

Eficiência no Transporte Ferroviário de Cargas Brasileiro: um Estudo com a Análise Envoltória de Dados

Autoria: Roberto Brasileiro Paixão, Carlos Yorghi Khoury

Resumo

Após o período de desestatização observou-se um incremento substancial no volume de investimento nas ferrovias brasileiras. Estes investimentos impactaram em aumento de produtividade e eficiência. Utilizando a metodologia denominada Análise Envoltória de Dados, este artigo tem como objetivo analisar a eficiência relativa de dez ferrovias de carga brasileiras. Conseqüentemente, busca-se identificar as unidades tidas como ineficientes (em relação às outras analisadas), bem como suas distâncias para a fronteira eficiente. Foram utilizadas como variáveis de entrada (inputs) as quantidades de funcionários, de vagões de carga e de locomotivas ativas. Como variável de saída (output) foi considerado o volume transportado, medido em TKU (milhões de tonelada*km). Os resultados permitiram identificar a Estrada de Ferro de Carajás como referência (benchmark) de eficiência relativa. Adicionalmente foi realizado, através de procedimento específico, o teste não paramétrico de Mann-Whitney U para checar se a classificação gerada em função da eficiência relativa é afetada pela extensão das ferrovias. A hipótese alternativa foi confirmada, indicando que ferrovias menores (em km) são mais eficientes. Ressalta-se que novos testes devem ser feitos considerando outros modelos DEA e outras variáveis de entrada e saída.

Palavras-chave: Ferrovias; Eficiência relativa; Análise Envoltória de Dados.

1. Introdução

Segundo informações disponíveis no site do Departamento de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT, 2008), entre 1980 a 1992, o volume de investimento federal nas malhas ferroviárias nacionais, principalmente nos sistemas pertencentes à Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) e à Ferrovia Paulista S.A. (FEPASA), foi reduzido de maneira dramática. Para dimensionar o impacto dessa redução, em 1989 o valor investido na RFFSA foi de apenas 19% do valor aplicado na década de 80. A RFFSA não gerava recursos suficientes pra cobrir a dívida contraída anos antes. Os investimentos eram necessários para conter o desequilíbrio técnico-operacional, em função da degradação da infra e da super estrutura da malha, além do material rodante. Vide Figura 1 que apresenta o gráfico dos investimentos entre 1956 e 2001, no qual observa-se a referida redução dos investimentos.

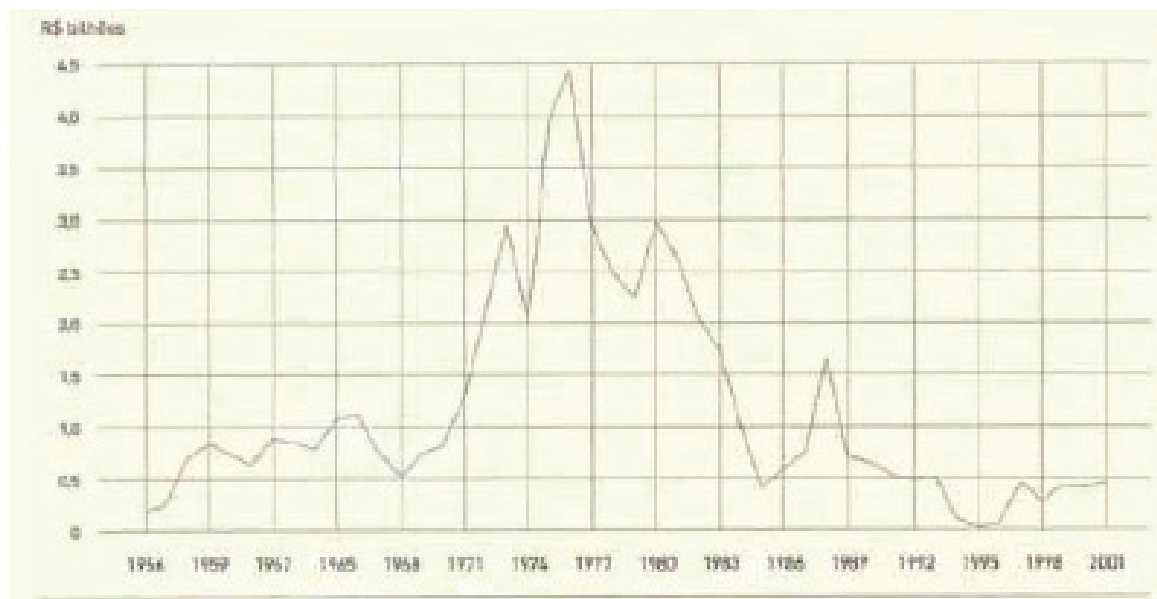


Figura 1 – Investimentos na RFFSA entre 1956 e 2001.
Fonte: Lacerda (2002).

O governo, impossibilitado de manter o nível de investimento necessário para manter e incrementar a atividade ferroviária brasileira, decidiu iniciar o processo de desestatização da malha, incluindo a RFFSA no Programa Nacional de Desestatização (PND) em março de 1992. A malha da RFFSA foi desmembrada em trechos e os leilões ocorreram entre março de 1996 e novembro de 1998. Vale ressaltar que a FEPASA foi incorporada à RFFSA em 1998, tendo sido também privatizada. A Companhia Vale do Rio Doce ficou com a exploração das ferrovias Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM) e a Estrada de Ferro de Carajás (EFC).

Quadro 1 – A desestatização das malhas da RFFSA.

Malhas Regionais	Data do Leilão	Concessionárias	Início da Operação	Extensão (Km)
Oeste	05.03.1996	Ferrovias Novoeste S.A.	01.07.1996	1.621
Centro-Leste	14.06.1996	Ferrovias Centro-Atlântica S.A.	01.09.1996	7.080
Sudeste	20.09.1996	MRS Logística S.A.	01.12.1996	1.674
Tereza Cristina	22.11.1996	Ferrovias Tereza Cristina S.A.	01.02.1997	164
Nordeste	18.07.1997	Cia. Ferroviária do Nordeste	01.01.1998	4.534
Sul	13.12.1998	Ferrovias Sul-Atlântico S.A. – atualmente – ALL-América Latina Logística S/A	01.03.1997	6.586
Paulista	10.11.1998	Ferrovias Bandeirantes S.A.	01.01.1999	4.236
Total				25.895

Fonte: DNIT (2008)

Barbieri, Silva e Agnelli (2003) citam um relatório do BNDES, do ano de 2000, no qual são listados os principais motivos e expectativas que levaram à concessão das malhas ferroviárias do país. São eles: (a) a geração de investimentos na recuperação, modernização e ampliação da infra-estrutura existente; (b) captação de recursos privados a fim de alavancar recursos adicionais ao setor; (c) redução do número de acidentes e aumento da produção; (d) retomada de encomendas de equipamentos e novos sistemas, bem como recuperação do material rodante degradado, à indústria ferroviária nacional, que se encontrava ociosa; e (e) capacitação da ferrovia para assumir um novo papel na matriz modal brasileira.

Mesmo com a redução dos investimentos federais na RFFSA, pode-se observar através do Quadro 2 que há um aumento de produtividade, considerando os indicadores listados, entre 1957 e 1995, antes da privatização. A redução no número de empregados deve-se aos planos de demissão voluntária (BARBIERI; SILVA; AGNELLI, 2003)

Quadro 2 – Índices de Produção e Produtividade da Rede Ferroviária Federal (RFFSA)

Índices de Produção e Produtividade	31/12/1957	31/12/1995
Extensão (km)	29.713	22.264
Empregados	158.814	37.441
Empregados/quilômetro (Emp./km)	5,35	1,68
Toneladas úteis transportadas (TUx10 ³)	27.946	83.012
Toneladas úteis/Empregado (TU/Emp.)	176	2.217
Toneladas km úteis transportadas (TKUx10 ⁶)	5.501	36.388
Toneladas km úteis/Empregado (TKU/Emp.)	34.638	971.876

Fonte: Barbieri, Silva e Agnelli (2003)

Porém, apesar da evolução da produção (em milhões de TKU) entre o período de 1957 e 1995, pode-se observar na Figura 2 que a produção fica praticamente estagnada entre a década de 80 até o período de desestatização. Observe-se ainda que uma acentuada queda na produção no início da década de 90, que possui clara correlação com a redução nos investimentos na malha.

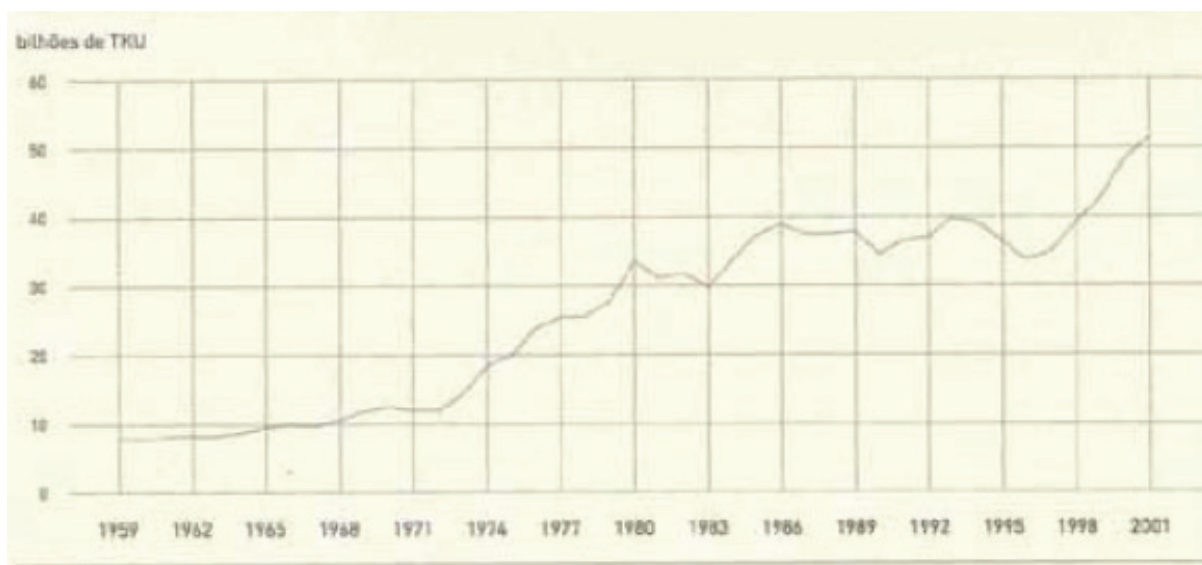


Figura 2 – Evolução da produção da RFFSA entre 1959 e 2001.

Fonte: Lacerda (2002).

Entre 1997 e 2005, quando das concessões das malhas, foram investidos aproximadamente 9,5 bilhões de reais. Somente em 2005 foram investidos 3,1 bilhões de reais em melhorias operacionais, locomotivas e vagões, novas tecnologias de controle de tráfego e treinamento de funcionários. O resultado da soma investida foi revertido em números. O volume de cargas aumentou 55%, a produção, medida em TKU (transporte de 1 tonelada à distância de 1 quilômetro), cresceu 62% e o índice de acidentes foi reduzido em 56% nas 11 concessões ferroviárias. A participação das ferrovias no total de cargas transportadas no Brasil cresceu de 17% para 26%. Os investimentos do governo somaram 600 milhões de reais em obras de infra-estrutura da malha. Por outro lado, as concessionárias já pagaram, até 2005, 2,1 bilhões de reais aos cofres públicos (EXAME, 2006).

Os estudos envolvendo a análise da eficiência relativa em determinados setores ou atividades da economia ainda são escassos no Brasil, como pode ser observado no trabalho de Macedo, Casa Nova e Almeida (2007). Destacam-se alguns trabalhos como os de Gomes e outros (2001), Angulo Meza, Gomes e Soares de Mello (2002), Marinho e Façanha (2001) e o de Soares de Mello e outros (2003), este no setor aéreo nacional, além dos trabalhos de Maçada (2001), Kassai (2002) e Bellaguarda (2006).

Sendo assim, o presente estudo objetiva avaliar a eficiência relativa das empresas concessionárias ferroviárias brasileiras, com a utilização da análise envoltória de dados (DEA). Ao mesmo tempo pretende-se identificar as unidades tidas como ineficientes, bem como as suas distâncias para a fronteira eficiente.

Inicialmente é apresentado o referencial teórico a respeito do tema, envolvendo a discussão sobre produtividade e eficiência em atividades operacionais. Em seguida, na metodologia, é apresentado o modelo utilizado de Análise Envoltória de Dados, bem como as variáveis envolvidas e sua distribuição temporal. Na seqüência são apresentados os resultados obtidos de eficiência relativa das ferrovias, bem como as devidas análises. Por fim, são tecidas considerações finais sobre a pesquisa, bem como suas limitações e sugestões de estudos futuros.

2. Referencial Teórico

2.1. Eficiência e Produtividade

Pode-se dizer que um dos precursores da busca pela produtividade nas organizações foi o economista Adam Smith, no século XVIII. De acordo com Smith (1999), a principal causa para o aumento de produtividade, ou aumento dos “poderes produtivos do trabalho” (Smith não usa o termo produtividade em seu texto) é a divisão do trabalho. Para este economista, o aumento da produtividade é fruto de três fatores: o aumento da especialização do trabalhador; a economia de tempo em transferências de tarefas; e a modernização das máquinas industriais.

A análise da produtividade é fundamental para identificar os fatores negativos e possíveis problemas existentes nas organizações, bem como tomar as devidas ações corretivas em busca da minimização da ineficiência produtiva (REINALDO, 2002).

De acordo com Belloni (2000) o critério de eficiência operacional associa-se à racionalidade econômica e à produtividade material, ou seja, revela a capacidade de uma organização de produzir o máximo de resultados com o mínimo de recursos. Para este autor, a eficiência operacional está associada à quantidade de recursos obtidos a partir de uma quantidade de recursos investidos (não necessariamente recursos financeiros) em determinada atividade.

Alguns termos associados à produtividade são comuns nos estudos de eficiência, a destacar: eficiência produtiva, alocativa, técnica e relativa. Para Lovell (1993), citado por Belloni (2000), existe uma variação de produtividade entre as organizações em função da tecnologia produtiva utilizada, de diferenças ambientais e de diferenças na eficiência. Esta última pode ser subdividida em: eficiência produtiva e eficiência alocativa. A primeira refere-se à minimização na utilização de recursos, mantendo-se o nível de resultados, ou seja, elevando-se possíveis desperdícios. O objetivo da eficiência produtiva é obter ganhos através da

eliminação de causas de ineficiência. A segunda, eficiência alocativa, refere-se à combinação de recursos e resultados, face os preços vigentes.

Para Pearson (1993), citado por Reinaldo (2002), a eficiência técnica é obtida e função da quantidade de produtos obtidos e a quantidade máxima de produtos que poderiam ser obtidos na mesma organização, dado um nível de insumos utilizado. Reinaldo (2002) destaca ainda a eficiência relativa, que corresponde à eficiência de unidades em relação a outras unidades semelhantes, que utilizam os mesmos recursos (*inputs*) e obtêm saídas (*outputs*) semelhantes. Esta abordagem relativa é a utilizada neste estudo.

Em uma análise mais ampla sobre os fatores que influenciam na produtividade das organizações e das nações, alguns trabalhos são citados, como os de Dosi (1990) e o de Teixeira (1999).

Dosi (1990) destaca a inovação como fator tecnológico impactante na produtividade e no crescimento de países e organizações. Para este autor, os processos de inovação estão associados às assimetrias na eficiência produtiva e tecnologia de produto das organizações e também dos países.

Em uma análise da experiência brasileira, Teixeira (1999) comenta sobre o amplo debate envolvendo produtividade e desenvolvimento econômico e apresenta dados, baseados no trabalho de Feijó e Carvalho (1998) com dados do IBGE, sobre o nível de empresa, produção física e produtividade. Os números mostram-se expressivos, em relação ao crescimento da produtividade nos anos 90, sendo dois aspectos levantados. O primeiro refere-se à metodologia de cálculo e em como as variáveis utilizadas são medidas. A segunda refere-se ao relacionamento entre o aumento da produtividade e à reestruturação produtiva que passou a economia brasileira, principalmente após a abertura comercial. Neste segundo ponto, destaca-se a discussão sobre uma possível associação entre produtividade e nível de emprego.

Teixeira (1999) destaca também, baseado no trabalho de Nelson (1996), que existe um pseudo-consenso que o aumento da produtividade ocorre em função da mudança tecnológica, de investimentos em ativos fixos e da melhoria dos padrões educacionais. Contudo, o autor destaca o estudo de Considera e Silva (1993), os quais avaliaram que os investimentos em ativos fixos feitos no Brasil não teriam sido suficientes para explicar os índices de produtividade observados. Citando Carvalho e Bernardes (1996) e Salm, Saboia e Carvalho (1996), Teixeira (1999) comenta que o aumento da produtividade seria função de mudanças organizacionais “revolucionárias” e de investimentos em novas tecnologias, além da adoção de novas técnicas gerenciais, que teriam provocado mudanças estruturais no perfil do emprego industrial, sendo as mesmas o principal fator do crescimento da produtividade nos anos 90. Apesar deste argumento, Teixeira (1999) destaca que não há evidências empíricas para defender que a produtividade seria decorrente da utilização de novas tecnologias organizacionais, apesar do papel de destaque da terceirização e de técnicas gerenciais nos moldes da qualidade total.

Observa-se nos estudos avaliados há sempre uma preocupação com relação à produtividade das organizações, e também das nações, com ênfase no entendimento dos fatores que levam a diferenças entre unidades semelhantes.

2.2. A Análise Envoltória de Dados (DEA)

A DEA (do inglês *Data Envelopment Analysis*) é uma metodologia de avaliação de desempenho de unidades tomadoras de decisão homogêneas (*Decision Making Units – DMU's*) mediante o uso de múltiplas entradas (*inputs*) e múltiplas saídas (*outputs*). A metodologia faz com que a decisão se concentre em um único indicador, elaborado a partir de vários desempenhos diferentes (BELLAGUARDA, 2006).

Conforme destaca Macedo, Casa Nova e Almeida (2007), a DEA é uma metodologia não-paramétrica, logo, não especifica uma “forma funcional” para as entradas e saídas. Trata-se de um modelo matemático para delimitação de uma fronteira eficiente. Tal fronteira eficiente irá refletir a máxima eficiência na relação de entradas e saídas, sem a necessidade da explicitação formal desta relação. Desta forma, os autores destacam que a DEA representa uma ferramenta poderosa em processos decisórios estratégicos e em sistemas de avaliação de desempenho, sendo utilizada como instrumento de *benchmarking* para avaliar a eficiência relativa entre unidades diferentes (DMU's).

Para utilização do modelo é necessário identificar as DMU's, as entradas (*inputs*) e os (*outputs*). As DMU's são as unidades operacionais homogêneas da avaliação, que neste estudo são as ferrovias de carga brasileiras (as ferrovias ou unidades das ferrovias destinadas de passageiros não foram incluídas no estudo). Para a utilização do modelo é de fundamental importância que as DMU's sejam homogêneas. Os *outputs* referem-se aos resultados obtidos pelas DMU's e irão compor o numerador do quociente de eficiência. Estes devem respeitar o critério matemático de quanto maior, melhor. Os *inputs* são os recursos utilizados pelas DMU's para obter os *outputs* e devem obedecer ao critério de quanto menor, melhor, compondo o denominador do quociente de eficiência (KASSAI, 2002).

O resultado da DEA representa o indicador de eficiência (h_e), que corresponde à máxima produtividade de uma DMU em relação ao desempenho de todas as DMU's utilizadas na análise. O indicador de eficiência (h_e) para uma determinada DMU é calculado através de programação matemática (Problema de Programação Linear - PPL) com a utilização das variáveis: entradas (x), saídas (y), ponderação das entradas (v) e ponderação das saídas (u). O objetivo é encontrar identificar o conjunto de pesos (v) associados às entradas (x) e o conjunto de pesos (u) associados às saídas (y) que maximizem a eficiência possível. Os pesos, ou ponderações, não precisam ser conhecidos para a utilização do modelo. Na verdade, o próprio modelo os determina (PANEPUCCI, 2003).

O indicador de eficiência relativa (h_e) varia entre 0 e 1 (0 e 100%) para cada uma das DMU's. As DMU's eficientes terão índice de eficiência relativa igual a 1, sendo que as demais ficarão abaixo deste valor, logo abaixo da curva da fronteira eficiente. O resultado permite identificar as DMU's com resultado abaixo de 1, tidas como relativamente ineficientes, e indicar possíveis pontos que poderiam levá-la à fronteira de eficiência (KASSAI, 2002).

A fronteira eficiente, conforme destaca Charnes *et al* (1994), citado por Macedo, Casa Nova e Almeida (2007), corresponde àquela em que ocorrerá a otimização do uso dos *inputs* na produção de *outputs*, ou seja, produzir a maior quantidade de *outputs*, com o menor número de *inputs*. A Figura 3 representa um exemplo hipotético de fronteira eficiente. A DMU ineficiente P para alcançar a fronteira de eficiência pode: (a) caminhar até o ponto B, reduzindo um recurso X (*input*); ou (b) caminhar até o ponto D, aumento o produto Y (*output*).

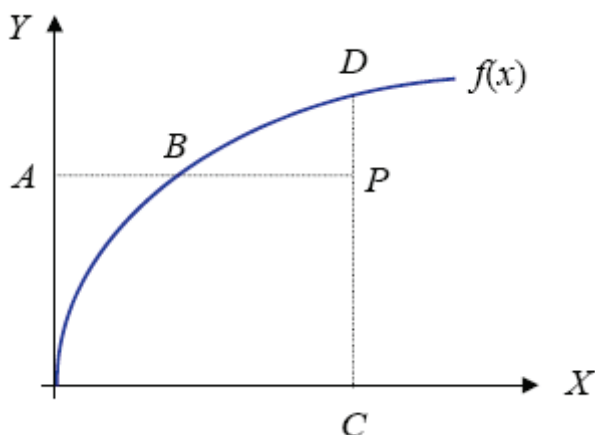


Figura 3: Alcance da fronteira de eficiência.
Fonte: Soares de Mello et al (2005).

Soares de Mello e outros (2005) comparam a DEA com a regressão linear e argumentam que ao invés de trabalhar com a otimização a partir de um plano de regressões, a DEA otimiza cada variável de forma individual, calculando uma fronteira eficiente em função das DMU's que são Pareto Eficiente. Para estes autores, quando uma DMU não consegue melhorar uma de suas características sem impactar em redução das demais, ela será considerada uma unidade Pareto eficiente (SOARES DE MELLO et al, 2005).

Com relação aos modelos de DEA, dois modelos clássicos são os mais utilizados. Um modelo é denominado CCR, desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes em 1978, também conhecido como CRS (*Constant Returns to Scale*). O outro modelo é conhecido pela sigla BCC, por ter sido desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper em 1984, e que é conhecido como VRS (*Variable Returns to Scale*). Destaca-se que ambos os modelos avaliam a eficiência relativa total, identificando as DMU's mais eficientes e determinando a distância das demais DMU's ineficiente para a fronteira eficiente (MACEDO; CASA NOVA; ALMEIDA, 2007). A principal diferença entre os modelos consiste na determinação dos retornos de escala. Enquanto o modelo CCR trabalha com retornos constantes de escala, no qual qualquer variação nos *inputs* produz uma variação proporcional nos *outputs*, o modelo BCC trabalha com retornos variáveis de escala, o qual permite retornos crescentes ou decrescentes de escala (SOARES DE MELLO et al, 2005). Em função de uma restrição adicional (ver SOARES DE MELLO et al, 2005), que justamente permite a assimilação de retornos variáveis de escala, o poder discriminatório do modelo BCC é menor do que no modelo CCR. Isto se verifica pelo fato das DMU's eficientes no modelo CCR serem também eficientes no modelo BCC, o contrário não sendo verdadeiro (MARINHO; FAÇANHA, 2001).

Marinho e Façanha (2001) destacam que o uso de retornos constantes ou variáveis de escala não representa, a priori, em uma (des)vantagem para qualquer um dos modelos. De acordo com estes autores, a principal questão no uso da DEA deve recair sobre a escolha das variáveis, ou seja, dos *inputs* e *outputs*.

Com relação às entradas e saídas, pode-se utilizar uma orientação *input*, objetivando uma redução máxima do nível de *input* para uma mesma geração de *output*, ou uma orientação *output*, objetivando a maximização do nível de *output* para um mesmo nível de *input*. As formulações matemáticas da programação podem ser obtidas em Soares de Mello e outros

(2005), além de inúmeros outros trabalhos, como em Paiva Jr. (2000), Marinho e Façanha (2001), Kassai (2002), Panepucci (2003), Bellaguarda (2006), entre outros.

Alguns autores, dentre eles Soares de Mello e outros (2005), comparam a DEA com a técnica de regressão. A DEA otimiza cada observação individual (DMU) objetivando determinar uma fronteira de eficiência, determinada pelas unidades Pareto eficientes. Diferentemente da regressão, para a DEA não é necessário testar os pressupostos paramétricos, dado que trata-se de uma metodologia não paramétrica.

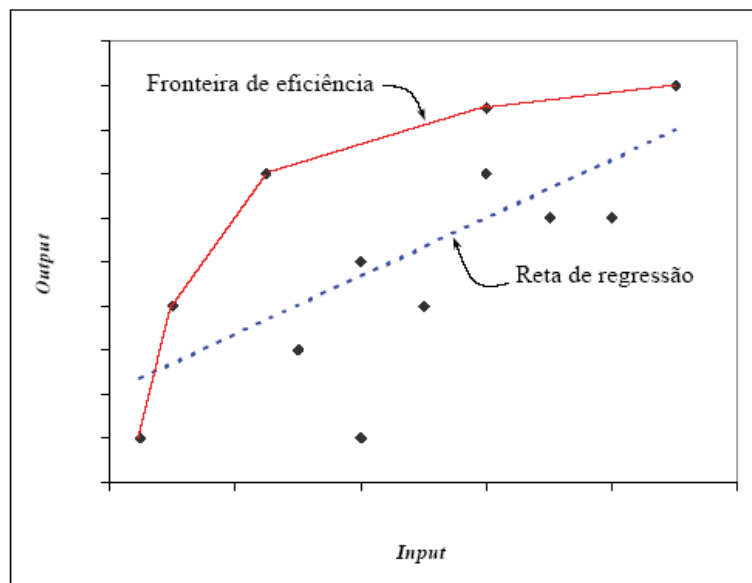


Figura 4: Comparação entre a DEA e a técnica de regressão.

Fonte: Soares de Mello et al (2005).

3. Metodologia

As DMU's definidas para a realização da pesquisa foram escolhidas por serem as mais importantes ferrovias nacionais, destacando-se em termos de tamanho da malha e, principalmente, pela produção, além da disponibilidade completa de dados de entradas e saídas. Os dados foram obtidos a partir do Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres de 2005, divulgado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2008). Cabe ressaltar que as concessões de algumas ferrovias foram adquiridas por outras, como é o caso das Ferrovias Bandeirantes e da América Latina Logística.

Foram definidas as seguintes ferrovias: Ferrovia Centro-Atlântica (FCA); América Latina Logística (ALL); Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN); Ferrovias Bandeirantes (FERROBAN - adquirida pela ALL); Ferrovia Novoeste/Ferropar (NOVOESTE - adquirida pela ALL); MRS Logística (MRS); Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM); Estrada de Ferro de Carajás (EFC); Ferrovias Norte do Brasil (FERRONORTE - adquirida pela ALL); e Ferrovia Tereza Cristina (FTC). O critério de seleção se baseou na disponibilidade completa de todos os dados entrada e saída.

Para a análise dos resultados foi aplicado o modelos CCR com orientação *output*. O objetivo é analisar os resultados encontrados em termos de eficiência e ordenamento das DMU's. Utilizando o modelo com retornos constantes de escala, está sendo considerado que uma as

ferrovias devem ter eficiência equivalente, mesmo sem levar em consideração as diferenças nas variáveis envolvidas (grande parte em função do tamanho da mesma).

A orientação adotada foi *output* em função dos inputs analisados das ferrovias, dado que os ativos operacionais das ferrovias (locomotivas e vagões) não são variáveis de liquidez imediata, o que limitaria uma análise dos alvos. Sendo assim, o esforço deveria se concentrar na otimização das saídas em relação às entradas.

As variáveis de entrada utilizadas foram: número de funcionários (FUNC), quantidade de vagões de carga (VC) e quantidade de locomotivas (LOCO). A variável de saída utilizada foi um indicador bastante utilizado em logística ferroviária, o TKU (milhões de tonelada*km). Os dados consideraram apenas o transporte de cargas, não levando em consideração o transporte de passageiros. Também foram consideradas apenas as locomotivas em uso, excluindo-se as demais locomotivas em manutenção, conforme ANTT (2008). Ressalta-se a utilização destas variáveis corrobora a pesquisa realizada por Paiva Jr. (2000), que também as utilizou, dentre outras, na aplicação DEA em ferrovias do mundo inteiro.

Kassai (2002) ressalta que o número de unidades consideradas na análise deve ser pelo menos o dobro do número de variáveis (*inputs* e *outputs*) envolvidas. Isto aumenta o poder de discriminação do modelo.

Para o cálculo da DEA foi utilizado o programa DEA-Solver, de distribuição gratuita, e que utiliza o Excel como base. Paiva Jr. (2000) comparou os resultados da DEA com a utilização do Excel e de um programa específico (EMS), tendo encontrado resultados consistentes, que validaram a utilização do Excel como *solver* matemático. Neste trabalho o resultado da DEA foi comparado com a utilização do DEA-Solver e com a programação realizada no Excel, encontrando resultados idênticos em ambos os casos.

Após obtidos os resultados (*scores*) das ferrovias, as mesmas foram divididas em dois grupos e foi testada a hipótese de igualdade de eficiência entre estes grupos, com a utilização do teste não paramétrico de Mann-Whitney, utilizado para amostras independentes (NEWBOLD, 1995) e possível substituto para o teste t quando os supostos paramétricos não são atendidos (DANCEY; REIDY, 2004). Os grupos foram definidos de maneira *ad hoc*, em função da conveniência e experiência do analista, como destacado por Marinho e Façanha (2001). Estes autores destacam os procedimentos a serem efetuados para a aplicação do teste não paramétrico. Estes podem ser divididos em quatro: (1) divisão das DMU's (de acordo com a conveniência de análise) e execução da DEA em cada um dos grupos em separado; (2) ajustar as DMU's ineficientes para o seu alvo, em cada um dos grupos; (3) executar novamente a DEA para o conjunto total de DMU's considerando os dados ajustados; e (4) aplicar o teste estatístico desejados.

4. Análise dos Resultados

Na Tabela 1 estão apresentados os dados coletados através da ANTT (2008), com as estatísticas respectivas descritivas para cada uma das variáveis de entrada (funcionários, vagões de carga e locomotivas) e para a variável de saída (TKU), além da informação sobre a extensão da ferrovia (esta não foi utilizada para o cálculo da eficiência relativa).

Tabela 1: Dados das ferrovias e estatísticas descritivas das variáveis.

DMU	EXTENSÃO (Km)	FUNC	VC	LOCO	TKU (10 ⁶)
FCA	7.080	3.991	11.814	193	9.523
ALL	6.586	2.342	9.687	127	14.175
CFN	4.238	1.984	864	37	848
FERROBAN	4.236	2.125	18.583	347	9.473
NOVOESTE	1.621	761	2.753	32	1.191
MRS	1.674	3.400	11.454	64	39.355
EFVM	898	5.268	15.546	160	64.773
EFC	892	2.585	7.736	72	63.622
FERRONORTE	512	1.000	3.159	13	2.259
FTC	164	211	149	3	169
Média	2.790	2.367	8.175	105	20.539
Desvio-padrão	2.558	1.545	6.338	106	25.739
Mediana	1.648	2.234	8.712	68	9.498
Mínimo	164	211	149	3	169
Máximo	7.080	5.268	18.583	347	64.773

Observa-se que existe grande dispersão entre as DMU's em todas as variáveis analisadas. Este fato não representa uma limitação ao uso da DEA, pois conforme destaca Marinho e Façanha (2001), esta técnica pode ser utilizada em variáveis com ampla dispersão e também nos casos de variáveis com mensuração diferenciada.

O primeiro resultado a ser analisado refere-se ao ordenamento (*ranking*) das ferrovias em função das suas respectivas eficiências (*score*), o que pode ser visualizado na Tabela 2, na qual os escores foram obtidos considerando o modelo utilizado (CCR).

Tabela 2: Escores de eficiência das ferrovias para o modelo CCR.

CCR-Output Oriented		
Ordenamento	DMU	Score
1	EFC	100,00%
2	MRS	69,59%
3	EFVM	50,66%
4	ALL	24,59%
5	FERRONORTE	19,67%
6	FERROBAN	18,11%
7	FTC	13,79%
8	CFN	11,93%
9	FCA	9,80%
10	NOVOESTE	6,36%

Observa-se que apenas uma DMU foi considerada eficiente (EFC), sendo todas as demais ineficientes, em uma análise comparativa. Marinho e Façanha (2001) destacam que os resultados da DEA, embora importantes, devem ser vistos com certa cautela. De acordo com estes autores, os resultados traduzem uma das potencialidades do modelo e o atrativo especial de converter algo complexo (a gestão de uma ferrovia) em uma representação numérica sintética.

Marinho e Façanha (2001) destacam que é importante também analisar as diferenças entre os valores efetivos de *inputs* e de *outputs* e os valores ótimos (alvos). Estes resultados podem ser visualizados na Tabela 3, que apresenta os alvos e a diferença (em %) de cada variável para atingir o alvo, com a utilização do modelo CCR.

Tabela 3: Alvos e diferenças (%) das ferrovias para cada variável (modelo CCR).

DMU	FUNC alvo	dif (%)	VC alvo	dif (%)	LOCO alvo	dif (%)	TKU alvo	dif (%)
FCA	3.948	-1,09%	11.814	-	110	-43,03%	97.160	920,27%
ALL	2.342	-	7.009	-27,65%	65	-48,64%	57.641	306,64%
CFN	289	-85,45%	864	-	8	-78,27%	7.106	737,93%
FERROBAN	2.125	-	6.359	-65,78%	59	-82,94%	52.300	452,10%
NOVOESTE	761	-	2.277	-17,28%	21	-33,76%	18.730	999,90%
MRS	2.298	-32,42%	6.876	-39,96%	64	-	56.553	43,70%
EFVM	5.195	-1,39%	15.546	-	145	-9,57%	127.853	97,39%
EFC	2.585	-	7.736	-	72	-	63.622	-
FERRONORTE	467	-53,33%	1.397	-55,78%	13	-	11.487	408,51%
FTC	50	-76,40%	149	-	1	-53,77%	1.225	625,09%

Ressalta-se que os resultados encontrados para os alvos objetivam que uma DMU alcance a fronteira eficiente incrementando a sua produção em TKU (*output*). Porém, em função das folgas existentes, para que uma DMU alcance a fronteira eficiente é necessário ainda que um ou mais *inputs* sejam ajustados.

No modelo CCR a DMU mais ineficiente é a NOVOESTE, cujo score foi de 6,36%. Levando-se em consideração os alvos para as variáveis desta ferrovia, e respeitando as restrições do modelo, ela atingiria a fronteira de eficiência caso: (a) reduzisse o seu número de vagões de carga para 2.277, o que representa uma redução de 17,28% da quantidade atual; (b) reduzisse o número de locomotivas em operação para 21, ou seja, uma redução de 33,76% da quantidade atual; e (c) aumentasse sua produção para 18.730 TKU (10^6), o que representaria um incremento na produção de 999,9%. Estes valores dão uma dimensão comparativa da DMU em relação à DMU eficiente.

É interessante analisar os resultados encontrados para as ferrovias FCA e EFVM, ambas controladas pelo mesmo grupo empresarial da unidade eficiente (Companhia Vale do Rio Doce). Para a EFVM, o *score* obtido foi de 69,59% de eficiência relativa. Considerando os alvos para as variáveis, a EFVM atingiria a fronteira eficiente se: (a) reduzisse o número de funcionários para 5.195, ou seja, uma redução de 1,39%; (b) reduzisse o número de locomotivas em operação para 145, o que representa uma redução de 9,57%; e (c) aumentasse sua produção para 127.853 TKU (10^6), o que corresponde a um incremento na produção de 97,39%. Ressalta-se que o número de vagões não foi alterado. Já para a FCA, com score igual a 9,8%, os números são muito mais impactantes, sendo que para atingir a fronteira eficiente esta DMU deveria: (a) reduzir o número de funcionários para 3.948 (1,09%); (b) reduzir o número de locomotivas em 43,03% (para 110); e (c) aumentar o volume em TKU (10^6) para 97.160 (920,27%). Este resultado da FCA certamente está ligado ao período de redução maciça de investimentos, antes da privatização da malha federal (RFFSA), que resultou em sucateamento da malha (infra e superestrutura férrea), que tem impacto na eficiência das ferrovias.

De uma forma geral, os resultados encontrados sugerem que há espaço potencial para a expansão da produção (TKU), assim como para a redução do volume de *inputs*, em praticamente todas as ferrovias analisadas.

Uma análise adicional foi feita objetivando encontrar uma possível relação entre a extensão das ferrovias e a sua eficiência. Dois grupos foram definidos: os de menor extensão (FTC, FERRONORTE, EFC, EFVM, MRS e NOVOESTE); e os de maior extensão (FERROBAN,

CFN, ALL e FCA). Aparentemente, a eficiência seria uma função decrescente das ferrovias mais extensas. A hipótese nula (H_0) é de que não há diferença significativa entre as classificações (*ranking*) em função da extensão da malha.

Para avaliar esta relação foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney U. Os resultados da DEA, já na terceira etapa dos procedimentos descritos por Marinho e Façanha (2001), indicam haver uma relação entre a extensão da ferrovia e sua eficiência relativa. Há uma notável relação, para os valores projetados, entre a extensão da ferrovia e sua eficiência, indicando que as ferrovias menores possuem maior eficiência do que as maiores. Mesmo obtendo estes resultados, foi realizado o teste de Mann-Whitney U, que se mostrou significativo ($p = 0,010$), indicando a negação da hipótese nula. Na análise realizada, as ferrovias menores (em extensão) possuem maior eficiência relativa do que as ferrovias com maior extensão.

5. Considerações Finais

Entre 1996 e 1998 houve a desestatização da malha férrea nacional, em grande parte influenciada pela falta de capacidade do Estado em manter os elevados investimentos associados à atividade (BARBIERI; SILVA; AGNELLI, 2003). Estes autores destacam também que um dos motivos para a privatização foi elevar a capacitação das ferrovias nacionais para assumir um novo papel na matriz modal brasileira.

Após o período de privatização, os investimentos nas ferrovias foram elevados. No período entre 1997 e 2005 foram investidos aproximadamente 9,5 bilhões de reais (EXAME, 2006). Estes investimentos, somados aos realizados após 2005, vêm gerando resultados de produtividade e eficiência para as ferrovias nacionais, além de receitas para os cofres públicos.

As concessionárias, grande parte em função dos elevados investimentos que vêm realizando, buscam maximizar a sua eficiência produtiva, como forma de garantir a maximização dos seus resultados financeiros. Uma metodologia de análise da eficiência relativa de unidades semelhantes é a Análise Envoltória de Dados (DEA). Apesar da busca pela maximização da eficiência ser alvo de praticamente todas as empresas (BELLONI, 2000; REINALDO, 2002), os estudos envolvendo eficiência relativa com o uso da DEA ainda são escassos no Brasil (MACEDO; CASA NOVA; ALMEIDA, 2007). De fato, a utilização da DEA vem crescendo nos últimos anos, o que pode ser visualizado através do número de publicações científicas sobre o tema (MACEDO; CASA NOVA; ALMEIDA, 2007).

A Análise Envoltória de Dados apresenta-se como uma metodologia adequada para comparação da eficiência de unidades tomadoras de decisão semelhantes. Com a utilização da DEA é possível visualizar uma fronteira de eficiência e o posicionamento das unidades em relação à mesma. O indicador de eficiência da DEA é calculado através de programação linear, com a utilização de algumas variáveis de entrada e outras de saída. Ressalta-se que as ponderações não precisam ser conhecidas, sendo determinadas pelo modelo (PANEPUCCI, 2003).

Dos modelos de DEA existentes, foi utilizado o modelo desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes (CCR), com orientação para *output*, ou seja, objetivando maximizar a variável de saída, em relação às variáveis de entrada. Foram utilizadas três variáveis de entrada para as

ferrovias (número de funcionários, de vagões de carga e de locomotivas) e uma variável de saída ($TKU \times 10^6$).

Os resultados encontrados permitiram identificar uma ferrovia como eficiente (EFC). As demais ferrovias ineficientes (em termos relativos) foram ordenadas, o que permite uma comparação através de um *ranking* de ferrovias. Os resultados da DEA também permitem projetar as ferrovias ineficientes para a fronteira de eficiência, indicando os alvos para as variáveis. Visualiza-se que há espaço para uma expansão da produção (em $TKU \times 10^6$) das ferrovias.

Adicionalmente foi realizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney U para testar a hipótese da extensão das ferrovias influenciar as suas respectivas eficiências. Os resultados encontrados ainda nos procedimentos anteriores ao teste, descritos por Marinho e Façanha (2001), indicam tal relação. Tal teste apenas confirma a hipótese alternativa, indicando que as ferrovias com menor extensão possuem maior eficiência do que as de maior extensão.

Vale ressaltar que, por ser uma técnica de extremos, a DEA é sensível a erros de medição. Para tentar reduzir tal efeito, trabalhou-se com uma base de dados obtida de uma fonte oficial (ANTT). Além disso, a eficiência relativa encontrada é um indicativo de eficiência somente no conjunto de dados analisados. Isto quer dizer que a entrada ou saída de uma ou mais unidades (ferrovias) na análise altera os valores eficiência relativa, o torna a metodologia dinâmica (KASSAI, 2002).

A utilização de outros modelos DEA pode permitir mais análises em relação às ferrovias brasileiras. Sugere-se especificamente que sejam feitas análises considerando os retornos variáveis de escala. Além disso, pode-se verificar os resultados da eficiência relativa com a inclusão de novas variáveis, como o número de acidentes ou a extensão da malha, esta utilizando algum modelo que considere variáveis não controláveis pela DMU (caso da extensão da malha).

Referências

AGÊNCIA Nacional de Transportes Terrestres. Anuário estatístico dos transportes terrestres. 2005. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/bit/ANTT/index.htm>>. Acesso em: 05 mar. 2008.

ANGULO MEZZA, L.; GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Enfoque multiobjetivo para determinação de benchmarks de companhia aéreas brasileiras DEA-ineficientes. In: ANPET, 16, 2002. Natal. **Anais...** Natal: ANPET, out. 2002.

BARBIERI, A. C.; SILVA, M. J. D.; AGNELLI, N. Gestão estatal versus gestão privada: o caso das ferrovias brasileiras. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 10, 2003. Bauru. **Anais...** Bauru: SIMPEP, 2003.

BELLAGUARDA, M. T. **Performance analysis of public hospitals in the estate of Bahia with different organization models an application of the Data Envelopment Analysis (DEA) method.** 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

BELLONI, J. A. **Uma metodologia de avaliação da eficiência produtiva de universidades federais brasileiras**. 2000. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A. Y.; SEIFORD, L. M. **Data Envelopment Analysis**. 2. ed. Boston: KAP, 1994.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**. 3. ed. Porto alegre: Artmed, 2004

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **O sistema férreo nacional**. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/ferrovias/historico.asp>>. Acesso em: 20 fev. 2008.

DOSI, G. **Technical change and economic theory**. Londres: Pinter, 1990.

EXAME. **Renascimento das ferrovias**, São Paulo, 16 nov. 2006. Disponível em: <http://portalexame.abril.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes_2006/m0116290.html>. Acesso em: 20. fev. 2008.

GOMES, E. G. *et al.* **Avaliação de eficiência de companhias aéreas brasileiras: uma abordagem por análise envoltória de dados**. In: ANPET, 15, 2001. Campinas. **Anais...** Campinas: ANPET, nov. 2001.

KASSAI, S. **Utilização da Análise Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. 2002. 318 f. Tese (Doutorado em Contabilidade e Controladoria) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LACERDA, S. M. **O transporte ferroviário de cargas**. BNDES, Brasília, dez. 2002. Análise Setorial 15. Disponível em: <www.bndes.gov.br/conhecimento/livro_setorial/setorial15.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2008.

MAÇADA, A. C. G. **Impacto dos investimentos em tecnologia da informação nas variáveis estratégicas e na eficiência dos bancos brasileiros**. 2001. 211 f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MACEDO, M. A. S.; CASA NOVA, S. P. C.; ALMEIDA, K. Mapeamento e análise bibliométrica da utilização da análise envoltória de dados (DEA) em estudos das áreas de Contabilidade e Administração. In: ENANPAD, 31, 2007. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2007.

MARINHO, A.; FAÇANHA, L. O. Hospitais universitários: avaliação comparativa de eficiência técnica. **Textos para discussão**, Rio de Janeiro, n. 805, p. 01-29, jun. 2001. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2001/td_0805.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2008.

NEWBOLD, P. **Statistics for business and economics**. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

PAIVA JR., H. Avaliação de desempenho de ferrovias utilizando a abordagem integrada DEA/AHP. 2000. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PANEPUCCI, G. T. M. **Avaliação de desempenho dos departamentos acadêmicos da UFSCar utilizando Análise Envoltória de Dados – DEA.** 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

REINALDO, R. R. P. **Avaliando a eficiência em unidades de ensino fundamental de Fortaleza-CE: usando a análise envoltória de dados (DEA).** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SMITH, A. **Inquérito sobre a natureza e as causas da riqueza das nações.** 4. ed. Rio de Janeiro: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B. et al. Análise Envoltória de Dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para as companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, v. 23, n. 2, p. 325-345, mai/ago 2003.

_____. et al. Curso de análise envoltória de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37, 2005. Gramado. **Anais...** Gramado: SBPO, 2005. Disponível em: <<http://www.uff.br/decisao>>. Acesso em: 02 dez. 2007.

TEIXEIRA, F. L. C. Tecnologia, organizações e produtividade: a experiência brasileira recente. **Organizações e Sociedade**, v. 7, n. 16, 1999.