

Análise envoltória de dados como mecanismos de avaliação e monitoramento do desempenho do programa de manutenção de hidrovias interiores

[Data envelopment analysis as evaluation mechanisms and
performance monitoring program for maintenance of inland waterways]

José Teixeira de Araújo Neto Santos, Poliana Cardoso, Márcia Helena Veleda Moita*

Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Brazil

Submitted 14 Jul 2011; received in revised form 15 Nov 2011; accepted 26 Jan 2012

Resumo

As hidrovias interiores desempenham um papel relevante no Brasil, representam em alguns casos fatores determinantes nos corredores estratégicos de desenvolvimento. As características físicas e operacionais das vias navegáveis interiores são mantidas pelo Programa de Manutenção de Hidrovias. Estudos mostram que as atividades de manutenção das hidrovias são insuficientes, existe deficiência na atualização e divulgação dos registros indicativos das condições de navegabilidade, deficiência dos instrumentos de controle, insuficiência de mecanismos de avaliação e monitoramento do desempenho do Programa. O objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência das atividades desenvolvidas pelos gestores e executores do Programa de Manutenção de Hidrovias a partir da metodologia DEA - Análise Envoltória de Dados. Concluiu-se que independente da carência de recursos financeiros e da sistemática de repasse de recursos para as administrações hidroviárias, a AHINOR e a AHIMOR apresentam uma qualidade na navegabilidade que condiz com esses investimentos recebidos, o que as eleva a eficiência máxima. Verificou-se que 71% das administrações hidroviárias apresentam uma ineficiência média de 26% na aplicação dos recursos que visa garantir as condições de navegabilidade, o que permite concluir que as atividades de manutenção das hidrovias são deficientes.

Palavras-Chave: hidrovias; manutenção; DEA; eficiência.

Abstract

The waterways in Brazil have a relevant role as they represent determinant factors in some cases in the strategic corridors of development. The physical and operational features of the navigable country ways are kept by the Program Waterways Support. Studies show the support activities of the waterways are not enough, as there is the deficiency in the update and divulgation of the indicative records of navigability, deficiency of the instruments of control, insufficiency of the mechanisms of evaluation and monitoring of the development of the program. The objective of the research is to evaluate the efficiency of the activities developed by the managers and performers of the waterway support program based on the DEA methodology - Envelopment Analysis of Data. It was concluded that regardless of the lack of financial resources and the systematic transfer to the general Waterway, only 25% of navigable waterways have that matches the investments received, which elevates them to maximum efficiency. It was also found that 71% of administrations are inefficient Waterway, between the average inefficiency in products of seaworthiness and 26%, which indicates that the navigability of waterways is flawed.

Key words: waterways; maintenance; DEA; efficiency.

* Corresponding Author. Email: mhvmoita@yahoo.com.br.

Recommended Citation

Santos, J. T. A. N., Cardoso, P. and Moita, M. H. V. (2012) Análise envoltória de dados como mecanismos de avaliação e monitoramento do desempenho do programa de manutenção de hidrovias interiores. *Journal of Transport Literature*, vol. 6, n. 2, pp. 66-86.

■ JTL|RELIT is a fully electronic, peer-reviewed, open access, international journal focused on emerging transport markets and published by BPTS - Brazilian Transport Planning Society. Website www.transport-literature.org. ISSN 2238-1031.

This paper is downloadable at www.transport-literature.org/open-access.

1. Introdução

Segundo ANTAQ – Agência Nacional do Transporte Aquaviário (2008) as hidrovias interiores desempenham um papel relevante no Brasil. Representam em alguns casos, como no Amazonas, fatores determinantes nos corredores estratégicos de desenvolvimento. Grande parte dos investimentos do setor hidroviário está ligada aos programas especiais de desenvolvimento regional.

O transporte de carga por hidrovias brasileiras em 2001 movimentou 2,4% da produção total de transportes no País. Uma das explicações para a pequena participação das hidrovias na matriz de transportes brasileira é a concentração do transporte hidroviário na Região Norte, que deteve 90% da movimentação de cargas, porém a Região é responsável por apenas 4,6% do PIB nacional (COOPEAD, 2005).

O Programa de Manutenção de Hidrovias é inserido no PPA - Plano Plurianual e visa manter as características físicas e operacionais das vias navegáveis interiores. A ação desse Programa tem como principais resultados a dragagem, sinalização, balizamento, desobstrução dos canais e mitigação de impactos ambientais. Os resultados esperados destas ações são hidrovias em condições de navegabilidade.

Segundo o TCU - Tribunal de Contas da União (2006) as atividades de manutenção de hidrovias são insuficientes, principalmente em virtude da carência de recursos humanos e financeiros e da sistemática de repasse de recursos para as administrações hidroviárias. Estes fatores também levam à deficiência dos instrumentos de controle e à insuficiência de mecanismos de avaliação e monitoramento do Programa.

Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo incrementar as publicações em análise de eficiência do sistema de hidrovias, através da metodologia DEA - Análise Envoltória de Dados. Ademais, a pesquisa pretende avaliar a eficiência das atividades desenvolvidas pelos gestores e executores do Programa de Manutenção de Hidrovias, com vistas às condições de navegabilidade das principais hidrovias brasileiras.

A primeira seção será destinada a introdução do sistema hidroviário do Brasil e seu potencial, a segunda seção tratará das principais atividades de manutenção de hidrovias e seu estado atual. Na terceira seção será realizada uma contextualização da metodologia DEA, em seguida, na quarta seção será apresentado o modelo DEA adotado para avaliar a eficiência das atividades de manutenção das hidrovias. Subsequentemente, na quinta seção, será feita a avaliação da eficiência das hidrovias e por fim, a sexta e última seção apresentará as principais conclusões da pesquisa.

2. Hidrovias no Brasil

A utilização de rios como vias navegáveis interiores foi uma das formas de consolidar a ocupação do território brasileiro desde o descobrimento do Brasil. Vários são os estudos que comprovam a importância do transporte hidroviário ao longo dos anos. Há citações de utilização de vários rios, em 1750, para deslocamento do litoral com destino o interior do país. Em 1868, ocorreu implantação da navegação a vapor nos rios Araguaia e Tocantins (ANTAQ, 2008).

Outro fato marcante do crescimento da atividade hidroviária foi à publicação, no Brasil em 1914, do "Álbum *Graphico* do Estado do Mato Grosso", com ilustrações e mapas que revelam a histórica navegação pelo rio Paraguai. Em meados de 1930, o Presidente Getúlio Vargas promulgava leis que instituíam a obrigatoriedade de sinalização nos rios brasileiros, visando garantir a segurança da navegação.

Na região amazônica, quando os europeus chegaram, no início do século XVI até meados de 1950, a ocupação e o transporte de passageiros e carga ocorriam totalmente pelos rios. A hidrovia Tietê-Paraná foi contemplada em 1969 como uma das primeiras eclusas construídas para transposição da Barragem de Bariri.

O Brasil possui atualmente 63 mil quilômetros de extensão total de águas, 40.000km são de rios, lagos e lagoas potencialmente navegáveis, destas pouco mais de 44% são utilizadas. Ao todo, são nove grandes bacias, sendo a maior delas, a Amazônica, com 18.300km de rios potencialmente navegáveis (ANTAQ, 2008).

Nos últimos anos, os investimentos no setor hidroviário foram rareados. De forma previsível a matriz de transporte brasileira se encontra desequilibrada, o modal rodoviário aparece com a maior participação (61%), deixando aos outros modais uma parcela muito pequena da carga (COPPEAD, 2005).

2.1 Vantagens do modal hidroviário

Estudos demonstram que pelas hidrovias são transportadas grandes quantidades de carga com a melhor relação custo-benefício. O emprego maciço do modal hidroviário contribui significativamente para a redução dos preços finais das mercadorias comercializadas.

A redução no preço das mercadorias está associada ao preço do frete hidroviário, que custa cerca de 30% do preço cobrado pelo rodoviário, fato este explicado pela capacidade de transporte. Enquanto um comboio do modal hidroviário transporta em uma única viagem seis mil toneladas de carga, seriam necessários, para a mesma quantidade, quase três comboios no modal férreo ou 172 carretas nas rodovias (ANTAQ, 2008).

No que tange à economia de combustível, as hidrovias também se constituem de melhor alternativa para transportar cargas. Segundo a ANTAQ (2008) o gasto com combustíveis em um sistema hidroviário chega a ser vinte vezes menor do que o necessário para transportar igual quantidade de carga no transporte rodoviário. A emissão de CO₂, com o maior uso da hidrovia, também é consideravelmente menor, ou seja, o transporte fluvial emite 90% menos de CO₂ na atmosfera do que o rodoviário.

O transporte hidroviário segundo a ANTAQ (2008) é ainda o mais seguro. A ocorrência de acidentes é praticamente nula e a segurança no traslado é total. A economicidade das hidrovias também pode ser explicada pela necessidade de menores intervenções para a sua instalação e manutenção e maior durabilidade da infraestrutura e dos equipamentos. Enquanto o custo médio para implantar uma hidrovia é de um dólar americano por quilômetro, as rodovias e ferrovias custam em média treze dólares por quilômetro, respectivamente.

3. Manutenção do sistema hidroviário

A expressão “hidrovias interiores” é utilizada para designar as vias navegáveis interiores balizadas e sinalizadas para uma determinada embarcação. Este termo toma maior importância devido à falta de expressões para denominar rios que não eram navegáveis e que adquiriram essa condição em função de obras de engenharia e, à necessidade de denominar aqueles que tiveram suas condições de navegação ampliadas (DNIT, 2005).

Segundo Brasil (2003), as hidrovias brasileiras são geridas pelo DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, através de sua DAQ - Diretoria de Infraestrutura Aquaviária, na GEHPAQ - Gerência de Hidrovias e Portos Interiores que conta com unidades hidroviárias, a saber: i) na (AHIMOR) Amazônia Oriental, ii) na (AIHMOC) Amazônia Ocidental, iii) no (AHITAR) Tocantins/Araguaia, iv) no (AIHNOR) Nordeste, v) no (AHISFRA) São Francisco, no (AHIPAR) Paraná, vi) no (AHRANA) Paraguai e por fim, vii) no (AHSUL) Sul.

As hidrovias apresentam características verdadeiramente polivalentes. Além de ser um instrumento de transporte econômico, representa, por suas características específicas, um ganho suplementar na adoção de uma política de aproveitamento múltiplo dos cursos d'água e um fator determinante para o desenvolvimento de atividades industriais, agrícolas, turísticas e de urbanização e saneamento.

Para manter as vias em condições de navegação são realizadas atividades de manutenção de hidrovias, que visam garantir as características físicas e operacionais das vias navegáveis interiores. As principais atividades de manutenção seguem na Tabela 1 (Brasil, 2003).

Tabela 1 - Atividades de manutenção das hidrovias

Atividades de Manutenção de Hidrovias	Definições
Batimetria	Medição ordenada e sistematizada das profundidades de determinada área, visando à definição do perfil do fundo, ao detalhamento do leito do canal navegável e à identificação e localização de perigos à navegação, tais como pedrais ou bancos de areia;
Medição do Nível das Águas	As medições são feitas em estações hidrométricas, que têm por elemento principal as linhas de régua limnimétricas ou medidores eletrônicos da altura da água. As informações coletadas e registradas nas estações hidrométricas contribuem decisivamente para a segurança da navegação;
Confecção e Atualização de Cartas	Confecção e atualização de cartas: serviço especializado de cartografia e hidrografia que permite a geração da carta náutica e de outras cartas auxiliares de navegação;
Confecção e Atualização de Cartas Eletrônicas	Possibilita o posicionamento instantâneo da embarcação, eliminando ou reduzindo significativamente os erros de observação e plotagem dos navegadores;
Derrocamento	Retirada de pedras ou lajes que oferecem perigo à navegação, normalmente, por explosão;
Desobstrução do Canal	Retirada de objetos que impedem ou tornam perigoso o tráfego de embarcações no canal navegável da hidrovia;
Destocamento	Remoção de tocos ou cepos de árvores do leito do rio;
Sinalização de Margem	Colocação de sinais nas margens da hidrovia para indicar rumos, perigos, caminhos ao navegante;
Sinalização Flutuante	Conjunto de sinais flutuantes que compõem a sinalização da hidrovia, junto com a sinalização de margem. O conjunto de elementos de sinalização (de margem ou flutuante) é chamado balizamento;
Monitoramento Ambiental	As administrações hidroviárias devem realizar atividades de monitoramento ambiental para atender às exigências contidas nas licenças ambientais (condicionantes);
Manutenção de Equipamentos	Algumas administrações hidroviárias dispõem de equipamentos específicos para o desempenho de suas atividades, tais como: dragas, embarcações destocadoras, rebocadores, embarcações para pesquisa e embarcações de transporte de equipes de fiscalização
Manutenção de Eclusas	Algumas administrações hidroviárias têm como uma de suas atribuições operar e manter em funcionamento as eclusas nos rios sob sua administração.

A ação do Programa de Manutenção das Hidrovias tem como principais produtos: dragagem, sinalização, balizamento, desassoreamento, desobstrução dos canais e mitigação de impactos ambientais.

O produto esperado destas ações constitui-se em hidrovias com condições de navegabilidade, ou seja, diminuição da quantidade de acidentes; realização tempestiva das atividades de manutenção; diminuição dos custos de transporte; melhor utilização dos recursos hídricos; redução de conflitos entre questões ambientais e interesses econômicos e maior fiscalização dos impactos ambientais.

Segundo TCU (2006), as atividades de manutenção de hidrovias são insuficientes, principalmente em virtude da carência de recursos humanos, financeiros e da sistemática de repasse de recursos para as administrações hidroviárias. Estes fatores também levam à deficiência dos instrumentos de controle e à insuficiência de mecanismos de avaliação e monitoramento do Programa.

4. Metodologia

O estudo é baseado em um método exploratório, que visa prover o pesquisador de um maior conhecimento sobre o tema ou problema da pesquisa em perspectiva com vista a torná-lo mais explícito ou construir conjecturas (Santos, 2003).

É importante destacar que os estudos exploratórios podem ser concebidos a partir de uma ótica objetivista, onde entram métodos tais como os estudos de caso e grupos focais. A avaliação do desempenho das hidrovias foi realizada em um grupo composto por oito administrações hidroviárias, com o auxílio do método de Análise Envoltória de Dados, ou simplesmente DEA (*Data Envelopment Analysis*).

Adotou-se o modelo DEA clássico CCR (Charnes *et al*, 1978) com RCE - Retorno Constante de Escala que significa que o crescimento dos insumos resultará em aumentos proporcionais nos produtos, assim como na redução dos insumos significará a redução proporcional dos insumos.

Os objetos a serem avaliados são as hidrovias que representam as DMU's (*Decision Making Units* - Unidade Tomadora de Decisão) no modelo. Para a avaliação da eficiência das hidrovias foi utilizado, como informações disponíveis, o resultado da auditoria do TUC de 2006, sobre o Programa Manutenção de Hidrovias, identificado no PPA 2004/7. Escolheu-se a orientação produto, uma vez que se quer avaliar se os resultados obtidos refletem o investimento que está sendo realizado em cada hidrovia.

No modelo DEA foi utilizado um insumo e dois produtos. O insumo refere-se à transferência de recursos (execução financeira) ao setor hidroviário. O primeiro produto é a movimentação de carga por hidrovia no ano de 2000, que representa fisicamente a utilização do sistema hidroviário. O segundo produto é o índice de qualidade da navegação e é uma forma de verificar as condições de navegabilidade em que vive os transportadores de cada hidrovia.

O dado referente ao segundo produto, índice de qualidade da navegação, foi obtido para cada hidrovia, pois essas possuem características que demandam distintas necessidades de intervenção e manutenção. O índice é uma avaliação sob a ótica dos usuários das hidrovias sobre as condições das atividades: balizamento, sinalização, dragagem, assoreamento, eclusa e licença ambiental. Este índice foi construído utilizando PCA - Análise de Componentes Principais.

4.1 Análises de componentes principais

A PCA é um método estatístico multivariado que permite transformar um conjunto de variáveis iniciais correlacionadas entre si, num outro conjunto de variáveis não-correlacionadas, que resultam em combinações lineares ortogonais do conjunto inicial.

As componentes principais são apresentadas em ordem decrescente de importância, isto é, o primeiro explica o máximo possível, da variabilidade dos dados originais e o segundo o máximo possível da variabilidade ainda não explicada após o efeito do primeiro componente, e assim por diante. No último componente estará o que menor contribui para explicar os dados originais. O conjunto final das combinações envolvendo os coeficientes normalizados constitui uma solução única pelo fato dessas explicarem a variabilidade total.

Este método permite a redução da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras, pois, embora a informação estatística presente em n -variáveis originais seja a mesma das n -

componentes principais, é comum obter em apenas 2 ou 3 dos primeiros componentes principais, mais de 90% desta informação.

Na prática a PCA é utilizado para reduzir o espaço paramétrico. Quanto maior for a retenção da variação total em número menor de combinação linear, melhor será a aplicação prática desse procedimento aos dados experimentais.

A PCA é utilizada para obter uma visão geral dos dados, para achar agrupamentos, identificar *outliers* e gerar variáveis que resumam as principais fontes de variação. É um método para compor uma matriz de dados X , como uma soma de matrizes. Essa nova matriz é produto de vetores chamados *scores*(tr) e *loadings* (pr).

Segundo Mingoti (2005), a matriz $\sum_{p \times p}$ é desconhecida e precisa ser estimada através dos dados amostrais coletados. Em geral, a $\sum_{p \times p}$ é estimada pela matriz de covariância amostral $S_{p \times p}$.

Sejam $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ os autovetores da matriz $S_{p \times p}$, e sejam $\hat{e}_1, \hat{e}_2, \dots, \hat{e}_p$, os correspondentes autovetores normalizados, então, o j -ésimo componente principal amostral estimado é definido por (1):

$$\hat{Y} = \hat{e}_j' X = \hat{e}_{j1} x_1 + \hat{e}_{j2} x_2 + \dots + \hat{e}_{jp} x_p, \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (1)$$

Os *scores* \hat{e}_j , mostram como os objetos e experimentos relacionam-se uns com os outros. Os *loadings* X , revelam quais as variáveis são importantes para explicar os padrões vistos nos gráficos dos *scores*.

Os *scores* \hat{e}_{jn} , formarão a matriz \hat{e}_j e são as projeções das n -amostras na direção dos componentes principais. Os *loadings* x_n , formarão a matriz X e podem ser geometricamente interpretado com o cosseno do ângulo entre o componente principal e a variável original (x_1 e x_2). A matriz X , também conhecida como matriz dos pesos, corresponde ao peso que cada variável possui na combinação linear dos r componentes gerados.

Algumas propriedades dos componentes principais amostrais, segundo Mingoti (2005), são:

- a variância estimada de \hat{Y}_j é igual a λ_j , $j = 1, 2, \dots, p$

- a covariância entre os componentes \hat{Y}_j e \hat{Y}_k é igual a zero, para todo $k \neq j$, que significa dizer que estes componentes são não correlacionados.
- a variância total explicada pelo j -ésimo componente amostral é dada por (2)

$$\frac{\text{Var}[\hat{Y}_j]}{\text{Variância Total Estimada de } X} = \frac{\lambda_j}{\text{traço}(S_{p \times p})} = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^p \lambda_j} \quad (2)$$

- a correlação estimada entre o j -ésimo componente principal amostral e a variável aleatória X_i , $i = 1, 2, \dots, p$ é dada por (3)

$$r_{\hat{Y}_j, X_i} = \frac{\hat{e}_{ji} \sqrt{\lambda_j}}{\sqrt{s_{ii}}} \quad (3)$$

onde, s_{ii} é a variância amostral aleatória de X_i .

- Pelo teorema de decomposição espectral, a matriz de covariância $S_{p \times p}$ pode ser expressa como (4)

$$S_{p \times p} = \sum_{j=1}^p \lambda_j \hat{e}_j \hat{e}_j' \quad (4)$$

Para se fazer uso dos k componentes principais amostrais, considerados mais relevantes na análise dos dados, é necessário calcular os seus valores numéricos para cada elemento amostral, valores chamados de escores dos componentes.

4.2 Análise envoltória de dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA - *Data Envelopment Analysis*) corresponde um método para avaliar a eficiência na transformação de recursos (*insumos*) em resultados (*produtos*) por unidades produtivas denominadas Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs - *Decision Making Units*).

Segundo Gomes *et al* (2001), a metodologia DEA é um conceito de eficiência relativa, em que cada hidrovia é classificada como eficiente ou ineficiente por comparação com as demais. A eficiência de cada unidade é obtida através da razão entre as somas ponderadas de produtos

e insumos, respectivamente, denominadas produtos e insumos virtuais. Pesos, calculados via programação linear, realizam a ponderação, conforme a expressão matemática (5).

$$\max h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \quad (5)$$

sujeito a $\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \leq 1; j = 1, \dots, n$

$$u_r, v_i \geq 0; r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m.$$

As hidrovias eficientes são tomadas como *benchmarks* (referência no que diz respeito a práticas gerenciais e operacionais) para as ineficientes, e os modelos fornecem alvos (metas a serem atingidas pelas hidrovias ineficientes) para que estas possam alcançar a fronteira de eficiência.

A DEA é uma técnica que busca definir pesos com o objetivo de se obter a melhor eficiência possível para os níveis de recurso e produto que cada DMU apresenta e identificar os *benchmarks* (Correa e Soares de Mello, 2009), ou seja, as hidrovias que possuem as melhores práticas de manutenção das vias navegáveis poderão ser referencia para as hidrovias não eficientes.

O modelo DEA CCR (Charnes *et al*, 1978) considera que todas as unidades em avaliação trabalham em uma escala ótima e permite adotar duas orientações para medir eficiência: a orientação insumo que visa reduzir o consumo de recursos mantendo os produtos constantes, e a orientação produto que busca um aumento nos produtos sem alteração dos recursos.

No presente trabalho é utilizado o modelo CCR que trabalha com retorno constante de escala. Em sua formulação matemática considera-se que cada DMU_k ($k=1,2,\dots,s$) é uma unidade de produção que utiliza n insumos x_{ij} , $1,2,\dots,n$, para produzir m produtos $y_{ij} = j$, $1,2,\dots,m$. Esse modelo maximiza o quociente entre a combinação linear dos produtos e a combinação linear dos insumos, com restrições de que para qualquer hidrovia esse quociente não seja maior que 1. A formulação matemática para o modelo DEA CCR orientação produto, já linearizado, é apresentada em (6).

$$\max h_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{j_0} \quad (6)$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^s v_j y_{j_0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s u_j x_{jk} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \leq 0, k = 1, \dots, s$$

$$u_j, v_i \geq 0, v_i \geq 0, \forall i,$$

No modelo (6), feito para cada hidrovia, o h_0 representa a eficiência da DMU_k em análise, enquanto cada x_{i0} e y_{j0} são, respectivamente, os insumos e os produtos da DMU_k , sendo o peso u_j do produto j , e v_i o peso do insumo i calculado pelo modelo.

5. Modelo DEA de avaliação da eficiência do programa de manutenção de hidrovias

As variáveis escolhidas para compor o modelo DEA de avaliação da eficiência do Programa de Manutenção de Hidrovias foram retiradas do Relatório de avaliação do Programa de Manutenção elaborado pelo TCU - Tribunal de Contas da União (2006). Assim, o modelo DEA proposto conta com um insumo e dois produtos.

5.1 Insumo: aplicação de recurso nas hidrovias – execução financeira

A Manutenção de Hidrovias existe desde o PPA - Plano Plurianual 2000/2003. No PPA de 1995/1999, a manutenção de hidrovias fazia parte de um projeto geral para o desenvolvimento do setor de transportes do País. As hidrovias priorizadas neste período eram São Francisco, Tocantins/Araguaia, Paraná/Paraguai e Madeira (incluída na Amazônia Ocidental).

Durante a vigência do PPA 2000/2003, o programa recebeu recursos orçamentários no valor de R\$ 116.234.509,00, dos quais 76% foram pagos. A execução orçamentária foi de R\$ 95.761.995,00, equivalente a 82%. Em 2002 e 2003, as execuções financeiras e orçamentárias foram menores do que os anos anteriores, porque os recursos não foram liberados tempestivamente na época necessária (Brasil, 2003).

No PPA 2004/2007 o gasto previsto foi de R\$ 147.413.005,00. No exercício de 2004, a execução orçamentária foi de 95,47% e a dotação orçamentária inicial para 2005 foi de R\$ 28.716.000,00. De forma geral isto representa um aumento de 92,24% em relação ao PPA 2000/2003. A execução orçamentária do exercício de 2005, por hidrovia, foi adotada nesta pesquisa como insumo.

Segundo o TCU (2006) o programa de manutenção previsto no PPA 2004/2007 ficou sobre a ação da Administração das Hidrovias. A distribuição da execução financeira do exercício de 2005 foi: AHRANA 19%, AHIMOC 15%, AIHMOR 13.4%, AHSUL 12.8%, AIHPAR 12%, AHITAR 11%, AHSFRA 10% e para a AHINOR 8%.

5.2 Produto: movimentação de carga

A movimentação de carga por hidrovia foi utilizada como produto para dimensionar a utilização do sistema hidroviário. O volume de carga total transportada por hidrovia no ano de 2000, segundo o TCU (2006), foi equivalente a 22.059,410 toneladas, sendo 62.1% transportada na AIHMOR, 19.2% na AIHMOC, 8.6% na AIHPAR, 6.9% na AHRANA, 2.4%, na AHSUL, 0,2% na AHSFRA, 0,2% na AHINOR e 0,01% na AIHTAR. Percebe-se a predominância da Região Norte que concentra 50% das hidrovias brasileiras, com 81.4% da carga total transportada.

O transporte de carga por hidrovias brasileiras em 2001 movimentou 2,4% da produção total de transportes do país. Uma das explicações para a pequena participação das hidrovias na matriz de transportes brasileira é a concentração do transporte hidroviário na Região Norte, que deteve 90% da movimentação de cargas é responsável por apenas 4,6% do PIB nacional (Lacerda, 2001).

Segundo a ANTAQ (2008) as principais cargas transportadas pelas hidrovias são: derivados de petróleo, importação e exportação de componentes e mercadorias (Zona Franca de

Manaus), minério de ferro, soja, milho, algodão, fruticultura, cana-de-açúcar, avicultura, gesso agrícola, calcário agrícola, farelo e óleo vegetal (exportação), cavacos de madeira, areia “*in natura*”, carvão energético e etc.

5.3 Produto: qualidade da navegabilidade das hidrovias

Através de entrevistas com os usuários das hidrovias, o TCU (2006) levantou, qualitativamente, as principais deficiências com relação às atividades de manutenção. As atividades avaliadas foram: balizamento, sinalização, dragagem, assoreamento, eclusa e licença ambiental.

Na pesquisa realizada pelo TCU (2006), todas as atividades foram julgadas de acordo com: i) a ocorrência de deficiência, ii) a ocorrência sem deficiência e iii) os dados insuficientes. Essa informação do TCU foi utilizada nessa pesquisa de modo a construir o indicador de qualidade de navegabilidade das hidrovias. Para avaliação da eficiência cada julgamento recebeu uma nota em escala ordinal de 1 a 3, onde 1 é máxima deficiência e 3 é a menor deficiência, visto que todas as hidrovias apresentaram deficiências nas condições de navegabilidade.

Nas hidrovias analisadas, o julgamento, a partir do ponto de vista dos transportadores, apresentou médias de 1.875 para balizamento, sinalização e dragagem, sendo as duas primeiras com desvio padrão de 0.8345, e a dragagem com desvio padrão de 0.6408. O assoreamento apresentou média de 2.875 e desvio padrão de 0.3535, e na licença ambiental, a média foi 2.625 com desvio padrão de 0.5175. Nessa pesquisa a variável eclusa não foi considerada no modelo devido à inconsistência dos dados.

A correlação entre as respostas apresentam valores significativos conforme apresentados na Tabela 2. O desempenho das atividades de manutenção das hidrovias (balizamento, sinalização e dragagem) está fortemente correlacionado com o desempenho do licenciamento ambiental, ou seja, quanto melhor às práticas ambientais na hidrovia mais eficientes serão as atividades de manutenção das vias.

Tabela 2 - Correlação entre as variáveis de manutenção das hidrovias

	BALIZAMENTO	SINALIZAÇÃO	DRAGAGEM	ASSOREAMENTO
SINALIZAÇÃO	1.000	-	-	-
<i>p-valor</i>	-	-	-	-
DRAGAGEM	0.768	0.768	-	-
<i>p-valor</i>	0.026	0.026	-	-
ASSOREAMENTO	-0.061	-0.061	-0.079	-
<i>p-valor</i>	0.887	0.887	0.853	-
LICENCIAMENTO				
AMBIENTAL	0.868	0.868	0.7	-0.293
<i>p-valor</i>	0.005	0.005	0.053	0.482

Os autovalores da matriz de covariância amostral - λ são: $\lambda_1 = 2.656$, $\lambda_2 = 0.6602$, $\lambda_3 = 0.1250$, $\lambda_4 = 0.0896$ e $\lambda_5 = 0$ com λ_{total} de 3.5315. Os correspondentes autovetores normalizados estão apresentados na Tabela 3. As porcentagens de variância - \hat{Y} explicadas pelas componentes são: $\hat{Y}_1 = 75.2\%$, $\hat{Y}_2 = 18.7\%$, $\hat{Y}_3 = 3\%$ e 2.5% para o \hat{Y}_4 . Juntas, as duas primeiras componentes principais representam 93.9% da variabilidade total do vetor original X.

Tabela 3- Autovetores normalizados

VARIAVEIS	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
BALIZAMENTO	0.485	0.372	0.28	0.219	-0.707
SINALIZAÇÃO	0.485	0.372	0.28	0.219	0.707
DRAGAGEM	0.398	0.073	-0.902	0.15	-
ASSOREAMENTO	0.362	-0.826	0.159	0.401	-
LICENCIAMENTO	0.491	-0.186	0.061	-0.849	-

A primeira componente representa o índice de qualidade da navegação, e as cinco variáveis analisadas são importantes nesse índice. Os maiores valores numéricos da componente representam as hidrovias com menores deficiências. De acordo com respectivos os autovetores dos coeficientes na combinação linear, a variável mais deficiente é o assoreamento e a menos deficiente é a variável licenciamento ambiental.

Os escores da primeira componente principal, referente ao índice de qualidade da navegação nas hidrovias, estão apresentados na Figura 3, com as respectivas posições em ordem decrescente. De acordo com a análise, as duas hidrovias que apresentaram os melhores índices de qualidade são: AHRANA e AHSUL, e AHITAR com o pior índice.

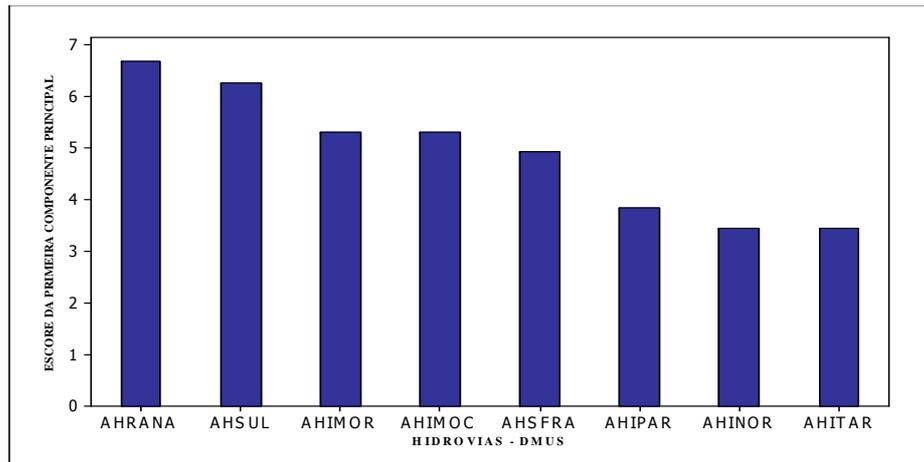


Figura 3 - Escore da primeira componente principal ($\hat{Y}= 75.2\%$). Índice de qualidade da navegação

5.4 Correlações entre insumos e produtos do modelo DEA

A análise de correlação nas variáveis de entrada (insumo) e de saída (produto) busca obter um esclarecimento sobre o que as mesmas podem explicar como variáveis consideradas importantes para justificar os resultados de eficiência na atividade de manutenção das hidrovias.

A correlação entre os produtos movimentação de carga e o índice de qualidade, foi de 0.212 com *p-valor* 0.614 sendo possível verificar coerência moderada, pois hidrovias que movimentam mais carga apresentaram, conseqüentemente, menos deficiência nas atividades de manutenção.

Em seguida, com 0.285 e *p-valor* 0.494, a correlação entre execução financeira (insumo) e carga movimentada (produto) mostra que o aumento no insumo explica o aumento da movimentação de carga, garantindo aos transportadores que, havendo hidrovias bem sinalizadas e com canais de navegação mantidos em níveis economicamente viáveis para a navegação comercial, haverá aumento do interesse pelo uso do modal.

A correlação de 0.756, com *p-valor* 0.03, entre a execução financeira (insumo) e o índice de qualidade da navegação (produto), explica que o investimento em manutenção das hidrovias faz com que aumente o indicador de qualidade da navegação. A hidrovia com os maiores investimentos apresenta melhor qualidade de navegabilidade.

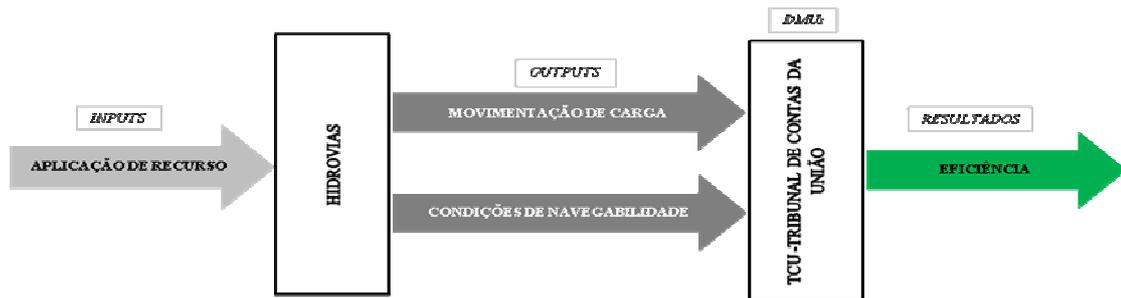


Figura 4: Fluxo das variáveis no modelo DEA proposto

Conforme esquema representado pela Figura 4, no modelo adotado para esta pesquisa a variável de entrada (execução financeira) está associada com produtos (índice de qualidade da navegação e carga movimenta) e o produto esperado com a aplicação dos insumos é a hidrovia em condições de navegabilidade.

6. Avaliação de eficiência das hidrovias

A DEA auxilia na ordenação segundo a eficiência das hidrovias. Permite focar naquelas que estão abaixo da eficiência (h) e ainda, naquela (s) que tem eficiência (h) superior, para se verificar o que leva essa hidrovia a atingir patamares mais elevados que as demais.

Os resultados de eficiência das oito hidrovias podem ser observados na Figura 5. Observou-se que 50% das hidrovias apresentam índice de eficiência h abaixo da média (1.265), sendo elas em ordem crescente de ineficiência: AHIMOC (1.389), AHRANA (1.43), AHIPAR (1.54) e AHITAR (1.694).

Entres as hidrovias com eficiência superior à média está a AHSUL (1.059), a AHSFRA (1.011), a AHIMOR (1) e a AHINOR (1). As hidrovias eficientes com $h = 1$ (ou 100%) são os *benchmarks* para as outras hidrovias não-eficientes do grupo. A hidrovia AHINOR é a que mais surgiu como referência para as hidrovias ineficientes.

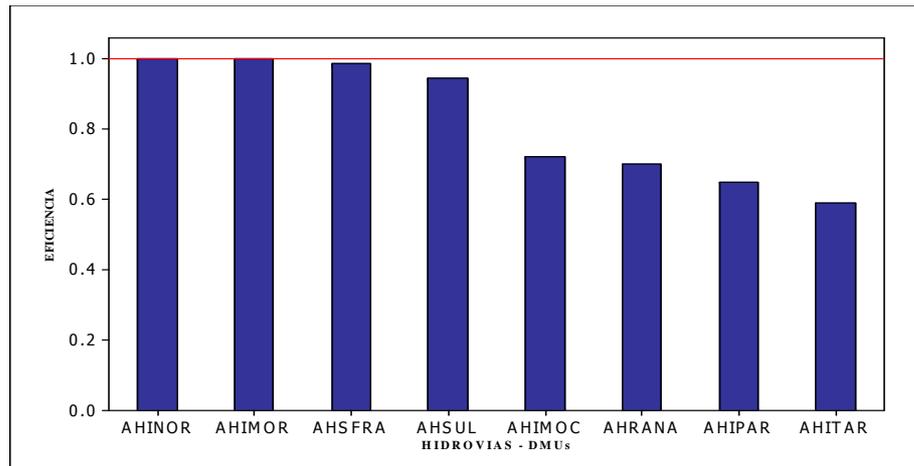


Figura 5: Escore de eficiência das hidrovias

A ineficiência das hidrovias, de forma geral, apresentou limite superior de 1.694, média de 1.353, e inferior a 1.011, com variância de 0.072 e desvio padrão de 0.269, o que significa que a ineficiência média das hidrovias é de 26% e o aumento previsto no nível dos produtos é 35% para que as hidrovias cheguem à fronteira de eficiência.

Os valores de λ_{x1} e λ_{x2} representam as projeções previstas para os valores dos produtos 1 e 2, respectivamente, com o insumo de cada hidrovia constante. A projeção média quanto à movimentação de carga das hidrovias é 540% (limite superior de 3088.79% e inferior de 5.86%), com \hat{Y} de 155.9 e σ de 12.4. A projeção média do produto qualidade da navegação é 35%.

Os resultados foram classificados dentro de quatro faixas de qualidade, variando de eficiente à eficiência péssima, conforme Figura 6. Para identificar esta classificação utilizou-se o valor da média e analisou-se a consistência dos dados através do desvio padrão, após esta avaliação definiu-se duas classes acima da média e duas abaixo da média. Tais classes serão relacionadas a uma escala de 1 a 0,64 da seguinte maneira: 1 são hidrovias eficientes, de 0,99 ate 0,82 são hidrovias com eficiência moderada, de 0,82 ate 0,64 são hidrovias com eficiência ruim e abaixo de 0,64 são hidrovias com eficiência péssima.

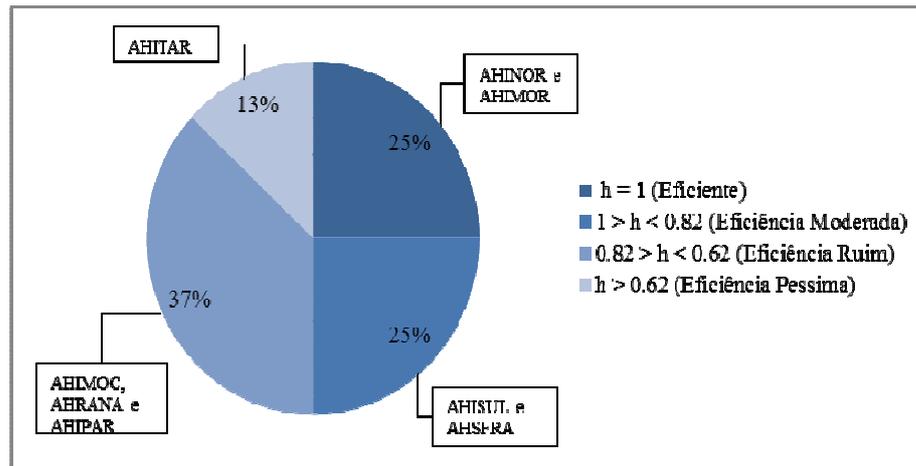


Figura 6: Intervalos de eficiências nas hidrovias

A eficiência média das hidrovias é de 82%, sendo 25% classificada como eficientes, 25% com eficiência moderada, 37% com eficiência ruim e 13% com eficiência péssima, conforme Figura 6. As hidrovias consideradas eficiência com intervalo de $1 > h < 0.82$ (eficiência moderada), obtiveram índices de eficiências com uma dispersão pequena, apresentando valores próximos de 100%, sendo assim, quase eficientes.

Conclusão

A pesquisa é viabilizada pelo desenvolvimento de um modelo intermediário que garante a confiabilidade do *benchmark* final, ou seja, as hidrovias eficientes podem ser tomadas como referências no que diz respeito às práticas gerenciais e operacionais.

O modelo DEA-CCR apresentou o maior número de administrações eficientes para as hidrovias brasileiras, adotando como *benchmark* as hidrovias AHINOR e AHIMOR, sendo estas administradas pela CODOMAR - Companhia Docas do Maranhão e pela CDP - Companhia Docas do Pará, respectivamente.

Cabe ressaltar que independente da carência de recursos financeiros e da sistemática de repasse de recursos para as administrações hidroviárias, a AHINOR e a AHIMOR apresentam uma qualidade na navegabilidade que condiz com esses investimentos recebidos, o que as eleva a eficiência máxima.

A aplicação permitiu verificar que 71% das hidroviárias são ineficientes e estas apresentam uma ineficiência média de 26% nos produtos que visam a condições de navegabilidade, o que permite concluir que a navegabilidade das hidrovias apresenta deficiências.

Observou-se que, a baixa eficiência no setor hidroviário pode ser atribuída às questões ambientais, que possibilita maior eficiência na atividade de manutenção quando estão corretamente executadas. As hidrovias com maiores índices de ineficiência apresentam os piores desempenhos no licenciamento ambiental.

Conclui-se assim que o modelo pode ser adotado como um instrumento de controle para a avaliação e monitoramento do Programa de Manutenção das Hidrovias.

Referências

- ANTAQ - Agência Nacional De Transporte Aquaviário (2008) *Movimentação de Carga*. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/>>. Acesso em: 08 de ago de 2010.
- ANTAQ - Agência Nacional De Transporte Aquaviário (2008) *Relatório das Hidrovias Brasileiras - Um novo tempo para as hidrovias*, Ministério dos Transportes, Brasília 2008.
- Brasil (2003) *Estudos para viabilizar a implantação de projeto específico para a fiscalização do setor hidroviário nacional*. Acórdão n. 1.850/2003-TCU-Plenário (TC n. 8.588/2003-8). Brasília. 2003.
- Charnes, A., Cooper, W. W. e Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, p. 429-444.
- Correia, T.C.V.D. e Soares de Mello, J.C.C.B. (2009) Avaliação da eficiência das companhias aéreas brasileiras com modelo DEA nebuloso. In: CNT - Confederação Nacional do Transporte, ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. (Org.). *Transporte em Transformação XIII - Trabalhos vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 2008*. Brasília: Gráfica Positiva 2009, v., p. 199-215.
- COPPEAD (2005) *Transporte de cargas no Brasil – ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país*. Disponível em: <http://www.portalexame.abril.com.br/static/aberto/complementos/790/Diagnostico_e_plano.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2010.
- DNIT/Ministério dos Transportes (2005) *Hidrovias do Comércio Exterior Brasileiro*. Secretaria de Fomento para Ações de Transportes - SFAT Departamento do Fundo Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Brasília, DF.
- Gomes, E. G., Soares de Mello, J. C. C. B. , Serapião, B. P., Lins, M. P. E. e Biondi Neto, L. (2001) Avaliação de Eficiência de Companhias Aéreas Brasileiras: Uma Abordagem para Análise Envoltória de Dados. In: Setti, J.R.A e O.F. Lima Junior (eds), *Panorama Nacional de Pesquisa em Transporte 2001 – Anais do XV ANPET*, Campinas, SP, Novembro, v.2.
- Mingoti, S. A. (2005) *Análise de Dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada*. Editora UFMG. Belo Horizonte.

- Santos, I. E. (2003) *Textos selecionados de métodos e técnicas de pesquisa científica*. Rio de Janeiro: Impetus.
- TCU - Tribunal de Contas da União (2006) *Relatório de avaliação de programa: Programa Manutenção de Hidrovias / Tribunal de Contas da União*. Brasília: Secretaria de Fiscalização e Avaliação de Programas de Governo.