

1 INTRODUÇÃO

Dentre os problemas encontrados na área de comercialização de energia do setor elétrico brasileiro está a natureza imprevisível do regime de afluências hidrológicas e os complexos mecanismos de interações entre os agentes diversos na venda e compra de energia. No Brasil existem vários tipos de agentes, dentre os quais estão as concessionárias de distribuição e transmissão de energia, cujas atividades são consideradas monopólios naturais totalmente reguladas pelo poder concedente (União), os geradores de energia elétrica, que são privados ou estatais e que podem vender energia tanto no ambiente de contratação livre como no ambiente de contratação regulada; as comercializadoras que revendem contratos de energia, os consumidores livres que escolhem de quem comprar a sua energia; os autoprodutores que geram em benefício próprio e, também, os produtores independentes. Neste mercado não existe a competição perfeita e nem crença na mão invisível de Adam Smith¹, portanto todos os agentes são regulados em maior ou menor grau e estão sujeitos às incertezas regulatórias.

O modelo implantado sem um marco regulatório carece de normas eficientes e estáveis capazes de fazer com que este sistema tão diversificado, onde empresas privadas convivem com empresas públicas cujo dono é a União, onde existem monopólios, mercados competitivos de consumidores livres e vários tipos de agentes, possa funcionar de modo a garantir o desenvolvimento e bem estar social.

Como estabelecer tais normas? Quais serão estas normas? O que garante que elas somarão a cada modificação de modo a convergir para um modelo eficiente? Como analisar seus efeitos quando alterações nestas normas se originarem nas urgências particulares de alguns agentes em resolver seus problemas?

¹ A “mão invisível” do economista e filósofo escocês Adam Smith, considerado pai da economia moderna, seria o fenômeno pelo qual os agentes de um mercado movidos de modo egoísta por seus próprios interesses são levados por uma “mão invisível” a promoverem o bem estar da sociedade e o equilíbrio do mercado.

Sempre existe a hipótese das normas estabelecidas em um setor não poderem atender às expectativas de alguns agentes, levando à situações de ineficiência e inadequação. Sejam quais forem as regras ou estratégias e por quais processos de elaboração passem, necessitam de uma metodologia de análise que englobe tanto o ambiente na qual serão aplicadas como leve em consideração todos os agentes envolvidos.

Diante deste cenário, perguntamos, qual a abordagem que poderia resolver tal problema?

As respostas a essas perguntas certamente requerem algum tipo de investigação científica, que aborde em conjunto todos os problemas descritos.

Os modelos atualmente utilizados no planejamento da operação, no planejamento energético, estudos de risco ou mesmo na contabilização usam técnicas já consagradas como as de previsões baseadas em técnicas como Box & Jenkins ou as de otimização, apropriadas para descrever movimentos em superfícies sólidas e estáveis, que são um conjunto de técnicas matemáticas já muito estudadas e que na maioria dos casos são utilizadas para resolver problemas físicos e técnicos. Se, entretanto os passos adaptativos implicam em mudanças no ambiente, eventualmente necessitando de novas adaptações, então a teoria dos jogos é a maneira apropriada. A teoria dos jogos é uma técnica que se originou na primeira metade do século XX para cuidar de problemas econômicos e sociais envolvendo a interdependência de vários agentes e não mostra por si como se alcança um equilíbrio. Ela é estática e mostra apenas quais são estes equilíbrios e se eles são eficientes ou não.

Por haver muitos equilíbrios num jogo, começou-se a definir tipos de equilíbrios, na tentativa de filtrar os equilíbrios menos desejados entre todo um universo de possibilidades. As definições, entretanto, tornaram-se diversas e adaptadas às necessidades de cada um, tornando inconsistente a escolha daqueles equilíbrios em relação às escolhas dos outros. Foi então pensado um modo de interação entre indivíduos que garantisse a convergência para algum equilíbrio baseado em técnicas evolutivas, resultando assim no aparecimento dos jogos evolutivos.

A teoria dos jogos evolutivos aborda naturalmente a competição entre indivíduos sob uma determinada situação, resta investigar sua atuação em ambientes estocásticos, nos quais não existem dados suficientes e nem ao menos

existe a interdependência temporal que justifique modelos de previsão, baseados em amostras passadas, como aqueles de Box & Jenkins.

Neste trabalho, veremos os princípios da teoria dos jogos evolutivos, a conceituação e contextualidade, seus pontos fracos e suas vantagens. Serão estudadas as propriedades desta teoria no sentido de aplicá-las à análise do desempenho de um agente no mercado de energia elétrica.

Esta tese está estruturada em 7 capítulos, que após a introdução contextualizando-se o problema, indicando-se a motivação e objetivos para o desenvolvimento de tal pesquisa e procura apresentar a teoria dos jogos evolutivos sob um prisma específico de modo a resultar na metodologia proposta. O capítulos estão resumidos a seguir:

No Capítulo 2, será inicialmente visto um pouco da histórica da teoria dos jogos bem como todo o arcabouço conceitual da teoria clássica dos jogos necessária à compreensão do desenvolvimento e proposta deste trabalho. Neste capítulo serão apresentados exemplos e comentários pensados com o intuito de clarificar o entendimento deste assunto. Durante o seguimento do capítulo a pesquisa é compilada e os conceitos cuidados e apresentados segundo a compreensão do autor.

No Capítulo 3 é introduzido o conceito dos jogos evolutivos. Do mesmo modo que no Capítulo 2, é apresentado um sumário histórico sobre o tema. Ao longo deste capítulo a pesquisa teórica é permeada de estudos, testes, críticas e sugestões que propiciarão uma proposta consistente. Todas as ilustrações e exemplos aqui apresentados foram implementados através de modelos programados com recursos do Matlab e de modo exclusivo para este trabalho.

Neste capítulo ainda são abordados os conceitos de estratégia evolutiva estável (3.1), dinâmica do replicador(3.2) e estabilidade assintótica (3.3).

No Capítulo 4 é realizada uma abordagem mais profunda sobre estabilidade evolutiva em uma população sob contexto determinístico, mostrando e exemplificando as condições necessárias para a existência de um estado estável assintótico. Será explorado o conceito de estabilidade evolutiva em multi populações levando a uma generalização da estabilidade evolutiva e introduzindo uma visão fundamental para a aplicação da teoria em algoritmos além do significado econômico de uma Estratégia Evolutiva Estável.

Ainda neste capítulo serão abordados os princípios matemáticos das equações diferenciais ordinárias, necessárias para o entendimento das trajetórias de convergência da dinâmica do replicador, bacias de atração e estados assintoticamente estáveis.

No capítulo 5 são mesclados os conceitos de evolução e teoria dos jogos. Inicialmente neste capítulo são descritos os operadores evolutivos em contexto não determinístico, como operadores de mutação e cruzamento. Em seguida é discutida a influência de fatores externos sobre a evolução.

No Capítulo 6 é introduzida a idéia de estratégia comportamental juntamente com um exemplo num ambiente fictício de concorrência de geradores na venda de energia elétrica. É apresentada também o conceito de cooperação e como tratá-lo através da teoria dos jogos evolutivos.

Após a apresentação da teoria dos jogos e da teoria dos jogos evolutivos sob contexto crítico, serão apresentados e discutidos no sétimo capítulo alguns aspectos importantes e particulares deste trabalho que são fundamentais para a modelagem matemática necessária para o desenvolvimento de algoritmos que sejam capazes de simular na prática os jogos evolutivos garantindo a convergência para equilíbrios assintoticamente estáveis caso existam. São abordadas a existência de outros tipos de equilíbrio como os equilíbrios orbitais e as trajetórias de competição que guiam o sistema para um equilíbrio. Neste capítulo é apresentado um exemplo imitativo do caso Brasileiro, mas não real, da concorrência na compra e venda de energia correndo em paralelo como a operação elétrica e planejamento energético. Esse exemplo tem por objetivo demonstrar os aspectos mais relevantes apresentados neste trabalho, como a importância das estratégias comportamentais e a metodologia de convergência ao equilíbrio mais atrator.