

Universidade Federal do Rio de Janeiro

ERIC CERQUEIRA MENDES

Leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil: aplicação de teoria dos jogos e discussão de deságio de lances

Macaé, Rio de Janeiro

2016

Eric Cerqueira Mendes

Leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil: aplicação de teoria dos jogos e discussão de deságio de lances

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Antônio Sérgio, Dsc.

Coorientador: Prof. Matheus Barros, Msc.

Macaé, Rio de Janeiro

2016

Nome: CERQUEIRA MENDES, Eric

Título: Leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil: aplicação de teoria dos jogos e discussão de deságio de lances.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção de título de bacharel em Engenharia de Produção.

Macaé, XX de XXXXXXXX de 2016

Prof. Antônio Sérgio de Souza, Dsc
Professor orientador

Prof. Matheus Ferreira de Barros, Msc
Professor coorientador

Prof. Diego Cunha Malagueta, Dsc
Membro da banca examinadora

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo suporte e incentivo.

Aos meus amigos e Angeline, por me darem momentos alegres e motivos para continuar esta jornada.

Ao professor Diego Malagueta, por se dispor avaliar o trabalho, contribuindo com sugestões de melhorias.

Ao professor Matheus Ferreira, sempre presente em momentos de dúvidas e propenso a me indicar um caminho a trilhar.

Ao professor Antônio Sérgio, que me incentivou a sempre buscar mais qualidade neste projeto.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

CERQUEIRA MENDES, Eric. **Leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil: aplicação de teoria dos jogos e discussão de deságio de lances.** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção. Campus Macaé. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

RESUMO

Tal como foi desenvolvida e é mais aplicada nos dias atuais, a teoria dos jogos é ferramenta fundamental para análises econômicas e tomadas de decisões estratégicas. Funciona como um artifício matemático que tenta prever a estratégia de um jogador oponente, ou como é usual no mercado capitalista, uma empresa concorrente. Trata-se, portanto, de um excelente modelo de construção estratégica, onde se busca uma tática ótima de acordo com o que empresas concorrentes também considerariam como ótimo. O uso de tal teoria pode ser substancial em leilões, pois há claramente uma competição fundamentada em preços ascendentes ou descendentes, os chamados lances. O presente trabalho tem por objetivo demonstrar como o uso e entendimento da teoria dos jogos pode ser útil nos regimes de comercialização de energia elétrica regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que são feitos por meio de leilões. A pesquisa se dá por meio do estudo do leilão adotado pela ANEEL para concessão de lotes de transmissão de energia elétrica, em concomitância com a exploração dos dados disponibilizados pela própria agência, com o objetivo de criar um instrumento de análise para a eficiência destes leilões. Depois destes, foi buscado demonstrar como a teoria dos jogos poderia ser utilizada no processo de tomada de decisões para os leilões propostos, através de alguns de seus mecanismos de atuação.

Palavras chave: Leilões, teoria dos jogos, transmissão de energia elétrica, indústria elétrica.

CERQUEIRA MENDES, Eric. **Electrical power transmission auctions in Brazil: games theory application and discussion of discount bids**. Final Paper. B.Sc. in Industrial Engineering. Campus Macaé. Rio de Janeiro Federal University, 2016.

ABSTRACT

As it was developed and is more applied nowadays, games theory is a fundamental tool for economic analysis and strategic decision-making. It works as a mathematical artifice that attempts to predict the opponent player's strategy; or as it is used in the capitalist market, a competitor company. This is an excellent strategic construction model, which pursues an optimal tactic, according to what competitor companies consider optimal as well. The use of such theory can be substantial in auctions because there is clearly competition based on rising or falling prices, so-called bids. This paper aims to demonstrate how the use and understanding of games theory can be useful in auctions of electrical energy trading schemes, regulated by the Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Research was found through the study of auctions adopted by the ANEEL for concession of electricity transmission lots. In tandem with the use of data provided by the agency, this research aims to create an analytical tool for the efficiency of these auctions. After these instances, it was sought to demonstrate how game theory could be used in the decision making process for the proposed auctions, through some of its mechanisms of action.

Keywords: Auctions, games theory, electric power transmission, power industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Península Ibérica iluminada à noite.....	15
Figura 2.2 - PIB per capita em dólares por consumo de energia elétrica (KWh).....	16
Figura 2.3 - Estrutura Institucional do Setor Elétrico Brasileiro.....	20
Figura 2.4 - Participação das diferentes fontes de energia elétrica	22
Figura 2.5 - Acréscimo de potência instalada anualmente	23
Figura 2.6 - Potência instalada ao longo dos anos.....	23
Figura 2.7 - Esquema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.....	25
Figura 5.1 - Representação das etapas metodológicas	45
Figura 5.2 - Linhas de transmissão leiloadas anualmente em quilômetros	53
Figura 5.3 - Deságio de lances e crescimento de PIB ao longo dos anos.....	55
Figura 5.4 - Risco Brasil de 1999 a 2016	57
Figura 5.5 - Deságio por lotes em sequência de realização.....	58
Figura 5.6 - Média anual de jogadores em lotes com concorrência	60
Figura 5.7 - Proporção de lotes com concorrência por total de lotes	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Participação das fontes de geração de energia elétrica	21
Quadro 3.1 - Matriz de ganhos para o dilema do prisioneiro	31
Quadro 3.2 - Método <i>minimax</i>	34
Quadro 3.3 - Matriz de ganhos para estratégias mistas	37
Quadro 5.1 - Valores de deságio, extensão, RAPs e número de lotes licitados e não licitados anualmente	52
Quadro 5.2 - Comparação entre crescimento do PIB e deságio de lances vencedores ..	54
Quadro 5.3 - Risco País médio anual	56
Quadro 5.4 - Proporção de lotes com concorrência.....	61
Quadro 5.5 - Dados de valores médios para lotes com concorrência em leilões de transmissão	62
Quadro 5.6 - Percentuais de deságio e retorno anual esperado em milhões de reais	63
Quadro 5.7 - Matriz de saldos em milhões de reais.....	63
Quadro 5.8 - Matriz de saldos nominais.....	64
Quadro 5.9 - Matriz de saldos em milhões de reais após 30 anos de concessão	65
Quadro 5.10 - Método <i>minimax</i> aplicado	65
Quadro 5.11 - Matriz de saldos para estratégia mista.....	66
Quadro 5.12 - Matriz de saldos com diferenças de deságio de 8% a partir do ponto de vista da empresa A.....	67
Quadro 5.13 - - Matriz de saldos com diferenças de deságio de 6% a partir do ponto de vista da empresa A.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRADEE - Agência Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BIG - Banco de Informações de Geração

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CENPE – Conselho Nacional de Política de Energia

CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MAE - Mercado Atacadista de Energia Elétrica

Maximin – Maximização de mínimos

Minimax – Minimização de máximos

MME – Ministério de Minas e Energia

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PIB – Produto Interno Bruto

RAP – Receita Anual Permitida

RESEB - Reestruturação do setor elétrico brasileiro

SIN – Sistema Interligado Nacional

TIR – Taxa Interna de Retorno

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
1. Introdução	11
1.1. Contextualização do tema	11
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo geral	12
1.2.2. Objetivos específicos	12
1.3. Estrutura do trabalho	13
2. Setor elétrico	14
2.1. História do Setor Elétrico Mundial	14
2.2. História do Setor Elétrico Brasileiro	17
2.3. Matriz Elétrica Brasileira	21
2.4. Características do Mercado de Energia Elétrica	23
2.4.1 Eletricidade como produto	24
2.4.2. Teoria do monopólio natural e necessidade de regulação	25
3. Teoria dos jogos	27
3.1. A teoria	28
3.2. Dilema do prisioneiro	31
3.3. Tipos de jogos	32
3.4. Equilíbrio de Nash	33
3.5. O método <i>minimax</i>	34
3.6. Outro exemplo de jogo	35
3.7. Jogo de estratégias mistas	35
4. Leilões	38
4.1. Tipos de leilões	38
4.2. Estratégias em lances	39
4.3. Leilão de Vickrey	41
5. Metodologia e resultados	43
5.1. Definição metodológica	43
5.2. Eficiência em leilões	46
5.2.1. Referenciais estratégicos para licitantes	47

5.3. Eficiência nos leilões de transmissão de energia elétrica da ANEEL .	48
5.3.1. Sistemática de leilões de transmissão	48
5.3.1.1. Detalhes da realização do leilão de transmissão	49
5.3.2. Eficiência dos leilões de transmissão	49
5.4. Discussão de valores de deságio encontrados	50
5.5. Uso de teoria dos jogos para estratégias de licitantes	59
6. Conclusões	70
REFERÊNCIAS	72

1. Introdução

1.1. Contextualização do tema

Dentro de um contexto global de constante competição econômica entre instituições, é de extrema valia que exista um método que as auxilie na formação de suas decisões. Empresas utilizam cada vez mais a ciência para seus propósitos estratégicos, principalmente quando se tratam de altos investimentos em mercados competitivos. A teoria dos jogos se postula a ser uma dessas ferramentas, estando presente em diversas áreas, tais como política, sociologia, ciência militar e a estratégia dentro de empresas e governos (FIANI, 2006).

A teoria dos jogos foi desenvolvida em torno do modo em que o indivíduo toma uma decisão, para quando o mesmo está ciente de que suas ações afetam a outrem, e para quando outros indivíduos também possuem o mesmo conhecimento e levam isso em consideração. Essas decisões entre tomadores de decisão individuais são diferentes de outras decisões mais genéricas, porque partem do princípio de que há uma interação entre os tomadores de decisão, cujas decisões têm implicações para outras pessoas (BIERMAN E FERNANDES, 2011).

Em um cenário competitivo como o dos leilões, analisar as estratégias dos demais competidores é de fundamental importância. Para Bierman e Fernandez (2011), o estudo teórico de como se comportam os leilões foi alavancado com o avanço da teoria dos jogos, e hoje a teoria dos leilões é considerada um ramo desta última.

Leilões de concessão pública devem ser objetos de análise ainda mais sucinta, por envolverem aspectos de relevância social para um conjunto de pessoas muito grande. Segundo Campbell (2006), nesses tipos de leilão, além dos resultados positivos esperados por licitantes, deve-se tentar um efeito também positivo para toda uma sociedade. Um ponto que agrada ambos os lados do negócio pode vir a ser alcançado, e uma análise do mesmo pode ser um bom objeto de estudo.

Um dos leilões de concessão pública de maior relevância praticado no Brasil é o leilão de direitos de exploração econômica da transmissão de energia elétrica. Portanto, é de notória importância detalhar este leilão e exemplificar como o uso da teoria dos jogos pode ser um fator determinante de decisão, tanto para empresas licitantes, tanto para o órgão regulatório de energia elétrica do governo federal.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo demonstrar como o uso e entendimento da teoria dos jogos pode ser útil nos regimes de comercialização de direitos de transmissão de energia elétrica regulados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que são feitos por meio de leilões.

Tentou-se expressar que o uso de métodos quantitativos pode ser de extrema valia para tais competições, onde se podem definir estratégias eficientes de lances.

1.2.2. Objetivos específicos

Para que o alcance do objetivo geral fosse realizado, foi sugerida uma diretriz estratégica ramificada em objetivos específicos, que estão expressos abaixo:

- Apresentar as bases conceituais da teoria dos jogos e o seu ramo de leilões, bem como uma análise do atual mercado brasileiro de energia elétrica.
- Identificar modelo do leilão brasileiro de transmissão de energia elétrica.
- Usar base teórica discutida e base de dados disponíveis para discutir a eficiência destes leilões.
- Usar métodos matemáticos para propor uma ferramenta de análise para licitantes e operadores.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho é estruturado em três capítulos de aprofundamento teórico no tema, um capítulo sobre a metodologia de estudo, um capítulo sobre a análise dos resultados encontrados e o capítulo final com as conclusões que podem ser tomadas.

O capítulo 2 visará mostrar a organização do setor elétrico nacional, tendo em vista suas características e o seu modelo de regulação. São mostrados ainda alguns aspectos do mercado de energia elétrica, com seus respectivos agentes econômicos.

O capítulo 3 tratará de demonstrar os referenciais teóricos da teoria dos jogos, utilizando fundamentação matemática, embasamento histórico e alguns exemplos de aplicação.

A teoria de leilões será brevemente vista no capítulo 4. Neste, serão mostrados alguns tipos de leilões e como se dá a estratégia neste tipo de jogo.

A metodologia de pesquisa do trabalho será abordada no capítulo 5. Neste será mostrado que a estrutura metodológica é dividida em quatro etapas, que serão discutidas no capítulo 6. Este último mostrará o que foi encontrado através da pesquisa proposta, com uso constante de gráficos e tabelas. Conceitos como a eficiência em leilões, sua sistemática e o uso da teoria dos jogos para montagem de estratégias serão abordados.

Por fim, o capítulo 7 resumirá o que pode ser concluído de mais importante através da análise de resultados do capítulo anterior.

2. Setor elétrico

Este capítulo fará uma breve revisão e avaliação do mercado de energia elétrica mundial e brasileiro, com enfoque nos agentes envolvidos no mercado nacional. Uma conjectura histórica é avaliada inicialmente, para em seguida poder ser caracterizado o mercado de energia elétrica no Brasil. Um capítulo posterior verificará como é feita a comercialização atual da transmissão dessa energia.

2.1. História do Setor Elétrico Mundial

Segundo Junior et al (2007), uma das indústrias mais importantes e vigorosas da era moderna da humanidade teve seu início datado em 21 de Outubro de 1879, quando um pedaço de algodão, no interior de um globo de vidro e conectado a um dínamo, queimava-se completamente. Tal fato ocorreu na Edison's Menlo Park Laboratory's, no estado norteamericano de Nova Jersey. A empresa girava em torno de seu fundador, Thomas Alva Edison, que viria a ser conhecido como o pai da indústria elétrica.

Desde então, uma série de inventos possibilitou a evolução desta indústria que se tornaria uma das mais importantes da história da humanidade (JUNIOR ET AL, 2007):

- 1879: surgimento da lâmpada de filamento incandescente - Thomas Edison
- 1881: bonde elétrico - E. W. V. Siemens
- 1883: transformador - L. Gaulard e J. Gibbs
- 1884: turbina a vapor - C. Parson
- 1886: desenvolvimento de transformadores e sistemas elétricos em corrente alternada - W. Stanley
- 1888: motor elétrico a indução e sistema polifásico em corrente alternada - N. Tesla
- 1888: medidor de consumo de energia elétrica - O. Shellenberg
- 1889: patente da turbina de impulso - L. Pelton

Após a estabilização deste tipo de energia, o planeta viria a ser iluminado, automatizado e sofreria uma revolução tecnológica (JUNIOR ET AL, 2007). Isso pode ser notado através de imagens de satélites no período da noite, que mostram a dimensão da interferência humana no aspecto visual do planeta, como visto na figura 2.1:

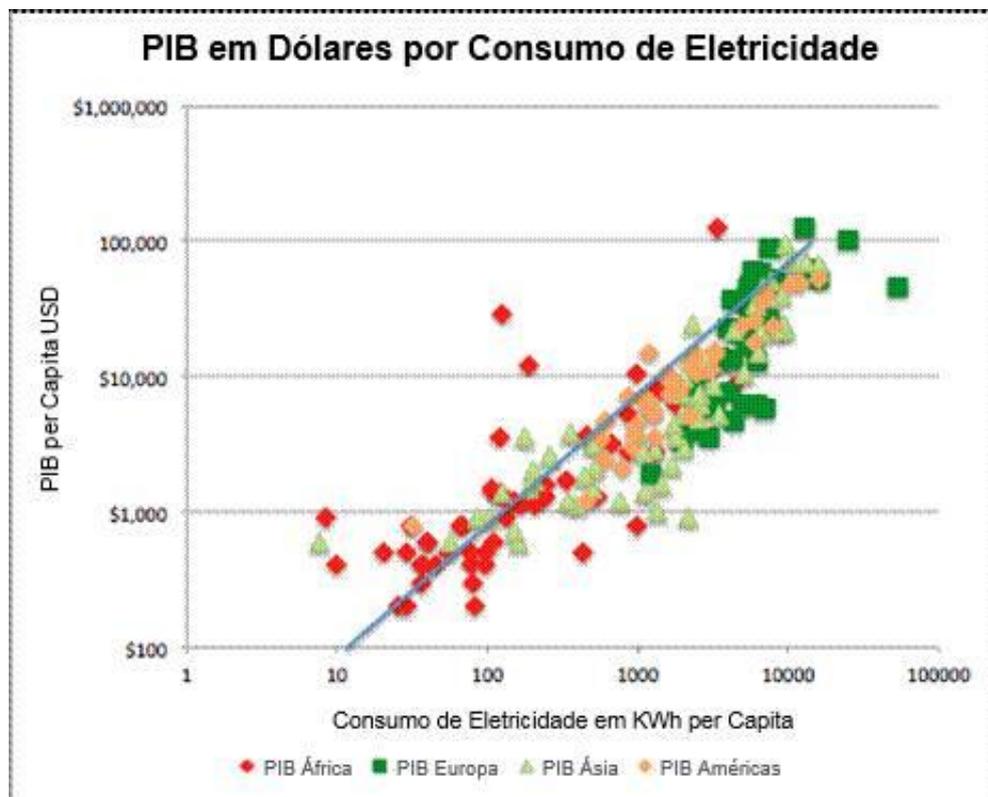
Figura 2.1 - Península Ibérica iluminada à noite.



Fonte: Divulgação/NASA (2014).

O mundo ainda prevê um aumento da demanda de energia elétrica, projetado através da expansão atual de economias emergentes e um potencial crescimento de mercados subdesenvolvidos. Isso pode ser mais bem entendido através da análise de um gráfico de PIB por consumo de eletricidade per capita, aliado à noção de crescimento de PIB de países, conforme apresentado na figura 2.2:

Figura 2.2 - PIB per capita em dólares por consumo de energia elétrica (KWh).



Fonte: Adaptado de NoTricksZone (2012).

É possível notar uma forte correlação entre maior PIB per capita e consumo de eletricidade. Nota-se também uma prevalência de países africanos (em vermelho) na parte inferior do gráfico, e de europeus na superior.

O crescimento de PIB desses países subdesenvolvidos e emergentes parece ser corroborado por uma pesquisa da Deloitte (2014) que prevê um crescimento de 50% das economias africanas entre 2014 e 2019. O crescimento dessas economias, portanto, impulsionará a demanda por energia elétrica mundial.

Para Junior et al (2007), a Revolução da Informação atual também criará mais demanda de energia elétrica, uma vez que possuem uma forte relação de dependência. O desenvolvimento de meios de transporte movidos à eletricidade e de processos industriais cada vez mais automatizados também contribuirão para este aumento de demanda.

2.2. História do Setor Elétrico Brasileiro

Segundo a Agência Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE, 2016), o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro pode ser dividido em cinco períodos. O primeiro se inicia em 1889, quando a República foi proclamada. Este foi um período em que a economia nacional baseava-se na produção de produtos primários para exportação, sendo o carvão vegetal a principal fonte de energia. A crescente indústria do café criava as bases para um período de urbanização forte, que induziu a um aumento de consumo de energia elétrica para iluminação pública.

Ainda segundo a ABRADEE (2016), entre 1930 e 1945, um segundo período histórico do setor elétrico foi caracterizado. Houve uma diminuição na importância das exportações agrícolas e um fortalecimento no processo de urbanização brasileiro. O processo de regularização estatal também começava, por meio do Código das Águas (1934), dando à União exclusividade de outorga de concessões de aproveitamento hidráulico.

O terceiro período deu-se na época do pós-guerra, por ter sido uma época de forte presença do Estado no setor, quando foram criadas diversas empresas estatais para diferentes ramos da indústria. Durante esse período, os investimentos no setor elétrico foram abundantes durante um tempo de pouco mais de 20 anos, quando houve um aumento de 1300 MW para 30000 MW na potência instalada em todo o território nacional (ABRADEE, 2016).

O quarto período, iniciado na década de 80, foi marcado pelos ajustes fiscais decorrentes da crise da dívida externa brasileira, quando houve fortíssimos cortes de gastos e investimentos governamentais. As tarifas de energia foram mantidas baixas, como medida anti-inflacionária. Isso desequilibrou o setor, pois não havia remuneração suficiente para seu equilíbrio econômico. Foi também período de equalização tarifária entre todos os estados brasileiros, desestimulando o aumento de qualidade por concorrência, pois havia subsídios cruzados entre empresas eficientes e ineficientes. Toda essa situação adversa alimentava o debate e criava condições para que houvesse uma reestruturação do setor elétrico nacional.

Diante deste contexto, foi criado um projeto de reestruturação do setor denominado RESEB (Reestruturação do setor elétrico brasileiro), quando o Ministério de Minas e Energia fez as

mudanças institucionais e operacionais necessárias que determinariam como seria o modelo atual do setor. Este foi, portanto, o início do quinto período de desenvolvimento do setor elétrico nacional, que perdura até os dias atuais (ABRADEE, 2016).

Ainda segundo a Agência, o Estado passou a regular o setor mais firmemente, porém sem ser o executor em última instância. Isso foi feito por meio de algumas privatizações e a criação da agência reguladora ANEEL.

Atualmente, o setor elétrico brasileiro é caracterizado por:

- Desverticalização da indústria de energia elétrica, com segregação das atividades de geração, transmissão e distribuição.
- Coexistência de empresas públicas e privadas.
- Planejamento e operação centralizados.
- Regulação das atividades de transmissão e distribuição pelo regime de incentivos, ao invés do “custo do serviço”.
- Regulação da atividade de geração para empreendimentos antigos.
- Concorrência na atividade de geração para empreendimentos novos.
- Coexistência de consumidores cativos e livres.
- Livres negociações entre geradores, comercializadores e consumidores livres.
- Leilões regulados para contratação de energia para as distribuidoras, que fornecem energia aos consumidores cativos.
- Preços da energia elétrica (commodity) separados dos preços do seu transporte (uso do fio).
- Preços distintos para cada área de concessão, em substituição à equalização tarifária de outrora.
- Mecanismos de regulação contratuais para compartilhamento de ganhos de produtividade nos setores de transmissão e distribuição.

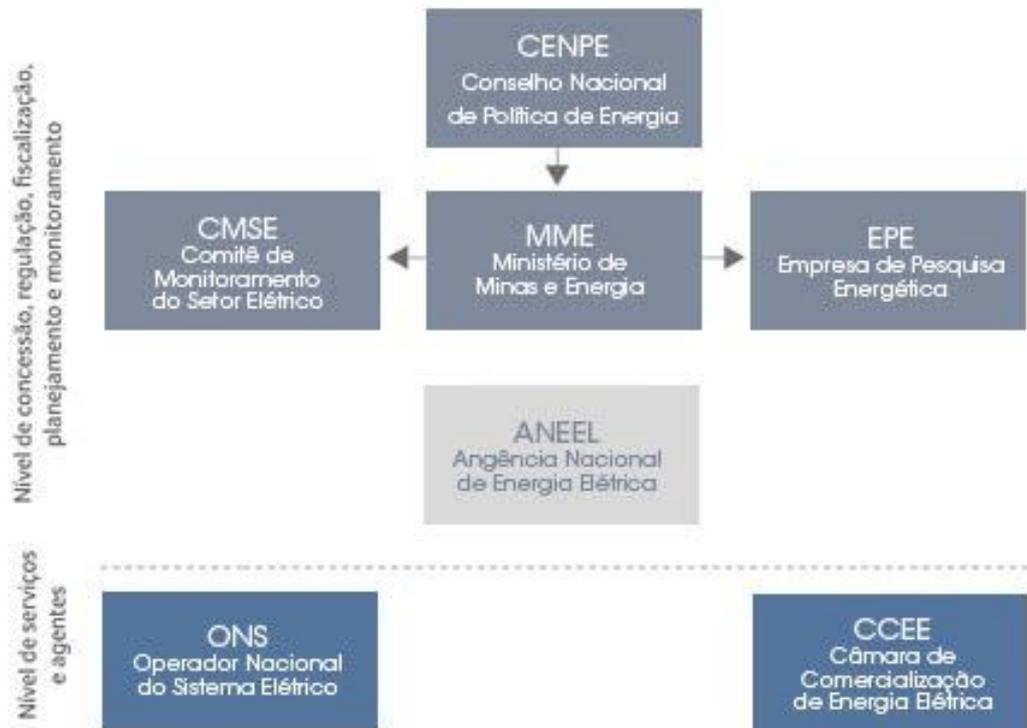
Fonte: ABRADEE (2016).

De forma geral, um novo arcabouço estrutural para o setor foi estipulado através do Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RESEB), lançado em 1996 (TAESA, 2016). Nele, o Ministério de Minas e Energia programou políticas regulatórias para o setor, dentre as seguintes (TAESA, 2016):

- Desverticalização dos setores de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que passaram a ser áreas de negócio independentes, e fundação do segmento de comercialização. Os setores de geração e comercialização seriam desregulados de forma gradativa, com a finalidade de aumentar a competitividade. Os setores de transmissão e distribuição passaram a ser totalmente regulados, pois se tratam de monopólios naturais.
- Criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 1996, vinculada ao MME, que vem a ter a atribuição de regular e fiscalizar as atividades do setor. Uma de suas atribuições é gerir o leilão de lotes de transmissão de energia elétrica, abordados por este trabalho.
- Origem do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), em 1998, que tem o ofício de coordenar e controlar a operação da geração e da transmissão que fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN). Este órgão fica sob fiscalização e regulação da ANEEL.
- Criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) em 2008, que inicialmente era chamada de Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE). Esta é uma empresa sem fins lucrativos que tem a função de fiscalizar ou executar as transações de compra e venda de energia elétrica e realizar a contabilização e liquidação financeira no mercado de energia elétrica de curto prazo.
- Criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2004. Esta é uma empresa pública federal vinculada ao MME, que possui o propósito de colaborar com o planejamento e expansão do setor energético, que envolve energia elétrica e outros tipos de energia.

Um esquema representativo do modelo do setor elétrico é apresentado abaixo:

Figura 2.3 - Estrutura Institucional do Setor Elétrico Brasileiro



Fonte: TAESA (2016).

Em um âmbito geral, todo o planejamento energético do país deve passar pelo MME, sendo este planejamento oriundo do CENPE, que é vinculado à presidência da República e presidido pelo Ministro de Minas e Energia. Outro órgão que compõe o arranjo mostrado acima é o CMSE, que tem a função de garantir o suprimento de energia elétrica em território nacional, o monitorando.

Existe, portanto, uma hierarquia que pode ser bem visualizada na figura 2.3, onde o ONS e a CCEE têm funções relacionadas a serviços, enquanto os demais órgãos têm funções de planejamentos gerais ou específicos (TAESA, 2016). À ANEEL cabe, como agência reguladora, o papel de regular e fiscalizar as operações de produção, transmissão e comercialização de energia elétrica.

2.3. Matriz Elétrica Brasileira

Esta seção tratará de apontar como é a base atual da matriz elétrica brasileira, bem como demonstrar a importância das fontes renováveis dentro do contexto mais genérico da matriz elétrica. Uma breve análise das diferentes fontes de energia elétrica também está incluída.

Conforme é mostrado a seguir, a matriz elétrica brasileira tem forte participação de fontes renováveis em sua geração, principalmente hidráulica. Os dados são do Relatório de Informações gerenciais da ANEEL para o ano de 2015.

Quadro 2.1 - Participação das fontes de geração de energia elétrica.

Fonte de geração / Participação em %

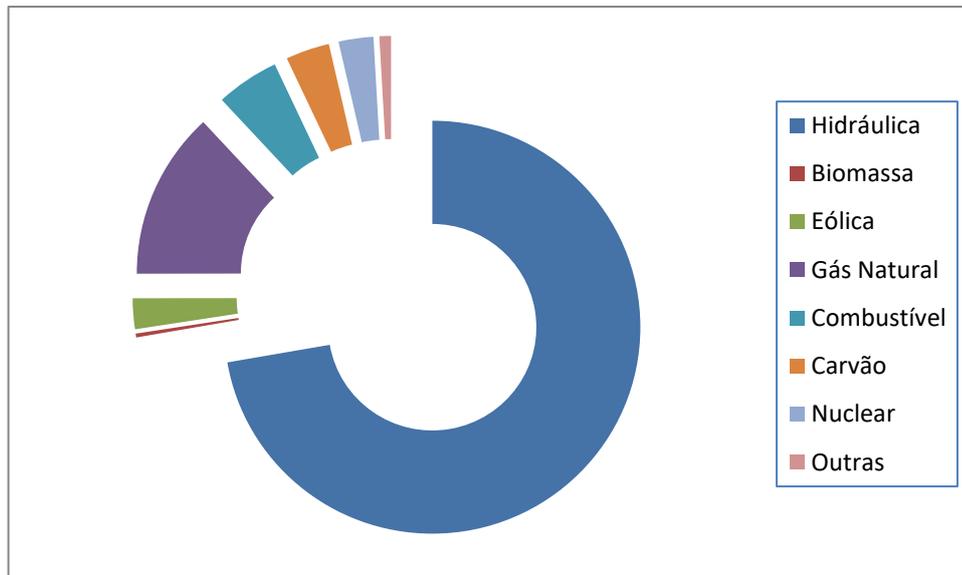
Hidráulica	72,2
Biomassa	0,3
Eólica	2,4
Gás Natural	13,1
Combustível	4,9
Carvão	3,4
Nuclear	2,7
Outras	0,9

Fonte: MME (2015).

Cerca de 70% de toda a energia elétrica produzida atualmente vem das hidroelétricas, o que dá ao Brasil vantagens produtivas, pois seu custo é baixo, com um valor quilowatt/hora menor comparado a diversas outras as formas de produção elétrica (MME, 2015).

Sua dimensão no cenário nacional é bem visualizada no gráfico a seguir, que mostra o tamanho da importância das hidroelétricas na produção nacional.

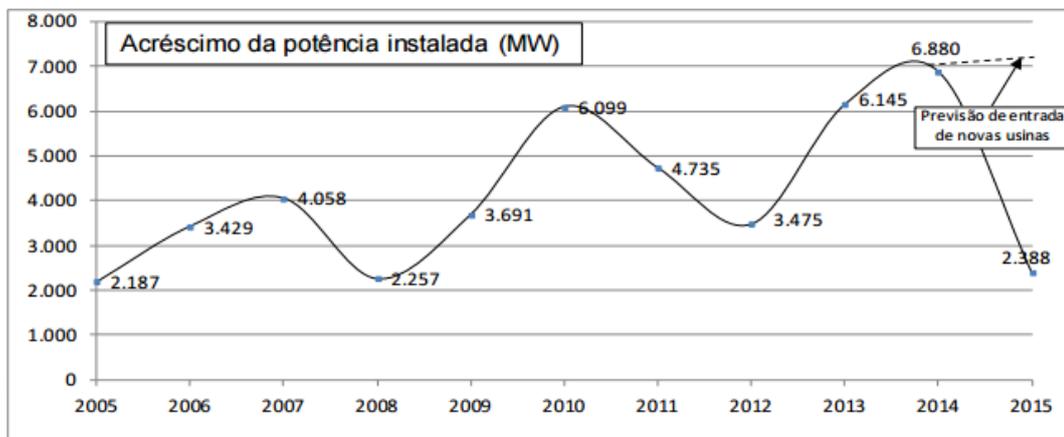
Figura 2.4 – Participação das diferentes fontes de energia elétrica



Fonte: elaboração própria.

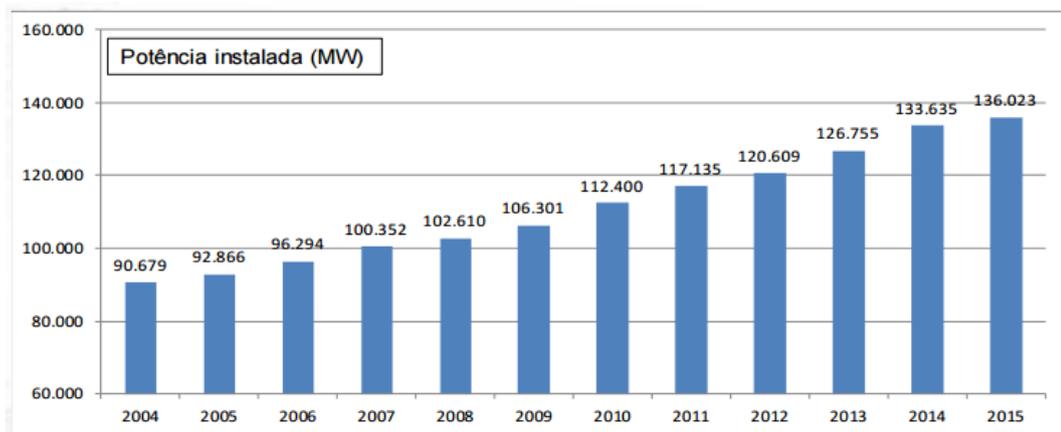
Pode-se ver também que há um acréscimo anual da capacidade de geração instalada, sendo esta oscilante, porém com viés crescente. Isso pode ser elucidado pelo constante aumento de investimentos no setor, conforme argumenta a ABRADDEE (2016), porém também oscilante em virtude das últimas crises econômicas. Vale salientar que estes investimentos geram ganho real de potência instalada a médio ou longo prazo, em razão do tempo de construção e operação de novos empreendimentos geradores, o que pode vir a ilustrar a oscilação de acréscimo de potência. Os acréscimos citados podem ser vistos nas figuras posteriores:

Figura 2.5 - Acréscimo de potência instalada anualmente



Fonte: BIG (2015).

Figura 2.6 - Potência instalada ao longo dos anos



Fonte: BIG (2015).

2.4. Características do Mercado de Energia Elétrica

Segundo Junior et al (2007), a eletricidade precisa de produção como qualquer outro produto, o que a distancia das características da indústria de serviços, porém o resultado de sua produção não é exatamente um produto durável. O seu armazenamento é bem peculiar, logo a gestão de sua cadeia de distribuição também passa a ser mais complexa. Todo o sistema deve ser eletricamente conectado e exige o balanço entre consumo e produção (ABRADEE, 2016).

2.4.1 Eletricidade como produto

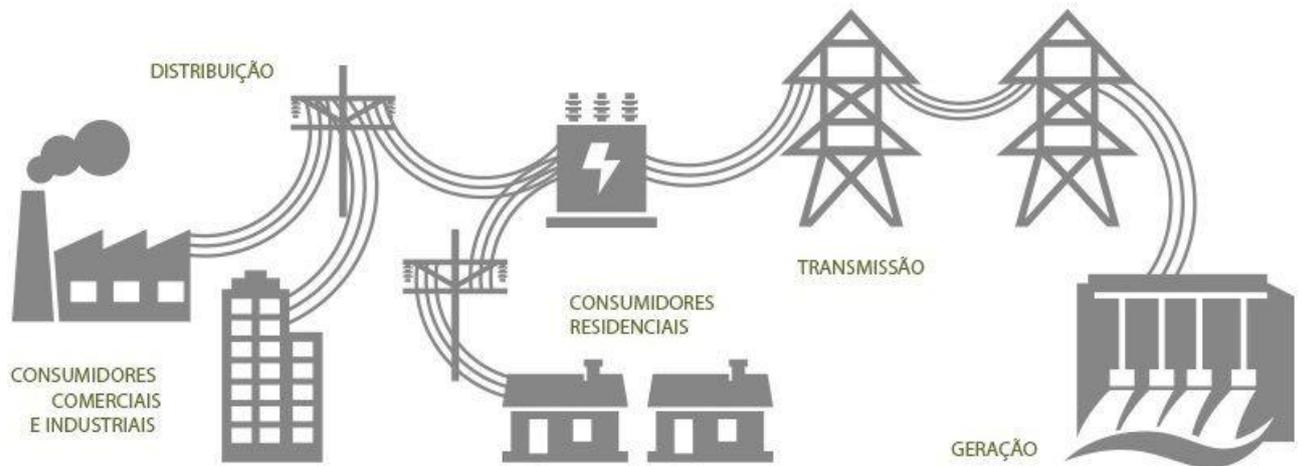
Para Dutra e Sanchesn (2014), uma característica particular da eletricidade como produto é que ela não é estocável, o que cria uma natureza de dois processos que ocorrem de maneira conjunta: geração e utilização. Os processos, porém, não possuem sincronismo, e existe ainda um fluxo que os unem no tempo e no espaço: os processos de transmissão e de distribuição.

Segundo Junior et al (2007), com determinadas características, a indústria elétrica apresenta algumas peculiaridades quanto ao seu modelo econômico: a necessidade de antecipação do comportamento de demanda e a sobrecarga planejada, tanto da produção quanto do transporte, pois a demanda de energia elétrica possui características de curva com períodos de pico e de vale. Há, conseqüentemente, uma forte necessidade de coordenação dos operadores do sistema para que haja redução de custos e garantia de estabilidade e confiabilidade do mesmo.

Esse conjunto de particularidades fez que essa indústria fosse organizada e estruturada verticalmente a partir de suas empresas integradas, e na maioria das vezes, em regime de monopólio (JUNIOR ET AL, 2007).

A figura abaixo mostra, de forma ilustrativa, como são organizados os processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica:

Figura 2.7 - Esquema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.



Fonte: EnergyPro, 2016

2.4.2. Teoria do monopólio natural e necessidade de regulação

De acordo com Junior et al (2007), a estrutura necessária para o surgimento de uma indústria elétrica favorece o aparecimento de monopólios. Em conceito, a rede é um conjunto de lugares geográficos interconectados que formam um sistema composto por inter-relações entre os agentes econômicos. Há, assim, um princípio de organização espacial e territorial explorado pelas indústrias de rede.

Essa natureza sistêmica pode ser explicada por algumas características das indústrias de rede, como a existência de externalidades, a importância das economias de escala, a articulação em torno de uma infraestrutura de base dos diferentes tipos de serviços finais e do serviço de coordenação de rede (JUNIOR ET AL, 2007).

Sharkey (1982) garante que essa infraestrutura de base assegura a conexão, mas a frequência, o ritmo e forma de operação dependem dos critérios de coordenação de rede. Esta tem a finalidade de fornecimento de produto ou serviço por meio da conexão entre fornecedor e usuário. Tais propriedades técnico-econômicas podem explicar a concentração progressiva das

empresas que operam neste setor desde o surgimento da indústria elétrica. Inovações tecnológicas colaboraram para que tais empresas, que inicialmente exploraram serviços locais, fizessem-se regionais ou nacionais. Pode-se explicar então como é dado o surgimento do monopólio na indústria elétrica, de ordem natural segundo alguns cientistas econômicos (STANISLAV, 2012).

Farrer e Giffen (1902 apud JR e SILVEIRA, 1999) identificaram cinco condições fundamentais para que indústria em regime de monopólio natural fosse caracterizada:

- Venda de um produto essencial;
- Ocupação de uma localização favorável para produzir;
- Venda de um produto de difícil estocagem;
- Quando esta se beneficia de economias de escala;
- Obrigação de fornecimento;

Estas características foram encontradas na indústria elétrica em seu início histórico (JUNIOR ET AL, 2007). Richard Ely (1937) contribuiu adicionando uma variável para a relação, a de que a proporção entre custos fixos e variáveis deve ser alta.

Para Posner (1969), a teoria econômica também postula que, quando em regime de monopólio, os preços devem seguir uma regulação do Estado, para que não haja apropriação de lucros extraordinários por parte da empresa monopolista. Entre alguns objetivos da regulação governamental pode-se citar a correção de imperfeições de mercado, incentivo a eficiência, garantia de qualidade do serviço e a manutenção do equilíbrio financeiro da concessão.

Foram criadas agências reguladoras ao redor do mundo a partir das constatações anteriores, sendo a ANEEL a responsável pela regulação brasileira (JUNIOR ET AL, 2007). A ANEEL é responsável por organizar e executar os leilões de concessões de lotes de transmissão de energia elétrica no Brasil. Em um capítulo posterior o modelo deste leilão será abordado.

3. Teoria dos jogos

Para Almeida (2009), os jogos de tabuleiros, dados, cartas, ou os jogos de salão em geral, divertem a população desde a formação das primeiras civilizações, por colocarem as pessoas em situações nas quais vencer ou perder depende das escolhas feitas no início das partidas.

Bierman e Fernandez (2011) afirmam, também seguindo esta linha de raciocínio, que desde os primeiros anos de nossas vidas somos familiarizados com o conceito de estratégia em jogos, sejam em brincadeiras de rua, jogos em tabuleiros, ou até mesmo em pequenas negociações familiares (quando deixamos de pedir algo aos pais momentaneamente, para assim tentar algo que se queira mais posteriormente).

Assim, o jogo se tornou uma ferramenta para o desenvolvimento das pessoas, e despertou um vasto interesse após um longo período de tempo, com o surgimento da teoria da probabilidade. Tais estudos tiveram início com o filósofo, físico e matemático francês Blaise Pascal e o matemático também francês Pierre de Fermat (BIERMAN E FERNANDEZ, 2011).

Para muitos estudiosos a Aposta de Pascal teria sido a fundação da disciplina teoria dos jogos (MLODINOW, 2008). Há quem afirme, porém, que o primeiro matemático a aplicar tal teoria seria Pierre Simon-Laplace, como atesta Ball (1908).

A Aposta de Pascal se consistia de um problema proposto por Pascal sobre os prós e contras dos deveres para com Deus, ou seja, os seus retornos ou *payoffs*. Ele propôs: partamos do pressuposto de que não sabemos se Deus existe ou não e, portanto, designemos uma probabilidade de 50% para cada proposição. Como devemos ponderar essas probabilidades ao decidirmos se devemos ou não levar uma vida regida por sua palavra? Se agirmos de acordo com os ensinamentos e se Deus existir, argumentou Pascal, nosso ganho será infinito, a felicidade eterna. Se, por outro lado, Deus não existir, nossa perda, ou retorno negativo, será pequena, os sacrifícios da piedade. Para ponderar esses possíveis ganhos e perdas, propôs Pascal, multiplicamos a probabilidade de cada resultado possível por suas consequências e depois as somamos, formando uma espécie de consequência média ou esperada. Em outras

palavras, a esperança matemática do retorno por nós obtido com a piedade é metade de infinito (o ganho se Deus existir) menos a metade de um número pequeno (a perda se Deus não existir). Pascal entendia suficientemente o infinito para saber que a resposta a esse cálculo é infinita, e assim, o retorno esperado sobre a piedade é infinitamente positivo. Toda pessoa razoável, concluiu Pascal, deveria seguir as leis de Deus (MLODINOW, 2008).

Deixando de lado a não fundamentação empírica de seus argumentos religiosos, pode-se argumentar que Pascal foi capaz de dar o primeiro passo para a formulação de um estudo quantitativo de estratégias decisórias ideais em jogos.

Segundo ALMEIDA (2009), outro matemático francês, Antoine Augustin Cournot, desenvolveu um estudo para analisar o ponto de equilíbrio na estratégia dos jogos, que era aplicado em casos particulares. Posteriormente, Jonh Nash Forbes Jr desenvolveria um conceito generalizado para este estudo.

3.1. A teoria

Tal como é conhecida hoje, a teoria dos jogos é parte integrante no cenário de análises econômicas e tomadas de decisão estratégicas. Sua forma moderna, conhecida popularmente no meio acadêmico como teoria clássica dos jogos, pode ser creditada aos trabalhos do húngaro John Von Neumann e do alemão Oskar Morgenstern (FILHO ET AL, 2009). Ambos desenvolveram os fundamentos matemáticos que possibilitaram a expansão e o desenvolvimento da teoria dos jogos aos moldes aplicados atualmente (HILLEIR E HIEBERMANN, 2006).

Segundo Almeida (2009), John Neumann provou o teorema *minimax*, que demonstra que há sempre uma solução racional para um conflito bem definido entre dois indivíduos cujos interesses são completamente opostos. Para que fosse desenvolvido, o teorema havia sido deixado aberto pelo matemático francês Émile Borel (1871-1956), que foi o pioneiro deste.

Define-se esta teoria como um ramo da matemática aplicada que se destina a estudar situações estratégicas onde jogadores possam definir ações na expectativa de aumento de retorno. Foi desenvolvida inicialmente para determinar comportamentos econômicos, mas seu leque de

aplicação se estende a muitas outras áreas, como ciências políticas, ciências militares, filosofia, comportamento, ética, entre outras (MYERSON, 1991).

Para Neumann e Morgenstern (1944), a teoria dos jogos é definida como a ciência da estratégia. Faz com que as ações dos jogadores sejam determinadas com elementos lógicos e matemáticas. Os jogadores, que podem ser pessoas ou organizações, devem usá-la para assegurar os melhores resultados para si próprios num conjunto alargado de jogos.

Ainda para Neumann e Morgenstern (1944), a teoria dos jogos é uma teoria matemática sobre conflito e colaboração de situações nas quais jogadores podem se favorecer ou contrariar. A teoria pode indicar uma solução para o jogo, ou seja, a melhor forma de atuar para cada pessoa envolvida.

Adiciona Fiani (2006):

“... trata-se de uma análise matemática de situações que envolvam um conflito de interesses com o intuito de indicar as melhores opções que, sob determinadas condições, conduzirão ao objetivo desejado. Um dos princípios gerais por que se deve guiar uma organização numa situação de conflito é o de prever o futuro e raciocinar sobre o passado. Cada organização ou jogador deve procurar perceber o modo como os outros vão reagir as suas ações, como ela própria vai por sua vez reagir, e assim por diante. O jogador antecipa as consequências das suas decisões iniciais e utiliza essa informação para definir a sua melhor opção em cada momento do jogo.”

Aragones (2006) acredita que este raciocínio irá conduzir a um conjunto de decisões individuais de forma que cada um escolherá o que é melhor para si, considerando que todos os jogadores atuarão da mesma forma. A teoria tem um propósito de analisar como será o processo de decisão em indivíduos sob pressão para fazê-lo, o que contribui bastante para o entendimento do comportamento humano nessas situações.

Segundo Nash (1950), identifica-se três versões distintas para aplicação da teoria dos jogos: a econômica, a psicológica e a sociológica.

Na Versão Econômica, os fenômenos sociais são interpretados por meio dos modelos de jogos de estratégia, ou seja, diante de algumas possibilidades os jogadores escolheriam aquelas

estratégias de ação que lhes fossem mais favoráveis, de acordo com um cálculo acerca de sua probabilidade. Uma estratégia é a lista de opções ótimas para cada jogador ou instituição, em qualquer momento. Diferentes aspectos são analisados, como as consequências das diversas estratégias, possíveis alianças entre jogadores, frequência de repetição de eventos e o grau de compromisso dos contratos, que proporcionam informações sobre as diferentes estratégias aplicáveis (FILHO ET AL, 2009).

Na Versão Psicológica proposta por Nash, a teoria dos jogos se torna ainda mais subjetiva se passar a levar em conta a intencionalidade dos agentes. Neste modelo, uma ideia de racionalidade perfeita não pode ser adotada, pois a ignorância de jogadores deve ser considerada. Assim, as ideias de informação incompleta e utilidade esperada possuem influência decisiva. O modelo adotado é aquele em que a intenção e as expectativas em relação aos outros passam a ser fundamentais.

Considerando um determinado número de ações interdependentes, não há apenas um resultado final, mas sim um indeterminado número de possíveis soluções, de equilíbrio relativo para o sistema. O número possível de soluções se multiplica bastante quando se admite que as pessoas reais, normalmente, buscam táticas suficientes para a realização de suas metas imediatas e não estratégias ótimas (NASH, 1950).

A Versão Sociológica, por sua vez, combina probabilidades lógicas e subjetivas das organizações em seu modelo, adotando as ideias de “mundo aberto” e “observador externo”. O importante passa a ser entender, revisar e superar as contribuições dos jogos ou jogadas anteriores; isso amplia o papel da incerteza porque não faz distinção entre ruído externo e o intersubjetivo. Com isto, a estratégia passa a ter uma função de autoconhecimento (FILHO ET AL, 2009).

A estratégia usual aplicada é a de tentar prever as ações de um segundo ou de múltiplos jogadores, baseado em seus possíveis retornos, e traçando um plano que as considere para um maior retorno próprio. Um exemplo clássico e sempre citado é o dilema do prisioneiro, que é adaptado de Rocha (2008) e apresentado a seguir.

Neste, tem-se uma situação em que dois jogadores têm de prever os movimentos um do outro, a fim de terem a melhor expectativa de retorno. Existem várias versões do mesmo dilema, com

diferentes retornos para as decisões, então um exemplo que é popularmente encontrado será adotado, servindo para sua premissa inicial de apenas exemplificar a teoria dos jogos.

3.2. Dilema do prisioneiro

Dois suspeitos, A e B, são presos pela polícia, que possui provas consideradas insuficientes para condená-los. Desta forma, investigadores decidem separar os suspeitos, oferecendo a ambos o mesmo acordo: se um dos agora prisioneiros decidir confessar e testemunhar contra o outro, e o outro decidir permanecer em silêncio, o que confessou se liberta, enquanto o outro enfrentará uma pena de 10 anos de sentença. Caso ambos fiquem em silêncio e, por consequência, não testemunhem contra o outro, a sentença será de um ano. Já para o caso de ambos confessarem, a sentença terá um total de cinco anos.

Partindo da premissa de que ambos são culpados pelas acusações, os prisioneiros precisam pensar em que estratégia adotar; confessar ou não confessar. A situação pode ser bem visualizada a partir da matriz de ganhos, ou matriz de *payoffs*, do dilema do prisioneiro. Atribuem-se retornos negativos para os anos de sentença, assim o melhor cenário é o de maior valor, sendo este o zero.

Quadro 3.1 - Matriz de ganhos para o dilema do prisioneiro.

A, B	Negar	Confessar
Negar	-1; -1	-10; 0
Confessar	0; -10	-5; -5

Fonte: Rocha, 2008

Pode-se notar que confessar parece ser a melhor alternativa, pois esta fará do prisioneiro A, por exemplo, livre caso o B negue, ou o fará passar 5 anos na prisão, caso o B confesse. Em contrapartida, negar faria com os retornos fossem mais negativos para ambas as decisões de B. A mesma linha de raciocínio serve para ambos os jogadores.

Em teoria dos jogos, diz-se que a estratégia “confessar” é a “estratégia dominante”, pois independentemente da escolha do outro jogador, o ato de confessar sempre trará os melhores retornos. Isso pode ser ampliado para qualquer jogo em que não haja a preocupação com a decisão alheia, pois tal decisão será sempre mais vantajosa. Neste exemplo, como ambos irão escolher confessar, temos que a confessar- confessar é a solução de equilíbrio, ou “Equilíbrio de Nash” (AMADAE, 2016).

3.3. Tipos de jogos

Fiani (2006) apresenta algumas classificações gerais para determinados tipos de jogos. Os jogos são classificados de acordo com sua natureza de formulação e tipo de aplicação. Um jogo pode ser simultâneo se desenvolvido somente em uma etapa, onde a estratégia é escolhida com uma finalidade de risco total e ganho imediato, visto que há somente uma chance. Um exemplo de jogo simultâneo é o par ou ímpar. A decisão tomada não causará implicações futuras, porque o jogo acaba após a revelação do vencedor. Jogos deste formato podem ser representados facilmente na forma normal ou estratégica (JUSTO, 2008).

Quando o jogo se desenvolve em etapas sucessivas, assim como o xadrez, diz-se que este tipo de jogo é sequencial e a decisão tomada em cada etapa criará consequências nas rodadas subsequentes (BIERMAN, 2006).

Um jogo também tem diferenças quanto à interação entre os jogadores. Um jogo pode ser considerado cooperativo quando os indivíduos atuam de forma conjugada, como quando a decisão de cada jogador de um time se baseia na estratégia do grupo. Quando a forma atuante é de isolamento estratégico, o jogo é considerado competitivo (JUSTO, 2008).

O jogo de informação perfeita é classificado quando os jogadores tem ciência de toda a história do jogo até suas decisões tomadas. Já o jogo de informação imperfeita se classificará quando algum jogador, em qualquer momento do jogo, não conhecer seus passos anteriores. O vinte e um (black-jack) é um exemplo de jogo de informação perfeita, portanto a memória é fundamental. Como a habilidade de memorizar muitas cartas não é fácil de desenvolver, e como jogadores saem e voltam constantemente da mesa, esse jogo passaria a ser especificado como jogo sequencial de informação imperfeita (JUSTO, 2008).

Segundo Justo (2008), há, por fim, a classificação quanto ao conhecimento das informações entre jogadores. Um jogo é dito de informação completa quando cada jogador conhece as estratégias e pagamentos dos outros jogadores. Esses pagamentos são os chamados *payoffs*. Geralmente é difícil ter conhecimento de cada *payoff* dos jogadores, portanto a grande maioria dos jogos pode ser identificada como jogos de informação incompleta.

3.4. Equilíbrio de Nash

A maioria dos jogos não apresenta uma estratégia estritamente dominante e uma estritamente dominada como no caso do dilema do prisioneiro. A solução de equilíbrio é aquela que maximizará os ganhos de cada jogador, levando-se em conta que todos os jogadores estão buscando estratégias de maximização, e de que todos analisem as estratégias de jogadores terceiros (BIERMAN E FERNANDEZ, 2011).

Apesar de os participantes não cooperarem, se faz possível que a busca individual de uma solução ótima gere um resultado estável, não havendo nenhum incentivo para que qualquer jogador mude de estratégia ou comportamento. Uma solução de equilíbrio é chamada equilíbrio de Nash (POLAK, 2012).

A definição a seguir ajudará a elucidar quando um equilíbrio de Nash com preferências ordinais (que possuem ordem de preferência) pode ser caracterizado:

Definição (equilíbrio de Nash de jogo estratégico com preferências ordinais): O perfil de ação a^* em um jogo estratégico com preferências ordinais é um equilíbrio de Nash se, para cada jogador i e cada ação a_i de jogador i , a^* é pelo menos tão bom, de acordo com as preferências do jogador i , como o perfil de ação (a_i, a_{-i}^*) , no qual o jogador i escolhe a_i enquanto todos os outros jogadores j escolhem a_j^* . Equivalentemente, para cada jogador i ,

$$u_i(a^*) \geq u_i(a_i, a_{-i}^*) \text{ para cada ação } a_i \text{ do jogador } i,$$

onde u_i é uma função recompensa que representa preferências dos jogadores i 's. (OSBORNE, 2000, p. 21).

Esta definição não implica que todo jogo estratégico possui um equilíbrio de Nash, ou que exista apenas um por jogo. A seção a seguir tratará de uma ferramenta simples de busca por um equilíbrio de Nash, chamada método *minimax*.

3.5. O método *minimax*

Considera-se, em um jogo, que os jogadores atuem de maneira racional. A busca de uma maximização de ganhos sem levar em conta a estratégia do oponente não parece condizer com alta racionalidade. Desta forma, para Almeida (2006), o jogador sempre tenderá a escolher a estratégia que minimizará seus ganhos máximos e que maximizará seus ganhos mínimos, pois sabe que o oponente estará fazendo o mesmo. Tais ações são chamadas de *minimax* e *maximin*, respectivamente.

Quando um elemento é tanto um *minimax* quanto um *maximin*, um equilíbrio é estabelecido, sendo esta a solução do jogo (ALMEIDA, 2006). Um exemplo do método *minimax* do ponto de vista da empresa A é mostrado abaixo através de um jogo de soma zero, ou seja, quando os jogadores possuem interesses diametralmente diferentes e a soma de seus ganhos é zero:

Quadro 3.2 - Método *minimax*.

Empresa 1, Empresa 2	C	D	
A	7	3	Min = 3
B	5	5	Min = 5
	Max = 7	Max = 5	

Fonte: Elaboração própria

No exemplo acima tanto o *maximin* quanto o *minimax* são iguais a 5, portanto a estratégia de equilíbrio é (B, D).

3.6. Outro exemplo de jogo

Em um exemplo adaptado do que foi feito em sala de aula pelo professor da Universidade de Yale Ben Polak em 2012 (VEDUCA, 2016), pede-se para que um grupo de 50 pessoas escolha um número inteiro de 1 a 100. Ganhará R\$100,00 aquele que mais de aproximar de $2/3$ da média achada entre o número escolhido por todos. Existe algum número que seja considerado ideal para ser adotado como estratégia? A resposta é sim.

Como a estratégia vencedora é escolher $2/3$ da média, é de se esperar que nenhum jogador escolha um número acima de 67, que é o número mais próximo de $2/3$ do máximo a ser escolhido. Assim as opções passam a se restringir entre 1 e 67. Novamente, é de esperar que ninguém escolherá um número entre 45 e 67, pois 67 é o número máximo dentro da nova estratégia. Assim, sucessivamente, tem-se que a estratégia dominante neste jogo é a de escolher o número 1, caso todos os jogadores usem a mesma lógica.

No entanto, a definição anterior não implica que uma aplicação real faça com que a estratégia de escolher o número 1 sempre vença, pois as pessoas, em geral, não pensam de maneira semelhante. A estratégia de equilíbrio de valor 1 seria a vencedora se todos os jogadores usassem a mesma forma sofisticada de raciocínio, o que é esperado para ambientes corporativos e que possuam fatores econômicos relevantes, como no caso dos leilões.

3.7. Jogo de estratégias mistas

Por vezes os jogadores adotam um perfil de estratégia pura, que é definida como uma estratégia que mostra uma descrição completa de como o jogador jogará o jogo, sempre com a mesma tática e sem importância da situação ou quantidade de movimentos. Para Sartini et al (2004), existem jogos em que o equilíbrio de Nash é inexistente em estratégias puras. Desta forma, uma das possibilidades de resolução do jogo é fazê-lo em termos probabilísticos.

Em um jogo de estratégias mistas, ao contrário de um perfil de estratégia pura, o jogador passa a considerar uma distribuição de probabilidades sobre as estratégias puras existentes. Existirão, portanto, um conjunto de estratégias mistas p tal que o somatório de todas as estratégias seja igual a 1. Quando uma estratégia mista possui probabilidade 1, esta é chamada de estratégia pura (OSBORNE, 2000).

Um conceito importante para o entendimento da funcionalidade das estratégias mistas são as preferências vNM, que possuem este nome por terem sido desenvolvidas por von Neumann e Morgenstern em 1944. Segundo Osborne (2000), consideram-se três resultados a , b e c , uma loteria P que produz a com probabilidade p_a , b com probabilidade p_b e c com probabilidade p_c , e uma loteria Q que possui esses resultados com probabilidades q_a , q_b e q_c . Em seguida, o pressuposto é que, para cada jogador i existem números $u_i(a)$, $u_i(b)$ e $u_i(c)$ tal que o jogador i prefere a loteria P à loteria Q se e somente se $p_a u_i(a) + p_b u_i(b) + p_c u_i(c) > q_a u_i(a) + q_b u_i(b) + q_c u_i(c)$.

Uma boa definição acerca do equilíbrio de Nash de estratégias mistas em jogos estratégicos com preferências vNM foi feita por Osborne (2000, p. 105):

Definição (equilíbrio de Nash de estratégias mistas em jogos estratégicos com preferências vNM): A estratégia mista de perfil α^* em um jogo estratégico com as preferências vNM é um equilíbrio de Nash de estratégia mista se, para cada jogador i e cada estratégia mista α_i do jogador i , o retorno esperado para o jogador i de α^* é pelo menos tão grande quanto o retorno esperado para o jogador i de $(\alpha_i, \alpha_{-i}^*)$, de acordo com uma função de pagamento cujo valor esperado representa preferências do jogadores i 's entre loterias. Equivalentemente, para cada jogador i ,

$$U_i(\alpha^*) \geq U_i(\alpha_i, \alpha_{-i}^*) \text{ para cada estratégia mista } \alpha_i \text{ do jogador } i,$$

onde $U_i(\alpha)$ é o retorno esperado dos jogadores i 's para a estratégia mista de perfil α (OSBORNE, 2000, p. 105).

A adoção de estratégias mistas em um jogo estratégico é mostrada a seguir em um exemplo arbitrário, para uma matriz de ganhos que não possui um equilíbrio de Nash por estratégia pura:

Quadro 3.3 - Matriz de ganhos para estratégias mistas.

Jogador 1, Jogador 2	C	D
A	1; 2	0; 4
B	0; 5	3; 2

Fonte: Elaboração própria

Nenhuma das estratégias puras acima é um equilíbrio de Nash, portanto uma estratégia mista deve ser estabelecida. Considerando que existe uma probabilidade p_1 de o jogador 1 jogar em A, e $(1 - p_1)$ de jogar em B, então para o jogador 2, quando o mesmo jogar em C, seu retorno esperado é de $2p_1 + 5(1 - p_1)$. Se o mesmo jogar em D, seu retorno esperado será de $4p_1 + 2(1 - p_1)$.

Para que exista um equilíbrio de Nash a partir da estratégia mista, os retornos devem ter valores iguais, pois se um fosse maior que o outro, o jogador 2 só jogaria naquele que tivesse o maior valor. Portanto, $2p_1 + 5(1 - p_1) = 4p_1 + 2(1 - p_1)$. Desta forma o p_1 calculado tem valor de 0,66. Isso implica dizer que dados inúmeros jogos do mesmo tipo, em 66% das vezes o jogador 1 jogará em A.

A mesma maneira de calcular valeria para o jogador 1, gerando um $p_2 = 0,75$. Assim, um equilíbrio de Nash teria um retorno de 0,75 para o jogador 1 e de $\frac{16}{5}$ para o jogador 2.

4. Leilões

Segundo Bierman e Fernandez (2011), o leilão é um sistema de compra ou venda de um bem ou serviço baseado em competição de valores. Podem ocorrer em órgãos públicos, como no modelo de concessões, ou por empresas privadas.

Seus exemplos de uso são abundantes ao longo da história. São encontrados em venda de noivas na antiga Babilônia, de produtos saqueados através das conquistas militares durante o Império Romano, venda de escravos e até mesmo do título de imperador romano. No mundo atual, os encontramos em praticamente todas as esferas, desde pinturas a concessões de exploração energética.

Seus estudos modernos começaram depois da publicação de William Vickrey (1961): “Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders”, que foi um divisor de águas da teoria de leilões (REGO, 2012).

Leilões podem ser abertos, onde qualquer pessoa ou empresa é habilitada a dar o lance desejado, ou fechados, quando os participantes devem ser convidados ou selecionados pelo vendedor. Por vezes os participantes devem pagar uma taxa não reembolsável ou mesmo depositar uma caução, para dar uma garantia de pagamento dos itens no prazo estipulado. Há também o preço de reserva, que ocorre em muitos casos, sendo este o preço mínimo a ser pago pelo item ou o máximo para que uma concessão pública ocorra, como o preço de pedágio em rodovias (BIERMAN E FERNANDEZ, 2011)

4.1. Tipos de leilões

De acordo com Bierman e Fernandez (2011), os leilões são separados em vários modelos distintos, cada um com uma particularidade interessante para o vendedor, para determinado tipo de produto ou serviço.

Em um leilão oral, os participantes anunciam publicamente os seus lances, sendo o processo ocorrido com concorrência direta e instantânea. Já em um leilão com lances selados, os

participantes anunciam seus lances ao vendedor de maneira secreta e por escrito. É um modelo muito usado em concessões governamentais (REGO, 2012).

Para Bierman e Fernandez (2011), há também distinção entre lances ascendentes, descendentes e simultâneos. Em leilões com lances ascendentes, os preços começam baixos e são conduzidos a um aumento por meio de lances concorrentes. Nos descendentes, o processo inverso ocorre. Naqueles que possuem lances simultâneos, os preços começam bem altos e vão se reduzindo, sendo o primeiro participante a aceitar o preço aquele que leva o item. A vantagem destes tipos de leilão é que costumam ser muito rápidos, sendo eficazes para vendas de múltiplos itens.

Segundo Rego (2012), os leilões de primeiro preço, ou por vezes chamados de discriminatórios, são caracterizados por fazer com que o lance mais alto determine exatamente o preço a ser pago. São os tipos usados com mais frequência. Há também os leilões onde o preço adotado equivale ao segundo lance mais alto, ou seja, o do participante perdedor mais próximo do lance vencedor, chamados de leilões de segundo preço.

Há, portanto, um leque bastante extenso de combinações de características para leilões, criando diversas opções a serem analisadas pelo vendedor ou concessor. Exemplos populares são o leilão inglês, caracterizado por ser oral, de primeiro preço e de lances ascendentes e o leilão holandês, que também é oral, de primeiro preço, porém de lances descendentes (BIERMAN E FERNANDEZ, 2011).

4.2. Estratégias em lances

Em leilões, há um conjunto de lances que são ofertados em cada etapa do jogo, definidos como estratégia de jogo (JUSTO, 2010). Com isto, dado i sendo o i – ésimo jogador, o conjunto estratégia do jogador i será:

$$E_i = \{\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im}\}, \text{ tal que } m > 1,$$

sendo o e_{im} o elemento que evidencia o lance ofertado pelo jogador. O fator m indica que há no mínimo duas rodadas no leilão.

O acréscimo de valor entre lances seguintes também é um fator importante. Define-se o incremento da k -ésima rodada, para o jogador i , como sendo:

$$\Delta_{ik} = \alpha_{ik} - \alpha_{ik-1}$$

É importante destacar que, de acordo com as inúmeras combinações de regras que definem um leilão (mostrado na seção anterior), cada leilão tem características restritas, e os seus fundamentos estratégicos tendem a ser diferentes. O conjunto de características diferentes faz com que o valor de incremento seja variado para diferentes leilões, assim como também pode fazer variar o valor inicial proposto pelo vendedor, o chamado valor de reserva (JUSTO, 2010).

Há, no entanto, uma característica inevitável a todos os jogos do tipo leilão: todo lance será igual ou superior ao anterior, para leilões de característica ascendente, assim como serão iguais ou menores para descendentes e simultâneos.

Isto quer dizer que, para o conjunto E , sempre haverá uma função- distribuição monótona (não decrescente, para leilão de preço ascendente, ou não crescente, para leilão de preço descendente). Para o leilão de preço ascendente, tem-se:

$$E = \{\alpha_{ij1} \leq \dots \leq \alpha_{ijk} \leq \dots \leq \alpha_{ijn}\}$$

Onde $k = 1$ até n , é a ordenação dos valores dos lances.

E para leilão de preço descendente, de forma similar:

$$E = \{\alpha_{i1j1} \geq \dots \geq \alpha_{ijk} \geq \dots \geq \alpha_{ijn}\}$$

Onde o n corresponde ao último lance.

O lance vencedor será o e_{ijn} , ou seja, último lance do jogador i , o que faz dele o vencedor.

Para Justo (2010), o único *payoff* (termo mais utilizado em teoria dos jogos para o retorno de um jogo) de valor superior à zero é dado ao jogador vencedor, ficando o restante com *payoff* nulo.

Isto pode ser mais bem demonstrado abaixo:

$$u_i(\alpha_{ijn}) = \text{valor da função retorno do jogador } i \text{ para o lance } s_{ijn}.$$

$$u_j(\alpha_k) = 0, \text{ para todo } j \neq i, \text{ e } k = 1 \text{ até } n.$$

4.3. Leilão de Vickrey

Vickrey, através de análise de três tipos de leilões (inglês, alemão e de primeiro preço) e do uso da teoria dos jogos, demonstrou que os leilões de primeiro preço e alemão (que é aberto e de preços descendentes) são similares). Ademais, considerando a racionalidade e eficiência estratégica de um jogador, o lance será um pouco menor do que o valor máximo que o mesmo pagaria por ele (LUCKING-REILEY, 2000).

Conforme Justo (2010), na análise do leilão inglês, Vickrey percebeu que a mesma racionalidade faria com que o jogador avançasse além do seu preço máximo estipulado, tendo em vista que o valor a ser pago é o do segundo maior lance. Assim sendo, a estratégia dominante passa a ser a de dar uma oferta além da máxima estipulada. Para Vickrey, isso faria com que o jogador atingisse o seu valor de reserva.

Até a época do estudo proposto por Vickrey, não existia um leilão com aspectos do leilão inglês que fosse fechado. Vickrey propôs, portanto, um leilão fechado de segundo preço, que seria posteriormente batizado de leilão de Vickrey. Este leilão é contraditório para muitos, no sentido em que se aceita um pagamento menor do que o lance vencedor (JUSTO, 2010).

Em um capítulo posterior será abordado o conceito de eficiência em leilões, que buscará definir tal eficiência em diferentes tipos de leilão, com enfoque para o de concessão pública, que é o tema deste trabalho.

5. Metodologia e resultados

5.1. Definição metodológica

Este capítulo descreve os métodos empregados de pesquisa para o presente trabalho, assim como a sua eventual importância no cenário acadêmico e as motivações para fazê-lo. O cenário proposto, bem como sua base de dados, também é apresentado. Propõem-se, ainda, uma descrição sucinta de cada etapa da pesquisa, com a elaboração de suas determinadas estratégias.

As estratégias de pesquisa para elaboração de trabalhos acadêmicos são inúmeras, havendo experimentos, pesquisa de dados quantitativos ou qualitativos já existentes, pesquisas históricas, levantamento de dados, entre outras. O tipo de abordagem dependerá do tipo de pesquisa proposta além do controle do observador sobre os dados gerados, e/ou suficiência de dados para um analista.

Neste trabalho uma abordagem quantitativa é adotada, após as definições teóricas essenciais serem apresentadas, onde são usados os métodos observacional e monográfico. Conforme Gil (2008, p. 16 apud PRODANOV E FREITAS, 2013), o método observacional se difere do experimental em alguns aspectos: “nos experimentos, o cientista toma providências para que alguma coisa ocorra, a fim de observar o que se segue, ao passo que, no estudo por observação, apenas observa algo que acontece ou já aconteceu.” Este tipo de abordagem é bastante empregado em trabalhos acadêmicos de variadas áreas, e por muitas vezes em conjunto com outros métodos, como é exibido no presente trabalho (PRODANOV E FREITAS, 2013). Já o método monográfico tem como princípio o fato de um estudo de caso em profundidade poder ser considerado representativo de muitos outros ou mesmo de todos os casos semelhantes (GIL, 2008). Tais casos podem ser indivíduos, instituições, grupos, comunidade, etc. Assim, o processo de pesquisa busca examinar o tema selecionado de modo a observar todos os fatores que o influenciam, analisando-o em todos os seus aspectos (PRODANOV E FREITAS, 2013). O cenário proposto é o de leilões de transmissão de energia elétrica realizados pela instituição ANEEL, o que também criaria um debate para demais leilões de energia, ou leilões em geral.

Uma vez que a pesquisa tem caráter quantitativo, considera-se que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Isto requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, coeficiente de correlação, etc.). No desenvolvimento da pesquisa de natureza quantitativa, devem-se formular hipóteses e classificar a relação entre as variáveis para garantir a precisão dos resultados, o que evita contradições no processo de análise e interpretação (PRODANOV E FREITAS, 2013).

O método geral adotado é dividido em etapas, mostradas a seguir:

Etapa 1: Contextualizar eficiência em leilões, utilizando bibliografia atual para este ramo em teoria dos jogos.

Se buscará, nesta etapa, estabelecer quais são as melhores estratégias para determinados tipos de leilão, tanto para vendedores quanto para compradores. A partir deste conceito, foi possível definir o que seria um leilão com eficiência, principalmente em leilões de licitações públicas.

Etapa 2: Analisar contexto de leilões de energia adotados atualmente pela ANEEL e discutir sua eficiência.

Nesta etapa todos os processos de resolução do leilão específico de transmissão de energia elétrica serão abordados e sua sistemática explorada. A partir dos conceitos da etapa anterior, será possível examinar a sua eficiência.

Etapa 3: Encontrar valores de deságio nos leilões ao longo dos anos e discutir empiricamente se o que é proposto está sendo alcançado.

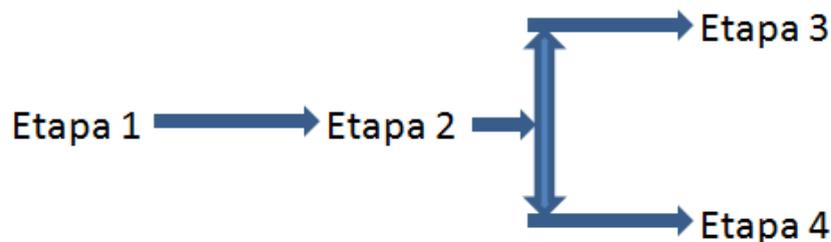
Nesta fase da pesquisa o deságio entre valores de lances será abordado e explorado. Conceitos macroeconômicos serão utilizados, explorados e discutidos. Será procurado obter algumas explicações quanto ao comportamento do deságio ao longo dos anos e discutir os números encontrados para uma análise de eficiência.

Etapa 4: Usar métodos presentes na teoria dos jogos para demonstrar o quanto esta pode ser útil para as decisões estratégicas presentes nesse leilão.

Se procurará mostrar, em termos quantitativos, como se comporta a concorrência nos leilões de transmissão, bem como a maneira em que vem variando anualmente. Após esta primeira aproximação, será utilizada uma situação hipotética, porém bem plausível com a realidade de acordo com os números encontrados, em que se possam empregar ferramentas da teoria dos jogos, a fim de exibir sua funcionalidade para decisões estratégicas deste porte. Alguns dos métodos utilizados serão o *minimax* e o de estratégias mistas.

O seu espaço temporal de realização, ou fluxograma, é apresentado a seguir:

Figura 5.1 - Representação das etapas metodológicas.



As etapas 3 e 4 são, portanto, independentes entre si.

A Etapa 1 é importante na medida em que demonstra como estudos já existentes sobre o ramo de leilões na teoria dos jogos podem esclarecer a eficiência destes leilões. Existem diversos tipos de leilões, cada um contando com um objetivo final, seja apenas o lucro, ou uma garantia de retorno para a sociedade, como será abordado na Etapa 2. Esta última utilizará dos editais fornecidos pela ANEEL para seus últimos leilões de distribuição de energia elétrica para indicar o tipo de leilão utilizado e sua respectiva eficiência desejada.

As Etapas 3 e 4 utilizarão métodos matemáticos para uma breve discussão do que está sendo alcançado pelos últimos leilões, além de tentarem propor um método de decisão estratégica que auxiliaria empresas licitantes sobre a expectativa de recompensa em futuros leilões, respectivamente. A etapa 3 contará ainda com uma análise qualitativa dos efeitos econômicos sobre os resultados encontrados para as concessões dos últimos anos.

5.2. Eficiência em leilões

Pode-se supor que a base da eficiência de um leilão de um bem privado é buscar maximizar o valor que virá a ser pago. A simples maximização do valor do bem é a base principal para que um leilão seja considerado bem sucedido.

Para Justo (2010), existem diferenças, porém, para a ideia de eficiência em concessões públicas. A simples maximização do valor de um bem não pode ser classificada como fator único buscado pelos órgãos realizadores deste tipo de leilão. Faz-se necessário que haja garantias mínimas de que o licitante vencedor esteja hábil a prestar um serviço de boa qualidade.

A administração de forma básica e a duração do tempo de contrato são imprescindíveis, e o estado deve buscar isto a todo custo na realização de um leilão, pois os níveis de serviço básicos prestados à população devem ser mantidos. Não é de interesse estatal que o contrato seja rompido e um serviço estagnado por ineficiência de uma firma (JUSTO, 2010).

Já para o referencial da empresa licitante, a busca de garantia de maximização de retorno é o que será tido como meta, sendo esta maximização encontrada sinônimo de eficiência na ação do leilão. Por esta ótica, pode-se notar que tanto o estado quanto o licitante buscam garantias de funcionalidade do contrato, e não é interessante para o estado que o lucro da licitante seja mínimo. O valor máximo a ser pago em um leilão, ou mínimo no caso de contratação de serviço a ser realizado para o estado, é tido como o preço de reserva (JUSTO, 2010).

Conforme afirma Campbell (2006), quando o estado concessionaria um serviço público, ele não persegue a maximização de seu retorno. Ao invés de utilizar esta estratégia, o estado busca encontrar a empresa que possui as maiores garantias de que irá cumprir o contrato e prestará um serviço eficiente. Porém, mesmo sem usar tal estratégia, é importante mencionar que altos valores de deságio indicam alto interesse na aquisição de um bem público, o que é um sintoma de boa prestação de serviço, ou seja, de um bom cumprimento de contrato.

Desta forma, o estado irá se empenhar na busca da empresa que possuir o maior valor de reserva a ser ofertado pela concessão, para em diante transferir os direitos.

5.2.1. Referenciais estratégicos para licitantes

Alguns modelos estratégicos são adotados por parte dos licitantes, e é papel do órgão realizador do leilão identificá-las a fim de levar em conta tais informações em prol de um modelo de leilão que trará benefícios para a sociedade como um todo. Para Vickrey (1961), há um equilíbrio para o qual cada licitante adota a mesma estratégia, e atendo-se ao fato de que cada lance é resultado de uma função crescente das avaliações individuais que cada empresa tem do que está sendo leiloadado, o conjunto de estratégias idênticas forma uma estratégia ótima que configura um equilíbrio de Nash.

Ainda segundo Vickrey, os modelos de leilão demonstrados no capítulo 4 produzem, em média, a mesma receita esperada pelo vendedor. Esta proposição é conhecida como o “teorema de equivalência de receita”, onde o formato de leilão escolhido é irrelevante, haja vista que produzirá o mesmo resultado em média (DURÃES, 1997).

Para Milgrom e Weber (1982), se um único objeto indivisível está sendo leiloadado, então um leilão discriminatório é equivalente a um leilão de preço descendente. Isso acontece porque as estratégias ótimas para os licitantes, assim como o preço de venda, serão as mesmas para os dois modelos.

Como mostrado no capítulo 4, existe uma contradição em torno do leilão de segundo preço. É cabível o pensamento de que um leilão de segundo preço produza menor receita do que um leilão de primeiro preço, visto que neste tipo de leilão os ganhadores pagam por seus próprios lances, enquanto que em leilão de segundo preço paga-se pela oferta perdedora mais alta (DURÃES, 1997). Porém, para Bikchandani e Huang (1993), isso não acontece, porque em um leilão de segundo preço os licitantes agem de forma mais agressiva. Isto tende a igualar as receitas entre estes tipos de leilões.

Maskin e Riley (1985) argumentam que o comportamento dos licitantes que não se atém a riscos não varia em leilões abertos. Deste modo, as receitas tendem a permanecer inalteradas, pois os licitantes fazem propostas até que o preço vigente preencha sua avaliação do bem. Em lances selados, porém, considera-se que a receita esperada tenda a ser maior se comparada à mesma em leilões abertos, pois os licitantes ficariam mais receosos quanto a uma ocasional derrota.

Isto cria um cenário de mais agressividade, e em consequência, mais retorno esperado em receita para o vendedor (DURÃES, 1997).

Considerando o cenário anterior proposto, que é de aumento de risco para os licitantes, é bastante plausível que leilões de concessão pública sejam feitos de maneira aberta, ainda que parcialmente. Isto é elucidado por ser de interesse dos órgãos públicos que os licitantes joguem de maneira consciente e cautelosa, a fim de avaliarem melhor os riscos e as expectativas de execução de contrato futuro, dados os preços decorrentes das estratégias de risco.

Para o caso de serem secretos, é importante que haja um esforço para a garantia de cumprimento de contrato. Muitas vezes são explicitadas em edital severas sanções para ocorrências de descumprimento do mesmo, por meio de multas proporcionais (FERNANDES, 2013).

5.3. Eficiência nos leilões de transmissão de energia elétrica da ANEEL

5.3.1. Sistemática de leilões de transmissão

Em conformidade com último edital de licitação para a concessão de serviço público de transmissão de energia elétrica lançado até o presente trabalho, de Número 13/2015 da ANEEL, serão analisadas as etapas de realização do mesmo.

De início, as empresas aptas a participar do leilão são obrigadas a entregar um envelope fechado com o valor de seus respectivos lances, ou mesmo a manifestação de não interesse em concorrer em licitação para o lote. Ainda nesta proposta, a empresa licitante deve exibir todas as despesas com aquisições, indenizações, serviços, obras, tributos e demais custos relacionados com a construção, montagem, operação e manutenção das instalações de transmissão, assim como os gastos para o cumprimento da legislação ambiental vigente, questões trabalhistas, previdenciárias, tributárias e outros gastos de mesma natureza.

Há um valor proposto como Receita Anual Permitida (RAP), que é o valor máximo de receita que a licitante vencedora do leilão poderá arrecadar em um ano e, portanto, este é o valor

utilizado como base para a estrutura do leilão. Este montante é instituído pelo REIDI (Regime Especial de Incentivo para o Desenvolvimento da Infraestrutura).

Será declarada vencedora do leilão a licitante que ofertar o menor valor de Receita Anual Permitida em reais por ano. A RAP corresponderá a uma receita pela contratação dos serviços públicos de transmissão das instalações de cada lote, esta sendo em reais por mês. O período de contrato é de 30 anos a partir da assinatura do contrato de concessão.

5.3.1.1. Detalhes da realização do leilão de transmissão

O diretor do leilão, com local, data e horários preestabelecidos em edital, recebe os envelopes fechados com as referidas propostas financeiras. O processo de recebimento dos envelopes só é iniciado ao anúncio de resultado do leilão predecessor.

A partir desta checagem, será declarada vencedora do leilão aquela licitante que oferecer o menor valor de RAP, desde que os valores propostos pelas concorrentes sejam ao menos 5% maiores que o montante da vencedora, sendo percentual de comparação relativo ao valor de RAP inicial do lote. Isso indica que é essencial a tentativa de previsão da estratégia das oponentes para a participação deste leilão.

Caso isto não ocorra, ou seja, haja uma empresa que oferte um valor com uma diferença menor do que 5% em relação ao valor vencedor, então o leilão continuará com lances sucessivos efetuados a viva-voz.

Os lances em viva-voz serão sempre menores que aqueles apurados nos envelopes, e esta rodada de lances se encerrará assim que não houverem mais propostas. Vencerá aquela que ofertar o menor valor. Após o fim do leilão, de imediato a licitante vencedora de cada lote irá ratificar sua proposta por intermédio de Termo de Ratificação de Lance incluindo o lance vencedor.

5.3.2. Eficiência dos leilões de transmissão

É de se notar, portanto, que o leilão referido possui duplas características quanto à sua realização. Inicialmente ele é secreto e de primeiro preço (um leilão holandês de lances secretos), e posteriormente, caso seja necessário, passa a ser aberto. Contudo, também de primeiro preço (leilão inglês).

Isso faz com que o jogador, neste caso a licitante, tenha de possuir uma estratégia inicial de vencer na primeira etapa ou continuar no jogo, sendo este secreto, e uma subsequente de menor risco, com o leilão sendo aberto.

Como definido na seção 6.1, um leilão parcialmente aberto faz com que, ao menos, uma estratégia de total risco seja praticada pelas licitantes, como seria em leilão totalmente fechado, acarretando maiores condições para cumprimento de contrato. No entanto, com o início secreto e uma margem de apenas 5% de deságio entre concorrentes para o acontecimento da etapa seguinte, é de se esperar que as licitantes não atuem com total cautela. Portanto ainda há uma estratégia de risco sendo empregada.

A preocupação governamental quanto ao cumprimento do contrato pode ser atenuada por meio de algumas sanções já estabelecidas em edital. Estas sanções são explicitadas na Garantia de Fiel Cumprimento, que corresponde a 10% do investimento calculado pela ANEEL para o lote licitado.

Diante de tais características, pode-se exprimir que o leilão de transmissão de energia elétrica aparenta ser eficiente ao que se propõe, que é garantir que a empresa mais preparada faça a transmissão com uma operação de qualidade.

5.4. Discussão de valores de deságio encontrados

Nesta seção serão discutidos os valores de deságio encontrados ao longo dos leilões de transmissão de energia elétrica entre os anos de 1999 e 2015.

É importante deixar claro que se trata de uma análise rápida para início de contextualização dos dados disponíveis para estes leilões, pois uma análise sucinta deve compor as diversas variáveis econômicas que envolvem grandes diferenças de deságio.

Como bem explicado por Rocha et al (2013), estas variáveis podem incluir o tipo de empresa (como mostrado que as estatais tendem a vencer mais leilões), o tipo de participação (se por consórcio ou empresas isoladas), a Taxa Interna de Retorno (TIR), benefícios fiscais para aquisição do lote, o Risco Brasil para o ano referido e o número de participantes por lote.

Vale ressaltar ainda o papel da chamada “maldição do vencedor”, que existe quando uma empresa deseja muito um lote e, portanto, fará um lance com um deságio bem alto comparado aos demais, com deságios médios da ordem de 40%, como bem destaca Rocha et al (2013).

O que se propõe nesta seção é expor os valores de deságio encontrados, assim como o número de lotes não licitados por ano, para que se faça uma boa estimativa de retorno encontrado pela ANEEL ao longo destes anos. Dentro do que foi discutido para eficiência em leilões, e seguindo a forma de sua realização para o de transmissão, arrisca-se externar que o próprio sucesso na comercialização do lote no leilão já poderia propor que o mesmo foi eficiente. Nota-se, no entanto, que um valor de deságio alto demonstra uma alta iniciativa da empresa vencedora em adquirir aquele lote, o que pode dar um sinal de um bom cumprimento de contrato e garantia de qualidade, como já exposto na seção 6.1.

Além disso, esta seção também serve para uma inicial familiarização dos dados disponibilizados pela ANEEL, que será importante na seção 6.4, onde serão formadas estratégias para condução dos lances nestes leilões, com o uso da teoria dos jogos.

Os dados de deságio encontrados para os leilões de transmissão realizados no período de tempo entre 1999 e 2015, bem como a extensão em quilômetros das linhas de transmissão e os valores de RAP em edital e atingido nas propostas, são mostrados em sequência:

Quadro 5.1 - Valores de deságio, extensão, RAPs e número de lotes licitados e não licitados anualmente.

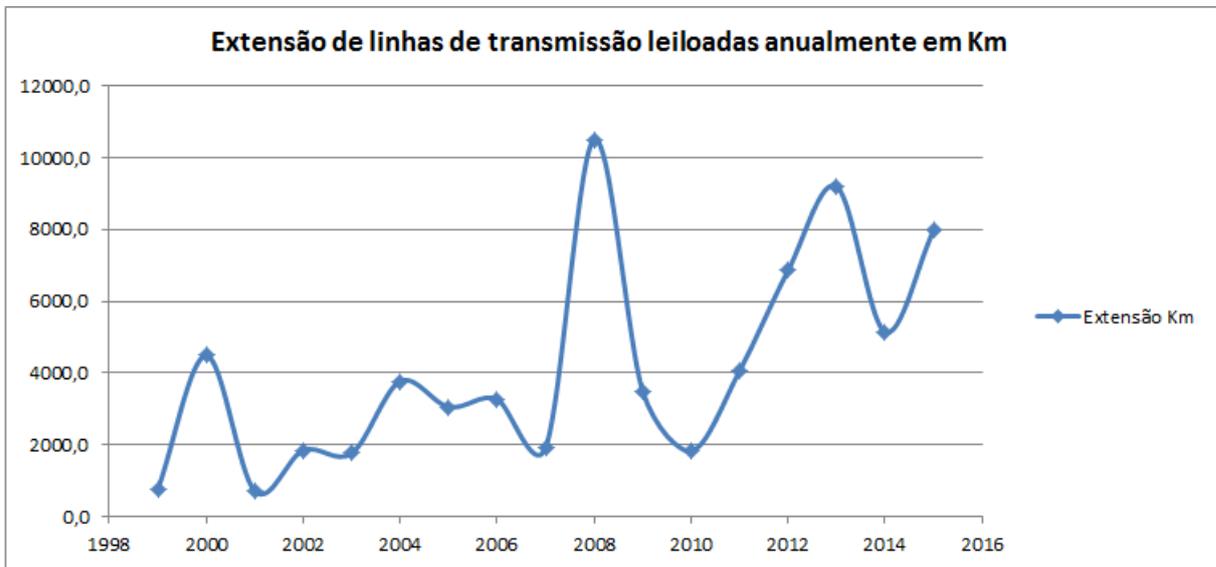
Ano	Extensão Km	RAP Edital R\$ x 1000	RAP Proposta R\$ x 1000	Número de grupo de lotes	Deságio	Número de grupo de lotes não leiloados
1999	764,0	95175,56	75882,12	3	20,3%	0
2000	4489,0	566342,36	554650,80	6	2,1%	0
2001	711,0	63322,28	62823,15	7	0,8%	3
2002	1850,4	213922,36	192921,77	8	9,8%	0
2003	1771,0	410239,57	249273,98	7	39,2%	0
2004	3772,4	635549,67	387299,34	13	39,1%	1
2005	3055,8	511528,05	289929,26	5	43,3%	0
2006	3275,0	322789,06	159841,78	13	50,5%	0
2007	1930,0	148562,52	67097,82	7	54,8%	0
2008	10507,8	1391639,60	1210833,47	29	13,0%	1
2009	3497,2	391221,99	296072,90	20	24,3%	1
2010	1829,2	216434,12	129266,83	21	40,3%	2
2011	4068,5	628486,54	452818,88	24	28,0%	1
2012	6862,5	954938,01	705244,30	23	26,1%	3
2013	9195,4	1648288,43	1287969,51	39	21,9%	14
2014	5144,0	998530,75	882271,85	22	11,6%	10
2015	7982,0	2091660,40	1850765,27	24	11,5%	15

Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Em uma análise inicial, nota-se uma tendência de aumento das concessões governamentais de linhas de transmissão ao longo dos anos. Isso mostra um aumento de investimentos no setor, o que é natural para uma economia em crescimento como a brasileira.

Esta ampliação pode ser verificada no gráfico abaixo:

Figura 5.2 - Linhas de transmissão leiloadas anualmente em quilômetros.



Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Isso demonstra o potencial deste mercado, que possui tendência de aumento em concomitância com o crescimento do país e seu correspondente crescimento da demanda energética.

Pode-se perceber ainda que os números de deságio têm grandes variações anuais, o que pode ser explicado por diversos fatores, como os citados no início desta seção. Porém, por mais que aparentem ter uma aleatoriedade alta, sabe-se que esses valores podem possuir algumas tendências.

Um dos aspectos que constituem especulações no meio corporativo é a saúde financeira do país, que pode ser bem dimensionada através da variação de PIB referente ao ano. É, portanto, conveniente usar os dados de crescimento de PIB no Brasil como um bom indicador de comportamento de deságio de lances nos leilões de transmissão de energia elétrica, haja vista que um deságio alto reflete um desejo alto de investimento entre as licitantes.

Uma tabela comparativa é mostrada abaixo, com os valores de crescimento de PIB e o deságio dos lances vencedores nos referidos leilões:

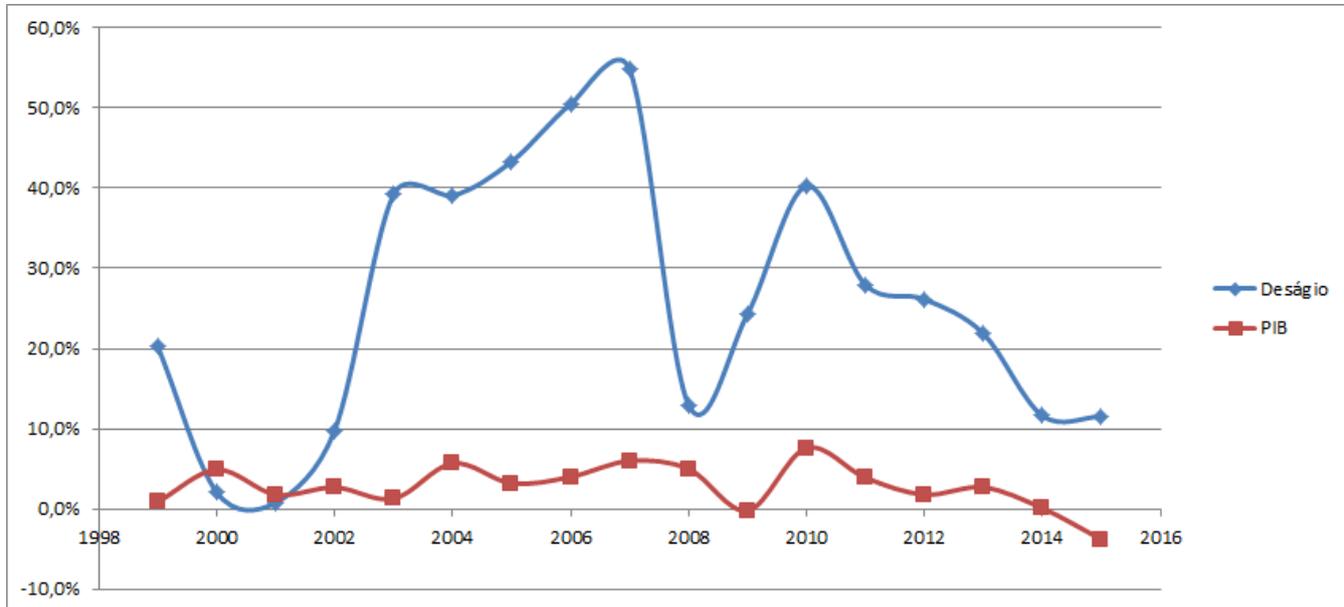
Quadro 5.2 - Comparação entre crescimento do PIB e deságio de lances vencedores.

Ano	PIB	Deságio
1999	0,9%	20,3%
2000	4,9%	2,1%
2001	1,8%	0,8%
2002	2,7%	9,8%
2003	1,3%	39,2%
2004	5,7%	39,1%
2005	3,2%	43,3%
2006	4,0%	50,5%
2007	6,0%	54,8%
2008	5,0%	13,0%
2009	-0,2%	24,3%
2010	7,6%	40,3%
2011	3,9%	28,0%
2012	1,8%	26,1%
2013	2,7%	21,9%
2014	0,1%	11,6%
2015	-3,8%	11,5%

Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Essa comparação pode ser mais bem visualizada através do gráfico abaixo:

Figura 5.3 - Deságio de lances e crescimento de PIB ao longo dos anos.



Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Visualmente, o deságio aparenta sofrer de certa sensibilidade em relação ao comportamento do crescimento do PIB. De fato, há um índice de correlação das variáveis envolvidas de 0,43, o que mostra uma correlação fraca, porém não desprezível de acordo com a grande quantidade de variáveis que podem interferir no resultado dos deságios.

Pode-se ver ainda que os dados parecem se alinhar um pouco mais a partir do ano de 2004, que, por coincidência ou não, foi um ano de baixa instabilidade política comparada aos anos anteriores, quando havia incertezas em relação à transição do governo federal. Isso pode ser realçado através da evolução dos números do Risco Brasil, que mede o grau de risco de se investir no país, como exposto na tabela e no gráfico abaixo. Quanto maior o índice, maiores os riscos de se investir. Os dados estão entre 1999 e 2016:

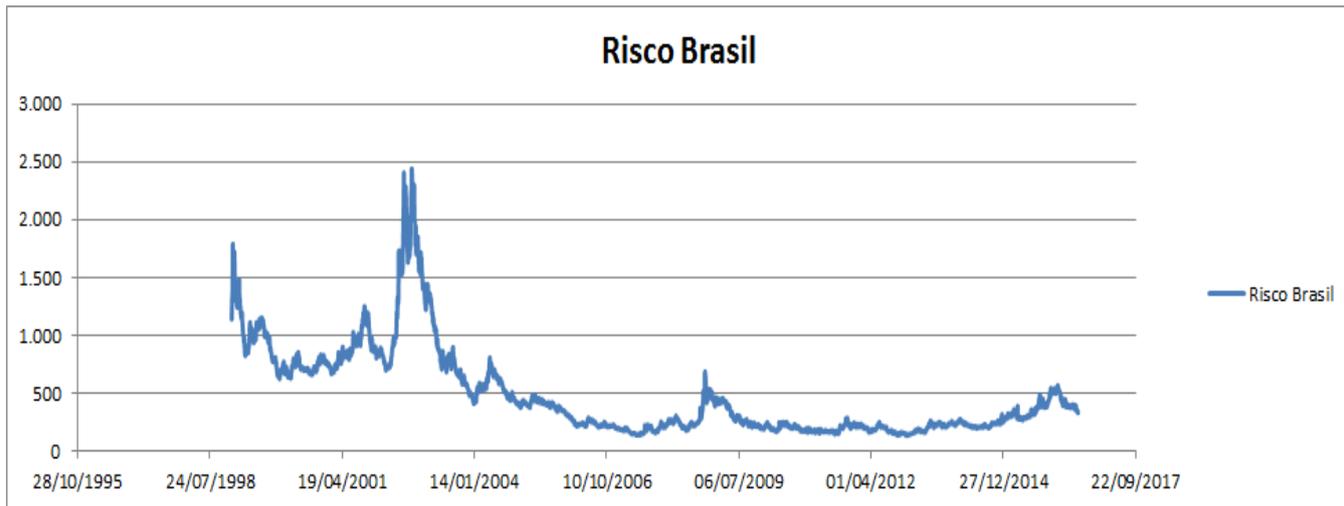
Quadro 5.3 - Risco País médio anual.

Ano	Risco País Médio
1999	1036
2000	727
2001	890
2002	1372
2003	837
2004	542
2005	399
2006	235
2007	181
2008	301
2009	306
2010	202
2011	193
2012	184
2013	205
2014	230
2015	345
2016	434

Fonte: Elaboração própria/ Dados: IPEA

Nota-se uma alta instabilidade no período antecessor a 2004:

Figura 5.4 - Risco Brasil de 1999 a 2016.



Fonte: Elaboração própria/ Dados: IPEA

Com efeito, o índice de correlação do deságio em relação ao PIB a partir de 2004 é de 0,65, o que ainda não pode ser classificado como uma correlação forte, mas dadas as inúmeras variáveis para a mensuração de deságio, é considerável.

Comprova-se a afirmação anterior através de um teste de hipóteses para o índice de correlação encontrado. Para efeito, tem-se que $H_0: \rho = 0$ e $H_1: \rho > 0$, ou seja, a hipótese nula é a de que não exista correlação ($\rho = 0$) e a hipótese 1 de que exista ($\rho > 0$).

Um teste de hipótese é feito para $\rho = 0$. A estatística Student é utilizada por haverem poucos graus de liberdade, o que significa que o tamanho da amostra é pequeno, com apenas 13 elementos.

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Sendo r o índice de correlação e N o número da amostra. Assim:

$$t = \frac{0,65\sqrt{13 - 2}}{\sqrt{1 - 0,65^2}}$$

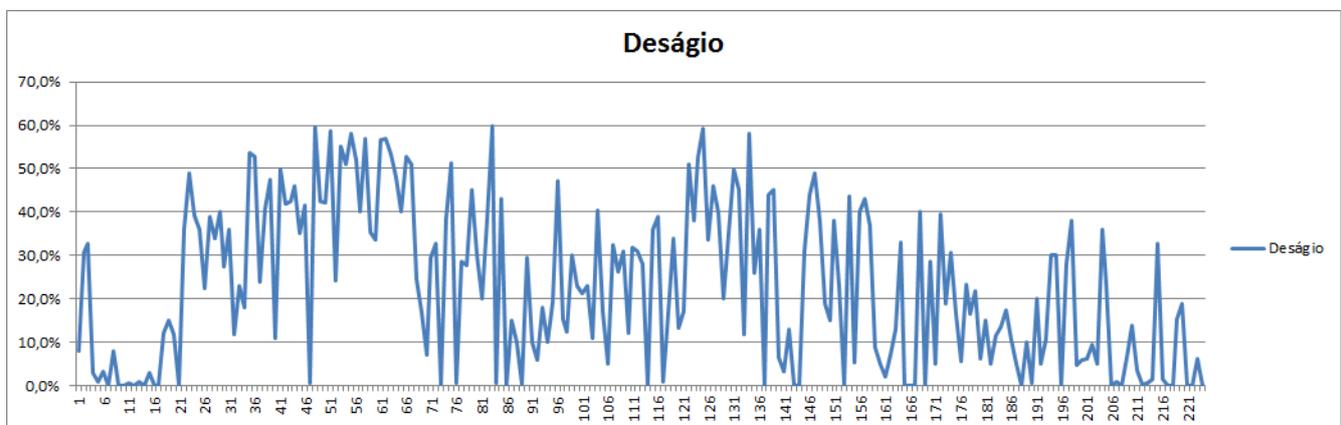
Desta forma $t = 2,836$. Para um nível de erro de apenas 1%, rejeita-se H_0 se $t > t_{99} = 2,72$. Portanto, com o t calculado, a hipótese nula é rejeitada, existindo assim uma correlação entre o deságio de lances e o PIB.

Houve também uma tentativa de encontrar uma correlação entre os valores de Receita Anual Permitida e deságio, em um ensaio para haver mais conhecimento sobre o comportamento dos jogadores acerca de cifras muito altas, ou seja, se os mesmos teriam um receio de criar uma estratégia arriscada. Porém, um índice de -0,03 de correlação para os 224 lotes leiloados por completo entre 1999 e 2015 mostra que este fator não parece ter qualquer relevância.

Isto dá margem para que o deságio seja analisado sozinho quanto ao sua variação ao longo dos 224 lotes vendidos no intervalo de tempo analisado.

Abaixo, pode-se ver que apesar de haver variações aleatórias entre lotes vendidos em intervalos de tempo próximos, parece haver uma tendência motivada por motivos externos:

Figura 5.5 - Deságio por lotes em sequência de realização.



Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Parece haver também, de acordo com a tabela 6.1, um aumento anormal da proporção entre o número de lotes não leiloados e o número total colocado a leilão a partir de 2013. Isso mostra que o leilão de transmissão aparenta ter perdido um pouco de sua eficiência, em conformidade com o que foi definido como eficiência para este leilão na seção 6.2. O acarretamento das crises econômica e política pode ser um fator preponderante para tal.

5.5. Uso de teoria dos jogos para estratégias de licitantes

Uma das etapas de maior importância, e por consequência de maior risco, no leilão de transmissão de energia elétrica regulado pela ANEEL é a de lances em envelopes fechados. Ela se caracteriza por ser um leilão do tipo holandês secreto, ou seja, é de primeiro preço e de preços descendentes.

Para que um licitante ou jogador, como será tratado a partir de agora, vença ou ao menos se garanta na próxima etapa deste leilão, ele deve oferecer um lance que seja ao menos 5% menor que o segundo menor lance, ou ter o segundo menor preço, porém não maior do que 5% do lance vencedor um eventual não sucesso nessa etapa significa uma derrota total no jogo, ou seja, perda do lote.

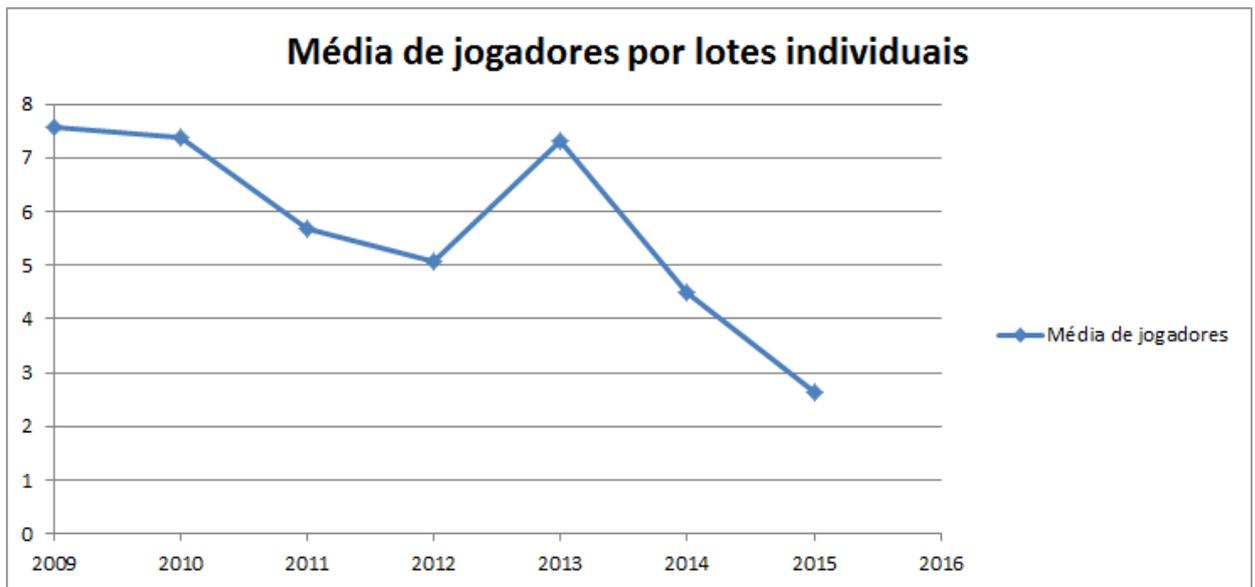
A construção de uma estratégia vencedora nesta etapa, ou de permanência para a etapa de lances orais é substancial para um jogador que valorize o jogo. Uma ferramenta que auxilie a construção desta estratégia tem valor significativo.

Foi feita uma análise dos lances vencedores e perdedores em todos os lotes leiloados que tinham 2 ou mais jogadores entre 2009 e 2015, e que tenham dois ou mais lances, ou seja, que tenham característica de concorrência. Estes dados são disponibilizados pela ANEEL, e buscou-se encontrar uma média de deságio para os lotes caracterizados, assim como uma média dos valores máximos de RAP, de lances vencedores na etapa de envelopes secretos, dos segundos menores lances (que também podem ser vencedores ao passarem para a etapa de lances orais), e o valor de corte, que é o valor do lance vencedor mais 5% sobre o mesmo.

Antes de empregar diretamente a teoria dos jogos para a tratativa de dados, é oportuno caracterizá-los quanto ao seu comportamento encontrado durante a pesquisa.

Inicialmente, é possível notar que, em números brutos, parece haver uma queda no número de jogadores que participam dos leilões para os lotes individuais de transmissão. Isso pode ser explicado pelos fatores expostos na seção 6.3, ou por um aumento do número de consórcio de empresas contra concorrentes individuais.

Figura 5.6 - Média anual de jogadores em lotes com concorrência.



Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

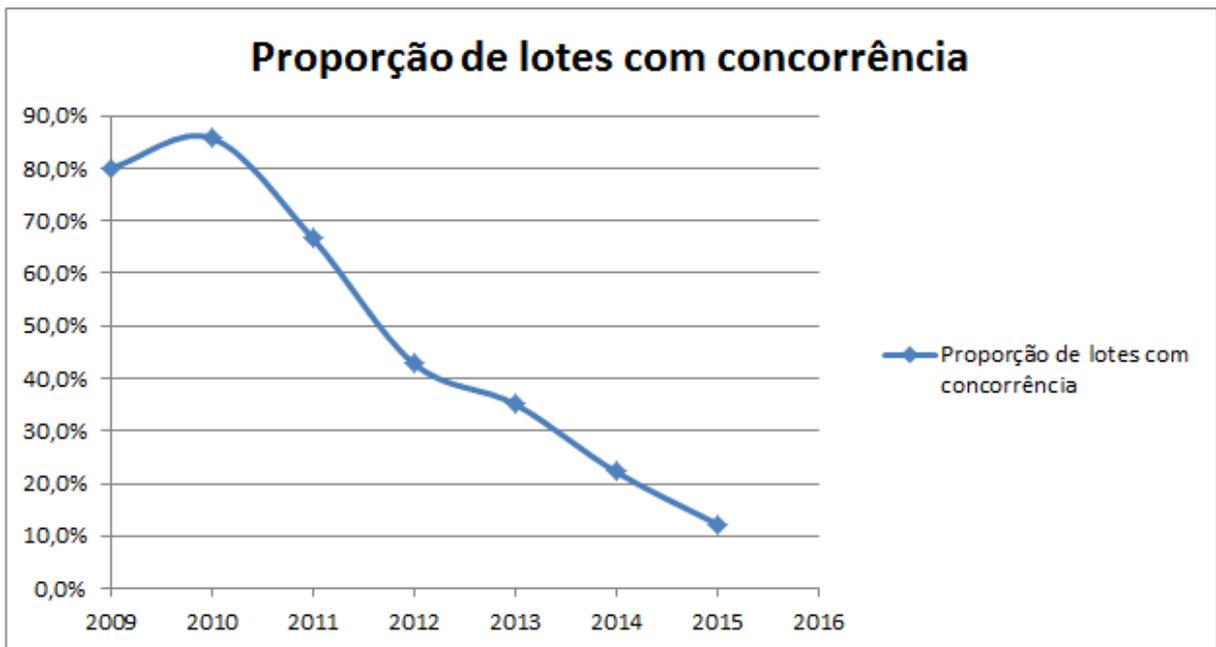
Outro fator de destaque nos dados analisados é a proporção entre os lotes com concorrência e o total de lotes disponíveis para leilão, sendo lotes com concorrência lotes com 2 ou mais jogadores e com 2 ou mais lances. Nota-se que esta proporção tem tido uma forte queda nos últimos anos, o que pode ser resultado da recente instabilidade econômica, como proposto na seção 6.3 e/ou pela diminuição do número médio de competidores. Isto é bem elucidado nos quadro e figura a seguir:

Quadro 5.4 - Proporção de lotes com concorrência.

Ano	Total de lotes para leilão	Lotes com concorrência	Proporção de lotes com concorrência
2009	20	16	80,0%
2010	21	18	85,7%
2011	24	16	66,7%
2012	35	15	42,9%
2013	37	13	35,1%
2014	18	4	22,2%
2015	65	8	12,3%
Total	220	90	40,9%

Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Figura 5.7 - Proporção de lotes com concorrência por total de lotes.



Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Entre os 90 lotes licitados com as características de concorrência, observou-se que em 22,2% das vezes os leilões tiveram sequência na etapa seguinte, isto é, aquele que ofereceu o menor lance o fez de forma que o segundo menor lance fosse ao menos 5% maior que o seu.

Outros dados importantes são encontrados na tabela abaixo, em valores médios:

Quadro 5.5 - Dados de valores médios para lotes com concorrência em leilões de transmissão.

Número de jogadores	6,2
Valor máximo de RAP x 10 ³	R\$ 58.853,94
Menor lance x 10 ³	R\$ 44.162,88
Valor de corte x 10 ³	R\$ 46.273,92
Segundo menor lance x 10 ³	R\$ 49.998,83
Média dos lances x 10 ³	R\$ 49.496,77
Lance vencedor x 10 ³	R\$ 43.675,86
Deságio inicial (etapa de lances selados)	25,6%
Deságio final	26,5%

Fonte: Elaboração própria/ Dados: ANEEL

Os dados encontrados mostram que a média dos segundos menores lances é maior do que a média dos valores de corte, o que explica a pequena taxa de continuação de jogo para a etapa oral, de 22,2%. Tais números mostram a importância de uma boa estratégia na etapa de realização secreta. Os números brutos em si não possuem muita significância, uma vez que possuem uma variância muito alta, mas o seu padrão numérico será usado para exemplificar como a teoria dos jogos pode ser útil para este tipo de leilão.

De forma a estudar as estratégias do jogador, e com base no padrão dos números apresentados previamente, foi estabelecido um valor máximo hipotético de R\$ 60 milhões para a receita anual

permitida. Assim, a exemplo do que foi feito por Medina e Filho (2003), um conjunto de estratégias foi estabelecido, baseado em percentual de deságio.

Fixado ainda um valor para o custo anual das operações de transmissão para este lote de R\$ 30 milhões, foi construída a tabela abaixo:

Quadro 5.6 - Percentuais de deságio e retorno anual esperado em milhões de reais.

Tipo de estratégia	Retorno = RAP - custos
Estratégia de 10%	$54 - 30 = 24$
Estratégia de 20%	$48 - 30 = 18$
Estratégia de 30%	$42 - 30 = 12$

Fonte: Elaboração própria

Isso gera uma matriz de saldos de jogo:

Quadro 5.7 - Matriz de saldos em milhões de reais.

		Mercado		
		10%	20%	30%
Empresa A	10%	(24; 24)	(24; 18)	(24; 12)
	20%	(18; 24)	(18; 18)	(18; 12)
	30%	(12; 24)	(12; 18)	(18; 12)

Fonte: Elaboração própria

As estratégias acima estão dispersas o suficiente para evitar um empate por aproximação, pois os lances têm uma defasagem maior do que 5%, o que faz com uma matriz de saldos nominais possa ser elaborada:

Quadro 5.8 - Matriz de saldos nominais.

		Mercado		
		10%	20%	30%
Empresa A	10%	(empate; empate)	(derrota; vitória)	(derrota; vitória)
	20%	(vitória; derrota)	(empate; empate)	(derrota; vitória)
	30%	(vitória; derrota)	(vitória; derrota)	(empate; empate)

Fonte: Elaboração própria

A matriz acima revela que a estratégia de deságio de 10% é estritamente dominada por ambas as outras estratégias, portanto é descartada.

Considera-se agora que em caso de derrota da “empresa A” diante do mercado ao usar a estratégia de deságio de 20%, esta usa o montante que iria investir em instalações e início de operações para o lote contratado em um fundo de investimentos que renda 12% ao ano, ao exemplo do que foi proposto por Medina e Filho (2003). Considerando o tempo de contrato de concessão pública para o mercado de transmissão de energia elétrica de 30 anos, e fixando este investimento em torno de R\$ 10 milhões, o montante ao final seria de aproximadamente R\$ 300 milhões.

Desconsiderando a inflação para este jogo, teríamos a seguinte matriz de montantes ao final de 30 anos de concessão sob o ponto de vista da empresa A:

Quadro 5.9 - Matriz de saldos em milhões de reais após 30 anos de concessão.

	Mercado		
Empresa A		20%	30%
	20%	540	300
	30%	360	360

Fonte: Elaboração própria

Desta vez o método *minimax* deve ser empregado. O mesmo, como definido no referencial teórico, assume que ambos os jogadores joguem de forma racional, o que acarretaria em uma estratégia de maximizar os mínimos ao invés dos máximos.

Quadro 5.10 - Método *minimax* aplicado.

	Mercado			
Empresa A		20%	30%	
	20%	540	300	Min = 300
	30%	360	360	Min = 360
		Max = 540	Max = 360	

Fonte: Elaboração própria

A estratégia que possui o maior mínimo é a de deságio de 30%. Isso indica que mesmo com a atenuação de risco através do investimento em um fundo de investimento, ainda parece ser mais vantajoso apostar numa estratégia de maior deságio.

Outra situação hipotética poderia ocorrer: a do empate por deságio em 30% e posterior derrota na fase de lances orais. Supondo que a empresa A resolvesse investir, no mesmo fundo de investimentos, R\$ 10 milhões que seriam destinados a investimentos iniciais mais o montante da diferença entre as duas estratégias de deságio anual de R\$ 6 milhões, ao final de 30 anos esta

teria um total aproximado de R\$ 480 milhões. A situação hipotética geraria a matriz de estratégias mistas mostrada a seguir:

Quadro 5.11 - Matriz de saldos para estratégia mista.

		Mercado		
		20%	30%	
Empresa A	20%	540	300	Min = 300
	30%	360	480	Min = 360
	p-mix	$540p + 360(1 - p)$	$300p + 480(1 - p)$	

Fonte: Elaboração própria

Desta forma, não existiria uma estratégia ótima e pura para ambos os jogadores, pois a *minimax* passa a ser diferente do *maximin*, o que ocasionaria uma estratégia mista com diferentes probabilidades para as estratégias de deságio de 20%, chamada p , e de 30%, chamada $1 - p$.

Da tabela acima, o valor de p calculado foi de $p = 0,33$. Este valor mostra que existe 33% probabilidade da empresa A em jogar com uma estratégia de deságio de 20% em um jogo do tipo. Por conseguinte, o saldo esperado pela estratégia mista é de aproximadamente R\$ 420 milhões.

A mesma lógica presente nos jogos anteriores pode ser utilizada para a montagem de jogos com múltiplas estratégias a serem analisadas, o que se aproxima mais da realidade dos leilões. Considerando ainda a mesma competição entre empresa A e mercado, podem ser criados diversos cenários que condizem com as perspectivas dos leilões analisados.

O primeiro cenário elaborado possui estratégias com diferenças de deságio de 8% para diferentes estratégias, variando de 0% a 24%.

Os ganhos mostrados na tabela estão em milhões de reais após 30 anos de contrato. Como feito anteriormente, em casos de empate (com possível perda na fase de lances orais) e de derrotas,

a quantia de investimento inicial de R\$ 10 milhões é somada ao montante da diferença de estratégia de deságio descrita e a de deságio nulo, sendo aplicada no mesmo fundo de investimentos retratado anteriormente, rendendo 12% ao ano.

Quadro 5.12 – Matriz de saldos com diferenças de deságio de 8% a partir do ponto de vista da empresa A.

		Mercado			
		0%	8%	16%	24%
Empresa A	0%	300	300	300	300
	8%	756	444	444	444
	16%	612	612	588	588
	24%	468	468	468	732

Fonte: Elaboração própria

Considerando que as estratégias de deságio de 0%, 8%, 16% e 24% possuem probabilidades x_1, x_2, x_3 e x_4 de ocorrerem respectivamente, se pode criar um conjunto de equações que representem os ganhos do mercado ao adotar cada estratégia. As probabilidades de jogadas nas mesmas estratégias para o mercado são y_1, y_2, y_3 e y_4 . Os ganhos da empresa A a partir de jogadas do mercado são mostrados a seguir:

$$\text{Ganhos } y_1 = 300x_1 + 756x_2 + 612x_3 + 468x_4$$

$$\text{Ganhos } y_2 = 300x_1 + 444x_2 + 612x_3 + 468x_4$$

$$\text{Ganhos } y_3 = 300x_1 + 444x_2 + 588x_3 + 468x_4$$

$$\text{Ganhos } y_4 = 300x_1 + 444x_2 + 588x_3 + 732x_4$$

Conforme explicitado por Hillier e Lieberman (2006, p. 652), o problema de encontrar a estratégia mista que maximize os ganhos da empresa A pode ser resolvido através de programação linear, quando se adiciona uma variável às equações na tentativa de maximizar a mesma, como a seguir:

Maximizar x_5 , sujeito a:

$$300x_1 + 756x_2 + 612x_3 + 468x_4 - x_5 \geq 0$$

$$300x_1 + 444x_2 + 612x_3 + 468x_4 - x_5 \geq 0$$

$$\begin{aligned}
300x_1 + 444x_2 + 588x_3 + 468x_4 - x_5 &\geq 0 \\
300x_1 + 444x_2 + 588x_3 + 732x_4 - x_5 &\geq 0 \\
x_1 + x_2 + x_3 + x_4 &= 1 \\
x_1, x_2, x_3, x_4 &\geq 0
\end{aligned}$$

A resolução do problema gera um $x_5 = 588$ e $x_3 = 1$, enquanto as outras variáveis têm valor nulo. Isto significa que o problema gerou uma solução ótima a partir de uma estratégia pura, com um deságio de 16% para a empresa A.

Como também explicado por Hillier e Lieberman (2006, p. 653), a solução deste problema é a mesma para todos os jogadores, ou seja, caso resolvido sob a ótica do mercado, o problema também geraria uma solução ótima de R\$ 588 milhões.

De fato, ao escolher uma estratégia de minimizar os máximos obtidos pela empresa A (pois maiores ganhos da mesma representam menores ganhos do mercado) o problema sob a ótica do mercado seria:

Minimizar y_5 , sujeito a:

$$\begin{aligned}
300y_1 + 300y_2 + 300y_3 + 300y_4 - y_5 &\leq 0 \\
756y_1 + 444y_2 + 444y_3 + 444y_4 - y_5 &\leq 0 \\
612y_1 + 612y_2 + 588y_3 + 588y_4 - y_5 &\leq 0 \\
468y_1 + 468y_2 + 468y_3 + 732y_4 - y_5 &\leq 0 \\
y_1 + y_2 + y_3 + y_4 &= 1 \\
y_1, y_2, y_3, y_4 &\geq 0
\end{aligned}$$

Os resultados são y_3 como estratégia pura e $y_5 = 588$, como já esperado.

Outro exemplo será retratado, mas dessa vez com diferenças de deságios de 6%, variando de 0% até 48%. Estes valores de deságio foram escolhidos porque o mínimo de diferença para que o leilão não vá para a fase de lances orais é 5%.

Quadro 5.13 - Matriz de saldos com diferenças de deságio de 6% a partir do ponto de vista da empresa A.

		Mercado								
		0%	6%	12%	18%	24%	30%	36%	42%	48%
Empresa A	0%	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	6%	792	408	408	408	408	408	408	408	408
	12%	684	684	516	516	516	516	516	516	516
	18%	576	576	576	624	624	624	624	624	624
	24%	468	468	468	468	732	732	732	732	732
	30%	360	360	360	360	360	840	840	840	840
	36%	252	252	252	252	252	252	948	948	948
	42%	144	144	144	144	144	144	144	1056	1056
	48%	36	36	36	36	36	36	36	36	1164

Fonte: Elaboração própria

Da mesma forma que o exemplo anterior, os valores estão em milhões de reais após 30 anos de contrato ou aplicação em fundo de investimentos que rende 12% anuais em caso de derrota no leilão.

Com valores entre x_1 e x_9 para as respectivas probabilidades de jogada em estratégias de deságio variando entre 0% e 48%, maximiza-se x_{10} , a exemplo do que foi feito anteriormente.

Novamente, o resultado é uma estratégia pura em um deságio de 18% ($x_4 = 1$), com um $x_{10} = 576$. Ou seja, a estratégia ótima terá um valor esperado de R\$ 576 milhões.

Independentemente de todos os resultados encontrados, que poderiam ser diferentes para valores de entrada diferentes, os exemplos acima servem para validar a ideia de que a entrada da teoria dos jogos nas decisões tomadas para estes leilões pode ser de grande valia.

6. Conclusões

Este trabalho teve por objetivo manifestar como a teoria dos jogos pode ser útil em decisões estratégicas que envolvem leilões, assim como apresentar e discutir os deságios de lances encontrados nos leilões de transmissão de energia elétrica da ANEEL.

De início, foi necessária uma introdução sobre o mercado de energia elétrica e o seu ambiente de regulação no Brasil, com o porquê do mercado de transmissão ser um monopólio natural e precisar de regulação. A teoria dos jogos e o seu ramo de leilões foram apresentados em seguida, com alguns exemplos de aplicação e funcionalidade.

A partir da análise dos dados disponibilizados pela ANEEL, que se referem aos leilões de transmissão realizados entre 1999 e 2015, pode-se observar que existiu uma tendência de aumento de oferta de quilômetros de linhas de transmissão ao longo dos anos pesquisados, o que parece ser um argumento que possa fortalecer a dedução posterior de que o crescimento deste mercado tem correlação com o momento econômico do país. A tendência de aumento no acréscimo segue um aumento de demanda por energia que é presente em economias em crescimento, como explicitado no capítulo 2. Vale ressaltar, porém, que o acréscimo de novas linhas de transmissão é resultado de investimentos que podem não se equivaler ao ano em que foram comercializadas.

Como argumentado na seção 6.1, a comercialização de lotes com alta concorrência possui alto deságio entre lances, o que pode se tornar uma das variáveis de sucesso em leilões. Portanto, em teoria, altos valores de deságio mostram que há um grande interesse de investimentos no setor de transmissão, o que indiretamente pode ser um reflexo de um bom momento econômico.

A seção 6.4 tentou expor a relevância do uso da teoria dos jogos nesses tipos de leilão. Primeiramente, foi mostrada, a partir do quadro 6.5, a importância de uma estratégia para vitória no jogo já na primeira etapa, já que poucos são os lotes que possuem propostas vencedoras próximas uma da outra por menos de 5% de seus valores, avançando para a etapa de lances a viva-voz.

De acordo com o padrão numérico encontrado a partir das médias de deságio, valor máximo de RAP e lances vencedores, foi possível montar um jogo hipotético bem embasado na realidade detectada.

A matriz de saldos numéricos e nominais, o método *minimax* e o método de estratégias mistas foram abordados para exemplificar sua aplicação no problema proposto, com diferentes resultados encontrados para diferentes valores de entrada. Isso pode mostrar algumas das formas potenciais de uso de teoria dos jogos para obtenção de vantagem estratégica nesses leilões.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. **Visão geral do setor**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

ALMEIDA, Alecsandra Neri De. **As origens e os fundamentos da Teoria dos Jogos**. UNIMESP - Centro Universitário Metropolitano de São Paulo, nov. 2006.

ALMEIDA, Alecsandra Neri De. **Teoria dos Jogos: As origens e os fundamentos da Teoria dos Jogos**. Revista Estudo CEPE – UNISC, Santa Cruz do Sul, nov. 2009. Disponível em: <<http://www.gilmaths.mat.br/Artigos/Teoria%20dos%20Jogos.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

AMADAE, S. '**Prisoner's Dilemma,**' *Prisoners of Reason*. Cambridge University Press, Nova Iorque, páginas 24-61, 2016.

ANEEL. **Edital do leilão nº 13/2015-aneel**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/080/documento/edital_leilao_13_2015_abertura_ap.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2016.

ANEEL. **Informações gerenciais**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/z_ig_mar_2015-170615.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2016.

ANEEL. **Informações técnicas**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/leilaoxml/listaleiloes.cfm>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

ARAGONES, Enriqueta. **Government formation in a two dimensional policy space**. Intenational Journal Game Theory. Spinge Verlag, n. 35, p. 151-184, Nov. 2006.

BALL, W.W. Rouse. **A short account of the history of mathematics**: Londres, Inglaterra: Macmillan, 1908.

BIERMAN, H. Scott e FERNANDEZ, Luiz. **Teoria dos Jogos**. São Paulo, 2 ed. 2011.

BIKCHANDANI, S., e HUANG, C. (1993), **The Economics of Treasury Securities Markets**, *Jornal of Economics Perspectives* 7:3, 117-134.

CAMPBELL, Donald E. **Incentives, Motivation and the Economics of Information**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2 ed. 2006.

CCEE. **Comercialização**. Disponível em:
<http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_adf.ctrl-state=12q3141m0x_79&_afloop=3291117789376884>. Acesso em: 15 mai. 2016.

DELOITTE. **Africa: a 21st century view**. Disponível em:
<<http://www2.deloitte.com/content/dam/deloitte/pt/documents/consumer-business/the%20deloitte%20consumer%20review.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

DURÃES, Marisa Socorro Dias. **Teoria dos leilões: Abordagem comparativa com ênfase nos leilões de títulos do Tesouro no Brasil e em outros países**. Brasília, out. 1997. Disponível em
<http://www3.tesouro.fazenda.gov.br/Premio_TN/IIpremio/divida/2afdpIVPTN/DURAES_Marisa_Socorro.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2016.

DUTRA, Joisa; SANCHES, Amanda. Valoração do Custo de Escassez de Energia Elétrica e Gestão de Riscos. **Eletroevolução**, set. 2014. Disponível em:
<http://ceri.fgv.br/sites/ceri.fgv.br/files/arquivos/valoracao_do_custo_de_escassez_de_energia.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2016.

ELY, Richard T. et al. **Outlines of Economics**. Nova Iorque, EUA. Macmillan, 1937.

ENERGYPRO. **Geração distribuída de energia**. Disponível em: <<http://www.energypro-site.com/#!geracao-distribuida/c19i>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

FARRER, Thomas Henry Farrer Baron; GIFFEN, Robert. **The State in its relation to Trade**. Macmillan and Company, 1902.

FERNANDES, Eduardo Rossi. **As sanções administrativas aplicadas pela agência nacional de energia elétrica – ANEEL – um estudo sobre a regulamentação e as práticas da agência**. Universidade de Brasília, Brasília, dez. 2013. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/dissertacao_eduardo_fernandes.pdf>. Acesso em: Jun. 2016.

FIANI, Ronaldo. **Teoria dos Jogos – Com Aplicação em Economia, Administração e Ciências Sociais**. 2ª Edição. São Paulo-SP: Campus, 2006.

FILHO, Valdir Antonio Vitorino; NETO, Mário Sacomano; ELIAS, Jorge José. **Teoria dos Jogos: uma abordagem exploratória**. Revista Conteúdo, Capivari, v. 1, n. 2, dez. 2009. Disponível em: <<http://www.conteudo.org.br/index.php/conteudo/article/viewFile/24/16>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006. 850 p.

IPEADATA. **Embi+ risco-brasil**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/exibeserie.aspx?serid=40940&module=m>>. Acesso em: 14 jul. 2016.

JR., Helder Q. Pinto; SILVEIRA, Joyce Perin. **Elementos da regulação setorial e de defesa da concorrência: uma agenda de questões para o setor de energia**. ANP, mai. 1999. Disponível em: <www.anp.gov.br/?dw=2005>. Acesso em: 21 mai. 2016.

JUNIOR, H. Q. P. et al. **Economia da energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 343 p.

JUSTO, Diógenes Adriano Rizzotto. **Estratégias para leilões de Energia**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, nov./2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/49824/000828406.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

JUSTO, Diógenes A. R. **Estratégias em leilões de energia elétrica**. Porto Alegre: ANPEC Sul 2010.

KRISHNA, Vijay. **Auction Theory**. New York: Academic Press – Elsevier Science, 2002.

LUCKING-REILEY, David. **Vickrey Auctions in Practice: From Nineteenth Century Philately to Twenty-first Century E-commerce**. Nashville: Journal of Economic Perspectives, 2000.

MASKIN, E. S. M. e RILEY, J. G., **Auction Theory With Private Values**, AEA Papers and Proceeding. Maio, 1985.

MEDINA, Fernando; FILHO, Virgílio José Martins Ferreira. **Um exemplo de aplicação de teoria dos jogos em leilões de blocos exploratórios**. Rio de Janeiro: 2o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás, 2003.

MILGROM, P., e WEBER R. J. (1982), **A Theory of Auctions and Competitive Bidding**, *Econometrica* 50:5, 1089-1122.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha energética brasileira**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/resenha+energ%c3%a9tica+-+brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

MLODINOW, Leonard. **O andar do bêbado**: Como o acaso determina nossas vidas. : Zahar, 2009.

MYERSON, Roger B.. **Game theory: analysis of conflict**. 1 ed. Cambridge, EUA: Harvard University Press, 1991.

NASA. **Iberian peninsula at night**. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/content/iberian-peninsula-at-night>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

NASH, John Forbes Jr. **Non-Cooperative Games**. PhD Dissertation, Princeton University, 1950.

NEUMANN, John von & MORGENSTERN, Oskar. **Theory of Games and Economic Behavior**. Princeton University, 1944.

NOTRICKSZONE. **Boosting per capita prosperity and energy consumption is the only way to care for our planet**. Disponível em: <<http://notrickszone.com/2012/06/03/boosting-per-capita-prosperity-and-energy-consumption-is-the-only-way-to-care-for-our-planet/#sthash.dbrndhmj.wgehonxv.dpbs>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

OSBORNE, Martin J. **An introduction to game theory**. Toronto, Canadá: Oxford University Press, 2000. 470 p.

PORTAL BRASIL. **Saiba mais sobre água, consumo consciente e recursos hídricos no brasil**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2010/10/agua-e-consumo-consciente>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

POSNER, R.A. (1969). **Natural Monopoly and Regulation**. Stanford Law Review 21(6), 548-643. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2307/1227624>>. Acesso em 19 jun 2016.

PRODANOV, Cleber Cristino; FREITAS, Ernani Cesar De. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Universidade FEEVALE, 2013.

REGO, Erik Eduardo. **Proposta de aperfeiçoamento da metodologia dos leilões de comercialização de energia elétrica no ambiente regulado: aspectos conceituais, metodológicos e suas aplicações**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Tese_Erik_Eduardo_Rego.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2016.

ROCHA, André Barreira Da Silva. **O dilema do prisioneiro e a ineficiência do método das opções reais**. Revista de Administração contemporânea, Curitiba, v. 12, n. 2, jun. 2008.

ROCHA, Katia; MOREIRA, Ajax; LIMP, Rodrigo. **Determinantes dos altos deságios nos leilões de transmissão de energia elétrica no Brasil entre 1999-2010**. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, v. 67, n. 2, abr./jun. 2013.

SARTINI, B. A. et al. **Uma Introdução a Teoria dos Jogos**. Bial da SBM, Universidade Federal da Bahia, v. 1, n. 1, out. 2004.

SHARKEY W.W. (1982). **The Theory of Natural Monopoly**. Cambridge: Cambridge, University Press. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511571817>>. Acesso em 12 mai. 2015.

STANISLAV, Škapa. **Investment Characteristics of Natural Monopoly Companies**. Journal of Competitiveness, Brno, República Tcheca, v. 4, n. 1, mar. 2012. Disponível em: <<http://www.cjournal.cz/files/83.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

TAESA. **O modelo do setor elétrico brasileiro e o segmento de transmissão.** Disponível em: <<http://institucional.taesa.com.br/a-taesa/nosso-negocio/o-modelo-do-setor-eletrico-brasileiro-e-o-segmento-de-transmissao/>>. Acesso em: 16 mai. 2016.

VEDUCA. **Colocando-se no lugar de outras pessoas.** Disponível em: <<http://www.veduca.com.br/assistir/teoria-dos-jogos-e-estrategia>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

VICKREY, W, **Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders**, Journal of Finance 16, 8-37. 1961.