total dos escritórios, número de funcionários e superfície do espaço de armazenamento disponível	Receita total de vendas e TKU
Carvalho, Carvalho e Lima (2010)	Criar diretrizes para uma nova plataforma logística a ser instalada no Brasil	8	VRS	Seis países diferentes no mundo	Área total das plataformas logísticas e capital investido	Número de clientes e carga anual manuseada

Quadro 1 – Revisão de literatura

Fonte: elaborado pelos autores



Haralambides and Gujar (2012), por exemplo, aplicaram a técnica a um grupo de dezesseis portos secos na Índia. Esses autores buscaram avaliar simultaneamente os resultados indesejáveis e desejáveis da produção de serviços portuários. O modelo é aplicado para avaliar a eficiência do porto seco, levando em conta as emissões de CO₂ causadas pelo transporte de contêineres de portos secos, localizados na região da Capital Norte da Índia, para os vários portos de entrada (costeiros). Os resultados revelam que as avaliações de eficiência são significativamente alteradas, uma vez que os aspectos ambientais são considerados no modelo.

Yang, Taudes e Dong (2015) aplicaram o DEA para avaliar a eficiência em *Freight Villages* na Europa. Além de medir a eficiência dos *Freight Villages* pela técnica DEA, esse estudo também buscou comparar os resultados obtidos com uma análise de eficiência feita em 2010 utilizando a técnica SWOT. Assim, buscou-se compreender se os resultados na análise SWOT são robustos e também identificar as semelhanças e diferenças entre a análise SWOT e DEA.

Markovits-Somogyi, Gecse e Bokor (2011) investigaram as possibilidades de aplicação análise da análise envoltória de dados para a avaliação da eficiência dos centros logísticos húngaro. Os autores aplicaram o DEA para avaliar doze centros logísticos húngaros.

Carvalho, Carvalho e Lima (2010) aplicaram o DEA para estabelecer diretrizes para a nova plataforma logística a ser instalada na região de Campinas, estado de São Paulo. Assim, os autores propõem valores de outputs que a conduziriam a Plataforma Logística de Campinas (CLP) a ser uma plataforma de referência no mundo. Nesse estudo, foram consideradas sete plataformas logísticas, sendo seis localizadas na Europa e uma plataforma localizada nos Estados Unidos.

Em linhas gerais, percebe-se que nenhum dos estudos que aplicaram a metodologia DEA identificaram variáveis contextuais que impactam significativamente na eficiência. Propõem-se, portanto, analisar os operadores dos portos secos brasileiros por meio de um modelo de DEA em dois estágios.

3 Metodologia

A metodologia do estudo é apresentada nesta seção em dois tópicos. O primeiro tópico apresenta os modelos DEA clássicos, o modelo de retorno constantes (CRS) e o modelo de retorno variável às escalas (VRS). Além disso, apresenta-se a metodologia para avaliação da eficiência de escala (SE). O segundo tópico mostra os procedimentos utilizados no *Bootstrap Truncated Regression* (BTR) para avaliação do impacto das variáveis contextuais em segundo estágio.

3.1 Modelos DEA

A DEA é um método não paramétrico introduzido por Charnes et al. (1978). Trata-se de um modelo baseado em programação linear usado para mensurar a eficiência relativa de um grupo de *Decision Making Units* (DMUs) utilizando múltiplos *inputs* e *outputs*. Assim, dado um conjunto de DMUs, *outputs* e *inputs*, a modelagem DEA determina um escore de eficiência para cada DMU, obtida por meio de uma relação ponderada entre os *inputs* e os *outputs*. As DMUs que atingem 1 são avaliadas como eficientes e servem como referências para aquelas com escore inferior a 1. As DMUs eficientes estarão localizadas na fronteira de possibilidade de produção. Já as DMUs ineficientes estarão localizadas fora da fronteira. Quanto maior a distância em relação a fronteira, maior é a ineficiência da DMU.



O modelo DEA CCR é o modelo clássico cujo conjunto de possibilidades de produção é baseado na hipótese de retornos constantes de escala (CRS), onde o crescimento proporcional do insumo produzirá um crescimento proporcional do produto. O coeficiente é não negativo. A mensuração da eficiência do DEA CCR é conhecida como eficiência técnica geral.

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & \theta \\ \text{s.t. } & \theta x_s - X\lambda \geq 0 \\ & Y\lambda \geq y_s \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Banker, Charnes e Cooper (1984) aperfeiçoaram o modelo DEA CCR para hipótese de retornos variáveis de escala (crescente ou decrescente), referindo-se a este novo modelo como DEA BCC, ou seja, o modelo DEA sob condições de retorno variável à escala (VRS). Basicamente, acrescentou-se uma restrição ao modelo DEA CCR. Tal restrição significa que somente combinações lineares convexas do conjunto de possibilidades de produção estão na fronteira de eficiência, formando um envelope convexo que engloba todos os dados. O modelo de programação linear acionado por *input* é apresentado abaixo:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & \theta \\ \text{s.t. } & \theta x_s - X\lambda \geq 0 \\ & Y\lambda \geq y_s \\ & \lambda \geq 0 \\ & e\lambda = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

A fronteira de eficiência no DEA BCC reflete a chamada eficiência técnica pura, que indica a capacidade de implantar as melhores práticas de gestão (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011). A ineficiência mensurada no modelo, pode ser traduzida como um indicador de ineficiência gerencial (BOGETOFT; OTTO, 2011), ou seja, a ineficiência da organização no gerenciamento de seus *inputs* e *outputs*.

A eficiência de escala (SE) de uma DMU é dada pela razão entre os escores de eficiência dos modelos DEA CCR e DEA BCC, $SE = \frac{\theta_{CCR}}{\theta_{BCC}}$, variando entre 0 e 1. A SE mede o impacto do tamanho da escala na produtividade da DMU, ou a capacidade de gerar mais *outputs* por cada *input* utilizado (BOGETOFT; OTTO, 2011; COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011). Quando a relação SE é igual a 1, os escores de eficiência do modelo DEA CCR e DEA BCC coincidem (RTS é constante) e a DMU opera na escala ótima (BOGETOFT; OTTO, 2011). Se $SE < 1$, a escala de operações é ineficiente. A ineficiência da escala é dada pela expressão $\left[\frac{(1-SE)}{100} \right]$. A eficiência mensurada modelo DEA CCR (eficiência técnica geral) é dividida em eficiência medida pelo modelo DEA BCC (eficiência técnica pura) e eficiência de escala (SE) (COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011).

O retorno à escala pode ser determinado pela soma dos pesos resultantes do modelo DEA CCR para cada DMU. Se a soma for 1, os retornos da escala serão constantes; isso é chamado de *Most Productive Scale Size* (MPSS). Se essa soma for menor que 1, o RTS estará aumentando (*Increase Return to Scale* (IRS) ou retorno crescente de escala) e a eficiência da escala é classificada como subótima. Se a soma for maior que 1, o RTS está diminuindo (*Decrease Return to Scale* (DRS) ou retorno decrescente de escala) e a eficiência da escala é avaliada como acima do ideal (BOGETOFT; OTTO, 2011; COOPER; SEIFORD; ZHU, 2011).

Este artigo busca determinar o quão próximo cada um dos portos secos analisados está de seu correspondente tamanho de escala mais produtivo e quanto isso é reflexo de seus processos de coordenação na cadeia de suprimentos: gestão dos fluxos de informações, controle de estoques e dimensionamento de recursos (ROSS; DROGE, 2004; WANKE,



2012). De acordo com Ross e Droge (2004), nos sistemas de distribuição de larga escala (como os portos secos), processos de coordenação distintos levam a diferentes padrões de alocação de recursos, podendo tornar mais flexível a adequação da escala à operação (ROSS; DROGE, 2004). Nesse sentido, os resultados da eficiência de escala podem indicar oportunidades consolidação ou redução de tamanho. Por exemplo, dependendo dos usos alternativos das TIs, pode haver situações em que o porto seco experimenta retornos crescentes de escala por possuir, comparativamente, grandes níveis de estoque, de movimentação de carga e de demanda (ROSS; DROGE, 2004; WANKE, 2012). Portanto, pretende-se verificar o papel das TIs na determinação da eficiência de escala, averiguando se elas proporcionam uma alocação mais racional dos *inputs* aos *outputs* e, conseqüentemente, uma operação próxima do MPSS, por meio da disponibilização de informação em tempo real (WANKE, 2012).

3.2 *Bootstrap Truncated Regression*

O modelo proposto por Simar e Wilson (2007), *Bootstrap Truncated Regression*, oferece uma estimativa consistente dos escores de eficiência com base em um intervalo de confiança. Os resultados dessa regressão são chamados de segundo estágio da avaliação do modelo DEA. A regressão paramétrica proposta por Simar e Wilson (2007) testa a significância de variáveis contextuais exógenas nos escores de eficiência atribuídos pelos modelos DEA, usando um intervalo de confiança específico. A técnica consiste em simular uma nova distribuição de amostra através do processo de geração de dados usando os escores dos modelos de DEA. Um novo conjunto de dados é criado e os escores são estimados novamente utilizando esse novo conjunto de dados. Repetindo o processo várias vezes, a técnica fornece uma boa aproximação da verdadeira distribuição da amostra.

Simar e Wilson (2000) identificam uma limitação em outras abordagens de dois estágios para modelos DEA. Para os autores o procedimento em duas etapas de abordagens alternativas não leva em conta o processo de geração de dados subjacente, lançando dúvida estatisticamente sobre o significado das estimativas produzidas para explicar a eficiência técnica. Simar e Wilson (2000) argumentam que tal falha é responsável por escores de eficiência seriamente correlacionados. Eles explicam que os métodos tradicionais de DEA produzem estimativas de eficiência que distorcem positivamente o nível de eficiência dentro de uma amostra de dados. Quando se emprega a abordagem DEA em conjunto com a reamostragem estatística, pode-se reproduzir estimativas corrigidas do viés de eficiência técnica. Simar e Wilson (2011) usaram a seguinte regressão:

$$SE_j = a + z_j\delta + \varepsilon_j, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

em (1), SE_j é o erro estatístico; ε_j é o vetor da observação das variáveis da DMU. A distribuição de ε_j é restrita pela condição $\varepsilon_j \geq 1 - a - z_j\delta$ (os dois lados da equação (3) são limitados pelo valor um, $SE \leq 1$). Para Simar e Wilson (2011), a distribuição de ε_j é normal, truncada, com uma média zero, variância desconhecida e truncada truncamento determinado pela condição anterior. Espera-se que ε_j esteja relacionado com a eficiência de escala das DMUs, SE_j . Realocando, em (3), SE_j pelas estimativas clássicas do modelo DEA, $\overline{SE}_j$, o modelo econométrico é:

$$\overline{SE}_j \approx a + z_j\delta + \varepsilon_j, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

onde

$$\varepsilon_j \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2), \text{ em que } \varepsilon_j \geq 1 - \alpha - z_j \delta, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

que é estimado maximizando a função de verossimilhança correspondente, (δ, σ^2) , considerando os dados coletados. A regressão paramétrica BTR é usada para construir um intervalo de confiança para as estimativas paramétricas $(\delta, \sigma_\varepsilon^2)$ que incorpora a distribuição presumida e as informações sobre a estrutura paramétrica.

4 Análise e discussão dos resultados

Nesta seção é feita a análise e discussão dos resultados do modelo clássico DEA e eficiência de escala (SE) das DMUs. Com base na regressão do BTR, os efeitos de variáveis contextuais nos escores de eficiência também são discutidos.

4.1 Análise dos dados

Inputs, *outputs* e variáveis contextuais utilizadas neste estudo foram coletadas da edição especial dedicada ao setor de portos secos no ano de 2015 pela Revista Tecnológica. A base de dados original foi depurada, rejeitando-se operadores que não apresentavam todas as variáveis utilizadas na análise de dados. A amostra final foi de 20 portos secos.

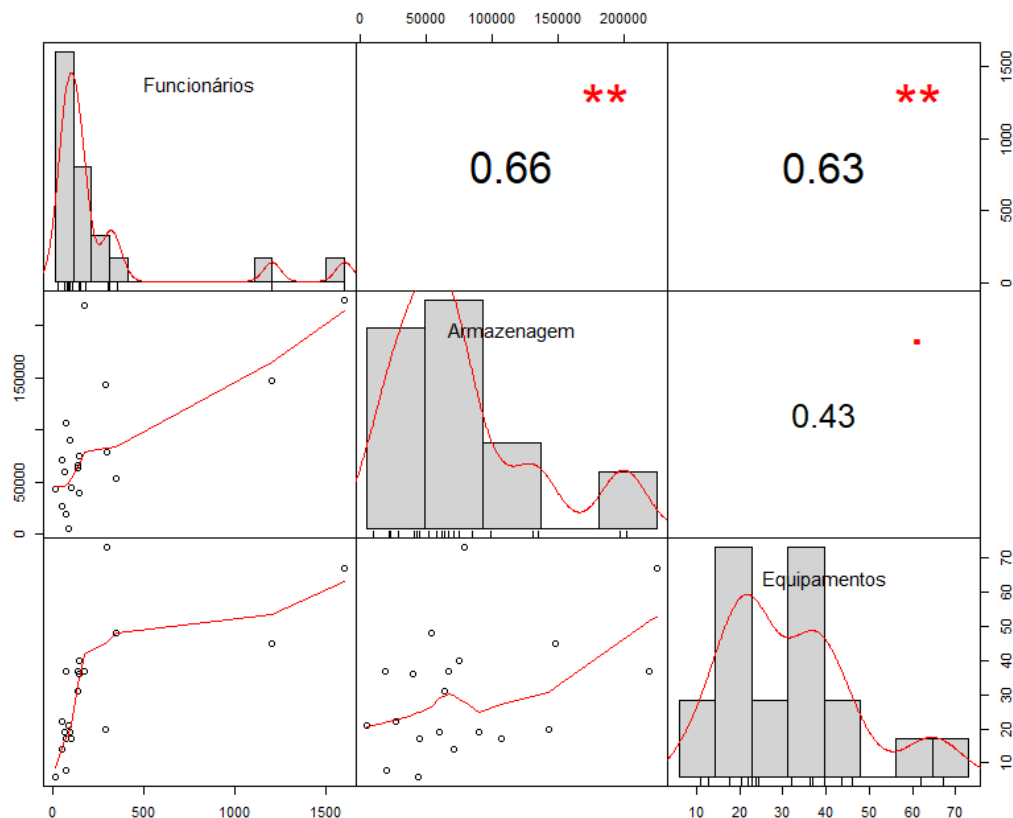
Foram selecionados três *inputs* e um *output* que eram comuns a todos os integrantes da pesquisa para elaboração dos modelos de DEA. Com base na literatura, foram escolhidas medidas que traduzissem recursos críticos para consecução das operações portuárias secas. Com relação aos *inputs*, foram utilizados: total de funcionários, área total de armazenagem e equipamentos. O número total de funcionários, envolvidos tanto em atividades estratégicas quanto operacionais, foi a medida empregada para traduzir a utilização da força de trabalho (HARALAMBIDES; GUJAR, 2012; MARKOVITS-SOMOGYI; GECSE; BOKOR, 2011). Por sua vez, o armazém é a infraestrutura onde os operadores executam a maior parte de seus negócios (YANG; TAUDÉS; DONG, 2015). Por isso, é necessária a seleção de uma medida que traduza como os portos secos lidam com a armazenagem. Nesse sentido, a área total de armazenagem foi escolhida como *input* para o modelo (CARVALHO; CARVALHO; LIMA, 2010; HARALAMBIDES; GUJAR, 2012; MARKOVITS-SOMOGYI; GECSE; BOKOR, 2011; YANG; TAUDÉS; DONG, 2015). Outro *input* incluído foi o número de equipamentos (HARALAMBIDES; GUJAR, 2012) assim, empilhadeiras e transpaletes são equipamentos necessários para operações em portos secos (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017). O uso de equipamentos sofisticados pode fornecer condições essenciais para operações eficazes. Com relação aos *outputs*, uma variável foi inicialmente pesquisada: número de clientes. Um número alto de clientes pode sugerir maior habilidade no gerenciamento de diferentes requisitos logísticos dos operadores portuários secos (CARVALHO; CARVALHO; LIMA, 2010; YANG; TAUDÉS; DONG, 2015).

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva para os *inputs* e *outputs* selecionados. A ampla dispersão de dados é evidente, refletindo as diferentes escalas operacionais dos portos secos. Para verificar a possibilidade de reduzir o número de variáveis consideradas na análise, foram verificados os coeficientes de correlação entre os *inputs* do modelo. A Figura 2 apresenta os resultados entre os pares de *inputs*. Tendo em vista que as correlações não são tão altas, todas variáveis foram mantidas.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas - inputs e output

	Input 1	Input 2	Input 3	Output
	Funcionários	Área Total de Armazenagem	Equipamentos	Clientes
Média	216,00	94711,15	30,70	401,20
Desvio padrão	289,66	112276,65	18,04	310,95
Mediana	116,00	65270,0	26,5	380,0
Mínimo	12	5200	6	45
Máximo	1200	520000	73	1032

Fonte: elaborado pelos autores

**Figura 1** – Coeficientes de correlação

Fonte: elaborado pelos autores

Para assegurar a aderência do modelo, o trabalho utilizou a convenção de que o número mínimo de observações de DMUs deve ser maior ou igual ao triplo do somatório de *inputs* e *outputs* ($20 \geq 3(3 + 1)$).

4.2 Análise dos modelos de eficiência

Os escores de eficiência das DMUs analisadas pelos modelos clássicos DEA CCR e DEA BCC e eficiências de escala (SE) são apresentadas na Tabela 2. Conforme esperado, os modelos CCR retornam um número de DMUs eficientes menores do que aquele apresentado pelo modelo BCC. Não há surpresa nesse resultado, pois, o modelo CCR pressupõe uma tecnologia de produção com retornos constantes de escala, enquanto o modelo BCC sugere retornos variáveis de escala, que são mais aderentes à realidade por refletirem a eficiência

técnica pura de diferentes DMUs. Percebe-se que muitos portos secos operam abaixo de sua capacidade ótima, ou seja, possui retornos crescentes à escala.

Tabela 2 – Escores de eficiência dos modelos CCR, BBC e eficiência de escala (SE)

DMU	CCR	BBC	SE	Retorno de Escala
1	0,19426702	0,3599865	0,5396508	Crescente
2	0,14415101	1	0,1441510	Crescente
3	0,26250000	1	0,2625000	Crescente
4	0,03672179	0,2114743	0,1736466	Crescente
5	0,33623927	0,5085837	0,6611286	Crescente
6	0,45298395	0,4741948	0,9552697	Crescente
7	0,24637628	0,4343542	0,5672243	Crescente
8	1	1	1	Constante
9	0,31934184	0,4467467	0,7148163	Crescente
10	1	1	1	Constante
11	0,10395327	0,8376326	0,1241037	Crescente
12	0,53191109	0,7570676	0,7025940	Crescente
13	0,47250689	0,6493057	0,7277110	Crescente
14	0,29337469	0,6100901	0,4808711	Crescente
15	1	1	1	Constante
16	0,26538938	0,3368834	0,7877781	Crescente
17	0,16393617	0,5278726	0,3105601	Crescente
18	0,04565738	0,3729705	0,1224155	Crescente
19	0,50007030	0,5147307	0,9715184	Crescente
20	0,09382469	0,2374736	0,3950953	Crescente

Fonte: elaborado pelos autores

A Tabela 3 apresenta a estatística descritiva para os resultados obtidos pelos modelos DEA CCR, DEA BCC e SE. Existe uma assimetria considerável dos operadores de portos secos, como indicado pelo *gap* entre a eficiência mínima (0,040) e máxima (1,000) no modelo DEA CCR, com retornos constantes de escala. A média geral de eficiência técnica é baixa (0,37) para o grupo de DMUs analisados. Isso sugere uma ineficiência global média de 63% para o sistema, indicando que os portos secos devem ser incentivados a aumentar o número de clientes para operar na fronteira de eficiência. No modelo BCC, a eficiência média encontrada no modelo DEA BCC (0,61), com retornos variáveis de escala, reflete uma ineficiência média de gerenciamento de 39% para o gerenciamento da produção, com base nos insumos utilizados. A eficiência gerencial é maior que a eficiência de escala média nas operações dos portos secos (42%). Os resultados sugerem que, em média, a ineficiência da escala é mais importante do que a ineficiência de gestão da DMU, quando se tenta explicar a ineficiência técnica geral média encontrada no modelo DEA CCR.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos escores CCR, BCC e SE (%)

Estatística	CCR	BCC	SE
Média	0,37	0,61	0,58
Desvio Padrão	0,31	0,27	0,32
Mediana	0,28	0,52	0,61
Mínimo	0,04	0,21	0,12
Máximo	1	1	1
DMUs ineficientes	0,63	0,39	0,42

Fonte: elaborado pelos autores

Os resultados encontrados corroboram com os altos níveis de ociosidade setorial dos portos secs (ABEPRA, 2015). Ademais, parecem indicar a baixa procura por esses operadores pelos importadores e exportadores devido à concorrência com portos e terminais marítimos (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; TONGZON, 2013).

As deseconomias de escala sugerem a falta de incentivos à cooperação entre portos marítimos e portos secs (NG, A. K. Y.; LIU, 2014). Essa relação de concorrência cria uma cadeia de suprimentos fragmentada, com os portos marítimos sendo colocados em posições dominantes e servindo como instalações de armazenamento (em vez de pontos de trânsito) (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; TONGZON, 2013). As falhas na estrutura legal e institucional para fornecimento de estímulos de integração entre estes atores, incentivou grupos poderosos a obterem vantagem competitiva por meio da integração vertical (NG, A. K. Y.; TONGZON, 2013). Por exemplo, o porto seco de Betim, em Minas Gerais, era controlado pelo Grupo Usiminas, um dos principais produtores de aço com uma forte presença em infraestrutura de transporte, incluindo terminais portuários e portos secs. O problema da integração é ainda agravado pela presença de múltiplos órgãos governamentais e órgãos reguladores envolvidos no processo logístico (NG, A. K. Y.; LIU, 2014; NG, A. K. Y.; TONGZON, 2013). De acordo com Ng e Tongzon (2013), a segmentação da regulação de diferentes tipos de portos afeta a eficiência sistêmica devido ao planejamento fragmentado e desconexo bem como a falta de coordenação integrada entre diferentes entidades administrativas.

4.3. Análise da BTR

Para identificar os determinantes da eficiência de escala dos operadores de portos secs no Brasil, foram pesquisados, na base de dados da Revista Tecnológica, tecnologias tradicionais utilizadas pelos operadores de portos secs. Elas são as variáveis de controle do estudo porque são atributos e não *inputs* ou *outputs* para os processos operacionais.

As variáveis de controle binárias selecionadas foram: Certificação, WMS, código de barras, RFID e consultas pela internet. Essas variáveis assumem o valor 1 para casos que possuam a característica mencionada e de outra forma, o valor 0. Sabe-se da necessidade de $k-1$ variáveis *dummy* para representar uma variável com k categorias (HAIR *et al.*, 2009). A categoria base é a própria ausência da característica. Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes de significância e de regressão para as variáveis contextuais para um intervalo de confiança de 5% e um conjunto de reamostragens de 2000 interações. É importante notar que, para interpretação dos resultados, um sinal positivo em uma variável explicativa indica impacto negativo na eficiência de escala e um sinal negativo indica um impacto positivo nos escores (SIMAR, L. . C.; WILSON, 2000; SIMAR, L.; WILSON, 2007, 2011).

Table 4 - Coeficientes e intervalo de confiança (5%) da BRT (número de interações de bootstrap 2000)

Coeficientes	Valor	Limite inferiores (2,5%)	Limite superior (97,5%)
(Intercepto)	-11,08370	-5,612515	2,505278
Certificação	-107,30484	-219,38268	-78,49731*
WMS	-13,96440	-75,96529	33,46009*
Código de barras	-93,08026	-198,97207	-65,80922*
RFID	-68,35838	-140,28839	-31,99257*
Consulta da internet	303,959	-30,60192	32,08276

* significância

Fonte: elaborado pelos autores



Os resultados confirmam o impacto dos processos de coordenação na cadeia de suprimentos e, em particular, das TIs no aumento da eficiência de escala dos portos secos. Especificamente, destaca-se as seguintes tecnologias: WMS, código de barras e RFID. A análise demonstra que as TIs, para colaboração e coordenação, relacionadas ao gerenciamento de estoques, apresentaram impactos positivos significativos na eficiência. Uma possível justificativa para esse efeito é o fato de que os processos de coordenação relacionados ao estoque permitem uma maior integração do fluxo de produtos do cliente com recursos de transporte e de armazenamento dos operadores de portos secos para adequada movimentação (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017; ROSS; DROGE, 2004; WANKE, 2012). Por exemplo, informações imprecisas à respeito do cronograma de contêineres a serem entregues aos portos marítimos ou a falta de rastreabilidade, podem resultar em atrasos que afetam a confiabilidade das operações e os estoques dos operadores logísticos portuários (JEEVAN; CHEN; CAHOON, 2017).

A padronização dos processos de negócio pela certificação ISO também parece favorecer o aumento da eficiência de escala dos operadores de portos secos. A burocracia excessiva e a complexidade do despacho aduaneiro, criaram um ambiente em que a imprevisibilidade pode levar a altos níveis de estoque e lentidão na movimentação de cargas (NG, A. K. Y.; TONGZON, 2013). A estruturação e a implantação de procedimentos padronizados, pode auxiliar na entrega do que foi prometido, no tempo em que foi acordado, em termos de fluxos mais velozes de materiais e informações (LO; YEUNG; CHENG, 2009; WANKE, 2012)

5 Conclusões

Neste estudo, foi utilizado um modelo DEA de dois estágios para avaliar a eficiência de escala dos portos secos brasileiros e para identificar variáveis contextuais tecnológicas determinantes desta eficiência.

Os resultados evidenciam elevada ociosidade nas operações dos portos secos, no primeiro estágio de análise. A maioria dos portos secos operam abaixo de sua capacidade ótima. As descobertas ilustram como os portos secos são fortemente afetados por cenários institucionais e reformas. As configurações institucionais e as reformas estabelecidas para modernização do setor portuário são fatores que afetam a produtividade dos portos secos. O marco regulatório não incentiva a cooperação entre portos e portos secos, colocando os portos marítimos em posições dominantes atuando como instalações de armazenamento e não como *hub* logístico. Como consequência, os importadores e exportadores brasileiros tendem a utilizar os portos como integrantes da sua cadeia de suprimentos em detrimento aos portos secos.

No segundo estágio, resultados corroboram as evidências da literatura de que mecanismos de coordenação na cadeia de suprimentos, como o uso de TIs, proporcionam uma alocação mais racional de recursos às demandas dos clientes. A padronização de processos também favorece o aumento da eficiência de escala nos operadores de portos secos em um ambiente altamente burocrático e complexo. Os resultados indicam esses mecanismos podem fornecer uma operação próxima ao tamanho da escala mais produtiva.

O estudo apresentado traz uma contribuição de caráter prático para o setor e deixa claro a aplicabilidade da técnica DEA na mensuração de eficiência de operadores de portos secos. Precisamente, o resultado aponta TIs que podem promover novos patamares de eficiência de escala, revelando espaço para mais investimentos e para o desenvolvimento de estudos futuros para compreensão da relação entre esses fatores e a eficiência da escala dos portos secos.



Por fim, a utilização de dados secundários em lugar de dados primários traz certas limitações para o trabalho, principalmente no que diz respeito ao conjunto de *inputs* e *outputs* utilizados na análise que pode não abarcar todos os aspectos relevantes para a construção de uma fronteira eficiente. Assim, sugere-se que novos estudos sejam feitos com o intuito de ampliar as possibilidades de melhoria na gestão e operação dos portos secos brasileiros, visto que a sua participação na cadeia de suprimentos e no comércio exterior brasileiro pode resultar em ganhos competitivos para o Brasil.

6 Referências

- ABEPRA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PORTOS SECOS E CLIAS. *O que são Portos Secos e Clias*. Disponível em: <<http://www.abepira.org.br>>, 2015
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.
- BOGETOFT, P.; OTTO, L. *Benchmarking with DEA, SFA, and R*. New York, NY: Springer New York, 2011.
- CARVALHO, C. C. .; CARVALHO, M. F. H.; LIMA, O. Efficient logistic platform design: the case of Campinas Platform. 2010, São Carlos: 2010.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.
- CHRISTIAANSE, E.; KUMAR, K. ICT-enabled coordination of dynamic supply webs. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 30, n. 3/4, p. 268–285, 2000.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. *Handbook on Data Envelopment Analysis*. 2. ed. Boston, MA: Springer US, 2011. v. 164.
- HAIR, J. F. J. *et al. Análise multivariada de dados*. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HARALAMBIDES, H.; GUJAR, G. On balancing supply chain efficiency and environmental impacts: An eco-DEA model applied to the dry port sector of India. *Maritime Economics and Logistics*, v. 14, n. 1, p. 122–137, 2012.
- JEEVAN, J.; CHEN, S.-L.; CAHOON, S. Determining the influential factors of dry port operations: worldwide experiences and empirical evidence from Malaysia. *Maritime Economics & Logistics*, 2017.
- KOROVYAKOVSKY, E.; PANOVA, Y. Dynamics of Russian dry ports. *Research in Transportation Economics*, v. 33, n. 1, p. 25–34, 2011.
- LI, Y.; DONG, Q.; SUN, S. Dry Port Development in China: Current Status and Future Strategic Directions. *Journal of Coastal Research*, v. 73, n. 1, p. 641–646, 2015.
- LO, C. K. Y.; YEUNG, A. C. L.; CHENG, T. C. E. ISO 9000 and supply chain efficiency: Empirical evidence on inventory and account receivable days. *International Journal of Production Economics*, v. 118, n. 2, p. 367–374, 2009.
- MARKOVITS-SOMOGYI, R.; GECSE, G.; BOKOR, Z. Basic efficiency measurement of Hungarian logistics centres using data envelopment analysis. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, v. 19, n. 2, p. 97, 2011.
- MASON, S. J. *et al. Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 39, n. 2, p.



141–159, 2003.

NG, A. K. Y.; LIU, J. J. *Port-Focal Logistics and Global Supply Chains*. London: Palgrave Macmillan UK, 2014.

NG, A. K. Y.; PADILHA, F.; PALLIS, A. A. Institutions, bureaucratic and logistical roles of dry ports: The Brazilian experiences. *Journal of Transport Geography*, v. 27, p. 46–55, 2013.

NG, A. K. Y.; TONGZON, J. L. The Transportation Sector of India's Economy: Dry Ports as Catalysts for Regional Development. *Eurasian Geography and Economics*, 2013.

NG, B.; FERRIN, B. G.; PEARSON, J. N. The role of purchasing/transportation in cycle time reduction. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 17, n. 6, p. 574–591, 1997.

PADILHA, F.; NG, A. K. Y. The spatial evolution of dry ports in developing economies: The Brazilian experience. *Maritime Economics and Logistics*, v. 14, n. 1, p. 99–121, 2012.

ROSS, A. D.; DROGE, C. An analysis of operations efficiency in large-scale distribution systems. *Journal of Operations Management*, v. 21, n. 6, p. 673–688, 2004.

SANTOS, P. G. F. O porto seco no contexto brasileiro. *Revista da Receita Federal: estudos tributários e aduaneiros*, v. 2, n. 1, p. 282–304, 2016.

SIMAR, L. . C.; WILSON, P. W. . Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: The State of the Art. *Journal of Productivity Analysis*, v. 13, n. 1, p. 49–78, 2000.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, v. 136, n. 1, p. 31–64, 2007.

SIMAR, L.; WILSON, P. W. Two-stage DEA: Caveat emptor. *Journal of Productivity Analysis*, v. 36, n. 2, p. 205–218, 2011.

STEFANSSON, G.; LUMSDEN, K. Performance issues of Smart Transportation Management systems. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 58, n. 1, p. 55–70, 2009.

WANG, L. *et al.* Data Cleaning for RFID and WSN Integration. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 1, p. 408–418, 2014.

WANKE, P. F. Determinants of scale efficiency in the Brazilian 3PL industry: a 10-year analysis. *International Journal of Production Research*, v. 50, n. 9, p. 2423–2438, 2012.

YANG, C.; TAUDES, A.; DONG, G. Efficiency analysis of European Freight Villages: three peers for benchmarking. *Central European Journal of Operations Research*, v. 25, n. 1, p. 91–122.