

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**BEATRIZ JOHANSEN DRAGO**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA POR ENVOLTÓRIA DE DADOS  
DAS UNIDADES TRANSMISSORAS EM UMA EMPRESA DO  
SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Itajubá**

**2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**BEATRIZ JOHANSEN DRAGO**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA POR ENVOLTÓRIA DE DADOS  
DAS UNIDADES TRANSMISSORAS EM UMA EMPRESA DO  
SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Administração como requisito  
parcial à obtenção do título de Mestre em  
Administração – Mestrado Profissional

Área de Concentração: Finanças aplicadas à  
tomada de decisão

Orientador: Prof. Dr. Edson de Oliveira  
Pamplona

**Itajubá**

**2016**

# DEDICATÓRIA

*À minha família.*

# **AGRADECIMENTOS**

A todos que me apoiaram e ajudaram nesta etapa de minha vida: minha família, meus amigos, meus colegas e meus professores.

## RESUMO

As empresas do setor elétrico brasileiro convivem com entraves regulamentais na gestão de suas receitas e despesas, o que enfatiza a necessidade em aprimorar a gestão de custos. Além disso, a análise de eficiência pela comparação entre pares é amplamente adotada no setor de energia elétrica, sendo empregada inclusive por agências reguladoras. Porém, é raro na literatura seu emprego com enfoque financeiro. Este trabalho se propõe a estudar a eficiência das unidades transmissoras de uma empresa do setor de energia elétrica com ênfase na gestão estratégica de custos, através do desenvolvimento de um modelo matemático. Para tanto, é realizada uma análise da eficiência destas divisões através da Análise por Envoltória de Dados ou Data Envelopment Analysis (DEA) e em seguida, uma comparação entre esta análise e uma análise contábil tradicional. O trabalho identifica que a análise da eficiência com o emprego da ferramenta DEA, embora produza resultados semelhantes, difere da análise contábil tradicional, tanto por se tratar de uma análise multicritérios como por apresentar metas específicas para as unidades consideradas ineficientes em relação às unidades consideradas eficientes. Este trabalho busca assim apresentar a abordagem DEA como valioso instrumento de suporte à tomada de decisão financeira.

*Palavras-chave: DEA, Eficiência, Custos, Finanças, Energia Elétrica.*

# ABSTRACT

Companies from the Brazilian energy sector are subject to regulation both on income fees and on expenditures, so that the focus must be on the enhancement of costs management. Moreover, efficiency analysis by benchmarking similar unities is thoroughly adopted in the energy sector, being also adopted by several regulation agencies. Yet, it is rarely seen in literature as a financial tool. This research studies the efficiency of transmission units in a Brazilian energy company and emphasizes strategic costs management through the development of a mathematical model. Therefore, a Data Envelopment Analysis (DEA) is performed on these units, as well as a comparison between the results of DEA and a traditional accounting analysis. Results show that even though DEA present similar results, its analysis differs from the traditional accounting analysis by being multicriterial and providing specific goals for units considered inefficient in comparison to those considered efficient. Thus, the intention is to present DEA as a valuable financial instrument for the decision-making process.

*Key words: DEA, Efficiency, Costs, Finances, Energy*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de Análise por Envoltória de Dados .....	9
Figura 2 – Volume do produto Y1 em relação ao consumo do insumo X1 .....	14
Figura 3 – Volume do produto Y1 em relação ao consumo do insumo X2 .....	14
Figura 4 – Planilha em Excel® do Modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar anteriormente à .....	15
Figura 5 – Fórmulas da planilha em Excel® do Modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar.....	16
Figura 6 – Parâmetros do Solver® para o Modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	16
Figura 7 – Caixa de solução do Solver® para Excel® .....	17
Figura 8 – Solução do Solver® para a empresa A.....	17
Figura 9 – Relatório de sensibilidade do Solver® para a empresa A.....	18
Figura 10 – Fórmulas das metas para a empresa A pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	19
Figura 11 – Solução do Solver® para a empresa C.....	19
Figura 12 – Relatório de sensibilidade do Solver® para a empresa C .....	20
Figura 13 – Métodos de <i>Benchmarking</i> Empregados em Agências Europeias.....	22
Figura 14 – Comparativo entre os métodos de custeio ABC e tradicional.....	31
Figura 15 – Evolução da avaliação de desempenho pela análise de balanços .....	37
Figura 16 – Processo de modelagem e suas etapas .....	38
Figura 17 – Evolução da receita bruta de transmissão entre 2010 e 2014.....	44
Figura 18 – Evolução do número de empregados de transmissão no período de 2010 a 2014 .....	45
Figura 19 – Comparação entre os valores de PMSO e OPEX (em dezenas de reais) de cada unidade de transmissão no ano de 2014.....	46
Figura 20 –Cálculos realizados no Excel® com emprego da ferramenta Solver® par a DMU 1.....	51
Figura 21 – Relatório de sensibilidade para a DMU 1.....	52
Figura 22 – Relatório de sensibilidade para a DMU 2 .....	55

# LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 – Modelos tradicionais de Análise por Envoltória de Dados .....	11
Tabela 1 – Dados das empresas consideradas no exemplo .....	13
Tabela 2 – Metas para a empresa A pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	18
Tabela 3 – Eficiência calculada pelo Solver® para as empresas analisadas .....	20
Quadro 2 – Autores que utilizaram DEA, seu foco e título dos trabalhos. ....	25
Quadro 3 – Autores que utilizaram DEA com os insumos e produtos adotados. (Elaboração própria) .....	28
Quadro 4 – Modelo de Balanço patrimonial .....	34
Quadro 5 – Modelo de Demonstração de resultado .....	35
Quadro 6 – Medidas de Liquidez Tradicionais .....	35
Quadro 7 – Medidas de Rentabilidade Tradicionais .....	36
Quadro 8 – Medidas de Endividamento Tradicionais .....	36
Quadro 9 – Construção do modelo matemático .....	41
Tabela 4 – Dados solicitados à empresa .....	43
Tabela 5 – Relação de DMUs do modelo proposto .....	45
Quadro 10 – Variáveis de decisão do modelo proposto .....	47
Tabela 6 – Dados descaracterizados das variáveis de decisão do modelo proposto para cada DMU .....	48
Tabela 7 – Construção do modelo em Excel® para as variáveis de decisão de cada DMU estudada anteriormente .....	50
Tabela 8 – Eficiências e pesos atribuídos pelo modelo DEA às DMUs estudadas. ....	53
Tabela 9 – Metas para a DMU 1 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	56
Tabela 10 – Metas para a DMU 2 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	57
Tabela 11 – Metas para a DMU 3 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	58
Tabela 12 – Metas para a DMU 4 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	58

Tabela 13 – Metas para a DMU 5 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	59
Tabela 14 – Metas para a DMU 6 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	59
Tabela 15 – Metas para a DMU 7 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	60
Tabela 16 – Metas para a DMU 8 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	60
Tabela 17 – Metas para a DMU 9 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	61
Tabela 18 – Metas para a DMU 11 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	62
Tabela 19 – Metas para a DMU 13 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	63
Tabela 20 – Metas para a DMU 15 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	63
Tabela 21 – Metas para a DMU 16 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	64
Tabela 22 – Metas para todas as DMUs ineficientes pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar .....	65
Tabela 23 – Análise vertical e horizontal dos dados de PMSO.....	66
Tabela 24 – Análise vertical e horizontal dos dados de Receita bruta .....	66
Tabela 25 – Razão entre a Receita bruta e PMSO.....	67
Tabela 26 – Eficiências atribuídas pelo modelo DEA às DMUs estudadas .....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	<i>Activity-Based Costing</i> - Custeio por Atividades
ABM	<i>Activity-Based Management</i> - Gestão por Atividades
ABC/ABM	<i>Activity-Based Costing and Management</i> - Gestão de Custos por Atividades
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BCC	Banker, Charnes e Cooper (modelo DEA com variação escalar)
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCR	Charnes Cooper e Rhodes (modelo DEA sem variação escalar)
CVM	Comissão de Valores Mobiliários
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i> - Análise por Envoltória de Dados
DMU	<i>Decision Making Unit</i> - Unidade de Tomada de Decisão
MVA	<i>MegaVolt Ampère</i> (medida da capacidade de transformação)
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEX	<i>Operational Expenses</i> - Custos Operacionais
PMSO	Pessoal, Material, Serviços de terceiros e Outras despesas
RAP	Receita Anual Permitida
SIN	Sistema Interligado Nacional

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Objetivos.....	2
1.2.	Justificativa.....	3
1.3.	Estrutura do trabalho.....	3
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTUDOS SOBRE O TEMA.....	5
2.1.	Setor Elétrico Brasileiro.....	5
2.2.	Análise por Envoltória de Dados.....	8
2.2.1.	Análise por Envoltória de Dados orientada ao insumo sem variação escalar....	12
2.2.2.	Análise por Envoltória de Dados adotada pela ANEEL.....	21
2.2.3.	Análise por Envoltória de Dados no setor elétrico.....	24
2.3.	Gestão de Custos.....	29
2.3.1.	Análise Contábil.....	34
3.	MÉTODO DE PESQUISA.....	38
4.	MODELO PROPOSTO.....	40
4.1.	Definição do problema.....	40
4.2.	Construção do modelo.....	40
5.	RESULTADOS.....	50
5.1.	Solução do modelo.....	50
5.2.	Validação e implementação do modelo.....	65
6.	CONCLUSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS.....	72

# 1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro foi parcialmente privatizado na década de 90 e hoje apresenta segregação entre as atividades de geração, transmissão e distribuição, de modo que há maior especialização das empresas do ramo e conseqüente aumento da competitividade. Como pode-se observar nas demonstrações financeiras disponíveis no site da Comissão de Valores Mobiliários (CVM), o setor tem vivido desde o ano de 2013 desafios financeiros, em especial devido aos pressupostos da Lei 12.783/2013, que resultou no acúmulo de prejuízos em algumas empresas, como no caso Da empresa estudada.

Empresas que atuam na atividade de transmissão são responsáveis por transmitir a energia elétrica gerada pelas empresas de geração até as subestações de distribuição. Estas transmissoras participam de Leilões para receber concessões de operação onde a vencedora é a que apresenta menor Receita Anual Permitida (RAP).

A RAP provém de uma regulamentação que limita a receita anual a uma tarifa que deve remunerar os ativos de transmissão por sua disponibilidade ou conexão independente da utilização, e está vinculada aos investimentos da empresa no período. A Lei 12.783/2013 trouxe alterações à receita auferida às empresas do setor. Esta receita é periodicamente reposicionada através de uma análise de eficiência feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), para comparação entre as concessionárias de transmissão.

A eficiência apontada às concessionárias pela análise da ANEEL não considera as diferentes divisões de transmissão dentro de cada empresa. A fim de identificar referenciais internos de eficiência considerando a gestão de custos e possíveis estratégias de aumento desta eficiência, este projeto se propõe a realizar uma comparação entre pares através do *benchmarking* entre as divisões de uma empresa com enfoque financeiro.

A empresa estudada recentemente realizou estudos para implantar um sistema de gestão estratégica de custos com base no mapeamento dos processos, que permite consultar os custos sob a ótica das atividades. Assim, embora o trabalho se baseie em dados obtidos por método tradicionais de custeio, o modelo proposto poderá futuramente ser empregado com o uso destes dados, quando e se o novo sistema for adotado pela empresa.

O foco financeiro, em especial nos custos, deste trabalho ocorre porque empresas de transmissão, no que tange a gestão de seu resultado, encontram-se sem condições de aumentar sua receita, que é estabelecida ainda na fase de Leilão. Quanto às despesas com investimento,

se reduzidas implicaria também em redução na tarifa que resulta na sua receita denominada RAP. Ademais, reduções nas despesas operacionais são limitadas tanto pela burocracia das licitações como pela estrutura orçamentária adotada. Além disso, são as unidades transmissoras as responsáveis pela geração de receita dentro da empresa, ou seja, cabe a elas arcar com os gastos da empresa como um todo.

A gestão do custo se apresenta então como importante ferramenta para a gestão e aumento do resultado, isto é, do lucro bruto. Embora fiscalmente utilizem o método de custeio tradicional, na busca pela melhor gestão de seus custos as empresas transmissoras podem se beneficiar de uma ferramenta mais apurada e que forneça maior visibilidade de seus custos, que permita identificação de gastos desnecessários e sua eliminação.

O intuito deste trabalho é, portanto, responder ao seguinte problema: como realizar uma avaliação da eficiência considerando a gestão de custos das unidades internas de transmissão de uma grande empresa do setor elétrico brasileiro?

O presente trabalho se baseia então na análise de eficiência e na gestão estratégica de custos como ferramentas de apoio à tomada de decisão nas unidades transmissoras de uma empresa do setor elétrico. Este trabalho pode contribuir como referência a pesquisas sobre outras situações empresariais onde receitas e despesas estão condicionadas ao regimento do setor, ditado por suas agências reguladoras, de modo que não apresentem flexibilidade em sua gestão.

## **1.1. Objetivos**

O objetivo geral deste projeto é propor uma avaliação da eficiência considerando a gestão de custos das unidades internas de transmissão de uma grande empresa do setor de energia elétrica brasileiro para fins de tomada de decisão estratégica. Derivam do objetivo geral os objetivos específicos a seguir.

1.1.1. Desenvolver um modelo e analisar por envoltória de dados a eficiência dos custos auferidos por métodos tradicionais às unidades transmissoras da empresa estudada;

1.1.2. Analisar por índices contábeis tradicionais a eficiência dos custos auferidos por métodos tradicionais às unidades transmissoras da empresa estudada;

1.1.3. Comparar as análises realizadas a fim de avaliar o modelo proposto como instrumento capaz de fornecer à empresa estratégias de melhoria na eficiência de suas unidades transmissoras.

## **1.2. Justificativa**

Entende-se que esta pesquisa se justifique por sua contribuição acadêmica ao abordar, através da avaliação de eficiência de suas unidades transmissoras, a gestão estratégica de custos de uma concessionária de serviços de energia elétrica que, como em outros setores, convive com entraves na gestão de receitas e despesas. Adicionalmente, contribui ao propor um *benchmarking* interno, através da comparação entre as unidades dentro de uma empresa, a fim de apresentar possíveis ações gerenciais para aumento na eficiência considerando a gestão de custos.

Ademais, sua aplicabilidade prática e produção de resultados verificáveis demonstra um enfoque não apenas acadêmico, mas também prático, onde não apenas a empresa, mas o público geral que consome a energia elétrica tem a se beneficiar da possibilidade de redução nos custos de sua transmissão. Trata-se assim de uma contribuição para os estudos de gestão de custos.

## **1.3. Estrutura do trabalho**

Este projeto de pesquisa foi estruturado em 6 capítulos de modo a atender seus objetivos. O presente capítulo introduz o trabalho e, além dos objetivos, traz a justificativa para seu desenvolvimento.

O Capítulo 2 contém a fundamentação teórica e estudos sobre o tema, que abrange o Setor Elétrico Brasileiro, a Análise por Envoltória de Dados e a Gestão de Custos.

No Capítulo 3 é descrito o Método de Pesquisa. A adoção do método de modelagem é definida e justificada com base em estudos teóricos sobre o tema, bem como suas etapas são descritas.

No Capítulo 4 o Modelo Proposto é definido com base nas informações recebidas da empresa e no ambiente político e econômico em que ela se encontra no período abordado.

O Capítulo 5 traz os Resultados do trabalho, o que inclui as etapas de solução do modelo, sua validação e implementação. É realizada uma comparação do modelo a um índice contábil tradicional, conforme os dados obtidos junto à empresa.

Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as Conclusões do trabalho, suas limitações e sugestões de possíveis trabalhos futuros.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTUDOS SOBRE O TEMA**

A seguir é realizado um levantamento da literatura referente ao tema da pesquisa. Primeiramente aspectos do setor elétrico brasileiro, como sua estrutura e regulamentação, são apresentados.

Em seguida transcorre-se acerca da Análise por Envoltória de Dados (DEA) com ênfase no modelo orientado ao insumo sem variação escalar. É estudada a adoção do DEA tanto pela ANEEL quanto por outras entidades do setor elétrico.

Por fim tem-se a Gestão de Custos, abrangendo tanto sua contabilização como sua análise para fins de tomada de decisão.

### **2.1. Setor Elétrico Brasileiro**

Com extensão territorial que corresponde a quase 85% da extensão do continente europeu, o Brasil busca levar energia elétrica a todo seu território através do chamado Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme pesquisa realizada sobre os prestadores de serviço para geração, transmissão e distribuição (REVISTA O SETOR ELÉTRICO, 2015). O SIN é composto por empreendimentos produtores de energia, os geradores, e linhas de transmissão com torres, cabos e outros equipamentos, cujo objetivo é escoar a energia gerada ao segmento de distribuição de energia elétrica. Vale ressaltar que a distribuição não faz parte do SIN.

Uma clara definição dos serviços de energia elétrica pode ser encontrada no decreto presidencial no 41.019/1957, que os regulamenta e assim os define:

São serviços de energia elétrica os de produção, transmissão, transformação e distribuição de energia elétrica, quer sejam exercidos em conjunto, quer cada um deles separadamente.

O serviço de produção de energia elétrica consiste na transformação em energia elétrica de qualquer outra forma de energia, seja qual for a sua origem.

O serviço de transmissão de energia elétrica consiste no transporte desta energia do sistema produtor às subestações distribuidoras, ou na interligação de dois ou mais sistemas geradores.

A transmissão de energia compreende também o transporte pelas linhas de subtransmissão ou de transmissão secundária que existirem entre as subestações de distribuição.

O serviço de transmissão pode ainda compreender o fornecimento de energia a consumidores em alta tensão, mediante suprimentos diretos das linhas de transmissão e subtransmissão.

O serviço de distribuição de energia elétrica consiste no fornecimento de energia a consumidores em média e baixa tensão. Este serviço poderá ser realizado: a) diretamente, a partir dos sistemas geradores ou das subestações de distribuição primária, por circuitos de distribuição primária, a consumidores em tensão média; b) através de transformadores, por circuitos de distribuição secundária, a consumidores em baixa tensão.

Os circuitos de iluminação e os alimentadores para tração elétrica até a subestação conversora, pertencentes a concessionários de serviços de energia elétrica, serão considerados parte integrante de seus sistemas de distribuição.

Os serviços de transformação e de conversão de corrente elétrica, bem como o de correção do fator de potência e o de seccionamento de circuitos por meio de subestações, sendo acessórios da produção, da transmissão ou da distribuição, serão tidos, quando existentes, como parte do serviço a que corresponderem.

Segundo o Atlas da Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2002), o setor elétrico brasileiro é primordialmente baseado na geração de energia hidráulica. A localização das usinas hidrelétricas, somada à extensão territorial do país e sua variação climática propicia a geração de excedentes de produção hidrelétrica em determinadas regiões e em alguns períodos do ano. Logo, o sistema nacional de transmissão de energia elétrica tem o papel de conectar as usinas geradoras às diversas empresas de distribuição de energia elétrica e permite que o déficit de geração em uma determinada região do país seja compensado pelo excesso de capacidade de geração em outras regiões.

Este sistema de transmissão é dividido em redes de transmissão e subtransmissão, em que a primeira atende aos grandes centros consumidores e aos consumidores de grande porte, sendo responsável pela transmissão de grandes blocos de energia, enquanto a segunda destina-se atender pequenas cidades e consumidores industriais de grande porte, como uma extensão da transmissão. De acordo com o Atlas da Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2002), distinguir entre ambas redes é uma tarefa dificultada pelas características do sistema, que apresenta vários níveis de tensão e está sempre em evolução.

Conforme Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico de janeiro do ano corrente (BRASIL, 2016), havia até esta data cerca de 129.259 km de linhas de transmissão instaladas no Brasil. E a expectativa do ministério é de que até 2018 o sistema de transmissão tenha uma expansão da capacidade de transformação de 24.940 MVA.

Atualmente o setor elétrico brasileiro conta com três importantes entidades, Agência Nacional da Energia Elétrica (ANEEL) – que fiscaliza e regula o setor como um todo; Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) – que coordena e controla a operação de instalações de geração e transmissão de energia; e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) – que viabiliza a comercialização de energia elétrica e gere o mercado de curto prazo do setor.

Existem dois ambientes de comercialização de energia, que sejam o Ambiente de Contratação Regulada – ACR e o Ambiente de Contratação Livre – ACL. De acordo com Almeida (2006), no primeiro ambiente os consumidores são cativos e a negociação dá-se através de Leilões, enquanto no segundo ambiente os consumidores são livres, bem como a negociação, que ocorre através de contratos bilaterais.

Segundo Vanzella (2003), uma vez que os consumidores passem à condição de livres se faz necessário conhecer e gerenciar os custos das atividades, para que a energia possa ser vendida a preços competitivos sem afetar a qualidade percebida pelos clientes e ainda obter a lucratividade desejada.

No ambiente de contratação regulada estão os contratos de concessão do serviço público de transmissão de energia elétrica. Estes contratos definem as receitas anuais permitidas e incluem mecanismos de alteração, que são o reajuste tarifário anual, a revisão tarifária extraordinária e a revisão tarifária periódica, conforme a Resolução Normativa n. 257 (ANEEL, 2007).

Em janeiro de 2013 foi emitida a Lei nº 12.783/2013, que dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais, sobre a modicidade tarifária, e dá outras providências. Anterior a esta, a Lei nº 10.848/2004 já dispunha que compete à ANEEL definir as tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição, respeitadas as diretrizes nela dispostas para a transmissão.

Diversas empresas do setor sofreram impacto no negócio de transmissão em função da instauração da Lei nº 12.783/2013. As mudanças implantadas, tanto na contemplação dos investimentos em ativos e em encargos do setor, através de redução ou eliminação destes, como no modelo de negócios, em que a tarifa (nova Receita Anual Permitida – RAP) passou a ser calculada de forma a cobrir os custos de operação e manutenção, acrescida de remuneração, logo geraram resultados negativos para as empresas.

As tarifas de fornecimento e seus reajustes são calculados pela ANEEL. Segundo a Revisão Periódica das Receitas das Concessionárias Existentes (ANEEL, 2013), nestes cálculos são considerados os Custos Operacionais Eficientes, que são todos custos da transmissora que correspondam ao negócio regulado submetidos a uma análise de eficiência histórica e comparativa com outras concessionárias, mediante o uso de indicadores de eficiência.

A análise de eficiência entre as concessionárias tem impacto direto no reajuste tarifário, de modo que quanto mais eficientes forem os custos operacionais maior será o reajuste. A ANEEL realiza esta análise através do DEA. A seguir será apresentada a fundamentação teórica desta ferramenta.

## 2.2. Análise por Envoltória de Dados

É importante que as empresas possam avaliar a evolução de seu desempenho ao longo dos anos, bem como em comparação aos seus concorrentes. Mesmo internamente, constantemente os departamentos dentro de uma empresa têm seu desempenho analisado e comparado entre si. Por desempenho, pode-se definir primeiramente a relação entre os insumos empregados e os produtos obtidos, chamada produtividade.

De acordo com Cooper *et al.* (2002), o conceito de eficiência expressa a otimização desta relação de produtividade. Sejam os insumos e produtos de ordem física, como quantidade de itens em estoque e número de funcionários, ou de ordem econômica, como receitas e gastos, a relação ótima entre eles é o que se define como eficiência.

Comparar dados em diferentes unidades de medida e de origens diversas pode se apresentar uma tarefa complexa. Geralmente as variáveis são numerosas e seus pesos sobre a eficiência não são algo simples de se calcular. Não obstante, comparações de eficiência entre empresas ou departamentos muito distintos podem gerar distorções na análise, uma vez que unidades cujos insumos e produtos não sejam os mesmos enfrentam realidades diferentes.

A Análise por Envoltória de Dados, *Data Envelopment Analysis* (DEA) é uma ferramenta da pesquisa operacional que realiza um *benchmarking* da eficiência entre pares, as chamadas Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Units* - DMUs) e permite a utilização de múltiplos insumos e produtos através de programação linear para obter-se um só insumo e um só produto virtuais, passíveis de análise pela equação tradicional de produtividade, produto sobre insumo. Para tanto, são consideradas pares unidades produtivas que executam operações iguais e, portanto, utilizam múltiplos insumos semelhantes para gerar múltiplos produtos também semelhantes (COOPER *et al.*, 2002).

Em suma, de acordo com Cook *et al.* (2014), o DEA é uma técnica de otimização baseada na programação linear. A programação linear, no campo da pesquisa operacional, trata situações cujo objetivo é maximizar ou minimizar uma função linear, a qual está sujeita a restrições, de modo que tanto a função objetivo como as restrições são definidas por equações ou inequações lineares.

Este modelo é uma ferramenta desenvolvida inicialmente por Charnes *et al.* (1978) durante um estudo comparativo do desempenho de alunos em escolas públicas americanas, com relação à sua adesão ou não a um programa de acompanhamento de estudantes carentes. Cada

escola foi tratada como uma Unidade de Tomada de Decisão (DMU) e múltiplos insumos e produtos foram avaliados, através do emprego de um modelo de otimização de programação matemática. Conforme Cooper *et al.* (2002), ao considerar as hipóteses de retornos de escala, isto é, de que há um retorno escalar de produtos ao aumento nos insumos, e de livre descarte, onde para determinado nível de insumos pode-se produzir a quantidade máxima de produtos ou qualquer quantidade inferior, os autores puderam estabelecer uma curva máxima de produção, uma fronteira de eficiência.

A utilização de múltiplos insumos e produtos pelo modelo DEA no cálculo da eficiência das unidades evita que se atribua ganhos ou perdas a estes fatores equivocadamente, o que pode ocorrer em análises de apenas um insumo e um produto. Tome-se por exemplo as equações de receitas sobre custos e de receitas sobre ativos. Um aumento nas receitas pode estar relacionado ao aprimoramento na gestão de custos ou de investimentos (ativo), de ambos e até mesmo de nenhum deles. Uma análise de todos as variáveis relevantes com seus respectivos pesos permite a visualização mais apurada da realidade (COOPER *et al.*, 2002).

O emprego de programação linear para identificar a fronteira de eficiência de um conjunto de DMUs permite comparar os insumos utilizados e produtos obtidos por cada unidade (XAVIER, 2015). A Figura 1 mostra um exemplo de Análise por Envoltória de Dados para um caso de único produto e único insumo. Assim, no encontro entre a quantidade de produto e insumo de cada DMU tem-se o ponto que corresponde à sua eficiência, de forma que os dados podem ser envelopados por uma fronteira, a fronteira de eficiência.

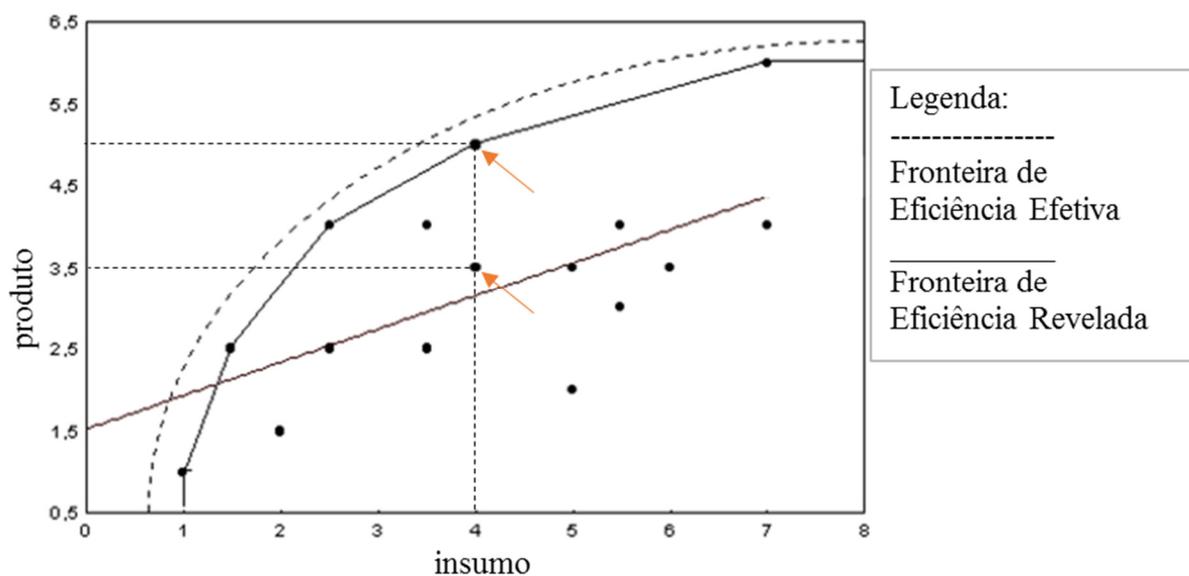


Figura 1 – Modelo de Análise por Envoltória de Dados  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Por exemplo, no encontro entre cerca de 5 (cinco) unidades de produto e cerca de 4 (quatro) unidades de insumo está uma DMU que se encontra na fronteira de eficiência revelada. Diretamente abaixo dela se encontra outra DMU, que com o mesmo volume de insumos produz em torno de 3,5 (três e meia) unidades do produto. Assim, a Figura 1 mostra que as DMUs abaixo da fronteira de eficiência poderiam tanto produzir mais com o mesmo nível de insumos como manter o nível de produção com economia de insumos e, portanto, são ineficientes em comparação aos seus pares.

A diferença entre as fronteiras de eficiência efetiva e revelada é que a efetiva corresponde ao arco calculado, enquanto a revelada corresponde aos pontos de eficiência de DMUs mais próximos à fronteira efetiva, que ligados demonstram a fronteira de eficiência do grupo de DMUs em análise. Os pontos abaixo da linha desta fronteira de eficiência, ou seja, fora da fronteira de eficiência, correspondem às DMUs ineficientes cuja produção deve aumentar e/ou insumo diminuir para se alcançar a eficiência, assumindo-se mais uma vez os conceitos de retorno escalar de produtos e livre descarte com relação aos insumos aplicados.

Dentre seus modelos tradicionais, a metodologia DEA pode ser orientada ao insumo ou ao produto, com variação ou não de escala. A orientação ao insumo é adotada quando o controle gerencial para ações de melhorias ou cortes está nos insumos, enquanto a orientação ao produto é o oposto. A utilização de DEA com variação escalar compara as DMUs de acordo com seu porte, sem comparar unidades com diferentes níveis de atividade às demais (PESSANHA *et al.*, 2010).

Estes modelos de DEA são identificados na literatura pelas iniciais de seus autores seguidos da sua orientação. O modelo sem variação escalar foi desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes e, portanto, é chamado CCR (CHARNES *et al.*, 1978). Este modelo avalia a eficiência de uma forma global, identifica as fontes e estima os montantes das ineficiências identificadas. Em 1984, foi proposto por Banker, Charnes e Cooper um modelo onde as unidades apresentem retornos variáveis de escala (BANKER *et al.*, 1984). Este modelo é conhecido como BCC e permite distinguir entre diferentes tipos de eficiência para cada escala de produção e identificar o comportamento dos ganhos de escala (COOPER *et al.*, 2002).

O Quadro 1 apresenta os 04 (quatro) modelos tradicionais da Análise por Envoltória de Dados (DEA).

Logo, a ferramenta de programação linear DEA requer não somente a definição dos insumos e produtos, que são as variáveis de decisão, mas também da orientação, para produto ou insumo, e da adoção de variação escalar ou não. Em posse destes dados, com o emprego de

um software, como o Solver<sup>®</sup> para Microsoft Excel<sup>®</sup>, pode-se comparar a eficiência entre unidades similares.

modelo de programação linear orientação	Insumos	Produtos	
	sem variação escalar	<b>CCR - Insumo</b>	<b>CCR - Produto</b>
	com variação escalar	<b>BCC - Insumo</b>	<b>BCC - Produto</b>

Quadro 1 – Modelos tradicionais de Análise por Envoltória de Dados  
 Fonte: Elaboração própria

É importante ressaltar que o modelo DEA possui limitações, como o fato de calcular a eficiência relativa de uma DMU dentro de um determinado grupo. Qualquer mudança no grupo, adição ou exclusão de uma unidade altera completamente a fronteira, sem considerar que pode tratar-se de um grupo de unidades ineficientes, e aquelas consideradas eficientes são apenas menos ineficiente que as demais. Quanto à adoção da variação escalar, existe o risco da análise DEA considerar eficiente uma unidade quando ela de fato não o é, apenas não foi comparada a nenhuma outra por possuir porte distinto das demais (PESSANHA *et al.*, 2010).

Autores como Banker *et al.* (1978), Cook *et al.* (2015), Cooper *et al.* (2002) e Kassai (2002) discorrem sobre as limitações da Análise por Envoltória de Dados, dentre elas:

- A análise pode ser comprometida caso haja erros de medição das variáveis adotadas;
- Ao criar um programa linear para cada DMU, o DEA gera problemas computacionais extensos e possivelmente de lenta execução;
- A ferramenta é inadequada na avaliação do desempenho absoluto, pois a eficiência apresentada para uma determinada unidade só é verdadeira para aquele grupo de DMUs e para aquelas variáveis empregadas, sendo que qualquer alteração no modelo acarretará em alterações nas eficiências obtidas;
- Há possibilidade de resultados inconsistentes se a quantidade de DMUs avaliadas não for no mínimo o triplo do total de variáveis adotadas.

Uma vez que este trabalho pretende analisar a eficiência dos custos das unidades de transmissão de uma empresa do setor de energia elétrica e sendo o custo um insumo, a

orientação adotada para o modelo DEA neste trabalho é o insumo. Quanto à variação escalar, este trabalho não a adota. Apesar das unidades transmissoras não possuírem todas o mesmo porte, a variação escalar foi descartada por serem todas parte de uma mesma empresa e pela limitação deste modelo em considerar eficiente uma unidade quando ela de fato não o é, apenas possui porte distinto das demais.

Desta forma, o modelo DEA estudado com maior profundidade neste trabalho é o CCR-Insumo, ou seja, orientado ao insumo sem variação escalar. Tal modelo possibilita focar a eficiência nos custos sem risco de distorções na escala, conforme demonstram as equações apresentadas no item a seguir.

### 2.2.1. Análise por Envoltória de Dados orientada ao insumo sem variação escalar

A Análise por Envoltória de Dados sem orientação escalar assume que há retorno constante de escala, ou seja, uma alteração no volume de insumos resulta em uma alteração diretamente proporcional no volume de produtos. Se o modelo for orientado ao insumo, seu cálculo pretender mostrar o máximo indicador de eficiência de uma DMU em comparação com seus pares, através dos pesos específicos encontrados para cada produto e insumo avaliado.

Deste modo tem-se a formulação linear representada pelas Equações 1 a 4, onde “N” DMUs que produzem cada uma a quantidade “m” do produto “y” a partir da quantidade “n” do insumo “x”. Assim, “ $\theta$ ” representa a eficiência orientada ao insumo da DMU “k”, que produz “ $y_{rk}$ ” quantidades de produto com consumo de “ $x_{ik}$ ” quantidades de insumo.

$$\text{Maximizar } \theta = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \quad (1)$$

Sujeito a:

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

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ij} = 1 \quad (3)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (4)$$

Onde:

$y = \text{produtos}; x = \text{insumos}; u, v = \text{pesos}$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$

A formulação das Equações 1 a 4 é, portanto, orientada ao insumo sem variação escalar e seu objetivo é encontrar o máximo indicador de eficiência onde “ $u_r$ ” é o peso específico a ser encontrado para um produto “ $r$ ” e “ $v_i$ ” é o peso específico para cada insumo “ $i$ ” (KASSAI, 2002).

Neste modelo matemático admite-se as seguintes propriedades: retorno constante de escala, convexidade e a restrição de que nenhuma saída possa ser produzida sem utilizar entradas. O objetivo do modelo é reduzir os insumos ao nível em que seja possível fabricar no mínimo o mesmo nível de produção dado (XAVIER, 2015).

A seguir é apresentado um exemplo de análise DEA orientado ao insumo sem variação escalar, baseado no modelo apresentado por Kassai (2002). O modelo foi desenvolvido com uso da ferramenta Solver<sup>®</sup> para Excel<sup>®</sup> e calcula a eficiência de cada unidade e os pesos de cada variável. Através de sua análise é possível identificar as ações a serem adotadas por unidades ineficientes a fim de atingir eficiência semelhante à de seus pares que se encontram na fronteira de eficiência revelada.

A Tabela 1 apresenta os valores de um determinado ano para um produto de natureza econômica, que pode ser Vendas ou Lucros, dentre outros, e para dois insumos, sendo um de natureza física, como número de empregados ou de horas de máquinas, e outro de natureza econômica, como custos ou despesas operacionais, de um conjunto de sete empresas do setor energia elétrica.

<b>Unidades</b>	<b>X1 - Insumo físico</b>	<b>X2 - Insumo econômico</b>	<b>Y1 - Produto econômico</b>	<b>Y1/X1</b>	<b>Y1/X2</b>
<b>A</b>	11.748	7.475.831	2.349.306	199,97	0,31
<b>B</b>	6.536	5.299.049	1.305.444	199,73	0,25
<b>C</b>	6.646	5.221.847	3.105.869	467,33	0,59
<b>D</b>	5.988	5.147.807	1.977.704	330,28	0,38
<b>E</b>	4.478	1.487.845	800.331	178,73	0,54
<b>F</b>	3.320	1.599.784	780.880	235,20	0,49
<b>G</b>	4.176	3.888.613	1.582.624	378,98	0,41

Tabela 1 – Dados das empresas consideradas no exemplo

Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Conforme os dados da Tabela 1, a empresa A emprega o maior volume de insumos X1 e X2, mas não apresenta o maior volume de produto Y1. Com menor emprego destes mesmos insumos, a empresa C obtém o maior volume de produto Y1. Inclusive as razões do insumo Y1

sobre cada produto indicam melhor desempenho da empresa C. Uma análise individual de cada insumo com relação ao produto Y1 é apresentada pelos gráficos das Figuras 2 e 3.

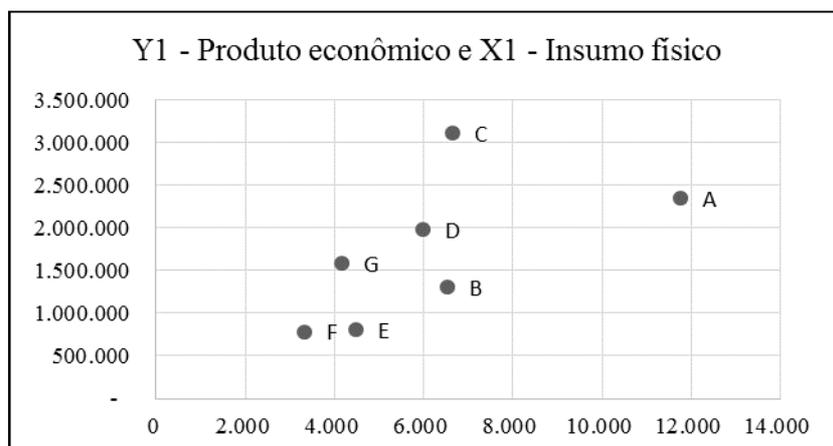


Figura 2 – Volume do produto Y1 em relação ao consumo do insumo X1  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Nas Figuras 2 e 3 pode-se identificar que a produção da empresa C ultrapassa o desempenho de produção das demais para ambos insumos. De fato, a análise individual destes insumos revela padrões de desempenho semelhantes, exceto pelo desempenho das empresas E e F, que se distanciam das demais com menor consumo do insumo X2.

As análises obtidas por estes gráficos não mostram quais empresas são mais eficientes e nem como cada empresa ineficiente deve agir a fim de se tornar eficiente perante as demais. O modelo DEA pode trazer estas informações, de modo que este modelo foi construído com base nas Equações 1 a 4 em uma planilha no programa Excel®, conforme Figura 4.

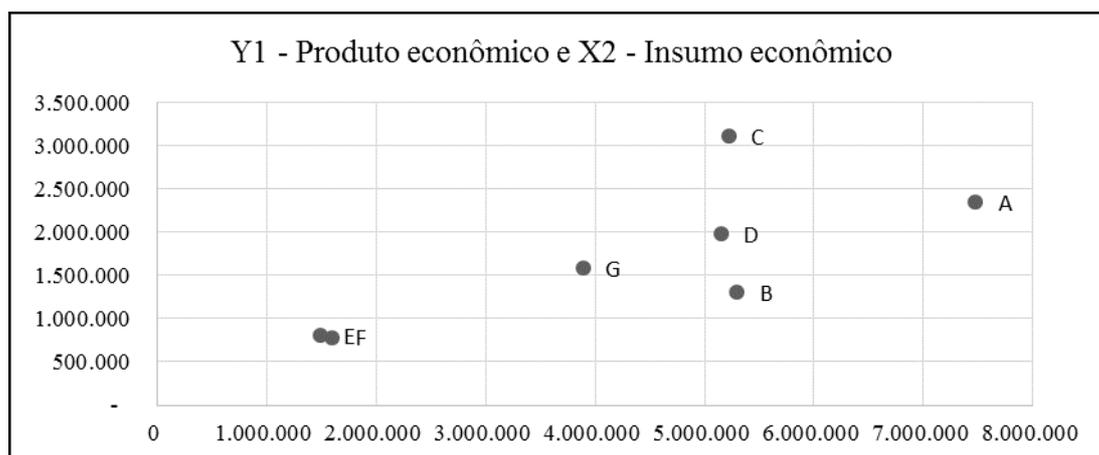


Figura 3 – Volume do produto Y1 em relação ao consumo do insumo X2  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

	A	B	C	D	E	F	G	H
	<b>Unidades</b>	<b>X1 - Insumo físico</b>	<b>X2 - Insumo econômico</b>	<b>Y1 - Produto econômico</b>	<b>Y1/X1</b>	<b>Y1/X2</b>	<b>Equação</b>	<b><math>\theta</math></b>
1								
2	<b>A</b>	11.748	7.475.831	2.349.306	199,97	0,31	<b>0,000000</b>	<b>0,528349</b>
3	<b>B</b>	6.536	5.299.049	1.305.444	199,73	0,25	<b>0,000000</b>	<b>0,427389</b>
4	<b>C</b>	6.646	5.221.847	3.105.869	467,33	0,59	<b>0,000000</b>	<b>1,000000</b>
5	<b>D</b>	5.988	5.147.807	1.977.704	330,28	0,38	<b>0,000000</b>	<b>0,706735</b>
6	<b>E</b>	4.478	1.487.845	800.331	178,73	0,54	<b>0,000000</b>	<b>0,904384</b>
7	<b>F</b>	3.320	1.599.784	780.880	235,20	0,49	<b>0,000000</b>	<b>0,820661</b>
8	<b>G</b>	4.176	3.888.613	1.582.624	378,98	0,41	<b>0,000000</b>	<b>0,810951</b>
9	<b>Insumos</b>						<b>0,000000</b>	
10								
11		$\theta$	$v1$	$v2$	$u$			
12		<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>	<b>0,000000</b>			

Figura 4 – Planilha em Excel® do Modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar anteriormente à solução pela ferramenta Solver®

Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Nas Figuras 4 e 5 a coluna “Equação” traz os cálculos na Equação 2, da formulação anteriormente apresentada, para cada uma das sete unidades avaliadas. Isto é, para cada DMU é calculada a diferença entre a soma dos produtos (y) multiplicados por seus respectivos pesos (u) e a soma dos insumos (x) multiplicados por seus respectivos pesos (v).

A célula “G9” desta coluna trata dos insumos da unidade sob análise, ou seja, traz somente a soma destes insumos (x) multiplicados por seus respectivos pesos (v) e corresponde à Equação 3. A célula “B12”, que provém da Equação 1, calcula a máxima eficiência desta DMU, a eficiência “ $\theta$ ”, ao somar os seus produtos (y) multiplicados por seus respectivos pesos (v).

A Figura 4 apresenta o modelo construído antes do emprego da ferramenta Solver® para sua resolução, de modo que os pesos “v” e “u” são inicialmente iguais a zero e, portanto, todos os cálculos das Equações 1, 2 e 3 serão iguais a zero também. A Figura 5 ilustra as fórmulas da planilha construída.

As células em destaque na Figura 5 mostram que a planilha em questão foi elaborada para a análise da eficiência da unidade A, de modo que tanto a equação “Insumos” localizada na célula “G9” como a equação de eficiência “ $\theta$ ” localizada na célula “B12” consideram os pesos e as variáveis de insumo e produto para a empresa A.

	A	B	C	D	E	F	G
Unidades		X1 - Insumo físico	X2 - Insumo econômico	Y1 - Produto econômico	Y1/X1	Y1/X2	Equação
1							
2	A	11748	7475831	2349306	=D2/B2	=D2/C2	=D2*SES12-(C2*SDS12+B2*SCS12)
3	B	6536	5299049	1305444	=D3/B3	=D3/C3	=D3*SES12-(C3*SDS12+B3*SCS12)
4	C	6646	5221847	3105869	=D4/B4	=D4/C4	=D4*SES12-(C4*SDS12+B4*SCS12)
5	D	5988	5147807	1977704	=D5/B5	=D5/C5	=D5*SES12-(C5*SDS12+B5*SCS12)
6	E	4478	1487845	800331	=D6/B6	=D6/C6	=D6*SES12-(C6*SDS12+B6*SCS12)
7	F	3320	1599784	780880	=D7/B7	=D7/C7	=D7*SES12-(C7*SDS12+B7*SCS12)
8	G	4176	3888613	1582624	=D8/B8	=D8/C8	=D8*SES12-(C8*SDS12+B8*SCS12)
9	Insumos						=B2*SCS12+C2*SDS12

	$\theta$	$v1$	$v2$	$u$
11				
12	=E12*D2	0	0	0

Figura 5 – Fórmulas da planilha em Excel® do Modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar  
 Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Na Figura 6 tem-se o emprego da ferramenta de análise Solver® para Excel®. Para utilizar esta ferramenta é necessário que se defina seus parâmetros. Para uma Análise por Envoltória de Dados orientada ao insumo sem variação escalar é seguido o formulário apresentado pelas Equações 1 a 4.

Assim, o objetivo é maximizar a eficiência da unidade avaliada (célula “B12”). Para tanto, são adicionadas as seguintes restrições: que a diferença entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos seja menor ou igual a zero (células “G1” a “G8”); e que a soma ponderada dos insumos seja igual a um (célula “G9”).

Figura 6 – Parâmetros do Solver® para o Modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar  
 Fonte: adaptação de Kassai (2002)

A condição de que os pesos sejam não negativos pode ser atendida tanto por adicioná-la as restrições como por selecionar o item “Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas”. A seleção do método de solução é pelo LP Simplex, método linear, uma vez que a Análise por Envoltória de Dados é uma ferramenta de programação linear da pesquisa operacional. Definidos todos os parâmetros, basta clicar no botão “Resolver”.

O quadro de “Resultados do Solver<sup>®</sup>” na Figura 7 comunica se a ferramenta foi capaz de encontrar uma solução e disponibiliza “Relatórios” que podem ser gerados. O relatório de “Sensibilidade”, apresentado na Figura 9, permite verificar como mudanças nas variáveis podem afetar a solução ótima do problema.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Unidades</b>	<b>X1 - Insumo físico</b>	<b>X2 - Insumo econômico</b>	<b>Y1 - Produto econômico</b>	<b>Y1/X1</b>	<b>Y1/X2</b>	<b>Equação</b>
2	<b>A</b>	11.748	7.475.831	2.349.306	199,97	0,31	<b>-0,471651</b>
3	<b>B</b>	6.536	5.299.049	1.305.444	199,73	0,25	<b>-0,415235</b>
4	<b>C</b>	6.646	5.221.847	3.105.869	467,33	0,59	<b>0,000000</b>
5	<b>D</b>	5.988	5.147.807	1.977.704	330,28	0,38	<b>-0,243816</b>
6	<b>E</b>	4.478	1.487.845	800.331	178,73	0,54	<b>-0,019030</b>
7	<b>F</b>	3.320	1.599.784	780.880	235,20	0,49	<b>-0,038377</b>
8	<b>G</b>	4.176	3.888.613	1.582.624	378,98	0,41	<b>-0,164232</b>
9	<b>Insumos</b>						<b>1,000000</b>
10							
11		$\theta$	$v1$	$v2$	$u$		
12		<b>0,5283493</b>	0,0000000	0,0000001	0,0000002		

Figura 7 – Caixa de solução do Solver<sup>®</sup> para Excel<sup>®</sup>  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Os resultados encontrados pela ferramenta Solver<sup>®</sup> podem ser vistos na Figura 8. A eficiência encontrada para a empresa A em relação às demais é de 52,83%, quase metade da eficiência ideal de 100%. Com base neste número, o próximo passo é definir as iniciativas necessárias para que esta empresa se torne mais eficiente.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Unidades</b>	<b>X1 - Insumo físico</b>	<b>X2 - Insumo econômico</b>	<b>Y1 - Produto econômico</b>	<b>Y1/X1</b>	<b>Y1/X2</b>	<b>Equação</b>
2	<b>A</b>	11.748	7.475.831	2.349.306	199,97	0,31	<b>-0,471651</b>
3	<b>B</b>	6.536	5.299.049	1.305.444	199,73	0,25	<b>-0,415235</b>
4	<b>C</b>	6.646	5.221.847	3.105.869	467,33	0,59	<b>0,000000</b>
5	<b>D</b>	5.988	5.147.807	1.977.704	330,28	0,38	<b>-0,243816</b>
6	<b>E</b>	4.478	1.487.845	800.331	178,73	0,54	<b>-0,019030</b>
7	<b>F</b>	3.320	1.599.784	780.880	235,20	0,49	<b>-0,038377</b>
8	<b>G</b>	4.176	3.888.613	1.582.624	378,98	0,41	<b>-0,164232</b>
9	<b>Insumos</b>						<b>1,000000</b>
10							
11		$\theta$	$v1$	$v2$	$u$		
12		<b>0,5283493</b>	0,0000000	0,0000001	0,0000002		

Figura 8 – Solução do Solver<sup>®</sup> para a empresa A  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Estas iniciativas se baseiam em dados obtidos através do relatório de Sensibilidade da Figura 10. Este relatório traz, dentro outros dados, o preço sombra para as restrições (Equações 2 a 4). O preço sombra define em quanto a alteração de uma unidade das restrições afeta o resultado da solução ótima.

Tem-se na linha 18, da planilha da Figura 9, que o preço sombra da empresa A é de 75,64% (coluna “Sombra Preço”) e ainda que a empresa C é a sua referência de eficiência (coluna “Nome”).

Células Variáveis						
Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$CS14 v1		0,0000000	-1.179,9558571	0,0000000		1.179,96
\$DS14 v2		0,0000001	0,0000000	0,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	750.864,03
\$ES14 u		0,0000002	0,0000000	2.349.306,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	2.349.306,00

Restrições						
Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$GS2	A Equação	-0,4716507	0,0000000	0,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	0,4716507
\$GS3	B Equação	-0,4152351	0,0000000	0,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	0,4152351
\$GS4	C Equação	0,0000000	0,7564086	0,0000000		0,6984972
\$GS5	D Equação	-0,2438158	0,0000000	0,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	0,2438158
\$GS6	E Equação	-0,0190295	0,0000000	0,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	0,0190295
\$GS7	F Equação	-0,0383774	0,0000000	0,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	0,0383774
\$GS8	G Equação	-0,1642323	0,0000000	0,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	0,1642323
\$GS9	Insumos Equação	1,0000000	0,5283493	1,0000000	1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000,00	1,0000000

Figura 9 – Relatório de sensibilidade do Solver® para a empresa A  
Fonte: adaptação de Kassai, 2002

A Tabela 2 apresenta os cálculos para a empresa A considerado seu preço sombra de 75,64% e tida como referência a empresa C e seu volume de insumos e produto.

Metas empresa A - Insumo sem variação escalar				
Preço Sombra	75,6409%			
Referência	empresa C	empresa A	Diferença	%
X1	5.027	11.748	-6.721	-57,21%
X2	3.949.850	7.475.831	-3.525.981	-47,17%
Y1	2.349.306	2.349.306	0	0,00%

Tabela 2 – Metas para a empresa A pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Os valores apresentados pela Tabela 2 são calculados conforme mostrado na Figura 10. A coluna “empresa A” traz os volumes de insumos e produto atuais desta empresa, enquanto a coluna “empresa C” traz os volumes de insumos e produto da empresa ponderados pelo preço sombra. Em outras palavras, a empresa A utiliza a empresa C como referência de eficiência ao projetar seu preço sombra sobre o volume de insumos e produto desta segunda empresa. Desta forma, a análise sugere que a empresa A reduza seus insumos nos montantes total e percentual mostrados nas colunas “Diferença” e “%”.

O modelo de Análise por Envoltória de Dados adotado, com orientação aos insumos, não sugere alterações no volume de produção. O objetivo é exatamente manter o mesmo nível de produção com economia de insumos, da forma como a empresa referência é capaz de realizar.

	A	B	C	D	E
14	<b>Metas empresa A - Insumo sem variação escalar</b>				
15	<b>Preço Sombra</b>	=Relatório de Sensibilidade 1!E17			
16	<b>Referência</b>	<i>empresa C</i>	<i>empresa A</i>	<b>Diferença</b>	<b>%</b>
17	<b>X1</b>	=B4*B15	=B2	=B17-C17	=D17/C17
18	<b>X2</b>	=B15*C4	=C2	=B18-C18	=D18/C18
19	<b>Y1</b>	=B15*D4	=D2	=B19-C19	=D19/C19

Figura 10 – Fórmulas das metas para a empresa A pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Para confirmar o uso da empresa C como referência, a Figura 11 ilustra o emprego da ferramenta Solver<sup>®</sup> da mesma forma, mas para a empresa C.

	A	B	C	D	E	F	G
	<b>Unidade</b>	<b>X1 - Insumo físico</b>	<b>X2 - Insumo econômico</b>	<b>Y1 - Produto econômico</b>	<b>Y1/X1</b>	<b>Y1/X2</b>	<b>Equação</b>
1							
2	<b>A</b>	11.748	7.475.831	2.349.306	199,97	0,31	<b>-0,675236</b>
3	<b>B</b>	6.536	5.299.049	1.305.444	199,73	0,25	<b>-0,594469</b>
4	<b>C</b>	6.646	5.221.847	3.105.869	467,33	0,59	<b>0,000000</b>
5	<b>D</b>	5.988	5.147.807	1.977.704	330,28	0,38	<b>-0,349058</b>
6	<b>E</b>	4.478	1.487.845	800.331	178,73	0,54	<b>-0,027244</b>
7	<b>F</b>	3.320	1.599.784	780.880	235,20	0,49	<b>-0,054943</b>
8	<b>G</b>	4.176	3.888.613	1.582.624	378,98	0,41	<b>-0,235122</b>
9	<b>Insumos</b>						<b>1,000000</b>
10							
11		$\theta$	$v1$	$v2$	$u$		
12		<b>1,0000000</b>	0,0000000	0,0000002	0,0000003		

Figura 11 – Solução do Solver<sup>®</sup> para a empresa C  
Fonte: adaptação de Kassai (2002)

O resultado calculado pela aplicação da ferramenta DEA nesta empresa é de uma eficiência igual a 01 (um), ou seja, de 100%. A Figura 12 ilustra o relatório de sensibilidade para a empresa C. Nele pode-se identificar que o preço sombra da empresa (coluna “Sombra Preço”) é igual a 01 (um) e que a sua referência é ela própria, a empresa C.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Microsoft Excel 15.0 Relatório de Sensibilidade</b>							
2	<b>Planilha: [DEA orientado ao insumo.xlsx]EMPRESA C</b>							
3								
4								
5	<b>Células Variáveis</b>							
6			<b>Final</b>	<b>Reduzido</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Permitido</b>	<b>Permitido</b>	
7	<b>Célula</b>	<b>Nome</b>	<b>Valor</b>	<b>Custo</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Aumentar</b>	<b>Reduzir</b>	
8	\$C\$14 v1		0	0	0	0	1E+30	
9	\$D\$14 v2		1,915E-07	0	0	1E+30	0	
10	\$E\$14 u		3,2197E-07	0	3105869	1E+30	3105869	
11								
12	<b>Restrições</b>							
13			<b>Final</b>	<b>Sombra</b>	<b>Restrição</b>	<b>Permitido</b>	<b>Permitido</b>	
14	<b>Célula</b>	<b>Nome</b>	<b>Valor</b>	<b>Preço</b>	<b>Lateral R.H</b>	<b>Aumentar</b>	<b>Reduzir</b>	
15	\$G\$2	A Equação	-0,6752364	0	0	1E+30	0,6752364	
16	\$G\$3	B Equação	-0,5944692	0	0	1E+30	0,5944692	
17	\$G\$4	C Equação	0	1	0	0,1057248	1	
18	\$G\$5	D Equação	-0,3490576	0	0	1E+30	0,3490576	
19	\$G\$6	E Equação	-0,0272435	0	0	1E+30	0,0272435	
20	\$G\$7	F Equação	-0,0549429	0	0	1E+30	0,0549429	
21	\$G\$8	G Equação	-0,2351224	0	0	1E+30	0,2351224	
22	\$G\$9	Insumos Equação	1	1	1	1E+30	1	

Figura 12 – Relatório de sensibilidade do Solver® para a empresa C

Fonte: adaptação de Kassai (2002)

Por fim, efetuados os cálculos para todas as unidades com o emprego das etapas acima apresentadas, tem-se as eficiências apresentadas na Tabela 3. É possível verificar que, neste grupo, apenas a empresa C é considerada eficiente pelo método DEA adotado.

<b>Unidades</b>	<b><math>\theta</math></b>
<b>A</b>	<i>0,528349</i>
<b>B</b>	<i>0,427389</i>
<b>C</b>	<i>1,000000</i>
<b>D</b>	<i>0,706735</i>
<b>E</b>	<i>0,904384</i>
<b>F</b>	<i>0,820661</i>
<b>G</b>	<i>0,810951</i>

Tabela 3 – Eficiência calculada pelo Solver® para as empresas analisadas

Fonte: adaptação de Kassai (2002)

A orientação ao insumo deste modelo visa exatamente apresentar para as unidades ineficientes quais insumos é possível economizar sem afetar a produção atual, através da comparação com unidades eficientes. Vale ressaltar que no modelo sem variação escalar a eficiência para a orientação ao produto corresponde ao inverso da eficiência para a orientação

ao consumo, ou seja, ela é igual a  $\theta^{-1}$ . Uma abordagem orientada aos produtos revelaria possíveis ações de aumento nos produtos, mantendo-se o mesmo nível de insumos.

Conforme apresentado anteriormente neste trabalho, produtos de natureza econômica, como as receitas, não são totalmente determinados e controlados pelas empresas do setor elétrico, sendo sujeitos à regulamentação da ANEEL. Assim, a abordagem orientada aos insumos se mostra mais adequada neste caso.

Como já foi observado, a ANEEL utiliza a metodologia DEA para analisar a eficiência dos custos das concessionárias de transmissão de energia elétrica. O modelo por ela adotado é o DEA orientado ao insumo sem variação escalar, ou seja, o modelo ora explanado. O item a seguir apresenta em detalhes o modelo DEA adotado pela ANEEL

### **2.2.2. Análise por Envoltória de Dados adotada pela ANEEL**

Conforme apresentado nos estudos sobre o setor elétrico brasileiro, as tarifas de fornecimento e seus reajustes são calculados pela ANEEL, por meio de uma análise de eficiência entre as concessionárias com impacto direto no reajuste tarifário, quanto mais eficientes forem os custos operacionais maior será o reajuste. A ANEEL realiza esta análise através do DEA. A utilização desta ferramenta acompanha a tendência internacional entre agências de energia situadas na Europa, conforme apresentado na Figura 13.

Além disso, Haney e Pollit (2013) defendem a importância do *benchmarking* entre empresas de transmissão de energia embora reconheçam sua maior dificuldade em comparação ao *benchmarking* entre distribuidoras.

A Figura 13 traz uma divisão entre as agências europeias que praticam regulamentação de incentivo (à direita) e aquelas que não praticam (à esquerda), sendo que apenas 10 (dez) não praticam a regulamentação de incentivo, contra 17 (dezessete) que adotam o incentivo.

Através da Figura 13 pode-se ainda constatar que das 27 (vinte e sete) agências europeias apresentadas, o total de 13 (treze) agências não adota um método específico de *benchmarking* entre as empresas do setor (parte inferior da figura). Dentre as 14 (catorze) agências que adotam um método específico de *benchmarking* (parte superior da figura), seja ele *Ideal Network* (Rede Ideal), COLS (Mínimos Quadrados Corrigidos - *Corrected Ordinary Least Square*), DEA ou *Ratio* (Razão), o método DEA é o que apresenta maior incidência, com 09 (nove) agências. Destas, conforme Plagnet (2006), 04 (quatro) agências haviam migrado de

outras formas de *benchmarking* para o DEA, sendo elas da Bélgica, Áustria, Alemanha e Dinamarca. Cabe ressaltar que as agências da Áustria, Reino Unido e Lituânia empregam uma mescla entre dois tipos diferentes de *benchmarking*.

		Rede Ideal (Ideal Network)	Suécia	Espanha
Mínimos Quadrados Corrigidos (Corrected Ordinary Least Square - COLS)			Polônia	
Finlândia	Análise por Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA)		Áustria	Reino Unido
Bélgica			Alemanha	Países Baixos
			Dinamarca	Noruega
		Razão (Ratio)	Lituânia	
	Regulamentação sem incentivo		Irlanda	Itália
		Regulamentação com incentivo		
França	Grécia	Qualquer comparativo (Any benchmarking)	Estônia	Eslováquia
Portugal	Malta		Letônia	República Checa
Luxemburgo	Chipre			
Eslovênia	Romênia		Hungria	

Figura 13 – Métodos de *Benchmarking* Empregados em Agências Europeias  
Fonte: Traduzido e adaptado de PLAGNET, M. A. (2006)

Observa-se então que a ferramenta DEA é não apenas adotada pela ANEEL, mas também por diversas agências europeias de regulação do setor elétrico. Além disso, tem-se que a maioria 17 agências) pratica a regulamentação com incentivo, como a ANEEL.

O modelo de Análise por Envoltória de Dados utilizado pela ANEEL é orientado ao insumo, sem variação de escala, conforme as Equações 1 a 4 apresentadas no item anterior. Embora as concessionárias não possuam necessariamente o mesmo porte, a escolha pela não variação escalar se justifica pelo risco de se considerar eficiente uma concessionária quando ela de fato não o é, ela apenas não foi comparada a nenhuma outra durante a resolução do problema por possuir porte distinto das demais (PESSANHA *et al.*, 2010).

A ANEEL emprega nesta formulação 05 (quatro) variáveis de decisão, que se tratam de 01 (um) insumo e 4 (quatro) produtos. O insumo é o Custo Operacional (OPEX) e os produtos são as Unidades Modulares de Linhas de Transmissão (extensão de rede em quilômetros) e as Unidades Modulares de Subestação, conforme a Norma Técnica n. 396 (ANEEL, 2009). As Unidades Modulares de Subestação são representadas pelos Módulos de Manobra (soma da

entrada de linha, conexão de transformador e interligação de barramento) e pelos Módulos de Equipamentos, que se desdobram em 02 produtos (número de transformadores/autotransformadores e capacidade instalada de transformação em MVA).

Apesar de todas transmissoras prestarem um mesmo serviço, é necessário verificar se o fazem sob as mesmas condições. Isto é, se existem fatores que afetam os custos médios da prestação de serviço por parte das transmissoras. A fim de dirimir discrepâncias nas eficiências auferidas, a ANEEL adota variáveis não discricionárias, chamadas também de variáveis ambientais. Estas variáveis correspondem a condições que não podem ser controladas pelos administradores das empresas.

Assim, a ANEEL possui 03 (três) variáveis não discricionárias em sua análise, a remuneração média do trabalho na cidade onde se localiza a sede da empresa (remuneração), o nível de tensão de cada linha de transmissão (nível de tensão) e a dispersão da rede de atendimento (área), de acordo com a Norma Técnica n. 396 (ANEEL, 2009). Estes são fatores que afetam os custos e sobre os quais a empresa não tem como atuar e são considerados no modelo DEA conforme as Equações 5 e 6.

$$\theta_{DEA} = \alpha_C I + \alpha_N \ln(\text{nível de tensão}) + \alpha_A \ln(\text{área}) + \alpha_R \ln(\text{remuneração}) \quad (5)$$

Onde:

$$I = \text{vetor unitário} \quad (6)$$

As 04 (quatro) variáveis de decisão mencionadas anteriormente são consideradas discricionárias. Ao contrário destas, as variáveis não discricionárias, além de não influenciáveis, podem criar condições inóspitas para a eficiência de DMU. Desta forma, uma análise DEA complementar (demonstrada pelas Equações 5 e 6), considera as variáveis não discricionárias e ajusta a eficiência de uma determinada DMU. Ou seja, caso suas condições de operação sejam mais desfavoráveis que a de seus pares, o peso de suas variáveis não discricionárias é somado à sua eficiência (COOPER *et al.*, 2002).

De acordo com o estudo de Haney e Pollitt (2013) em diversas nações sobre a utilização de *benchmarking* pelos reguladores na avaliação de empresas transmissoras de energia elétrica, a maioria das agências reguladoras do setor elétrico já utiliza de algum tipo de *benchmarking* ou pretende passar a utilizar. A agência reguladora brasileira está entre aquelas que utilizam o *benchmarking* em sua avaliação, e como ela outras 05 (cinco) das pesquisadas optou ou pretende optar pelo DEA.

Em caráter complementar, é apresentado no item a seguir uma breve revisão da literatura sobre a utilização de DEA em outras empresas e agências do setor elétrico.

### **2.2.3. Análise por Envoltória de Dados no setor elétrico**

O artigo de Zhou, Ang e Poh (2008) lista 100 estudos de energia e meio ambiente que empregam o DEA em sua análise de eficiência publicado no período de 1983 a 2006. Estes estudos foram coletados primordialmente de grandes *journals* internacionais das áreas de energia, de pesquisa operacional e de meio ambiente. Dentre estes, apenas 05 (cinco) utilizam os custos como medida de eficiência.

O presente trabalho realiza seu próprio levantamento, conforme os Quadros 2 e 3.

Os Quadros 2 e 3 apresentam o levantamento realizado de trabalhos de 10 (dez) diferentes autores, incluindo a ANEEL. Foi verificado o tema de suas pesquisas e que todas adotam análise DEA da eficiência de transmissoras ou transmissoras-distribuidoras, no período de 2001 a 2012.

Dos trabalhos levantados, 06 (seis) foram publicados em *journals* internacionais tanto do setor de energia como da área de pesquisa operacional, sendo que os demais são nacionais. Destes trabalhos, são 05 (cinco) os que focam somente o serviço de transmissão de energia. O Quadro 2 relaciona os autores, o ano de publicação, o tipo de trabalho, o meio em que foram publicados, o serviço de energia focado e o título do trabalho.

Por ordem alfabética, o primeiro trabalho relacionado no levantamento, de Abbott (2006), trata da “Produtividade e eficiência da indústria de fornecimento de energia elétrica Australiana” (*The productivity and efficiency of the Australian electricity supply industry*) com enfoque tanto na distribuição como na transmissão. Em alguns países estas duas atividades não são segregadas como no Brasil. Este autor apresenta, dentre os insumos adotados para análise, dados relevantes para a gestão de custos, como número de funcionários e outros custos de materiais e serviços. Ele adota um único produto, energia total fornecida, que no caso brasileiro pode ser substituído pela energia total produzida, uma vez que a totalidade da energia transmitidas pelas concessionárias no país é disponibilizada no SIN Sistema Integrado Nacional.

Em seguida tem-se o trabalho de Andrade (2010) cujo título é “Contribuição para o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação da eficiência no setor de transmissão de

energia elétrica” e o enfoque é somente no serviço de transmissão. O autor parte do modelo desenvolvido pela ANEEL e descrito na Nota Técnica n. 396, conforme apresentado no item anterior desta pesquisa, para sugerir abordagens diferentes do DEA a partir das mesmas variáveis de decisão (insumo e produtos).

AUTOR	ANO	TIPO	PUBLICADO POR	FOCO	TÍTULO
ABBOTT, M.	2006	Artigo	<i>Energy Economics</i>	Transmissão e distribuição	<i>The productivity and efficiency of the Australian electricity supply industry</i>
ANDRADE, G. N.	2010	Dissertação	UFF	Transmissão	Contribuição para o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação da eficiência no setor de transmissão de energia elétrica
ANEEL	2009	Nota Técnica	ANEEL	Transmissão	NT 396/2009 - Benchmarking dos custos operacionais das concessionárias de transmissão de energia elétrica
LO, F.; CHIEN, C.; LIN, J. T.	2001	Artigo	<i>Power Systems, IEEE Transactions</i>	Transmissão e distribuição	<i>A DEA study to evaluate the relative efficiency and investigate the district reorganization of the taiwan power company</i>
PESSANHA, J. F. M. <i>et al.</i>	2010	Artigo	Pesquisa Operacional	Transmissão	Avaliação dos custos operacionais eficientes das empresas de transmissão do setor elétrico brasileiro: uma proposta de adaptação do modelo DEA adotado pela ANEEL
SAMPAIO, L. N. C. B.	2011	Tese	UNB	Transmissão	Dupla ótica sobre a comparação de eficiência entre empresas de transmissão de energia elétrica
SUEYOSHI, T.; GOTO, M.	2012	Artigo	<i>Energy Economics</i>	Transmissão e distribuição	<i>Efficiency-based rank assesment for electric power industry: a combined use of data envelopment analysis (DEA) and DEA-discriminant analysis (DA)</i>
THAKUR, T.; DESHMUKH, S.G.; KAUSHIK, S. C.	2006	Artigo	<i>Energy Policy</i>	Transmissão e distribuição	<i>Efficiency evaluation of the state owned electric utilities in India</i>
VON GEYMUELLER, P.	2009	Artigo	<i>Central European Journal of Operations Research</i>	Transmissão	<i>Static versus dynamic DEA in electricity regulation: the case of US transmission system operators</i>
YADAV, V. K.; PADHY, N. P.; GUPTA, H.	2010	Artigo	<i>Energy</i>	Transmissão e distribuição	<i>A micro level study of an Indian electric utility for efficiency enhancement</i>

Quadro 2 – Autores que utilizaram DEA, seu foco e título dos trabalhos.

Fonte: Elaboração própria

A Nota Técnica n. 396 – “Benchmarking dos custos operacionais das concessionárias de transmissão de energia elétrica” (ANEEL, 2009) foi incluída neste levantamento não apenas por servir de guia às concessionárias de transmissão, mas também porque o modelo DEA por ela estabelecido é adotado como base para discussão e análise por diversos autores. Suas variáveis de decisão, tal como colocado no item anterior deste trabalho, são o custo operacional

como insumo e a extensão de rede em quilômetros, os módulos de manobra, o número de transformadores e autotransformadores e a capacidade instalada de transformação como produtos.

Esta Nota Técnica também é utilizada como base para o artigo de Pessanha (2010) que, como ela, foca apenas o serviço de transmissão. Este artigo traz uma “Avaliação dos custos operacionais eficientes das empresas de transmissão do setor elétrico brasileiro: uma proposta de adaptação do modelo DEA adotado pela ANEEL”, em que o produto extensão da rede seja substituído por uma ponderação entre a extensão das linhas e seu nível de tensão, o que o autor denomina de “variável kmkV”.

De forma semelhante, em sua tese Sampaio (2011) propõe uma “Dupla ótica sobre a comparação de eficiência entre empresas de transmissão de energia elétrica”. O autor também se baseia na Nota Técnica da ANEEL para sugerir seu modelo e foca o serviço de transmissão. Em seu modelo, além de uma abordagem envoltória de dupla ótica, este sugere o enfoque na qualidade (índice de disponibilidade) e na sustentabilidade fornecidas e não apenas nas quantidades fornecidas.

Já o artigo de Lo *et al.* (2001) é mais um caso de abordagem tanto do serviço de transmissão como de distribuição e apresenta “Um estudo DEA para avaliar a eficiência relativa e investigar a reorganização distrital da companhia de energia elétrica taiwanesa (*A DEA study to evaluate the relative efficiency and investigate the district reorganization of the taiwan power company*). É relevante a forma como os autores apresentam seu modelo, de forma que adotam variáveis semelhantes às de outros autores, porém tratam-nas como insumos, assumindo como produtos apenas a energia total fornecida e o número de consumidores. Conforme já relatado, no caso brasileiro não há um número de consumidores para as concessionárias de transmissão, uma vez que estas disponibilizam a energia total produzida no SIN – Sistema Integrado Nacional.

Através de uma “Classificação baseada em eficiência para a indústria de energia elétrica: um uso combinado de DEA e Análise Discriminante” (*Efficiency-based rank assesment for electric power industry: a combined use of data envelopment analysis (DEA) and DEA-discriminant analysis (DA)*), Sueyoshi e Goto (2012) propõem um complemento ao DEA que visa ajustar as eficiências encontradas. As variáveis adotadas pelos autores se assemelham ao modelo de Lo *et al.* (2001), embora o modelo destes últimos seja mais abrangente neste sentido.

Thakur *et al.* (2006), em seu artigo “Avaliação da eficiência da concessionária de energia elétrica de propriedade do estado na Índia” (*Efficiency evaluation of the state owned*

*electric utilities in India*), com foco tanto na transmissão como na distribuição, avaliam a eficiência dos insumos custo e número de funcionários frente aos produtos extensão da rede, energia vendida e número de consumidores. Seu modelo traz variáveis semelhantes aos demais, no entanto, vale ressaltar que os autores identificaram com sua análise um significativo potencial para redução nos custos.

Yadav *et al.* (2010), autores do artigo “Um estudo em nível micro de uma concessionária de energia elétrica Indiana para aprimoramento da eficiência” (*A micro level study of an Indian electric utility for efficiency enhancement*) apresentam foco em ambos serviços, transmissão e distribuição. E tal como Thakur *et al.* (2006), seu país de estudo é a Índia. Com variáveis de decisão semelhantes às dos demais autores, Yadav *et al.* (2010) levantam a questão da disponibilidade do serviço, ao incluir como produto a duração média de interrupções, ponto também levantado por Sampaio (2011).

Por fim, este levantamento apresenta o artigo de Von Geymueller (2009), “DEA estático versus dinâmico na regulamentação da energia elétrica: o caso dos operadores do sistema de transmissão nos Estados Unidos” (*Static versus dynamic DEA in electricity regulation: the case of US transmission system operators*). Único artigo internacional a focar somente o serviço de transmissão, trata a extensão da rede e a capacidade de transformação como insumos e adota a energia fornecida como único produto. Adicionalmente, atenta aos riscos dos modelos DEA estáticos adotados pelas agências reguladoras estadunidenses.

É possível verificar, tanto por este levantamento como pelo de Zhou, Ang e Poh (2008), que a ferramenta DEA é amplamente adotada no setor elétrico, em especial entre empresas distribuidoras e/ou transmissoras de energia, para análise de sua eficiência. Estas análises, no entanto, focam a eficiência na prestação do serviço e não a eficiência financeira, como é possível verificar no Quadro 3. Dentre os autores analisados neste quadro, não foi identificado o emprego da receita ou do lucro como um dos produtos ou insumos adotados pelo modelo.

Quanto às variáveis adotadas pelos autores avaliados neste trabalho, há divergências entre a classificação como produto e insumo, mas de modo geral os trabalhos analisados relacionam variáveis semelhantes, de modo que estes dados servem de base para esta pesquisa.

O item a seguir trata dos fundamentos da contabilidade gerencial, a partir de conceitos básicos de contabilidade de custos até o custeio ABC/ABM. Esta fundamentação é importante para embasar a abordagem financeira da pesquisa ora desenvolvida, com enfoque na gestão estratégica de custos.

AUTOR	ANO	INSUMOS					PRODUTOS				
		outros custos de materias e serviços	número de funcionários	combustível consumido	ativo total		energia total fornecida (GWh)				
ABBOTT, M.	2006										
ANDRADE, G. N.	2010	Custo Total atualizado					extensão da rede (km)	capacidade de transformação MVA	quantidade de transformadores	módulos de manobra	
ANEEL	2009	Custo operacional (OPEX)					extensão da rede (km)	capacidade de transformação MVA	quantidade de transformadores	módulos de manobra	
LO, F.; CHIEN, C.; LIN, J. T.	2001	ativo total	gastos gerais	gastos com mão de obra	capacidade de transformação MVA	extensão da rede (km)	energia total fornecida (GWh)	numero de consumidores			
PESSANHA, J. F. M. <i>et al.</i>	2010	Custo Total atualizado					variável kmkV	capacidade de transformação MVA	quantidade de transformadores	módulos de manobra	
SAMPAIO, L. N. C. B.	2011	PMS custos gerenciáveis					extensão da rede (km)	capacidade de transformação MVA	índice de disponibilidade	índice de sustentabilidade	
SUEYOSHI, T.; GOTO, M.	2012	número de funcionários	Custo operacional (OPEX)	ativo total			energia total fornecida (GWh)	numero de consumidores			
THAKUR, T.; DESHMUKH, S.G.; KAUSHIK, S. C.	2006	Custo total ou custo ajustado	número de funcionários				extensão da rede (km)	numero de consumidores	energia vendida MKW h		
VON GEYMUELLER, P.	2009	gastos com material e estoque	gastos com mão de obra	extensão da rede (milhas)	capacidade de transformação MVA		energia total fornecida (MWh)				
YADAV, V. K.; PADHY, N. P.; GUPTA, H.	2010	custos de operação e manutenção	número de funcionários				extensão da rede (km)	capacidade de transformação MVA	energia total fornecida (MKWh)	numero de consumidores	duração média de interrupções

Quadro 3 – Autores que utilizaram DEA com os insumos e produtos adotados. (Elaboração própria)

### 2.3. Gestão de Custos

A equação básica de lucro é a diferença entre receitas e gastos. Isto é, seja para revender cadeiras, ou para operar uma grande empresa, o lucro resultará desta diferença. As receitas são o faturamento e podem se dar de diversas formas, o que não é o foco deste trabalho. Já os gastos, estes são compostos por custos, que são gastos diretamente relacionados à produção, e despesas, que são todos os demais gastos.

A fim de determinar o lucro de um determinado produto, considerando todos os custos, é necessário que estes sejam alocados ao produto, afinal nem todos os custos são diretos. Custos diretos são aqueles que podem ser diretamente alocados a um só produto. Quando isso não é possível tem-se um custo indireto. Os custos podem ser ainda classificados em fixos ou variáveis. Custos fixos permanecem inalterados independentemente do nível de produção. Os custos que alterem em função de alterações no volume de produção são custos variáveis. (MEGLIORINI, 2012)

A contabilidade de custos traz ainda as definições de custos de produção, custos primários e custos de transformação. O custo de produção engloba os custos com matéria-prima, com mão-de-obra direta e os custos indiretos. Os custos primários consideram apenas os custos com matéria-prima e com mão-de-obra direta. Já os custos de transformação, aqueles incorridos na transformação da matéria-prima em produto, incluem os custos de mão-de-obra direta e os custos indiretos (MARTINS, 2010).

Para a alocação dos custos existem na literatura diversos métodos de custeio que podem ser adotados. Megliorini (2012) apresenta os seguintes métodos: o custeio por absorção, o custeio pleno, o custeio variável e o custeio baseado em atividades (*Activity-Based Costing - ABC*).

No custeio por absorção, os custos, fixos ou variáveis, são apropriados aos produtos fabricados em determinado período. O custeio pleno apropria aos produtos fabricados todas os custos e despesas do período. Já o custeio variável apropria aos produtos somente os custos variáveis incorridos no período. Por fim, o custeio ABC apropria de modo que o custo do produto seja a soma dos custos das atividades necessárias para sua fabricação (MEGLIORINI, 2012).

Este trabalho foca tanto no custeio de absorção, o chamado método tradicional, como no custeio ABC, método proposto para a gestão estratégica de custos na empresa. Os demais métodos não são abordados.

A Agência Nacional da Energia Elétrica (ANEEL), entidade que regula o setor elétrico brasileiro, determina que as empresas contabilizem seus custos pelo método de absorção. O método de custeio por absorção, também chamado de tradicional, baseia-se na distribuição dos Custos Indiretos de Produção (CIP) a partir dos departamentos de serviços para os departamentos produtivos e por fim destes aos produtos (MARTINS, 2010).

Conforme Megliorini (2012), no método de absorção primeiramente os custos devem ser identificados como diretos ou indiretos. Nos custos diretos é necessário identificar as perdas e desperdício, seja de material ou de horas de mão-de-obra. Não obstante, o estoque de matéria prima deve ser avaliado, pois os preços para sua aquisição variam ao longo do tempo. Existem 03 (três) métodos de avaliação do estoque, o que considera o Primeiro a Entrar como o Primeiro a Sair (PEPS), o custo médio ponderado móvel e o que considera o Último a Entrar o Primeiro a Sair (UEPS). Na legislação brasileira apenas os métodos PEPS e custo médio são aceitos.

Já para a alocação dos custos indiretos ao produto, o método de custeio por absorção adota a departamentalização. Ao identificar departamentos (centros de custo), que são unidades administrativas com suas pessoas e máquinas, é possível levantar quais departamentos cada um deles atende e efetuar uma alocação mais adequada dos custos indiretos. Ainda assim, se trata de um método de alocação sujeito à arbitrariedade.

Segundo Freires e Pamplona (2005), os métodos de custeio tradicionais, por focarem a contabilidade financeira, não determinam precisamente os custos, uma vez que as despesas indiretas são determinadas por sistemas de rateio inadequados. Desta forma, ao utilizar-se desta informação não se é capaz de relacioná-la devidamente às atividades e tarefas executadas, provendo visão distorcida dos custos. Assim, os autores defendem que a função de um sistema de custos é fornecer aos gerentes condições de planejamento, gestão e redução de custos.

Para Martins (2010), os métodos de custeio tradicionais falham em fornecer informações importantes aos gestores quanto a possíveis melhorias no desempenho. O autor coloca que tais métodos, dentre outros itens, empregam rateios arbitrários e reduzidas bases de rateio, não mensuram custos de não qualidade e não segregam custos de atividades que não agregam valor.

De acordo com Megliorini (2012) há ainda o agravante de que novas tecnologias de produção resultaram em um aumento significativo dos custos indiretos de produção, acompanhados de redução nos custos de mão-de-obra direta. Ou seja, métodos de rateio

considerados inadequados têm sido responsáveis pela alocação de uma parcela cada vez maior dos custos.

Esta questão é demonstrada por Haddadi *et al.* (2015) ao comparar os métodos de custeio por absorção (contabilidade tradicional) e custeio ABC (contabilidade por atividades). O custeio por atividades leva os custos indiretos aos produtos, chamados objetos de custo, através das atividades. As atividades são ações compostas por um conjunto de tarefas que utilizam recursos para produzir bens/serviços (MARTINS, 2010). A Figura 14 ilustra esta comparação.



Figura 14 – Comparativo entre os métodos de custeio ABC e tradicional  
 Fonte: Adaptação de Megliorini (2012)

O método de custeio ABC surge então como uma alternativa ao custeio tradicional e propõe uma visão diferente para a alocação dos custos indiretos, a fim de reduzir as distorções de um rateio arbitrário. Ao invés de mensurar os custos de um departamento ou centro de custos, ele visa mensurar os custos de cada atividade. Logo, os recursos são consumidos pelas atividades, enquanto os produtos (objetos de custo) resultam destas atividades (MEGLIORINI, 2012).

Os objetos de custo são o produto final do processo, os bens/serviços, a razão da realização das tarefas. Segundo Pamplona (1997), os objetos de custos podem ser tanto produtos como serviços, lotes de produtos, linhas de produtos ou serviços, peças clientes, tipos de clientes ou outros objetos que se queira custear de acordo com o interesse da administração.

De acordo com Mauad *et al.* (2005), o conceito do ABC é simples e parte do princípio de que recursos são consumidos por atividades, enquanto atividades são consumidas por objetos de custos. Para identificar os recursos de cada atividade, são empregados os direcionadores de recursos. Bem como para identificar as atividades de um objeto de custo, emprega-se os direcionadores de atividades.

A metodologia ABC busca direcionar os recursos às atividades diretamente, sempre que possível, ou através de direcionadores. Em último caso emprega-se o rateio, através de bases

adequadas. Já a alocação dos custos das atividades ao objeto de custo se dá pelo emprego de direcionadores quantitativos. Por exemplo, a atividade “Serrar” pode ser alocada através do direcionador “horas de serragem”. Para Martins (2010), o uso deste método com visão somente funcional dos custos é chamado de primeira geração do ABC

Meghiorini (2012) menciona que uma das vantagens da metodologia ABC é a distinção entre atividades que agregam valor, as quais devem ser o foco dos gestores, e atividades que não agregam valor e também não são necessárias ou obrigatórias, as quais o gestor deve buscar eliminar. O mesmo autor aponta, porém, que ao realizar a segregação de custos fixos a fim de apropriá-los aos objetos de custo, o ABC se assemelha ao custeio por absorção.

Por outro lado, Martins (2010) coloca que a segregação de custos fixos é problemática quando executada de forma arbitrária e subjetiva, risco evitado no custeio ABC pelo emprego de direcionadores definidos através de estudos e pesquisas. Além disso, o autor cita que em análises estratégicas de longo prazo a classificação de custos como fixos ou variáveis é discutível.

Uskonen e Tenhiälä (2012) ressaltam que o custeio ABC foi originalmente desenvolvido para o melhor entendimento dos custos indiretos. Ao analisar estes de uma ótica semelhante à dos custos diretos, através da análise das atividades, dos seus geradores de custos e dos utilizadores. Porém, sua utilidade não se limita ao custeio de produtos, sendo ainda uma ferramenta de gestão de custos.

A segunda geração do método ABC, de acordo com Martins (2010), refere-se ao emprego deste como ferramenta de gestão de custos, através de abordagem mais ampla e consistente. Tal abordagem permite visualizar os custos não apenas de forma econômica, como visto anteriormente, mas também no sentido de aperfeiçoamento dos processos, que se trata de uma visão horizontal, a qual apresenta os custos dos processos através das atividades realizadas dentro de diferentes departamentos.

O ABC traz o custeio de processos, enquanto métodos tradicionais trazem os custos apenas conforme a estrutura organizacional da empresa. Logo, o ABC se mostra uma ferramenta de análise do fluxo de custos. A visão horizontal deste método mostra que cada processo resulta de uma sequência de atividades encadeadas através de vários departamentos. Com esta visão é possível analisar, custear e aperfeiçoar processos, a atuar na melhoria de desempenho na execução das atividades. (MARTINS, 2010)

Portanto, a utilização do custeio ABC permite à empresa obter informações mais acuradas dos custos dos produtos e/ou serviços prestados, o que traz a possibilidade de se

reduzir os custos das atividades dos processos pela utilização do gerenciamento baseado em atividades (*Activity-Based Management – ABM*).

As informações geradas pelo sistema ABC são utilizadas no gerenciamento ABM. Segundo Mauad e Pamplona (2003), o ABC é o processo técnico que levanta as atividades, rastreia os custos para as atividades e os conduz dessas para os objetos de custos. Enquanto o ABM é o processo que utiliza as informações obtidas com o ABC para gerenciar o negócio. Desta forma, o método de Custeio Baseado-em-Atividades/Gerenciamento Baseado-em-Atividades (ABC/ABM) “proporciona uma estimativa mais precisa das despesas indiretas reais que incidem em cada produto” (COGAN, 1999).

De acordo com o mesmo autor, por seu caráter gerencial, o sistema ABC/ABM pode ser implementado em paralelo ao sistema contábil já existente em uma empresa, sem interferência. É possível ainda que seja utilizado tanto constantemente como periodicamente, o que pode ser definido pelos gestores. Sua implementação pode dar início a uma reengenharia de processos, ou até mesmo resultar de uma iniciativa de reengenharia de processos, portanto estas iniciativas encontram-se geralmente relacionadas.

Este sistema é uma ferramenta para a gestão estratégica de custos, que é integração entre a gestão da empresa como um todo e a sua gestão de custos a fim de responder ao ambiente de mercado cada vez mais competitivo. A gestão estratégica de custos visa prevenir, evitar, reduzir, eliminar ou otimizar os custos e despesas de modo que seus gestores possam adotar uma postura proativa (MARTINS, 2010).

Carmo e Padovani (2012) afirmam que na busca por melhorar sua competitividade empresas, não apenas do setor privado mas também do público, têm buscado alternativas para a redução de custos e melhoria de processos. Seus estudos indicam que o uso do custeio ABC/ABM como ferramenta gerencial no setor público da América Latina é ainda baixo, apesar de sua comprovada capacidade de promover maior transparência e disseminar uma “cultura de custos” na administração pública.

Além da contabilidade de custos, que é responsável pelos dados a serem utilizados em uma Análise por Envoltória de Dados, é importante também apresentar os métodos tradicionais de análise financeira.

### 2.3.1. Análise Contábil

Analisar o desempenho é algo importante para as empresas, de modo que existem hoje várias técnicas, desde a simples análise do Balanço patrimonial, passando pela avaliação por meio de índices, até análises mais complexas e atuais, como estimativas de Valor de mercado adicionado (*Market Added Value – MVA*). Tais análises consideram diversas demonstrações financeiras, inclusive a demonstração de fluxos de caixa e o balanço gerencial. Este trabalho apresenta uma visão reduzida da análise contábil, com foco apenas nos indicadores contábeis tradicionais e nas demonstrações financeiras que fornecem os dados para seus cálculos.

As análises contábeis se baseiam nas demonstrações financeiras, em especial no Balanço patrimonial e na Demonstração de resultado. Hawawini e Viallet (2009) estabelecem que o Balanço patrimonial registra os ativos (aplicação dos recursos) e passivos (origem dos recursos) em uma determinada data e a diferença entre estes dois itens resulta no capital próprio nesta data, enquanto a Demonstração de resultado registra as receitas e despesas de um determinado período, de modo que a diferença entre estes dois itens resulta no lucro ou prejuízo deste período, ou seja, no aumento ou redução do capital próprio no período.

Os Quadros 4 e 5 mostram um modelo simplificado tanto do Balanço patrimonial quanto da Demonstração de resultado, elaborados a partir de Hawawini e Viallet (2009) e das demonstrações financeiras padronizadas apresentadas pelas empresas de capital aberto à Comissão de valores mobiliários.

<b>Balanço Patrimonial</b>	
<b>Ativo Total</b>	<b>Passivo Total</b>
<b>Ativo Circulante</b>	<b>Passivo Circulante</b>
Caixa	Dívidas de curto prazo
Contas a Receber	Contas a pagar
Estoques	<b>Passivo Não Circulante</b>
Despesas Antecipadas	Dívidas de longo prazo
<b>Ativo Não Circulante</b>	
Ativo Realizável a Longo Prazo	<b>Patrimônio Líquido (Capital Próprio)</b>
Investimentos	Capital social
Imobilizado	Lucros/prejuízos acumulados

Quadro 4 – Modelo de Balanço patrimonial

Fonte: Elaboração própria

<b>Demonstração de resultado</b>
<b>Receitas</b>
<b>(-) Custos</b>
<b>(=) Resultado Bruto</b>
<b>(-) Despesas Operacionais</b>
<b>(=) Resultado Antes do Resultado Financeiro e dos Tributos (EBIT)</b>
<b>(+/-) Resultado Financeiro</b>
<b>(=) Resultado Antes dos Tributos sobre o Lucro</b>
<b>(-) Imposto de Renda e Contribuição Social sobre o Lucro</b>
<b>(=) Lucro/prejuízo líquido do período</b>

Quadro 5 – Modelo de Demonstração de resultado

Fonte: Elaboração própria

Uma análise básica destas demonstrações financeiras, permite verificar a representatividade de cada item com relação a um todo, conhecida como análise vertical. Ou seja, para um determinado período, pode-se calcular a que parcela do Ativo Circulante (de curto prazo) ou do Ativo Total correspondem os Estoques. Existe também a análise horizontal, que compara a evolução de um mesmo item ao longo dos anos, por exemplo o aumento ou redução nos Estoques de um ano para o outro.

A literatura traz outras formas de se analisar as demonstrações financeiras, como os índices contábeis tradicionais. Seu intuito é prover aos gestores informações que contribuam para o processo de tomada de decisão. Conforme Bortoluzzi *et al.* (2011), estes índices contábeis podem ser divididos como índices de liquidez, rentabilidade e estrutura de capital. De acordo com Silva *et al.* (2015), os índices de liquidez e estrutura de capital medem risco, já os de rentabilidade medem o retorno.

Os índices de liquidez buscam mensurar a capacidade da empresa de quitar seus compromissos, seja curto ou a longo prazo. De acordo com Bortoluzzi *et al.* (2011), alguns dos índices tradicionais de liquidez são Giro do Capital Circulante, ou Capital de Giro Líquido (CGL), índice de Liquidez Corrente e índice de Liquidez Seca. Estes índices são calculados conforme apresentado no Quadro 6.

<b>Medidas de Liquidez Tradicionais</b>	
Capital de Giro Líquido(CGL) =	Ativo Circulante - Passivo Circulante
Índice de Liquidez Corrente=	Ativos Circulantes/Passivos Circulantes
Índice de Liquidez Seca =	(Caixa + Contas a receber)/Passivos Circulantes

Quadro 6 – Medidas de Liquidez Tradicionais

Fonte: Adaptação de Bortoluzzi *et al.* (2011)

O CGL é um índice que, ao calcular a diferença entre ativo e passivos circulantes, mostra a capacidade da empresa em quitar dívidas de curto prazo com a venda de seus ativos de curto prazo. O índice de Liquidez Corrente traz a razão entre estes mesmos itens, e apresenta a liquidez da empresa no curto prazo. Para ambas medidas de liquidez tem-se que quanto maiores,

mais líquida é a empresa. O índice de liquidez seca visa aprimorar o índice de liquidez corrente, ao considerar dentre os ativos circulantes apenas os itens com maior possibilidade de ser convertidos em dinheiro, os itens considerados mais “líquidos”. Como as medidas de liquidez discorridas anteriormente, quando maior este índice, maior a liquidez da empresa.

A rentabilidade diz respeito ao retorno, ou seja, o resultado de um período. De acordo com Silva *et al.* (2015), existem diferentes índices de rentabilidade, sobre as vendas, os ativos ou o patrimônio líquido, sendo que cada gestor tende a adotar aquele que se refere à sua área de atuação. No entanto, o retorno sobre o patrimônio líquido é o indicador mais abrangente de rentabilidade, por auferir a rentabilidade da empresa do ponto de vista dos proprietários. O Quadro 7 relaciona estes índices de rentabilidade.

<b>Medidas de Rentabilidade Tradicionais</b>	
Retorno sobre Vendas ( <i>Return on Sales</i> - ROS) =	Lucro Líquido/Vendas
Retorno sobre Ativos ( <i>Return on Assets</i> - ROA) =	Lucro Líquido/Ativo total
Retorno sobre Patrimônio Líquido ( <i>Return on Equity</i> - ROE) =	Lucro Líquido/Patrimônio Líquido

Quadro 7 – Medidas de Rentabilidade Tradicionais

Fonte: Adaptação de Silva (2015)

Estes índices de rentabilidade adotam como numerador o resultado (lucro líquido) de determinado período, de forma que quanto maiores os índices, melhor é a rentabilidade da empresa.

Por fim, os índices de Estrutura de capital buscam mostrar o impacto das dívidas sobre o capital total da empresa, sendo alguns deles o endividamento geral, a participação do capital de terceiros e a composição do endividamento. O Quadro 8 traz estes índices.

<b>Medidas de Endividamento Tradicionais</b>	
Endividamento geral =	(Passivo Circulante + Passivo não Circulante)/Ativo Total
Participação do capital de terceiros =	(Passivo Circulante + Passivo não Circulante)/Patrimônio Líquido
Composição do endividamento =	Passivo Circulante/(Passivo Circulante + Passivo não Circulante)

Quadro 8 – Medidas de Endividamento Tradicionais

Fonte: Adaptação de Bortoluzzi *et al.* (2011)

O Endividamento geral mostra quanto da aplicação dos recursos (ativo) é financiada por capital de terceiros, de curto e longo prazo. Um menor grau endividamento é visto como mais saudável para a empresa. A participação do capital de terceiros relaciona este capital ao capital próprio, e novamente uma menor representatividade do capital de terceiros sobre o capital próprio é melhor. A composição do endividamento apresenta o quanto do capital de terceiros é exigível a curto prazo, e a princípio quanto maior for este índice maior será o risco de insolvência da empresa, sendo necessária uma análise conjunta de sua liquidez para uma análise mais apurada.

Todos estes indicadores contábeis tradicionais levam em consideração um só critério para avaliar o desempenho de uma empresa, seja ele a liquidez, a rentabilidade ou o endividamento. Logo individualmente não são suficientes para uma análise de desempenho de uma empresa (BORTOLUZZI *et al.*, 2011). Uma análise conjunta destes índices se dá em parte pelo julgamento humano para relacioná-los e compará-los.

Adicionalmente, Kassai (2002) propõe uma avaliação das formas de análise contábil, onde diferentes métodos conferem diferentes graus de julgamento humano, conforme apresenta a Figura 15.

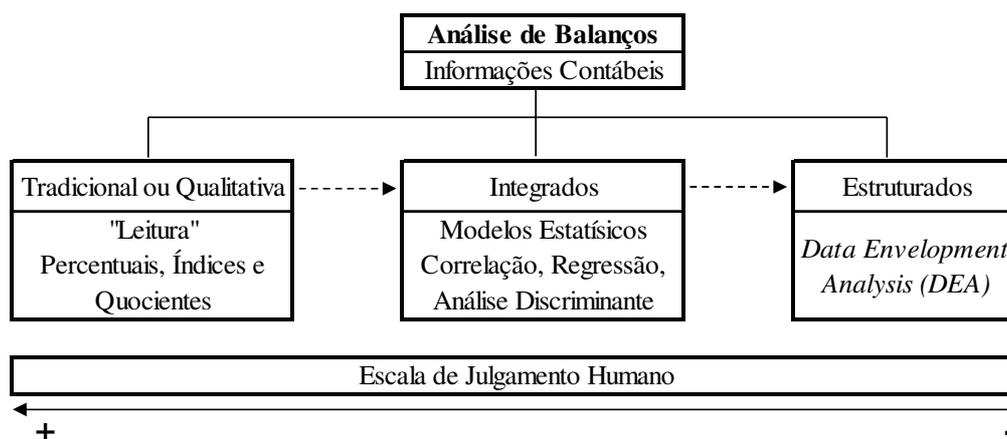


Figura 15 – Evolução da avaliação de desempenho pela análise de balanços  
Fonte: Adaptação de Kassai (2002)

A proposta de Kassai (2002) é a adoção de métodos de avaliação de desempenho com o menor grau de escala de julgamento humano possível, que a autora defende ser a Análise por Envoltória de Dados (DEA). A autora relaciona, dentre outras, as seguintes deficiências dos indicadores contábeis tradicionais: assumem que o relacionamento entre as variáveis é linear, não possuem um tratamento consensual para os chamados *outliers* (comportamentos não usuais), seus numeradores e denominadores podem assumir valores negativos e finalmente para gestores há dificuldade na seleção de indicadores de forma imparcial.

Com base na revisão da bibliografia relacionada ao tema ora estudado, em seguida apresenta-se o método de pesquisa deste trabalho.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo é de natureza aplicada, pois possui aplicação prática na gestão dos custos em uma empresa do setor elétrico brasileiro. Pode ser classificado como pesquisa exploratória em função de seu objetivo, ao buscar identificar fatores que afetam a eficiência quanto à gestão de custos nesta empresa. Quanto à abordagem é uma pesquisa quantitativa desenvolvida pelo método de modelagem, uma vez que desenvolve um modelo matemático analítico com o intuito de apoiar gestores na tomada de decisões.

O trabalho de pesquisa consiste dos seguintes procedimentos técnicos: revisão bibliográfica, pesquisa documental e modelagem quantitativa. A revisão bibliográfica se baseia em livros, artigos, monografias, dissertações e teses que abordam os temas de Análise por Envoltória de Dados e contabilidade de custos, bem como o setor elétrico brasileiro. Concomitantemente é realizada pesquisa documental para identificar normas, legislação e regulamentação específicas do setor elétrico brasileiro, além de análise dos documentos da empresa estudada, obtidos através de correspondência eletrônica.

O método de pesquisa baseado em modelagem quantitativa, de acordo com Miguel *et al.* (2010) parte da premissa de que é possível explicar ao menos em parte o comportamento de processos reais através da construção de modelos. A Figura 16 ilustra o processo da metodologia de modelagem e suas etapas.

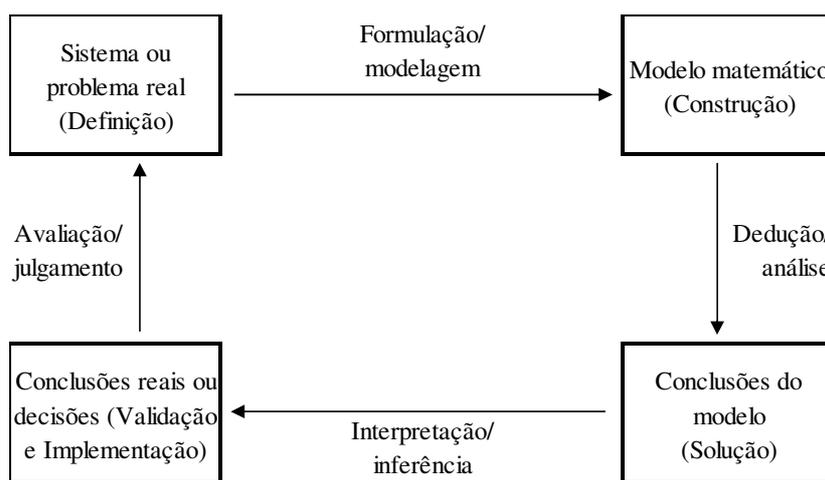


Figura 16 – Processo de modelagem e suas etapas

Fonte: adaptação de ARENALES *et al.* (2007) *apud* MIGUEL *et al.* (2010)

A modelagem matemática é composta pelas etapas de Definição do problema, Construção, Solução e Validação do modelo e Implementação da solução. Cada uma destas etapas se encaixa em um dos quadros do processo retratado pela Figura 16 onde, a partir de um

problema real, é formulado e resolvido um modelo matemático, que permite inferências à realidade, que podem validá-lo ou não. Destas inferências, cabe aos gestores avaliarem como implementar a solução proposta pelo modelo ao sistema real. (MIGUEL *et al.*, 2010)

A etapa de Definição do problema desta pesquisa consiste em pesquisar a relevância da gestão estratégica de custos para as empresas do setor elétrico e como esta gestão ocorre na empresa estudada (revisão bibliográfica e pesquisa documental), a fim de propor alternativas para sua apuração e gestão. O intuito do trabalho é responder ao seguinte problema: como realizar uma avaliação da eficiência considerando a gestão de custos das unidades internas de transmissão de uma grande empresa do setor elétrico brasileiro?

Para formular um modelo matemático, a etapa de Construção do modelo se baseia nos dados levantados na etapa anterior. Este trabalho propõe a avaliação da eficiência considerando a gestão de custos das unidades de transmissão da empresa, alocados pelo sistema ABC/ABM, com emprego da Análise por Envoltória de Dados (DEA) orientada ao insumo sem variação escalar (alternativas de apuração e gestão).

Em seguida, a etapa de Solução do modelo corresponde ao momento em que os dados obtidos são compilados e analisados, primeiramente para levantamento e definição das variáveis de decisão a serem adotadas no modelo DEA. Num segundo momento, com emprego da ferramenta Solver<sup>®</sup> para Excel<sup>®</sup> é realizada a análise de eficiência DEA dos custos das unidades transmissoras da empresa.

A etapa de Validação do modelo se baseia tanto na análise de seus resultados como na comparação do resultado da eficiência auferida pelo modelo a ao menos um indicador contábil tradicional. Por fim, a etapa de Implementação da solução traz uma relação de possíveis iniciativas gerenciais para redução de custos e aprimoramento da eficiência de suas unidades transmissoras.

Segundo Bertrand e Fransoo (2002), o método de modelagem é apropriado à pesquisa que busca estruturar modelos analíticos a fim de explicar, total ou parcialmente, o comportamento de um determinado processo operacional da vida real e/ou busca capturar, total ou parcialmente, os problemas de tomada de decisão enfrentados pelos gestores em processos operacionais reais

Além disso, o método de modelagem é apropriado quando as relações entre variáveis são assumidas como causais, ou seja, alterações em uma variável estudada “x” acarretam alterações em outra variável também estudada  $f(x)$ , conforme Jack *et al.* (1989). Assim esta pesquisa pode ser definida como modelagem quantitativa.

## **4. MODELO PROPOSTO**

Este trabalho propõe a aplicação de um modelo DEA na avaliação da eficiência das divisões de transmissão dentro de uma empresa. Para tanto, o trabalho se baseia nos modelos adotados pelos 10 (dez) autores relacionados no Quadros 2 (Autores que utilizaram DEA, seu foco e título dos trabalhos estudados) e 3 (Autores que utilizaram DEA com os insumos e produtos adotados) desta pesquisa. Porém, uma vez que tais autores comparam a eficiência na transmissão de energia entre diferentes empresas, e não divisões dentro de uma só empresa, alguns ajustes são necessários, como abordar dados de natureza econômica, em especial no que tange aos produtos considerados no modelo.

Conforme discorrido no método de pesquisa, as 05 (cinco) etapas da modelagem matemática são: Definição do problema, Construção, Solução e Validação do modelo e Implementação da solução.

### **4.1. Definição do problema**

Para que o modelo seja desenvolvido, é necessária a Definição do problema. Logo, é estabelecido nesta etapa o seguinte problema: como realizar uma avaliação da eficiência considerando a gestão de custos das unidades internas de transmissão de uma grande empresa do setor de energia elétrica brasileiro para fins de tomada de decisão estratégica?

### **4.2. Construção do modelo**

A partir do problema ora definido, é proposta a construção do modelo conforme descrito no Quadro 9.

<b>CONSTRUÇÃO DO MODELO</b>			
<b>Seleção da ferramenta de análise de eficiência a ser empregada</b>	<b>DEA</b>	<b>Seleção do modelo DEA a ser adotado</b>	<b>Sem variação escalar (CCR)</b>
		<b>Seleção da orientação do modelo DEA a ser adotado</b>	<b>Orientado ao insumo</b>
		<b>Consideração em relação às variáveis ambientais</b>	<b>Sem emprego de variáveis ambientais</b>
<b>Definição dos dados a serem levantados para construção do modelo</b>	<b>Dados conforme levantamento do emprego do DEA no setor elétrico (Quadros 2 e 3)</b>		
<b>Levantamento dos dados para construção do modelo</b>	<b>Comunicação eletrônica com a empresa</b>		
<b>Análise dos dados levantados para construção do modelo</b>	<b>Comparação entre os dados disponibilizados</b>		
<b>Definição das variáveis do modelo</b>	<b>Variáveis de decisão definidas através da comparação entre os dados disponibilizados</b>		
<b>Definição do software a ser empregado na solução do modelo proposto</b>	<b>Emprego da ferramenta Solver para Excel para solução do modelo</b>		

Quadro 9 – Construção do modelo matemático

Como base para a análise, foi definido inicialmente o período de (05) cinco anos, de 2010 a 2014, com base anual. Por exemplo, se os dados de cada ano de cada unidade transmissora devem corresponder a uma unidade de decisão (DMU) diferente, no caso de existirem 03 (três) unidades transmissoras haveriam, portanto, 15 (quinze) DMUs.

A escolha da ferramenta DEA foi feita com base no seu emprego no setor, conforme o levantamento bibliográfico. A presente pesquisa utiliza o modelo DEA orientado ao insumo sem variação da escala, como faz a ANEEL, posto que a empresa tem maior grau de influência sobre seus insumos do que sobre seus produtos e que a variação escalar pode resultar em eficiência equívoca de uma unidade de porte distinto das demais.

No entanto, as variáveis não discricionárias adotadas pela ANEEL não são empregadas neste trabalho, uma vez que o nível de tensão das linhas de transmissão, a dispersão da rede de atendimento e a remuneração média do trabalho dentro de uma mesma empresa não apresentam variação significativa a ponto de incorporarem a análise.

Algumas variáveis de ênfase técnica que aparecem com frequência entre os autores estudados, como dados sobre módulos ou transformadores e extensão da rede, embora levantadas junto à empresa não estão incluídas no modelo pois a questão técnica não é o foco do trabalho. Vale ressaltar que as concessões de transmissão possibilitam remuneração ao fim do período de concessão para a capacidade ociosa, além do método de cálculo da RAP favorecer investimentos em instalações.

Por seu enfoque financeiro, este trabalho propõe a adoção de ao menos um produto de natureza econômica. O produto de natureza econômica proposto neste trabalho é a receita bruta de cada unidade, conforme solicitada à empresa (Tabela 4). Não foi adotado o lucro pois a empresa obteve resultados negativos no período.

Com base nas variáveis adotadas pelos autores, relacionadas no Quadro 3 (Autores que utilizaram DEA com os insumos e produtos adotados), através de comunicação oficial eletrônica com o gerente de gestão de custos e controle orçamentário da empresa, foram solicitados os dados listados na Tabela 4, para cada uma das unidades transmissoras, dos anos de 2010, 2011, 2012, 2013 e 2014.

<b>Dados solicitados à empresa</b>	
1	PMSO (Pessoal, Material, Serviços de terceiros e Outras despesas)
2	Número de funcionários
3	OPEX ( <i>Operational Expenses</i> ) - Custos operacionais
4	Custos indiretos rateados (ABC/ABM)
5	Ativo total
6	Extensão da rede de transmissão
7	Capacidade de transformação (MVA)
8	Quantidade de trafos (transformadores)
9	Quantidade de módulos
10	Número de clientes/consumidores
11	Receita bruta total
12	Transmissão de energia total realizada (MWh)
13	Nível de tensão das linhas de transmissão
14	Dispersão da rede de transmissão (área)

Tabela 4 – Dados solicitados à empresa

Dos itens relacionados na Tabela 4 foram devidamente levantados e transmitidos pela empresa à pesquisadora os seguintes dados: 1 (PMSO), 2 (Número de funcionários), 3 (OPEX), 6 (Extensão da rede de transmissão), 7 (Capacidade de transformação), 8 (Quantidade de trafos) e 11 (Receita bruta total).

A empresa encontra-se no processo de desenvolvimento e possível implementação de um sistema de custeio ABC/ABM, de modo que não possui no momento os dados de custos indiretos conforme solicitado (item 4). Adicionalmente, de acordo com o funcionário contatado, as unidades transmissoras não possuem clientes diretos (item 10) por prestarem serviço de disponibilização da infraestrutura de transmissão.

Já o ativo total (item 5) não pôde ser apresentado pois seus valores não estão segregados por unidade transmissora. E os dados de transmissão de energia total realizada (item 12) foram considerados irrelevantes pela empresa, uma vez que o faturamento se baseia na disponibilidade da infraestrutura e não na energia de fato transmitida. Não foram apresentadas justificativas para os demais itens não disponibilizados.

Pelos dados fornecidos foi possível identificar 09 (nove) unidades transmissoras dentro da empresa, independentes e passíveis de análise no modelo matemático proposto. No entanto, uma delas encontra-se em início da operação, sem quaisquer dados antes do ano de 2014. Deste

modo, as unidades de transmissão aptas para análise neste trabalho são as 08 (oito) unidades transmissoras da empresa com operação regular nos anos de 2010 a 2014.

Com relação ao período de 05 (cinco) anos abordado, verificou-se que os dados financeiros dos anos 2013 e 2014, em particular a receita bruta total, diferem drasticamente dos anos anteriores, em função de alterações ocorridas no ano de 2012. A razão para esta diferença é primordialmente a entrada em vigor da Lei nº 12.783/2013, que implementou redução das tarifas verificadas nos empreendimentos renovados além de aplicar ajustes sobre a dinâmica de operação, manutenção e expansão do Setor Elétrico Brasileiro.

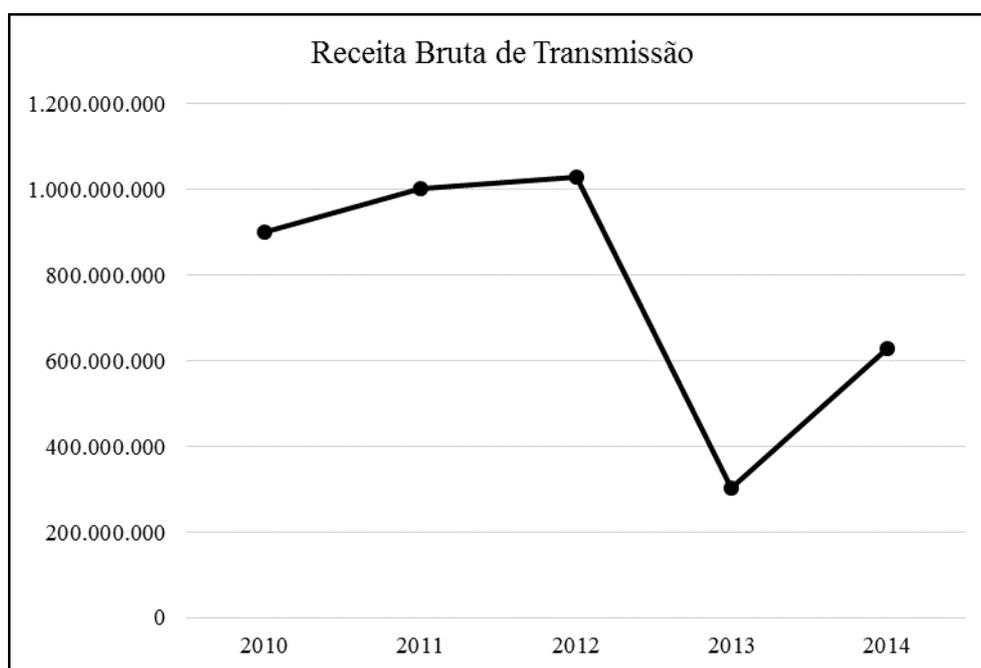


Figura 17 – Evolução da receita bruta de transmissão entre 2010 e 2014

A Figura 17 mostra que o impacto deste cenário na empresa estudada pode ser observado pela queda de cerca de 70% das Receitas Brutas entre os anos de 2012 e 2013. Além disso, para se adaptar ao novo cenário, a empresa implementou no ano de 2013 forte contingenciamento do orçamento de materiais, serviços e outras despesas, com a meta futura de reduzir o custeio e aumentar a receita operacional líquida, em função da entrada de empreendimentos em construção.

Tal iniciativa incluiu ainda um plano de incentivo ao desligamento dos empregados que resultou em queda mais acentuada no número de funcionários tanto em 2013 quanto em 2014, conforme visto na Figura 18.

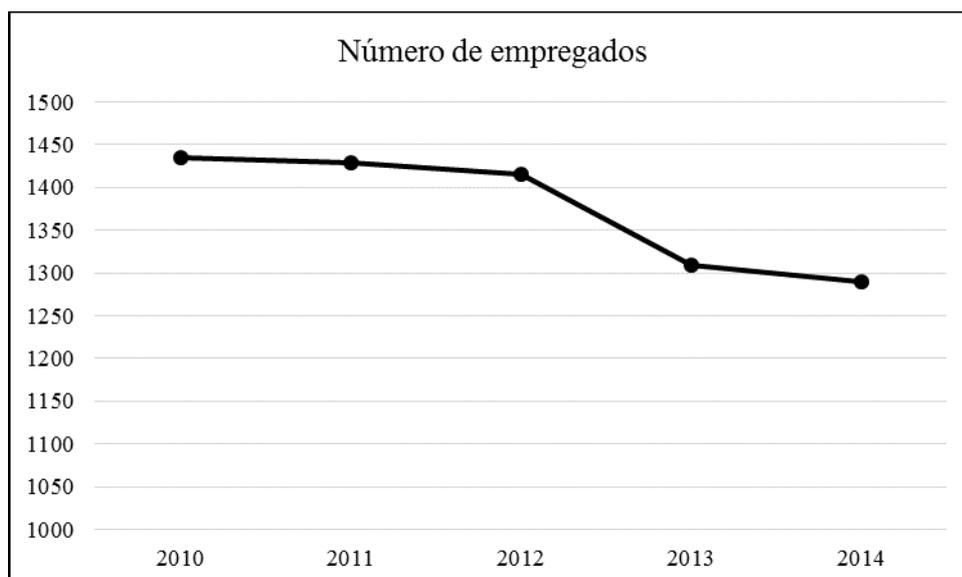


Figura 18 – Evolução do número de empregados de transmissão no período de 2010 a 2014

Para se realizar uma comparação ano a ano destas unidades transmissoras para fins de tomada de decisão deve-se utilizar períodos mais atuais e se faz necessário adotar períodos cujo cenário seja semelhante. Desta forma, apenas os anos de 2013 e 2014 serão incluídos nesta análise DEA.

DMUs	Unidade de transmissão	Período
1	A13	2013
2	A14	2014
3	B13	2013
4	B14	2014
5	C13	2013
6	C14	2014
7	D13	2013
8	D14	2014
9	E13	2013
10	E14	2014
11	F13	2013
12	F14	2014
13	G13	2013
14	G14	2014
15	H13	2013
16	H14	2014

Tabela 5 – Relação de DMUs do modelo proposto

Assim, a Tabela 5 apresenta a relação das DMUs selecionadas para o modelo, que correspondem a (02) dois anos (“13” para 2013 e “14” para 2014) para cada uma das (08) oito unidades transmissoras selecionadas, identificadas pelas letras de “A” a “G”, resultando em 16 DMUs.

Banker *et al.* (1978) recomenda que o número de DMUs seja igual a três vezes a soma total do número de variáveis, a fim de que o modelo proporcione uma discriminação confiável entre as DMUs. Posto que neste modelo tem-se 16 DMUs disponível, é possível adotar até 05 (cinco) variáveis de decisão.

Conforme já descrito, dos dados solicitados foram obtidos os itens 1 - PMSO, 2 - Número de funcionários, 3 - OPEX, 6 - Extensão da rede de transmissão, 7 - Capacidade de transformação, 8 - Quantidade de transformadores e 11 - Receita bruta total (Tabela 4). Dentre estes, foram desconsiderados os itens de enfoque exclusivamente técnico a fim de priorizar o enfoque financeiro. Desta forma, o modelo não inclui a extensão da rede (considerada variável não discricionária no modelo da ANEEL) e a quantidade de transformadores.

Logo, restam 05 (cinco) itens passíveis de adoção como variáveis de decisão do modelo proposto. No entanto, antes de decidir por adotar todos estes itens, é importante verificar seu grau de correlação, em especial dentre os possíveis insumos: PMSO, OPEX e Número de funcionários. Os Custos Operacionais (OPEX) englobam os gastos de Pessoas, Materiais, Serviços e Outros (PMSO), sendo que estes gastos são diretamente influenciados pelo Número de funcionários.

A Figura 19 mostra a comparação destes itens no ano de 2014 para cada uma das 08 (oito) unidades transmissoras. É possível verificar a forte correlação dos dados de PMSO e OPEX (99,13%). Embora também bastante correlato (cerca de 89% com relação aos demais), o comportamento do item Número de Funcionários mostra que ele não é a única influência no comportamento do OPEX e do PMSO.

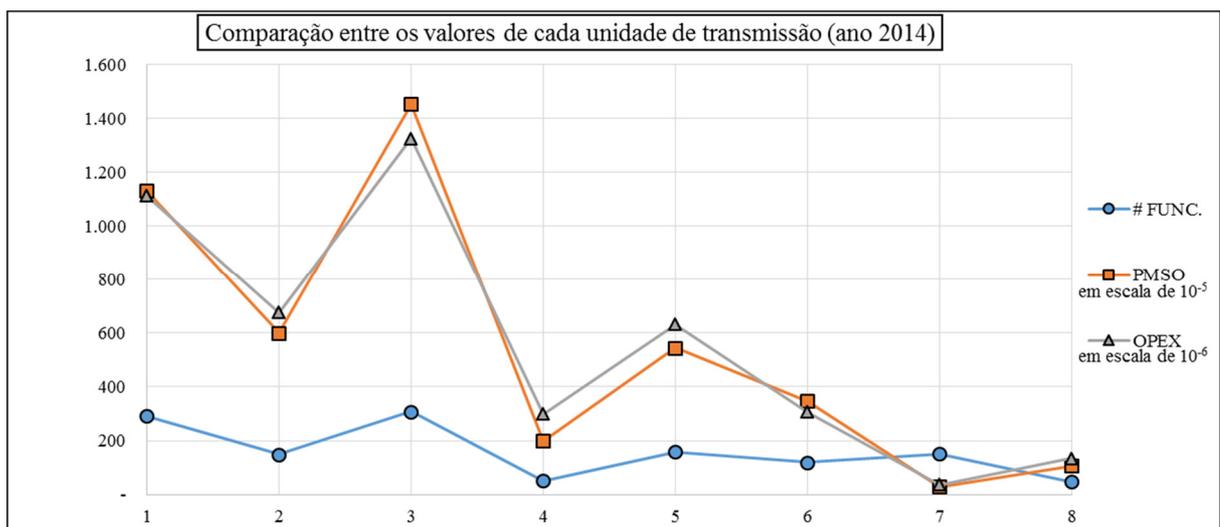


Figura 19 – Comparação entre os valores de PMSO e OPEX (em dezenas de reais) de cada unidade de transmissão no ano de 2014.

Portanto, os insumos PMSO e Número de Funcionários são adotados neste modelo proposto e o insumo custos operacionais (*Operational Expenses - OPEX*) é desconsiderado, a fim de evitar redundância. A escolha do PMSO ao invés do OPEX se explica pelo enfoque gerencial dos custos no modelo. O OPEX corresponde ao valor global reportado, enquanto o PMSO é uma medida interna que se estende ao nível dos centros de custo. Desta forma, os valores de PMSO não apenas refletem com maior clareza o impacto de diferentes tipos de rateio de custos indiretos como também o fazem ao nível dos centros de custo, o que permite direcionar as medidas gerenciais diretamente a estes centros.

Na etapa de Validação e Implementação da solução é discutido a forma como diferentes métodos de custeio podem afetar diretamente o PMSO auferido pela empresa e, portanto, os dados empregados nas análises para tomada de decisão.

Os produtos adotados neste modelo, considerando o emprego destes insumos, serão os 02 (dois) itens restantes, a Capacidade de transformação (MVA) e Receita bruta de cada unidade transmissora, uma vez que representam as saídas do modelo. A capacidade de transformação visa representar a clientela das unidades de transmissão, uma vez que estas não possuem clientes definidos, transmitem diretamente ao SIN (Sistema Interligado Nacional), de modo que sua capacidade instalada representa todo seu potencial de atendimento. A opção pela receita bruta no lugar do lucro (resultado financeiro) se dá pelo fato de que o modelo DEA adotado demanda valores positivos para as variáveis de decisão e a empresa tem acumulado prejuízos desde o ano de 2013.

Assim, as variáveis de decisão a serem adotadas pelo modelo proposto são conforme apresenta o Quadro 10.

<b>Insumos</b>	<b>Produtos</b>
PMSO	Receita bruta
Número de funcionários	Capacidade de transformação (MVA)

Quadro 10 – Variáveis de decisão do modelo proposto

É importante colocar que caso o item 5 – Ativo Total estivesse disponível, ele seria selecionado no modelo como uma das variáveis de decisão (insumo), por seu enfoque financeiro, permitindo a realização de análises mais completas neste sentido.

Deve-se ainda ressaltar que o modelo proposto atende aos seguintes critérios de Cooper *et al.* (2002) para as variáveis de entrada e de saída para cada DMU:

- As variáveis e DMUs devem ser escolhidas de modo a representarem o interesse dos gestores => os insumos selecionados são itens sobre os quais a gerência possui controle autonomia de decisão.

- Há dados numéricos positivos para as variáveis de entrada e de saída, sendo que se deve preferir um uso menor do número de variáveis de entradas comparado ao número das variáveis de saídas => os dados numéricos das variáveis selecionadas são positivos para todas DMUs e o número de variáveis de entrada é igual ao de variáveis de saída.
- É recomendada a aplicação dos modelos clássicos CCR e BCC quando o número de DMUs é igual ou maior a três vezes a soma do número de variáveis de entrada e de saída, sendo que quando o terceiro critério não é satisfeito, os modelos clássicos de DEA não proporcionam uma boa discriminação das DMUs quanto à eficiência. => são 16 DMUs, quatro vezes a soma da quantidade de variáveis de decisão.

Finalmente, para a construção e posterior solução do modelo proposto, tem-se as DMUs, as variáveis e seus respectivos dados, descaracterizados, conforme apresentados na Tabela 6. Vale ressaltar que os dados fornecidos pela empresa foram auferidos pelo método de custeio por absorção uma vez que os dados do sistema de custeio ABC/ABM para o período analisado não foram disponibilizados. Assim, os resultados encontrados pela aplicação do modelo nos dados do modelo ABC/ABM podem diferir dos resultados obtidos neste trabalho.

DMUs	unidades	PMSO	Funcionários	Receita	MVA
		insumo 1	insumo 2	produto 1	produto 2
1	A13	5,92	9,17	0,88	1,47
2	A14	4,86	9,09	4,87	1,47
3	B13	17,27	12,22	13,46	2,38
4	B14	20,47	11,54	15,52	2,38
5	C13	20,01	23,76	20,25	26,45
6	C14	20,37	23,53	28,27	28,72
7	D13	9,82	12,45	7,47	7,77
8	D14	8,42	11,46	10,30	7,77
9	E13	8,37	11,99	4,90	5,76
10	E14	8,41	12,07	22,32	5,95
11	F13	21,07	22,84	23,94	54,21
12	F14	15,87	22,31	31,71	55,15
13	G13	13,71	3,67	24,48	0,64
14	G14	15,03	3,67	27,24	0,64
15	H13	3,84	3,90	4,62	1,33
16	H14	2,79	3,90	4,72	1,33

Tabela 6 – Dados descaracterizados das variáveis de decisão do modelo proposto para cada DMU

Os dados da Tabela 6 encontram-se em escalas percentuais dos valores originalmente apresentados pela empresa, como forma de descaracterização por questões de confidencialidade.

As Equações 7 a 25 (baseadas nas Equações 1 a 4) apresentam o modelo matemático ora proposto para uma certa DMU “k”, onde as 16 DMUs produzem cada uma sua respectiva quantidade dos produtos “ $y_1$ ” e “ $y_2$ ” a partir do seu consumo dos insumos “ $x_1$ ” e “ $x_2$ ”.

$$\text{Mazimizar } \theta = u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k} \quad (7)$$

*Sujeito a:*

$$(u_1 y_{11} + u_2 y_{21}) - (v_1 x_{11} + v_2 x_{21}) \leq 0 \quad (8)$$

$$(u_1 y_{12} + u_2 y_{22}) - (v_1 x_{12} + v_2 x_{22}) \leq 0 \quad (9)$$

$$(u_1 y_{13} + u_2 y_{23}) - (v_1 x_{13} + v_2 x_{23}) \leq 0 \quad (10)$$

$$(u_1 y_{14} + u_2 y_{24}) - (v_1 x_{14} + v_2 x_{24}) \leq 0 \quad (11)$$

$$(u_1 y_{15} + u_2 y_{25}) - (v_1 x_{15} + v_2 x_{25}) \leq 0 \quad (12)$$

$$(u_1 y_{16} + u_2 y_{26}) - (v_1 x_{16} + v_2 x_{26}) \leq 0 \quad (13)$$

$$(u_1 y_{17} + u_2 y_{27}) - (v_1 x_{17} + v_2 x_{27}) \leq 0 \quad (14)$$

$$(u_1 y_{18} + u_2 y_{28}) - (v_1 x_{18} + v_2 x_{28}) \leq 0 \quad (15)$$

$$(u_1 y_{19} + u_2 y_{29}) - (v_1 x_{19} + v_2 x_{29}) \leq 0 \quad (16)$$

$$(u_1 y_{110} + u_2 y_{210}) - (v_1 x_{110} + v_2 x_{210}) \leq 0 \quad (17)$$

$$(u_1 y_{111} + u_2 y_{211}) - (v_1 x_{111} + v_2 x_{211}) \leq 0 \quad (18)$$

$$(u_1 y_{112} + u_2 y_{212}) - (v_1 x_{112} + v_2 x_{212}) \leq 0 \quad (19)$$

$$(u_1 y_{113} + u_2 y_{213}) - (v_1 x_{113} + v_2 x_{213}) \leq 0 \quad (20)$$

$$(u_1 y_{114} + u_2 y_{214}) - (v_1 x_{114} + v_2 x_{214}) \leq 0 \quad (21)$$

$$(u_1 y_{115} + u_2 y_{215}) - (v_1 x_{115} + v_2 x_{215}) \leq 0 \quad (22)$$

$$(u_1 y_{116} + u_2 y_{216}) - (v_1 x_{116} + v_2 x_{216}) \leq 0 \quad (23)$$

$$v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} = 1 \quad (24)$$

$$u_1, u_2, v_1, v_2 \geq 0 \quad (25)$$

*Onde:*

$x_1 = PMSO$ ;  $x_2 = \text{Funcionários}$ ;  $y_1 = \text{Receita}$ ;  $y_2 = \text{MVA}$

$u_1 = \text{peso de } x_1$ ;  $u_2 = \text{peso de } x_2$ ;  $u_1 = \text{peso de } y_1$ ;  $u_2 = \text{peso de } y_2$

$k = \text{DMU em análise}$

Na formulação linear representada pelas Equações 7 a 25, “ $\theta$ ” representa a eficiência orientada ao insumo da DMU “ $k$ ”, que produz “ $y_{1k}$ ” e “ $y_{2k}$ ” quantidades de produtos com consumo de “ $x_{1k}$ ” “ $x_{2k}$ ” quantidades de insumo. Esta formulação é orientada ao insumo sem variação escalar e seu objetivo é encontrar o máximo indicador de eficiência onde “ $u_1$ ” e “ $u_2$ ” são os pesos específicos a serem encontrados para cada um dos produtos enquanto “ $v_1$ ” e “ $v_2$ ” são os pesos específicos para cada um dos insumos. Esta formulação deve ser realizada para cada uma das 16 DMUs do modelo a fim de apurar seus pesos e eficiências.

Em seguida são apresentados os resultados deste trabalho, que consistem das etapas de Solução e Validação do modelo, além de discorrer sobre a etapa de Implementação da solução.

## 5. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das análises dos dados coletados junto à empresa, conforme o modelo matemático desenvolvido, bem como uma comparação destes resultados à uma análise contábil tradicional.

### 5.1. Solução do modelo

A Tabela 7 apresenta a construção do modelo em Excel<sup>®</sup> para os dados de cada variável de decisão de cada DMU estudada, conforme informações fornecidas pela empresa para os anos de 2013 e 2014. Importante ressaltar que os dados foram descaracterizados por questões de confidencialidade e encontram-se em unidades percentuais. As DMUs relacionadas nesta tabela estão de acordo com a numeração apresentada na Tabela 5.

DMUs	PMSO	Funcionários	Receita	MVA	Equação
	insumo 1 (x1)	insumo 2 (x2)	produto 1 (y1)	produto 2 (y2)	
1	5,92	9,17	0,88	1,47	-0,926662
2	4,86	9,09	4,87	1,47	-0,508313
3	17,27	12,22	13,46	2,38	-2,075158
4	20,47	11,54	15,52	2,38	-2,492872
5	20,01	23,76	20,25	26,45	-1,790802
6	20,37	23,53	28,27	28,72	-1,339111
7	9,82	12,45	7,47	7,77	-1,100710
8	8,42	11,46	10,30	7,77	-0,695136
9	8,37	11,99	4,90	5,76	-1,037364
10	8,41	12,07	22,32	5,95	0,000000
11	21,07	22,84	23,94	54,21	-1,356554
12	15,87	22,31	31,71	55,15	0,000000
13	13,71	3,67	24,48	0,64	-0,839887
14	15,03	3,67	27,24	0,64	-0,896678
15	3,84	3,90	4,62	1,33	-0,353264
16	2,79	3,90	4,72	1,33	-0,170364
<b>Insumo</b>					<b>1,000000</b>

hk (θ)	v1	v2	u1	u2
0,0733378	0,1688325	0	0,0598826	0,0141459

Tabela 7 – Construção do modelo em Excel<sup>®</sup> para as variáveis de decisão de cada DMU estudada anteriormente à solução pela ferramenta Solver<sup>®</sup>.

Com base nestes dados foi implantado o modelo DEA com orientação ao insumo, sem retorno de escalas, de modo que se obteve os resultados relacionados na Tabela 8. A Figura 20 apresenta o cálculo realizado no Excel® com emprego da ferramenta Solver® para a DMU 1.

The image shows a screenshot of Microsoft Excel with the Solver Parameters dialog box open. The spreadsheet data is as follows:

DMUs	insumo 1 (x1)	insumo 2 (x2)	produto 1 (y1)	produto 2 (y2)	Equação
1	5,92	9,17	0,88	1,47	-0,926662
2	4,86	9,09	4,87	1,47	-0,508313
3	17,27	12,22	13,46	2,38	-2,075158
4	20,47	11,54	15,52	2,38	-2,492872
5	20,01	23,76	20,25	26,45	-1,790802
6	20,37	23,53	28,27	28,72	-1,339111
7	9,82	12,45	7,47	7,77	-1,100710
8	8,42	11,46	10,30	7,77	-0,695136
9	8,37	11,99	4,90	5,76	-1,037364
10	8,41	12,07	22,32	5,95	0,000000
11	21,07	22,84	23,94	54,21	-1,336354
12	15,87	22,31	31,71	55,15	0,000000
13	13,71	3,67	24,48	0,64	-0,839887
14	15,03	3,67	27,24	0,64	-0,896678
15	3,84	3,90	4,62	1,33	-0,33264
16	2,79	3,90	4,72	1,33	-0,170364
<b>Insumo</b>					<b>1,000000</b>

hk (θ)	v1	v2	u1	u2
0,0733378	0,1688325	0	0,0598826	0,0141459

Metas DMU 1 - Orientado ao insumo sem variação escalar	
Preço Sombra	0,1839% 2,6401%
DMU	PMSO    Funcionários    Receita    MVA
10	8,41    12,07    22,32    5,95
12	15,87    22,31    31,71    55,15

The Solver Parameters dialog box is configured as follows:

- Definir Objetivo: \$A\$22
- Para:  Máx.  Mín.  Valor de: 0
- Alterando Células Variáveis: \$B\$22:\$E\$22
- Sujeito às Restrições:
  - \$G\$19 = 1
  - \$G\$18 <= 0
- Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas
- Selecionar um Método de: LP Simplex
- Método de Solução: Seleccione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Seleccione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Seleccione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Figura 20 –Cálculos realizados no Excel® com emprego da ferramenta Solver® para a DMU 1.

Conforme apresentado na Figura 20, para cada DMU foram relacionados seus insumos e produtos, a fim de calcular os valores da coluna “Equação”. Nesta coluna, para cada DMU, a soma dos produtos de cada insumo “x” por seu peso “v” foi subtraída da soma dos produtos de cada produto “y” por seu peso “u”. A linha “Insumo” corresponde apenas à soma dos produtos de cada insumo “x” por seu peso “v” para a DMU em análise, neste caso, a DMU 1. Neste modelo orientado ao insumo, a eficiência “hk (θ)” corresponde à soma dos produtos de cada produto “y” por seu peso “u” para a DMU analisada, ou seja, a DMU 1.

Assim, é possível o cálculo da eficiência com uso da ferramenta Solver®, seguindo as Equações 1 a 4 apresentadas anteriormente neste trabalho. Primeiramente, conforme a Equação 1, o objetivo é maximizar “hk (θ)”, que na planilha Excel® mostrada na Figura 21 corresponde à célula “A22”. As células variáveis do modelo são os diversos pesos a serem atribuídos a cada insumo e produto, ou seja, “v1”, “v2”, “u1” e “u2”, que correspondem respectivamente às células “B22”, “C22”, “D22” e “E22” na planilha Excel® da Figura 20.

**Microsoft Excel 15.0 Relatório de Sensibilidade**  
**Planilha: [CCR 2013-2014.xlsx]DMU 1**

Células Variáveis

Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$B\$22	v1	0,16883253	0	0	1E+30	0,0395272
\$C\$22	v2	0	-0,0611778	0	0,0611778	1E+30
\$D\$22	u1	0,05988257	0	0,8781423	4,624162	0,0347466
\$E\$22	u2	0,01414594	0	1,4670235	0,060439	1,2328933

Restrições

Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$G\$19	Insumo Equação	1	0,07333785	1	1E+30	1
\$G\$3	Equação	-0,9266622	0	0	1E+30	0,9266622
\$G\$4	Equação	-0,5083125	0	0	1E+30	0,5083125
\$G\$5	Equação	-2,0751584	0	0	1E+30	2,0751584
\$G\$6	Equação	-2,4928721	0	0	1E+30	2,4928721
\$G\$7	Equação	-1,790802	0	0	1E+30	1,790802
\$G\$8	Equação	-1,3391108	0	0	1E+30	1,3391108
\$G\$9	Equação	-1,1007096	0	0	1E+30	1,1007096
\$G\$10	Equação	-0,6951356	0	0	1E+30	0,6951356
\$G\$11	Equação	-1,0373641	0	0	1E+30	1,0373641
\$G\$12	Equação	0	0,00183887	0	0,4649407	1,1315155
\$G\$13	Equação	-1,3565538	0	0	1E+30	1,3565538
\$G\$14	Equação	0	0,02640131	0	1,324581	0,6605898
\$G\$15	Equação	-0,8398875	0	0	1E+30	0,8398875
\$G\$16	Equação	-0,8966781	0	0	1E+30	0,8966781
\$G\$17	Equação	-0,353264	0	0	1E+30	0,353264
\$G\$18	Equação	-0,1703645	0	0	1E+30	0,1703645

Figura 21 – Relatório de sensibilidade para a DMU 1.

A Equação 3 estipula que no modelo orientado ao insumo a soma dos produtos de cada insumo por seu respectivo peso deve ser igual a um, o que é atendido pela primeira restrição, onde o item “Insumo” (correspondente à célula G19) é igualado a um. De acordo com a Equação 2, o resultado dos cálculos obtidos para cada DMU na coluna “Equações” na Figura 20 deve ser menor ou igual a zero, preceito satisfeito pela segunda restrição, que condiciona os valores desta coluna como menores os iguais a zero. Por fim a Equação 4, que estabelece que os pesos atribuídos não podem ser menores que zero, é atendida pela opção “Tornar Variáveis Irrestritas

Não Negativas”. O DEA é uma ferramenta de programação linear, de modo que o método de solução no Solver<sup>®</sup> deva ser o LP Simplex.

Os valores encontrados para a eficiência “ $hk(\theta)$ ” e para os pesos “ $v1$ ”, “ $v2$ ”, “ $u1$ ” e “ $u2$ ” da DMU 1 estão relacionados na última linha da Tabela 8. Da mesma forma apresentada acima, foram obtidos os demais valores para todas as outras 15 (quinze) DMUs, conforme apresentados na Tabela 8.

Posição	DMUs	$hk$	$v1$	$v2$	$u1$	$u2$
1o	10	1,0000000000	0,1188526403	-	0,0448104707	-
2o	12	1,0000000000	0,0630237703	-	-	0,0181317427
3o	14	1,0000000000	0,0602336996	0,0258844617	0,0367098974	-
4o	13	0,9760543376	0,0654120590	0,0281097782	0,0398658889	-
5o	11	0,9598652662	-	0,0437792642	-	0,0177072537
6o	6	0,6622242100	0,0308102445	0,0158331800	0,0190255033	0,0043301923
7o	16	0,6465885026	0,2084703164	0,1071315111	0,1287316200	0,0292992338
8o	8	0,5208049635	0,0698771606	0,0359094088	0,0431495488	0,0098208095
9o	15	0,5201116873	0,1710938351	0,0879239855	0,1056514277	0,0240461969
10o	5	0,5035760599	0,0310409257	0,0159517256	0,0191679502	0,0043626131
11o	2	0,3808157208	0,2056578303	-	0,0729439994	0,0172314167
12o	4	0,3756764738	0,0378836566	0,0194681595	0,0233933759	0,0053243173
13o	3	0,3672239434	0,0424692039	0,0218246419	0,0262249778	0,0059687881
14o	7	0,3516017795	0,0616611285	0,0316872444	0,0380761017	0,0086660962
15o	9	0,2655414396	0,1195342104	-	0,0423971378	0,0100153920
16o	1	0,0733378476	0,1688325292	-	0,0598825724	0,0141459416

Tabela 8 – Eficiências e pesos atribuídos pelo modelo DEA às DMUs estudadas.

Na Tabela 8 a coluna  $hk(\theta)$  corresponde às eficiências encontradas para cada DMU, e as DMUs estão apresentadas em ordem decrescente de eficiência. As colunas  $v1$  e  $v2$  correspondem aos pesos atribuídos pelo modelo aos insumos 1 (PMSO) e 2 (Número de funcionários), respectivamente. Logo, as colunas  $u1$  e  $u2$  são respectivamente os pesos atribuídos aos produtos 1 (Receita bruta) e 2 (MVA) para se obter a equação “virtual” de eficiência (soma ponderada dos produtos sobre soma ponderada dos insumos).

Isto é, os pesos  $v1$ ,  $v2$ ,  $u1$  e  $u2$  atuam respectivamente como multiplicadores de ponderação da quantidade de insumos  $x1$  e  $x2$  e de produtos  $y1$  e  $y2$ . Estes pesos são auferidos pela ferramenta Solver<sup>®</sup> a fim de maximizar a eficiência da unidade em análise perante as demais, sem ignorar completamente qualquer um dos insumos e produtos e ainda sem deixar de atender as restrições do modelo.

Por exemplo, no caso da DMU 10, a soma ponderada dos seus produtos ( $y1u1 + y2u2$ ) tem resultado 1. Da mesma forma, a soma ponderada dos seus insumos ( $x1v1 + x2v2$ ) tem resultado 1. Logo, o resultado da equação “virtual” de eficiência (produto/insumo) para a DMU 10 resultará em 1. Porém, ao aplicar-se os pesos auferidos para a DMU 10 nas demais DMUs,

observa-se que nenhuma delas é eficiente. De fato, para tais pesos, apenas a DMU 10 é considerada eficiente. Ressalta-se que DMUs eficientes apresentam eficiência 1 mesmo quando adotados os pesos obtidos pelo modelo para as demais DMUs.

Os pesos dos insumos e produtos ( $u_1$  e  $u_2$ ), caso o modelo lhes atribua valores nulos, fazem com que seus referidos insumos e/ou produtos não sejam ponderados na equação “virtual” de eficiência. No entanto, tais pesos nulos não determinam que os insumos e/ou produtos em questão não sejam relevantes para a análise. São apenas uma parte dos cálculos realizados pelo modelo a fim de projetar a eficiência das DMUs analisadas.

Assim, em uma análise inicial, as DMUs 10, 12 e 14 (unidades transmissoras E, F e G no ano de 2014, respectivamente) são CCR-eficientes, ou seja, possuem eficiência igual a 1 pelo cálculo do modelo. Em outras palavras, estas unidades, para o grupo analisado e os dados adotados, são consideradas eficientes e, portanto, tidas como referência para as demais unidades transmissoras. Esta referência é explanada a seguir. Nota-se, uma vez que as DMUs ímpares correspondem ao ano de 2013 e que as DMUs pares correspondem às mesmas unidades transmissoras no ano de 2014, que todas as unidades transmissoras apresentaram melhor eficiência no ano de 2014 que em 2013. É possível que este resultado esteja relacionado aos efeitos da Lei nº 12.783/2013 sobre o desempenho da empresa neste ano.

No caso da DMU 1 tem-se uma eficiência de cerca de 7%, sendo a menor dentre seus pares. Vale ressaltar que a DMU 1 corresponde aos dados do ano de 2013 para a unidade transmissora A. Os dados desta mesma unidade A, no ano de 2014, correspondem à DMU 2, cuja eficiência auferida pelo modelo é de cerca de 38%. Com base nestas informações, o próximo passo é definir as iniciativas necessárias para que esta unidade transmissora se torne mais eficiente.

Estas iniciativas devem se basear nos dados obtidos através do relatório de Sensibilidade para as DMUs 1 e 2 (Figuras 21 e 22, respectivamente). Importante lembrar que o relatório de sensibilidade fornece o preço sombra para as restrições (Equações 2 a 4). O preço sombra de uma restrição representa em quanto a alteração de uma unidade desta restrição afeta o resultado da solução ótima. Ou seja, ao projetar-se os preços sombra de cada restrição na DMU sob análise, obter-se-ão as metas para esta determinada DMU. Nas Figuras 21 e 22 é possível verificar, na coluna “Sombra Preço”, tanto a eficiência da respectiva DMU como o preço sombra calculado.

**Microsoft Excel 15.0 Relatório de Sensibilidade**  
**Planilha: [CCR 2013-2014.xlsx]DMU 2**

Células Variáveis

Célula	Nome	Final Valor	Reduzido Custo	Objetivo Coeficiente	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$B\$22	v1	0,20565783	0	0	1E+30	0,4317356
\$C\$22	v2	0	-0,80718	0	0,80718	1E+30
\$D\$22	u1	0,072944	0	4,8741066	0,6281977	4,0307109
\$E\$22	u2	0,01723142	0	1,4670235	7,0111185	0,16749

Restrições

Célula	Nome	Final Valor	Sombra Preço	Restrição Lateral R.H.	Permitido Aumentar	Permitido Reduzir
\$G\$19	Insumo Equação	1	0,38081572	1	1E+30	1
\$G\$3	Equação	-1,1287832	0	0	1E+30	1,1287832
\$G\$4	Equação	-0,6191843	0	0	1E+30	0,6191843
\$G\$5	Equação	-2,5277864	0	0	1E+30	2,5277864
\$G\$6	Equação	-3,0366107	0	0	1E+30	3,0366107
\$G\$7	Equação	-2,181407	0	0	1E+30	2,181407
\$G\$8	Equação	-1,6311941	0	0	1E+30	1,6311941
\$G\$9	Equação	-1,3407934	0	0	1E+30	1,3407934
\$G\$10	Equação	-0,8467568	0	0	1E+30	0,8467568
\$G\$11	Equação	-1,2636312	0	0	1E+30	1,2636312
\$G\$12	Equação	0	0,21331508	0	0,5663524	1,3783187
\$G\$13	Equação	-1,6524417	0	0	1E+30	1,6524417
\$G\$14	Equação	0	0,00358665	0	1,6134951	0,8046759
\$G\$15	Equação	-1,0230815	0	0	1E+30	1,0230815
\$G\$16	Equação	-1,0922592	0	0	1E+30	1,0922592
\$G\$17	Equação	-0,430317	0	0	1E+30	0,430317
\$G\$18	Equação	-0,2075239	0	0	1E+30	0,2075239

Figura 22 – Relatório de sensibilidade para a DMU 2

Portanto, para a DMU 1, o relatório de sensibilidade apresenta eficiência de 7,33%, com preços sombra de 0,18% (Figura 21), correspondente à DMU situada na linha 12 na planilha Excel® de origem (DMU 10, conforme a Figura 20) e de 2,64%, correspondente à DMU situada na linha 14 na planilha Excel® de origem (DMU 12, conforme a Figura 20). Do mesmo modo, para a DMU 2, o relatório de sensibilidade traz eficiência de 38,08% e preços sombra de 21,33% (Figura 22), correspondente à DMU situada na linha 12 na planilha Excel® de origem (DMU 10, conforme a Figura 20) e 0,36%, correspondente à DMU situada na linha 14 na planilha Excel® de origem (DMU 12, conforme a Figura 20).

Em posse destas informações, é possível calcular as metas para as DMUs 1 e 2, conforme as Tabelas 9 e 10.

A Tabela 9 mostra que a DMU 1, ou unidade transmissora A em 2013, poderia se tornar eficiente empregando 0,18% dos recursos da DMU 10 (unidade transmissora E em 2014) e 2,64% dos recursos da DMU 12 (unidade transmissora F em 2014). Tais iniciativas matematicamente correspondem à redução acima de 90% tanto nas despesas como na quantidade de funcionários, mantendo-se o mesmo nível da receita e da capacidade de transformação. Nesta situação é importante que haja discrição por parte dos gestores, a fim de distinguir condições ideais de condições possíveis. Ou seja, a sugestão de redução em mais de 90% dos recursos dada pelo modelo sugere que há alta margem para redução nestes insumos e aprimoramento na produtividade. Não necessariamente quer dizer que a redução real possa ser neste montante.

<b>Metas DMU 1 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	0,1839%			
	2,6401%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
sombra 10	0,02	0,02	0,04	0,01
sombra 12	0,42	0,59	0,84	1,46
1	5,92	9,17	0,88	1,47
<b>Projeção</b>	0,43	0,61	0,88	1,47
<b>Diferença</b>	- 5,49	- 8,56	-	-
<b>Redução %</b>	-93%	-93%	0%	0%

Tabela 9 – Metas para a DMU 1 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

De maneira semelhante, a Tabela 10 mostra que para a unidade de transmissão A em 2014 as unidades de referência são as mesmas, unidades E e F no ano de 2014. Portanto, o emprego de 21,33% dos recursos da DMU 10, combinado ao emprego de 0,36% dos recursos da DMU 12, permitiria uma redução nos insumos sem deteriorar o nível de produção. Novamente neste caso o modelo propõe uma alta redução, acima de 60%, em ambos insumos, sem afetar, conforme os cálculos matemáticos, o nível de produção. Na realidade empresarial, possivelmente estas reduções seriam menores e ocorreriam paulatinamente, o que o modelo mostra é um caminho, conforme o praticado por outras unidades transmissoras, tidas como eficientes, dentro da mesma empresa.

Metas DMU 2 - Orientado ao insumo sem variação escalar				
<b>Preço Sombra</b>	21,3315%			
	0,3587%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
sombra 10	1,79	2,57	4,76	1,27
sombra 12	0,06	0,08	0,11	0,20
2	4,86	9,09	4,87	1,47
<b>Projeção</b>	1,85	2,65	4,87	1,47
<b>Diferença</b>	- 3,01	- 6,44	-	-
<b>Redução %</b>	-62%	-71%	0%	0%

Tabela 10 – Metas para a DMU 2 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

A unidade transmissora A apresentou uma evolução em sua eficiência entre os anos de 2013 e 2014 (DMUs 1 e 2, respectivamente), tendo partido da última para a décima primeira posição na eficiência calculada pelo modelo (Tabela 8). Embora não chegue a ser próxima das unidades mais eficientes, é possível identificar que o aumento nas receitas de 0,88 em 2013 para 4,87 em 2014 (Tabela 7) enquanto os demais, insumos e produto, se mantiveram em nível semelhante nos dois anos, permitiu que esta unidade se tornasse mais eficiente. As iniciativas tomadas pela administração entre 2013 e 2014 podem ser um caminho para a manutenção desta melhoria no desempenho da unidade transmissora A.

Nas Tabelas 11 a 21 seguir são apresentadas as metas para as demais unidades transmissoras não consideradas eficientes pelo modelo, com base em seus respectivos relatórios de sensibilidade. Os relatórios de sensibilidade das unidades eficientes, DMUs 10, 12 e 14, trazem preço sombra de 100% sendo a própria DMU a sua referência. Logo, não há para este modelo de DEA um cálculo de metas para estas DMUs.

As DMUs 3 e 4 (unidade transmissora B em 2013 e 2014, respectivamente), 5 e 6 (unidade transmissora C em 2013 e 2014, respectivamente) e 7 e 8 (unidade transmissora D em 2013 e 2014, respectivamente) têm eficiências calculadas pelo modelo abaixo de 70%. Dentre estas, a DMU 3 é a menos eficiente, com 36,72% auferidos pelo modelo, de modo que as metas calculadas para esta unidade representam alta redução nos insumos sem reduzir os produtos (Tabela 11). Além disso, para todas estas unidades, o modelo trouxe como referência as mesmas unidades transmissoras, correspondentes às DMUs 10, 12 e 14.

Metas DMU 3 - Orientado ao insumo sem variação escalar				
<b>Preço Sombra</b>	27,4100%			
	1,0616%			
	25,7250%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	2,31	3,31	6,12	1,63
sombra 12	0,17	0,24	0,34	0,59
sombra 14	3,87	0,94	7,01	0,16
3	17,27	12,22	13,46	2,38
<b>Projeção</b>	6,34	4,49	13,46	2,38
<b>Diferença</b>	- 10,92	- 7,73	-	-
<b>Redução %</b>	-63%	-63%	0%	0%

Tabela 11 – Metas para a DMU 3 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

A Tabela 12 apresenta as metas para a DMU 4, que corresponde à mesma unidade transmissora que a DMU 3, mas para o ano de 2014. Esta unidade teve desempenho semelhante nos anos de 2013 e 2014, sendo a eficiência de 37,57% para a DMU 4. A pequena melhora na eficiência da unidade transmissora B entre os anos de 2013 e 2014, da décima terceira para a décima segunda posição (Tabela 8) se deve pelo aumento nas receitas acompanhando de um aumento ainda maior nos gastos com PMSO (Tabela 7). A pequena redução no número de funcionários entre 2013 e 2014 também contribui para a melhoria na eficiência. Logo, o modelo permite ao gestor identificar que para esta unidade seria positivo manter o nível de receita mediante redução em especial nos gastos com PMSO.

Metas DMU 4 - Orientado ao insumo sem variação escalar				
<b>Preço Sombra</b>	21,6869%			
	1,5444%			
	37,4001%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	1,82	2,62	4,84	1,29
sombra 12	0,25	0,34	0,49	0,85
sombra 14	5,62	1,37	10,19	0,24
4	20,47	11,54	15,52	2,38
<b>Projeção</b>	7,69	4,33	15,52	2,38
<b>Diferença</b>	- 12,78	- 7,20	-	-
<b>Redução %</b>	-62%	-62%	0%	0%

Tabela 12 – Metas para a DMU 4 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

A unidade de transmissão C é avaliada nas Tabelas 13 e 14 como as DMUs 5, cuja eficiência é de 50,36%, e 6, cuja eficiência é de 66,22% (anos 2013 e 2014 respectivamente).

Em ambos os casos esta unidade toma como referência as DMUs 10, 12 e 14 para calcular iniciativas de redução nos insumos sem alterar a produção.

<b>Metas DMU 5 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	8,6256%			
	46,8765%			
	12,7176%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	0,73	1,04	1,92	0,51
sombra 12	7,44	10,46	14,86	25,85
sombra 14	1,91	0,47	3,46	0,08
5	20,01	23,76	20,25	26,45
<b>Projeção</b>	10,07	11,96	20,25	26,45
<b>Diferença</b>	- 9,93	- 11,79	-	-
<b>Redução %</b>	-50%	-50%	0%	0%

Tabela 13 – Metas para a DMU 5 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

Esta unidade de transmissão teve sua eficiência classificada pelo modelo na décima posição em 2013 (DMU 5) e na sexta posição em 2014 (DMU 6), conforme a Tabela 8. A maior diferença entre os dois anos foi o aumento nas receitas (Tabela 7). Assim, as medidas tomadas pelos gestores desta unidade de transmissão entre estes anos, aliadas às medidas dos gestores nas unidades consideradas eficientes (a serem estudadas e eventualmente adotadas pelas unidades menos eficientes), se mostram como um trajeto a ser percorrido na busca pelo aprimoramento na eficiência.

<b>Metas DMU 6 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	34,0263%			
	48,1812%			
	19,8218%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	2,86	4,11	7,59	2,02
sombra 12	7,64	10,75	15,28	26,57
sombra 14	2,98	0,73	5,40	0,13
6	20,37	23,53	28,27	28,72
<b>Projeção</b>	13,49	15,58	28,27	28,72
<b>Diferença</b>	- 6,88	- 7,95	-	-
<b>Redução %</b>	-34%	-34%	0%	0%

Tabela 14 – Metas para a DMU 6 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

As Tabelas 15 e 16, correspondem às DMUs 7 e 8, ou seja, à unidade transmissora D nos anos de 2013 e 2014, respectivamente. A eficiência desta unidade em 2013 é de 35,16%,

contra 52,08% em 2014. Por ser mais eficiente, a DMU 8, embora use as mesmas referências, possui menores metas de redução nos insumos.

<b>Metas DMU 7 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	11,7824%			
	12,7775%			
	2,8847%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	0,99	1,42	2,63	0,70
sombra 12	2,03	2,85	4,05	7,05
sombra 14	0,43	0,11	0,79	0,02
7	9,82	12,45	7,47	7,77
<b>Projeção</b>	3,45	4,38	7,47	7,77
<b>Diferença</b>	- 6,37	- 8,07	-	-
<b>Redução %</b>	-65%	-65%	0%	0%

Tabela 15 – Metas para a DMU 7 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

A unidade transmissora D teve maior eficiência 2014 do que em 2013, passando da décima quarta posição para a oitava posição (DMUs 7 e 8, respectivamente), de acordo com a Tabela 8. Pela Tabela 7, é possível identificar que esta unidade foi capaz de aumentar sua receita em 2014 mantendo os mesmos níveis de insumos do ano anterior. Assim, as medidas por ela tomadas entre um ano e outro, combinadas às medidas levantadas nas unidades mais eficientes, deveriam ser consideradas na elaboração de um plano estratégico para esta unidade transmissora.

<b>Metas DMU 8 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	28,7094%			
	10,9669%			
	1,5345%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	2,42	3,47	6,41	1,71
sombra 12	1,74	2,45	3,48	6,05
sombra 14	0,23	0,06	0,42	0,01
8	8,42	11,46	10,30	7,77
<b>Projeção</b>	4,39	5,97	10,30	7,77
<b>Diferença</b>	- 4,04	- 5,49	-	-
<b>Redução %</b>	-48%	-48%	0%	0%

Tabela 16 – Metas para a DMU 8 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

A DMU 9 corresponde à unidade transmissora E no ano de 2013 (Tabela 17) e a eficiência a ela conferida pelo modelo é de 26,55%, bastante inferior à eficiência desta mesma

unidade no ano de 2014 (DMU 10), que é de 100%. Suas referências são, então, as DMUs 10 e 12, com meta de forte redução nos insumos, mantendo-se a mesma produção.

Para os gestores, é relevante verificar como a unidade transmissora E evoluiu entre os anos de 2013 e 2014 (DMUs 9 e 10, respectivamente) e estudar como isto ocorreu. Pela Tabela 8, é possível identificar que esta unidade transmissora em 2013 ficou em penúltimo lugar em eficiência (DMU 9), passando no ano seguinte para a primeira colocação (DMU 10). A Tabela 7 mostra que a unidade transmissora E, através de pequeno aumento em ambos insumos, gerou pequeno aumento na capacidade de transformação, mas aumento muito representativo nas receitas. É possível que tais iniciativas sejam exatamente o que todas as demais DMUs ineficientes precisem adotar para melhorar seu grau de eficiência.

<b>Metas DMU 9 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	8,4158%			
	9,5379%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
sombra 10	0,71	1,02	1,88	0,50
sombra 12	1,51	2,13	3,02	5,26
9	8,37	11,99	4,90	5,76
<b>Projeção</b>	2,22	3,14	4,90	5,76
<b>Diferença</b>	- 6,14	- 8,85	-	-
<b>Redução %</b>	-73%	-74%	0%	0%

Tabela 17 – Metas para a DMU 9 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

Para todas estas unidades que tomam como referência as DMUS 10, 12 e 14, as reduções percentuais representam o que o modelo calcula como possível matematicamente. No entanto, o julgamento dos gestores se faz necessário a fim de verificar em quanto estas reduções podem de fato ser realizadas sem prejuízos como multas por rescisão contratual ou até mesmo ações trabalhistas, por exemplo no caso da redução no número de funcionários.

Para o insumo PMSO fica claro que a redução no número de funcionários implica em redução neste insumo, ao afetar os gastos com pessoal (o “P” em PMSO significa “Pessoal”). Certamente que esta relação não é direta e outras reduções em gastos se fazem necessárias para atingir a redução proposta, novamente levando-se em conta a diferença entre o ideal e o realizável.

Na Tabela 18 são apresentadas as metas para a DMU 11, que corresponde ao ano de 2013 da unidade de transmissão F. Embora não seja considerada eficiente, está muito próxima

da DMU 12, que representa a mesma unidade transmissora no ano de 2014. Logo, um pequeno ajuste nos níveis de insumo resultaria, teoricamente, em um possível aumento nas receitas.

<b>Metas DMU 11 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	98,2876%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
12	15,87	22,31	31,71	55,15
sombra 12	15,60	21,93	31,16	54,21
11	21,07	22,84	23,94	54,21
<b>Projeção</b>	15,60	21,93	31,16	54,21
<b>Diferença</b>	- 5,47	- 0,92	7,23	-
<b>Redução %</b>	-26%	-4%	30%	0%

Tabela 18 – Metas para a DMU 11 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

De acordo com a Tabela 8, a unidade transmissora F entre 2013 e 2014 evoluiu da quinta para a segunda posição em eficiência (DMUs 11 e 12, respectivamente). Ao analisar-se os dados da Tabela 7, é possível identificar que esta unidade transmissora obteve em 2014 tanto um aumento nas receitas como uma redução no PMSO, com relação a 2013, o que mostra que as medidas tomadas pelos gestores entre estes anos representariam um plano a ser seguido pelas demais unidades, consideradas ineficientes pelo modelo.

Similarmente, a Tabela 19 traz as metas para a DMU 13, de eficiência em 97,6%, correspondente à unidade transmissora G no ano de 2013. Esta mesma unidade transmissora é considerada eficiente pelo modelo no ano de 2014 (DMU14), sendo que a hipótese do modelo é de que ajustes mínimos nos insumos possam gerar aumento na capacidade de transformação (MVA) desta unidade. Pela Tabela 8, esta unidade transmissora passou na quarta para a terceira colocação ente 2013 e 2014, no que tange à sua eficiente de acordo com o modelo proposto. Isto porque, conforme a Tabela 7, houve um aumento nas receitas ente 2013 e 2014 maior do que o aumento nos gastos com PMSO no mesmo período.

Metas DMU 13 - Orientado ao insumo sem variação escalar				
<b>Preço Sombra</b>	3,1252%			
	87,3182%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	0,26	0,38	0,70	0,19
sombra 14	13,12	3,20	23,79	0,56
13	13,71	3,67	24,48	0,64
<b>Projeção</b>	13,38	3,58	24,48	0,74
<b>Diferença</b>	- 0,33	- 0,09	-	0,11
<b>Redução %</b>	-2%	-2%	0%	17%

Tabela 19 – Metas para a DMU 13 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

Por fim, as DMUs 15 e 16, correspondentes respectivamente à unidade de transmissão H nos anos de 2013 e 2014 (Tabelas 20 e 21), apresentam eficiências de 52,01% e 64,66%. Tal como com as unidades transmissoras B, C e D, têm eficiências abaixo de 70% e adotam como referência as DMUs 10, 12 e 14 para que o modelo calcule as metas de redução nos insumos, sem afetar os produtos.

Metas DMU 15 - Orientado ao insumo sem variação escalar				
<b>Preço Sombra</b>	13,7324%			
	0,8848%			
	4,6769%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	1,16	1,66	3,06	0,82
sombra 12	0,14	0,20	0,28	0,49
sombra 14	0,70	0,17	1,27	0,03
15	3,84	3,90	4,62	1,33
<b>Projeção</b>	2,00	2,03	4,62	1,33
<b>Diferença</b>	- 1,84	- 1,87	-	-
<b>Redução %</b>	-48%	-48%	0%	0%

Tabela 20 – Metas para a DMU 15 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

<b>Metas DMU 16 - Orientado ao insumo sem variação escalar</b>				
<b>Preço Sombra</b>	20,3395%			
	0,2213%			
	0,4031%			
<b>DMU</b>	<b>PMSO</b>	<b>Funcionários</b>	<b>Receita</b>	<b>MVA</b>
10	8,41	12,07	22,32	5,95
12	15,87	22,31	31,71	55,15
14	15,03	3,67	27,24	0,64
sombra 10	1,71	2,46	4,54	1,21
sombra 12	0,04	0,05	0,07	0,12
sombra 14	0,06	0,01	0,11	0,00
16	2,79	3,90	4,72	1,33
<b>Projeção</b>	1,81	2,52	4,72	1,33
<b>Diferença</b>	- 0,99	- 1,38	-	-
<b>Redução %</b>	-35%	-35%	0%	0%

Tabela 21 – Metas para a DMU 16 pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

A unidade transmissora H não melhorou muito sua eficiência entre os anos de 2013 e 2014, pois foi da nona à sétima posição (DMUs 15 e 16, respectivamente), conforme a Tabela 8. Através da Tabela 7 é possível verificar que esta unidade transmissora apresentou redução nos gastos com PMSO mantendo o mesmo nível de produção entre os anos 2013 e 2014. Assim, caberia aos gestores buscar manter tais medidas de redução no PMSO, aliadas a medidas de redução de insumos praticadas nas unidades consideradas eficientes, na busca por aprimorar a eficiência desta unidade transmissora.

A tabela 22 apresenta uma síntese das metas para todas as DMUs consideradas ineficientes, auferidas através dos resultados do modelo proposto, conforme os dados das tabelas 9 a 21.

É importante colocar que as metas calculadas pelo modelo matemático precisam ser avaliadas e adaptadas à realidade pelos gestores, servindo primordialmente como guia para as iniciativas a serem priorizadas. Vale ressaltar ainda que o modelo não apenas proporciona uma comparação da eficiência entre os pares, como também permite a elaboração de uma estratégia para que as unidades menos eficientes possam se equiparar às unidades consideradas eficientes.

Com base na solução do modelo ora apresentada, busca-se validá-lo, de modo que é realizada uma comparação entre os resultados obtidos pelo modelo e os resultados obtidos por uma análise contábil tradicional.

DMUs	Eficiência	DMUs Referência	Preços Sombra	Aumento/Redução Projetados			
				PMSO	N. Funcionários	R. Bruta	MVA
1	7%	10	0,001838873	-93%	-93%	0%	0%
		12	0,026401309				
2	38%	10	0,213315085	-62%	-71%	0%	0%
		12	0,003586648				
3	37%	10	0,274100496	-63%	-63%	0%	0%
		12	0,010616216				
		14	0,257250365				
4	38%	10	0,216869332	-62%	-62%	0%	0%
		12	0,015444302				
		14	0,374001187				
5	50%	10	0,086255857	-50%	-50%	0%	0%
		12	0,468764586				
		14	0,127176461				
6	66%	10	0,340262747	-34%	-34%	0%	0%
		12	0,481811942				
		14	0,198217825				
7	35%	10	0,117824035	-65%	-65%	0%	0%
		12	0,127774725				
		14	0,02884735				
8	52%	10	0,287093521	-48%	-48%	0%	0%
		12	0,109669128				
		14	0,015345473				
9	27%	10	0,084158426	-73%	-74%	0%	0%
		12	0,095378765				
11	96%	12	0,982875735	-26%	-4%	30%	0%
13	98%	10	0,137323584	-2%	-48%	0%	0%
		14	0,008848172				
15	52%	10	0,137323584	-48%	-48%	0%	0%
		12	0,008848172				
		14	0,046768826				
16	65%	10	0,203394504	-35%	-35%	0%	0%
		12	0,002213036				
		14	0,004030738				

Tabela 22 – Metas para todas as DMUs ineficientes pelo modelo DEA orientado ao insumo sem variação escalar

## 5.2. Validação e implementação do modelo

A fim de comparar os resultados do modelo proposto, esta pesquisa traz a análise destas mesmas unidades transmissoras pelos métodos de análise contábil tradicional, conforme a seguir.

As análises contábeis se baseiam nos dados de demonstrações financeiras, sendo que uma análise básica destas demonstrações financeiras, permite verificar a representatividade de

cada item com relação a um todo, conhecida como análise vertical. Há também a análise horizontal, que compara a evolução de um mesmo item ao longo dos anos.

Conforme visto na etapa de construção do modelo, os dados de demonstrações financeiras disponibilizados pela empresa são apenas o PMSO, o OPEX e a Receita Bruta anual para cada uma das unidades transmissoras. Além disto, como apresentado naquele item, o PMSO e o OPEX apresentam forte correlação, de 99,13% (Figura 19). Assim, nas Tabelas 23 e 24 tem-se a análise vertical e horizontal do PMSO e da Receita Bruta, respectivamente, sendo as variáveis de decisão de natureza econômica adotadas pelo modelo.

PMSO	2013		2014		2014/2013	
	%	\$	%	\$	%	\$
A	6%	5,92	5%	4,86	82%	- 1,06
B	17%	17,27	21%	20,47	119%	3,20
C	20%	20,01	21%	20,37	102%	0,36
D	10%	9,82	9%	8,42	86%	- 1,40
E	8%	8,37	9%	8,41	101%	0,05
F	21%	21,07	16%	15,87	75%	- 5,20
G	14%	13,71	16%	15,03	110%	1,31
H	4%	3,84	3%	2,79	73%	- 1,05

Tabela 23 – Análise vertical e horizontal dos dados de PMSO

Ao observar-se a Tabela 23, vemos pela análise vertical que a unidade F possui o maior valor de PMSO em 2013 (correspondente à DMU 11 no modelo proposto), maior inclusive que os valores de PMSO de 2014. Neste ano, os maiores valores de PMSO são das unidades B e C, DMUs 4 e 6 respectivamente. Com a análise horizontal, identifica-se que em 2014 as unidades H e F (DMUs 16 e 12) apresentaram maior redução percentual nos gastos, enquanto as unidades B e G (DMUs 4 e 14) apresentaram comportamento oposto. Importante ressaltar que no caso de PMSO, que corresponde a gastos, reduções são geralmente vistas de forma positiva.

Receita	2013		2014		2014/2013	
	%	\$	%	\$	%	\$
A	1%	0,88	3%	4,87	555%	4,00
B	13%	13,46	11%	15,52	115%	2,06
C	20%	20,25	20%	28,27	140%	8,02
D	7%	7,47	7%	10,30	138%	2,84
E	5%	4,90	15%	22,32	455%	17,41
F	24%	23,94	22%	31,71	132%	7,77
G	24%	24,48	19%	27,24	111%	2,76
H	5%	4,62	3%	4,72	102%	0,10

Tabela 24 – Análise vertical e horizontal dos dados de Receita bruta

Já no caso das Receitas, a visão é de que acréscimos são positivos. Assim, conforme a Tabela 24, temos pela análise horizontal que as receitas mais representativas em 2013 são as das unidades F e G (DMUs 11 e 13 no modelo proposto, respectivamente). Em 2014, a unidade

G é ultrapassada em receitas pela unidade C, de modo que as receitas mais representativas correspondem neste ano às unidades F e C (DMUs 12 e 6). Pela análise horizontal tem-se um maior crescimento percentual nas receitas das unidades A e E. Porém, um maior crescimento absoluto nas receitas das unidades E e C.

As análises verticais e horizontais são relações simples. A literatura traz outras formas de se analisar as demonstrações financeiras, como os índices contábeis. Tais índices permitem relacionar diferentes itens das demonstrações financeiras e comparar o desempenho de unidades diferentes, através da comparação destes índices.

Adotando-se os dados financeiros eleitos pelo modelo proposto, pode-se avaliar a razão das Receitas brutas sobre as Despesas (PMSO), um índice de rentabilidade, conforme apresentado na Tabela 25. A razão obtida representa o retorno sobre as despesas.

Ranking tradicional	DMUs	Unidades	PMSO	Receita	Eficiência Tradicional	
			Insumo 1	Produto 1	Receita/PMSO	Escalar
1o	10	E14	8,41	22,32	265%	1,0000
2o	12	F14	15,87	31,71	200%	0,7534
3o	14	G14	15,03	27,24	181%	0,6835
4o	13	G13	13,71	24,48	179%	0,6732
5o	16	H14	2,79	4,72	169%	0,6366
6o	6	C14	20,37	28,27	139%	0,5234
7o	8	D14	8,42	10,30	122%	0,4612
8o	15	H13	3,84	4,62	120%	0,4532
9o	11	F13	21,07	23,94	114%	0,4284
10o	5	C13	20,01	20,25	101%	0,3817
11o	2	A14	4,86	4,87	100%	0,3779
12o	3	B13	17,27	13,46	78%	0,2940
13o	7	D13	9,82	7,47	76%	0,2867
14o	4	B14	20,47	15,52	76%	0,2858
15o	9	E13	8,37	4,90	59%	0,2209
16o	1	A13	5,92	0,88	15%	0,0559

Tabela 25 – Razão entre a Receita bruta e PMSO

A Tabela 25 está disposta em ordem decrescente da razão entre Receita e PMSO, de modo que a DMU 10 possui maior representatividade das receitas sobre estes gastos, enquanto a DMU 1 possui a menor representatividade. Conforme visto na fundamentação teórica, índices de rentabilidade mais altos são considerados melhores. Desta forma, pelo apresentado na Tabela 25, a DMU 10 possui o melhor retorno sobre as despesas.

Esta análise, por si só, não é de fácil comparação com as eficiências obtidas pelo modelo DEA. Isto porque o DEA realiza uma comparação entre pares onde o(s) mais eficiente(s) recebem índice de eficiência 1 e os demais recebem valores menores que 1, que representam sua eficiência em relação à eficiência máxima. Por exemplo, na Tabela 26 consta uma eficiência

DEA de 0,9761 para a DMU 13 e de 1 para a DMU 10. Ou seja, a DMU 13 possui 97,61% da eficiência da DMU 10.

Portanto, para possibilitar a comparação entre as duas análises, foi adicionada a coluna “Escalar” à Tabela 4, onde assume-se que a unidade de maior índice, a DMU 10, é a única eficiente e, portanto, possui eficiência 1 (100%) perante seus pares. Logo, as demais eficiências auferidas na coluna “Receita/PMSO” representam percentuais da eficiência da DMU 10, de 265% na referida coluna. Para fins de comparação, a Tabela 26 reproduz as eficiências atribuídas pelo modelo DEA às DMUs estudadas, extraídas da Tabela 8.

DMUs	Unidades	Ranking DEA	Eficiência DEA	Ranking tradicional	Eficiência Tradicional Escalar
10	E14	1o	1,0000	1o	1,0000
12	F14	2o	1,0000	2o	0,7534
14	G14	3o	1,0000	3o	0,6835
13	G13	4o	0,9761	4o	0,6732
11	H14	5o	0,9599	9o	0,6366
6	C14	6o	0,6622	6o	0,5234
16	D14	7o	0,6466	5o	0,4612
8	H13	8o	0,5208	7o	0,4532
15	F13	9o	0,5201	8o	0,4284
5	C13	10o	0,5036	10o	0,3817
2	A14	11o	0,3808	11o	0,3779
4	B13	12o	0,3757	14o	0,2940
3	D13	13o	0,3672	12o	0,2867
7	B14	14o	0,3516	13o	0,2858
9	E13	15o	0,2655	15o	0,2209
1	A13	16o	0,0733	16o	0,0559

Tabela 26 – Eficiências atribuídas pelo modelo DEA às DMUs estudadas

Embora os resultados sejam muito semelhantes, há diferenças entre a análise contábil tradicional e o modelo matemático proposto. Os extremos, ou seja, as unidades mais e menos eficientes, são as mesmas. A diferença reside na forma como cada análise trata as eficiências intermediárias. Ao considerar apenas 02 (duas) variáveis, as de natureza econômica, a análise contábil tradicional deixa de abranger o impacto de outras variáveis na eficiência da unidade.

Esta situação fica bem clara no caso da DMU 11, que da 5ª posição no modelo DEA caiu para a 9ª posição na análise tradicional. Ao considerar apenas as variáveis econômicas, a análise contábil não leva em consideração justamente as variáveis de maior peso no caso desta DMU na análise DEA (conforme a Tabela 8). O mesmo ocorre nos demais casos de divergência entre os métodos, embora de forma mais sutil, uma vez que a eficiência calculada por esta análise tradicional não é ponderada, adota apenas um único insumo e um único produto.

É importante lembrar que, caso houvessem ao nível das unidades transmissoras mais dados financeiros, como por exemplo o ativo total, seria possível realizar mais análises e comparações entre os dois métodos.

Ainda que haja índices contábeis que considerem mais variáveis, inclusive físicas, é válido pontuar que a análise contábil tradicional não permite uma análise multicritério tal como a realizada pelo modelo DEA. Neste modelo matemático se faz possível a comparação de diversos pares por diversas variáveis de decisão, tanto de origem econômica quanto física.

Ademais, o modelo DEA vai além do cálculo das eficiências, pois sua análise permite identificar as metas para cada DMU avaliada, adotando como referência uma ou mais DMUs identificadas como eficientes pelo modelo. Para fins de tomada de decisão se mostra, portanto, como uma ferramenta útil.

Conforme mencionado anteriormente, a empresa estudada tem realizado estudos, entre os anos de 2015 e 2016, a fim de implementar um sistema de custeio gerencial ABC/ABM (*Activity-Based Costing and Management*). Durante a fundamentação teórica deste trabalho foi colocado, de acordo com diversos autores, que o método de custeio ABC se mostra mais adequado para fins gerenciais de tomada de decisão.

Desta forma, com a escolha pelo insumo PMSO no lugar de custos operacionais (*Operational Expenses - OPEX*) no modelo matemático proposto, busca atender este enfoque gerencial dos custos. O OPEX corresponde a um valor global reportado, enquanto o PMSO é uma medida interna que se estende ao nível dos centros de custos e é diretamente afetado pela mudança no método de custeio.

Logo, na hipótese da implementação do modelo proposto por este trabalho, o qual encontra-se disponível para a empresa, será possível a realização de análises estratégicas dos custos. Tais análises poderiam ser mais acuradas se empregadas sobre o PMSO auferido pelo método de custeio ABC/ABM que a empresa vem estudando implementar. A ferramenta DEA construída neste trabalho vem atender à necessidade de estudar os dados que viriam a ser obtidos por este método de custeio, a fim de nortear o processo de tomada de decisão estratégica.

É importante lembrar que os dados fornecidos pela empresa foram auferidos pelo método de custeio por absorção uma vez que o sistema de custeio ABC/ABM não se encontra totalmente implementado. Assim, os resultados encontrados pela aplicação do modelo nos dados do modelo ABC/ABM podem diferir dos resultados obtidos neste trabalho.

## 6. CONCLUSÕES

O presente trabalho atinge seus objetivos, ao desenvolver e solucionar um modelo matemático, analisar seus resultados, realizar uma análise contábil tradicional e efetuar uma comparação entre as análises. Além disso, demonstra em detalhes a eficiência relativa das unidades transmissoras de uma grande empresa do setor de energia elétrica.

Na análise da eficiência destas unidades transmissoras, tanto pelo modelo DEA proposto como pelo índice de liquidez avaliado, constata-se que há dentre as unidades transmissoras aquelas que são consideradas mais eficientes e podem servir de modelo para seus pares a fim de melhor gerir seus recursos, em especial os custos e despesas.

Adicionalmente, o modelo DEA proposto proporciona não apenas uma comparação da eficiência entre os pares, como permite a elaboração de estratégias para que as unidades menos eficientes possam se equiparar às unidades consideradas eficientes. São elas as estratégias que envolvem redução no número de funcionários e nos gastos de PMSO. Estas estratégias podem ser melhor apuradas assim que se obtiver dados auferidos por métodos gerenciais de custeio. Então, no caso específico do trabalho ora apresentado, o modelo DEA se apresentará como uma ferramenta mais completa para a tomada de decisão gerencial.

No entanto, o presente trabalho possui diversas limitações, em especial quanto aos dados adotados para realização da análise de eficiência. Como a base de análise trata das unidades transmissoras dentro da empresa, alguns dados não estão disponíveis a este nível de detalhe, como por exemplo o Ativo Total, um dado financeiro relevante tanto para a análise DEA como para a análise contábil tradicional. Tal variável seria uma adição relevante ao modelo, para tornar sua análise mais robusta, e é recomendado a trabalhos futuros estudar sua inclusão na modelagem.

Além disso, a limitação referente às mudanças do cenário durante o período abordado, que resultam na redução do período avaliado e em impacto na quantidade de unidades avaliadas, uma vez que estas são comparadas individualmente para cada ano incluído na análise.

E há também o fato de que o sistema gerencial de custeio ABM/ABM não estar ainda em funcionamento, de modo que seus dados de custeio não estão disponíveis para o período. Desta forma, este trabalho se desenvolve com base nos dados auferidos pelo método custeio de absorção, reconhecidamente menos adequado para a tomada de decisão gerencial que o método de custeio ABC/ABM.

Ou seja, se fossem empregados os dados do custeio ABC/ABM, os resultados poderiam ser outros. Ao menos, uma vez que apurados tais dados, estes podem ser empregados no modelo apresentado sem necessidade de ajustes.

Em suma, ainda que seus resultados não possam e nem devam ser generalizados para outros casos, mesmo que dentro da mesma empresa, este trabalho se mostra relevante, ao focar em um modelo de análise bastante adotado no setor elétrico, o DEA, e ir além, ao propor um foco pouco abordado pela literatura para esta análise, o enfoque financeiro.

Adicionalmente, este trabalho não só fornece à empresa dados analíticos que demonstram o real impacto dos custos indiretos em sua eficiência, ainda que auferidos por métodos tradicionais. Ele vai além, ao desenvolver e entregar um modelo matemático que lhe permite posteriormente empregar com os dados obtidos pelo sistema ABC/ABM, para que a empresa passe a contar com informações mais claras para gestão dos custos que suas unidades produtivas e, portanto, rentáveis (neste caso as unidades transmissoras) precisam cobrir com seu faturamento.

Trabalhos futuros podem ser realizados com unidades de empresas onde os dados a seu nível encontram-se disponíveis e há uma necessidade de gestão de recursos, como as demais empresas do setor elétrico. É interessante que futuros trabalhos busquem adotar empresas onde haja um sistema de custeio gerencial, como o ABC/ABM, já implementado, para que as ações propostas pelo modelo DEA sejam mais fiéis à realidade e úteis para a tomada de decisão.

No entanto, a presente pesquisa possui enfoque específico nas unidades de transmissão da empresa estudada. Seus resultados, portanto, devem se limitar a este caso específico, de forma que é necessária a análise profunda e ajustada a qualquer outra situação empresarial onde se pretenda abordar a Análise por Envoltória de Dados da eficiência e a gestão estratégica destes custos.

Caso análises futuras venham a ser realizadas com base nos dados de um sistema de custeio gerencial, seria interessante ainda simular as melhorias propostas pelo modelo a fim de projetar o *status* de eficiências das DMUs após implantá-las.

Em suma, considerando as vantagens e limitações do modelo apresentado, uma função que este cumpre é a de mostrar ao pagador (neste caso as unidades transmissoras, que são as responsáveis por gerar a receita) o tamanho da conta a ser paga por ele e possíveis meios de diminuí-la, através da análise dos resultados do modelo DEA.

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, M. The productivity and efficiency of the Australian electricity supply industry. *Energy Economics*, v. 28, n. 4, p. 444-454, 2006.
- ALMEIDA, A.A. Política tarifária e comercialização de energia elétrica no ambiente de contratação livre. **SBSE- Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, Anais, v. 89, 2006.
- ANDRADE, G. N. **Contribuição para o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação da eficiência no setor de transmissão de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2010.
- ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)
- ANEEL. **Atlas da Energia Elétrica no Brasil**. 1ª edição. Brasília, 2002.
- ANEEL. **Benchmarking dos custos operacionais das concessionárias de transmissão de energia elétrica**. Nota Técnica n. 396. Brasília, 2009.
- ANEEL. **Resolução Normativa N. 257**. Brasília, 2007.
- ANEEL. **Submódulo 9.1: Revisão periódica das receitas das concessionárias existentes**. Módulo 9: Concessionárias de Transmissão. Revisão 1.0. Brasília, 2013.
- 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.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro - Janeiro de 2016**. Brasília, 2016.
- BRASIL. Presidência da República. **Decreto n. 41.019 atualizado**. Brasília, 1957. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d41019.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d41019.htm).
- BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 10.848 atualizada**. Brasília, 2002. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm)
- BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 12.783 atualizada**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2013/lei-12783-11-janeiro-2013-775059-norma-pl.html>
- BORTOLUZZI, S. C.; ENSSLIN, S. R.; LYRIO, M. V. L.; ENSSLIN L. Avaliação de desempenho econômico-financeiro: uma proposta de integração de indicadores contábeis tradicionais por meio da metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista (MCDA-C). *Revista Alcance*, v. 18, n. 2, p. 200-218, 2011.
- CARMO, L. P. F.; PADOVANI, F. Advances and challenges for adoption of activity based costing (ABC) by public sector: a comparative study of Brazil, Colombia, Uruguay and United States. *International Business Research*, v. 5, n. 2, p.150, 2012.
- 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.

- COGAN, S. Um modelo de reconciliação de dados para o custeio baseado-em-atividades (ABC). **RAE - Revista de Administração de Empresas**, vol.39 no.2, São Paulo,1999.
- COOK, W. D.; TONE, K.; ZHU, J. Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. **Omega**, v. 44, p. 1-4, 2014.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- DUTRA, M. H.; ALBERTON, L. A Gestão Estratégica dos Custos Invisíveis nas empresas estatais Transmissoras de energia elétrica. **III SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2006.
- FITTIPALDI, E. H. D.; NASCIMENTO NETO, R. V.; MIRANDA, L. C. Sistemas de custeio em empresas de energia elétrica desverticalizadas em um mercado competitivo. **Seminário de Planejamento Econômico-Financeiro do Setor Elétrico**, Brasília, 2000.
- FREIRES, A. P.; PAMPLONA, E. O. Um Enfoque no BDI de Empresas Construtoras de Pequeno Porte Com a Utilização das Ferramentas de Custeio ABC/ABM. **IX Congresso Internacional de Custos**, Florianópolis, 2005.
- HADDADI, D.; HASSAN, M.; SEYEDNEZHAD, M. J. Comparative study of traditional and activity-based costing in forging companies of Iran tractor. **International Journal of Management Sciences and Business Research**, v. 4, n. 3, 2015.
- HANEY, A. B.; POLLITT, M. G. International *benchmarking* of electricity transmission by regulators: A contrast between theory and practice? **Energy Policy**, v. 62, p. 267-281, 2013.
- HAWAWINI, G.; VIALLET, C. **Finanças para executivos: gestão para a criação de valor**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- JACK, R. M.; AMITABH, R.; AMOAKO-GYAMPAH, K.; KAPLAN, B. Alternative research paradigms in operations. **Journal of Operations Management**, v. 8, n. 4, p. 297–326, 1989.
- KASSAI, S. **Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na análise de demonstrações contábeis**. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.
- LO, F.; CHIEN, C.; LIN, J. T. A DEA study to evaluate the relative efficiency and investigate the district reorganization of the Taiwan power company. **Power Systems, IEEE Transactions**, v. 16, n. 1, p. 170-178, 2001.
- MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MAUAD, L. G. A.; FARIAS, A. D.; DELLANEGRA E.; GONÇALVES, L. G. G.; A utilização de ferramentas da qualidade como apoio na Gestão Baseada em Atividades (ABM). **IX Congresso Internacional de Custos**, Florianópolis, 2005.
- MAUAD, L. G. A.; PAMPLONA, E. O. ABC/ABM e BSC - Como essas ferramentas podem se tornar poderosas aliadas dos tomadores de decisão das empresas. **VII Congresso Del Instituto Internacional de Custos**, Punta Del Este, Uruguai, 2003.
- MEGLIORINI, E. **Custos: análise e gestão**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.
- MIGUEL, P. A. C. (organizador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- PAMPLONA, E.O. **Contribuição para a Análise Crítica do Sistema de Custos ABC através da Avaliação de Direcionadores de Custos**. Tese de Doutorado em Administração. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas - Escola de Administração de Empresa, 1997.

PESQUISA - Prestadores de serviços para GTD: O sistema elétrico brasileiro. **Revista O Setor Elétrico Brasileiro**, Ed 116, p. 86-97, 2015.

PESSANHA, J. F. M.; MELLO, M. A. R. F. D.; BARROS, M.; SOUZA, R. C. Avaliação dos custos operacionais eficientes das empresas de transmissão do setor elétrico Brasileiro: uma proposta de adaptação do modelo DEA adotado pela ANEEL. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 3, p. 521-545, 2010.

PLAGNET, M. A. 2006. **Use of Benchmarking Methods in Europe in the Electricity Distribution Sector**. Conference on Applied Infrastructure Research. Disponível em: [https://www.infraday.tuerlin.de/fileadmin/fg280/veranstaltungen/infraday/conference\\_2006/papers\\_presentations/paper---plagnet.pdf](https://www.infraday.tuerlin.de/fileadmin/fg280/veranstaltungen/infraday/conference_2006/papers_presentations/paper---plagnet.pdf)

SAMPAIO, L. P. C. B. **Dupla ótica sobre a comparação da eficiência de empresas de transmissão de energia elétrica**. Tese de Doutorado. Brasília: Universidade de Brasília, 2011.

SILVA, R. C. E. O. D.; KOYASHIKI, M. L. M.; CRUZ, J. A. W.; AHLFELDT, R.; SILVA, W. V. D.; DEL CORSO, J. M. Análise de Desempenho das Ações das Empresas do Setor da Construção Civil na Bovespa em Relação à Rentabilidade, Estrutura de Capital e Conjuntura Setorial. **Revista Catarinense da Ciência Contábil**, v. 14, n. 41, p. 09-19, 2015.

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Efficiency-based rank assessment for electric power industry: a combined use of data envelopment analysis (DEA) and DEA-discriminant analysis (DA). **Energy Economics**, v. 34, n. 3, p. 634-644, 2012.

THAKUR, T.; DESHMUKH, S. G.; KAUSHIK, S. C. Efficiency evaluation of the state owned electric utilities in India. **Energy Policy**, v. 34, n. 17, p. 2788-2804, 2006.

USKONEN, J.; TENHIÄLÄ, A. The price of responsiveness: cost analysis of change orders in make-to-order manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 135, n. 1, p. 420-429, 2012.

VANZELLA, C. **Metodologia para implantação da contabilidade por atividades em empresas distribuidoras de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

VON GEYMUELLER, P. Static versus dynamic DEA in electricity regulation: the case of US transmission system operators. **Central European Journal of Operations Research**, v. 17, n. 4, p. 397-413, 2009.

XAVIER, S.S. **Contribuição à Análise dos Custos Operacionais Eficientes das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese de Doutorado. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2015.

YADAV, V. K.; PADHY, N. P.; GUPTA, H. O. A micro level study of an Indian electric utility for efficiency enhancement. **Energy**, v. 35, n. 10, p. 4053-4063, 2010.

ZHOU, P.; ANG, B.W.; POH, K. L. O. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. **European Journal of Operational Research**, v. 189, n. 1, p. 1-18, 2008.