

EFICIÊNCIA DOS ESTADOS BRASILEIROS NO SISTEMA PÚBLICO DE TRANSPLANTE RENAL: UMA ANÁLISE USANDO MÉTODO DEA E ÍNDICE DE MALMQUIST

Cássia Kely Favoretto Costa¹

Giácomo Balbinotto Net²

Luciano Menezes Bezerra Sampaio³

RESUMO

O objetivo do artigo foi avaliar a eficiência dos estados brasileiros no sistema de transplante renal e a produtividade deles ao longo do tempo. Para isso, fez-se uso do ferramental da Análise Envoltória de Dados-DEA e do Índice de Malmquist e suas decomposições (efeito Emparelhamento e Deslocamento de Fronteira). Utilizou-se uma amostra de 22 estados no período 2006-2011. O método DEA com Retornos Variáveis de Escala (BCC) orientado no sentido do produto foi aplicado nesse estudo. Cada estado foi considerado como Unidade de Tomada de Decisão (DMU). Os dados classificados como *inputs* (recursos) foram os seguintes: gastos (nominal) totais com transplantes renais, gastos (nominais) com serviços hospitalares e gastos (nominais) com serviços dos profissionais relacionados ao setor. Como *output* (produto) foi usado o número de rins transplantados. Os resultados indicaram que existe entre os estados brasileiros uma discrepância significativa em relação à captação e o número de transplantes de rins. Isso gerou uma ineficiência no sistema de transplante renal no país e pode estar ocorrendo em virtude do funcionamento não adequado da gestão; do não seguimento das regras nacionais (como por exemplo, vinculação das equipes a centros transplantadores; distribuição adequada de imunossuppressores; encaminhamento de órgãos não aproveitados para estados próximos; execução da tipagem HLA de toda a lista de espera de rim) que causam prejuízos aos pacientes; das comissões intra-hospitalares não ativas e das equipes hospitalares sobrecarregadas. Portanto, alguns estados que participam do processo de captação e doação de rins para transplante estão apresentando ineficiência em termos de ordem administrativa e operacional.

Palavras-chave: Eficiência do Sistema de Transplantes. Análise Envoltória de Dados (DEA). Índice de Malmquist.

¹ Doutora em Economia Aplicada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS. Professora do Programa de Pós Graduação em Promoção da Saúde-PPGPS e do curso de administração do Centro Universitário de Maringá-CESUMAR. E-mail: cfavoretto@hotmail.com.

² Doutor em Economia pela Universidade Estadual de São Paulo – USP. Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada – PPGE da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. E-mail: giacomo.balbinotto@ufrgs.br.

³ Doutor em Economia pela Universidade Federal de Pernambuco. Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2. E-mail: lucianombsampaio@gmail.com.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the efficiency of the system in the Brazilian states of renal transplantation and their productivity over time. For this, the Data Envelopment Analysis-DEA was used and the Malmquist index and its decomposition (Pairing effect and Boundary Displacement) to a sample of 22 states over five years (2006-2011). The DEA model with variable returns to scale (BCC) directed towards the product was applied in this study. Each state was considered a Decision Making Unit (DMU). Data classified as inputs (resources) were the following: total amount spent (nominal) with kidney transplants, amount spent (nominal) with hospital services and amount spent (nominal) with the professional services related to that sector. As output (product) was used the number of transplanted kidneys. The results indicated that there is a significant discrepancy among the Brazilian states in harvesting and transplanting kidneys. This fact has led to inefficiency in the country's kidney transplant system and it may be so due to inadequate management, to ignoring national directives (eg, vinculating teams to transplant centers; proper distribution of immunosuppressants; forwarding not used organs to nearby states, implementation of HLA exam to the entire waiting list for kidney transplant) causing harm to patients; to inactive in-hospital committees and to overloaded hospital staff. Therefore, some states in the process of kidney harvesting and transplantation are showing operational and managerial inefficiencies.

Keywords: Efficiency of organ transplantation. Data Envelopment Analysis (DEA). Malmquist Index.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo desse artigo é analisar a eficiência dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal nos anos de 2006 e 2011, bem como o desempenho da eficiência desses estados ao longo do tempo. Para isso é usada a metodologia não paramétrica denominada de Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) e do Índice de Malmquist. Busca-se, assim, analisar o comportamento dos estados no sistema público de transplante renal, antes e após as inovações institucionais adotadas pelo SUS, por meio da Portaria 2.600, de 21 de outubro de 2009 (Brasil, 2009a). Destaca-se que por meio dessa Portaria, o Ministério da Saúde, instituiu o novo Regulamento Técnico do Sistema Nacional de Transplantes no país.

A metodologia DEA é um método não paramétrico (isto é, não segue nenhuma distribuição de probabilidade) e busca construir as fronteiras de eficiência determinística de diversos setores econômicos, sociais, educacionais e administrativos. Na área da saúde, ela tem sido usada para avaliar a eficiência de hospitais (públicos e privados); de centros de diálise; dos cuidados intensivos em saúde; do tratamento de câncer; dos serviços básicos de saúde e das organizações de busca de órgãos para transplante. Essas fronteiras são geradas por meio da programação linear (PL), não necessitando da especificação de relações funcionais entre recursos (*input*) e os resultados obtidos (*output*). A DEA determina a eficiência com a qual uma unidade produtiva ou prestadora de serviço converte os recursos em produtos, na comparação com outras unidades analisadas. Além disso, essa metodologia aperfeiçoa cada observação individual, objetivando mensurar uma curva de eficiência, determinada pelas unidades de tomada de decisão - *Decision Making Units-DMUs*⁴ (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007; FERREIRA; GOMES, 2009; THANASSOULIS, 2003).

O modelo original da Análise Envoltória de Dados foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rodes (1978), os quais mostraram que a função de produção de uma unidade operacional deveria possuir retorno constante de escala (CCR ou *CRS-Constant Returns to Scale*) e as DMUs deveriam operacionalizar em uma escala ótima de produção. Em virtude dessa limitação, principalmente para as atividades econômicas, Banker, Charnes e Cooper (1984) usaram o método DEA supondo rendimentos variáveis de escala (BCC ou *VRS-Variable Returns to Scale*).

A eficiência obtida pelos modelos DEA é dividida em dois tipos: técnica, que reflete a habilidade de uma empresa em obter o máximo produto, dado o conjunto de insumos; e alocativa, que mostra a capacidade de uma firma em usar insumos em proporções ótimas, dados seus preços relativos (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007; SANTOS *et al.*, 2008).

Nas abordagens CCR e BCC, os dados são modelados para períodos de tempo individuais. Existe uma extensão de tais modelos para medir a eficiência ao longo do tempo denominado de Índice de Malmquist. O índice foi proposto Malmquist (1953) para verificar o comportamento do consumidor. Posteriormente, Färe *et al.* (1994) desenvolveram a proposta do Índice de Malmquist-DEA para medir o desempenho da produtividade das DMUs. O método aplica o modelo de programação linear para construir a fronteira de produção em dois períodos de tempo diferentes e considera a distância de cada DMU, antes e depois, em relação às duas fronteiras distintas.

Segundo Tone (2004) e Ferreira e Gomes (2009), o Índice de Malmquist divide a variação da produtividade em dois termos: a) mudança técnica ou efeito emparelhamento (*catch-up*), ou seja, dada uma tecnologia disponível, a DMU utiliza da melhor forma possível os seus insumos na geração do produto, aproximando-se da fronteira de eficiência

⁴ As DMUs são classificadas como Pareto Eficientes, isto é, não conseguem melhorar seu desempenho sem piorar a eficiência das demais (PEÑA, 2008).

(denominada variação pura de eficiência); e b) mudança na eficiência tecnológica (*frontier shift*), isto é, uma alteração da tecnologia disponível que contribui para a mudança na produtividade da DMU (ou ainda, ocorrência de uma mudança na escala de eficiência). Lobo *et al.* (2009) destacam que esses índices são relevantes, pois permitem avaliar se uma eventual expansão da eficiência relativa de um período para o outro deve ser atribuído ao aumento da produtividade do estado brasileiro analisado ou à redução da fronteira de produção.

Assim, a DEA e o Índice de Malmquist são instrumentos robustos de apoio ao monitoramento de políticas públicas e permitem abordar, simultaneamente, em distintas dimensões as unidades de saúde, especialmente no setor de transplantes (LINS *et al.*, 2007; CESCONETTO; LAPA; CALVO, 2008).

No período recente, a eficiência na captação de órgãos para transplantes tem sido uma das preocupações centrais dos prestadores de serviços de saúde e dos formuladores de políticas públicas (Ozcan; Begun; Mckinney, 1999; Mattia *et al.*, 2010). Isso vem ocorrendo em virtude das discrepâncias no processo de captação e transplante de rim entre os estados brasileiros, gerando assim um desequilíbrio entre a disponibilidade e a necessidade por esse órgão (Marinho; Cardoso, 2007; Marinho, 2009; Castro, 20005; Medina-Pestana *et al.*, 2011). Marinho, Cardoso e Almeida (2011a, p. 1560) afirmam que, “no Brasil, relata-se um cenário de acesso aos transplantes bastante desigual entre a população residente nos diversos estados da Federação, com vantagem para os estados mais desenvolvidos do Sul e do Sudeste”. Isto leva ao surgimento de filas e expansão no tempo de espera por um órgão para transplante no Brasil.

Claussel, Gonçalves e Veronese (2001) e Mattia *et al.* (2010) destacam que o crescimento nas filas por transplantes renais e a redução no número de notificações de potenciais doadores estão ocorrendo em virtude de uma série de fatores, tais como: i) falta de identificação e exames para confirmação de morte encefálica; ii) cuidados intensivos com os potenciais doadores; iii) dificuldades no processo de captação e distribuição de órgãos e iv) capacitação inadequada dos profissionais no processo de abordagem das famílias para doação.

Castro (2010) e Marinho, Cardoso e Almeida (2011a) ainda complementam a análise ressaltando que isso ocorre devido às seguintes condições: a) funcionamento não adequado das centrais estaduais de transplantes (isto é, desigualdades na capacidade operacional de tais centrais); b) regras nacionais (como, por exemplo, vinculação das equipes a centros transplantadores; distribuição adequada de imunossupressores; encaminhamento de órgãos não aproveitados para estados próximos; execução da tipagem HLA de toda a lista de espera de rim) não seguidas, causando prejuízos aos pacientes; c) comissões intra-hospitalares não ativas; d) dificuldades em se realizar os exames pré-transplante pelo SUS, gerando problemas de acesso a esses tratamentos para a população de baixa renda e residentes que estão distantes dos centros transplantadores; e e) médicos intensivistas sobrecarregados. Nesse contexto, o sistema de transplante renal em diversos estados está apresentando problemas gerenciais e administrativos (BRASIL, 2006).

Uma pesquisa desenvolvida pelo Tribunal de Contas da União (TCU), em 2006, indicou que existe ineficiência tanto nas atividades de planejamento, gerenciamento, execução, controle e monitoramento das ações do Sistema Nacional de Transplantes (SNT) quanto na articulação entre os componentes desse sistema (BRASIL, 2006). O relatório destaca ainda a ineficácia da estratégia de capacitação, em especial, no que concerne ao preparo para a realização das notificações de mortes encefálicas; a existência de falhas na atuação das Comissões Intra-Hospitalares de Transplantes e os problemas na disseminação de informações técnicas para os profissionais de saúde envolvidos. Tais fatores são problemas e questões que não podem ser desprezadas e precisam ser solucionadas pelo SNT.

Nesse contexto, é relevante o desenvolvimento de pesquisas que avaliem a eficiência dos estados brasileiros na captação e notificação de órgãos, para que ocorra o efetivo gerenciamento do programa, da lista única de espera e, por sua vez, a possível expansão da

oferta de rins para transplantes. Além disso, ressalta-se a importância de desenvolver um estudo relacionado ao aspecto macro do sistema de transplantes, ou seja, a análise da eficiência dos transplantes versus outras tecnologias usadas nos cuidados à saúde tanto a nível internacional quanto regional (conforme Figura 1, Ensaio1).

A questão básica a ser respondida nesse ensaio é a seguinte: a) quais são os efeitos das mudanças institucionais sobre a eficiência dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal? A fim de analisar o problema utiliza-se o método DEA e Índice de Malmquist. A hipótese principal que se busca analisar aqui é a de que a recente mudança institucional (Portaria nº 2.600, de 21 de outubro de 2009) tornou as unidades de Federação mais eficientes no sentido administrativo e operacional, ou seja, os estados estão alocando da melhor forma possível os fatores disponíveis, objetivando a maximização do número de transplantes renais no país.

Portanto, os aspectos destacados nessa pesquisa contribuem no sentido de que existem poucos trabalhos que utilizam a metodologia DEA para analisar a eficiência dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal. Ressalta-se também, a proposta de analisar a eficiência ao longo do tempo a partir das inovações institucionais adotadas pelos SUS. As metodologias aplicadas são adequadas para o entendimento dos problemas recentes no sistema de transplante renal e irão gerar implicações teóricas e práticas relacionadas ao processo de transplante desse órgão no país, visando aumentar sua eficiência.

Na literatura sobre o tema, alguns trabalhos vêm avaliando a eficiência no setor de transplantes, com destaque para Ozcan, Begun e McKinney (1999), Marinho e Cardoso (2007) e Marinho (2009). Ozcan, Begun e McKinney (1999) avaliaram a eficiência técnica das Organizações de Procura de Órgãos (*Organ Procurment Organizations-OPOs*) nos Estados Unidos. Já Marinho e Cardoso (2007) e Marinho (2009) mensuraram a eficiência técnica e de escala do Sistema Nacional de Transplantes, no período de 1995 a 2003. Cabe ressaltar que esses autores fazem uma avaliação do comportamento dos transplantes renais, mas não abordam a eficiência de cada estado brasileiro, a qual corresponde a um fator essencial na captação e notificação desse órgão para transplante. Esses autores ainda consideram como DMU cada ano de análise. Destacam-se também os estudos de Marinho, Cardoso e Almeida (2011a) e Medina-Pestana *et al.* (2011) que avaliaram o contexto do transplante renal no Brasil e as disparidades geográficas entre os estados no número de órgãos captados e transplantados; no entanto, não aplicaram a metodologia DEA como é proposto nesse estudo.

O artigo está organizado em quatro seções, além dessa introdução. Na seção 2, apresenta-se a revisão da literatura referente à aplicação da DEA no setor de transplantes de órgãos. Destacam-se também pesquisas na área da saúde que utilizaram o Índice de Malmquist. Na seção 3 tem-se o modelo empírico DEA e o Índice de Malmquist. Na seção 4, demonstram-se os resultados e a discussão das abordagens aplicadas. Por fim, têm-se as considerações finais do artigo, com base no que foi abordado nas seções anteriores.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nessa seção é feita a revisão da literatura sobre dois aspectos: i) aplicação da metodologia DEA para o setor de transplantes e ii) utilização do Índice de Malmquist na área da saúde. A finalidade é mostrar que essas metodologias aplicadas ao setor de saúde, principalmente para transplante de órgãos, podem ser classificadas como adequadas e robustas em termos de eficiência de um sistema.

Na literatura, destacam-se vários estudos que aplicaram a metodologia DEA para avaliar a eficiência dos cuidados intensivos em saúde (Hollingsworth; Dawson; Maniadakis, 1999; Giuffrida; Gravelle, 1999; Hollingsworth, 2008; Milliken *et al.*, 2008; Nuti *et al.*, 2011); dos serviços básicos de saúde (Ning *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2008; Faria; Jannuzzi; Silva, 2008; Fonseca; Ferreira, 2009; Almeida; Gasparini, 2010; Chaves, 2010; Lobo; Lins, 2011; Varela; Martins, Fávero, 2010; Hadad; Hadad; Simon-Tuval, 2011) e dos centros de diálises (Kontodimopoulos *et al.*, 2010; Özgen; Sahin, 2010).

Diversos autores também têm usado a DEA na área hospitalar, os quais se destacam: Marinho e Façanha (2001); Marinho (2001); Marinho (2003); Calvo (2005); Gonçalves *et al.* (2007); Lins *et al.* (2007); Cesconetto, Lapa e Calvo (2008) e Kristensen, Bogetoft e Pedersen (2010). No Apêndice B estão resumidos cada um desses trabalhos no setor hospitalar, destacando os objetivos, o modelo teórico, a metodologia, os resultados e as conclusões.

No setor de transplantes (enfoque dessa pesquisa) têm-se até esse momento, três estudos encontrados na literatura que utilizam DEA para avaliar a eficiência nessa área. O primeiro foi aplicado por Ozcan, Begun e McKinney (1999) nos Estados Unidos e o segundo, por Marinho e Cardoso (2007) e Marinho (2009)⁵ para o Brasil.

Ozcan, Begun e McKinney (1999) mensuraram a eficiência técnica das Organizações de Procura de Órgãos (*Organ Procurment Organizations-OPOs*) nos Estados Unidos, adotando como metodologia a DEA com retorno variável de escala (orientada ao produto). A unidade de análise considerada foi cada OPO, formando uma amostra (em 1995) correspondente a 64 unidades. Conforme os resultados, 6 das 22 maiores OPOs foram classificadas como ineficientes e 23 das 42 menores, foram vistas como ineficientes. Isso indicou que as OPOs menores são mais susceptíveis a beneficiar-se de assistência técnica. No entanto, os autores destacaram a necessidade de considerar outras variáveis como insumos e produtos, objetivando melhorar os resultados da análise e, assim, contribuir com um elevado número de indivíduos que esperam por um transplante.

Marinho e Cardoso (2007) e Marinho (2009) desenvolveram por meio da metodologia DEA, uma análise da eficiência técnica e de escala do Sistema Nacional de Transplantes, no período de 1995 a 2003. Os modelos utilizados foram os seguintes: a) BCC (retorno variáveis de escala) para análise de curto prazo; b) modelo de longo prazo (CCR – retorno constante de escala); e c) um modelo para avaliar a eficiência em escala, obtido a partir do quociente entre os escores obtidos no modelo CCR e BCC. A pesquisa envolveu como recursos (*inputs*) os gastos (reais) com cirurgias e os procedimentos associados e medicamentos no sistema; já como *output* utilizou a quantidade de transplantes de órgãos. Como DMU foi considerado cada ano de análise. De acordo com os resultados, no período analisado ocorreu uma tendência à redução da eficiência do SNT, com uma rápida recuperação entre 2001 e 2003. Além disso, observaram uma expansão da eficiência nos transplantes de fígado; contudo, para os rins, a eficiência não ficou bem definida nos resultados. Os autores concluíram que o SNT programou medidas eficazes de ajustes para o problema das filas de transplantes de órgãos no Brasil apenas no curto prazo.

⁵ Marinho (2009) discute os resultados e conclusões apresentados em Marinho e Cardoso (2007).

Na sequência desenvolveu-se uma revisão de estudos que aplicaram o Índice de Malmquist para avaliar a produtividade dos centros de diálises (Kontodimopoulos; Niakas, 2005); no tratamento de câncer (Langabeer II; Ozcan, 2009) e do setor hospitalar (Linna, 1998; Sommersguter-Reichmann, 2000; Zere, McInture e Addison, 2001; Osei *et al.*, 2005; Barros *et al.*, 2008; Kirigia *et al.*, 2008; Weng *et al.*, 2009; Tlotlego *et al.*, 2010; Lobo *et al.*, 2009; Pham, 2011; Sulku, 2011; Chu; Chiang; Chang, 2011). Destaca-se que não foram encontrados até o momento estudos aplicando o índice ao setor de transplante. Os trabalhos foram organizados de acordo com a classificação: centros de diálise, tratamento de câncer e área hospitalar.

Kontodimopoulos e Niakas (2006) analisaram o fator de produtividade total de centros de diálises na Grécia para um período de 12 anos (1993-2004). A Análise Envoltória de Dados (DEA) e o Índice de Malmquist foram usados para analisar a produtividade, sendo esta decomposta em mudanças de eficiência técnica e tecnológica. A amostra consistiu de 73 centros de diálise. Como *inputs* usaram as equipes de enfermagem e os equipamentos de diálises. O número de sessões de diálises foi classificado como *output*. O modelo DEA foi orientado ao insumo, permitindo retornos constantes de escala. O Índice de Malmquist foi computado a cada dois anos. A partir dos resultados, os autores observaram que os escores mais altos de eficiência das instalações particulares pode ser atribuída ao melhor funcionamento das práticas aplicadas relacionadas à diálise e, em particular, à utilização de profissionais de saúde mais eficazes. No processo de competição com unidades públicas, os centros particulares usaram as estratégias de fornecer máquinas de diálise mais modernas, com tecnologia superior e melhores instalações. Em relação ao Índice de Malmquist (MI), os resultados demonstraram diferentes padrões de produtividade no decorrer do período analisado. Embora a média do MI para os 12 anos foi próxima à unidade (MI=1,004), a eficiência técnica e tecnológica apresentaram diferenças em mais de 30% dos casos. Em todos os períodos, foi evidenciado algum tipo de perda de produtividade e os componentes de eficiência técnica e tecnológica nunca apresentaram simultaneamente um comportamento progressivo.

Langabeer II e Ozcan (2009) aplicaram a Análise Envoltória de Dados (DEA) e o Índice de Malmquist para definir e medir a eficiência técnica longitudinal dos principais centros de oncologia (especializados em internação) nos Estados Unidos. O período de análise foi entre 2002 e 2006. Os *inputs* usados foram os seguintes: tamanho do hospital, medido em número de leitos; número de funcionários e despesas operacionais ajustadas (menos os custos com folha de pagamento). Como *outputs* usaram o número total de saídas ambulatoriais e de saídas ajustadas para cada instituição por ano. Os autores concluíram que os hospitais analisados não melhoraram a eficiência técnica ao longo do tempo. Apesar dos avanços na tecnologia e da maior escala, a eficiência média dos centros que realizaram tratamento de câncer diminuiu de forma rápida. Da mesma forma, quando comparado com outros hospitais que ofertam outros serviços, o setor de oncologia não se beneficiou de retornos crescentes de escala.

Já Linna (1998) investigou o desenvolvimento da eficiência dos custos hospitalares e de produtividade na Finlândia, em 1988-1994. Para isto desenvolveu uma análise comparativa dos modelos de painéis paramétricos (Fronteira Estocástica) e não paramétricos (DEA). A DEA foi usada para calcular índices de eficiência e a produtividade foi analisada por meio do Índice de Malmquist. Os resultados indicaram que a escolha de diferentes modelos não afetam os resultados. As abordagens, Fronteira estocástica e a DEA, foram capazes de revelar que o progresso da produtividade entre 1988 e 1994 ocorreu em virtude da taxa de mudança técnica e da variação da eficiência dos custos. A decomposição do Índice de Malmquist indicou um aumento distinto da eficiência dos custos em 1992 e 1993, mas também em 1990 e 1991 (período em que a depressão econômica atingiu o país). Os índices também demonstraram que houve um aumento médio da produtividade anual de 3 a 4%, sendo que a maior parte

desta expansão pode ser atribuída à mudança tecnológica. Concluiu que, usando métodos não-paramétricos e paramétricos juntamente com os dados em painel, obteve-se uma clara compreensão do desenvolvimento da eficiência na produção de hospitais. Esse fato seria um incentivo adicional para o desenvolvimento de estudos, usando os modelos de fronteira, em vários níveis de oferta dos cuidados de saúde.

Sommersguter-Reichmann (2000) analisou o impacto da reforma financeira no setor de saúde, ocorrida na Áustria em 1997, sobre a produtividade hospitalar. O artigo enfocou as mudanças na eficiência dos hospitais entre 1994 e 1998. Foi aplicado em 22 hospitais austríacos, sendo 17 de propriedade pública e 5 de propriedade privada, sem fins lucrativos. Utilizaram a metodologia DEA orientada ao insumo e o Índice de Malmquist para analisar as mudanças na eficiência técnica e de escala, a partir de variações na tecnologia. A DMU considerada foi cada hospital. Aplicaram como *input*: o tempo integral de trabalho, o número total de leitos hospitalares e as despesas totais para serviços externos de médicos. Usaram como *output*, o número de pacientes tratados na unidade de terapia ambulatorial e o total de pontos de créditos, conforme o setor específico hospitalar multiplicado por um fator de direção. Foi aplicada a técnica de *Bootstrap* para a construção de intervalos de confiança para os índices de produtividade.

O autor supracitado mostrou que houve uma mudança considerável e significativa na fronteira de eficiência tanto a partir de 1996 para 1997 e de 1997 a 1998. A melhoria na tecnologia foi resultado da introdução do novo sistema de financiamento e da necessidade dos hospitais de maximizarem suas quotas de recursos financeiros. No entanto, a eficiência técnica não foi atingida pelos hospitais.

Zere, Mcinture e Addison (2001) avaliaram a eficiência técnica e a produtividade de 86 hospitais na África do Sul. Para isto usaram DEA com retornos variáveis de escala. Posteriormente, verificaram o impacto das características hospitalares sobre a eficiência e a produtividade hospitalar usando o modelo Tobit e Modelo de Regressão Linear. As despesas correntes e número de leitos foram usados como insumos. Como produtos consideraram o número de consultas ambulatoriais e dias de internamento dos pacientes. Os autores destacaram que um grande número de hospitais, cerca de 87%, foram ineficientes, no qual o nível de eficiência técnica pura foi o mesmo para todos. Já o grau de eficiência de escala foi diferente conforme o grupo de hospital. A queda da produtividade hospitalar no período analisado foi explicada pelo modelo de regressão. Destacaram que os níveis de ocupações e o número de atendimento ambulatorial como proporção dos dias de internação foram significativamente positivos e relacionados com a eficiência.

Osei *et al.* (2005) analisaram a eficiência técnica relativa e de escala dos hospitais públicos e de centros de saúde em Gana, na África Ocidental. A DEA foi utilizada para estimar a eficácia dos 17 hospitais distritais e 17 centros de saúde, os quais foram escolhidos pela técnica de amostragem aleatória simples. Na pesquisa, os *inputs* foram classificados em: número de médicos, dentistas, a equipe técnica (incluindo os enfermeiros) e administrativa e o número de leitos. Os *outputs* corresponderam ao número de visitas (assistência) materno-infantil, o número de pacientes internados e a quantidade de altas hospitalares. Os resultados indicaram que os hospitais poderiam melhorar a sua eficiência, diminuindo o número atual de médicos oficiais, dentistas, profissionais da área técnica e administrativa, número de leitos, número de atendimento materno-infantis e a quantidade de pacientes internados e de altas hospitalares. Os centros de saúde poderiam se tornar mais eficientes, aumentando os cuidados com as crianças (visitas e imunização) e o número de curativos ambulatoriais.

Barros *et al.* (2008) analisaram a eficiência e o crescimento da produtividade dos hospitais portugueses usando o Indicador de Luenberger. Para efeito de comparação aplicaram também o Método Malmquist-DEA. Concluíram que, em média, a expansão da produtividade e a incidência de inovação tecnológica, entre 1997 e 2004, foram extremamente baixas.

Kirigia *et al.* (2008) avaliaram a eficiência técnica e as mudanças na produtividade de 28 hospitais municipais em Angola. O período analisado foi entre 2000 e 2002. Para isto usaram o modelo DEA orientado ao produto. As mudanças na produtividade foram mensuradas pelo Índice de Malmquist. Os *inputs* corresponderam ao número de médicos, enfermeiros, gastos em produtos farmacêuticos e não farmacêuticos e número de leitos hospitalares. O número de visitas médicas aos ambulatórios (incluindo cuidado pré-natal) e o número de internamentos foram classificados como *outputs*. Os resultados indicaram que, em média, a produtividade dos hospitais analisados aumentou 4,5% em relação ao período 2000-2002. O crescimento ocorreu em virtude das melhorias na eficiência em relação à inovação aplicada pelos hospitais.

Weng *et al.* (2009) utilizaram metodologias avançadas de DEA (análise da janela e baseada em *Benchmark*) para avaliar a eficiência de 116 hospitais de Iowa, entre 2001 e 2005. Além disso, aplicaram o método de Malmquist para verificar o desempenho da produtividade temporal das DMUs. Os resultados indicaram que os modelos usados podem ser utilizados por unidades menos eficientes como uma referência na melhoria de seu desempenho.

Tlotlego *et al.* (2010) quantificaram a eficiência técnica e de escala dos hospitais de Bostwana-África do Sul e avaliaram as mudanças na produtividade ao longo de 2006 a 2008. Aplicaram a metodologia DEA e o Índice de Malmquist em uma amostra de 21 hospitais de ensino. No estudo, utilizaram os seguintes insumos: número de pessoal clínico (médicos, enfermeiros, médicos obstetrícia, odontologia e outros prestadores de serviços de saúde) e número de leitos hospitalares. Como produtos consideraram: número de consultas ambulatoriais e número de dias de internação. O software usado foi o DEAP (*Data Envelopment Analysis Program*). Os resultados indicaram que 16 (76,2%), 16 (76,2%) e 13 (61,9%) dos 21 hospitais analisados em cada ano, 2006, 2007 e 2008, respectivamente, foram classificados como ineficientes. Em média, o Fator de Produtividade Total de Malmquist (MTFP) diminuiu em 1,5%. Embora a eficiência hospitalar expandisse 3,1%, a mudança técnica (inovação) sofreu redução de 4,5%. A variação da eficiência foi atribuída a uma melhoria na eficiência pura de 4,2% e uma queda na eficiência de escala de 1%. A mudança MTFP foi mais alta em 2008 (MTFP=1,008) e a menor foi obtida em 2007 (MTFP= 0,963). Em 2008, os hospitais indicados como ineficientes precisariam, em conjunto, aumentar o número de consultas em 18% e os dias de internação em 13%, a fim de atingir a eficiência plena. Por sua vez, ineficiências poderiam ter sido reduzidas por meio da transferência de 264 profissionais de saúde e 39 leitos para clínicas, postos e unidades móveis de saúde. Concluíram que 57,1% dos 21 hospitais experimentaram uma deterioração do MTFP durante os três anos analisados.

Lobo *et al.* (2009) avaliaram as mudanças de desempenho e produtividade para os Hospitais Universitários Federais no Brasil, nos anos de 2003 e 2006, a partir da reforma financeira de 2004 realizada pelo Ministério da Saúde. Aplicaram a DEA, considerando retornos variáveis de escala e orientação *a input*. Calcularam o Índice de Malmquist para identificar mudanças de desempenho ao longo dos anos em termos de eficiência técnica (razão entre os escores de eficiência em tempos distintos) e tecnológica. A amostra foi composta por 30 hospitais gerais de ensino. Conforme os resultados houve expansão do aporte financeiro em 51% e da eficiência técnica dos hospitais de ensino (de 11, passaram a ser 17 na fronteira empírica de eficiência), o mesmo não acontecendo com a fronteira tecnológica. A reforma financeira melhorou a eficiência técnica; mas sem evidência de ganhos tecnológicos. Isto significou que o aumento do orçamento era absolutamente necessário para melhorar a eficiência dos hospitais. Concluíram que a reforma permitiu apenas o desenvolvimento de melhorias gerenciais.

Pham (2011) analisou a eficiência relativa e a produtividade dos hospitais no Vietnã durante o processo de reformas estruturais e institucionais no setor da saúde. Como metodologia empírica foi aplicada a DEA com retorno variáveis de escala e orientação aos

insumos. Esta foi usada para calcular os escores de eficiência. O Índice de Malmquist foi utilizado para calcular a produtividade dos hospitais. Na pesquisa, foram usadas informações de 101 hospitais no período entre 1998 e 2006. Concluiu que houve evidências de melhoria da eficiência técnica global em 65% dos hospitais em 1998 e 76%, em 2006. A produtividade dos hospitais progrediu aproximadamente 1,4% ao ano, em virtude, principalmente, da melhoria da eficiência técnica. Além disso, os hospitais provinciais foram mais tecnicamente eficientes do que os localizados no centro e na área distrital.

Sulku (2011) investigou o impacto da reforma denominada Programa de Transformação da Saúde (HTP) ocorrido na Turquia em 2003 sobre a eficiência dos hospitais públicos dos mercados provinciais. Na pesquisa, utilizou 81 mercados provinciais. O período de análise correspondeu aos anos de 2001 a 2006. O autor empregou DEA e Índice de Malmquist para analisar comparativamente a produtividade antes e após o ano da reforma. Como insumo utilizou o número de leitos, o número de médicos especializados em atenção básica e o número de especialistas. Como produto utilizou o número de saídas de internamentos, consultas externas e intervenções cirúrgicas. Além disso, considerou em sua análise o comportamento dos seguintes indicadores: taxa de mortalidade, taxa de ocupação dos leitos e tempo médio de permanência nos hospitais.

Os resultados, de acordo com o autor citado, indicaram que, ao analisar o modelo orientado ao produto, o HTP foi bem sucedido em promover a produtividade total dos fatores devido aos avanços na tecnologia e na eficiência técnica, mas isso não ocorreu nas províncias desfavorecidas em termos socioeconômicos. Destacou que nesses locais menos desenvolvidos ocorre escassez de profissionais da saúde. Concluiu que as reformas do HTP foram bem-sucedidas na promoção da produtividade das equipes de saúde, propiciando o uso generalizado das tecnologias e proporcionando uma expansão no volume de serviços de saúde. Ao analisar os ganhos de eficiência, observou que os componentes de eficiência técnica e de escala melhoraram durante 2001-2006. No entanto, o aumento médio da eficiência técnica foi baixo quando comparada à eficiência de escala. A melhoria de escala sugere que a reestruturação dos hospitais públicos tem papel fundamental em tais ganhos observados. Os indicadores hospitalares não apresentaram melhoras de desempenho no curto prazo. Portanto, os benefícios esperados a partir da reforma no setor de saúde da Turquia foram parcialmente atingidos no curto prazo.

Chu, Chiang e Chang (2011) desenvolveram um estudo longitudinal para examinar o efeito da concorrência no mercado sobre a eficiência hospitalar em Taiwan, principalmente para os serviços de internação. A pesquisa foi desenvolvida com 102 hospitais universitários para o período de 1996 a 2001. A abordagem empírica adotada foi a Análise Envoltória de Dados (DEA) e o Índice de Malmquist. De acordo com os resultados, não houve nenhuma evidência de que uma maior concorrência no mercado poderia melhorar a eficiência dos hospitais de Taiwan no quesito serviços de internação. No entanto, os hospitais localizados em áreas de maior concorrência realizam altos investimentos em número de leitos.

A partir da revisão da literatura sobre DEA na área de saúde, constatou-se que a metodologia é robusta e adequada para analisar o comportamento de DMUs eficientes e ineficientes, a partir do contexto organizacional (público e/ ou privado) em que estão inseridas. Além disso, as pesquisas ressaltam a importância da classificação dos *inputs* e *outputs* utilizados em cada pesquisa e a orientação do modelo a ser usado. No que se refere ao Índice de Malmquist, os trabalhos analisados destacam ser ele um instrumento eficaz (em conjunto com a DEA) para avaliar a mudanças de eficiência técnica e tecnológica ao longo do tempo e, além disso, pode ser usado como um indicador de melhorias em termos de ações políticas, gerenciais, administrativas e institucionais, que é o foco dessa pesquisa.

3 METODOLOGIA EMPÍRICA

Nessa seção estão apresentadas as técnicas DEA e Índice de Malmquist usadas para avaliar a eficiência dos estados brasileiros no sistema de transplante renal e a maximização (ou minimização) da produtividade deles nesse setor, respectivamente. Além disso, destacam-se a fonte de dados do estudo e as variáveis escolhidas para operacionalização da análise. Nos modelos DEA, as Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Units-DMU's*) referem-se aos estados brasileiros, os quais são avaliados como eficientes (ou ineficientes) em relação à fronteira tecnológica. Cesconetto, Lapa e Calvo (2008) destacam que os modelos DEA podem ser aplicados em quaisquer áreas e estão indicados para avaliar a eficiência, do ponto de vista do gestor do sistema de saúde.

Na metodologia DEA, destacam-se a existência de dois modelos básicos (conforme já destacado), sendo eles: um com retorno constante de escala (CCR ou CRS-*Constant Returns to Scale*) e outro com rendimentos variáveis de escala (BCC ou VRS- *Variable Returns to Scale*), os quais estão apresentados na seção 3.3.1 e 3.3.2. Na sequência da metodologia, é abordado na seção 3.3.3 o Índice de Malmquist-DEA, proposto por Färe *et al.* (1994). O método, conforme já destacado, usa a programação linear (PL) de DEA para construir a fronteira de produção nos períodos analisados nessa pesquisa (2006 e 2011) e considera a distância de cada DMU (estado), antes e depois da instituição da Portaria 2.600, de 21 de outubro de 2009 (Brasil, 2009a), às duas fronteiras distintas. Por fim, na seção 3.3.4, tem-se a fonte de dados, as variáveis de estudo e os modelos empíricos do sistema analisado.

Destaca-se que a apresentação da metodologia empírica usada na pesquisa tem como base os estudos de Charnes, Cooper e Rhodes (1978); Banker, Charnes e Cooper (1984); Thanassoulis (2003); Cooper, Seiford e Tone (2007) e Ferreira e Gomes (2009).

3.1 Modelo DEA com Retornos Constantes de Escala (CCR)

O modelo CCR foi proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) na tentativa de mensurar a eficiência de qualquer Unidade de Tomada de Decisão (DMU-*Decision Making Unit*)⁶. Os autores generalizam a definição proposta por Farrel (1957) e consideram que para cada DMU, tem-se o insumo (*input*) e o produto (*output*) virtuais ponderados pelos seus respectivos pesos v_i e u_r (não conhecidos), isto é:

$$\text{Insumo virtual} = v_1x_{1o} + v_2x_{2o} + \dots + v_ix_{io}$$

$$\text{Produto virtual} = u_1y_{1o} + u_2y_{2o} + \dots + u_ry_{ro}$$

Logo, o objetivo é determinar os pesos v_i e u_r maximizando a seguinte razão:

$$\frac{\text{Produto Virtual}}{\text{Insumo Virtual}}$$

Os pesos não são pré-fixados, logo a cada DMU é atribuído um melhor conjunto de pesos com valores que podem variar de uma DMU para outra. Destaca-se que, hipoteticamente, cada DMU é classificada como a entidade responsável pela conversão dos insumos em produtos e cujo desempenho deve ser avaliado.

⁶ No modelo CCR admite-se o axioma da proporcionalidade entre insumos e produtos.

Nesse contexto, admite-se DMU_o sendo que $o = 1, 2, 3, \dots, n$, cujos produtos e insumos conhecidos sejam representados por y_{ro} e x_{io} , respectivamente; já os pesos são dados por u_r ($r = 1, 2, 3, \dots, m$) e v_i ($i = 1, 2, 3, \dots, r$) e representam as variáveis de decisão (discricionárias ou instrumentais) do modelo. A eficiência técnica de cada DMU_o (Ef_o) é expressa pela seguinte programação fracionária (não linear):

$$Max_{v,u} Ef_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_r y_{ro}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_i x_{io}} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

$$v_i; u_r \geq 0 \quad (3)$$

De acordo com a restrição (2), a razão entre produto e o insumo virtual não deve exceder 1 para cada DMU (ou seja, o *score* de desempenho não deve ser maior que 100%) e a equação (3) representa a condição de não-negatividade para os pesos (isto é, os pesos v_i e u_r assumem valores iguais a zero ou positivo). Essa condição representa os retornos variáveis de escala do modelo CCR.

O sistema apresentado nas equações (1-3) gera múltiplas soluções, logo se deve transformá-lo em um problema de programação linear (PL) para obter uma única solução para a eficiência técnica da DMU_o . Para atingir o objetivo é necessário adotar os seguintes passos: a) o denominador da função objetivo deve ser uma constante igual a 1; e b) tornar a restrição (2) uma diferença entre numerador e o denominador que deve ser menor ou igual a zero. Considerando esses dois pontos, admite-se no modelo que a eficiência varia entre zero e um (FERREIRA; GOMES, 2009).

A formulação do modelo dos multiplicadores orientado ao *input* (ou recurso) é dada por:

$$Max_{u,v} Ef_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_r y_{ro} \quad (4)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_i x_{io} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

$$v_i; u_r \geq 0 \quad (7)$$

Segundo Cooper, Seiford e Tone (2007), a DMU_o é eficiente se $Ef_o^* = 1$ e se existe ao menos um ótimo (v^*, u^*) , com $v^* > 0$ e $u^* > 0$. Caso contrário, a DMU_o é ineficiente. Assim, a ineficiência ocorre quando: a) $Ef_o^* < 1$ ou b) $Ef_o^* = 1$ e ao menos um elemento de (v^*, u^*) é zero para qualquer solução ótima do problema de PL.

No sistema apresentado pelas equações (4-7), a eficiência pode ser obtida por meio da minimização dos recursos. Para obter uma melhor representação dessa análise, deve-se usar a forma Dual de Programa Linear, denominada modelo de Envelope. Nesse caso, a eficiência da DMU_o é representada da seguinte maneira:

$$\underset{\theta, \lambda}{Min} \theta_o \quad (8)$$

$$\text{sujeito a:} \quad \theta_o x_{io} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, r) \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{ro} \geq 0 \quad (r = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (10)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (11)$$

sendo que: y representa a produção, x , o insumo e λ , os pesos. Segundo Mello *et al.* (2005), a equação (8) representa a eficiência do sistema; a restrição (9) garante que a minimização em cada um dos recursos não seja maior que a fronteira definida pelas DMUs eficientes. Já a restrição (10) faz com que a diminuição nos insumos não modifique o nível atual dos produtos da DMU analisada. Os autores destacam que no sistema representado pelas equações (4-7), os pesos são as variáveis de decisão; já no modelo correspondente às equações (8-11), estas são θ_o e λ_j 's.

Pode-se desenvolver também um sistema que maximiza a produção e mantém inalterados os insumos, denominado de modelo CCR orientado a *outputs*, representado por:

$$\underset{u, v}{Min} Ef_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} \quad (12)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1 \quad (13)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (14)$$

$$v_i; u_r \geq 0 \quad (15)$$

A eficiência da DMU_o, por meio do modelo envoltório CCR orientado ao produto é dado por:

$$\underset{\phi, \lambda}{Max} \phi \quad (16)$$

$$\text{sujeito a:} \quad x_{io} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, r) \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{ro} \geq 0 \quad (r = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (18)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (19)$$

No modelo CCR, $\theta = \frac{1}{\phi}$; além disso, por ser dual, o modelo dos multiplicadores (equação 12)

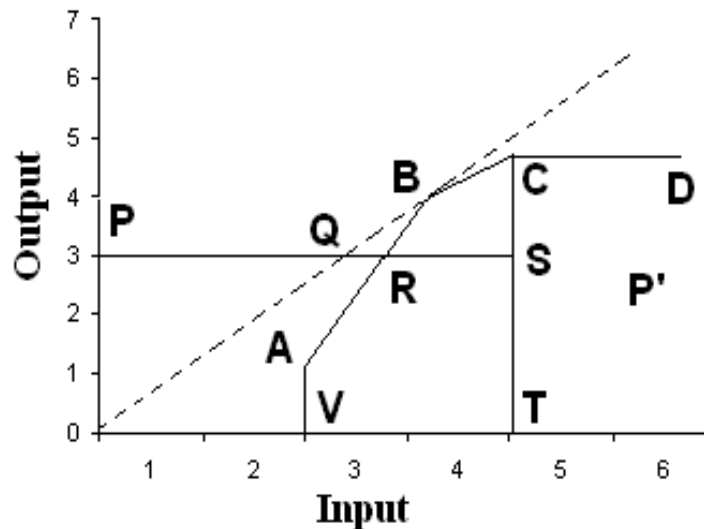
apresenta o mesmo valor da função objetivo do modelo de envelope (equação 18). Segundo Ferreira e Gomes (2009, p. 79), “nesses modelos DEA, os produtos e insumos virtuais das DMUs são seus produtos e insumos ao final do processo de minimização (multiplicadores) ou maximização (envoltório) pela programação matemática linear”.

3.2 Modelo DEA com Retornos Variáveis de Escala (BCC)

O modelo BCC corresponde a uma das extensões do modelo CCR e foi proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984). Nesse, a fronteira de possibilidade de produção é convexa, levando às seguintes classificações dos fatores de escala: i) retornos crescentes de escala, quando as DMUs operam com baixos valores de *inputs*; ii) retornos decrescentes de escala, ao admitir que as DMUs trabalhem com altos valores de insumos; e iii) retornos constantes, que ocorrem no ponto em que a transição do primeiro para o segundo tipo de rendimento é realizada (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007).

Na Figura 6 apresenta-se a fronteira de possibilidade de produção do modelo BCC com quatro DMUs (A, B, C e D). A fronteira eficiente do modelo CCR é representada pela linha pontilhada que passa pela origem, ponto Q e atinge o ponto B. Observa-se que o espaço de possibilidade de produção VARBCD (ou P') é menor que o espaço P correspondente ao modelo com rendimentos constante de escala. Nessa área, tem-se a formação de quatro tipos de fatores de escala: a) retornos constantes de escala, mensurado sobre a reta pontilhada OQ, em que as variações nos insumos e produtos são proporcionais; b) rendimentos crescentes de escala, apresentados sobre os segmentos de reta VA e RB, no qual as variações nos *inputs* geram mudanças mais do que proporcionais nos *outputs*; e c) retornos decrescentes de escala, indentificados sobre as partes da reta BC (excluindo-se o ponto B) e CD, isto é, as variações nos produtos são menos que proporcionais, dadas as alterações nos insumos.

Figura 6 – Fronteira de Possibilidade de Produção do Modelo BCC



Fonte: Cooper, Seiford e Tone (2007) e Ferreira e Gomes (2009).

O modelo BCC orientado ao insumo avalia a eficiência da DMU_o (o=1,2,3,...,n) ao resolver o seguinte modelo dos multiplicadores:

$$\text{Max}_{u,v} \quad Ef_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + u_o \quad (20)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \quad (21)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + u_o \leq 0, \quad (j = 1,2,3,\dots,n) \quad (22)$$

$$v_i; u_r \geq 0 (\varepsilon), \forall i, r \quad (23)$$

As seguintes restrições ao peso u_o devem ocorrer para tornar o modelo formado pelas equações (20-21) com rendimentos variáveis de escala, as quais são: a) $u_o = 0$, indica retornos constantes de escala; b) $u_o \leq 0$, representa rendimento decrescente de escala e c) $u_o \geq 0$, tem-se retorno crescente de escala.

O modelo dual orientado ao produto é representado por:

$$\underset{v,u}{Min} \quad Ef_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} + v_o \quad (24)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} = 1 \quad (25)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_o \leq 0, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (26)$$

$$v_i; u_r \geq 0 \quad (\varepsilon), \forall i, r \quad (27)$$

No sistema constituído pelas equações (24-27), o peso v_o é classificado como $v_o = 0$, $v_o \geq 0$ e $v_o \leq 0$ quando apresenta retornos constantes, decrescente e crescente de escala, respectivamente.

Cooper, Seiford e Tone (2007) e Ferreira e Gomes (2009) destacam que nos modelos de envelope (ou envoltório), os retornos variáveis de escala estão relacionados às restrições de convexidade, sendo que: $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$; $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$ ou $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$ e $\lambda > 0$ para que as DMU's estejam localizadas no espaço P' da Figura 6. O modelo envoltório orientado ao insumo é representado da seguinte forma:

$$\underset{\theta, \lambda}{Min} \quad \theta \quad (28)$$

$$\text{sujeito a:} \quad \theta x_{io} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, r) \quad (29)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - y_{ro} \geq 0, \quad (r = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (30)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; \lambda_j \geq 0 \quad (31)$$

Por sua vez, o sistema orientado ao produto é expresso por:

$$\underset{\phi, \lambda}{Max} \quad \phi \quad (32)$$

$$\text{sujeito a:} \quad x_{io} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq 0, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, r) \quad (33)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - \phi y_{ro} \geq 0, \quad (r = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (34)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; \lambda_j \geq 0 \quad (35)$$

Ferreira e Gomes (2009) afirmam que no sistema formado pelas equações (28-31) e (32-35), deve-se acrescentar as restrições, $\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1$ e $\sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 1$, para representar os modelos com retornos decrescentes e crescentes de escala, respectivamente. Além disso, a condição $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ expressa que os rendimentos são proporcionais.

3.3 Método de Malmquist-DEA

Nos modelos DEA básicos (CCR e BCC), a análise é desenvolvida em condições estáticas, isto é, os dados são modelados para um período de tempo específico. Já uma extensão dessa abordagem é considerar modelos não-paramétricos da DEA sob situações dinâmicas, ou seja, analisar o desempenho da eficiência em períodos de tempos diferentes.

A definição do Índice de Malmquist foi introduzida pela primeira vez por Malmquist (1953) no estudo que desenvolveu sobre o comportamento do consumidor. Posteriormente, Caves, Christensen e Diewert (1982) aplicam o índice na análise da produção. Färe *et al.* (1994) usaram a programação matemática para cálculo do índice em medidas de produtividade.

Nesse contexto, o Índice de Malmquist representa o crescimento da Produtividade Total dos Fatores de Produção (TFP) de uma unidade de tomada de decisão (DMU), na medida em que reflete as alterações em termos de eficiência técnica (emparelhamento) juntamente com as mudanças no progresso tecnológico entre períodos de tempo distintos (deslocamento da fronteira), admitindo-se múltiplos insumos e produtos (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007).

O Índice de Malmquist é dividido em dois tipos de efeitos: emparelhamento (*catch-up effect*) e deslocamento da fronteira eficiente (*frontier-shift effect*), conforme já citado. No primeiro caso, analisa-se o aumento ou redução da eficiência técnica produtiva ao longo do tempo, isto é, verifica-se as melhorias contínuas no processo de produção e nos produtos, dado uma mesma tecnologia. O segundo reflete os avanços na produtividade de DMU, devido às inovações tecnológicas.

Para analisar o efeito emparelhamento (EEMP), considera-se um conjunto de n DMUs (x_j, y_j) , onde $j=1,2,3, \dots, n$; cada um apresenta m insumos denotados por um vetor $x_j \in R^m$ e q produtos representados por um vetor $y_j \in R^q$ nos períodos t e $t+1$. Além disso, $x_j > 0$ e $y_j > 0$ ($\forall j$). Para designar a DMU _{o} ($o=1,2,3,\dots,n$) nos períodos t e $t+1$, admite-se as notações $(x_o, y_o)^t = (x_o^t, y_o^t)$ e $(x_o, y_o)^{t+1} = (x_o^{t+1}, y_o^{t+1})$, respectivamente. Assim, o efeito do período $t+1$ para o período t é mensurado da seguinte maneira:

$$\text{Emparelhamento} = \frac{\text{Eficiência de } (x_o, y_o)^{t+1} \text{ em relação a fronteira período } t+1}{\text{Eficiência de } (x_o, y_o)^t \text{ em relação a fronteira período } t} \quad (36)$$

Ou ainda, admitindo que as notações $\delta^{t+1}((x_o; y_o)^{t+1})$ e $\delta^t((x_o; y_o)^t)$ representam o escore de eficiência das DMUs no período $t+1$ e t , a equação (36) pode ser expressa como:

$$\text{Emparelhamento} = \frac{\delta^{t+1}((x_o, y_o)^{t+1})}{\delta^t((x_o, y_o)^t)} \quad (36.1)$$

Admitindo-se no modelo um único insumo e produto, pode-se representar o emparelhamento conforme Figura 7. Esse efeito é calculado da seguinte maneira:

$$\text{Emparelhamento} = \frac{\frac{BD}{BQ}}{\frac{AC}{AP}}$$

A análise é feita sobre três óticas: a) se o emparelhamento é maior que 1, tem-se melhora na eficiência técnica entre os períodos t e $t+1$; b) se o emparelhamento é igual a 1, indica que a eficiência permaneceu a mesma; e c) no caso, se o emparelhamento for menor que 1, representa piora da eficiência.

Na Figura 7, verifica-se, além do efeito emparelhamento, o deslocamento da fronteira eficiente. Essa análise é relevante para avaliar plenamente a evolução da produtividade. O deslocamento da fronteira é representado pelas mudanças nas posições do ponto C, no período t , para o ponto E, no período $t+1$, e do ponto F, no período 1, para o D (período $t+1$). Logo, o deslocamento da fronteira eficiente é representado por:

$$\phi_1 = \frac{AC}{AE} \quad (37)$$

A equação (37) é equivalente a:

$$\phi_1 = \frac{\frac{AC}{AP}}{\frac{AE}{AP}}; \quad \phi_2 = \frac{\frac{BF}{BQ}}{\frac{BD}{BQ}}$$

Considerando-se ϕ_1 e ϕ_2 , pode-se definir o efeito deslocamento da fronteira (φ) por meio da média geométrica entre tais valores, ou seja,

$$\varphi = \sqrt{\phi_1 \phi_2} \quad (38)$$

onde: $\phi_1 \times \phi_2 = \frac{AC}{AE} \times \frac{BF}{BD}$.

No caso se $\varphi > 1$, tem-se progresso tecnológico no período $t+1$ em relação ao período t , com deslocamento da DMU_o do período 1 para 2; enquanto se $\varphi = 1$, indica que não houve mudança tecnológica e $\varphi < 1$, representa regressão na fronteira tecnológica.

Nesse contexto, o Índice de Malmquist (MI) é mensurado pela multiplicação entre o efeito emparelhamento e índice deslocamento da fronteira. Logo, combinando as fórmulas de ϕ_1 e ϕ_2 com a equação (37), obtêm-se:

$$MI = \frac{AP}{BQ} \sqrt{\frac{BF}{AC} \times \frac{BD}{AE}} \quad (38.1)$$

Sendo que, o primeiro termo (AP/BQ) refere-se à mudança no desempenho e o segundo

$\left(\sqrt{\frac{BF}{AC} \times \frac{BD}{AE}} \right)$ representa a alteração relativa usada para avaliar o comportamento.

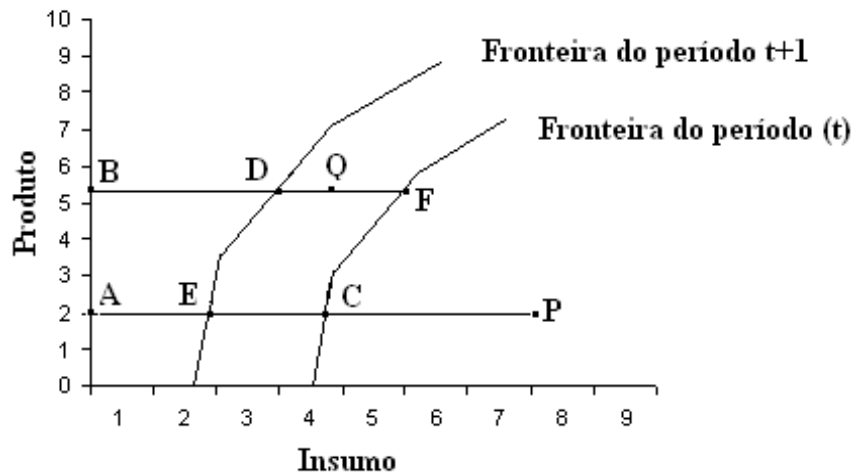
Considerando as equações (36.1) e (38), o efeito deslocamento da fronteira é representado da seguinte forma:

$$F = \left[\frac{\delta^t((x_o, y_o)^t)}{\delta^{t+1}((x_o, y_o)^t)} \times \frac{\delta^t((x_o, y_o)^{t+1})}{\delta^{t+1}((x_o, y_o)^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (39)$$

Multiplicando a equação (36.1) por (39) e realizando operações algébricas, obtêm-se o Índice de Malmquist orientado ao produto, dado por:

$$MI = \left[\frac{\delta^t((x_o, y_o)^{t+1})}{\delta^t((x_o, y_o)^t)} \times \frac{\delta^{t+1}((x_o, y_o)^{t+1})}{\delta^{t+1}((x_o, y_o)^t)} \right]^{1/2} \quad (40)$$

Figura 7 – Emparelhamento e progresso técnico



Fonte: Cooper, Seiford e Tone (2007) e Ferreira e Gomes (2009).

De acordo com a equação (40), o índice é composto por quatro termos, sendo que dois correspondem aos períodos de tempo t e $t+1$,

$$\delta^t((x_o, y_o)^t) \text{ e } \delta^{t+1}((x_o, y_o)^{t+1}),$$

respectivamente; enquanto os outros dois,

$$\delta^t((x_o, y_o)^{t+1}) \text{ e } \delta^{t+1}((x_o, y_o)^t),$$

referem-se a comparação intertemporal. Assim, se $MI > 1$, indica melhora na eficiência; $MI = 1$ e $MI < 1$, mostra que a eficiência técnica permaneceu a mesma e/ou piorou, respectivamente. Ferreira e Gomes (2009) destacam que o Índice de Malmquist orientado ao produto (MI) é o inverso da orientação ao insumo (MI'), isto é,

$$MI = \frac{1}{MI'}$$

Färe *et al.* (1994), Cooper, Seiford e Tone (2007) e Ferreira e Gomes (2009) afirmam que os seguintes problemas de programação linear devem ser resolvidos para o cálculo da equação (40):

$$\begin{array}{ll}
 \left[\delta^t \left((x_o, y_o)^t \right) \right]^{-1} = \underset{\theta, \lambda}{\text{Max}} \theta & \left[\delta^{t+1} \left((x_o, y_o)^{t+1} \right) \right]^{-1} = \underset{\theta, \lambda}{\text{Max}} \theta \\
 \text{s.a :} & \text{s.a :} \\
 -\theta y_{i,t} + Y_t \lambda \geq 0 & -\theta y_{i,t+1} + Y_{t+1} \lambda \geq 0 \\
 x_{i,t} - X_t \lambda \geq 0 & x_{i,t+1} - X_{t+1} \lambda \geq 0 \\
 \lambda \geq 0 & \lambda \geq 0 \\
 \text{(a)} & \text{(b)}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \left[\delta^t \left((x_o, y_o)^{t+1} \right) \right]^{-1} = \underset{\theta, \lambda}{\text{Max}} \theta & \left[\delta^{t+1} \left((x_o, y_o)^t \right) \right]^{-1} = \underset{\theta, \lambda}{\text{Max}} \theta \\
 \text{s.a :} & \text{s.a :} \\
 -\theta y_{i,t+1} + Y_t \lambda \geq 0 & -\theta y_{i,t} + Y_{t+1} \lambda \geq 0 \\
 x_{i,t+1} - X_t \lambda \geq 0 & x_{i,t} - X_{t+1} \lambda \geq 0 \\
 \lambda \geq 0 & \lambda \geq 0 \\
 \text{(c)} & \text{(d)}
 \end{array}$$

No problemas (a) e (b), calcula-se a eficiência no período corrente; já em (c) e (d) realiza-se a comparação da produção a tecnologias de períodos diferentes. Nesses dois últimos casos, o parâmetro θ não necessita ser maior ou igual a 1 como em (a) e (b). Logo, esse fato ocorre se houver uma evolução tecnológica em (c), em que o ponto de produção do período t+1 é comparado à tecnologia de t. Em (d), $\theta < 1$ se houver uma regressão técnica.

O Índice de Malmquist pode ainda ser apresentado na forma decomposta, conforme segue:

$$MI = \frac{\delta^{t+1} \left((x_o, y_o)^{t+1} \right)}{\delta^t \left((x_o, y_o)^t \right)} \times \left[\frac{\delta^t \left((x_o, y_o)^{t+1} \right)}{\delta^{t+1} \left((x_o, y_o)^{t+1} \right)} \times \frac{\delta^t \left((x_o, y_o)^t \right)}{\delta^{t+1} \left((x_o, y_o)^t \right)} \right]^{1/2} \quad (41)$$

Na equação (41), a razão fora dos parênteses mensura a eficiência relativa (ou mudança técnica), que mostra se a produção da DMU está se aproximando ou afastando da fronteira. Já a média geométrica das duas razões no interior dos parênteses, mede a alteração da tecnologia (mudança na eficiência) entre os dois períodos de tempo, t e t+1. Färe *et al.* (1996) destacam que a análise desses índices parciais é relevante para averiguar se um aumento da eficiência relativa de um ano para outro pode ser relacionado à expansão na produtividade da DMU avaliada ou à redução da fronteira de produção.

3.4 Fonte de dados e escolha da modelagem

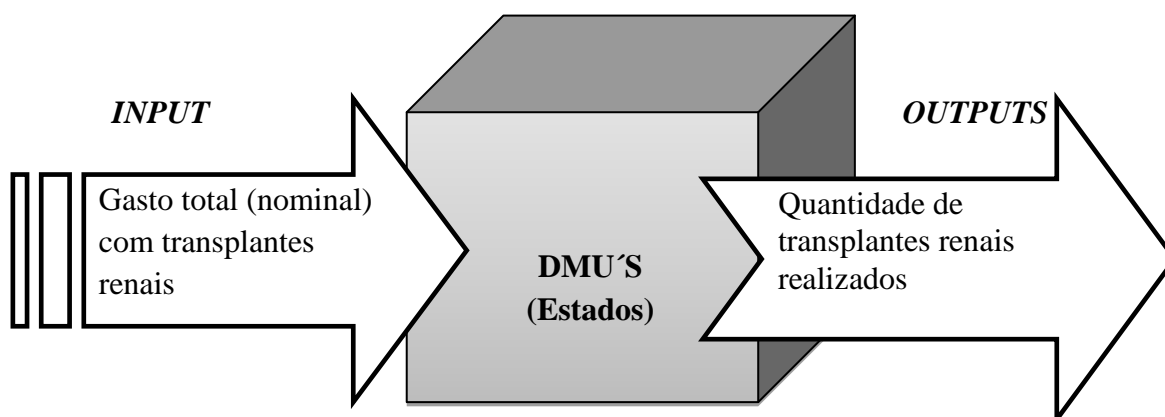
A amostra da pesquisa está constituída por 22 estados que atuam no processo de realização de transplante de rim no Brasil. Os anos de referência foram 2006 e 2011, por se tratarem de períodos antes e depois da instituição da Portaria 2.600, de 21 de outubro de 2009 pelo Ministério da Saúde (Brasil, 2009a). Essa portaria aprovou o novo Regulamento Técnico do Sistema Nacional de Transplantes no país.

O critério de seleção da amostra foi a participação (via SUS) de cada estado no Sistema de Transplante Renal e a disponibilidade completa de informações. Fonseca e Ferreira (2009), nessa etapa, ressaltam que a matriz completa de dados é condição imprescindível para o desenvolvimento dos procedimentos quantitativos das análises destacadas. Portanto, para garantir um grupo homogêneo para comparação foram excluídos os estados do Amapá (AP); Mato Grosso (MT); Rondônia (RO); Roraima (RR) e Tocantins (TO), cujas informações dos insumos e produtos foram classificadas como incompletas.

Seguindo o modelo proposto por Marinho e Cardoso (2007) e Marinho (2009), foram usadas como variáveis de *inputs*: i) gasto total (nominal) do procedimentos com transplante renal; ii) gasto (nominal) dos serviços hospitalares; e iii) gasto (nominal) dos serviços profissionais. As variáveis dos itens (ii) e (iii) estão relacionadas ao transplante renal. Como *output* considera-se a quantidade de rins transplantados.

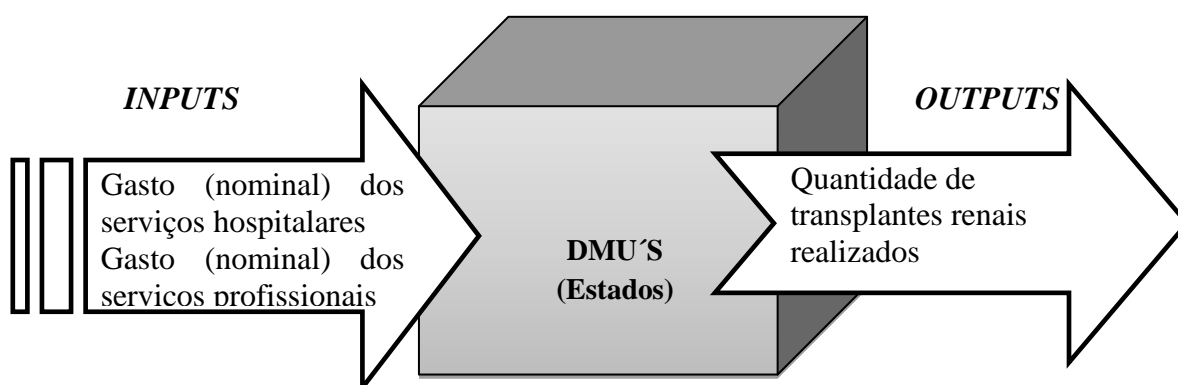
Os dados analisados foram coletados em meio eletrônico, no Sistema de Informações Hospitalares do SUS-SIH/SUS (www.datasus.gov.br). Os dados são caracterizados como secundários. A coleta de dados foi realizada considerando os códigos dos procedimentos hospitalares do SUS - por local de internação. Para o ano de 2006, usou-se os seguintes códigos de pesquisa no site do Datasus: 31802010-transplante renal receptor (doador vivo); 31803016-transplante renal (doador vivo) - equipe nefrológica; 31803024-transplante renal receptor (doador cadáver) - equipe nefrológica; 31805019- transplante renal receptor - doador cadáver. Para 2011, os códigos por procedimentos foram: 0505020092-transplante de rim (órgão de doador falecido), 0505020106- transplante de rim (órgão de doador vivo). Destaca-se que o DATASUS não fornece dados relacionados com as quantidades de insumos, mas apenas o gasto total referente a eles. É relevante ressaltar que a seleção de variáveis é um ponto determinante, pois alterações no conjunto de variáveis selecionadas para compor os *inputs* e *outputs* podem exercer um impacto direto nos resultados da modelagem DEA (THANASSOULIS, 2003).

Para que a metodologia DEA seja empregada, um modelo representativo foi criado, baseando-se em parâmetros de entrada (insumos) e de saída (produtos). Nas Figuras 8 e 9, apresentam-se os modelos empíricos do sistema, no qual as DMU's representam cada estado brasileiro. No modelo 1 (Figura 8), utiliza-se apenas um insumo (gasto total) e um produto (quantidade de transplantes renais realizados); já no modelo 2 (Figura 9), são usados dois insumos (gasto dos serviços hospitalares e gasto dos serviços profissionais) e um *output* (quantidade de rins transplantados).

Figura 8 – Modelo empírico 1 do sistema.

Fonte: Elaboração da autora (2012).

Para executar e operacionalizar os dados quantitativos referentes aos Modelos DEA e ao Índice de Malmquist foram utilizados os *softwares*: *Efficiency Measurement System-EMS* e o Pacote FEAR 1.15 usado no programa computacional estatístico R⁷.

Figura 9 – Modelo empírico 2 do sistema.

Fonte: Elaboração da autora (2012).

Na orientação ao modelo DEA, Marinho e Cardoso (2007) e Marinho (2009) sugerem que no sistema de transplantes, os modelos de eficiência devem ser orientados para os *outputs* (isto é, maximizar os produtos sem diminuir os insumos), pois os gestores do sistema buscam a expansão dos recursos financeiros disponíveis e da quantidade de transplantes renais realizados. Portanto, nesse estudo aplica-se o modelo BCC (retorno variável de escala) orientado no sentido do aumento da quantidade de transplante de rim realizado pelos estados brasileiros (ou seja, produto)⁸.

⁷ Os modelos 1 e 2 propostos nessa tese e o Índice de Malmquist foram estimados pelos dois programas, sendo os resultados idênticos.

⁸ A base de dados desse ensaio está apresentada no Apêndice C (modelo1) e D (modelo 2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção está apresentada uma discussão sobre a eficiência dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal para os períodos 2006 e 2011 e suas decomposições com base no Índice de Malmquist.

Na Tabela 1 e 2 estão apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na mensuração da eficiência dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal em 2006 e 2011, respectivamente. As variáveis classificadas como *inputs* (insumos) são os gastos com serviços hospitalares (GSHospitalares); gastos com serviços dos profissionais (GSProfissionais); gasto total com transplante renal (Gtotal), respectivamente. Como *output* (produto) tem-se a quantidade de transplante renal realizada (QTRenal).

Em relação às variáveis insumos (Tabela 1), em 2006, verifica-se que, em média, o SUS gastou (em termos nominais) com os serviços hospitalares relacionados ao setor de transplante renal o equivalente a R\$ 1.891,52 mil apresentando uma significativa diferença no intervalo de variação, isto é, o gasto mínimo é de R\$ 276,60 mil (para o Acre) e o máximo é de R\$ 17.312,89 mil (para São Paulo). A diferença pode ser confirmada pelo coeficiente de variação que apresenta uma dispersão relativa alta em torno da média (193,93%).

Para os gastos com os profissionais (Tabela 1), o valor médio é de 377,87 mil reais e o intervalo entre o maior (R\$ 3.508,67 mil) e o menor valor (R\$ 5,19 mil) correspondem a 3.503,48 mil reais. Por sua vez, o gasto total médio dos 22 estados brasileiros analisados é de R\$ 2.269,38 mil, sendo o menor e o maior gasto correspondente a R\$ 32,85 mil e R\$ 20.816,37 mil, respectivamente. A dispersão relativa nesse caso é classificada também como alta (194,25%). Destaca-se que para as variáveis, gastos com profissionais e gasto total, os menores e os maiores valores de cada série são evidenciados também para os estados do Acre e São Paulo, nessa ordem. Isso indica a significativa variação dos investimentos realizados pelo SUS entre os estados nos períodos analisados.

Com relação aos mesmos insumos analisados para o ano de 2011, verifica-se na Tabela 2, um crescimento significativo da média, sendo de 91,20% para gastos com serviços hospitalares (passaram de uma média 1.891,52 mil reais em 2006 para 3.616,62 mil reais em 2011); 167,02% para gastos com profissionais (a média variou de 377,87 mil reais em 2006 para 1.008,97 mil reais em 2011) e 103,83% para os gastos totais com transplante renal (a média expandiu de R\$ 2.269,38 mil em 2006 para R\$ 4.625,59 mil em 2011).

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis consideradas na mensuração da eficiência dos 22 estados brasileiros no sistema de transplante renal- 2006

2006	Insumos			Produto
	GSHospitalares (R\$ mil)	GSProfissionais (R\$ mil)	Gtotal (R\$ mil)	QTRenal
Média	1.891,52	377,87	2.269,38	127
Desvio Padrão	3.668,28	740,22	4.408,37	252
Coeficiente de Variação	193,93%	195,89%	194,25%	198,43%
Mínimo	27,66	5,19	32,85	2
Máximo	17.340,55	3.508,67	20.849,22	1.197
Intervalo	17.312,89	3.503,48	20.816,37	1.195

Fonte: Resultados da Pesquisa (2012). Elaboração da autora. * GSHospitalares – gastos com serviços hospitalares; GSProfissionais – gastos com serviços profissionais; GTotal – gasto total com transplantes renais e QTRenal – quantidade de transplantes renais.

De acordo com as Tabela 1 e 2, pode-se constatar que as quantidades de transplantes renais (variável classificada como *ouput*) realizadas nos estados brasileiros, em média, também apresentam uma tendência crescente, passando de aproximadamente 127 em 2006 para 201 transplantes em 2011; ou seja, uma expansão na média de 58,27%.

Tabela 2 - Estatística descritiva das variáveis consideradas na mensuração da eficiência dos 22 estados brasileiros no sistema de transplante renal- 2011

2011	Insumos			Produto
	GSHospitales (R\$ mil)	GSProfissionais (R\$ mil)	GTotal (R\$ mil)	QTRenal
Média	3.616,62	1.008,97	4.625,59	201
Desvio Padrão	6.662,68	1.847,09	8.508,67	370
Coefficiente de variação	184,22%	183,07%	183,95%	184,08%
Mínimo	110,62	357,50	146,37	7
Máximo	31.005,89	8.651,90	39.657,79	1.736
Intervalo	30.895,27	8.616,1	39.511,42	1.729

Fonte: Resultados da Pesquisa (2012). Elaboração da autora. * GSHospitales – gastos com serviços hospitalares; GSProfissionais – gastos com serviços profissionais; GTotal – gasto total com transplantes renais e QTRenal – quantidade de transplantes renais.

No ano de 2006 e 2011, o estado do Acre realizou a menor quantidade de transplantes renais, sendo de 2 e 16 para cada ano analisado. São Paulo destaca-se pelo maior número de rins transplantados no período de análise, sendo de 1.197 e 1.736 transplantes desse órgão, respectivamente (Tabelas 1 e 2). A dispersão relativa dessa base de dados pode ser classificada como alta aos dois períodos, sendo o coeficiente de variação de 198,43% e 184,08%, nessa ordem. Entre 2006 e 2011, observa-se um aumento não desprezível de todas as medidas de posição (média, valor máximo e mínimo) e dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação). Isto sugere que o processo de realização de transplantes renais tem-se apresentado uma atividade com grande variabilidade entre os estados brasileiros, uma vez que os altos desvios padrão apontam para disparidades na gestão dos recursos no setor de transplante. Essa questão é corroborada por Garcia e Garcia (2010), Marinho, Cardoso e Almeida (2007, 2011a) e Medina-Pestana *et al.* (2011) ao constatarem que em algumas regiões brasileiras (Sul e Sudeste) a atividade de captação e transplante de órgãos é realizada com maior intensidade do que nas demais áreas do país (Nordeste, Centro Oeste e Norte). Isto corrobora a existência das disparidades regionais na captação de rim para transplante no Brasil.

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os *scores* de eficiência (modelo 1 e 2) dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal para 2006 e 2011. Destaca-se que tais *scores* foram classificados do estado mais eficiente (*score* igual a 1) para o menos eficiente (*score* maior do que 1). Os valores maiores que 1 são obtidos em decorrência do modelo aplicado nessa pesquisa, isto é, método BCC (retornos variáveis de escala) orientado ao produto. Cabe ressaltar que esses *scores*, por região e estado brasileiro, estão apresentados também por meio de gráficos, no Apêndice C. Nesses gráficos a linha na horizontal representa o limite do *score* igual a 1, ou seja, os estados que são classificados como eficientes na maximização do número de transplantes renais nos períodos analisados.

De acordo com os resultados do modelo 1 (Tabela 3), os estados que podem ser apontados como eficientes na maximização do número de transplantes renais, em 2006, são Acre, Amazonas, Maranhão, Paraná e São Paulo, a partir da combinação do insumo e do produto e em seu nível de escala de operação (ou seja, apresentam o maior nível de eficiência relativa em relação aos demais estados e com a mesma escala de operacionalização).

Analisando-se o número de transplantes renais realizados por cada estado em 2006 (Tabela 3), verifica-se que aqueles classificados como eficientes de acordo com os *scores*, apresentam número de transplantes renais realizados diferentes; ou seja, o Acre, o Amapá e o Maranhão operam de maneira eficiente em nível de escala menor (realizaram 2, 19 e 29 transplantes renais, respectivamente); já Paraná e São Paulo atuam eficientemente em um nível mais alto (213 e 1.197 transplantes renais realizados, nessa ordem).

Verifica-se também na Tabela 3 que, dos 22 estados analisados, 17 deles são considerados como ineficientes no sistema público de transplantes renais em 2006, sendo eles: Pará, Rio Grande do Sul e Santa Catarina em conjunto com alguns estados da região Centro-Oeste (DF, GO e MS), da região Sudeste (ES, MG e RJ) e da região Nordeste (AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN e SE). Portanto, tais estados foram classificados como menos eficientes em relação aos demais, pois conforme o método DEA usado no presente estudo, o número de transplantes renais pode ser expandido, dado o nível de operação de escala de cada um deles (Apêndice C).

Tabela 3 – *Scores* de eficiência dos 22 estados brasileiros no sistema público de transplante renal, 2006 e 2011– modelo1

2006				2011			
<i>Rank</i>	Estados	Número de transplantes renais	<i>Score</i>	<i>Rank</i>	Estados	Número de transplantes renais	<i>Score</i>
1	AC	2	1,00	1	AL	14	1,00
2	AM	19	1,00	2	MA	63	1,00
3	MA	29	1,00	3	MS	24	1,00
4	PR	213	1,00	4	PR	358	1,00
5	SP	1.197	1,00	5	SP	1.736	1,00
6	RJ	73	1,05	6	SE	7	1,00
7	GO	74	1,07	7	CE	208	1,01
8	CE	115	1,09	8	AM	18	1,04
9	MG	284	1,09	9	RJ	183	1,04
10	BA	47	1,12	10	AC	16	1,08
11	DF	34	1,12	11	GO	100	1,08
12	AL	10	1,13	12	MG	459	1,09
13	MS	37	1,13	13	SC	273	1,09
14	PB	17	1,16	14	DF	30	1,12
15	RN	16	1,16	15	PB	29	1,12
16	SE	10	1,17	16	BA	74	1,17
17	RS	242	1,18	17	ES	82	1,17
18	SC	154	1,18	18	PA	48	1,19
19	PA	42	1,19	19	PI	31	1,19
20	PE	106	1,19	20	RS	427	1,22
21	ES	50	1,22	21	PE	188	1,26
22	PI	23	1,25	22	RN	51	1,33

Fonte: Resultados da Pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Em 2011, observa-se (Tabela 3) que os estados com máxima eficiência no sistema público de transplante renal (*score* igual a 1) são Alagoas, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo e Sergipe. Destaca-se que o Acre e o Amazonas não são classificados como eficientes em 2011 quando comparados aos resultados de 2006; ou seja, seu produto poderia ser aumentado, desde que o insumo fosse mantido constante (Apêndice C). Por sua vez, Alagoas, Mato Grosso do Sul e Sergipe reduziram suas ineficiências em relação aos estados mais eficientes. Ressalta-se que, além do Acre e do Amazonas, outros 14 estados são considerados como ineficientes na geração do número máximo de transplantes renais (Ceará, Rio de Janeiro, Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina, Distrito Federal, Paraíba, Bahia, Espírito Santo, Pará, Piauí, Rio Grande do Sul, Pernambuco e Natal) e trabalham com distintos níveis de escalas de operacionalização.

A partir da Tabela 3, pode-se constatar que Paraná e São Paulo predominam entre as unidades de Federação mais eficientes na maximização do número de transplantes renais realizados (em 2006 e 2011), considerando o gasto total (nominal) realizado pelo SUS nesse setor (Apêndice C). Esses resultados indicam uma melhora de eficiência relativa de um período para o outro. Além disso, observando-se as colunas referentes ao número de transplantes renais (Tabela 3), tem-se uma expansão de 68,08% para o Paraná (a variável passou de 213 em 2006 para 358 transplantes em 2011) e de 45,03% para São Paulo (foi expandida de 1.197 em 2006 para 1.736 transplantes em 2011).

No modelo 2 (Tabela 4), realiza-se a comparação entre todos os estados considerando o mesmo produto do modelo 1 (quantidade de transplantes renais realizados) e adicionando dois insumos (gastos com serviços hospitalares e com serviços dos profissionais relacionados ao transplante renal). A análise dos *scores* de eficiência mostra que os melhores desempenhos, em 2006, ocorrem com o Acre, Amazonas, Maranhão, Paraná e São Paulo, pois os cinco estados atingiram a eficiência máxima. O mesmo resultado foi obtido para o modelo 1 (Tabela 3). Assim, tais estados poderiam estar sobre a curva da Fronteira de Possibilidade de Produção do Modelo BCC orientado ao produto (Figura 6) em ambos os modelos estimados nessa pesquisa.

Tabela 4 – Scores de eficiência dos 22 estados brasileiros no sistema público de transplante renal, 2006 e 2011– modelo 2

2006				2011			
Rank	Estados	Número de transplantes renais	Score	Rank	Estados	Número de transplantes renais	Score
1	AC	2	1,00	1	AL	14	1,00
2	AM	19	1,00	2	CE	208	1,00
3	MA	29	1,00	3	MA	63	1,00
4	PR	213	1,00	4	MS	24	1,00
5	SP	1.197	1,00	5	PR	358	1,00
6	RJ	73	1,03	6	SP	1.736	1,00
7	GO	74	1,07	7	SE	7	1,00
8	CE	115	1,08	8	AM	18	1,02
9	BA	47	1,08	9	RJ	183	1,04
10	MG	284	1,08	10	GO	100	1,06
11	MS	37	1,09	11	MG	459	1,06
12	PI	23	1,10	12	AC	16	1,07
13	PB	17	1,11	13	PB	29	1,07
14	PE	106	1,11	14	SC	273	1,08
15	AL	10	1,12	15	BA	74	1,08
16	ES	50	1,12	16	ES	82	1,09
17	DF	34	1,12	17	PI	31	1,10
18	RS	242	1,13	18	RS	427	1,10
19	RN	16	1,15	19	DF	30	1,11
20	SC	154	1,15	20	RN	51	1,12
21	SE	10	1,16	21	PE	188	1,13
22	PA	42	1,19	22	PA	48	1,15

Fonte: Resultados da Pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Em relação às unidades de Federação ineficientes, em 2006, observa-se que ainda dos 22 estados analisados, 17 deles continuam no modelo 2, sendo considerados como ineficientes, ou seja, com *scores* superior a 1. A diferença observada é que o nível de ineficiência no modelo 2 (Tabela 3) é menor do que no modelo 1 (Tabela 4). Isso indica que eles podem aumentar sua produção de transplantes renais, mantendo constantes aqui os dois insumos utilizados (Apêndice C).

No ano de 2011, verifica-se que os estados que apresentam a eficiência máxima no setor de transplante renal são os seguintes: Alagoas, Ceará, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo e Sergipe (Tabela 4). Destaca-se que, ao utilizar dois insumos e o mesmo nível de escala de operação, os resultados demonstram mudança na posição do Ceará, passando de ineficiente (modelo 1) para eficiente (modelo 2) no ano analisado. Observa-se ainda que a quantidade de estados classificados como ineficientes foi reduzida de 17 em 2006 para 15 em 2011. Ao comparar o modelos 1 e 2 em 2011, tem-se uma minimização do número de estados ineficientes passando de 16 para 15. Isto sugere que ao se utilizar o modelo 2, a análise sobre o grau de eficiência de cada estado no sistema público de transplante renal se tornou mais robusta, ou seja, em alguns estados a ineficiência diminuiu e em outros, passaram a ser eficientes (Apêndice C).

Na Tabela 5, demonstram-se os resultados obtidos com o cálculo do Índice de Malmquist e suas decomposições (efeito emparelhamento e deslocamento da fronteira) para os 22 estados analisados. O Índice de Malmquist mostra a variação do crescimento dos índices de produtividade ao longo do tempo. Esse é decomposto em dois tipos de efeitos, sendo eles: emparelhamento (*catch-up effect*) que representa a mudança na eficiência técnica pura; e o descolamento da fronteira que aponta para uma mudança tecnológica; no caso do presente estudo, uma inovação institucional. Assim, o objetivo dessa análise, conforme já destacado, consiste em avaliar o desempenho da eficiência dos estados brasileiros em 2006 e 2011, a partir das inovações institucionais adotadas pelo SUS (Portaria 2.600, de 21 de outubro de 2009).

O Índice de Malmquist e suas decomposições foram estimados considerando os modelos de eficiência 1 e 2. As estimações do índice usando o modelo 1 estão apresentadas no Apêndice D⁹. Como os resultados desse índice, a partir do modelo 2, foram mais robustos em termos de eficiência, optou-se por utilizá-lo nesse trabalho. A organização da Tabela 5 é feita considerando-se, em primeiro lugar, o maior valor do Índice de Malmquist e, em último, o menor valor.

Ao analisar o efeito Emparelhamento (mudança na eficiência técnica pura), observa-se que dos 22 estados analisados, 15 deles apresentam melhora na eficiência técnica entre 2006 e 2011, pois o valor desse índice é maior do que 1 (Tabela 5). Os estados que apresentaram melhoras foram: Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Bahia, São Paulo, Piauí, Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo, Acre, Goiás, Maranhão, Amazonas, Rio de Janeiro e Paraná. Portanto, eles melhoraram a eficiência em relação aos outros estados. Já para a Paraíba e o Distrito Federal, o emparelhamento é igual a 1, indicando que a eficiência permaneceu a mesma. Por fim, Santa Catarina, Ceará, Sergipe, Mato Grosso do Sul e Alagoas demonstram uma piora da eficiência, uma vez que o índice analisado apresenta valor menor que 1.

Já os resultados do Índice de Deslocamento de Fronteira mostram que todos os estados apresentam valor maior do que 1, isto é, há um progresso tecnológico (para o estudo, mudança institucional) de 2006 para 2011 (Tabela 5). Portanto, isso mostra que todos os estados avançaram em sua eficiência no sistema público de transplantes renais, a partir da Portaria 2.600, de 21 de outubro de 2009 adotada pelo SUS.

O Índice de Malmquist é obtido por meio da multiplicação entre o Índice de Emparelhamento e o Deslocamento de Fronteira. Conforme os resultados do Índice de Malmquist (Tabela 5), verifica-se que os 5 estados mais produtivos no sistema público de transplante renal no período 2006-2011 são os seguintes: Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Bahia e São Paulo. Todos esses estados apresentam os dois índices elevados. Em termos gerais, pode-se concluir que todas as unidades Federativas se tornaram produtivas ao longo do tempo, pois não há nenhuma delas com o Índice de Malmquist menor do que a unidade. Cabe ressaltar que o resultado é influenciado, principalmente, pelo efeito deslocamento da fronteira, ou seja, as mudanças institucionais implementadas no sistema de transplantes renal no Brasil.

⁹ No apêndice D, o efeito Emparelhamento mostra que dos 22 estados, 12 deles melhoraram sua eficiência técnica e 10 deles, pioraram. Conforme os resultados do Índice de Deslocamento, todos os estados apresentaram melhora na eficiência com a Portaria 2.600. No entanto, o valor do índice foi o mesmo para todos os estados. O Índice de Malmquist, por sua vez, apresentou valor maior do que 1, indicando expansão da produtividade ao longo do período.

Tabela 5 – Índice de Malmquist para os estados brasileiros (2006-2011)

Estados	Emparelhamento (<i>Catch-up</i>)	Deslocamento da fronteira (<i>Frontier-shift</i>)	Malmquist
PE	1,07	1,50	1,60
RN	1,04	1,52	1,57
RS	1,02	1,52	1,54
BA	1,05	1,43	1,51
SP	1,04	1,43	1,48
PI	1,03	1,44	1,48
MG	1,02	1,44	1,48
PR	1,04	1,41	1,47
ES	1,02	1,44	1,46
AC	1,08	1,35	1,46
GO	1,03	1,39	1,44
MA	1,06	1,35	1,43
PB	1,00	1,40	1,41
AM	1,03	1,35	1,40
RJ	1,04	1,34	1,40
PA	1,01	1,38	1,39
SC	0,98	1,42	1,38
DF	1,00	1,37	1,37
CE	0,98	1,35	1,33
SE	0,98	1,35	1,33
MS	0,91	1,37	1,24
AL	0,89	1,35	1,21

Fonte: Resultados da Pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Na Tabela 6, apresenta-se o Índice de Malmquist e sua decomposição, por região do Brasil. O estados de todas as regiões, em média, têm Índice de Malmquist maior que 1. A região com os estados de maior índice médio de Malmquist é a Sul (média de 1,47 e superior à média geral de 1,43), seguida pela Sudeste, Nordeste, Norte e Centro-Oeste que apresentam médias correspondentes a 1,45; 1,43; 1,42 e 1,35, respectivamente.

Tabela 6 – Média e decomposição do Índice de Malmquist, por região do Brasil

Região	Emparelhamento (Catch-up)	Deslocamento da fronteira (Frontier-shift)	Malmquist
Região Centro Oeste	0,98	1,37	1,35
DF	1,00	1,37	1,37
GO	1,03	1,39	1,44
MS	0,91	1,37	1,24
Região Norte	1,04	1,36	1,42
AC	1,08	1,35	1,46
AM	1,03	1,35	1,40
PA	1,01	1,38	1,39
Região Nordeste	1,01	1,41	1,43
AL	0,89	1,35	1,21
BA	1,05	1,43	1,51
MA	1,06	1,35	1,43
CE	0,98	1,35	1,33
PB	1,00	1,40	1,41
PE	1,07	1,50	1,60
PI	1,03	1,44	1,48
RN	1,04	1,52	1,57
SE	0,98	1,35	1,33
Região Sudeste	1,03	1,41	1,45
ES	1,02	1,44	1,46
MG	1,02	1,44	1,48
RJ	1,04	1,34	1,40
SP	1,04	1,43	1,48
Região Sul	1,01	1,45	1,47
PR	1,04	1,41	1,47
RS	1,02	1,52	1,54
SC	0,98	1,42	1,38
Média Geral	1,02	1,40	1,43

Fonte: Resultados da Pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Com relação à decomposição do Índice de Malmquist (Tabela 6), os estados da região Centro-Oeste apresentam, em média, um considerável índice de Deslocamento da Fronteira (1,37), mas obtém um índice médio de Emparelhamento (0,98) inferior à unidade; ou seja, essa região não demonstra uma melhora na eficiência em torno da média. As demais regiões apresentam, na média, um efeito deslocamento alto, mas os índices de emparelhamento são próximos à unidade, sendo de 1,01 para o Sul e o Nordeste, respectivamente; 1,03 para o Sudeste e 1,04 para o Norte. Portanto, em média, observa-se também que a produtividade das regiões brasileiras no sistema público de transplante renal aumentou entre 2006 e 2011; além disso, houve uma melhora da eficiência técnica e em termos de inovações institucionais.

Cabe destacar nessa etapa da análise os resultados encontrados por Marinho e Cardoso (2007) e Marinho (2009) sobre a eficiência no setor de transplantes renais. Esses autores mostraram que o comportamento da eficiência não foi claro ao longo dos períodos 1995-2003.

No entanto, observaram uma tendência positiva das curvas de eficiência no período 2001-2003 no modelo CCR (retornos constante de escala) e no período 2000-2004 no modelo BCC (retornos variáveis de escala). No caso do rim, o desempenho de queda no modelo de eficiência de escala, que era evidente para os demais órgãos avaliados no SNT, não foi observado.

A partir dos resultados de eficiência dessa pesquisa (modelos 1 e 2), observou-se que o estado de Santa Catarina foi classificado como ineficiente na maximização do número de transplantes renais, dado os insumos. No entanto, cabe destacar que, em 2011, segundo dados da Associação Brasileira de Transplantes de Órgãos (2012a, 2012b), essa unidade de Federação alcançou 25 doadores efetivos por milhão de habitantes, sendo classificado como o melhor resultado já obtido por um estado brasileiro. Esse resultado dependeu dos estímulos dos setores públicos locais (governo estadual), da solução de pequenas barreiras na logística do processo de identificação do doador até a realização do transplante e da relação harmônica que existe entre as equipes e a coordenação de transplantes local. Isso pode ser evidenciado nessa pesquisa por meio do Índice de Malmquist. Esse mostrou a melhora da produtividade dos estados da região Sul (inclusive Santa Catarina) com a inovação institucional.

Nessa linha de análise, Marinho, Cardoso e Almeida (2011a) avaliaram os indicadores de efetividade, produtividade e capacidade de realização de transplantes dos estados brasileiros. Os autores utilizaram os seguintes indicadores: o indicador de efetividade do atendimento das necessidades da população, mensurada pela quantidade de transplantes realizados per capita; o indicador da produtividade das equipes de transplantes, calculada a partir da razão entre a quantidade de transplantes realizados e a quantidade de equipes de transplantes; e o indicador da disponibilidade dos serviços e da capacidade de realização de transplantes, obtida da quantidade de equipes de transplantes per capita.

De acordo com os resultados de Marinho, Cardoso e Almeida (2011a), houve uma predominância da atividade transplantadora nos estados das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, destacando-se ainda os estados da Região Nordeste, principalmente Ceará e Pernambuco. São Paulo foi o destaque positivo na amostra, exibindo grande atividade transplantadora, associada a um bom desempenho relativo em todos os indicadores analisados. Esse fato foi explicado devido às questões econômicas e sociais que o estado dispõe, além do sistema organizacional de transplantes de órgãos. Os autores mostraram que nesse sistema existem as Organizações de Procura de Órgãos (OPO). Cada uma delas é responsável por uma região geográfica do estado e atuam de forma eficiente na realização dos transplantes. Medina-Pestana *et al.* (2011) também destacaram a atuação dessa unidade Federativa como positiva em relação aos baixos tempos de espera para transplantes.

Por sua vez, na região Sudeste, o estado do Rio de Janeiro apresentou resultados negativos relacionados aos indicadores analisados e parece estar em situação inferior ao potencial sanitário, humano e econômico que tem à disposição. No Rio de Janeiro, existem dificuldades para a efetivação de transplantes mesmo para os inscritos em filas de espera de transplante de rim e com compatibilidade genética, problemas que podem decorrer da falta de exame de sangue atualizado, da inexistência ou não revalidação de exames pré-transplante e da inconsistência de números telefônicos para rápida localização dos selecionados (Brasil, 2006). O Estado da Bahia também não demonstrou bons indicadores nos níveis regional e nacional, sendo justificados pela baixa taxa de doação efetiva de órgãos no estado (MARINHO; CARDOSO; ALMEIDA, 2011a).

Já Garcia e Garcia (2010) destacaram que no Centro-Oeste e no Norte, a atividade de captação e transplante de órgãos ocorre com uma intensidade menor que as demais regiões do Brasil. Portanto, as decisões políticas de gestores, o planejamento racional, a educação e a informação são elementos essenciais para estimular e tornar o processo de captação de órgãos nesses locais eficientes (CAMPUS, 2010).

Portanto, os resultados de Marinho, Cardoso e Almeida (2011a), de Brasil (2006), de Medina-Pestana *et al.* (2011) e de Garcia e Garcia (2010) coincidem com a avaliação sobre eficiência descrita nesse trabalho e corroboram os resultados encontrados. Portanto, existe a necessidade de ações governamentais, em termos administrativos e operacionais, para minimizar as diferenças na captação de órgãos e distribuição de recursos entre as regiões brasileiras para, assim, estimular a política de transplante nos estados brasileiros.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo buscou-se avaliar a eficiência dos estados brasileiros no sistema público de transplante renal entre 2006 e 2011. Para mensurá-la aplicou-se a metodologia Análise Envoltória de Dados-DEA, a partir do modelo BCC (retornos variáveis de escala) orientado ao produto. Nesse modelo usaram-se como DMUs os estados brasileiros. Destaca-se que foram estimados dois modelos, no primeiro (modelo 1) usou-se como *input*, os gastos totais (nominais) com transplantes renais e como *output*, a quantidade de rins transplantados por tais estados. No modelo 2, os insumos foram os gastos (nominais) com serviços hospitalares e serviços dos profissionais relacionados ao setor. O produto foi o mesmo do modelo 1. Além disso, esse ensaio objetivou também analisar o comportamento da eficiência ao longo do tempo, usando o Índice de Malmquist e suas decomposições (efeitos Emparelhamento e Deslocamento de Fronteira).

De acordo com os resultados da eficiência do modelo 1, dos 22 estados analisados, em 2006, apenas cinco apresentaram a eficiência máxima (*score* igual 1) no sistema de transplantes renais, sendo eles: 1) Acre, 2) Amazonas, 3) Maranhão, 4) Paraná e 5) São Paulo. Já os outros 17 estados foram classificados como ineficientes em relação aos demais (*score* maior que 1), pois os produtos de cada um deles poderiam ser expandidos, mantendo-se constante os recursos usados.

Para 2011, verificou-se que o número de estados eficientes nesse modelo, aumentou passando de 5 para 7, com destaque para Alagoas, Mato Grosso do Sul e Sergipe. Em 2006, esses eram ineficientes e, em 2011, passaram a ser vistos como eficientes na maximização do número de transplante renais. Nesse período, 14 estados apresentam um pior desempenho, sendo classificados como ineficientes. Paraná e São Paulo destacaram-se pela melhora de eficiência relativa de um ano para outro.

No modelo 2, dos 22 estados analisados em 2006, os 5 eficientes foram os mesmos do modelo 1 e o número de ineficientes correspondeu a 17. Já em 2011, evidenciou-se 7 estados eficientes e 15 ineficientes. A expansão da eficiência pode estar relacionada à especificação dos gastos que o SUS realizou com o setor de transplantes no período analisado.

A partir dos resultados do Índice de Malmquist e suas decomposições, concluiu-se que todos os estados tornaram-se mais produtivos no período 2006-2011, uma vez que nenhum deles apresentou o valor do índice menor do que 1. Cabe ressaltar que o resultado foi fortemente influenciado pelo Índice de Deslocamento de Fronteira, isto é, todos obtiveram progresso a partir das inovações institucionais implantadas com a Portaria 2.600, de 21 de outubro de 2009, instituída pelo SUS. Pode-se afirmar também que, em média, a análise da produtividade ao longo do tempo e por região do Brasil demonstrou uma tendência crescente em termos técnicos e institucionais.

Destaca-se que tais resultados são plausíveis e robustos uma vez que as metodologias DEA e Índice de Malmquist foram aplicados por diversos estudos, conforme revisão da literatura (seção 3.2) e Apêndice B, para medir a eficiência e o avanço da produtividade ao longo de períodos distintos no setor da saúde. Além disso, a partir de tais resultados o SUS pode desenvolver políticas públicas de saúde visando à maximização da eficiência e do bem estar dos pacientes no setor de transplantes renais.

Portanto, a análise de eficiência dos estados brasileiros proposto nesse artigo pode indicar a necessidade de uma melhor alocação e/ou aplicação (em termos regionais) dos recursos gastos pelo SUS na área de transplantes renais. O SUS pode, assim, coordenar e planejar ainda mais suas decisões operacionais e administrativas no processo de doação de órgãos e, assim, minimizar o problema entre a disponibilidade e a necessidade desse órgão para transplante.

A teoria econômica dos transplantes ainda se encontra em seu início, não sendo completamente explorada para análises de situações que afetam o desempenho em termos de bem estar. Tal teoria ainda necessita ser mais detalhada na área econômica, tanto do ponto de vista teórico quanto empírico. Logo, este artigo constitui-se numa pequena contribuição para que sejam desenvolvidas futuras pesquisas em tal área.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T. C.; GASPARINI, C. E. **DINÂMICA REGIONAL DA EFICIÊNCIA EM SAÚDE PÚBLICA NO BRASIL. 2010.** Disponível em: <<http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/eventos/forumbnb2010/docs/dinamica-regional.pdf>>. Acesso em: 06 Jan. 2012.
- 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. 1078-1093, 1984.
- BARROS, C.P.; MENEZES, A. G.; PEYPOCH, N.; SOLONANDRASA, B.; VIEIRA, J. C. An analysis of hospital efficiency and productivity growth using the Luenberger indicator. **Health Care Management Science**, v. 11, n. 4, p. 373-381, 2008.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de avaliação de programa: Programa Doação, Captação e Transplante de Órgãos e Tecidos.** 2006. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/690420.PDF>>. Acesso em: 10 Maio 2010.
- _____. **Portaria nº 2.600 de 21 de outubro de 2009.** 2009a. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2009/prt2601_21_10_2009.html>. Acesso em: 12 nov. 2010.
- CALVO, M. C. M. Análise da eficiência produtiva de hospitais públicos e privados no Sistema Único de Saúde (SUS). In: PIOLA, S. F.; JORGE, E. A. (Orgs.). **Economia da Saúde: 1 Prêmio Nacional – 2004: coletânea premiada.** Brasília: Ipea, DFID, 2005.
- CAMPUS, H. H. Transplante de órgãos: responsabilidade de todos. **Boletim informativo da Associação Brasileira de Transplante de Órgãos**, nº 2, ano 13, p. 13, 2010. Disponível em: <http://abto.org.br/abtov02/portugues/populacao/ABTONews/ano13_2/index.aspx?idCategoria=7>. Acesso em: 23 Nov. 2010.
- CASTRO, C. R. A ABTO e o transplante de órgãos e tecidos no Brasil: uma visão pessoal. 2005. Disponível em: <<http://www.abto.org.br/abtov02/portugues/profissionais/biblioteca/AABTOeoTransplante.aspx>>. Acesso em: 07 Ago. 2010.

- CAVES, D.W.; CHRISTENSEN, L. R.; DIEWERT, W. E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. *Econometrica*, v. 50, n. 6, p. 1393-1414, 1982.
- CESCONETTO, A.; LAPA, J. S.; CALVO, M. C. M. Avaliação da eficiência produtiva de hospitais do SUS de Santa Catarina, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, v. 24, n. 10, p. 2.407-2.417, 2008.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- CHAVES, E. M. M. **Análise de envoltória de dados no apoio da avaliação da rede ambulatorial do SUS para uma especialidade de média complexidade no município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 163 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- CHU, C-L.; CHIANG, T-L.; CHANG, R-E. Hospital competition and inpatient services efficiency in Taiwan: a longitudinal study. **Health Econ.**, v. 20, p. 1268–1280, 2011.
- CLAUSSEL, N. O.; GONÇALVES, L. F.S.; VERONESE, F. J. V. Manutenção de doadores de órgãos. In: BARRETO, S. M.; VIEIRA, S. R. R.; PINHEIRO, C. T. S. **Rotinas em terapia intensiva**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2001. 694 p.
- COOPER, W.W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. 2 ed. Springer, 2007. 490 p.
- FÄRE, R.; GROSSKOFF, S.; NORRIS, M.; ZHANG, Z. Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. **American Economic Review**, v. 84, n. 1, p. 66-83, 1994.
- FARIA, F. P.; JANNUZZI, P. M.; SILVA, S. J. Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 1, p.155-177, 2008.
- FARRELL, M.J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.
- FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 389 p.
- FONSECA, P. C.; FERREIRA, M. A. M. Investigação dos Níveis de Eficiência na Utilização de Recursos no Setor de Saúde: uma análise das microrregiões de Minas Gerais. **Saúde Soc. São Paulo**, v.18, n.2, p.199-213, 2009.
- GARCIA, V.D. GARCIA, R. L. Avaliação do sistema de transplantes renais no Estado do Rio Grande do Sul/Brasil: uma abordagem de Agente-Principal. **Medware**, n. 8, 2010. Disponível em: < <http://www.mednet.cl/link.cgi/Medwave/EstudiosOriginales/4712>>. Acesso em: 9 Ago. 2010.

- GIUFFRIDA, A.; GRAVELLE, H. Measuring Performance in Primary Care: Econometric Analysis and DEA. **Applied Economics**, v.
[http://www.informaworld.com/smpp/title~db=all~content=t713684000~tab=issueslist~branches=33 - v3333, n.2, p.163 – 175, 2001.](http://www.informaworld.com/smpp/title~db=all~content=t713684000~tab=issueslist~branches=33-v3333,n.2,p.163-175,2001)
- GONÇALVES, A. C.; NORONHA, C. P.; LINS, M. PE.; ALMEIDA, R. MVR. Análise envoltória de dados na avaliação de hospitais públicos nas capitais brasileiras. **Revista Saúde Pública**, v. 41, n. 3, p. 1-9, 2007.
- HADAD, S.; HADAD, Y.; SIMON-TUVAL, T. Determinants of healthcare system's efficiency in OECD countries. **Eur J Health Econ**, p. 1-13, 2011. Disponível em: <<http://eurpub.oxfordjournals.org/content/early/2011/11/09/eurpub.ckr163.full.pdf>>. Acesso em: 06 Jan. 2012.
- HOLLINGSWORTH, B. The measurement of efficiency and productivity of health care delivery. **Health Economics**. v. 17, p. 1107–1128, 2008.
- _____; DAWSON, P. J. MANIADAKIS, N. Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications. **Health Care Management Science**, v. 2, p. 161-172, 1999.
- KIRIGIA, J. M.; EMROUZNEJAD, A.; CASSOMA, B.; ASBU, E. Z.; BARRY, S. A Performance Assessment Method for Hospitals: The Case of Municipal Hospitals in Angola. **J Med Syst**, v. 32, p.509–519, 2008.
- KONTODIMOPOULOS, N.; PAPATHANASIOU, N. D.; TOUNTAS, Y.; NIAKAS, D. Separating managerial inefficiency from influences of the operating environment: an application in dialysis. **Journal of Medical Systems**, v. 34, n. 3, p. 397-405, 2010.
- _____; NIAKAS, D. Efficiency measurement of hemodialysis units in Greece with data envelopment analysis. **Health Policy**, v. 71, p. 195-204, 2005.
- KRISTENSEN, T.; BOGETOFT, P.; PEDERSEN, K. M. Potential gains from hospital mergers in Denmark. **Health Care Management Science**, Online First™, 2010. Disponível em: < www.springerlink.com/index/x145r00308414778.pdf>. Acesso em: 7 Ago. 2011.
- LANGABEER II, J. R.; OZCAN, Y. A. The economics of cancer care: longitudinal changes in provider efficiency. **Health Care Manag Sci**, v. 12, p. 192–200, 2009.
- LINNA, M. Measuring hospital cost efficiency with panel data models. **Health Economics**, v. 7, p. 415–427, 1998.
- LINS, M. E.; LOBO, M. S.C.; SILVA, A. C. M.; FIZMAN, R.; RIBEIRO, V. J. P. O uso da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de hospitais universitários brasileiros. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 12, n.4, p. 985-998, 2007.
- LOBO, A. S. C.; OZCAN, Y. A.; SILVA, A. C. M.; LINS, M. P. E.; FIZMAN, R. Financing reform and productivity change in Brazilian teaching hospitals: Malmquist approach. **CEJOR**, v. 18, p. 141–152, 2009.

LOBO, M. S. C.; LINS, M. P. E. Avaliação da eficiência dos serviços de saúde por meio da análise envoltória de dados. **Cad. Saúde Colet.**; v. 19, n. 1, p. 93-102, 2011.

MALMQUIST, S. Index numbers and indifference curves. **Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa**, v. 4, n.1, p. 209-242, 1953.

MARINHO, A.. Avaliação da eficiência técnica nos serviços de saúde nos municípios do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Economia**, v. 57, n. 2, p. 515-534, 2003

_____. Hospitais universitários: indicadores de utilização e análise da eficiência. **IPEA**: Rio de Janeiro, 2001 (Texto para discussão, 833).

_____. Um estudo sobre as filas para transplantes no Sistema Único de Saúde brasileiro. **Caderno de Saúde Pública**, v. 22, n. 10, p. 2229-2239, 2006.

_____. Estado de uma nação: texto de apoio - A situação dos transplantes de órgãos no Brasil. **IPEA**: Rio de Janeiro, 2009 (Texto para discussão, 1389).

MARINHO, A.; CARDOSO, S. S.; ALMEIDA, V. V. Os transplantes de órgãos nos estados brasileiros. **IPEA**: Rio de Janeiro, 2007 (Texto para discussão, 1317).

_____. Efetividade, produtividade e capacidade de realização de transplantes de órgãos nos estados brasileiros. **Caderno de Saúde Pública**, v. 27, n. 8, p. 1560-1568, 2011a.

MARINHO, A.; CARDOSO, S. S. Avaliação da eficiência técnica e da eficiência de escala do sistema nacional de transplantes. **IPEA**: Rio de Janeiro, 2007 (Texto para discussão, 1260).

MARINHO, A.; FAÇANHA, L. O. Hospitais universitários: avaliação comparativa de eficiência técnica. **IPEA**: Rio de Janeiro, 2001 (Texto para discussão, 805).

MATTIA, A. L. D.; ROCHA, A. D. M.; FREITAS FILHO, J. P. A.; BARBOSA, M. H.; RODRIGUES, M. B.; OLIVEIRA, M. G. Análise das dificuldades no processo de doação de órgãos: uma visão integrativa da literatura. **Revista Bioethikos**, v. 4, n.1, p. 66-74, 2010. Disponível em: < <http://www.saocamilo-sp.br/pdf/bioethikos/73/66a74.pdf>>. Acesso em: 7 Ago. 2010.

MEDINA-PESTANA, J. O.; GALANTE, N. Z.; TEDESCO-SILVA Jr.; GARCIA, V. D.; ABBUD-FILHO, M.; CAMPOS, H. H.; SABBAGA, E. O contexto do transplante renal no Brasil e sua disparidade geográfica. **Jornal Brasileiro de Nefrologia**, v. 33, n. 4, p. 472-484, 2011.

MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. **Curso de análise de envoltória de dados**. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional-SBPO: Pesquisa Operacional e Desenvolvimento Sustentável, 2005. Disponível em:< http://www.uff.br/decisao/sbpo2005_curso.pdf>. Acesso em: 07 Ago de 2010.

MILLIKEN, O.; DEVLIN, R. A.; BARHAM, V.; HOGG, W.; DAHROUGE, S.; RUSSELL, G. Comparative Efficiency Assessment of Primary Care Models Using Data Envelopment Analysis. **Working Papers n° 0802E**. University of Ottawa, Ottawa, Canada,

2008. Disponível em: <<http://www.socialsciences.uottawa.ca/eco/eng/documents/0802E.pdf>>. Acesso em: 04 Jan. 2012.

NING, Z.; HU ANGANG, HU.; JINGHAI, Z. Using Data Envelopment Analysis approach to estimate the health production efficiencies in China. **Front. Econ. China**, v. 2, n. 1, p. 1–23, 2007.

NUTI, S.; DARAIIO, C.; SPERONI, C.; VAINIERI, M. Relationships between technical efficiency and the quality and costs of health care in Italy. **International Journal for Quality in Health Care**, v. 23, n. 3; p. 324–330. 20011.

OSEI, D.; ALMEIDA, S.; GEORGE, M. O.; KIRIGIA, J. M.; MENSAH, A. O.; KAINYU, L. H. Technical efficiency of public district hospitals and health centres in Ghana: a pilot study. **Cost Effectiveness and Resource Allocation**, v. 3, n.9, p. 1-13, 2005.

OZCAN, Y. A.; BEGUN, J. W.; MCKINNEY, M. M. Benchmarking Organ Procurement Organizations: A National Study. **Health Services Research**, v.34, n. 4, p. 855-874, 1999.

ÖZGEN, H.; SAHIN, I. Measurement of efficiency of the dialysis sector in Turkey using data envelopment analysis. **Health Policy**, v. 95, p. 185–193, 2010.

PEÑA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envoltória de Dados (DEA). **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 12, n.1, p. 83-106, 2008.

PHAM, T. L. Efficiency and productivity of hospitals in Vietnam. **Journal of Health Organization and Management**, v. 25, n. 2, p. 195-213, 2011.

SANTOS, C. M.; GOMES, A. P.; DIAS, R. S.; BAPTISTA, A. J. M. **Identificação de disparidades regionais nos serviços de saúde em Minas Gerais**. 2008. Disponível em: <http://www.cedeplar.ufmg.br/seminarios/seminario_diamantina/2008/D08A057.pdf>. Acesso em: 3 Jun. 2010.

SILVA, E. N. **Ensaio em Economia da saúde: transplantes de rim**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 110 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SOMMERSGUTER-REICHMANN, M. The impact of the Austrian hospital financing reform on hospital productivity: empirical evidence on efficiency and technology changes using a non-parametric input-based Malmquist approach. **Health Care Management Science**, v. 3, p. 309–321, 2000.

SULKU, S. N. The health sector reforms and the efficiency of public hospitals in Turkey: provincial markets. **European Journal of Public Health**, p. 1-5, 2011.

THANASSOULIS, E. **Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis: a foundation text with integrated software**. New York, USA: Editora Springer, 2003. 281 p.

TLOTLEGO, N.; NONVIGNON, J.; SAMBO, L. G.; ASBU, E. Z.; KIRIGIA, J. M. Assessment of productivity of hospitals in Botswana: A DEA application. **International Archives of Medicine**, v. 3, n. 27, p. 1-14, 2010.

TONE, K. Malmquist production index: efficiency change over time. In: Cooper, W. W.; SEIFORD, L. M. ZHU, J. **Handbook on data envelopment analysis**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004, cap. 8.

VARELA, P. S.; MARTINS, G. A.; FÁVERO, L. P. L. Production efficiency and financing of public health: an analysis of small municipalities in the state of São Paulo — Brazil. **Health Care Manag Sci**, v.13, p.112–123, 2010.

WENG, S-J.; WU, T.; BLACKHURST, J.; MACKULAK, G. An extended DEA model for hospital performance evaluation and improvement. **Health Services and Outcomes Research Methodology**, v. 9, n. 1, p. 39-53, 2009.

ZERE, E.; MCINTURE, D.; ADDISON, T. Technical efficiency and productivity of public sector hospitals in three South African provinces. **South African Journal of Economics**, v. 69, n. 2, p. 336–358, 2001.

APÊNDICE A - Relação dos 22 estados brasileiros e variáveis insumo e produto para a DEA-2006

DMU's - 2006	Insumos {I}			Produto{O}
	GSHospitales {I}	GSProfissionais{I}	Gtotal {I}	QTRenal{O}
AC	27.660,46	5.189,99	32.850,45	2
AL	139.769,10	29.064,30	168.833,40	10
AM	232.439,31	49.306,29	281.745,60	19
BA	694.381,18	135.979,07	830.360,25	47
CE	1.690.888,93	357.481,93	2.048.370,86	115
DF	489.220,48	101.464,98	590.685,46	34
ES	816.928,15	150.770,11	967.698,26	50
GO	1.065.039,89	216.165,82	1.281.205,71	74
MA	366.055,47	76.034,57	442.090,04	29
MG	4.343.492,08	862.181,83	5.205.673,91	284
MS	545.771,46	106.915,21	652.686,67	37
PA	650.164,34	133.123,50	783.287,84	42
PB	242.802,39	48.786,48	291.588,87	17
PE	1.745.415,28	322.559,79	2.067.975,07	106
PI	366.988,77	65.913,59	432.902,36	23
PR	2.940.763,83	588.887,63	3.529.651,46	213
RJ	1.013.340,78	226.547,57	1.239.888,35	73
RN	228.379,45	47.748,57	276.128,02	16
RS	4.013.012,06	759.502,83	4.772.514,89	242
SC	2.515.850,44	490.158,79	3.006.009,23	154
SE	144.455,01	30.621,13	175.076,14	10
SP	17.340.550,39	3.508.666,00	20.849.216,39	1.197

Fonte: Brasil (2011a, 2011b). Elaboração da autora. * GSHospitalares – gastos com serviços hospitalares; GSProfissionais – gastos com serviços profissionais; GTotal – gasto total com transplantes renais e QTRenal – quantidade de transplantes renais.

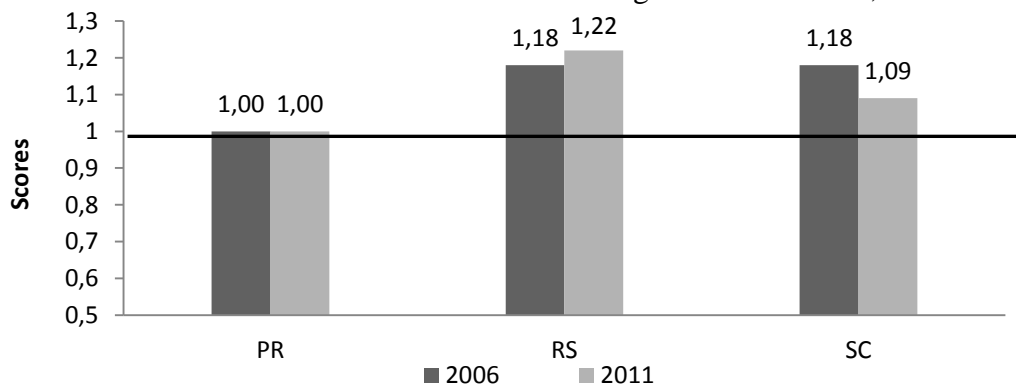
APÊNDICE B - Relação dos 22 estados brasileiros e variáveis insumo e produto para a DEA-2011

DMU's - 2011	Insumos			Produto
	GSHospitales{I}	GSProfissionais{I}	Gtotal{I}	QTRenal{O}
AC	235.268,04	75.882,40	311.150,44	16
AL	190.678,14	59.671,60	250.349,74	14
AM	253.666,98	84.604,95	338.271,93	18
BA	1.332.580,51	370.451,86	1.703.032,37	74
CE	3.339.446,56	1.065.407,10	4.404.853,66	208
DF	480.630,36	147.615,09	628.245,45	30
ES	1.494.434,84	413.490,49	1.907.925,33	82
GO	1.681.686,11	495.588,10	2.177.274,21	100
MA	919.889,52	299.183,28	1.219.072,80	63
MG	8.499.358,34	2.343.347,82	10.842.706,16	459
MS	337.638,09	103.642,66	441.280,75	24
PA	839.107,07	252.028,50	1.091.135,57	48
PB	471.449,10	136.921,20	608.370,30	29
PE	3.922.452,87	1.002.015,50	4.924.468,37	188
PI	541.467,59	150.112,48	691.580,07	31
PR	5.900.350,12	1.696.705,90	7.597.056,02	358
RJ	3.058.770,03	918.699,78	3.977.469,81	183
RN	1.040.866,11	259.288,14	1.300.154,25	51
RS	9.007.545,86	2.242.791,01	11.250.336,87	427
SC	4.901.918,12	1.392.255,60	6.294.173,72	273
SE	110.619,00	35.749,88	146.368,88	7
SP	31.005.889,09	8.651.898,02	39.657.787,11	1.736

Fonte: Brasil (2011a, 2011b). Elaboração da autora. * GSHospitales – gastos com serviços hospitalares; GSProfissionais – gastos com serviços profissionais; GTotal – gasto total com transplantes renais e QTRenal – quantidade de transplantes renais.

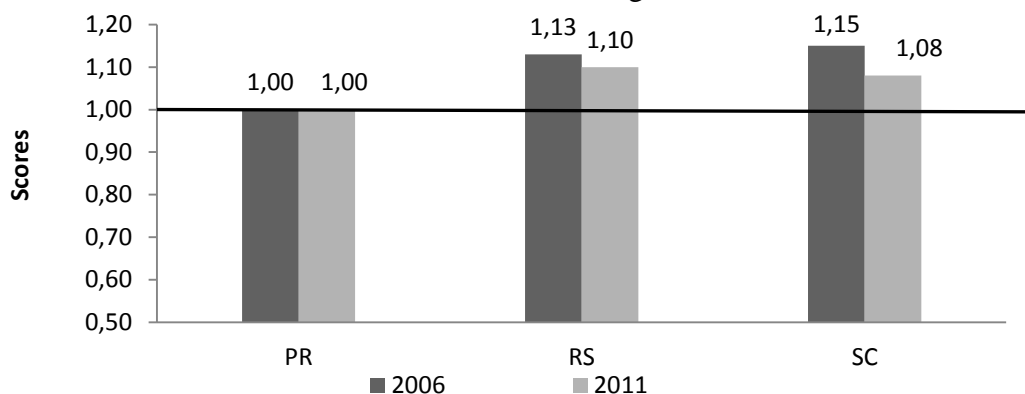
APÊNDICE C – Gráficos dos *scores* de eficiência, por região e estado brasileiro – modelo 1 e 2 - 2006-2011

Gráfico C1 - *Scores* de eficiência dos estados da região Sul-modelo 1, 2006 e 2011



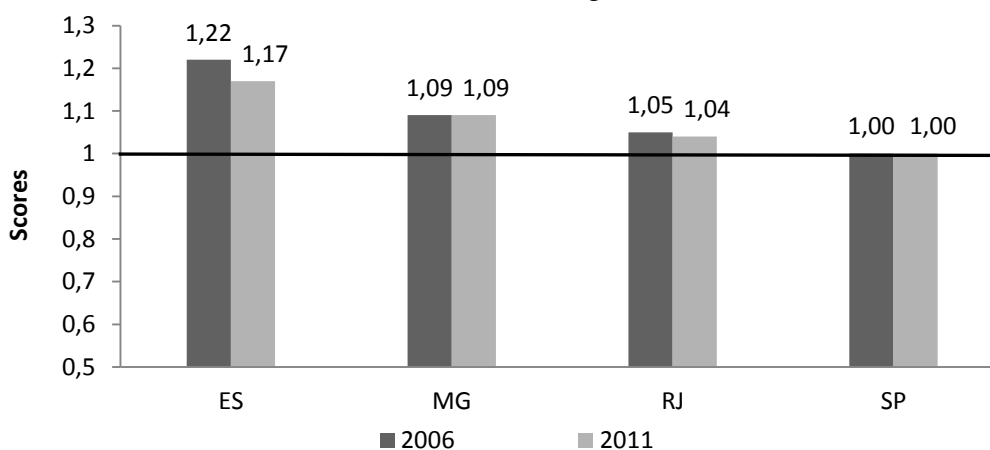
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C2- Scores de eficiência dos estados da região Sul- modelo 2, 2006 e 2011



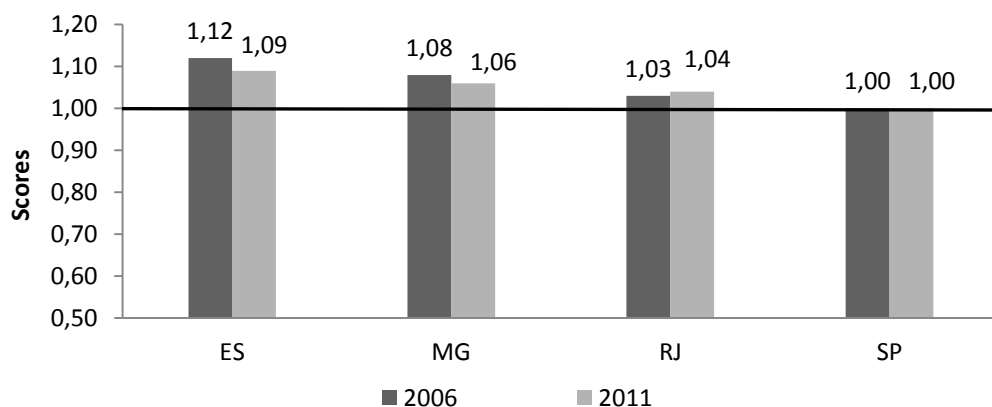
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C3- Scores de eficiência dos estados da região Sudeste- modelo 1, 2006 e 2011



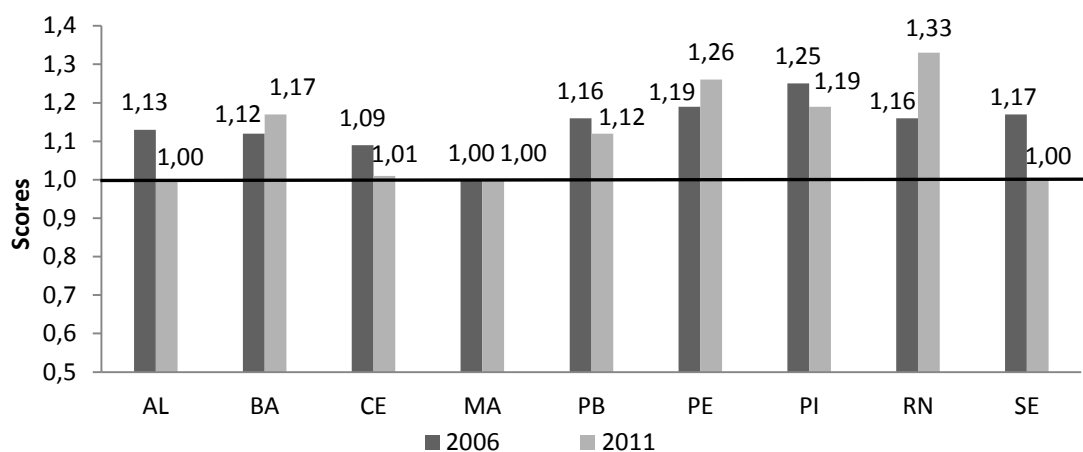
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C4- Scores de eficiência dos estados da região Sudeste- modelo 2, 2006 e 2011



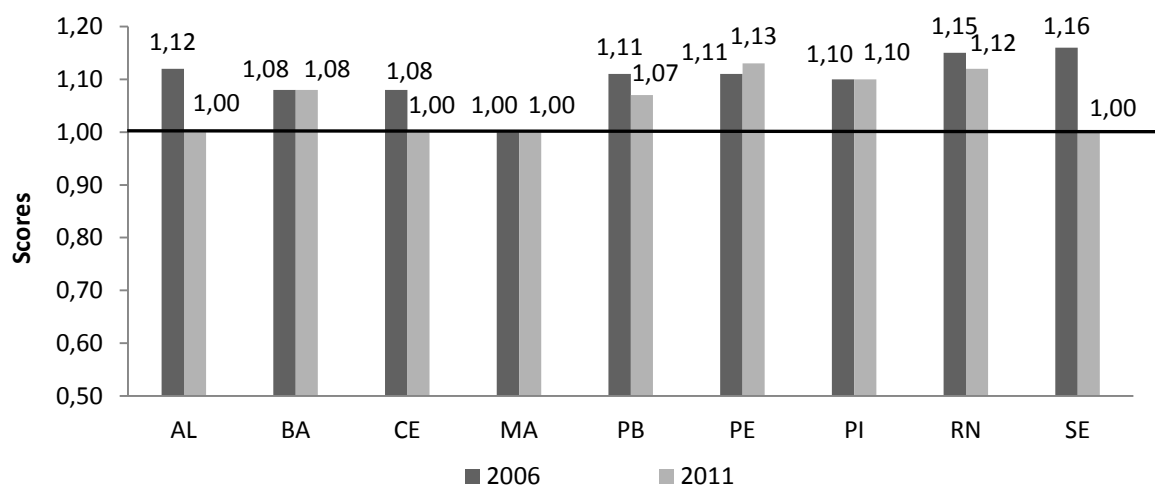
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C5- Scores de eficiência dos estados da região Nordeste- modelo 1, 2006 e 2011



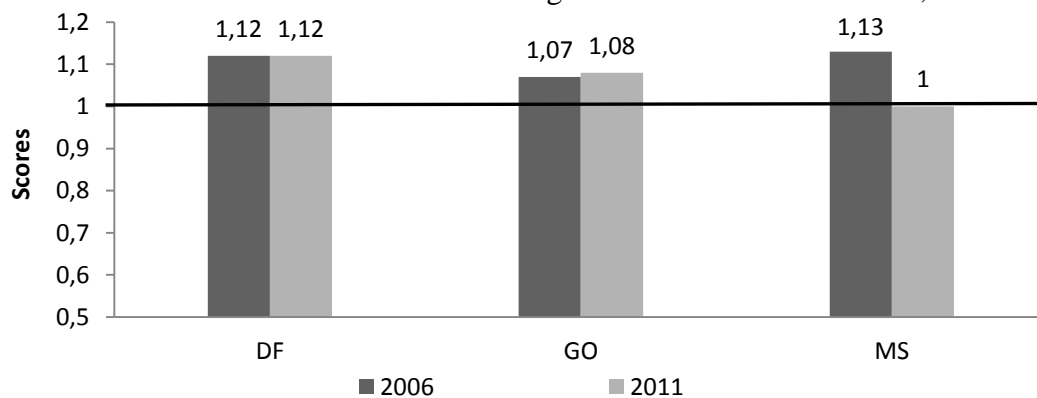
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C6- Scores de eficiência dos estados da região Nordeste- modelo 2, 2006 e 2011



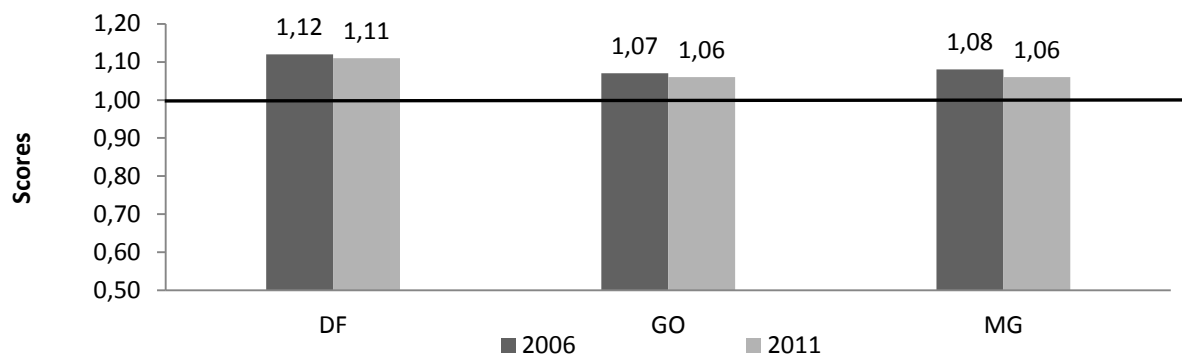
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C7 - Scores de eficiência dos estados da região Centro-Oeste- modelo 1, 2006 e 2011



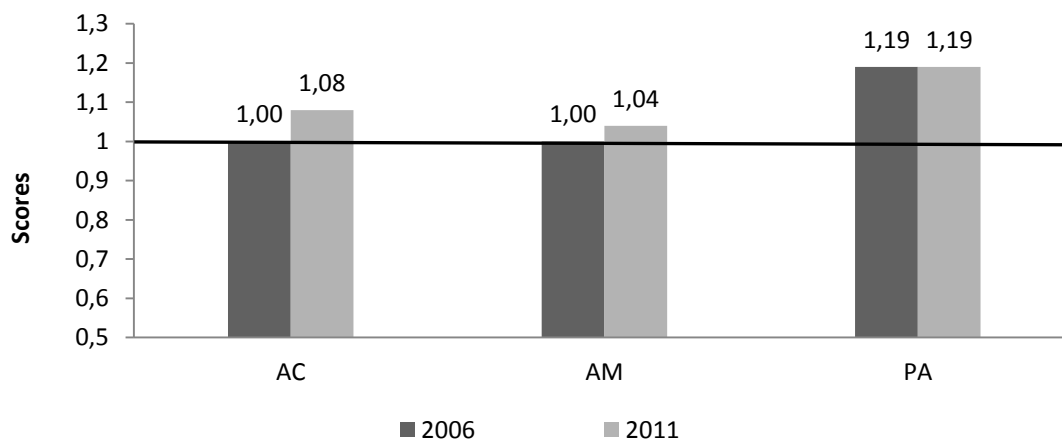
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C8 - Scores de eficiência dos estados da região Centro-Oeste- modelo 2, 2006 e 2011



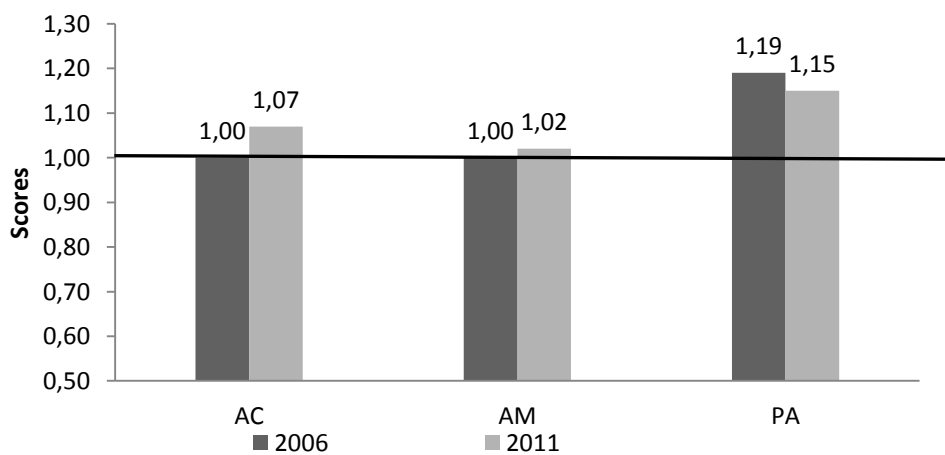
Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C9 - Scores de eficiência dos estados da região Norte- modelo 1, 2006 e 2011



Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

Gráfico C10 - Scores de eficiência dos estados da região Norte- modelo 2, 2006 e 2011



Fonte: Resultados da pesquisa (2012). Elaboração da autora.

APÊNDICE D– Resultados do Índice de Malmquist e suas decomposições para os estados brasileiros (2006-2011) – modelo 1

Estados	Emparelhamento (<i>Catch-up</i>)	Deslocamento da fronteira (<i>Frontier-shift</i>)	Malmquist
RN	1,22	1,21	1,48
PE	1,11	1,21	1,34
RS	1,11	1,21	1,34
BA	1,08	1,21	1,31
MG	1,07	1,21	1,29
AM	1,06	1,21	1,28
PR	1,06	1,21	1,28
RJ	1,06	1,21	1,28
MA	1,05	1,21	1,27
GO	1,04	1,21	1,26
PA	1,01	1,21	1,22
PB	1,01	1,21	1,22
CE	0,99	1,21	1,20
DF	0,99	1,21	1,20
ES	0,99	1,21	1,20
SE	0,99	1,21	1,20
AC	0,98	1,21	1,19
PI	0,98	1,21	1,19
SC	0,98	1,21	1,19
SP	0,98	1,21	1,19
AL	0,88	1,21	1,06
MS	0,86	1,21	1,04

Fonte: Resultados da Pesquisa (2012). Elaboração da autora.