



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO



LEANDRO DA SILVA COUTINHO

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO EM REDE PARA *BENCHMARKING* DE
PRODUTIVIDADE ACADÊMICA: UM ESTUDO COM
PROGRAMAS *STRICTO SENSU***

Volta Redonda/RJ

2017

LEANDRO DA SILVA COUTINHO

**PROPOSIÇÃO DE UM MODELO EM REDE PARA *BENCHMARKING* DE
PRODUTIVIDADE ACADÊMICA: UM ESTUDO COM
PROGRAMAS *STRICTO SENSU***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Pauli Adriano de Almada Garcia

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo da Silva Motta

Volta Redonda/RJ

2017

C871 Coutinho, Leandro da Silva
Proposição de um modelo em rede para *Benchmarking* de
produtividade acadêmica: um estudo com programas *stricto sensu* /
Leandro da Silva Coutinho. – 2017.
98 f.

Orientador: Pauli Adriano de Almada Garcia
Coorientador: Gustavo da Silva Motta
Dissertação (Mestrado Profissional em Administração). –
Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal
Fluminense, Volta Redonda, 2017.

1. Eficiência em rede. 2. Network. 3. Avaliação em pós-
graduação.
I. Universidade Federal Fluminense. II. Garcia, Adriano de Almada,
orientador. III. Motta, Gustavo da Silva, coorientador. IV. Título

CDD 378

LEANDRO DA SILVA COUTINHO

PROPOSIÇÃO DE UM MODELO EM REDE PARA *BENCHMARKING*
DE PRODUTIVIDADE ACADÊMICA: Um Estudo Com
Programas *Stricto Sensu*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração.

BANCA EXAMINADORA (11 de Agosto de 2017)



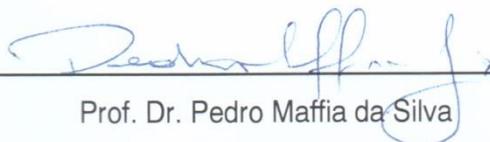
Prof. Dr. Pauli Adriano de Almada Garcia - (Orientador)
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Gustavo da Silva Motta - (Coorientador)
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Murilo Alvarenga Oliveira
Universidade Federal Fluminense - UFF



Prof. Dr. Pedro Maffia da Silva
Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN

A

Giseli, minha querida esposa, por todo seu apoio, compreensão e paciência.

Davi e Liz, meus queridos filhos, pelo amor incondicional.

Paulo e Vânia, meus pais, por todas as palavras de apoio e orações.

AGRADECIMENTOS

A Deus, todo poderoso, por guiar meus passos e fazer com que todas as coisas cooperem para meu favor.

Ao professor Pauli Garcia por ter sido um excelente orientador e pela oportunidade de aprendizado e desenvolvimento.

Ao professor Gustavo Motta por ter contribuído ativamente para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores Murilo Oliveira e Pedro Silva por participarem da banca e por terem sugerido excelentes contribuições.

A todos os professores e funcionários envolvidos com o mestrado, por todo profissionalismo e dedicação de suas atividades.

A todos os colegas de mestrado, de maneira especial Thiago Nardini e Rômulo Tavares, por todo incentivo e contribuições.

Aos colegas de trabalho do STI/VCX, em especial Edgar Júnior, por toda parceria.

A todos meus amigos e familiares, por toda compreensão e incentivo.

A Universidade Federal Fluminense, pelo apoio durante o mestrado.

RESUMO

A presente dissertação propõe um modelo para avaliação de eficiência baseada em modelo DEA em rede, considerando-se duas etapas com ótica *output*, *input* intermediário exógeno e projeção nas fronteiras para identificação de melhorias. Com o intuito de demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto e tendo em vista a relevância das avaliações dos Programas de Pós-Graduação (PPG), o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a eficiência em produtividade e qualidade dos PPG *stricto sensu* – da área Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo – considerando a rede de colaboração. Dessa forma, um modelo de eficiência em duas etapas foi utilizado, onde na etapa 1 foi avaliada a produtividade dos programas, representada pelas dissertações e teses, e na etapa 2 foi avaliada a qualidade desses programas, representada pelas qualificações de suas respectivas produções intelectuais. Como *input* exógeno, foi considerada uma medida de centralidade das redes de colaboração dos programas sob análise, tendo em vista considerar que essas redes influenciam na produtividade e demonstram, parcialmente, suas respectivas inserções sociais. A abordagem em rede proposta trouxe contribuições com a decomposição da eficiência dos PPG, possibilitando lidar com a entrada exógena intermediária e projeção na fronteira para os programas não eficientes. Além disso, o trabalho resultou em um aplicativo desenvolvido no Microsoft Excel para a resolução de alguns modelos NDEA duas-etapas, incluindo o aqui proposto que não tinha sido apresentado ainda na literatura.

Palavras-chave: Eficiência em rede. Network DEA. Avaliação em Pós-graduação.

ABSTRACT

The present dissertation proposes a model for evaluation of efficiency based on Network DEA model, considering two steps with output orientation, exogenous intermediate input and frontier projection to identify improvements. In order to demonstrate the applicability of the proposed model and taking into consideration the relevance of the evaluations of the Postgraduate Programs (PPG), the general objective of the present work was to evaluate the efficiency in productivity and quality of PPG *stricto sensu* – Public Administration and Business, Accounting and Tourism – considering the collaboration network. In this way, a two-stage efficiency model was used, in which stage 1 was evaluated the productivity of the programs, represented by dissertations and theses, and in stage 2 the quality of these programs was evaluated, represented by the qualifications of their respective intellectual productions. As an exogenous input, it was considered a measure of centrality of the collaboration networks of the programs under analysis, considering that these networks influence productivity and partially demonstrate their respective social insertions. The proposed Network DEA approach has brought contributions with the decomposition of PPG efficiency, making it possible to deal with the exogenous intermediate input and frontier projection for non-efficient programs. In addition, the work resulted in an application developed in Microsoft Excel for the resolution of some two-stage NDEA models, and might serve the PPG.

Keywords: Efficiency Network. Network DEA. Postgraduate Evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de Projeção.....	31
Figura 2 - Modelo NDEA em duas etapas - Adaptada de Chen et al. (2009).....	34
Figura 3 - NDEA duas-etapas geral.....	42
Figura 4 - Modelo conceitual para avaliação da eficiência.	56
Figura 5 - Etapas dos Procedimentos Metodológicos.	58
Figura 6 - Grafo da rede de colaboração da área ACT/CAPES.	73
Figura 7 - Grafo da rede de colaboração dos PPG que tiveram teses e dissertações defendidas.	74
Figura 8 - NDEA duas-etapas geral.....	76
Figura 9 - Tela para escolhas dos modelos NDEA duas-etapas.....	97
Figura 10 - Tela NDEA Kao e Hwng (2008).	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrato Qualis da área ACT/CAPES.	26
Quadro 2 - Conceitos básicos de análise de rede	47
Quadro 3 - Perspectivas da rede de colaboração.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de DMU com duas entradas e uma saída	31
Tabela 2 - Correlação entre medidas de centralidade e medidas de desempenho ...	73
Tabela 3 - Centralidade de Grau dos PPG.....	74
Tabela 4 - Dados PPG	75
Tabela 5 - Resultado NDEA duas-etapas geral sem restrição.....	77
Tabela 6 - Resultado NDEA duas-etapas geral com restrição.....	79

LISTA DE SIGLAS

ACT/CAPEs – Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo.

ARS – Análise de Redes Sociais.

CAPEs – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

CFE – Conselho Federal de Educação.

CRS – *Constant Returns to Scale*.

DEA – *Data Envelopment Analysis*.

DMU – *Decision Making Units*.

IES – Instituição de Ensino Superior.

NDEA – *Network Data Envelopment Analysis*.

PPG – Programa de Pós-graduação.

PPL – Problema de Programação Linear.

SFA – *Stochastic Frontier Analysis*.

UFF – Universidade Federal Fluminense.

VRS – *Variable Returns to Scale*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização.....	14
1.2	Objetivos Geral e Específicos	20
1.3	Justificativa	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Avaliação dos PPG	23
2.2	Análise Envoltória de Dados	27
2.2.1	<i>Network</i> DEA	31
2.2.1.1	Duas-etapas Básico.....	34
2.2.1.2	Duas-etapas Geral.....	41
2.2.2	Trabalhos DEA na Educação	43
2.3	Rede de Colaboração	46
2.3.1	Análise de Redes Sociais.....	47
2.3.2	Trabalhos de ARS	51
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	54
3.1	Levantamento dos dados.....	58
3.1.1	Rede de Colaboração.....	59
3.1.2	<i>Network</i> DEA	60
3.2	Organização dos Dados	61
3.2.1	Rede de colaboração.....	61
3.2.2	<i>Network</i> DEA	61
3.3	Procedimentos para Análise dos Dados.....	62
3.3.1	Rede de Colaboração.....	62
3.3.2	Análise Envoltória de Dados.....	64
3.3.2.1	Escolha das DMU	65
3.3.2.2	Seleção das Entradas e Saídas	65
3.3.2.3	Tipo de Modelo	67
3.4	Apresentação dos Dados	71
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	72
4.1	Rede de Colaboração	72
4.2	NDEA Duas-etapas.....	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
6	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE	96

1 INTRODUÇÃO

Esta seção introduz o presente trabalho dividido nas seguintes subseções: 1) Contextualização; 2) Objetivos Geral e Específicos; e 3) Justificativa.

1.1 Contextualização

Os Programas de Pós-graduação (PPG) brasileiros são considerados fundamentais para o desenvolvimento do país. Estão atribuídas aos PPG as responsabilidades do desenvolvimento da pesquisa científica e da formação de professores para atender com qualidade a expansão do ensino superior (KUENZER e MORAES, 2005). Como pode ser visto em CAPES (2013), há um crescente número de oferta de cursos de pós-graduação *stricto sensu*. É natural que com esse crescimento haja uma preocupação com a qualidade e desenvolvimento desses programas, seja por parte da equipe envolvida com o programa ou por parte do governo federal.

Especificamente por parte do governo federal brasileiro, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) é o órgão que realiza a avaliação dos PPG. Essa avaliação, que ocorre desde 1976, é um instrumento utilizado pelo Sistema Nacional de Pós-Graduação principalmente para duas finalidades: **i)** identificar os cursos que obterão o reconhecimento para iniciarem o funcionamento ou os cursos que obterão a renovação para continuarem funcionando; **ii)** fomento, tanto por parte das agências brasileiras, vários setores governamentais e não governamentais, bem como dos organismos internacionais (CAPES, 2014). As avaliações são realizadas por área de avaliação, sendo que os programas de Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo (ACT/CAPES) formam juntos uma dessas áreas.

Para cenário internacional, Abbasi, Altmann e Hossain (2011) relatam que os professores ou programas comumente são medidos por meio de um conjunto de métricas que estão relacionadas ao desempenho acadêmico. Já Leta (2011), observa que o desempenho científico brasileiro passou a ser medido e avaliado por

parâmetros objetivos. Segundo Costa et al. (2010), tem-se um modo de avaliação geralmente com foco nos resultados. Conforme Souza e Paula (2002) a produção intelectual, entre outros quesitos que fazem referência ao desempenho dos PPG, pode ser considerada como a principal medida para determinar a qualidade desses cursos.

Nesse sentido, para o caso dos programas da área ACT/CAPES, observa-se que CAPES considera cinco quesitos de avaliação: Proposta do Programa; Corpo Docente; Corpo Discente e Trabalho de Conclusão; Produção Intelectual; e Inserção Social. Esses quesitos são subdivididos em itens de avaliação. Os resultados envolvidos nos quesitos Produção Intelectual e Corpo Discente e Trabalho de Conclusão recebem considerável importância entre as demais quesitos avaliados, uma vez que os pesos atribuídos a esses quesitos compreendem 35% e 30%, respectivamente, do total avaliado entre os programas acadêmicos (CAPES, 2013).

Conforme Costa et al. (2010), em se tratando de novos PPG, esses programas inevitavelmente terão seus resultados comparados à programas já existentes. Conforme CAPES (2016), os cursos com os mesmos conceitos precisam apresentar resultados semelhantes. Ainda de acordo com CAPES (2016), no quesito Produção Intelectual, considera-se o desempenho dos outros programas da área quando alguns itens de avaliação são computados.

Dessa forma, como a avaliação é comparativa (CAPES, 2017), é possível perceber que a eficiência relativa pode ser usada como uma ferramenta complementar de gestão para os PPG. Segundo Kao (2017) a avaliação da eficiência possibilita tanto um melhor entendimento das realizações passadas quanto planejamento futuro visando aprimoramento, vindo a ser uma importante aliada nas atividades de gestão. Esse conceito de eficiência vai ao encontro com a proposta de desenvolvimento para os PPG brasileiros, onde a busca pelo contínuo aperfeiçoamento foi levantada como um dos princípios base para o sistema de avaliação até 2020 (CAPES, 2010).

Breu e Raab (1994) destacam ainda que com a preocupação da qualidade do ensino fornecido e com a limitação orçamentária das instituições os gestores das instituições de ensino tornam-se mais dispostos a aceitar o conceito de eficiência e a sua mensuração como instrumento de apoio à gestão. Sabendo que o público em geral e o governo se interessam pela eficiência nas instituições, conhecer os

principais pontos de melhoria, com base em instituições de referência, possibilita o aprimoramento dessa eficiência, alcançando assim o pleno potencial da instituição (ABBOTT e DOUCOULIAGOS, 2003). Conforme Oliveira (2011), o acompanhamento da eficiência possibilita aprimorar o desempenho operacional e direcionado para uma melhoria contínua. Johnes (2015) argumenta que o aprimoramento da eficiência é uma meta global e medir a eficiência torna-se parte importante para alcançar essa meta. Entretanto, como a avaliação da CAPES está baseada na qualidade dos programas, ela não considera a eficiência na transformação das múltiplas entradas em múltiplas saídas dos PPG. Além disso, por meio da avaliação da eficiência relativa, é possível complementar o relatório de avaliação da CAPES com informações objetivas de pontos de melhoria para os programas de pós-graduação.

A Análise Envoltória de Dados ou *Data Envelopment Analysis* (DEA) pode ser utilizada para avaliar a eficiência relativa dos PPG da área ACT/CAPES. Afonso e Santos (2008) observaram que a DEA pode ser útil ao gestor dos PPG, pois possibilita a separação dos cursos com melhor desempenho (eficiência) e os que ainda podem realizar alguma melhoria. Conforme Moreira et al. (2009), o estudo dos PPG considerados referência na avaliação da eficiência pode trazer informações que podem ser utilizadas no processo de aperfeiçoamento dos programas menos eficientes.

A DEA obtém uma medida de eficiência relativa entre todas as Unidades Tomadoras de Decisão ou *Decision Making Units* (DMU) consideradas na avaliação. Além disso, cria uma fronteira de eficiência formada pelas DMU que se destacaram, oferecendo assim referência de melhoria para as DMU que não se destacaram. Ainda que a DEA seja utilizada para análise de eficiência em diversos contextos, segundo Emrouznejad, Parker e Tavares (2008), a educação tem sido um dos mais predominantes.

Para o cenário brasileiro, Casado (2007) apresentou um levantamento dos trabalhos que utilizaram DEA no contexto da educação. Especificamente no contexto da pós-graduação, pode-se citar os trabalhos de Angulo Meza et al. (2003), Lins, Almeida e Junior (2004), Moreira (2008), Oliveira (2011), Paiva (2000), Soares de Mello et al. (2003), Moreira et al. (2010). Cada um apresentando suas contribuições sobre o tema. Entretanto, nenhum desses trabalhos levou em consideração etapas

intermediárias que podem ser consideradas na avaliação da eficiência nesse contexto.

A DEA tradicional calcula a eficiência como uma caixa preta, onde entradas são convertidas saídas sem levar em consideração como isso ocorre (JOHNES, 2013). Contudo, há sistemas onde o cálculo da eficiência pode ser decomposto em etapas, devido a inter-relações existentes entre os processos. Em um modelo de avaliação de desempenho, onde não são consideradas essas interações, pode ocorrer perda de informação pertinente à análise (JOHNES, 2013). Monfared e Safi (2013) argumentam que a DEA tradicional não possibilita verificar as relações de ineficiências entre as etapas.

Como reação desses sistemas, a *Network DEA* (NDEA) foi proposta. Dessa forma, com a NDEA começa-se a considerar as inter-relações que podem existir entre os processos na modelagem da eficiência dos sistemas. Johnes (2015) argumenta que a NDEA pode ser útil quando aplicada no contexto da educação.

Assim sendo, na construção do modelo de avaliação de eficiência dos PPG com foco em produção intelectual, pode ser considerado que os professores desses programas, como uma de suas atividades de ensino, orientam teses e dissertações. Entretanto, essas mesmas teses e dissertações podem ser consideradas insumos (entradas) para as atividades de pesquisa, uma vez que esses trabalhos – ou a pesquisa realizada para confecção desses trabalhos – podem ser convertidos em publicações de artigos científicos. Nesse sentido, é possível decompor a avaliação da eficiência em duas etapas – ensino e pesquisa – onde o modelo de eficiência apresenta uma estrutura interna (teses e dissertações) que liga essas etapas. Além da contribuição destacada por Johnes (2015), Kao (2014) argumentou que os resultados da avaliação da eficiência podem ser mascarados quando não são consideradas as estruturas internas das DMU.

Seguindo essa linha de entendimento, o trabalho de GOMES JUNIOR et al. (2014) utilizou a NDEA duas-etapas para mensurar a eficiência dos PPG brasileiros em Engenharia. De acordo com os autores, esse foi o primeiro trabalho a aplicar a NDEA duas-etapas no contexto da educação brasileira.

Além de evitar medidas de eficiência distorcidas (KAO, 2014), a NDEA duas-etapas possibilita mais duas contribuições na avaliação da eficiência dos PPG: **1)** decompor a avaliação da eficiência global (ou sistema) em duas etapas, dessa

maneira pode-se identificar qual etapa contribui de forma mais expressiva para eficiência dos PPG; e **2)** permitir que a avaliação da eficiência possa ser conduzida sob duas óticas: produtividade – na etapa de ensino; e qualidade – na etapa de pesquisa (GOMES JUNIOR et al. 2014). O item 2 foi melhor detalhado na seção 3 do trabalho.

Os professores, em meio às atividades de ensino e pesquisa, também podem ter publicações que não estão relacionadas com as teses e dissertações que orientam, ou seja, eles podem publicar individualmente ou com seus pares por meio de sua rede de colaboração. Conforme Katz e Martin (1997), a colaboração é comum e proporciona aos pesquisadores o compartilhamento de técnicas, conhecimentos e experiências, além de aumento da visibilidade da pesquisa. Encontra-se na literatura, por exemplo, os trabalhos de Meneghini (1996), Vanz (2009) e Franceschet e Costantini (2010), que existe uma relação positiva entre a rede colaboração e uma melhor produtividade intelectual. Por exemplo, Lee e Bozeman (2005) concluíram que, no contexto estudado, o número de total de publicação foi positivamente associado com o número total de colaboração. Com base no exposto, viu-se a necessidade de incluir a rede de colaboração na avaliação da eficiência. Essa colaboração pode ser representada como uma rede social¹, onde os professores/pesquisadores são ligados uns aos outros pelos trabalhos realizados em coautoria, uma vez que, segundo Katz e Martin (1997), a coautoria tem sido um dos principais indicadores para representar a colaboração, embora esse indicador² apresente limitações.

Por meio da Análise de Redes Sociais (ARS), é possível verificar diversas características dessas redes, que podem acontecer em diferentes níveis: micro, meso e macro (FRANCESCHET e COSTANTINI, 2010). De acordo com Bordons et al. (2015), durante os últimos anos a ARS se tornou uma ferramenta importante de estudo sobre a coautoria, uma vez que possibilita a análise das relações e estruturas sociais envolvidas e, segundo Abbasi, Altmann e Hossain (2011) configurando-se como uma ferramenta de gestão da pesquisa.

¹ De acordo com Li-Chun *et al.* (2006, p.2), “as redes sociais são pessoas ou grupos conectados por alguma relação”.

² O termo indicador também foi utilizado no trabalho para representar as entradas, produtos intermediários e saídas consideradas na avaliação da eficiência.

Bordons et al. (2015) relata não haver um consenso sobre qual estrutura da rede de colaboração tem o melhor resultado sobre o desempenho em pesquisa, uma vez que esse efeito pode ser alterado conforme contexto e o campo de atuação dos pesquisadores. Nesse sentido, conforme Abassi, Chung e Hossain (2012), ainda é preciso verificar questões sobre o desempenho em pesquisa correlacionado com as características da colaboração.

Conforme Bordons et al. (2015), a posição que o pesquisador/professor ocupa na rede de colaboração pode influenciar seu desempenho em pesquisa. Assim sendo, baseado nos conceitos de centralidade³, é esperado que os professores/pesquisadores que tenham um valor elevado dessas medidas tenham maiores chances de ter um bom desempenho em pesquisa (ABASSI, CHUNG e HOSSAIN, 2012).

Logo, o presente estudo verificou as seguintes hipóteses de pesquisa no contexto dos PPG da área ACT/CAPES:

1 – a rede de colaboração, representada por meio das medidas de centralidade, influencia positivamente a produção intelectual qualificada dos programas.

2 – a rede de colaboração, representada por meio das medidas de centralidade, influencia positivamente a nota dos programas atribuída pela CAPES no quesito produção intelectual.

Nessa direção, é possível citar alguns trabalhos que correlacionaram medidas da ARS aplicadas à rede de colaboração com alguma medida referente à produção intelectual, por exemplo, os trabalhos de Bordons et al. (2015), Abassi, Chung e Hossain (2012), Abbasi, Altmann e Hossain (2011) e Rossoni e Guarido Filho (2009).

Portanto, a questão que orienta o presente estudo é: Qual é a eficiência dos PPG da área ACT/CAPES quando a avaliação da eficiência é decomposta em duas etapas e considera a rede de colaboração?

Assim, para decompor a avaliação da eficiência em duas etapas, onde as eficiências do sistema e das etapas são obtidas, e ainda considerar a rede de colaboração, foi utilizada a NDEA duas-etapas proposta por Kao (2017). O modelo ainda considera algumas restrições nos pesos, os quais têm por finalidade tornar o

³ Na seção 3 foram apresentados os conceitos de centralidade utilizados no trabalho.

resultado mais próximo da realidade (GARCIA, LEAL JUNIOR e OLIVEIRA, 2013), uma vez que buscam representar as preferências que podem existir nas entradas e saídas de um sistema produtivo.

Portanto, ainda que a CAPES ofereça um plano complexo de avaliação, onde são considerados vários itens de caráter quantitativo e qualitativo, abordagens que possam servir de base para a análise dos dados e informações geradas pelos PPG podem ser levadas em consideração (CASADO, 2007). Destaca-se ainda que, o presente trabalho não almejou apresentar uma abordagem definitiva de eficiência ou que venha de encontro ao modelo de avaliação da CAPES. Dito isso, o que se pretendeu foi fornecer informações que possam ser usadas pelos PPG da área ACT/CAPES em seus processos de contínuo aperfeiçoamento.

1.2 Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a eficiência dos PPG da área ACT/CAPES em produção intelectual considerando a rede de colaboração. Para tanto, foram combinados dois métodos de pesquisa, ARS e NDEA duas-etapas.

O objetivo geral é composto pelo seguinte objetivo específico:

- a) Identificar a rede de colaboração dos PPG da área ACT/CAPES;
- b) Identificar qual o melhor *proxy* para representar a rede de colaboração no modelo de eficiência, por meio da verificação das hipóteses de pesquisa.

1.3 Justificativa

Como contextualizado, os programas de pós-graduação buscam avançar em suas atividades obtendo melhores resultados, como por exemplo, visando publicarem seus trabalhos em periódicos bem avaliados ou obterem financiamento de suas pesquisas. Nesse sentido, é pertinente considerar um modelo de eficiência que possa identificar ineficiências e pontos de melhorias contribuição para a gestão desses programas.

A seguir, foram apresentadas as justificativas da fonte de dados e dos métodos de pesquisa utilizados no trabalho.

- **Fonte de dados** – os dados referentes à produção intelectual e coautoria dos professores permanentes dos PPG da área ACT/CAPES foram retirados da Plataforma Lattes. Essa plataforma se tornou um padrão nacional no acompanhamento das atividades científicas, acadêmicas e profissionais dos estudantes e pesquisadores do país, sendo adotado por grande parte das instituições de fomento, universidades e institutos de pesquisa (LATTES, 2016). Portanto, em decorrência do exposto, a comunidade científica brasileira está representada fortemente na plataforma, destacando-a como uma importante fonte de informação nesse contexto (FERRAZ, QUONIAM e MACCARI, 2014) e um exemplo de boa prática de fonte de dados acadêmicos (LANE, 2010). Além do mais, a Plataforma Lattes foi utilizada como fontes de dados em estudos sobre a rede de colaboração brasileira, como por exemplo, os trabalhos de Mena-Chalco et al. (2014), Ferraz, Quoniam e Maccari (2014) e Mena-Chalco, Digiampietri e Cesar-Jr (2012).

- **Rede de colaboração** – a compreensão da rede de colaboração pode proporcionar o surgimento de novas pesquisas, identificar causas de baixa produtividade e auxiliar no desenvolvimento de PPG (BORDIN, 2015). Essas características estão diretamente relacionadas com a proposta do presente estudo. Portanto, a rede de colaboração foi considerada no modelo de avaliação da eficiência com o intuito de verificar quais programas estão conseguindo utilizar de suas relações sociais para aprimorarem o desempenho em produção intelectual. Além disso, a colaboração tem sido favorecida pelas instituições preocupadas com o desenvolvimento científico (LEE e BOZEMAN, 2005).

- **Eficiência relativa (DEA)** – De acordo com Johnes e Li (2008) dois métodos de fronteira são comumente utilizados no contexto da educação, *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) e DEA, entretanto a DEA é considerada mais adequada devido à característica de múltiplas entradas e saídas, que é própria das IES (MONFARED e SAFI, 2013). Cabe ainda dizer que a DEA é não-paramétrica, ou seja, a fronteira é definida matematicamente com base nos dados de todas as DMU em avaliação, ao contrário do SFA que é paramétrico, dessa forma, não se faz necessário fazer nenhuma suposição prévia de quais programas tem o melhor desempenho

(MOREIRA, 2008). Essa forma de obter a fronteira com base nos dados é compatível com a forma relativa de avaliação definida pela CAPES para próxima avaliação. A DEA ainda apresenta-se como método consolidado para análise comparativa quando são considerados múltiplos critérios (MOTTA, GARCIA e QUINTELLA, 2015).

Com o intuito de considerar os *links* internos entre as atividades de ensino e pesquisa dos professores, foi utilizada a NDEA duas-etapas geral, uma vez que possibilita que o valor de eficiência global seja a agregação do resultado das eficiências das etapas intermediárias – no caso do presente trabalho duas etapas – possibilitando uma verificação mais detalhada de pontos de ineficiência (MORENO et al., 2015; LEE e WORTHINGTON, 2015). Além de decompor a avaliação da eficiência em duas etapas, com a NDEA duas-etapas pode-se avaliar a eficiência sob duas óticas: produtividade e qualidade (GOMES JUNIOR et al., 2014). Na primeira etapa considera-se a produtividade dos programas, verificando a capacidade dos programas – por meio dos professores – em orientarem teses e dissertações. Já na segunda etapa a qualidade, verificando a capacidade dos programas publicarem suas pesquisas em periódicos científicos qualificados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção trata sobre os trabalhos que serviram de referencial teórico para a pesquisa. Foram apresentados alguns conceitos sobre DEA e NDEA duas-etapas e alguns trabalhos empíricos sobre a eficiência na educação principalmente com a utilização dessas abordagens. Foram apresentados ainda alguns conceitos sobre colaboração científica e Análise de Redes Sociais (ARS) juntamente com alguns trabalhos empíricos que estudaram a colaboração por meio a ARS.

2.1 Avaliação dos PPG

A avaliação do ensino superior tem sido realizada de forma sistemática e rotineira, servindo de base para acompanhamento e formulação de políticas, para imputação de méritos e ainda alocação de recursos, tais características ainda as tornam objetos de pesquisa (FAÇANHA e MARINHO, 2001).

No caso da pós-graduação brasileira, sabe-se que os Programas de Pós-graduação (PPG) foram implementados no formalmente em 1965, quando foi aprovado o Parecer nº 977 do Conselho Federal de Educação (CFE). A pós-graduação *stricto sensu* se deu em dois níveis independentes, mestrado e doutorado (SANTOS, 2003).

Com a implantação do I Plano Nacional de Pós-Graduação, em 1977 foi instituída a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES. Seu principal objetivo era organizar a distribuição de recursos necessários à consolidação da pós-graduação no país, por meio de bolsas de estudos e outros auxílios com foco em ensino, pesquisa e mão de obra qualificada (BELLONI, 2000).

No ano de 1998 o sistema de avaliação da CAPES foi modificado, tendo em vista que mais de 80% dos programas foram classificados com conceitos A ou B (a classificação era dividida em conceitos A, B, C D e E, sendo que o conceito A era o melhor desempenho) (LEITE, 2005). Após essa mudança, os PPG passaram a ser avaliados tendo como base níveis de excelência internacional, com uma avaliação expressa em conceitos de 1 a 7, o qual está relacionado com a garantia de

funcionamento para os próximos anos e que faz referência à qualidade dos programas em análise. Somente programas com conceito 3 ou maior tem seu credenciamento mantido. O conceito máximo para o mestrado é 5 e para doutorado 7.

Com a mudança, surgiram novas regras e a avaliação da produção acadêmica ganhou foco. Nesse novo modelo a CAPES adotou um conjunto de regras claras que deveriam ser seguidas por todos os comitês na avaliação dos programas, entretanto manteve a autoridade dos comitês de avaliação por pares (BALBACHEVSKY, 2005).

Atualmente, a CAPES divide os PPG em áreas de avaliação, onde os PPG em Administração, Ciências Contábeis e Turismo (ACT/CAPES) formam uma única área, sendo considerada uma das maiores e com um crescimento acentuado nos últimos anos (CAPES, 2013). Dessa forma, no final de 2012, a área ACT/CAPES era composta por: 40 programas de doutorado; 41 mestrados acadêmicos; e 50 mestrados profissionais; totalizando 131 programas. Desses 131 programas, 121 participaram da avaliação trienal realizada em 2013, pois esses estavam em funcionamento por um período maior que um ano. Desse total de programas avaliados, 40% começaram seu funcionamento nos últimos 5 anos (CAPES, 2013).

Vale destacar que existem algumas diferenças na avaliação da CAPES quando são considerados mestrados/doutorados acadêmicos e mestrados profissionais, devido à natureza desses programas.

Tendo como base a última avaliação trienal ocorrida em 2013, compreendendo os anos 2010 a 2012, a CAPES considerou na avaliação da área ACT/CAPES cinco quesitos que contribuem com proporções diferentes para avaliação final dos programas. Para o caso dos mestrados e doutorados acadêmicos a proporção se dá da seguinte forma: Proposta do Programa não recebe peso; Corpo Docente recebe 20%; Corpo Discente e Trabalho de Conclusão recebe 35%; Produção Intelectual recebe 35%; e Inserção Social recebe 10%. Já para o caso dos mestrados profissionais: Proposta do Programa não recebe peso; Corpo Docente recebe 20%; Corpo Discente e Trabalho de Conclusão recebe 30%; Produção Intelectual recebe 30%; e Inserção Social recebe 20%. Cada quesito recebe um conceito que pode ser Deficiente, Fraco, Regular, Bom e Muito Bom, refletindo o nível alcançado pelo PPG no quesito avaliado. Para que os quesitos de avaliação

possam ser classificados em um dos conceitos anteriores, eles são subdivididos em itens que são avaliados e depois classificados em conceitos, compondo assim o conceito final do quesito. Assim sendo, para que um programa tenha uma proposta de recomendação ao conceito 4, por exemplo, o mesmo precisa ser classificado pelo menos como “Bom” em pelo menos três quesitos, sendo que entre esses quesitos estejam, necessariamente, o quesito Corpo Discente e Trabalho de Conclusão e o quesito Produção Intelectual (CAPES, 2013).

Em se tratando de produção intelectual, a CAPES adota o estrato Qualis de qualidade. Essa medida classifica os periódicos científicos da área ACT/CAPES em estratos de qualidade A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5 e C. Cabe ressaltar que os periódicos com publicações técnicas ou estritamente aplicadas são classificados com o estrato C, dessa forma, são usados para medir a produção técnica da área (CAPES, 2015).

A discriminação entre os estratos passou a ter como base critérios que tentam indicar o impacto e a relevância dos periódicos, e dessa forma, dos artigos neles publicados. Assim sendo os periódicos classificados com o estrato A1 atendem de maneira mais forte a esses critérios. Além dos critérios relacionados ao impacto do periódico, também são considerados outros, tais como: tempo de existência do periódico, tempo de atraso da edição, número de edições no ano (CAPES, 2015).

O Quadro 1 mostra todos os critérios utilizados para a classificação dos periódicos da área ACT/CAPES nos estratos.

Existe ainda a necessidade de respeitar algumas proporções, são elas: o número de periódicos com estrato A1 deve ser menor que A2; A soma de A1 e A2 pode representar no máximo 25% do total de periódicos classificados da área; e por fim, a soma de A1, A2 e B1 não exceder 50% do total de periódicos classificados da área.

Uma vez classificados os periódicos, a CAPES, em sua avaliação, utiliza os artigos neles publicados pelos integrantes dos PPG. Dessa forma, são atribuídos pontos para os artigos de acordo com o estrato Qualis, sendo que A1 = 100, A2 = 80, B1 = 60, B2 = 50, B3 = 30, B4 = 20 e B5 = 10, para o caso da área ACT/CAPES.

Quadro 1 - Estrato Qualis da área ACT/CAPES.

Estrato	Critério para ser classificado no estrato
A1	<ul style="list-style-type: none"> • ISSN. • Ter no mínimo 2 edições/ano. • JCR > 1,4 (67%). • H-Scopus > 24 (75%). • Periódicos nos limites acima, mas que não estivessem listados como da área, segundo as bases de cálculo de Fator de Impacto, foram classificados no estrato A2.
A2	<ul style="list-style-type: none"> • ISSN. • Ter no mínimo 2 edições/ano. • 1,4 >= JCR > 0,7 (33%). • 24 >= H-Scopus > 9 (50%). • Periódicos nos limites acima, mas que não estivessem listados como da área, segundo as bases de cálculo de Fator de Impacto, foram classificados no estrato B1.
B1	<ul style="list-style-type: none"> • ISSN. • Ter no mínimo 2 edições/ano. • Scielo com FI > 0,01 e ser da área pelo critério da base, ou • 0,7 >= JCR > 0 • 9 >= H-Scopus > 0 • Periódicos nos limites acima, mas que não estivessem listados como da área, segundo as bases de cálculo de Fator e Impacto, foram classificados no estrato B2.
B2	<ul style="list-style-type: none"> • ISSN. • Ter no mínimo 2 edições/ano. • Estar no Redalyc ou ser editado por Editoras descritas no documento da área. • Ou FI-Scielo < 0,01 ou FI-Scielo > 0,01, mas de outra área pelo critério da base.
B3	<ul style="list-style-type: none"> • ISSN. • Ter no mínimo 2 edições/ano. • Índice de atraso no máximo igual a 0,5. • 3 ou mais anos de existência. • Ter no mínimo um dos indexadores definidos no documento da área.
B4	<ul style="list-style-type: none"> • ISSN. • Ter no mínimo 2 edições/ano. • Índice de atraso no máximo igual a 0,5. • 2 ou mais anos de existência.
B5	<ul style="list-style-type: none"> • ISSN. • Ter no mínimo 2 edições/ano. • No máximo um ano de atraso.

Fonte: CAPES (2015).

Para o quesito Produção Intelectual um dos itens de avaliação considera dois indicadores: 1) a pontuação média anual do programa – o montante total da produção qualificada dos professores permanentes dos programas, dividido pelo número de docentes permanentes do programa naquele ano. Em seguida, é obtida a média final do quadriênio realizando o somatório das médias anuais calculadas seguindo a descrição anterior, dividido pelo somatório do número de professores permanentes em cada ano do quadriênio; 2) Considera as três melhores produções de cada docente permanente no quadriênio. O conceito final é atribuído considerando uma média simples dos dois indicadores. Outro item de avaliação

considerada a proporção dos docentes permanentes dos programas que conseguiram alcançar a mediana da área (CAPES, 2016).

Em se tratando da década atual, encontra-se no Plano Nacional de Pós-graduação publicado em 2010 que a diversidade e a busca pelo contínuo aperfeiçoamento serão os princípios que guiarão o sistema de avaliação até 2020 (CAPES, 2010). Como descrito por Belloni (2000), a metodologia de avaliação da pós-graduação seguida pela CAPES, alcançou o respeito da comunidade acadêmica, consolidando-se política e tecnicamente.

Ao considerar o relatório de avaliação 2010-2012, para o caso dos mestrados profissionais, é destacada a influência que o perfil do corpo docente e a qualidade dos trabalhos de conclusão de curso exercem sobre a nota final do programa. Destaca-se ainda que, tem-se focado no aperfeiçoamento do desempenho na produção intelectual bem como na formação discente (CAPES, 2013).

Com relação a todos os PPG da área, o relatório ainda destaca que as métricas ou parâmetros avaliados na maioria dos itens de avaliação foram objetivos, dessa forma, possibilita realizar uma análise comparativa entre os programas da área e também com os programas de outras áreas de avaliação da CAPES (CAPES, 2013).

2.2 Análise Envoltória de Dados

A DEA é uma abordagem não paramétrica que calcula a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão ou *Decision Making Units* (DMU) como o quociente entre a soma ponderada das saídas e a soma ponderada das entradas, onde os pesos atribuídos a cada entrada e saída são calculados por um problema de programação linear (PPL) de forma mais benevolente possível, isto é, cada DMU escolhe os pesos que maximizam o seu resultado, aplicando-os a ela mesma e as outras DMU sob avaliação (SOARES DE MELLO et al., 2005). A abordagem calcula uma medida máxima de desempenho para cada DMU relativa a todas as demais. Conseqüentemente, a DEA pode construir uma fronteira de eficiência, formada pelas DMU consideradas eficientes. Essa fronteira indica o quanto as DMU consideradas

ineficientes precisam melhorar para serem consideradas eficientes (EMROUZNEJAD e CABANDA, 2013). Cabe destacar que a fronteira de eficiência obtida não é teoria, ou seja, é formada com base nas DMU em análise. Assim, a eficiência das DMU consideradas ineficientes é calculada levando em conta a distância que existe entre elas e a fronteira (GOMES JÚNIOR, 2006).

Conforme Silva e Garcia (2015) existem dois modelos DEA principais: o modelo CCR proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), também conhecido como CRS (*Constant Returns to Scale*); e o modelo BCC proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984), também conhecido com VRS (*Variable Returns to Scale*). O modelo CCR considera retornos constantes de escala, ou seja, qualquer variação nas entradas causará uma variação proporcional nas saídas. Já o modelo BCC considera retornos variáveis de escala, assim sendo, considerando orientação para entrada, por exemplo, as DMU que atuam com baixos valores de entradas terão retornos crescentes de escala, e as DMU que atuam com altos valores de entradas terão retornos decrescentes de escala (SOARES DE MELLO et al., 2005).

Esses modelos ainda podem possuir orientações, como os modelos orientados pela entrada (quando se deseja maximizar as entradas mantendo as saídas constantes), e os modelos orientados pela saída (quando se deseja maximizar as saídas mantendo as entradas constantes) (COOPER, SEIFORD e TONE, 2007). Existem ainda modelos sem orientação, dessa forma, pode-se aumentar as saídas e reduzir as entradas de maneira simultânea (GOMES JÚNIOR, 2006).

Na Equação 1 é apresentada a formulação matemática linearizada da DEA CCR primal, também conhecido como modelo dos multiplicadores devido a maneira como é calculada a eficiência, com orientação para saída.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } h_{j_0} &= \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} \\
 \text{Sujeito a:} \\
 \sum_{j=1}^s u_r y_{rj} &= 1 \\
 \sum_{j=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ij} &\leq 0, \quad \forall j \\
 u_r, v_i &\geq 0, \quad \forall r, i
 \end{aligned} \tag{1}$$

Onde h_{j_0} é a eficiência relativa da DMU j analisada; v_i e u_r são os pesos (ou variáveis de decisão que serão calculadas pelo modelo) das entradas $i = 1, \dots, m$ e saídas $r = 1, \dots, s$; x_{ij} e y_{rj} são as entradas i e as saídas r da DMU j , sendo que j começa em 1 e vai até o número total de DMU's envolvidas na análise, ou seja, $j = 1, \dots, n$. Segundo Dyson et al. (2001), a restrição $\sum_{j=1}^s u_r y_{r0} = 1$ da Equação 1 é conhecida como *normalizing equation*. Para que a DMU₀ seja considerada eficiente, deve existir um conjunto de pesos que leve a $h_{j_0} = 1$, valores diferentes de 1 são atribuídos para DMU ineficientes (GARCIA, 2013).

A forma fracionária do modelo da Equação 1 é apresentada na Equação 2.

$$\begin{aligned} \text{Min } h_{j_0} &= \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^s u_r y_{r0}} \\ \text{Sujeito a:} \\ \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{i0}}{\sum_{j=1}^s u_r y_{r0}} &\geq 1, \quad \forall j \\ u_r, v_i &\geq 0, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (2)$$

Na Equação 3 foi apresentado o modelo BCC primal com orientação para saída de forma linearizada. Esse modelo cria uma fronteira convexa fazendo com que as DMU possam utilizar retornos crescentes e decrescentes de escala (SOARES DE MELLO et al., 2005), substituindo assim o axioma da proporcionalidade do CCR pelo axioma da convexidade (Silva e Garcia, 2015).

$$\begin{aligned} \text{Min } h_{j_0} &= \sum_{i=1}^r v_i x_{i0} + \eta \\ \text{Sujeito a:} \\ \sum_{j=1}^s u_r y_{r0} &= 1 \\ \sum_{j=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ij} - \eta &\leq 0, \quad \forall j \\ u_r, v_i &\geq 0, \quad \forall r, i \\ \eta &\in R \end{aligned} \quad (3)$$

Onde η é uma variável de decisão do modelo e corresponde à variação de escala, podendo assumir tanto valores positivos quanto negativos (COOPER, SEIFORD e TONE, 2007).

O modelo da Equação 3 possui um modelo dual (envelope), o qual mensura a eficiência tendo como referência uma curva que limita a região onde as DMU podem existir, e não mais pela obtenção dos pesos associados as entradas e saídas, como é feito no primal ou multiplicador (SOARES DE MELLO et al., 2005). Na Equação 4 é apresentado o modelo BCC dual com orientação para saída.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } h_{j_0} \\
 & \text{Sujeito a:} \\
 & x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq 0, \quad \forall i \\
 & -h_0 y_{r0} + \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq 0, \quad \forall r \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0, \quad \forall j
 \end{aligned} \tag{4}$$

A restrição $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, correspondente à variação de escala, é que garante a convexidade da fronteira. A variável η da Equação 3 é a variável dual associada à essa restrição (SOARES DE MELLO et al., 2005).

Esses modelos assumem projeção radial na fronteira de eficiência (SILVA e GARCIA, 2015). Dessa forma, qualquer redução nas entradas (orientação para entrada) ou aumento nas saídas (orientação para saída) será feita radialmente conforme valor $h_{j_0}^*$ para as DMU não eficientes. Conforme Cooper, Seiford e Tone (2007), a DEA com essa forma não leva em consideração os excessos nas entradas ou falta nas saídas que são representadas pelas folgas. Sendo assim, algumas DMU poderão ser consideradas eficientes, porém não estarão na região eficiente da fronteira. As DMU que apresentam esse comportamento são comumente chamadas de fracamente eficientes (COOPER, SEIFORD e TONE, 2007).

A Tabela 1 contém um exemplo com sete DMU com duas entradas e uma saída unitária.

Tabela 1 - Exemplo de DMU com duas entradas e uma saída

	DMU	A	B	C	D	E	F	G
Entradas	x1	4	7	8	4	2	10	3
	x2	3	3	1	2	4	1	7
Saída	y1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Cooper, Seiford e Tone (2007).

A saída unitária facilita a representação por meio de um gráfico em duas dimensões, onde a entrada 1 é representada no eixo x e a entrada x2 é representada no eixo y. A Figura 1 apresenta a gráfico formado com os dados da Tabela 1.

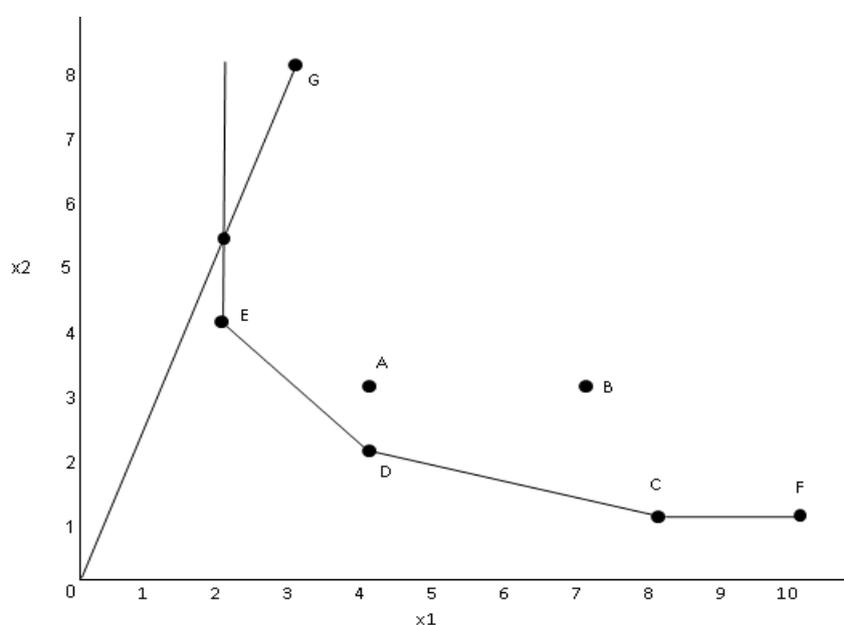


Figura 1 - Exemplo de Projeção.

Fonte: Cooper, Seiford e Tone (2007).

Pode-se notar que a projeção radial para a DMU G está fora da fronteira da de eficiência formada pelas DMU E, D e C, ou seja, a DMU G é fracamente eficiente por causa do excesso na entrada x2. A DMU F também é fracamente eficiente.

2.2.1 Network DEA

Como mencionado anteriormente, a abordagem DEA básica trata o cálculo da eficiência como uma “caixa preta” (FÄRE, GROSSKOPF e WHITTAKER, 2007). Essa maneira de obter a eficiência não leva em conta as estruturas internas que

podem estar presentes em alguns sistemas. Para lidar com essa limitação a DEA básica foi estendida e, portanto passa a considerar as estruturas internas e suas relações dentro de um sistema de produção (FÄRE e GROSSKOPF, 2000). Essa abordagem é conhecida na literatura como *Network DEA* (NDEA).

Segundo Kao (2014) existem sistemas complexos onde o processo de produção pode ser dividido em várias etapas e ainda podem apresentar estruturas em série, paralela ou uma estrutura mista. Sendo assim, encontram-se na literatura alguns modelos NDEA que podem ser utilizados para calcular eficiência desses sistemas. Em Kao (2014) pode ser encontrado uma revisão de alguns desses modelos.

Dentre as estruturas internas complexas da NDEA encontra-se na literatura uma estrutura comum conhecida como duas-etapas ou *two-stage* (MATTHEWS, 2013). Nessa estrutura entradas são usadas para gerar saídas na etapa 1 e essas saídas (conhecidas como produtos intermediários ou medidas intermediárias) são as entradas para gerar as saídas da etapa 2 (GUO et al., 2017). Nesse tipo de estrutura todas as saídas da etapa 1 são assumidas como entradas para etapa 2, além do mais, não há saídas e nem entradas exógenas⁴ nas etapas .

Um exemplo de um sistema com duas-etapas pode ser encontrado no trabalho de Wang, Gopal e Zionts (1997), onde os bancos usam as entradas (Ativo Permanente, Trabalhadores e Investimentos em Tecnologia da Informação) para produzir Depósito (etapa 1). Em seguida, o indicador Depósito assume papel de entrada para produzir empréstimo e lucro (etapa 2). Outro exemplo bastante difundido na literatura encontra-se em Kao e Hwang (2008), também utilizado em Chen, Cook e Zhu (2010), Lim e Zhu (2016) e Chen et al. (2013), onde a eficiência das companhias de seguros de não vida ou seguros gerais foram mensuradas. A etapa 1 representa o desempenho do serviço de marketing, onde as entradas são as despesas com operações diversas e funcionários e despesas com pagamentos de seguros para gerar prêmios recebidos de clientes e prêmios de resseguro recebidos de empresas cedentes. A etapa 2 mensura a eficiência em gerar lucro com os prêmios recebidos e tem como saídas os lucros operacionais recebidos e os lucros com investimentos.

⁴ Nesse contexto, faz referência aos indicadores que não estão ligados a todo o sistema, como por exemplo, uma entrada somente na etapa 2 (HALKOS, TZEREMES E KOURTZIDIS, 2014).

De acordo com Kao e Hwang (2010), encontram-se na literatura diferentes trabalhos utilizando a NDEA com o objetivo de mensurar a eficiência de sistemas duas-etapas, os quais podem ser classificados em três grupos: **1)** Abordagem independente – onde a eficiência do sistema e de todas as etapas é calculada independentemente; **2)** Abordagem conectada – onde o desempenho de cada etapa é levado em consideração quando se calcula a eficiência do sistema, porém a eficiência do sistema pode não ter nenhuma relação com a eficiência das etapas; e **3)** Abordagem relacional – onde o modelo matemático leva em consideração a relação existente entre as eficiências nas etapas e a eficiência do sistema. Kao (2009) destaca que a principal diferença entre o modelo independente e o relacional está no fato do relacional requerer que os multiplicadores associados aos produtos intermediários sejam os mesmos.

Conforme Moreno et al. (2015) e Despotis, Koronakos e Sotiros (2016), existem dois trabalhos NDEA duas-etapas considerados fundamentais. O trabalho de Kao e Hwang (2008), no qual os autores apresentaram um modelo relacional onde a eficiência do sistema é calculada como o produto das eficiências obtidas nas etapas individuais. O segundo é o trabalho de Chen et al. (2009) onde os autores apresentaram um modelo aditivo em que a eficiência do sistema é obtida como a soma ponderada das eficiências nas etapas individuais. Além disso, o modelo relacional trabalha com retornos de escalas constantes e o modelo aditivo pode trabalhar tanto com retornos de escalas variáveis quanto com retornos de escalas constantes. Destaca-se ainda que o modelo proposto por Chen et al. (2009) é baseado no modelo proposto por Kao e Hwang (2009). Esses modelos estão inseridos no grupo 3 da classificação feita por Kao e Hwang (2010).

Uma característica dos modelos de Kao e Hwang (2008) e Chen et al. (2009) é que os valores dos pesos atribuídos aos produtos intermediários são os mesmos em toda estrutura interna (MORENO et al., 2015), isto é, independente de quando são considerados as saídas da etapa 1 ou quando são considerados as entradas da etapa 2. Ainda de acordo com os autores, essa característica é que diferencia mensurar a eficiência com a abordagem NDEA duas-etapas ou mensurar cada etapa separadamente com DEA tradicional. Vale expor que inicialmente os modelos NDEA duas-etapas calculavam a eficiência do sistema e das etapas (ou processos)

de forma independente como, por exemplo, os trabalhos de Seifort e Zhu (1999) e Zhu (2000).

A Figura 2 mostra uma estrutura duas-etapas em série, onde x representa as entradas para a etapa 1, z representa as saídas da etapa 1 e também representa as entradas da etapa 2 e y representa as saídas da etapa 2. Os valores que interligam as etapas assumem uma função dupla, ora entrada ora saída, são conhecidas como produtos ou medidas intermediárias. A Figura 2 representa um sistema básico de duas-etapas, onde todas as entradas da etapa 1 são usadas para gerar produtos intermediários, os quais são todos utilizados na etapa 2 para produzirem as saídas finais (KAO, 2017).

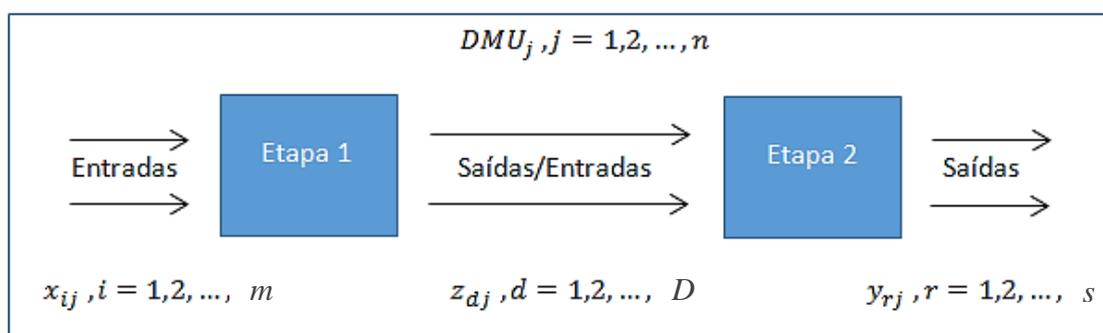


Figura 2 - Modelo NDEA em duas etapas - Adaptada de Chen et al. (2009).

2.2.1.1 Duas-etapas Básico

Para mensurar a eficiência de sistemas duas-etapas básicos Kao e Hwang (2008) desenvolveram um modelo relacional em que a eficiência do sistema é calculada como o produto das eficiências das etapas. As etapas (h_1 e h_2) são representadas na forma fracionária por meio da Equação 5.

$$h_1 = \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad e \quad h_2 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w'_d z_{dj}} \quad (5)$$

Onde v_i, u_r, w_d e w'_d são os pesos não negativos associados as entradas, saídas e produtos intermediários, respectivamente, sendo que w_d e w'_d são iguais. Nota-se que assumir que os pesos dos produtos intermediários sejam os mesmos ($w_d = w'_d$) é o que permite tornar o modelo linear, caso contrário, essas restrições não poderiam ser canceladas na função objetivo. Essa igualdade atua também como um *link* entre as etapas (CHEN et al., 2009). Dessa forma, para calcular a eficiência

do sistema (h_j), Kao e Hwang (2008) apresentam o modelo da Equação 6 com orientação para entrada.

$$h_j = \text{Max } h_1 \cdot h_2 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} h_1 &\leq 1 \\ h_2 &\leq 1 \\ w_d &= w'_d \end{aligned} \quad (6)$$

Na Equação 7 foi apresentado o mesmo modelo, porém na forma linear.

$$h_{j_0} = \text{Max } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} &\leq 0, \quad \forall j \\ \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad \forall j \\ v_i, u_r, w_d &\geq 0, \quad \forall r, i, d \end{aligned} \quad (7)$$

Onde j_0 representa a DMU que se deseja calcular a eficiência, v_i, u_r, w_d são os pesos associados a entrada i , a saída r e ao produto intermediário d , respectivamente. A segunda restrição faz referência a etapa 2 e a terceira restrição faz referência a etapa 1. Nota-se que o peso associado ao produto intermediário se mantém o mesmo nas duas etapas.

Conforme Chen, Cook e Zhu (2010), a restrição $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ do modelo de Kao e Hwang (2008) é redundante e portanto pode ser excluída. Por esse motivo não foi apresentada na Equação 7.

A Equação 7 apresentou o modelo NDEA duas-etapas de Kao e Hwang (2008) com orientação para entrada. Na Equação 8 foi apresentado o mesmo modelo, porém com orientação para saída (CHEN, COOK e ZHU, 2010).

$$\begin{aligned}
h_{j_0} &= \text{Min} \sum_{r=1}^s v_i x_{ij_0} \\
\text{Sujeito a:} \\
\sum_{i=1}^m u_r y_{rj_0} &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} &\leq 0, \quad \forall j \\
\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad \forall j \\
v_i, u_r, w_d &\geq 0, \quad \forall r, i, d
\end{aligned} \tag{8}$$

Esse modelo pode ser representado em sua forma dual (envelope) conforme Equação 9 (CHEN, COOK e ZHU, 2010).

Max Φ

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq x_{i0} \quad i = 1, \dots, m \\
\sum_{j=1}^n \mu_j y_{rj} &\geq \Phi y_{r0} \quad r = 1, \dots, s \\
\sum_{j=1}^n (\lambda_j - \mu_j) z_{dj} &\geq 0 \quad d = 1, \dots, D \\
\lambda_j, \mu_j &\geq 0, \\
\Phi &\geq 1
\end{aligned} \tag{9}$$

Após calcular os pesos ótimos por meio do PPL da Equação 8, pode-se utilizar as expressões da Equação 10 para calcular as eficiências das etapas 1 e 2.

$$h_1 = \frac{\sum_{i=1}^m v_{i*} x_{ij_0}}{\sum_{d=1}^D w_{d*} z_{dj}} \quad h_2 = \frac{\sum_{d=1}^D w_{d*} z_{dj}}{\sum_{r=1}^s u_{r*} y_{rj}} \tag{10}$$

Onde o * representa os valores ótimos após solução do PPL.

No entanto, conforme Kao e Hwang (2008) e Chen et al. (2013), os pesos ótimos calculados pelo modelo da Equação 8 podem não serem únicos, dessa forma, o resultado de $h_0^* = h_1^*$. h_2^* pode também não ser único. Sendo assim, para garantir a unicidade Kao e Hwang (2008) sugerem calcular a eficiência de uma das etapas, por exemplo, de h_1 , mantendo o mesmo valor da eficiência do sistema (h_0^*) obtido pelo modelo da Equação 8. A Equação 11 mostra esse modelo.

$$\begin{aligned}
h_1 &= \text{Min} \sum_{r=1}^s v_i x_{ij_0} \\
\text{Sujeito a:} \\
\sum_{i=1}^m w_d z_{dj_0} &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} &\leq 0, \quad \forall j \\
\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad \forall j \\
\sum_{r=1}^s v_i x_{ij_0} - h_0^* \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} &= 0 \\
v_i, u_r, w_d &\geq 0, \quad \forall r, i, d
\end{aligned} \tag{11}$$

Após obter o valor de h_1^* , pode-se calcular a eficiência da etapa 2 por meio de $h_2 = h_0^* / h_1^*$.

Segundo Chen et al. (2009), uma limitação do modelo proposto por Kao e Hwang (2008) é quanto sua capacidade de lidar com situações onde o modelo VRS é requerido. Na Equação 12 foi apresentado o modelo aditivo CCR proposto por Chen et al. (2009). Esse modelo difere do proposto por Kao e Hwang (2008), pois permite trabalhar tanto com CCR quanto com VRS. Outra diferença está na maneira de como a eficiência do sistema é obtida.

$$\begin{aligned}
h_{j_0} &= \text{Max} \left(\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} + \sum_{d=1}^D w_d z_{dj_0} \right) \\
\text{Sujeito a:} \\
\sum_{d=1}^D w_d z_{dj_0} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} &\leq 0, \quad \forall j \\
\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad \forall j \\
v_i, u_r, w_d &\geq 0, \quad \forall r, i, d
\end{aligned} \tag{12}$$

Percebe-se que a eficiência do sistema é obtida como a soma ponderada das eficiências nas etapas individuais. Para chegar nesse modelo, Chen et al. (2009) definiram que a eficiência do sistema fosse calculada conforme Equação 13.

$$w_1 \cdot \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} + w_2 \cdot \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w'_d z_{dj}} \quad (13)$$

Onde w_1 e w_2 são pesos definidos pelo decisor representando a preferência entre as etapas de tal forma que $w_1 + w_2 = 1$.

O modelo completo NDEA duas-etapas foi apresentado na Equação 14.

$$h_{j_0} = \text{Max} \left(w_1 \cdot \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} + w_2 \cdot \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w'_d z_{dj}} \right)$$

Sujeito a:

$$\frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad (14)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}} \leq 1$$

$$v_i, u_r, w_d \geq 0, \quad \forall r, i, d$$

Para transformar o modelo da Equação 14 em um modelo linear, Chen et al. (2009) argumentaram que w_1 e w_2 podem ser representados, no caso da orientação para entrada, como uma porção do total de recursos consumidos por cada etapa, refletindo a importância (ou o tamanho) das etapas e como elas contribuem para eficiência do sistema. A representação matemática desse argumento foi apresentada na Equação 15.

$$w_1 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^D w_d z_{dj}} \quad e \quad w_2 = \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^D w_d z_{dj}} \quad (15)$$

Após essa definição, a função objetivo da Equação 14 pode ser simplificada para função objetivo da Equação 16.

$$\frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^D w_d z_{dj}} \quad (16)$$

O modelo da Equação 16 está na forma fracionária. A Equação 12 apresentou o modelo com a transformação para linear.

Nota-se que o modelo da Equação 12 assume orientação para entrada e CCR. A Equação 17 assume orientação para saída e VRS.

$$h_{j_0} = \text{Min} \left(\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} - \eta_1 + \sum_{d=1}^D w_d z_{dj_0} - \eta_2 \right)$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} + \sum_{d=1}^D w_d z_{dj_0} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} - \eta_1 - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \eta_2 - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} &\geq 0 \quad j = 1, \dots, n \\ v_i, u_k, w_r &\geq 0 \\ \eta_1, \eta_2 &\text{ free} \end{aligned} \tag{17}$$

Semelhante ao modelo de Kao e Hwang (2008), o modelo de Chen et al. (2009) pode ter soluções ótimas alternativas. Dessa forma, os autores sugerem o mesmo procedimento adotado por Kao e Hwang (2008) para lidar com essa situação, ou seja, calcular a eficiência de uma das etapas (dependendo de qual etapa é prioritária para o decisor) mantendo o valor de eficiência global, calculada pela Equação 17 ou Equação 12, inalterada.

Uma questão importante na avaliação da eficiência por meio da DEA é o estabelecimento de uma fronteira de eficiência e a projeção das DMU não eficientes nessa fronteira. Como destacado por Kao and Hwang (2008), nos modelos duas-etapas, frequentemente o ajuste das entradas e saídas de acordo com o valor da eficiência obtida não é suficiente para produzir a projeção na fronteira.

De acordo com Lim e Zhu (2016), o trabalho de Chen, Cook e Zhu (2010) foi o primeiro a discutir que o modelo proposto por Kao e Hwang (2008) não produz uma projeção na fronteira de eficiência para as DMU ineficientes. Da mesma forma, o modelo aditivo proposto por Chen et al. (2009) também não é capaz de produzir uma projeção na fronteira por meio do ajuste das entradas/saídas com base no valor da eficiência (CHEN, COOK e ZHU, 2010).

Para lidar com essa lacuna, Chen, Cook e Zhu (2010) propuseram um modelo baseado em Kao e Hwang (2008) para o cálculo da projeção na fronteira para as DMU ineficientes.

A Equação 9 apresentou o modelo dual de Kao e Hwang (2008). Baseado nesse modelo, o modelo de Chen, Cook e Zhu (2010) fornece novos valores para as entradas, saídas e intermediárias, os quais projetam as DMU ineficientes na

fronteira. Matematicamente duas modificações foram feitas: **1)** a inclusão de uma variável de decisão (\tilde{z}_{d0}) que representa os novos valores a serem determinados para as medidas intermediárias; **2)** A restrição $\sum_{j=1}^n (\lambda_j - \mu_j) z_{dj} \geq 0 \quad d = 1, \dots, D$ do modelo dual de Kao e Hwang (2008) foi dividida em duas $\sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} \geq \tilde{z}_{d0} \quad d = 1, \dots, D$ e $\sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj} \leq \tilde{z}_{d0} \quad d = 1, \dots, D$. A primeira restrição trata os produtos intermediários como saída da etapa 1 e a segunda como entrada da etapa 2. A Equação 18 apresentou o modelo com orientação para saída.

Max $\tilde{\phi}$

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq x_{i0} & i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \mu_j y_{rj} &\geq \tilde{\phi} y_{r0} & r = 1, \dots, s \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} &\geq \tilde{z}_{d0} & d = 1, \dots, D \\
 \sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj} &\leq \tilde{z}_{d0} & d = 1, \dots, D \\
 \tilde{\phi} &\geq 1 \\
 \tilde{z}_{d0} &\geq 0 & d = 1, \dots, D \\
 \lambda_j, \mu_j &\geq 0 & j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{18}$$

Dessa forma, a projeção na fronteira é dada pelos valores ótimos de x_{ij}^* , $\tilde{\phi} y_{rj}^*$ e \tilde{z}_{dj}^* .

Em se tratado de projeção para esses sistemas, Chen et al. (2013) demonstraram que é necessário utilizar o modelo multiplicador para obter eficiência das etapas e o modelo envelope para obter projeção na fronteira. Já Lim e Zhu (2016) demonstraram teoricamente que a relação primal/dual existentes nos modelos DEA tradicionais se mantém para os modelos NDEA duas-etapas, assim sendo pode-se usar as soluções primal e dual para calcular eficiência das etapas e projeção na fronteira, respectivamente.

2.2.1.2 Duas-etapas Geral

Existem outros sistemas duas-etapas onde as etapas podem ter entradas e saídas adicionais que não fazem parte de todo o sistema, ou seja, sistemas onde a estrutura básica duas-etapas apresentada na Figura 2 não se mantém. Assim sendo, pode ser encontrados na literatura trabalhos que desenvolveram modelos para esses sistemas, referenciados como sistemas duas-etapas gerais.

Baseado no modelo de Chen et al. (2009), apresentado anteriormente, Chen et al. (2010) apresentaram um modelo duas-etapas com entrada compartilhada. Dessa forma, o sistema pode possuir entradas na etapa 1, além de entradas que são compartilhadas entre a etapa 1 e etapa 2. Os autores ainda mostraram que o modelo proposto por eles pode ser usado para outros casos gerais da NDEA duas-etapas, como por exemplo, em sistemas onde a etapa 2 possui entrada exógena. Despotis, Koronakos e Sotiros (2016) verificaram que o modo adotado por Chen et al. (2009) para lidar com os pesos das etapas é tendencioso, favorecendo a etapa 2. Ang e Chen (2016) e Guo et al. (2017) apresentaram discussões sobre a escolha dos pesos das etapas e como esses pesos influenciam na eficiência do sistema e das etapas nos modelos duas-etapas geral. Ma (2015) apresenta um modelo duas-etapas geral onde são consideradas entradas compartilhadas entre as etapas e saídas finais nos produtos intermediários.

Sobre a projeção na fronteira para esses sistemas, Chen et al. (2013) alegaram que os modelos multiplicador e envelope usam diferentes formas para calcular a eficiência e que esses modelos não são correspondentes. Seguindo esse entendimento, baseado em uma estrutura particular – duas-etapas geral – onde a etapa 1 produz saída exógena (ou saída final) e a etapa 2 consome entrada exógena (entrada ligada somente a essa etapa), Kao (2017) desenvolveu um modelo envelope que é capaz de calcular as eficiências do sistema e etapas e fornecer informação da projeção na fronteira. Na Figura 3 foi representada essa estrutura duas-etapas geral descrita.

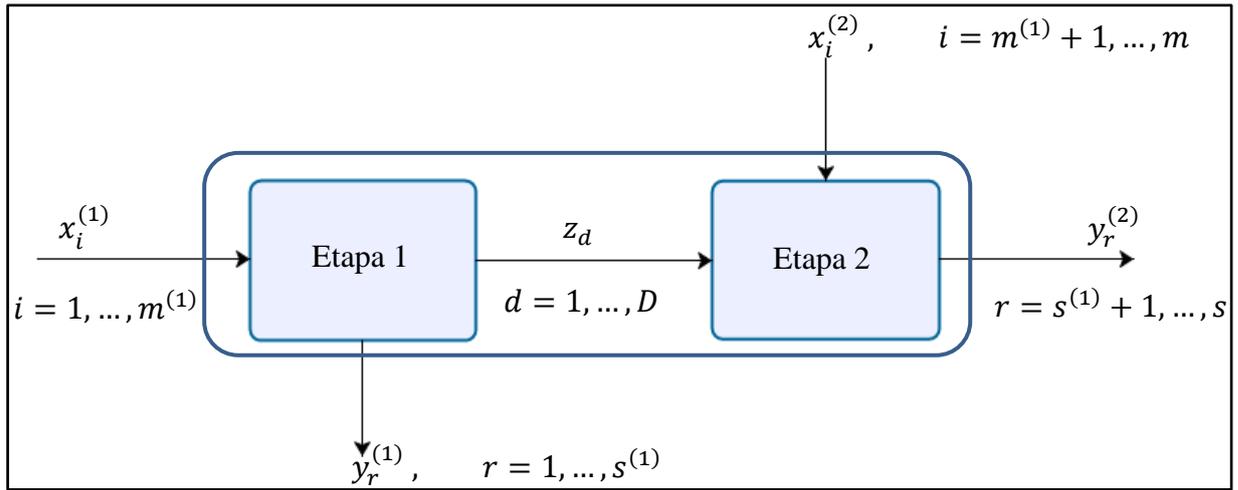


Figura 3 - NDEA duas-etapas geral.
Fonte: Adaptado de Kao (2017).

A Equação 19 apresenta modelo envelope NDEA duas-etapas geral CCR com orientação para saída (nas duas etapas).

$$\text{Max} \frac{(\tilde{\phi}^{(1)} + \tilde{\phi}^{(2)})}{2}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{(1)} &\leq x_{i0}^{(1)} & i = 1, \dots, m^{(1)} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{(2)} &\leq x_{i0}^{(2)} & i = m^{(1)} + 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} &= \sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj} & z = 1, \dots, D \\ \sum_{j=1}^n \mu_j y_{rj}^{(1)} &\geq \tilde{\phi}^{(1)} y_{r0}^{(1)} & r = 1, \dots, s^{(1)} \\ \sum_{j=1}^n \mu_j y_{rj}^{(2)} &\geq \tilde{\phi}^{(2)} y_{r0}^{(2)} & r = s^{(1)} + 1, \dots, s \\ \tilde{\phi}^{(1)}, \tilde{\phi}^{(2)} &\geq 1 \\ \lambda_j, \mu_j &\geq 0 & j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (19)$$

Algumas características desse modelo podem ser destacadas: **1)** o modelo é capaz de calcular a eficiência do sistema e das etapas e projeção na fronteira em um único modelo envelope; **2)** A eficiência do sistema é calculada como a média da eficiência das etapas. Conforme Kao (2017), essa forma pode ser modificada para que seja considerada a importância (pesos) das etapas por meio de uma média

ponderada das etapas, $\tilde{\phi} = \frac{(w^{(1)}\tilde{\phi}^{(1)} + w^{(2)}\tilde{\phi}^{(2)})}{2}$, com $w^{(1)}$ e $w^{(2)}$ escolhidos previamente pelo decisor; **3)** Lim e Zhu (2016) demonstraram que as restrições $\sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} \geq \tilde{z}_{d0}$ e $\sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj} \leq \tilde{z}_{d0}$, representadas na Equação 18, podem ser substituídas por $\sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} \geq \sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj}$, alegando que $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* z_{dj}$ ou $\sum_{j=1}^n \mu_j^* z_{dj}$ podem ser escolhidos como alvos para as DMU ineficientes. Tone e Tsutsui (2009) chamam a restrição $\sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} \geq \sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj}$ de *free link*. Kao (2017) substituiu essa restrição (*free link*) pela $\sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} = \sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj}$, chamada por Tone e Tsutsui (2009) de *fixed link*, forçando as duas etapas terem o mesmo alvo para todos os produtos intermediários.

O modelo da Equação 19 tem orientação para saída nas duas etapas, ou seja, a etapa 1 tem orientação para saída e a etapa 2 também. Kao (2017) apresentou mais três modelos que possuem orientações para entrada/entrada, entrada/saída e saída/entrada.

2.2.2 Trabalhos DEA na Educação

A DEA foi introduzida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978). Desde sua primeira publicação observa-se uma crescente utilização em vários estudos, tanto em setores públicos quanto privados, de acordo com o levantamento feito em Emrouznejad, Parker e Tavares (2008), o qual compreendeu 30 anos de publicações sobre a DEA (1978-2007). Ainda de acordo com os autores, a área da educação está entre as mais predominantes.

Segundo Peña (2008), a Análise Envoltória de Dados é uma poderosa ferramenta na mensuração da eficiência da administração pública e organizações sem fins lucrativos. Segundo Johnes (2015), a educação possui uma característica de múltiplos resultados, o que habilita a DEA ser utilizada nesse contexto.

Dessa forma, podem ser mencionados alguns trabalhos que utilizaram DEA no contexto da educação. Beasley (1990) utilizou a DEA com restrições impostas nos pesos para comparar departamentos universitários do Reino Unido. Como uma extensão do trabalho anterior, Beasley (1995) utilizou DEA para comparar os mesmos departamentos universitários considerando a eficiência nas atividades de ensino e pesquisa. No modelo proposto, Beasley (1995) considerou duas entradas,

gastos gerais e gastos com equipamentos, compartilhadas entre as atividades de ensino e pesquisa. Belloni (2000) propôs uma metodologia que consiste no uso interativo do DEA e técnicas estatísticas aplicadas na avaliação de desempenho, sob o ponto de vista da eficiência produtiva, de 33 universidades federais brasileiras. Lins, Almeida e Junior (2004) utilizaram a DEA para avaliar os programas de pós-graduação de engenharia de produção reconhecidos pela CAPES; Soares de Mello et. al. (2006) avaliaram 12 programas de pós-graduação em engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro considerando duas situações: capacidade dos programas em publicar suas dissertações e teses; e medir o desempenho em produção científica dos programas em análise. Moreira (2008) e Oliveira (2011) utilizaram DEA para avaliar os cursos de pós-graduação da área ACT/CAPES da avaliação da CAPES nos triênios 2004-2006 e 2007-2009, respectivamente. Em Moreira et. al. (2009) foi mensurada a eficiência dos programas de pós-graduação da área ACT/CAPES da avaliação da CAPES no triênio 2004-2006, separando a análise por ano. Cunha e Rocha (2012) utilizaram DEA para medir a eficiência na educação superior em Portugal, para tanto os autores dividiram a análise em três grupos: 14 Universidades Públicas; 20 Institutos Politécnicos; e 14 Departamentos de Universidade do Porto. Justino, Junior e Gomes (2014) utilizaram DEA para avaliar a eficiência de cursos de graduação de uma instituição privada brasileira buscando identificar os *benchmarks* e também alvos alternativos com o uso do índice não radial. Tavares e Angulo Meza (2015) utilizaram DEA BBC com orientação à saída para medir a eficiência dos cursos de graduação em Engenharia da Universidade Federal Fluminense (UFF) tendo como foco a capacidade dos cursos em agregar conhecimento aos alunos. Os autores ainda utilizaram o cálculo da fronteira invertida para aumentar a discriminação da análise.

Em se tratando de NDEA, encontram-se alguns trabalhos no contexto da educação internacional, porém, conforme GOMES JUNIOR et al. (2014), ainda são pouco os estudos aplicados ao caso brasileiro.

Dessa forma, podem ser mencionados alguns trabalhos. Monfared e Safi (2013) utilizaram um modelo NDEA de duas etapas (qualidade do ensino na etapa 1 e produtividade de pesquisa na etapa 2) para mensurar a eficiência de 9 departamentos Universitários. Na etapa 1 foram consideradas duas entradas, o número de palestrantes somado ao número de professores assistentes, e o número

de professores associados somado ao número de professores titulares. As saídas dessa etapa foram o número de estudantes de graduação e o número de estudantes de pós-graduação (produtos intermediários). As saídas para a etapa 2 foram subsídios internos e externos recebidos e o número de trabalhos apresentados em eventos internacionais somado ao número de pesquisadores premiados. O trabalho considerou que as duas entradas da etapa 1 eram compartilhadas com a etapa 2, ou seja, o tempo de trabalho dos professores eram divididos nas atividades de ensino e pesquisa. Para representar essa característica foi feita uma modificação nos dados, dividindo o valor proporcionalmente a cada etapa.

Lee e Worthington (2015) utilizaram NDEA para construir um modelo empírico de análise de desempenho em pesquisa. Esse modelo foi aplicado aos dados de 37 universidades Australianas entre os anos de 2004 a 2011. O modelo proposto considerou duas etapas para mensurar a eficiência, sendo que na etapa 1 foram consideradas duas entradas (pessoal acadêmico e estudantes de doutorado) e uma saída (publicação). Na etapa 2 considerou-se a publicação como entrada (produto intermediário) e uma saída (subsídios garantidos).

O trabalho de Toloo, Emrouznejad e Moreno (2015), apresentam uma forma alternativa de transformação linear do modelo NDEA relacional com *input* compartilhado apresentado por Chen et al. (2006). Os autores utilizam duas bases de dados reais para testar o modelo proposto, uma ligada à indústria dos bancos e outra ligada à educação. Para o caso da educação, os autores utilizaram os dados do trabalho de Beasley (1990), onde foram considerados duas entradas, gastos gerais e gastos com equipamentos, três saídas, estudantes de graduação, estudantes de pós-graduação ligados ao ensino e estudantes de pós-graduação ligados à pesquisa, e um produto intermediário, subsídios para pesquisa. As entradas foram compartilhadas entre as duas etapas (pesquisa e ensino).

No Brasil, GOMES JUNIOR et al. (2014) utilizaram o modelo proposto por Kao e Hwang (2008) com as modificações propostas por Chen et. al. (2009) para calcular a eficiência dos PPG de Engenharia que compõem a área Engenharia III da avaliação da CAPES no triênio 2010-2012. Na etapa 1 a entrada considerada foi o número de docentes permanentes e as saídas foram o número de dissertações e o número de teses defendidas. Essas dissertações e teses são os produtos intermediários do sistema, assumem também papel de entrada para etapa 2. As

saídas dessa etapa foram os artigos publicados separados nos Qualis dos periódicos.

O presente trabalho é semelhante ao trabalho de GOMES JUNIOR et al. (2014), apresentando as principais diferenças: **1)** Aplicado na área ACT/CAPES; **2)** Considera a rede de colaboração no modelo de eficiência; e **3)** o modelo apresenta projeção na fronteira para as DMU não eficientes.

2.3 Rede de Colaboração

De acordo com Li-Chun et al. (2006, p.2), “as redes sociais são pessoas ou grupos conectados por alguma relação”. Nesse sentido, elas são maneiras de se pensar sobre os sistemas sociais com a atenção dos pesquisadores voltada para os relacionamentos entre as entidades que os compõem, chamadas de atores ou nós (BORGATTI, EVERETT e JOHNSON, 2013). Burt (2002) destaca que a conexão com diferentes redes ou diferentes grupos aumentam as chances para se conseguir vantagens.

A colaboração entre duas ou mais pessoas é um processo social e pode acontecer de diversas maneiras e por motivos variados (VANZ e STUMPF, 2010). Já a colaboração científica, segundo Katz e Martin (1997), pode ser definida como o trabalho em conjunto de pesquisadores com o intuito de produzir novos conhecimentos científicos. É assumida como algo bom e, portanto deve ser encorajada. Destacam-se como benefícios a transferência do conhecimento e transferência das habilidades.

A colaboração científica é cada vez mais comum em diferentes áreas do conhecimento (LI-CHUN et al., 2006). Evidências dessa afirmação podem ser encontradas nos trabalhos de Moody (2004), Wagner e Leydesdorff (2005); Barabási (2005) e Katz e Martin (1997).

Conforme Otte e Rousseau (2002), a Análise de Redes Sociais (ARS) tem sido utilizada com aprovação como estratégia de investigação em estudos sobre as redes de colaboração, onde os pesquisadores (ou professores) são ligados uns aos outros pelos trabalhos realizados em coautoria. De fato, conforme Vanz e Stumpf (2010), a colaboração científica aparece constantemente na literatura relacionada

com a coautoria de trabalhos científicos. Entretanto, é importante destacar que a coautoria apresenta limitações como indicador de colaboração, uma vez que não representa o processo de colaboração científica na sua totalidade e complexidade (VANZ e STUMPF, 2010). Porém, segundo Katz e Martin (1997), a coautoria tem sido utilizada como um dos principais indicadores para medir e investigar a colaboração, em outras palavras, “a coautoria é o produto explícito da colaboração” (HE, DING e NI, 2013, p.831). Corroborando com essa afirmação podem ser citados os trabalhos de Moody (2004), Hocayen-Silva, Rossoni e Júnior (2008), Rossoni e Guarido Filho (2009) e Mena-Chalco et al. (2014), onde os autores utilizaram a coautoria para representar e estudar a rede de colaboração.

2.3.1 Análise de Redes Sociais

Conforme Bordin (2015), a ARS estuda a estrutura das redes formadas por meio das relações, como por exemplo, a coautoria entre os pesquisadores. Segundo Wasserman e Faust (1994), existem alguns conceitos chave que são fundamentais na análise de redes sociais, os quais foram descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Conceitos básicos de análise de rede

Conceito	Definição
Atores	As entidades sociais são referidas como atores. Exemplos de atores são pessoas em um grupo ou agências de serviços públicos em uma cidade.
Ligações	Os atores são ligados a outros atores por meio de uma ligação social.
Díade	É uma unidade relacional básica de análise. As díades são formadas pela ligação, ou possíveis ligações, entre dois atores.
Tríade	É formada por um conjunto de três atores e suas possíveis ligações.
Subgrupo	É qualquer subconjunto de atores e todas as ligações entre eles.
Grupo	Um grupo pode ser definido como uma coleção de todos os atores em que as ligações podem ser medidas.
Relações	É definida com um conjunto de ligações de um determinado tipo entre os membros de um grupo.
Rede Social	Consiste em um conjunto ou conjuntos finitos de atores e relações estabelecidas entre eles.

Fonte: Wasserman e Faust (1994).

Bordin (2015) ainda destaca que podem ser considerados níveis de análise e para cada nível são empregadas medidas específicas: **1)** rede como um todo: para esse nível de análise medidas de conectividade são geralmente utilizadas, tais

como: densidade, diâmetro e componente; **2)** conjunto de atores na rede: existem algumas medidas que permitem detectar subgrupos de atores que são homogêneos em relação a algumas características da rede, tais como clique e n-clique. **3)** ator individualmente: analisando o ator individualmente dentro de um grupo, medidas como as de centralidade podem ser aplicadas; **4)** pares de atores e as relações entre eles: nesse nível de análise podem ser utilizadas medidas de distância e alcançabilidade.

Uma forma de representar uma rede social é por meio de grafos (BORGATTI, EVERETT e JOHNSON, 2013). Segundo Butts (2008), grafo é uma estrutura relacional que consiste de dois elementos: um conjunto de entidades (atores), chamadas de vértices; e um conjunto de pares de entidades indicando ligações, chamados de arestas.

Os próximos parágrafos apresentaram alguns conceitos envolvendo a teoria de grafos descritos em Borgatti, Everett e Johnson (2013) e Wasserman e Faust (1994):

Grafo – Matematicamente um grafo G pode ser definido por $G(V,E)$, onde $V = \{1, 2, \dots, n\}$ é um conjunto de vértices – também chamados de nós ou atores – e E é um conjunto de arestas – também chamadas de ligações ou *links*⁵. O número de nós é representado por n e m representa o número de arestas. Uma aresta $E = (v_1, v_2)$ pode ser um par não ordenado ou ordenado de pertencente a G .

Adjacente – Dois nós conectados por uma aresta são chamados de adjacentes.

Incidente – Uma aresta (v_1, v_2) é incidente sobre os nós v_1 e v_2 .

Reflexivo – Uma aresta $E = (v_1, v_1)$ que liga um nó a ele mesmo é chamada de reflexiva ou *loop*.

Direcional e não direcional – Os grafos podem representar relações direcionais e não direcionais. Uma relação direcional é aquela onde as ligações têm direção – representada por uma seta – dessa forma, o ator A pode ter uma relação com B sem que B necessariamente tenha uma relação com A. Uma rede de confiança é um exemplo desse tipo de relação, ou seja, um ator A pode confiar no ator B sem que o ator B confie no ator A. Nesse caso, $E = (v_1, v_2)$ é um par ordenado pertencente a G . Para representar a direção leia-se que v_1 tem uma

⁵ No trabalho foram utilizados esses termos para os dois conceitos indiscriminadamente.

ligação com v_2 – graficamente há uma aresta ligando v_1 e v_2 . Essas ligações ainda podem ser **recíprocas**.

Para as relações não direcionais – onde existe uma reciprocidade na relação – nesse caso, $E = (v_1, v_2)$ é um par não ordenado pertencente a G . Um exemplo é um grafo representando uma relação de parentesco. Dessa forma, o ator A tem uma relação com B, não sendo necessário demonstrar que B também tem uma relação com A.

Matriz de adjacência – é uma matriz quadrada $A = n \times n$ em que as linhas e colunas representam os nós e se $a_{ij} = 0$ indica que não existe uma ligação entre os nós i e j , e se $a_{ij} = 1$ indica que existe uma ligação entre os nós i e j . Vale destacar que para os grafos direcionais a direção da ligação importa, portanto a matriz é lida das linhas para as colunas. Se o grafo for reflexivo a diagonal será preenchida com o valor 1, caso contrário, 0.

Matriz simétrica – para os grafos não direcionais a matriz de adjacência será simétrica, ou seja, a_{ij} será sempre igual a a_{ji} .

Matriz dicotômica – onde indica apenas a presença ou ausência da ligação, ou seja, 0 ou 1.

Trivial e vazio – Todos os grafos que contém mais de um nó são chamados de não trivial. Já um grafo não trivial que não tem aresta é chamado de vazio.

Dos níveis de análise citados anteriormente, na teoria de grafos esses níveis correspondem a diferentes subgrafos.

Caminho (Path) – pode ser definido como uma sequência particular de nós adjacentes (nenhum nó pode ser visitado mais de uma vez), respeitando se o grafo é direcional ou não.

Trail – Pode ser definido como uma sequência particular de nós adjacentes que permite que um nó seja visitado mais de uma vez, contanto que as arestas sejam usadas apenas uma vez.

Walk – Pode ser definido como uma sequência qualquer de nós adjacentes v_1, v_2, \dots, v_n . **Closed** é um *walk* em que $v_1 = v_n$. Pode ser dito que todo caminho é um *trail* e todo *trail* é um *walk*.

Tamanho – o tamanho de um caminho é determinado de acordo com o número de arestas que o caminho contém.

Geodésica – O menor valor do caminho entre dois nós é chamado geodésica. Por exemplo, uma geodésica – representada por $d(i, j)$ – do nó v_i para o nó v_j é o menor caminho entre os nós v_i e v_j . Dessa forma, $d(i, j)$ é o tamanho da geodésica entre os nós v_i e v_j . Vale notar que para os grafos direcionais a distância geodésica de v_i para v_j será diferente da distancia geodésica de v_j para v_i .

Distância – definida como o tamanho da geodésica que conecta dois nós.

Diâmetro – a medida valor maior das distâncias de um grafo é conhecida como diâmetro do grafo.

Componente – é definido como um subgrafo ou um conjunto máximo de nós onde os nós podem alcançar uns aos outros por algum caminho. Um grafo **conectado** tem somente uma componente. Para grafos direcionais pode ser feita distinção entre **componente fraca** e **componente forte**.

Grau (Degree) – é definido como o número de nós adjacentes de um determinado nó. Para os grafos não direcionais pode ser obtido pela soma de cada linha (representando os nós) da matriz de adjacência. Para grafos direcionais, um nó pode ter a **grau de entrada** e **grau de saída**, dependendo da direção da aresta.

Valorado – uma relação é valorada quando a força ou intensidade dessa relação pode ser representada. A frequência de interações entre as pessoas de um determinado grupo é um exemplo desse tipo de relação. Podem ser representadas tanto de forma direcional quanto não direcional.

Na sequência, foram apresentadas algumas medidas de centralidade estudadas na análise de redes sociais. As medidas de centralidade avaliam a localização dos nós em uma rede, ou o quanto um ator é central na rede (BORDONS et al., 2015). De acordo com Abbasi, Altmann e Hossain (2011), essas métricas ajudam a determinar a importância de um nó na rede. De acordo com Freeman (1979), a centralidade tem uma importante influência na satisfação, liderança e eficiência, especificamente as métricas de centralidade intermediação (*betweenness*) e grau (*degree*) influenciam o desempenho de um nó.

Um nó pode ser central do ponto de vista local ou global. Dessa forma, é localmente central quando tem um elevado número de ligações diretas, e é globalmente central quando ocupa uma posição específica considerando toda a rede.

- a)** Centralidade de grau (*degree*) – é a mais simples das medidas de centralidade e é obtida por meio da soma dos nós conectados diretamente ao nó em análise. É considerada uma métrica local de centralidade, pois ignora qualquer ligação indireta que possa existir (SCOTT, 2000). Conforme Abbasi, Altmann e Houssain (2011), a centralidade de grau pode ser considerada um indicador de popularidade ou atividade de comunicação de um ator.
- b)** Centralidade de intermediação (*betweenness*) – pode ser definida como o número de menores caminhos que passam por um determinado nó. De acordo com Borgatti, Everett e Johnson (2013), um ator com um elevado valor da centralidade de intermediação pode ser considerado como um potencial controlador do fluxo das informações na rede.
- c)** Centralidade de proximidade (*closeness*) – conforme Freeman (1979), a centralidade de proximidade é definida como a soma dos menores caminhos de um nó em relação aos outros nós da rede, ou seja, o quão próximo um ator está dos demais na rede. De acordo com Abbasi, Altmann e Hossain (2011), um nó que está mais próximo a outros pode obter informações eficientemente. É considerada uma medida de centralidade global.
- d)** Centralidade *eigenvector* – pode ser considerada como uma variação da centralidade de grau que, além de contar o número de nós adjacentes que um determinado nó possui, considera também a medida da centralidade de grau desses nós (BORGATTI, EVERETT E JOHNSON, 2013). Assim sendo, um nó será mais central se estiver ligado a nós que também são centrais.

2.3.2 Trabalhos de ARS

Nos últimos anos vários trabalhos têm estudado a colaboração com base na coautoria em diferentes áreas do conhecimento. Alguns desses trabalhos estão interessados em estudar os padrões de colaboração e como essas redes são formadas, por exemplo: o trabalho de Moody (2004), onde o autor analisou a colaboração em artigos publicados no Sociological Abstracts entre os anos 1963 a 1999; Newman (2001a, 2001b) apresentou algumas características da rede de colaboração formada por autores de artigos publicados em quatro áreas: física, biomédica, física de partículas e ciência da computação; Motta e Quintella (2012)

utilizaram a ARS para identificar prováveis compradores de tecnologia por meio da formação da rede de colaboração na publicação de artigos e registro de patentes.

Outros trabalhos utilizam a ARS para verificar a influência da rede de colaboração no desempenho dos pesquisadores. Nessa direção, Rossoni e Guarido Filho (2007) consideraram 765 artigos publicados na área de estratégia entre 2001 e 2006 na EnAnpad. Com base nas relações de coautoria na publicação desses artigos foi formada a rede de colaboração entre os programas. Os autores apresentaram algumas características estruturais dessa rede, destacando a importância da localização geográfica para a existência dessas estruturas. Por fim, os autores verificaram a existência de uma relação positiva entre as medidas centralidade de grau, proximidade e intermediação da rede de colaboração e o número de publicação por instituição, com a centralidade de grau apresentando maior poder explicativo que a demais.

No trabalho de Rossoni e Guarido Filho (2009), os autores analisaram algumas características estruturais da rede de colaboração formada pelos PPG em Administração com base em 2874 artigos publicados no EnAnpad entre os anos 2000 a 2006. Quatro hipóteses foram levantadas sobre a estrutura da rede: *small-world*, ligação preferencial, centro-periferia e centralidade. Os autores verificaram que os resultados eram a favor da aceitação das hipóteses levantadas. Com relação à última hipótese, foi identificado, por meio da correlação de Spearman, que as medidas de centralidade de grau, intermediação e proximidade estão relacionadas com a produção científica, sendo que a centralidade de grau apresentou os melhores resultados.

Abbasi, Altmann e Hossain (2011) verificaram a correlação da rede de colaboração por meio das medidas normalizadas de centralidade de grau, intermediação, proximidade e *eigenvector*, mais a média da intensidade das ligações e eficiência dos nós, com o desempenho acadêmico. Primeiramente os autores utilizaram a correlação de Spearman entre as medidas da ARS e quatro medidas representando o desempenho acadêmico: quantidade de publicação, quantidade de citação, *h-index* e *g-index*. Como resultado dessa primeira etapa os autores verificaram que os coeficientes de correlação foram positivos e significativos, com exceção dos coeficientes das centralidades de proximidade normalizada e *eigenvector* normalizada. Os autores ainda verificaram as medidas da ARS

apresentam efeitos significativos sobre a medida *g-index*, com exceção das centralidades normalizadas de intermediação e proximidade.

Liao (2011) verificou a influência de centralidade de grau no desempenho em pesquisa, sendo esse último representado pelo fator de impacto dos periódicos científicos, quantidade de citação e pesquisas premiadas. O autor concluiu que a centralidade de grau apresentou efeito positivo e significativo sobre o desempenho em pesquisa.

Abassi, Chung e Hossain (2012) verificaram a correlação entre medidas da rede colaboração com foco no ator (*ego-network*) e a medida de desempenho baseada em citações *g-index*. As medidas consideradas da ARS foram: densidade, centralidade de grau, proximidade (*ego*), tamanho efetivo, eficiência e *constraint*. Por meio da correlação de Spearman os autores verificaram que os coeficientes de correlação encontrados foram significativos, sugerindo que os autores mais bem conectados e que estão entre os menores caminhos da rede *ego* apresentam melhores resultados.

Li, Liao e Yen (2013) estudaram o efeito das três dimensões do capital social⁶ – estrutural, relacional e cognitivo – sobre o desempenho em pesquisa medido pela quantidade de citações de artigos. Para tanto, os autores definiram seis indicadores do capital social, entre os quais foram utilizadas as medidas de centralidade de grau, intermediação e proximidade para representar o capital estrutural. Como um dos principais resultados, os autores verificaram que a centralidade de proximidade teve um tamanho de efeito grande sobre a citação em artigos. Já as medidas de centralidade de grau e proximidade não apresentaram

No trabalho de Bordon et al. (2015) os autores verificaram a relação entre desempenho em pesquisa e a posição dos pesquisadores na rede de colaboração em três diferentes campos de estudos (Nanociência, Farmacologia e Estatística). Como principais resultados, os autores encontraram uma correlação positiva entre a medida de centralidade de grau e a medida de citação *g-index* nos três campos, sendo que em Estatística apresentou menor correlação.

⁶ Segundo Coleman (1988), capital social pode ser definido como os benefícios advindos das redes sociais de um determinado ator.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa teve por objetivo avaliar a eficiência dos Programas de Pós-graduação (PPG) *stricto sensu* brasileiros em Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo (ACT/CAPEES). Esses PPG – também chamados durante o trabalho de DMU por causa da referência à DEA – são as unidades de análise do presente estudo e juntos formam uma das áreas de avaliação da CAPES. Os dados levantados são referentes aos anos de 2010, 2011 e 2012, os quais foram considerados na avaliação trienal 2013 realizada pela CAPES.

O foco do estudo foi avaliar a eficiência dos PPG quanto à produção intelectual (sob o formato de artigos publicados em periódicos). Portanto, os itens considerados para mensurar a eficiência buscaram representar as entradas para alcançar esse resultado, mesmo que essas entradas possam assumir uma função dupla nesse contexto. Cabe destacar que a modelagem apresentada não considera outros itens importantes que a CAPES avalia, portanto não pretende ser uma proposta de um novo modelo de avaliação e sim contribuir para o processo de avaliação do desempenho e melhoria contínua dos PPG.

Como relatado anteriormente, o modelo de avaliação da eficiência do presente trabalho verificou a eficiência dos PPG tendo a produção intelectual como saída final do sistema. Assim sendo, para aumentar a capacidade de verificar eficiência e ineficiência nesse contexto, esse modelo foi dividido em duas etapas, representando duas atividades ligadas aos programas de pós-graduação, ensino e pesquisa (KAO e HUNG, 2008). Essas etapas foram referenciadas no trabalho como Capacidade de Orientação (etapa 1) e Capacidade de Produção Intelectual (etapa 2), respectivamente. Cabe destacar que a eficiência final dos PPG, ou eficiência geral do modelo, é referenciada no trabalho como eficiência do sistema.

De acordo com Kao, Tone e Zhu (2014), existem situações onde alguns indicadores utilizados no modelo de avaliação da eficiência podem exercer uma função dupla, sendo consideradas como saídas e entradas simultaneamente. Esse papel duplo é assumido pelas teses e dissertações defendidas pelos alunos dos PPG. Na atividade de ensino, etapa denominada “Capacidade de Orientação”, as

teses e dissertações defendidas são consideradas no trabalho como as saídas, ou seja, o resultado dessa etapa. Entretanto, na atividade de pesquisa, etapa denominada “Capacidade de Produção Intelectual”, essas mesmas teses e dissertações são consideradas como entradas, uma vez que esses trabalhos (ou a pesquisa realizada durante formação para a confecção desses trabalhos) podem ser convertidos em publicações de artigos científicos, os quais são os resultados considerados no trabalho para essa etapa (KAO, TONE e ZHU, 2014; GOMES JUNIOR et al. 2014). Sendo assim, o modelo de eficiência apresenta uma estrutura interna (teses e dissertações) que liga as duas etapas.

A entrada considerada na etapa 1 (ou a entrada do sistema) foi o número de professores, uma vez que esses orientam seus alunos na construção das teses e dissertações para posterior defesa. Essas teses e dissertações defendidas são as saídas dessa etapa e ao mesmo tempo atuam como entradas para a etapa 2, conforme descrito anteriormente. As saídas consideradas para a etapa 2 (ou saídas do sistema) foram os artigos publicados em periódicos científicos, chamados no trabalho como produção intelectual dos PPG.

Assim sendo, percebe-se que quando somente as teses e dissertações são consideradas como as entradas para a geração de produção intelectual (etapa 2), como foi abordado em GOMES JUNIOR et al. (2014), deixa-se de levar em consideração que os professores, em meio as suas atividades de ensino e pesquisa, também podem ter produção intelectual que não estão diretamente relacionadas com as teses e dissertações que orientam, ou seja, eles podem ter publicações científicas individuais ou realizadas com seus pares, por meio de sua rede de colaboração. Dessa forma, para o modelo de avaliação da eficiência do trabalho, os professores foram considerados como a entrada na etapa 1 e de maneira compartilhada como uma das entradas na etapa 2, representando que eles também podem possuir publicações individuais (referenciado no trabalho como a Capacidade de Autoria Docente).

Como descrito anteriormente, os professores também podem ter produção intelectual com seus pares por meio de sua rede de colaboração. Dessa forma, foi necessário estabelecer um *proxy* que representasse essa rede de colaboração, sendo referenciado no trabalho como Colaboração Efetiva dos programas.

Conforme apresentado no Referencial Teórico, a ARS foi escolhida como ferramenta de análise da rede de colaboração e a coautoria⁷ foi utilizada para representar essa rede. Entretanto, foi necessário estabelecer qual a métrica da rede representava melhor a Colaboração Efetiva no modelo de eficiência do trabalho.

Segundo Bordons et al. (2015), a posição exercida pelo pesquisador (ou professor) na rede de colaboração pode exercer influência sobre o seu desempenho em pesquisa. Ainda segundo os autores, os estudos de Liao (2011), Yan e Ding (2009) e Hou et al. (2008), indicam que pesquisadores com altas medidas de *degree* e *closeness* podem obter melhor desempenho do que os que tem baixas medidas. Com base no exposto, foram correlacionadas as métricas de centralidade da rede de colaboração com duas medidas de desempenho dos PPG: Nota final da CAPES atribuída ao item de avaliação Produção Intelectual; e número de artigos publicados em periódicos científicos. Dessa correlação foi retirada a métrica utilizada como *proxy* para a rede de colaboração do modelo de eficiência, sendo utilizado como mais uma das entradas da etapa 2.

A Figura 4 mostra o modelo completo de eficiência apresentado nos parágrafos anteriores.

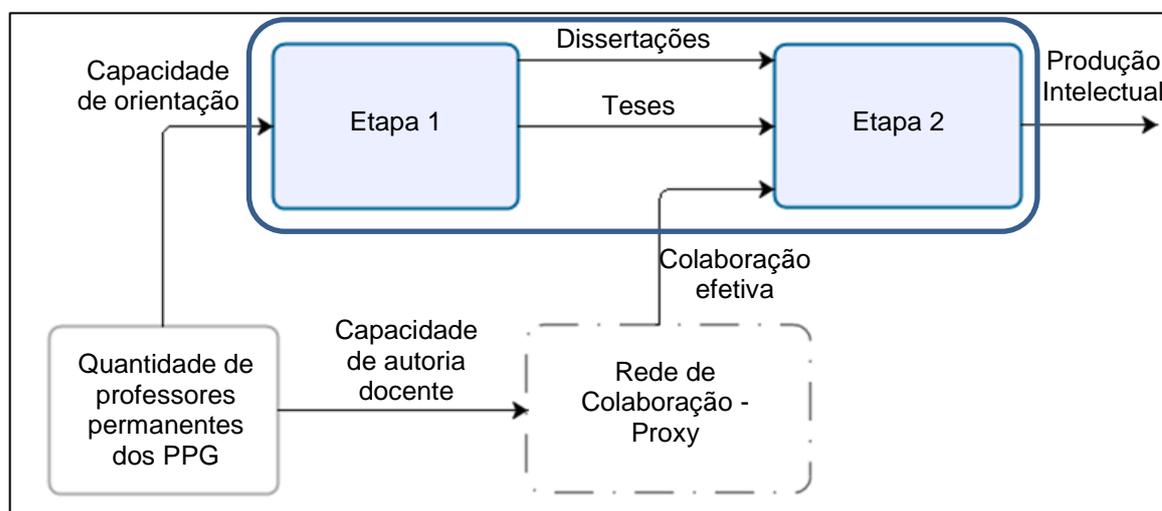


Figura 4 - Modelo conceitual para avaliação da eficiência.

Vale ressaltar que existe a possibilidade de considerar artigos que foram publicados e contabilizados pela CAPES em um triênio, porém originários de teses

⁷ A colaboração, ou Colaboração Efetiva, dos PPG foi representada de duas formas no trabalho: pelos trabalhos realizados em coautoria entre os professores dos PPG da área ACT e; autoria do mesmo professor pertencente a dois ou mais programas da área ACT.

ou dissertações defendidas em um triênio anterior. Nessa mesma linha de entendimento, uma tese ou dissertação pode gerar uma publicação em um triênio, porém ser defendida no triênio seguinte. Dessa forma, mesmo que sejam consideradas algumas teses, dissertações e artigos onde os esforços para sua construção foram feitos fora do triênio em análise, percebe-se um equilíbrio nos dados dos programas considerados no presente trabalho.

Especificamente sobre a DEA, vale destacar que a abordagem DEA tradicional, uma vez que não considera a estrutura interna dos sistemas, pode ser desapropriada na apresentação da eficiência para sistemas que apresentam essa estrutura. De fato, conforme Kao (2014), os resultados da medida da eficiência podem ser mascarados quando não são consideradas as estruturas internas das DMU. Dessa forma, o modelo NDEA duas-etapas possibilita pelo menos duas contribuições na avaliação da eficiência dos PPG: **1)** decompor o processo em duas etapas, dessa maneira, pode-se identificar qual etapa contribui de forma mais expressiva para eficiência dos PPG; e **2)** GOMES JUNIOR et al. (2014) e Mello et al. (2006) alegam que essas etapas podem ser vistas como a produtividade e qualidade dos PPG, ou seja, na etapa 1 a orientação de teses e dissertações como uma medida de produtividade dos programas e na etapa 2 essas orientações sendo convertidas em artigos publicados separados no extrato Qualis, refletindo uma medida de qualidade do programa.

DEA é uma metodologia não paramétrica, ou seja, não exige conhecimento prévio da fronteira de produção. Já os modelos paramétricos, como a fronteira estocástica, requerem o conhecimento ou uma maneira de estimar a fronteira de produção. Dessa forma, a opção por um modelo não paramétrico frente a um modelo paramétrico encontra resguardo devido à complexidade das atividades desenvolvidas pelos PPG, tornando difícil definir ou estimar a forma funcional adequada para essas unidades (MOREIRA, 2008).

Além do mais, a DEA é adequada para situações de múltiplas entradas e saída, característica das DMU do presente trabalho (MONFARED e SAFI, 2013), e também para sistemas de produção onde o objetivo principal não é o lucro (BOWLIN, 1998), que no presente trabalho estão representados pelos programas federais.

De acordo com Salerno (2003) os autores que preferem utilizar métodos paramétricos no contexto da educação apontam duas fraquezas da DEA: sensibilidade a erros nos dados e medida de eficiência relativa ao invés de absoluta. Com base nessas limitações pode-se dizer que a preocupação com erros nos dados foi amenizada, uma vez que os dados foram obtidos de uma fonte confiável, a CAPES. A limitação da eficiência relativa ao invés da absoluta encontra resguardo para uso, visto que o objetivo do presente trabalho é obter uma medida de eficiência relativa que é válida somente entre os PPG em análise.

A Figura 5 apresenta uma visão macro dos procedimentos metodológicos adotados no trabalho.

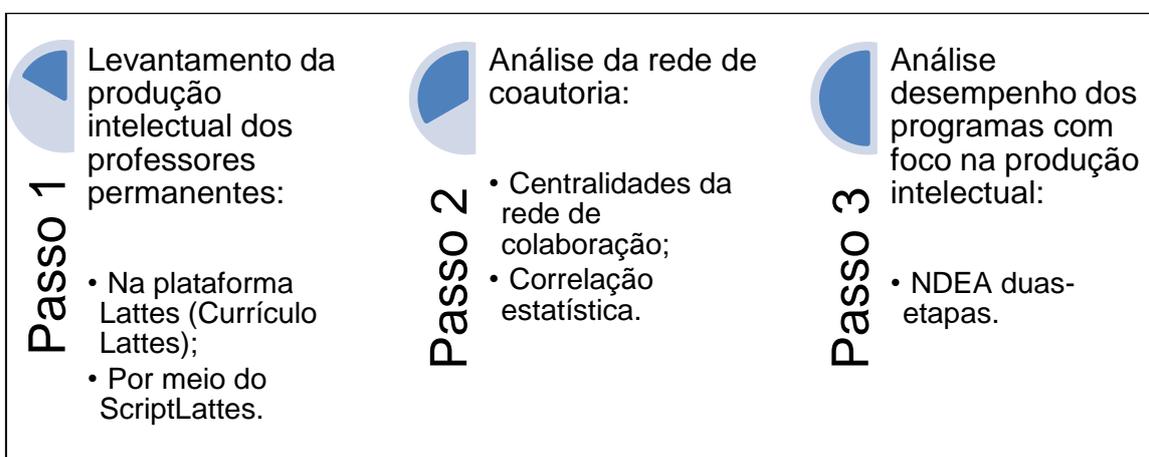


Figura 5 - Etapas dos Procedimentos Metodológicos.

3.1 Levantamento dos dados

Nessa seção foram apresentados os procedimentos para a coleta dos dados para a formação da rede de colaboração (3.1.1) e para a aplicação da *Network* DEA duas-etapas (3.1.2).

Sobre a rede de colaboração, começou-se com a Plataforma Lattes onde os currículos dos pesquisadores brasileiros estão cadastrados. Uma parte desse currículo contém informações sobre a produção intelectual que foi utilizada para formar a rede de colaboração. Para aplicação da DEA foram levantados os dados disponibilizados pela CAPES ao final da avaliação trienal 2013.

3.1.1 Rede de Colaboração

Conforme descrito na seção 1 do trabalho, especificamente nas justificativas, a Plataforma Lattes foi escolhida como fonte de dados para formação da rede de colaboração dos PPG.

Optou-se por seguir as etapas do trabalho Mena-Chalco, Digiampietri e Oliveira (2012) para o levantamento da produção intelectual dos PPG em ACT/CAPEES no triênio de 2010 a 2012. Essa etapa teve como intuito formar a rede de colaboração entre os programas. As quatro etapas de levantamento dos dados são apresentadas a seguir:

a) Identificação dos PPG

A CAPES, por meio dos Documentos de Área e Caderno de Indicadores, divulga quantos e quais foram os programas avaliados em cada triênio de cada área de avaliação. Na avaliação trienal 2010-2012 foram avaliados 121 programas na área ACT/CAPEES.

b) Identificação dos Professores

Por meio do Caderno de Indicadores, a CAPES disponibiliza uma consulta a onze documentos utilizados no processo de avaliação dos PPG (CAPES, 2014). Um dos documentos é o DA-Docente Atuação, que contém os professores que fizeram parte de cada programa e em qual ano. Dessa forma, esse documento foi usado para levantar os nomes de todos os professores permanentes dos PPG da área ACT/CAPEES em cada ano. Como os documentos são anuais, a condição suficiente para que um professor fosse selecionado, além de ser professor permanente, foi fazer parte do programa em pelo menos um ano do triênio.

c) Identificação dos Currículos Lattes dos Professores

Cada currículo na Plataforma Lattes possui um identificador único composto de 16 algarismos, conhecido como ID Lattes. Esta etapa consistiu em buscar os IDs Lattes associados aos currículos dos professores cadastrados na plataforma, utilizando os nomes de todos os professores levantados na etapa anterior. Para isso, foi necessária uma validação para garantir a consistência dos dados, uma vez que houve a ocorrência de homônimos e abreviações dos nomes levantados na etapa anterior, possibilitando considerar currículos de professores fora da delimitação da presente pesquisa. Essa validação consistiu em verificar manualmente todos esses

currículos para identificar se havia ligação desses professores com os programas da área ACT/CAPES.

d) Identificação da Rede de Colaboração

Para extração da produção intelectual dos professores dos PPG foi utilizado o scriptlattes, desenvolvido por Mena-Chalco e Marcondes (2009). O scriptlattes recebe como entrada uma lista contendo os Identificadores Lattes desejados, realiza o download desses currículos, extrai as produções acadêmicas (produção intelectual, orientações, entre outras), compila esses dados e disponibiliza os resultados por meio de relatórios e arquivos de dados (MENA-CHALCO e JUNIOR, 2013).

Para a identificação da rede de colaboração o scriptlattes realiza a comparação de todos os títulos dos trabalhos científicos inseridos em cada currículo. Se dois ou mais currículos possui o mesmo título de trabalho ou um título de trabalho aproximado é contabilizada uma relação de coautoria entre esses professores. Portanto, é nessa saída que o presente estudo teve interesse.

Destaca-se que há limitações quanto à formação da rede de colaboração dos professores: 1) caso o currículo de um dos professores não esteja atualizado com os dados de um trabalho realizado em coautoria, essa relação de coautoria não será contabilizada para esse professor; 2) a rede de colaboração é formada somente entre os professores permanentes da área ACT/CAPES, dessa forma os trabalhos realizados em coautoria com professores de outras áreas da avaliação da CAPES não serão contabilizados.

3.1.2 Network DEA

Ao final de cada avaliação a CAPES disponibiliza alguns dados e informações sobre os programas avaliados. A divulgação da avaliação trienal 2013 pode ser encontrada em CAPES (2013). Os dados utilizados no presente trabalho foram disponibilizados por meio das “Planilhas de Indicadores”. Essas planilhas são separadas por área de avaliação e contêm dados de produção intelectual distribuída de acordo com o extrato Qualis, teses e dissertações defendidas, número de docentes permanentes, nota da avaliação, entre outros.

3.2 Organização dos Dados

Nessa seção foram apresentados os procedimentos realizados para preparação dos dados referentes à rede de colaboração (3.2.1) e aplicação da *Network DEA* (3.2.2).

Para a rede de colaboração foi realizada a transformação de rede de colaboração entre os professores para rede de colaboração entre programas. Já para a NDEA, os dados foram preparados para aplicação do modelo matemático.

3.2.1 Rede de colaboração

Uma das saídas do scriptlattes é um arquivo que contém uma matriz de adjacência representando a rede de colaboração dos professores da área em ACT/CAPEs. Entretanto, para o presente trabalho foi necessário transformar a matriz de adjacência representando a rede de colaboração entre os professores em uma matriz de adjacência representando a rede de colaboração entre os PPG da área em ACT/CAPEs. Portanto, as colaborações entre os professores foram convertidas em colaboração entre programas.

A colaboração interna, ou seja, entre professores pertencentes ao mesmo programa foi desconsiderada. Para os casos onde um professor participou de mais de um programa, a colaboração desse professor foi contabilizada para cada programa. Exemplificando: se o professor A, que participou do programa p1 e p2 durante algum ano do triênio como permanente, colaborou com o professor B do programa p3, essa colaboração será contabilizada tanto para o programa p1 quanto para p2. Portanto, p1 terá uma colaboração com p3 e p2 também terá uma colaboração com p3.

3.2.2 *Network DEA*

Primeiramente os dados referentes aos PPG da área ACT/CAPEs foram tabulados de tal forma que permanecessem somente os de interesse do estudo. Assim sendo, foram excluídos os dados sobre produção artística, livros, congressos e outros.

O próximo passo foi preparar os dados para a aplicação da NDEA duas-etapas. Conforme Bowlin (1998), na modelagem DEA geralmente as entradas e saídas necessitam ter valores maiores que zero. Como a DEA-CCR sofre a variância translacional, Bowlin (1998) propõe que nos casos onde essa condição não é respeitada que esse valor seja substituído por um valor pequeno e positivo (menor que qualquer outro valor de saída). Assim sendo, esse procedimento foi aplicado a todos os PPG que tiveram valor zero nos dados levantados.

Mais especificamente, dois programas não tinham artigos publicados no Qualis A1 e, portanto apresentavam valor zero nesse item. Seguindo a orientação apresentada no parágrafo anterior, esses valores zero foram substituídos pelo valor 0,5.

3.3 Procedimentos para Análise dos Dados

Nessa seção foram apresentados os procedimentos para aplicação das métricas da ARS e posterior correlação (3.3.1) e para aplicação da *Network* DEA duas-etapas (3.3.2).

3.3.1 Rede de Colaboração

Em Borgatti, Everett e Johnson (2013), os autores relatam três níveis de análise para as redes: **díade** - o foco do estudo está nas relações entre os pares de atores/nós; **nó** - o foco do estudo está na posição dos atores/nós na rede; e **rede** - o foco do estudo está na rede como um todo.

He, Ding e Ni (2011) e Bordons et al. (2015) classificam os estudos sobre a rede de colaboração utilizando a coautoria em três perspectivas: micro, meso e macro. O Quadro 3 apresenta com detalhes essas perspectivas.

Quadro 3 - Perspectivas da rede de colaboração.

Perspectiva	Descrição	Exemplos de Medidas	Características
Meso	Subgrafo contendo a relação entre par de atores e os atores envolvidos, direta ou indiretamente.	Intensidade das ligações, tamanho do grafo e outras propriedades topológicas.	Caracterizar e contextualizar as relações de colaboração entre os pares de coautores.
Micro	O foco do estudo está na posição dos atores/nós na rede.	Medidas de centralidade, tais como: grau, aproximação e intermediação.	Identificar o autor mais colaborativo e estabelecer <i>ranking</i> entre autores individuais.
Macro	O foco do estudo está na rede como um todo.	Maior componente, distância geodésica, coeficiente de agrupamento.	Identificar o padrão global de colaboração científica.

Fonte: Baseado em He, Ding e Ni (2011).

Como exposto por Borgatti, Everett e Johnson (2013), os atores/nós podem representar seres individuais ou coletivos, sem modificar o nível de análise ou as perspectivas de estudo.

Com base nessas definições, o estudo utilizou a perspectiva micro apresentada no Quadro 3. Dessa forma, foram calculadas as métricas de centralidade da rede de colaboração entre os PPG da área ACT/CAPES. Para tanto, foi utilizado o *software* UCINET (BORGATTI, EVERETT E FREEMAN, 2002) para essa tarefa. O próximo passo foi verificar quais métricas de centralidade da rede eram relacionadas com o desempenho em produção intelectual dos programas.

As hipóteses de pesquisa foram transformadas em hipóteses estatísticas, ou seja, foi utilizada a correlação de Spearman para medir a correlação entre as medidas de centralidade (grau, intermediação, aproximação e *eigenvector*) e duas medidas de desempenho em produção intelectual (nota final da CAPES no quesito Produção Intelectual e quantidade de artigos publicados nos estratos superiores do Qualis – A1, A2 e B1). Dessa forma, as hipóteses estatísticas foram definidas da seguinte forma:

H_{1a} – os valores das centralidades de grau, intermediação, aproximação e *eigenvector* da rede de colaboração dos PPG da área ACT/CAPES apresentam correlação positiva com os artigos publicados em periódicos nos estratos Qualis de qualidade A1, A2 e B1.

H_{1b} - os valores das centralidades de grau, intermediação, aproximação e *eigenvector* da rede de colaboração dos PPG da área ACT/CAPES apresentam correlação positiva com o conceito atribuído pela CAPES no item de avaliação Produção Intelectual.

O teste de correlação Spearman também foi empregado para correlacionar métricas da ARS e medidas de desempenho em pesquisa semelhantes, tais como: Abbasi, Altmann e Hossain (2011), Abbasi, Chung e Hossain (2012) e Rossoni e Guarido Filho (2009).

Para que sejam aceitas as hipóteses estatísticas, as hipóteses nulas associadas a elas devem ser rejeitadas. Entretanto, além do teste das hipóteses, desejou-se conhecer qual métrica de ARS tinha melhor resultado com o desempenho em pesquisa. Para tanto, foi utilizada as diretrizes apresentadas em Field (2009): O teste de correlação Spearman gera o coeficiente de correlação (r), demonstrando o relacionamento entre duas variáveis. No entanto, para se medir a magnitude desse valor, Field (2009) declara que pode ser utilizado o “tamanho do efeito”, que significa uma medida padronizada que representa a intensidade do efeito observado. Dessa forma, Field (2009) apresenta as seguintes referências para verificar o a intensidade do efeito observado: $r = 0,10$ (efeito pequeno); $r = 0,30$ (efeito médio); e $r = 0,50$ (efeito grande).

Assim sendo, foi utilizado o *software* IBM[®] SPSS[®] Statistics v.20 para calcular as correlações. Na seção 4 do trabalho foi apresentado o relatório gerado pelo *software* com os coeficientes das correlações.

3.3.2 Análise Envoltória de Dados

Algumas etapas são fundamentais para que os resultados da análise de eficiência feita por meio da DEA sejam consistentes. Essas etapas são relacionadas com a escolha das DMU, seleção das entradas e saídas pertinentes com a análise da eficiência e escolha do tipo de modelo a ser utilizado (GOLANY e ROLL , 1989).

3.3.2.1 Escolha das DMU

A preocupação com as características homogêneas de operação entre as DMU é presente nos textos sobre DEA (Dyson et al., 2001; Golany e Roll, 1989). Assim sendo, o presente trabalho limita-se a avaliar a eficiência dos PPG que fazem parte de uma mesma área de avaliação da CAPES, onde esses são avaliados sob os mesmos critérios. Dessa forma, mesmo que haja diferenças entre as gestões desses programas, faz sentido compará-los, pois são considerados homogêneos segundo a avaliação da CAPES. Golany e Roll (1989) destaca que a homogeneidade refere-se à DMU que tem objetivos similares e possuem as mesmas entradas e saídas, variando somente em magnitude.

Nesse ponto, vale destacar que os Mestrados Profissionais são avaliados com algumas diferenças dos PPG acadêmicos, por esse motivo não serão considerados no trabalho. Os PPG que não tiveram Teses e Dissertações defendidas no triênio também ficaram de fora. A escolha por PPG que tiveram Teses e Dissertações defendidas no triênio também visa aumentar a homogeneidade entre as DMU.

Há também orientações referentes ao número de DMU envolvidas na análise. Por exemplo, o trabalho de Golany e Roll (1989) cita que o número de DMU deve ser pelo menos o dobro do número de entradas e saídas combinadas. Já Bowlin (1998) orienta que o número de DMU deve ser pelo menos o triplo das entradas e saídas combinadas. Entretanto, de acordo com Cook, Tone e Zhu (2014) isso não é uma regra e também não possui base estatística, sendo aplicadas principalmente por causa da baixa discriminação entre as DMU quando não são seguidas. Contudo, o número de DMU analisadas em cada modelo de análise respeita essas sugestões.

3.3.2.2 Seleção das Entradas e Saídas

Como destacado por Kao, Tone e Zhu (2014), ao escolher as entradas e saídas para serem utilizadas na avaliação da eficiência deve-se ter claramente definido o que se quer avaliar. Assim sendo, como no início desse capítulo já foi

discutido sobre isso, esse tópico focou na escolha e apresentação dos indicadores considerados como entradas e saídas no trabalho.

De acordo com Berbegal e Solé (2012), a escolha de poucos, mas significantes indicadores, representando as entradas e saídas do sistema da educação superior, são importantes para tornar o processo de análise de desempenho mais preciso. Ainda segundo os autores, não existe consenso sobre quais indicadores representam da melhor forma as entradas e saídas dessas instituições. Dessa forma, o presente trabalho optou por utilizar algumas medidas que a CAPES emprega em sua avaliação periódica:

- **Entrada**

Professor – representa o número de professores permanentes que participaram dos programas no período analisado. Dessa forma, entende-se que quanto maior for o valor desse indicador, maior será capacidade de orientação de teses e dissertações pelos programas.

- **Produtos intermediários**

Tese – representa o número de teses defendidas pelos alunos de Doutorado ligados aos programas no período analisado.

Dissertação – representa o número de dissertações defendidas pelos alunos de Mestrado ligados aos programas no período analisado.

Esses indicadores assumem o papel de saídas da etapa 1 e também o papel de entradas da etapa 2.

- **Saída**

Artigo – são divididos em A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5, onde representam os números de artigos publicados pelos programas em periódicos científicos classificados no extrato Qualis de qualidade.

Vale destacar que, além de serem considerados pela CAPES, esses indicadores também estão alinhados com os encontrados na literatura sobre avaliação de eficiência na educação, como pode ser observado em Berbegal e Solé (2012), Kao e Hung (2008) e Tavares (2016), por exemplo.

- **Entrada exógena**

Rede de colaboração – é uma entrada exógena ligada somente à etapa 2 do sistema. Como *proxy* para essa entrada foi utilizada a medida da ARS com maior impacto sobre o desempenho em produção intelectual.

3.3.2.3 Tipo de Modelo

Na sequência, foram apresentadas algumas características relacionadas à abordagem NDEA duas-etapas escolhida para ser utilizada no trabalho.

- **Retorno de escala**

Semelhante aos trabalhos de Paiva (2000), Lins, Almeida e Bartholo Junior (2004) e Moreira (2008), que utilizaram DEA na avaliação dos PPG brasileiros, o presente trabalho utilizou uma abordagem NDEA duas-etapas que adota retornos constantes de escala – CCR, assumindo assim que não existem efeitos de escala significativos na relação entre as entradas e saídas dos PPG.

Um dos motivos para essa escolha é que a CAPES avalia os PPG sob os mesmos critérios, como mencionado anteriormente, assumindo assim que os PPG da área ACT/CAPES não tem problemas significativos de escala de operação. Outro motivo é que a inserção de uma unidade na entrada – um professor a mais – afetará de forma semelhante o resultado dos PPG – a disponibilidade para orientação, por exemplo. Em contrapartida, a DEA BCC recebe algumas críticas quanto às suas características, tais como: 1) A eficiência das menores e maiores DMU tende a ser superestimadas (DYSON et al., 2001); 2) Elevação dos valores de eficiência (RUBEM et al., 2014) e 3) A medida de eficiência é modificada de acordo com a orientação do modelo (BENÍCIO e SOARES DE MELO, 2014).

- **Orientação**

Com relação à orientação do modelo, assumiu-se orientação para saída, ou seja, a eficiência será obtida maximizando as saídas enquanto mantém as entradas constantes, que de acordo com Moreira (2008) é mais condizente com a natureza das atividades dos PPG. Nesse sentido, o foco do estudo está em analisar a eficiência do sistema buscando o crescimento da produção intelectual e não a redução do número de professores. Sabendo que a população da presente pesquisa é formada em grande parte por PPG que estão ligados à gestão pública, Kao e Hung (2008) destacam que nesse ambiente o poder de influenciar a suas entradas é pequeno. Portanto, embora os gestores dos PPG envolvidos na análise tenham a possibilidade de descredenciar os professores, isso não é fácil, tornando a orientação para entradas questionável, reforçando assim a escolha da orientação para saída.

- **Pesos (multiplicadores)**

Uma das propriedades dos modelos DEA em geral é possibilitar a escolha dos pesos de maneira benevolente, dessa forma cada DMU destaca seus pontos fortes, minimizam ou até mesmo desconsiderando seus pontos fracos. Matematicamente isso é feito atribuindo valores pequenos ou zero aos pesos (ou multiplicadores) associados às entradas e saídas. Em alguns casos, onde não há uma preferência entre as entradas e saídas, isso pode ser importante, pois possibilita a identificação de DMU não eficientes, onde essas são não eficientes mesmo com a escolha dos melhores pesos sendo feitos por elas mesmas (ANGULO MEZA e ESTELLITA LINS, 2002). Entretanto, nos casos onde há alguma preferência ou classificação entre as entradas e saídas isso pode desagradar. Para lidar com essa questão existem alguns trabalhos que inserem restrições associadas aos pesos com o intuito de inserir valores de julgamento nos modelos DEA (ALLEN et al., 1997). Segundo Podinovski (2002), com a inserção dessas restrições os modelos podem se tornar mais adequados à realidade e ainda podem melhorar a discriminação entre as DMU.

No trabalho de Allen et al. (1997) foi apresentado uma revisão de algumas abordagens com o intuito de inserir julgamentos de valores nos modelos DEA. Uma dessas abordagens é a inserção de restrições diretamente nos pesos, proposta por Dyson e Thanassoulis (1988), $\alpha_i \leq v_i \leq \beta_i$ ($i = 1, \dots, m$) e $\alpha_r \leq u_r \leq \beta_r$ ($r = 1, \dots, s$). Onde as letras α e β representam aqui os limites inferiores e superiores que os pesos podem assumir, refletindo assim o conhecimento do decisor sobre esse peso.

Trazendo para o contexto da avaliação dos PPG, a produção intelectual, sob o formato de publicações de artigos em periódicos, está separada no extrato Qualis de qualidade: A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5. Assim sendo, cada artigo publicado recebe uma pontuação diferente de acordo com o Qualis do periódico, especificamente dessa forma: A1 = 100, A2 = 80, B1 = 60, B2 = 40, B3 = 30, B4 = 20 e B5 = 10. Por essa razão, o modelo NDEA duas-etapas CCR buscou refletir essa classificação por meio da inserção de restrições diretas nos pesos associados a essas saídas, conforme Equação 20.

$$\begin{aligned}
u_{r_1} &\geq u_{r_2} \cdot 1,25 & \eta_1 \\
u_{r_2} &\geq u_{r_3} \cdot 1,33 & \eta_2 \\
u_{r_3} &\geq u_{r_4} \cdot 1,20 & \eta_3 \\
u_{r_4} &\geq u_{r_5} \cdot 1,67 & \eta_4 \\
u_{r_5} &\geq u_{r_6} \cdot 1,50 & \eta_5 \\
u_{r_6} &\geq u_{r_7} \cdot 2,00 & \eta_6
\end{aligned} \tag{20}$$

As variáveis de decisão $u_{r_1}, u_{r_2}, u_{r_3}, u_{r_4}, u_{r_5}, u_{r_6}, u_{r_7}$ representam os pesos associados a cada saída do modelo, ou seja, u_{r_1} é o peso da saída Artigo A1, u_{r_2} é o peso da saída Artigo A2, e assim sucessivamente. Já as constantes do lado direito das inequações representam a porcentagem entre cada par de pontuações atribuída aos artigos, ou seja, o valor 1,25 da primeira inequação é porque a pontuação 100 do Artigo A1 vale 1,25 a mais do que a pontuação 80 do Artigo A2. Esse raciocínio foi seguido para obter os outros valores.

Observa-se que a discussão apresentada sobre inserção de restrições nos pesos está relacionada com o modelo multiplicador. Para que essas restrições sejam mantidas no modelo envelope é preciso empregar as relações primal/dual existentes nos modelo DEA, semelhante ao que foi empregado em Chen et al. (2010), Chen et al. (2013), Lim e Zhu (2016) e Kao (2017). Dessa forma, as variáveis $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6$ são as variáveis duais associadas a cada restrição.

- **NDEA duas-etapas**

O presente estudo optou por avaliar a eficiência dos PPG da área ACT/CAPES com o modelo proposto por Kao (2017). Algumas características desse modelo definiram a escolha: **1)** possibilita avaliar a eficiência do sistema e etapas e projeção na fronteira para as DMU ineficientes em um único modelo. Assim, como relatado na introdução do trabalho, é possível medir as realizações e planejar futuras melhorias; **2)** agregação das etapas - pode-se dizer que no contexto da educação, onde se tem as atividades de ensino e pesquisa como uma das principais (KAO E HUNG, 2008), utilizar a média das eficiências das etapas para obter a eficiência do sistema é aceitável. Essa agregação ainda pode ser feita de forma ponderada, conforme apresentado anteriormente; e **3)** permite trabalhar com sistemas NDEA duas-etapas gerais. Esse comportamento era necessário, pois o modelo conceitual

para avaliar a eficiência do presente trabalho (Figura 4) possui um entrada exógena na etapa 2.

Como o modelo de Kao (2017) foi desenvolvido para sistemas duas-etapas gerais onde existem saídas e entradas exógenas (Figura 3), ou seja, a eficiência é calculada considerando que essas entradas e saídas existem, foi necessário fazer uma modificação para que a etapa 1 tivesse sua eficiência calculada pelo modelo, uma vez que, conforme Figura 4, a etapa 1 não possui saída exógena.

Dessa forma, a Equação 21 apresentou o modelo completo adotado para avaliação da eficiência, ou seja, NDEA envelope duas-etapas geral CCR com orientação para saída/saída e com restrições nos pesos.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \frac{(\tilde{\phi}^{(1)} + \tilde{\phi}^{(2)})}{2} \\
 & \text{Sujeito a:} \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{(1)} \leq x_{i0}^{(1)} \quad i = 1, \dots, m^{(1)} \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{(2)} \leq x_{i0}^{(2)} \quad i = m^{(1)} + 1, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} = \sum_{j=1}^n \mu_j z_{dj} \quad z = 1, \dots, D \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j z_{dj} \geq \tilde{\phi}^{(1)} z_{dj0} \quad r = 1, \dots, s^{(1)} \\
 & \sum_{j=1}^n \mu_j y_{1j}^{(2)} - \eta_1 \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_1^{(2)} \\
 & \sum_{j=1}^n \mu_j y_{2j}^{(2)} - \eta_2 + (1,25\eta_1) \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_2^{(2)} \\
 & \sum_{j=1}^n \mu_j y_{3j}^{(2)} - \eta_3 + (1,33\eta_2) \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_3^{(2)} \\
 & \sum_{j=1}^n \mu_j y_{4j}^{(2)} - \eta_4 + (1,20\eta_3) \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_4^{(2)} \\
 & \sum_{j=1}^n \mu_j y_{5j}^{(2)} - \eta_5 + (1,66\eta_4) \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_5^{(2)} \\
 & \sum_{j=1}^n \mu_j y_{6j}^{(2)} - \eta_6 + (1,50\eta_5) \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_6^{(2)}
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\sum_{j=1}^n \mu_j y_{7j}^{(2)} - \eta_7 + (2,00\eta_6) \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_7^{(2)}$$

$$\tilde{\phi}^{(1)}, \tilde{\phi}^{(2)} \geq 1$$

$$\lambda_j, \mu_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

A restrição $\sum_{j=1}^n \mu_j y_{rj}^{(2)} \geq \tilde{\phi}^{(2)} y_{r0}^{(2)}$ $r = s^{(1)} + 1, \dots, s$ da Equação 19, referente às saídas finais do modelo, foi desmembrada para representar a restrição aos pesos da saídas finais no modelo multiplicador. Outra modificação foi na maneira como é calculada a eficiência. No modelo original de Kao (2017) a eficiência da etapa 1 foi calculada considerando a saída exógena dessa etapa, como no modelo do trabalho não há saída exógena na etapa 1, a eficiência dessa etapa foi calculada considerando suas saídas endógenas, ou seja, as saídas que são consideradas como produtos intermediários do sistema.

Para resolver o PPL da Equação 21 foi utilizada a ferramenta Solver do Microsoft Excel[®].

3.4 Apresentação dos Dados

Para a apresentação da rede de colaboração foram criadas figuras (representação visual das redes) utilizado o *software* NetDraw[®] (BORGATTI, 2002).

Os pontos nas figuras representam os nós, que no trabalho são os PPG da área ACT/CAPEs. As ligações, as linhas das figuras, representam a colaboração entre os programas. Segundo Borgatti, Everett e Johnson (2013), algumas características dos nós e das ligações podem ser representadas graficamente por meio de formas, cores e tamanhos atribuídos aos pontos e linhas.

Observa-se que na representação da ligação não existe nenhuma indicação de direção, ou seja, é uma ligação não direcional. A representação não direcional adequa-se a essa rede de colaboração, pois quando um programa (p1) colabora com outro programa (p2), não é necessário representar que p2 também colabora com p1, pois, nesse caso, é sempre verdade.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção foram apresentados os resultados da rede de colaboração e da aplicação da NDEA duas-etapas para avaliar a eficiência dos PPG da área ACT/CAPES.

Iniciou-se com a apresentação da rede de colaboração entre todos os PPG da área. Após, foi apresentada a rede de colaboração somente entre os programas que tiveram teses e dissertações defendidas na avaliação 2013 da CAPES. Na sequência, foram calculadas algumas métricas da rede de colaboração e correlacionadas com o desempenho em produção intelectual desses PPG.

Em seguida, foram apresentados e discutidos os resultados da aplicação da NDEA duas-etapas com inserção do *proxy* para rede de colaboração como entrada exógena da etapa 2.

4.1 Rede de Colaboração

Para apresentação da rede de colaboração foram retirados os programas que não tiveram colaboração com outros programas da área. Sendo assim, dos 121 programas considerados na avaliação da CAPES 2013, dois ficaram de fora. Vale lembrar, conforme apresentado na seção 3 do trabalho, que isso não indica que esses programas não realizaram trabalhos em coautoria, apenas que essa coautoria não foi realizada com outros programas da área ACT/CAPES dentro do período considerado no trabalho. Assim sendo, a Figura 6 apresenta a rede de colaboração da área ACT/CAPES.

medidas de desempenho e por essa razão foi escolhida para representar a rede de colaboração (*proxy*) na avaliação da eficiência com a NDEA duas-etapas.

A Tabela 3 apresenta as medidas de centralidade de grau calculadas para os programas que tiveram teses e dissertações defendidas no período.

Tabela 3 - Centralidade de Grau dos PPG

DMU	Grau	DMU	Grau
FGV/SP	50	UNISINOS	13
USP	52	UNIVALI	28
FGV/RJ	14	UPM	17
UFMG	26	USCS	14
USP-C	29	FUMEC	14
FGV/SP-AP	9	FURB	18
PUC-RIO	22	PUC/MG	11
PUC/PR	11	UFPE	9
UFBA	11	UFPR	17
UFLA	20	UFRJ	15
UFRGS	35	UFSC	20
UFRN	13	UNIFOR	11
UNB	19	UP	13
UNB-C	13	USP/RP	14
UNINOVE	44		

Essas medidas foram usadas como entrada exógena da etapa 2 na avaliação da eficiência desses programas. O grafo da Figura 7 exibe a rede de colaboração entre esses PPG, porém, com o tamanho do nó de acordo com a medida de centralidade de grau.

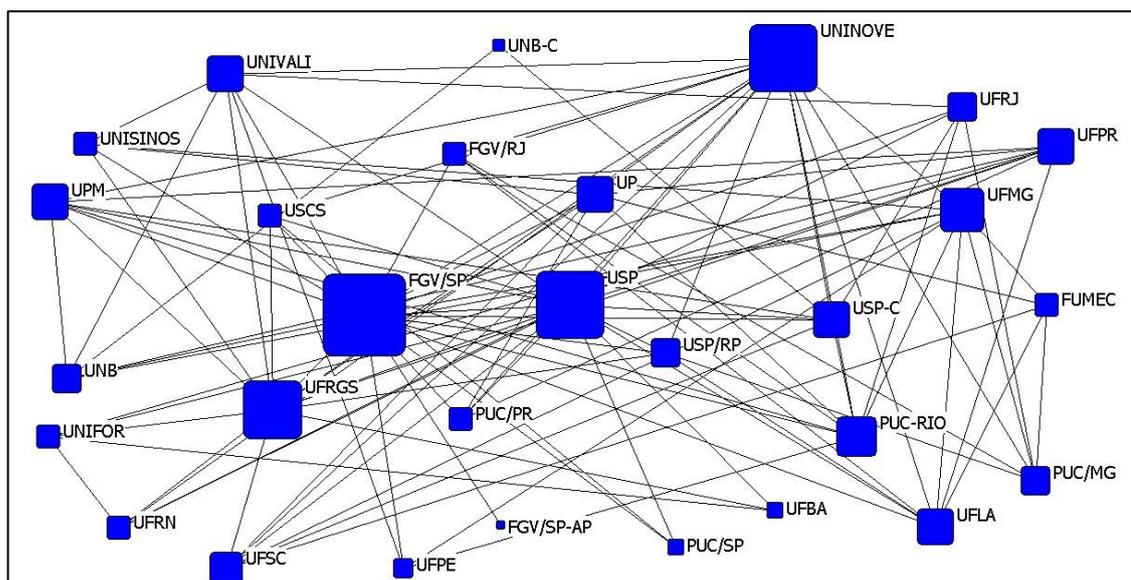


Figura 7 - Grafo da rede de colaboração dos PPG que tiveram teses e dissertações defendidas.

4.2 NDEA Duas-etapas

A Tabela 4 apresenta parte dos dados disponibilizados pela CAPES referentes ao triênio 2010-2012 da área ACT/CAPES. Conforme apresentado na seção 3, foram selecionados 29 programas de pós-graduação na modalidade acadêmica. Também foi apresentado nessa seção o tratamento para valores zero (0) nos dados dos PPG. Assim sendo, foi atribuído o valor 0,5 para os PPG UFLA e UNIVALI no valor de artigos publicados em periódicos A1, os quais foram destacados na tabela.

Tabela 4 - Dados PPG

Sigla Instituição	Professores Permanentes	Teses – Te	Dissertações – Di	Artigos completos publicados em periódicos científicos						
				A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5
FGV/SP	32	74	82	24	96	53	17	23	11	19
USP	42	115	103	10	92	142	87	121	54	48
FGV/RJ	25	32	170	36	75	56	18	40	18	19
UFMG	22	27	62	8	58	77	47	64	13	17
USP-C	20	47	44	5	59	69	55	54	17	24
FGV/SP-AP	18	29	48	7	31	39	1	10	10	37
PUC-RIO	22	12	91	17	45	42	24	22	9	9
PUC/PR	16	18	87	2	23	27	28	41	12	11
UFBA	20	44	32	8	40	28	24	38	18	36
UFLA	16	27	78	0,5	30	68	20	36	35	21
UFRGS	34	53	118	27	63	99	39	72	26	17
UFRN	13	10	69	1	8	18	26	22	9	9
UNB	20	22	49	8	42	51	16	25	19	16
UNB-C	17	13	53	3	11	59	57	74	18	18
UNINOVE	28	19	39	5	31	92	74	63	24	24
UNISINOS	14	19	81	5	24	33	12	31	27	14
UNIVALI	17	19	49	0,5	13	39	37	37	6	12
UPM	18	38	85	6	30	29	13	11	5	10
USCS	14	2	56	1	6	30	19	23	20	14
FUMEC	20	3	139	9	13	39	24	42	10	9
FURB	16	8	41	1	21	98	88	91	33	14
PUC/MG	15	2	19	2	26	17	16	16	6	10
UFPE	21	15	75	5	19	41	44	68	12	14
UFPR	18	21	81	4	48	46	35	19	18	9
UFRJ	22	11	134	15	33	34	12	18	5	6
UFSC	21	4	61	3	23	68	48	59	17	8
UNIFOR	15	1	62	5	5	19	18	20	5	10
UP	13	6	46	1	39	28	22	19	8	9
USP/RP	22	4	68	14	46	59	40	26	16	25

Fonte: CAPES (2013).

Com os dados da Tabela 4 e do *proxy* para a rede de colaboração foi conduzida a avaliação da eficiência do presente trabalho. A Figura 8 exhibe o modelo final duas-etapas, contendo a entrada, produtos intermediários, entrada exógena e saídas finais do sistema.

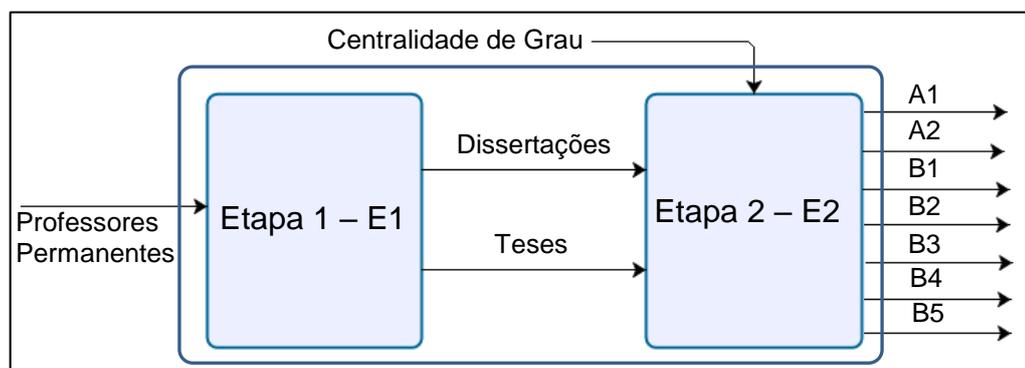


Figura 8 - NDEA duas-etapas geral

Como relatado anteriormente, o modelo trata de um sistema em que a avaliação da eficiência ocorre em duas etapas conectadas pelos produtos intermediários, nesse caso, as teses e dissertações. A entrada do sistema é o número de professores permanentes dos programas e as saídas são os artigos publicados em periódicos científicos separados no Qualis de qualidade. O valor do grau de centralidade da rede de colaboração é a entrada exógena da etapa 2.

Os resultados da NDEA duas-etapas geral apresentada na Equação 21 – com exceção das restrições referentes aos pesos dos artigos – foram apresentados na Tabela 5, a qual contém a eficiência do sistema, eficiência da etapa 1 e etapa 2, projeção dos produtos intermediários e projeção das saídas finais do sistema. A Tabela 6 apresentou as mesmas informações, porém utilizando o PPL da Equação 21 completo.

Na Tabela 5 constam oito programas eficientes (USP, FGV/RJ, FGV/SP-AP, UFBA, UNISINOS, FUMEC, FURB e UFPE), ou seja, com valor 1 para a eficiência do sistema.

Tabela 5 - Resultado NDEA duas-etapas geral sem restrição

DMU	Eficiência			Projeção								
	Sistema	E1	E2	Te	Di	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5
FGV/SP	0,87	1,00	0,77	74	127,8	31	124,1	68,5	22	29,7	14,2	24,6
USP	1,00	1,00	1,00	115	103	10	92	142	87	121	54	48
FGV/RJ	1,00	1,00	1,00	32	170	36	75	56	18	40	18	19
UFMG	0,66	0,59	0,75	45,9	105,3	10,7	77,8	103,2	63	85,8	17,4	22,8
USP-C	0,87	1,00	0,76	47	77,1	6,5	77,2	90,3	72	70,7	22,2	31,4
FGV/SP-AP	1,00	1,00	1,00	29	48	7	31	39	1	10	10	37
PUC-RIO	0,57	0,61	0,54	21,8	150,4	31,7	83,9	78,3	44,8	41	16,8	16,8
PUC/PR	0,81	0,83	0,80	21,8	105,5	2,5	28,6	33,6	34,9	51,1	14,9	13,7
UFBA	1,00	1,00	1,00	44	32	8	40	28	24	38	18	36
UFLA	0,92	0,91	0,92	29,7	85,8	0,5	32,5	73,8	21,7	39,1	38	22,8
UFRGS	0,76	0,74	0,79	71,9	160,1	34,1	79,6	125,1	49,3	91	32,9	21,5
UFRN	0,59	0,78	0,48	16,6	88,4	2,1	16,7	37,6	54,3	45,9	18,8	18,8
UNB	0,59	0,52	0,68	42,3	94,2	11,8	62,1	75,4	23,7	37	28,1	23,7
UNB-C	0,72	0,57	1,00	23	93,6	3	11	59	57	74	18	18
UNINOVE	0,36	0,31	0,43	61	125,3	11,5	71,4	211,8	170,4	145	55,3	55,3
UNISINOS	1,00	1,00	1,00	19	81	5	24	33	12	31	27	14
UNIVALI	0,40	0,57	0,31	33,5	86,3	1,6	42,1	126,2	119,8	119,8	19,4	38,8
UPM	0,65	1,00	0,48	38	85	12,5	62,5	60,4	27,1	22,9	10,4	20,8
USCS	0,69	0,59	0,82	17,9	95,2	1,2	7,3	36,5	23,1	28	24,3	17
FUMEC	1,00	1,00	1,00	3	139	9	13	39	24	42	10	9
FURB	1,00	1,00	1,00	8	41	1	21	98	88	91	33	14
PUC/MG	0,28	0,19	0,58	19,2	102	3,4	44,8	29,3	27,6	27,6	10,3	17,2
UFPE	1,00	1,00	1,00	15	75	5	19	41	44	68	12	14
UFPR	0,76	0,74	0,78	28,3	109,2	5,1	61,6	59	44,9	24,4	23,1	11,5
UFRJ	0,66	0,90	0,53	28,2	149,5	28,6	62,9	64,8	22,9	34,3	9,5	11,4
UFSC	0,54	0,43	0,72	26,9	142,8	4,2	31,9	94,3	66,6	81,8	23,6	11,1
UNIFOR	0,55	0,66	0,47	22,3	94,1	10,6	10,6	40,2	38,1	42,4	10,6	21,2
UP	0,62	0,52	0,76	16,6	88,4	1,3	51,2	36,7	28,9	24,9	10,5	11,8
USP/RP	0,68	0,51	1,00	29,5	133,1	14	46	59	40	26	16	25

Como esperado, conforme a literatura da DEA tradicional, a maneira benevolente com que os pesos são atribuídos diminui a discriminação entre as DMU. De fato, quando foram empregadas as restrições nos pesos dos artigos – conforme apresentado na seção 3 (Procedimentos Metodológicos) – o poder discriminatório da DEA (NDEA duas-etapas) melhorou, além de representar no modelo a diferenciação entre os artigos. A Tabela 6 apresenta esse resultado com 3 programas eficientes (FGV/RJ, UFBA e FUMEC). É possível perceber que os programas FGV/RJ, UFBA e FUMEC foram eficientes nos dois modelos (com e sem restrições), indicando que a capacidade de orientação (etapa 1) e capacidade de

publicação (etapa 2) desses programas foram as melhores em relação aos outros 26 programas selecionados para avaliação. Pelo fato da DEA ser uma abordagem relativa e obter os resultados de eficiência com base nos dados que estão sendo avaliados, não é possível averiguar, a priori, se esses programas são os que apresentam a melhor medida de eficiência de toda a área ACT/CAPES.

Até esse ponto os resultados apresentados tratam da eficiência do sistema ou eficiência global. Dessa forma, com a DEA tradicional, esses seriam os únicos valores de eficiência apresentados. Entretanto, com aplicação da NDEA duas-etapas foi possível obter também a eficiência das etapas, possibilitando mais um nível de informação para os gestores dos PPG.

A discussão seguinte limitou-se aos resultados da Tabela 6, sendo indicado no texto quando isso não ocorreu. Na etapa 1, foram eficientes os programas FGV/SP, USP, FGV/RJ, USP-C, FGV/SP-AP, UFBA, UPM e FUMEC. Esses programas apresentaram a melhor eficiência relativa na capacidade de orientação de seus docentes permanentes, ou seja, são os que de forma mais eficiente conseguem orientar seus alunos na construção e defesa de teses e dissertações. Desses oito programas, podem ser destacados três: FUMEC, UPM e UFBA. Esses PPG, apesar de não serem considerados de excelência na avaliação da CAPES, apresentaram resultados melhores dos que são. Dentre os três, a FUMEC recebe destaque, pois é o programa mais novo e com conceito 4 na avaliação 2013.

No entanto, apenas três desses programas também foram eficientes na etapa 2 (FGV/RJ, UFBA e FUMEC) e, portanto, eficientes globalmente. Os outros programas, que foram eficientes na etapa 1, não conseguiram se destacar na etapa 2. Por exemplo, a FGV/SP obteve a eficiência de 0,77 na capacidade de publicação. A USP teve o valor de 0,84. Já a USP-C apresentou o valor de 0,72. Esses resultados impactaram a eficiência do sistema desses programas, uma vez que, a eficiência do sistema é calculada como a média da eficiência das etapas, conforme explicação do modelo da Equação 19. Nessa etapa, podem ser destacados, por exemplo, os programas FURB e UFPE, com os maiores valores de eficiências entre o não eficientes 0,91 e 0,92, respectivamente. De forma semelhante na apresentação dos resultados da etapa 1, esses programas não são considerados de excelência conforme avaliação da CAPES, entretanto, apresentaram resultados expressivos na capacidade de publicação.

Tabela 6 - Resultado NDEA duas-etapas geral com restrição

DMU	Eficiência			Projeção								
	Sistema	E1	E2	Te	Di	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5
FGV/SP	0,87	1,00	0,77	74,0	127,8	31,0	124,1	68,5	22,0	29,7	14,2	24,6
USP	0,91	1,00	0,84	115,0	103,0	11,9	109,7	169,2	103,7	144,2	64,4	57,2
FGV/RJ	1,00	1,00	1,00	32,0	170,0	36,0	75,0	56,0	18,0	40,0	18,0	19,0
UFMG	0,64	0,59	0,69	45,9	105,3	11,6	84,0	111,5	68,1	92,7	18,8	24,6
USP-C	0,84	1,00	0,72	47,0	77,1	6,9	81,9	95,8	76,4	75,0	23,6	33,3
FGV/SP-AP	0,93	1,00	0,87	29,0	63,9	8,0	35,5	44,6	1,1	11,4	11,4	42,3
PUC-RIO	0,57	0,60	0,54	21,8	150,4	31,7	83,9	78,3	44,8	41,0	16,8	16,8
PUC/PR	0,68	0,82	0,58	21,8	105,5	3,5	39,8	46,7	48,5	71,0	20,8	19,0
UFBA	1,00	1,00	1,00	44,0	32,0	8,0	40,0	28,0	24,0	38,0	18,0	36,0
UFLA	0,70	0,91	0,56	29,7	85,8	0,9	53,2	120,5	35,5	63,8	62,0	37,2
UFRGS	0,74	0,74	0,75	71,8	160,6	36,2	84,6	132,9	52,3	96,6	34,9	22,8
UFRN	0,45	0,78	0,32	16,6	88,4	3,1	25,1	56,5	81,7	69,1	28,3	28,3
UNB	0,57	0,52	0,62	42,3	94,2	12,9	67,7	82,2	25,8	40,3	30,6	25,8
UNB-C	0,62	0,50	0,79	25,8	105,4	3,8	13,8	74,3	71,7	93,1	22,7	22,7
UNINOVE	0,35	0,31	0,41	61,0	125,3	12,1	75,2	223,2	179,5	152,8	58,2	58,2
UNISINOS	0,67	0,92	0,52	20,7	88,2	9,6	45,9	63,1	22,9	59,2	51,6	26,8
UNIVALI	0,37	0,57	0,28	33,5	86,3	1,8	46,9	140,7	133,5	133,5	21,6	43,3
UPM	0,62	1,00	0,45	38,0	85,0	13,2	66,1	63,9	28,6	24,2	11,0	22,0
USCS	0,43	0,59	0,33	17,9	95,2	3,0	18,0	90,1	57,1	69,1	60,1	42,0
FUMEC	1,00	1,00	1,00	3,0	139,0	9,0	13,0	39,0	24,0	42,0	10,0	9,0
FURB	0,54	0,38	0,91	21,0	107,5	1,1	23,2	108,2	97,2	100,5	36,4	15,5
PUC/MG	0,26	0,19	0,42	19,2	102,0	4,8	62,1	40,6	38,2	38,2	14,3	23,9
UFPE	0,80	0,71	0,92	21,2	106,0	5,4	20,7	44,6	47,9	74,0	13,1	15,2
UFPR	0,69	0,74	0,65	28,3	109,2	6,2	74,2	71,1	54,1	29,4	27,8	13,9
UFRJ	0,64	0,89	0,49	25,5	150,0	30,4	66,8	68,9	24,3	36,5	10,1	12,2
UFSC	0,48	0,43	0,55	26,9	142,8	5,5	41,9	123,7	87,3	107,4	30,9	14,6
UNIFOR	0,42	0,61	0,33	19,2	102,0	15,3	15,3	58,2	55,1	61,2	15,3	30,6
UP	0,54	0,52	0,57	11,8	89,0	1,8	69,0	49,5	38,9	33,6	14,2	15,9
USP/RP	0,58	0,45	0,80	26,5	149,8	17,4	57,2	73,4	49,8	32,3	19,9	31,1

Conforme Kao (2017), a avaliação da eficiência possibilita tanto um melhor entendimento das realizações passadas quanto planejamento futuro visando aprimoramento. Assim sendo, tomando como base as realizações passadas, os valores de eficiência do sistema e eficiência das etapas podem ajudar os programas a medir seus resultados quando são comparados a outros programas semelhantes, dessa forma, podem verificar como seus esforços foram convertidos em resultados ao longo do tempo passado. Já sobre o planejamento futuro, a projeção na fronteira – formada pelos programas eficientes – para os programas não eficientes pode orientar os PPG no aprimoramento da eficiência, indicando pontos de melhoria com

base, mais uma vez, nos resultados de programas semelhantes. A discussão seguinte aborda a projeção na fronteira com base nos artigos publicados em periódicos científicos e nas teses e dissertações defendidas.

A orientação do modelo de eficiência é para saída – conforme apresentado na seção 3 do trabalho. Sendo assim, a projeção na fronteira para os programas não eficientes é calculada com o intuito de maximizar os resultados (saídas) mantendo inalterados os recursos (entradas), ou seja, identificar, por exemplo, quantos artigos poderiam ser publicados em cada Qualis sem alterar a configuração das entradas.

Da coluna A1 a coluna B5 da Tabela 6, são apresentadas as projeções para os artigos calculadas pela NDEA duas-etapas. Nota-se que para os programas eficientes a projeção é o próprio valor de artigos publicados por eles. No entanto, para os programas não eficientes a projeção indica o valor que o programa deve alcançar para que seja considerado eficiente. Utilizando, por exemplo, o caso dos programas FGV/SP e USP-C (eficientes na etapa 1 e não eficientes na etapa 2), os novos valores (arredondados) das saídas para FGV/SP foram: 31 artigos A1, 124 artigos A2, 68 artigos B1, 22 artigos B2, 30 artigos B3, 14 artigos B4 e 27 artigos B5. Para o caso da USP-C, deveriam ser publicados aproximadamente 7 artigos A1, 82 artigos A2, 96 artigos B1, 77 artigos B2, 75 artigos B3, 24 artigos B4 e 33 artigos B5.

Para os programas não eficientes nas duas etapas a projeção na fronteira é definida também para os produtos intermediários. Como explicado por Kao (2017), o modelo projeta a fronteira para os produtos intermediários de tal forma que a etapa 1 e etapa 2 tenham o mesmo alvo. Dessa forma, o modelo busca um equilíbrio entre o montante que a etapa 1 vai utilizar como saída e montante que a etapa 2 vai utilizar como entrada. Portanto, para que um programa possa ser considerado eficiente deve atender aos valores de projeção para os produtos intermediários e para as saídas finais. Essas projeções foram apresentadas nas colunas Te e Di da Tabela 6.

Uma consideração especial pode ser feita sobre a projeção dos produtos intermediários para alguns programas. Os programas FGV/SP, USP-C e FGV/SP-AP foram eficientes na etapa 1, entretanto, há indicação de melhora nos produtos intermediários. Conforme apresentado na seção 2 – Referencial Teórico, esse resultado pode ser por causa do modelo não considerar as folgas nas entradas e saídas, sendo assim, esses programas são fracamente eficientes.

Dos 29 PPG considerados na avaliação de eficiência do trabalho, oito foram eficientes na etapa 1 (considerando os fracamente eficientes), ou seja, aproximadamente 28% dos programas tiveram bom desempenho na capacidade de orientação de seus professores. Já na etapa 2, capacidade de publicação, apenas 3 programas foram eficientes, ou seja, aproximadamente 10% dos programas considerados na avaliação de eficiência conseguiram converter as teses e dissertações em publicações em periódicos e utilizar a rede de colaboração para obter melhores resultados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por objetivo geral avaliar a eficiência dos PPG da área ACT/CAPES em produção intelectual considerando a rede de colaboração formada entre esses programas. Para tanto, foi utilizado um modelo de avaliação de eficiência em duas etapas – capacidade de orientação (etapa 1) e capacidade de produção intelectual (etapa 2) – onde um *proxy* para rede de colaboração foi adicionado como entrada exógena da etapa 2. Esse *proxy* foi definido após correlacionar algumas medidas de centralidade da rede com medidas de desempenho em produção intelectual dos PPG. Como a centralidade de grau apresentou a maior correlação, essa medida foi utilizada para representar a rede de colaboração na avaliação da eficiência do trabalho.

Como era esperado conforme literatura, as medidas de centralidade apresentaram correlação positiva com o desempenho em produção intelectual dos PPG da área ACT/CAPES, dessa forma, rejeitaram-se as hipóteses nulas do presente trabalho. Apesar disso, os resultados não são generalizáveis *a priori*, necessitando estudos mais completos. A centralidade de grau foi a que apresentou o maior valor de correlação, isso quer dizer que os programas que mais interagem com distintos programas da área conseguem se beneficiar dessa colaboração, corroborando com a alegação de Burt (2002), onde o autor declara que a conexão com diferentes redes ou diferentes grupos podem trazer vantagens. Nesse caso, as vantagens podem ser o compartilhamento de técnicas, conhecimentos e experiências (KATZ e MARTIN, 1997). Resultado semelhante foi obtido por Liao (2011).

O modelo NDEA duas-etapas geral proposto por Kao (2017) – apresentado na Equação 19 com orientação para saída nas duas etapas – não define a eficiência de uma etapa quando essa etapa não produz saídas finais. Da mesma forma, os outros modelos propostos por Kao (2017), os quais apresentam orientação para entrada na etapa 1 e entrada na etapa 2, orientação para entrada na etapa 1 e saída na etapa 2 e orientação para saída na etapa 1 e entrada na etapa 2, não definem a eficiência da etapa quando não há saídas (etapa com orientação para saída) ou entradas (etapa com orientação para entrada) exógenas nessa etapa. Assim sendo,

como o modelo de avaliação da eficiência do trabalho não considera saída exógena na etapa 1, o valor da eficiência de saída dessa etapa não seria definido ao utilizar o modelo da Equação 19. Dessa forma, para obter a eficiência das etapas e manter a projeção para os produtos intermediários e para as saídas foi utilizado o modelo da Equação 21.

A NDEA duas-etapas com a estrutura geral mostrou-se adequada para avaliar a eficiência dos PPG da área ACT/CAPES conforme o modelo de eficiência utilizado, trazendo contribuições com a decomposição da eficiência dos PPG em duas etapas, possibilitando lidar com a entrada exógena e projeção na fronteira para os programas não eficientes. Assim sendo, conforme Kao (2017) e Kao (2014), com a eficiência pode-se avaliar as realizações passadas e planejar aprimoramento futuro. As realizações passadas são verificadas com as medidas de eficiência das etapas e do sistema, uma vez que essas medidas são definidas com base nos dados de programas semelhantes que são avaliados sob as mesmas regras pela CAPES. O aprimoramento futuro pode ser verificado por meio das projeções na fronteira para os programas não eficientes, fornecendo indicações de melhoria.

Além de fornecer informações que possam servir para os PPG da área ACT/CAPES, o presente trabalho também almejou contribuir com a literatura NDEA de duas formas: 1) com uma aplicação empírica da abordagem NDEA (KAO, 2014); e 2) NDEA no contexto da educação (JOHNES, 2015).

Os PPG da área ACT/CAPES tiveram melhores resultados de eficiência na etapa 1 do que na etapa 2, sugerindo que os programas no triênio 2010-2012 conseguiram utilizar a capacidade de orientação melhor do que conseguiram gerar publicações qualificadas. Esse comportamento pode ser por causa da limitação do número de alunos orientados durante o ano e tempo para formação definidos para todos os programas, dessa forma, os programas que conseguem atender essas definições são considerados eficientes. Entretanto, para o caso das publicações não há limitações, assim sendo, os programas podem apresentar comportamentos variados.

Como observado na área ACT/CAPES em trabalhos anteriores, o valor de eficiência gerado pela DEA é significativamente diferente da classificação realizada pela CAPES, como por exemplo, o trabalho de Oliveira (2011), apresentado no referencial teórico, onde o autor encontrou uma correlação positiva moderada nos

triênios 2004-2006 e 2007-2009. Essa diferença pode ser por causa da subjetividade na avaliação de alguns itens da CAPES, pela escolha dos indicadores na avaliação da eficiência com a DEA ou pela definição de um patamar fixo de pontuação em que os programas são classificados nos conceitos CAPES (MB, B, R, F e D).

O modelo de eficiência adotado no presente trabalho limitou-se a avaliar os programas de pós-graduação da área ACT/CAPES que tiveram defesas de teses e dissertações no triênio 2010-2012. A escolha de teses e dissertações defendidas teve por finalidade não prejudicar a avaliação da eficiência dos programas que não possuem programas de mestrado. Por esse motivo a quantidade de programas foi reduzida. Outro motivo que acarretou redução do número de programas foi a retirada dos programas profissionais, pois são avaliados pela CAPES com regras diferentes dos acadêmicos. Tal fato pode ser considerado uma limitação do estudo, uma vez que apenas parte dos programas foi inserida na avaliação da eficiência. Uma limitação quanto à NDEA duas-etapas utilizada no trabalho é relacionada ao valor da projeção na fronteira para os programas não eficientes. A abordagem permite que os valores projetos sejam reais positivos, entretanto os valores possíveis (o número de artigos que deveriam ser publicados, por exemplo) são inteiros positivos.

Sobre a rede de colaboração, destaca-se como limitação a não consideração das colaborações entre os membros dos PPG da área ACT/CAPES com membros de programas de outras áreas de avaliação da CAPES ou mesmo com programas internacionais, dessa forma, é provável que a rede de colaboração dos PPG não tenha sido representada na sua totalidade.

O período de avaliação pode ser considerado em futuras pesquisas, tanto por parte da avaliação da eficiência quanto por parte da rede de colaboração. Para a avaliação da eficiência, poderia ser considerada a mudança de produtividade ao longo do tempo, utilizando, por exemplo, a NDEA duas-etapas Malmquist. Para a rede de colaboração, a consideração de outros períodos poderia ser interessante por pelo menos duas razões: verificar a dinâmica da colaboração na área ACT/CAPES; verificar se a relação positiva entre as medidas de centralidade e medidas de desempenho em produção intelectual se mantém.

Por fim, outra sugestão seria verificar formas de considerar outros itens – entradas, produtos intermediários e saídas – na avaliação da eficiência dos PPG da área ACT/CAPES, como por exemplo, a produção classificada como C pela CAPES.

6 REFERÊNCIAS

ABBASI, A.; ALTMANN, J.; HOSSAIN, L. Identifying the effects of co-authorship networks on the performance of scholars: A correlation and regression analysis of performance measures and social network analysis measures. **Journal of Informetrics**, v. 5, n. 4, p. 594-607, 2011.

ABBASI, A; CHUNG, K. S. K.; HOSSAIN, L. Egocentric analysis of co-authorship network structure, position and performance. **Information Processing & Management**, v. 48, n. 4, p. 671-679, 2012.

ABBOTT, M.; DOUCOULIAGOS, C. The efficiency of Australian universities: a data envelopment analysis. **Economics of Education review**, v. 22, n. 1, p. 89-97, 2003.

AFONSO, A.; SANTOS, M. A DEA approach to the relative efficiency of Portuguese public universities. **Portuguese Journal of Management Studies**, vol. 13, n. 1, p. 65-85, 2008.

ANG, S.; CHEN, C. Pitfalls of decomposition weights in the additive multi-stage DEA model. **Omega**, v. 58, p. 139-153, 2016.

ALLEN, R.; ATHANASSOPOULOS, A.; DYSON, R. G.; THANASSOULIS, E. Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. **Annals of Operations Research**, v. 73, p. 13-34, 1997.

ANGULO-MEZA, L.; ESTELLITA LINS, M. P. Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis. **Annals of Operations Research**, v. 116, n. 1, p. 225-242, 2002.

BALBACHEVSKY, E. A pós-graduação no Brasil: novos desafios para uma política bem sucedida. **Os desafios da educação no Brasil. Rio de Janeiro: Nova Fronteira**, v. 1, p. 285-314, 2005.

BARABÁSI, A. Network theory: the emergence of the creative enterprise. **Science**, v. 308, n. 5722, p. 639-641, 2005.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management science**, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

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

BENÍCIO, J.; SORES DE MELLO, J. C. C. B. Retornos de escala em DEA: críticas ao BCC e novo modelo. **Temiminós Revista Científica**, v. 4, n. 2, p. 42-61, 2014.

BEASLEY, John E. Comparing university departments. **Omega**, v. 18, n. 2, p. 171-183, 1990.

BEASLEY, John E. Determining teaching and research efficiencies. **Journal of the operational research society**, p. 441-452, 1995.

BORDIN, A. S. **Framework baseado em conhecimento para análise de rede de colaboração científica**. 2015. 303 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

BORDONS, M.; APARICIO, J.; GONZÁLEZ-ALBO, B.; DÍAZ-FAES, A. The relationship between the research performance of scientists and their position in co-authorship networks in three fields. **Journal of Informetrics**, v. 9, n. 1, p. 135-144, 2015.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; JOHNSON, J. C. **Analyzing Social Networks**. Sage Publications, 2013.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G.; FREEMAN, L. C. **Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis**. Harvard, 2002.

BREU, T. M.; RAAB, R. L. Efficiency and perceived quality of the nation's "top 25" National Universities and National Liberal Arts Colleges: An application of data envelopment analysis to higher education. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 28, n. 1, p. 33-45, 1994.

BURT, R. S. Bridge decay. **Social networks**, v. 24, n. 4, p. 333-363, 2002.

BUTTS, C. T. Social network analysis: A methodological introduction. **Asian Journal of Social Psychology**, v. 11, n. 1, p. 13-41, 2008.

CASADO, F. L. Análise Envoltória de Dados: conceitos, metodologia e estudo da arte na Educação Superior. **Revista Sociais e Humanas**, v. 20, n. 1, p. 59-71, 2007.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHEN, Y.; COOK, W. D.; LI, N.; ZHU, J. Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 3, p. 1170-1176, 2009.

CHEN, Y.; COOK, W. D.; ZHU, J. Deriving the DEA frontier for two-stage processes. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 1, p. 138-142, 2010.

CHEN, Y.; DU, J.; SHERMAN, H. D.; ZHU, J. DEA model with shared resources and efficiency decomposition. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 1, p. 339-349, 2010.

CHEN, Y.; COOK, W. D.; KAO, C.; ZHU, J. Network DEA pitfalls: Division efficiency and frontier projection under general network structures. **European Journal of Operational Research**, v. 226, n. 1, p. 507-515, 2013.

COLEMAN, J. S. Social capital in the creation of human capital. **American journal of sociology**, v. 94, p. S95-S120, 1988.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES. **Documento de Área: Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.capes.gov.br/images/documentos/Documentos_de_area_2017/27_ADM_I_doc_area_2016_final_20jan2017.pdf>. Acessado em: 20 de ago. 2016.

_____. **Documento de Área 2013**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://avaliacaotrienal2013.capes.gov.br/documento-de-area-e-comissao>>. Acessado em: 15 mar. 2016.

_____. **Relatório de Avaliação 2013-2017 – Quadriênio 2017**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=Y2FwZXMuZ292LmJyfGF2YWxpYWVhby1xdWFkcmllbmFsfGd4OjExZmJlMmIxY2JkZjgyZjc>>. Acessado em: 01 de out. 2017.

_____. **Relatório do processo de classificação de periódicos – Área de Administração, Ciências Contábeis e Turismo - Quadriênio 2013-2016**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/images/documentos/RelatorioQualisAdministracao-2015final.pdf>>. Acessado em: 22 de jun. 2016.

_____. **Sobre a Avaliação**. 2014. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/sobre-a-avaliacao>>. Acessado em: 22 de abr. 2016.

_____. **Plano Nacional de Pós-Graduação – PNPG 2011-2020**. Brasília, DF, 2010, 2v. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/images/stories/download/Livros-PNPG-Volume-I-Mont.pdf>>. Acessado em: 14 de out. 2016.

COOPER, W. W.; SEIFORD, M. L.; TONE, K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. **Springer**. Berlin, 2007.

COSTA, C.; GARCIA, P. A. A.; OLIVEIRA, M.; MARTINS, C. Avaliação de programas de pós-graduação em administração por meio da análise relacional grey. In: XLII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 42., 2010, Bento Gonçalves/RS. **Anais...** Bento Gonçalves: SOBRAPO, 2010.

COUTINHO, L. S.; MOTTA, G. S.; MENA-CHALCO, J.; GARCIA, P. A. A. Programas Brasileiros de Pós-graduação em Administração, Ciências Contábeis e Turismo: Perfil da Produção, Orientação e Coautoria Acadêmica. In: V Congresso de

Administração, Sociedade e Inovação, 5., 2015, Volta Redonda/RJ. **Anais... Volta Redonda: CASI**, 2015. p. 1-15.

CUNHA, M; ROCHA, V. On the efficiency of Public higher education institutions in Portugal: An exploratory study. **FEP Economics and Management**, 2012.

DESPOTIS, D. K.; KORONAKOS, Gr.; SOTIROS, D. Composition versus decomposition in two-stage network DEA: a reverse approach. **Journal of Productivity Analysis**, v. 45, n. 1, p. 71-87, 2016.

DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V.; SARRICO, C. S.; SHALE, E. A. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of operational research**, v. 132, n. 2, p. 245-259, 2001.

EMROUZNEJAD, A.; PARKER, B. R.; TAVARES, G. Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. **Socio-economic planning sciences**, v. 42, n. 3, p. 151-157, 2008.

EMROUZNEJAD, A.; CABANDA, E. Introduction to data envelopment analysis and its applications. **Handbook of Research on Strategic Performance Management and Measurement Using Data Envelopment Analysis**, p. 235, 2013.

FAÇANHA, L. O.; MARINHO, A. Instituições de ensino superior governamentais e particulares: avaliação comparativa de eficiência. **Revista de Administração Pública**, p. 83-105, 2001.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; WHITTAKER, G. Network DEA. In: **Modeling data irregularities and structural complexities in data envelopment analysis**. Springer US, 2007. p. 209-240.

FERRAZ, R. R. N.; QUONIAM, L. M.; MACCARI, E. A. A utilização da ferramenta Scriptlattes para extração e disponibilização on-line da produção acadêmica de um programa de pós-graduação stricto sensu em Administração. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 11, n. 24, 2014.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. **Omega**, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

GOMES JUNIOR, S. F.; BELTRÁN, P. M.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO-MEZA, L. Utilização de Modelo Network DEA na Avaliação de Cursos de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v.1, n.1, p. 99-111, 2014.

FRANCESCHET, M.; COSTANTINI, A. The effect of scholar collaboration on impact and quality of academic papers. **Journal of informetrics**, v. 4, n. 4, p. 540-553, 2010.

FREEMAN, L. C. Centrality in social networks conceptual clarification. **Social networks**, v. 1, n. 3, p. 215-239, 1979.

GARCIA, P. A. A. Uma abordagem via análise envoltória de dados para o estabelecimento de melhorias em segurança baseadas na FMEA. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 1, p. 87-97, 2013.

GARCIA, P. A. A.; LEAL JUNIOR, I. C.; OLIVEIRA, M. A. A weight restricted DEA model for FMEA risk prioritization. **Production**, v. 23, n. 3, p. 500-507, 2013.

GOMES JÚNIOR, S. F. **Métodos não convencionais de restrições aos pesos em DEA aplicados ao campeonato mundial de Fórmula 1**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

GUO, C.; ROOHOLLAH, A. S.; ALI, A. F.; ZHU, J. Decomposition weights and overall efficiency in two-stage additive network DEA. **European Journal of Operational Research**, v. 257, n. 3, p. 896-906, 2017.

HALKOS, G. E.; TZEREMES, N. G.; KOURTZIDIS, S. A. A unified classification of two-stage DEA models. **Surveys in operations research and management science**, v. 19, n. 1, p. 1-16, 2014.

HE, B.; DING, Y.; NI, C. Mining enriched contextual information of scientific collaboration: A meso perspective. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 62, n. 5, p. 831-845, 2011.

HOCAYEN-SILVA, A. J.; ROSSONI, L.; JÚNIOR, I. F. Administração pública e gestão social: a produção científica brasileira entre 2000 e 2005. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 4, p. 655-680, 2008.

JOHNES, G. Efficiency in English higher education institutions revisited: A network approach. **Economics Bulletin**, v. 33, n. 4, p. 2698-2706, 2013.

JOHNES, J. Operational Research in Education. **European Journal of Operational Research**, v. 243, n. 3, p. 683-696, 2015.

JOHNES, J.; LI, Y. U. Measuring the research performance of Chinese higher education institutions using data envelopment analysis. **China Economic Review**, v. 19, n. 4, p. 679-696, 2008.

KAO, C. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model. **European Journal of Operational Research**, v. 192, n. 3, p. 949-962, 2009.

KAO, C. Efficiency measurement and frontier projection identification for general two-stage systems in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 261, n. 2, p. 679-689, 2017.

KAO, C. Network data envelopment analysis: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 239, n. 1, p. 1-16, 2014.

KAO, C.; HUNG, H. Efficiency analysis of university departments: An empirical study. **Omega**, v. 36, n. 4, p. 653-664, 2008.

KAO, C.; HWANG, S. Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. **European journal of operational research**, v. 185, n. 1, p. 418-429, 2008.

KAO, C.; HUNG, H. Efficiency analysis of university departments: An empirical study. **Omega**, v. 36, n. 4, p. 653-664, 2008.

KAO, C.; HWANG, S. Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance. **Decision Support Systems**, v. 48, n. 3, p. 437-446, 2010.

KATZ, J. S.; MARTIN, B. R. What is research collaboration? **Research policy**, v. 26, n. 1, p. 1-18, 1997.

KUENZER, A. Z.; MORAES, M. C. M. Temas e tramas na pós-graduação em educação. **Educação & Sociedade**, v. 26, n. 93, p. 1341-1362, 2005.

LANE, J. Let's make science metrics more scientific. **Nature**, v. 464, n. 7288, p. 488-489, 2010.

LATTES. **Sobre a plataforma Lattes**. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br>>. Acessado em: 18 de Junho de 2016.

LEE, S.; BOZEMAN, B. The impact of research collaboration on scientific productivity. **Social studies of science**, v. 35, n. 5, p. 673-702, 2005.

LEE, B. L.; WORTHINGTON, A. C. A network DEA quantity and quality-orientated production model: An application to Australian university research services. **Omega**, 2015.

LEITE, D. Reformas Universitárias. Avaliação Institucional Participativa. **Ed. Vozes**, 141 p., ISBN 85.326.3120-7, 2005.

LETA, J. Indicadores de desempenho, ciência brasileira e a cobertura das bases informacionais. **Revista USP**, n. 89, p. 62-67, 2011.

LIAO, C. H. How to improve research quality? Examining the impacts of collaboration intensity and member diversity in collaboration networks. **Scientometrics**, v. 86, n. 3, p. 747-761, 2010.

LIM, S.; ZHU, J. A note on two-stage network DEA model: Frontier projection and duality. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 1, p. 342-346, 2016.

LINS, E. M. P.; ALMEIDA, B. F.; JUNIOR, B. R. Avaliação de desempenho na pós-graduação utilizando a Análise Envoltória de Dados: o caso da Engenharia de Produção. In: **Revista Brasileira de Pós-Graduação**. n. 1, p. 41-56, 2004.

LI-CHUN, Y., KRETSCHMER, H., HANNEMAN, R. A., ZE-YUAN, L. (2006). Connection and stratification in research collaboration: an analysis of the COLLNET network. **Information Processing & Management**, 42(6), 1599-1613.

MA, J. F. A two-stage DEA model considering shared inputs and free intermediate measures. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 9, p. 4339-4347, 2015.

MATTHEWS, K. Risk management and managerial efficiency in Chinese banks: a network DEA framework. **Omega**, v. 41, n. 2, p. 207-215, 2013.

MENA-CHALCO, J. P.; DIGIAMPIETRI, L. A.; LOPES, F. M.; CESAR JUNIOR, R. M. Brazilian bibliometric coauthorship networks. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 65, n. 7, p. 1424-1445, 2014.

MENA-CHALCO, J. P.; CESAR-JR, R. M. ScriptLattes: An open-source knowledge extraction system from the Lattes platform. **Journal of the Brazilian Computer Society**, vol. 15, n. 4, páginas 31-39, 2009.

MENA-CHALCO, J. P.; DIGIAMPIETRI, L. A.; CESAR-JR, R. M. Caracterizando as redes de coautoria de currículos Lattes. In: Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining, 2012, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Computação, 2012. p. 1-12.

MENEGHINI, R. The key role of collaborative work in the growth of Brazilian science in the last ten years. **Scientometrics**, v. 35, n. 3, p. 367-373, 1996.

MIRANDA, C. M. G.; ALMEIDA, A. T. Avaliação de Pós- Graduação com Método ELECTRE TRI - O Caso de Engenharias III da CAPES. **Produção**, v.13, n.3, p.101-112. 2003.

MIRANDA, C. M. G.; ALMEIDA, A. T. Visão multicritério da avaliação de programas de pós-graduação pela CAPES: o caso da área engenharia III baseado nos métodos ELECTRE II e MAUT. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 1, p. 51-64, 2004.

MONFARED, M. A. S; SAFI, M. Network DEA: an application to analysis of academic performance. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2013.

MOODY, J. The structure of a social science collaboration network: Disciplinary cohesion from 1963 to 1999. **American Sociological Review**, v. 69, n. 2, p. 213-238, 2004.

MOREIRA, N. P. **Análise da eficiência dos programas de pós-graduação acadêmicos em Administração, Contabilidade e Turismo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MOREIRA, N. P.; CUNHA, N. R. S.; FERREIRA, M. A. M.; SILVEIRA, S. F. R. Análise da eficiência relativa dos programas de pós-graduação acadêmicos em Administração, Contabilidade e Turismo. **Revista do Serviço Público - RSP**, v. 60, n. 4, p. 365-381, 2009.

MOREIRA, N. P.; CUNHA, N. R. S.; FERREIRA, M. A. M.; SILVEIRA, S. F. R. Fatores determinantes da eficiência dos programas de pós-graduação acadêmicos em Administração, Contabilidade e Turismo. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior**, v. 16, n. 1, 2010.

MORENO, P.; ANDRADE, G. N.; ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Evaluation of Brazilian electricity distributors using a Network DEA model with shared inputs. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*, v. 13, n. 7, p. 2209-2216, 2015.

MOTTA, G. S.; GARCIA, P. A. A.; QUINTELLA, R. H. A patento-scientometric approach to venture capital investment prioritization. **Journal of the Association for Information Science and Technology**, v. 66, n. 4, p. 765-777, 2015.

MOTTA, G. S.; QUINTELLA, R. H. Assessment of non-financial criteria in the selection of investment projects for seed capital funding: The contribution of scientometrics and patentometrics. **Journal of technology management & innovation**, v. 7, n. 3, p. 172-197, 2012.

NEWMAN, M. E. J. Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results. **Physical review E**, v. 64, n. 1, p. 016131, 2001a.

NEWMAN, M. E. J. Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. **Physical review E**, v. 64, n. 1, p. 016132, 2001b.

OLIVEIRA, F. V. **Avaliação da eficiência dos programas de pós-graduação acadêmicos em Administração, Contabilidade e Turismo**. 2011. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OTTE, E.; ROUSSEAU, R. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. **Journal of information Science**, v. 28, n. 6, p. 441-453, 2002.

PAIVA, F. C. **Eficiência produtiva de programas de ensino de pós-graduação da área das engenharias: uma aplicação do método análise envoltória de dados-DEA**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Santa Catarina, 2000.

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, Paraná, v. 12, n. 1, p. 83-106, 2008.

TAVARES, R. S.; ANGULO MEZA, L. Determinação da eficiência de cursos de engenharia de uma instituição federal de ensino superior. In: XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 47., 2015, Porto de Galinhas/PE. **Anais...** Porto de Galinhas: SOBRAPO, 2015. p. 771-782.

ROSSONI, L.; GUARIDO FILHO, E. R. Cooperação entre programas de pós-cooperação entre programas de pós-graduação em graduação em Administração no Brasil: evidências estruturais em quatro áreas temáticas. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 13, n. 3, p. 366-390, 2009.

ROSSONI, L.; GUARIDO FILHO, E. R. Cooperação interinstitucional no campo da pesquisa em estratégia. **Revista de Administração de Empresas**, v. 47, n. 4, p. 1-15, 2007.

RUBEM, A. P. S.; MOURA, A. L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; SANTOS, B. M. F. Avaliação de empresas aéreas com modelo de análise envoltória de dados clusterizado pela escala de operação. In: XXVIII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, 28., 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANPET, 2014. p. 1-12.

JOHN, S. **Social network analysis: A handbook**. SAGE, 2000.

SANTOS, C. M. Tradições e contradições da pós-graduação no Brasil. **Educação & Sociedade**, v. 24, n. 83, p. 627-641, 2003.

SILVA, P. M.; GARCIA, P. A. A. Combining Grey Relational Analysis and Data Envelopment Analysis for Strategic actions Prioritization. **Journal of Advancements in Economics, Finance & Accounting (JAEFA)**, vol. 5, n. 1, p. 74-84, 2015.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; ANGULO MEZA, L.; GOMES, E. G.; BIONDI, L. Curso de Análise Envoltória de Dados. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 37., 2005, Gramado/RS. **Anais...** Gramado: SOBRAPO, 2005. p. 2520-2547.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, M. H. C.; SOARES DE MELLO, A. J. R. Uma análise da qualidade e da produtividade de programas de pós-graduação em engenharia. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação**, Rio de Janeiro, 11(39), p. 167-179, 2003.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, M. H. C.; SOARES DE MELLO, A. J. R. Engineering post-graduate programmes: A quality and productivity analysis. **Studies in Educational Evaluation**, v. 32, n. 2, p. 136-152, 2006.

SOUZA, E. P.; PAULA, M. C. S. Qualis: a base de qualificação dos periódicos científicos utilizada na avaliação CAPES. **Infocapes**, Brasília, v. 10, n.2, abr./jun. 2002.

TOLOO, M.; EMROUZNEJAD, A.; MORENO, P. A linear relational DEA model to evaluate two-stage processes with shared inputs. **Computational and Applied Mathematics**, p. 1-17, 2015.

TONE, K.; TSUTSUI, M. Network DEA: A slacks-based measure approach. **European Journal of Operational Research**, v. 197, n. 1, p. 243-252, 2009.

VANZ, S. **As redes de colaboração científica no Brasil (2004-2006)**. 2009. 204 f. Tese (Doutorado em Comunicação e Informação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VANZ, S. A. S.; STUMPF, I. R. C. Colaboração científica: revisão teórico-conceitual1. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 15, n. 2, p. 42-55, 2010.

WAGNER, C. S.; LEYDESDORFF, L. Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration. **Science Research Policy**, v. 34, n. 10, p. 1608-1618, 2005.

WANG, C. H.; GOPAL, R. D.; ZIONTS, S. Use of data envelopment analysis in assessing information technology impact on firm performance. **Annals of Operations Research**, v. 73, p. 191-213, 1997.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social network analysis: Methods and applications**. Cambridge University Press, 1994.

APÊNDICE

APÊNDICE 1: Planilha Eletrônica com Implementação de Modelos NDEA Duas-etapas

Para a resolução de alguns modelos NDEA duas-etapas citados no trabalho, foi construída uma aplicação dentro do Microsoft Excel. Um dos modelos foi o proposto por Kao e Hwang (2008). O outro modelo foi o proposto por Kao (2017) com as quatro orientações. E por fim, o modelo utilizado no presente trabalho. Essa etapa do trabalho apresentou as principais características da aplicação e como utilizá-la.

Ao abrir o arquivo do Excel chamado NDEA-duas-etapas.xlsm, são visualizadas quatro planilhas: inicial, dados, solver e resumo, as quais fundamentais para o funcionamento da aplicação. A planilha “inicial” contém algumas informações sobre como utilizar a aplicação e o botão que inicializa a aplicação. Na planilha “dados” são inseridos os dados preparados conforme orientações descritas na planilha “inicial”. A planilha “solver” é onde o modelo escolhido será representado para que o solver do Microsoft Excel consiga resolver o PPL. A escolha da exibição dessa planilha tem como principal finalidade possibilitar que o usuário valide os resultados apresentados após a resolução do PPL. Por fim, são apresentados na planilha “resumo” os principais resultados dos modelos NDEA duas-etapas para cada DMU envolvida na avaliação. A Figura 9 mostra a tela inicial que possibilita a escolha dos modelos NDEA duas-etapas. Essa tela é acessível por meio do botão “Iniciar NDEA duas-etapas” da planilha “inicial”.

É importante destacar que por se tratar de um código em *Visual Basic for Application* (VBA), o Microsoft Excel solicitará que seja habilitada a execução de macros (códigos nessa linguagem) ao abrir o arquivo. Outro ponto importante é que para que a aplicação funcione o suplemento Solver deve estar ativo no Microsoft Excel.



Figura 9 - Tela para escolhas dos modelos NDEA duas-etapas.

De maneira geral, as telas dos três modelos são semelhantes. As caixas identificadas na Figura 10 dividem a explicação a seguir. Caixa A: campos para a digitação do número de entrada, saída e produto intermediário; Caixa B: possibilita escolher os valores que as variáveis de decisão podem assumir; Caixa C: caso sejam marcadas, para a opção “Ver Tela de Resultados do Solver”, indica que para cada DMU a tela de resultados do solver aparecerá, e para opção “Criar uma planilha por DMU”, indica que haverá uma planilha para cada DMU. Por padrão essas caixas não são marcadas, indicando que a tela de resultados do solver não aparecerá e a não haverá uma planilha para cada DMU. Caixa D: possibilita escolher a orientação do modelo; Caixa F: por meio do botão “Selecionar dados” é possível selecionar os dados inseridos na planilha dados. Após isso, a referência para a posição dos dados aparecerá na caixa E. Por meio do botão “Solver” inicia-se a execução do modelo.

The screenshot displays the NDEA software interface. At the top left is the logo of the Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). To its right is a blue banner with the letters 'P P G A' in white. Below the logo, there are three input fields labeled 'Entradas', 'Produtos Intermediários', and 'Saídas', each with a red dashed box labeled 'A' to its left. Below these is a section for 'Variáveis de decisão' with three radio button options: ≥ 0 (selected), $\geq 0,000001$, and $\geq 0,00001$, with a red dashed box labeled 'B' to its left. Below this are two checkboxes: 'Ver Tela de Resultados do Solver' and 'Criar uma planilha por DMU', with a red dashed box labeled 'C' to its left. At the bottom left is an 'Orientação' section with two radio button options: 'Entrada' (selected) and 'Saída', with a red dashed box labeled 'D' to its left. On the right side, there is a text prompt 'Digite o número de entradas consideradas no modelo.' followed by a large empty input field with a red dashed box labeled 'E' to its right. At the bottom right, there are two buttons: 'Selecionar Dados' and 'Solver', with a red dashed box labeled 'F' to its right.

Figura 10 - Tela NDEA Kao e Hwng (2008).