

Contribuição aos processos de tomada de decisão no setor de saneamento com a aplicação da Teoria dos Jogos (TJ)

Contribution to processes of decision making in the sanitation sector with the application of Game Theory

- **Data de entrada:**
18/07/2017
- **Data de aprovação:**
22/05/2018

Victor de Barros Deantoni* | Alberto Luiz Francato

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.044>

Resumo

A gestão de recursos hídricos envolve a tomada de decisões, muitas vezes em situações de conflito, seja pela escassez de recursos hídricos, pela qualidade da água ou por questões financeiras. O processo de tomada de decisão é complexo, e uma boa prática é fazer uso de técnicas de pesquisa operacional como suporte ao processo decisório. Em muitos casos, tal processo assume particularidades de ganhos e perdas, em função das estratégias adotadas pelas partes envolvidas. Este artigo apresenta a metodologia e aplicação da Teoria dos Jogos (TJ) em um problema de tomada de decisão sobre investimentos em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), por um Loteador e por uma Empresa de Saneamento na construção de uma nova ETE. Com a aplicação da TJ foi possível organizar o processo decisório e a situação de cada jogador, buscando soluções para o jogo. Deste modo foram analisadas situações em que cada parte toma a decisão em função dos riscos e dos resultados possíveis. A situação utilizada é exemplificativa e, portanto, como estudo, contempla valores hipotéticos e jogadores fictícios.

Palavras-chave: Teoria dos Jogos. Planejamento de Recursos Hídricos. Gerenciamento. Tratamento de Esgoto.

Abstract

Water resources management involves decision-making, often in conflict situations, whether due to water scarcity, water quality or financial issues. The decision-making process is complex, and a good practice is to make use of operational research techniques to support the decision-making process. In many cases, this process assumes particularities of gains and losses, depending on the strategies adopted by the parties involved. This article presents the methodology and application of Game Theory (GT) in a decision-making problem on investments in an Effluent Treatment Station (ETS) by a Lotter and a Sanitation Company in the construction of a new ETS. With the application of GT, it was possible to organize the decision-making process and the strategy of each player, seeking solutions to the game. In this way, situations were analyzed where each party makes the decision according to the risks and the possible results. The situation used is exemplary and, therefore as a study, contemplates hypothetical values and fictitious players.

Keywords: Game Theory. Water Resources Planning. Management. Sewage Treatment.

Victor de Barros Deantoni – Engenheiro Civil pela FEC-Unicamp. Mestre em Engenharia Civil pela FEC-Unicamp. Doutorando em Engenharia Civil pela FEC-Unicamp. Professor da Faculdade de Engenharia Civil da PUC Campinas.

Alberto Luiz Francato – Engenheiro Civil pela EESC-USP. Mestre em Engenharia Civil pela FEC-Unicamp. Doutor em Engenharia Civil pela FEC-Unicamp. Livre Docente na área de Planejamento Energético e Sistemas Elétricos pela FEC-Unicamp. Professor da FEC-Unicamp.

***Endereço para correspondência:** Rua Santo Antônio, 35, apto 11. Itatiba - SP. E-mail: vbdeantoni@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A Teoria dos Jogos (TJ) é uma técnica matemática utilizada para avaliar o comportamento de partes envolvidas (jogadores) em processos decisórios, seja em situações de conflito ou cooperação. Pode ser simplificada entendida como a interação entre jogadores que, com base em um conjunto de estratégias em que cada um opta, receberão um pagamento (resultado). A solução de um jogo é a consequência das decisões de cada jogador, que almeja alcançar suas metas por meio de estratégias e decisões racionais.

A TJ iniciou-se com a publicação de Von Neumann e Morgenstern (1944) com o título traduzido para o português de “Teoria dos Jogos e Comportamento Econômico”. Ao longo dos anos, recebeu contribuições e avanços que permitiram aplicações em diferentes áreas de pesquisa: engenharia, economia, administração, biologia e genética, política, dentre outras.

Os diferentes objetivos (econômicos, sociais e ambientais) podem ser inseridos e estudados na modelagem de um problema por meio da TJ. Para isso é necessário estabelecer funções de custo entre um conjunto de estratégias possíveis e seus respectivos resultados.

Madani e Hooshyar (2014) destacam que a TJ é uma alternativa na manipulação de problemas que permite uma análise complexa de situações com vários objetivos, quando comparada a outras técnicas, como a otimização, na qual o problema é simplificado a uma única função objetivo, utilizando método de pesos ou uma análise multicritério.

O jogo pode ser dito cooperado ou não cooperado, dependendo da relação entre os jogadores, do acesso à informação e dos objetivos individuais de cada jogador. Em jogos cooperados, a interação entre jogadores pode ser complexa, bem como a divisão de ganhos. É possível que um jogador adote uma estratégia de pouco ganho in-

dividual, ou mesmo prejuízo, em benefício de um ganho maior para os membros do grupo em que participa, chamado de coalizão.

Na análise da TJ, diferentes abordagens são possíveis; destacam-se a busca de estratégias dominantes, equilíbrios de Nash (Nash, 1950 e 1953), ótimos de Pareto, soluções cooperadas (Harsanyi, 1959) dentre outras. Os resultados da TJ não são necessariamente ótimos. Possivelmente existe mais de uma solução ou equilíbrio para um mesmo jogo. Uma das grandes vantagens da TJ é a inclusão de uma grande quantidade de informações e variáveis nos problemas, sem a consequência de uma explosão de dimensionalidade, como pode ocorrer em outros métodos.

A utilização de técnicas matemáticas no processo de tomada de decisão é vasta e contempla, entre elas: análise multicritério, otimização, algoritmos genéticos, métodos de simulação, métodos gráficos, entre outros. Nesse contexto, a TJ pode ser apontada como uma técnica de apoio à tomada de decisão, seja auxiliar a outra estratégia, seja combinada, seja ainda de forma individual.

A TJ vem sendo utilizada no planejamento de recursos hídricos há mais de 30 anos. Um dos primeiros estudos que se encontra na literatura especializada é um estudo de Suzuki e Nakayama (1976), no qual a TJ foi utilizada de modo cooperativo para alocação de recursos hídricos entre os setores urbano e agrícola.

Madani (2010) apresenta uma extensa revisão sobre problemas na área de Recursos Hídricos que foram modelados utilizando a TJ. Neste trabalho, o autor dividiu e classificou os artigos em cinco conjuntos: custo da água, águas subterrâneas, alocação de custos, qualidade da água e outros.

Em outro trabalho que combinou a utilização de métodos de aprendizado por reforço e TJ coope-

rativa, Madani e Hooshyar (2015) desenvolveram e aplicaram um modelo para a operação ótima de múltiplos reservatórios, analisando a formação de grupos (coalizões) e uma forma de alocação de recursos para os membros da coalizão em função dos resultados obtidos.

Muitos problemas na área de recursos hídricos são ditos dinâmicos. As soluções podem ser alteradas ao longo do tempo, muitas vezes em jogos que se repetem. As estratégias de uma jogada anterior podem alterar os custos e as estratégias de jogadas posteriores, sendo necessária uma análise contínua ao longo do tempo (Wu e Whittington, 2006). Ganji, Khalili e Karamouz (2007) estudaram jogos dinâmicos estocásticos na operação de reservatórios de forma cooperada com informação completa entre os jogadores. Ganji, Karamouz e Khalili (2007) introduziram a análise com informações incompletas entre os jogadores. Em ambos os estudos, o objetivo foi a divisão de recursos em um reservatório.

A análise de conflitos no uso da água é um tema recorrente em trabalhos acadêmicos que utilizam a TJ. Becker e Easter (1995) analisaram as políticas dos desvios da água nos grandes lagos, considerando como jogadores Estados Unidos e Canadá, também combinações de diferentes jogadores (províncias da região). Kilgour e Dinar (2001) avaliaram políticas de alocação dos recursos hídricos entre usuários de um mesmo corpo hídrico. Os autores utilizaram metodologia no Rio Ganges e chegaram à conclusão de que alocações variáveis, em função do tempo e da hidrologia, apresentam resultados superiores em relação a alocações fixas, que é o modelo utilizado na região.

Negociações para estabelecer políticas e resultados possíveis no gerenciamento das águas do mar Cáspio (Arzerbaijão, Irã, Cazaquistão, Rússia e o Turcomenistão) foram analisadas com suporte da TJ por Sheikhmohammady e Madani (2008),

que compararam essa metodologia com outras formas de negociação para os jogadores envolvidos. A TJ também é empregada em dois estudos de Madani e Dinar (2012a) e (2012b) para a resolução de conflitos de uso de águas subterrâneas integrada com agricultura. Em dois trabalhos complementares Zara, Dinar e Patrone (2006) e Parrachino, Dinar e Patrone (2006) fornecem revisões da aplicação da TJ e suas principais definições. São analisados modelos cooperativos em diferentes situações que envolvem recursos naturais como pesca, poluição e hidrologia (chuva). Os autores analisam e apresentam soluções de acordos internacionais e a forma de divisão dos recursos entre os jogadores de forma justa.

Situações em que diferentes partes necessitam tomar uma decisão sobre um mesmo assunto e que as decisões individuais podem influenciar no resultado que cada parte poderá alcançar ocorrem frequentemente em diversas áreas. Assim, procedimentos para auxiliar a tomada de decisão e modelos que permitam avaliação de resultados são fundamentais para a realização das escolhas.

Neste artigo apresenta-se um problema de tomada de decisão no qual será implantado um loteamento em uma cidade hipotética. Na implantação (Etapa 1), dois jogadores atuam: a Empresa de Saneamento que gerencia a ETE existente da cidade e o Loteador, proprietário do novo loteamento que está avaliando as possibilidades de alocação dos investimentos. Na continuidade da interação, após um período (Etapa 2), uma nova avaliação é feita, referente à tomada de decisão com o aumento populacional e o consequente aumento da contribuição de esgoto tanto da cidade como do loteamento.

Em ambas as situações, a TJ pode ser utilizada para permitir que ambos os jogadores possam avaliar suas estratégias, interpretar o problema, estabelecer metas e estimar seus resultados.

O objetivo principal deste trabalho é, por meio de uma situação hipotética, avaliar o comportamento de cada jogador frente a um conjunto de ações possíveis, de modo a chegar no melhor resultado. Os jogadores considerados são um Loteador e uma Empresa de Saneamento avaliando a etapa de implantação de um loteamento e sua ampliação. As estratégias em análise refletem a decisão sobre os custos de construção e ampliação de uma estação de tratamento de esgoto.

O tratamento de esgotos é uma meta de todos os municípios brasileiros. É natural que novos empreendimentos ou estejam conectados à rede urbana ou possuam uma estação de tratamento de esgoto de acordo com as diretrizes e restrições de impacto ao meio ambiente.

No processo de implantação de novos empreendimentos, é comum a exigência, por parte da prefeitura ou dos órgãos de saneamento, da execução de um conjunto de melhorias que devem ser realizadas na infraestrutura. Em geral é chamada diretriz de implantação, emitida após reuniões entre as partes interessadas para permitir a viabilização do empreendimento.

2 METODOLOGIA

A apresentação clássica do problema consiste na organização matricial (Figura 1), em que as decisões de cada jogador são apresentadas na primeira linha e primeira coluna e os ganhos (ou perdas) de cada jogador são apresentados nas células internas.

Figura 01. Representação de um jogo na forma matricial

		Jogador 2	
		Decisão 1	Decisão 2
Jogador 1	Decisão 1	(G_1, G_2)	(G_1, G_2)
	Decisão 2	(G_1, G_2)	(G_1, G_2)

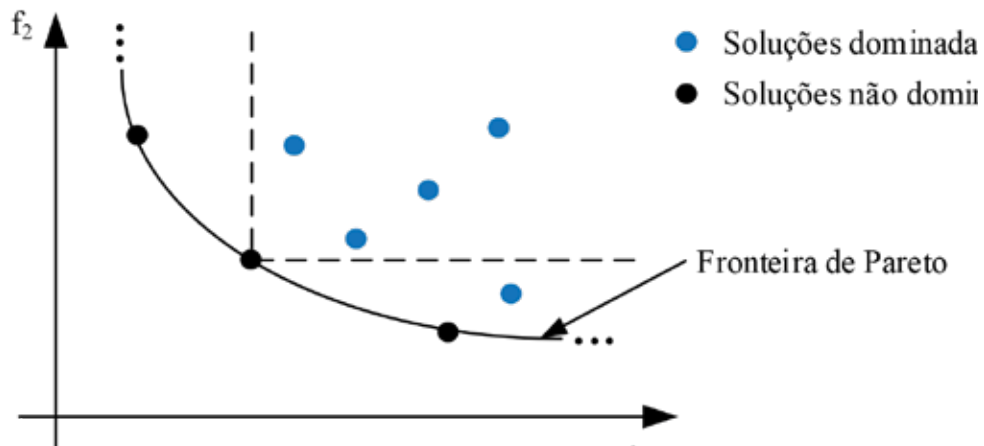
Em que G_1 e G_2 representam o ganho do jogador 1 e do jogador 2, respectivamente, na combinação das estratégias. Também pode ser apresentado na forma ordinal, em que os ganhos são apresentados pela ordem do maior benefício.

2.1 Definições

Fronteira de Pareto: é a região no espaço das soluções que limitam a melhor decisão de um

jogador. Para o valor dito ótimo de uma função, não é possível alterar a solução sem que ao menos um jogador tenha seu resultado prejudicado. Na Figura 02 abaixo é possível verificar que para um problema em que o objetivo é a minimização de duas funções (f_1 e f_2), não é possível diminuir o valor de uma função sem que haja um aumento na outra função, em qualquer ponto.

Figura 02. Representação da Fronteira de Pareto



Estratégia dominante: é a estratégia que, independentemente da estratégia adotada pelo outro jogador, apresentará um ganho superior (não é necessariamente um ótimo de Pareto). Basicamente é a estratégia que, independentemente da decisão do outro jogador, mostra-se superior. Nem sempre existirá uma estratégia dominante em um problema. A concepção de estratégia dominante implica que, para qualquer ação do outro jogador, essa será superior, ainda que no caso anterior isso não seja verdade.

Equilíbrio de Nash: situação na qual os jogadores consideram as estratégias dos demais, assumindo que os outros jogadores também buscam uma solução racional. É obtida avaliando cada possibilidade de cada jogador. É possível que em um jogo não exista Equilíbrio de Nash.

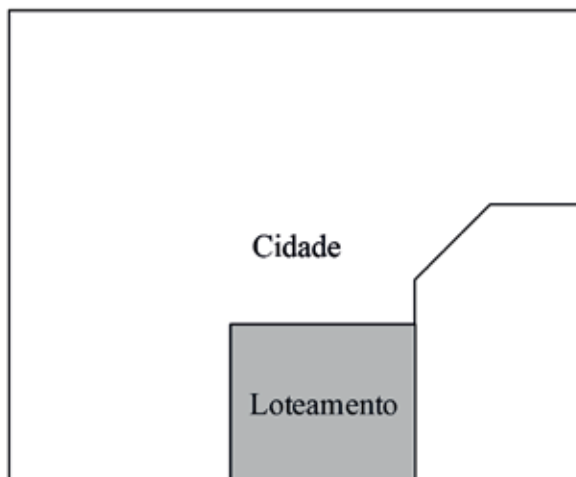
Em situações reais, os resultados obtidos pelos jogadores nem sempre são ótimos para todo o

sistema, pois cada jogador adota sua decisão com base em informações individuais sobre o jogo e seus próprios critérios. Um jogador pode não estar disposto a contribuir para a otimização geral de custos ou benefícios para todo o sistema.

2.2 Estudo Realizado

Uma cidade hipotética apresenta uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que atende à toda população. Um novo empreendimento imobiliário será implantado, cujo porte acarretará um volume de esgoto superior à capacidade atual da ETE. Nessa situação, a Empresa de Saneamento (E.S.) e o Loteador (Lot.) precisam definir suas estratégias de investimento para chegar a uma solução adequada. Na Figura 03 é apresentada a situação atual da cidade, que nesta etapa é chamada de Etapa 1. O objetivo é que a cidade e o loteamento tenham 100% do esgoto tratado.

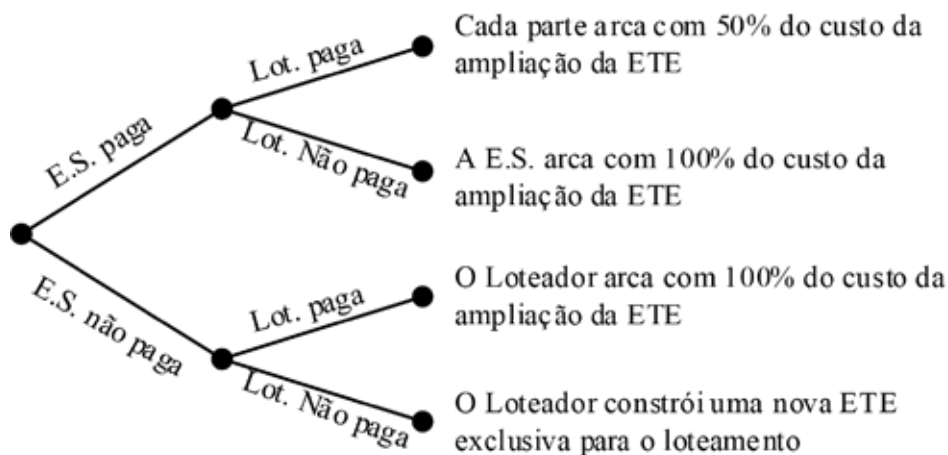
Figura 03. Áreas da cidade na etapa 1



Nessa situação, o Lot. pode arcar com o custo de expansão da ETE ou, caso discorde, pode construir uma segunda Estação de Tratamento de Esgoto exclusiva para o Loteamento (ETE_L). A E.S. arcar com os investimentos na ampliação da ETE ou pode optar pela estratégia de não investir.

A Figura 4 nos traz a representação gráfica das decisões e permite observar a evolução do jogo de maneira mais clara e resumida (FIANI, 2009); para a etapa 1, apresenta-se a Figura 04.

Figura 04. Árvore de resultados para cada conjunto de estratégias na Etapa 1



A partir das decisões (estratégias) de cada jogador, diferentes resultados em termos de custos são possíveis para cada um. Tem-se assim um jogo em que os custos são apresentados de forma hipotética para a análise. Sendo que seus valores, e principalmente a ordem (hierarquia) atribuída, afetam o resultado. Deste modo, o principal fator utilizado como embasamento da

análise são custos, de modo a refletir uma situação real.

Quando cada uma das partes paga pelo investimento, o custo é de 5 para cada uma; quando somente uma delas faz o pagamento, o custo total de 10 é atribuído ao único jogador. Na situação em que ambas não pagam, o Lot. tem um custo adicional de 2, referente à construção da nova ETE_L .

Figura 05. Custo para cada jogador na Etapa 1.

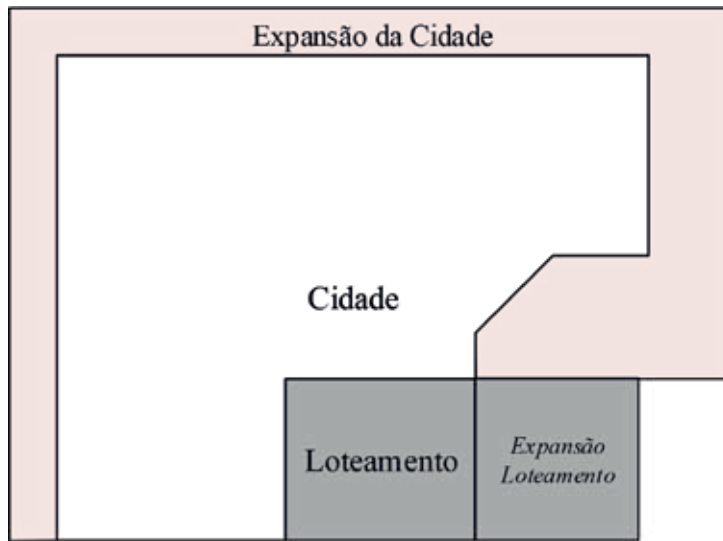
		<i>Empresa de Saneamento</i>	
		Paga investimento	Não paga investimento
<i>Loteador</i>	Paga investimento	(5,5)	(10,0)
	Não paga investimento	(0,10)	(12,0)

Em uma segunda Etapa, anos após a decisão inicial, as duas partes voltam a ter que negociar. O loteamento foi ampliado e necessita-se de um aumento na capacidade de tratamento da ETE. Houve também uma expansão urbana em diversos pontos da cidade (Figura 06), e a ETE também não atende mais à população, neces-

sitando de ampliação independentemente da expansão do loteamento.

Nessa segunda etapa, os resultados dependem da estratégia definida durante a Etapa 1, ou o loteamento tem uma ETE_L , caso em sua implantação tenha-se decidido pela sua construção, ou o loteamento não tem, pois utilizou-se a ETE existente.

Figura 06. Áreas da cidade na etapa 2



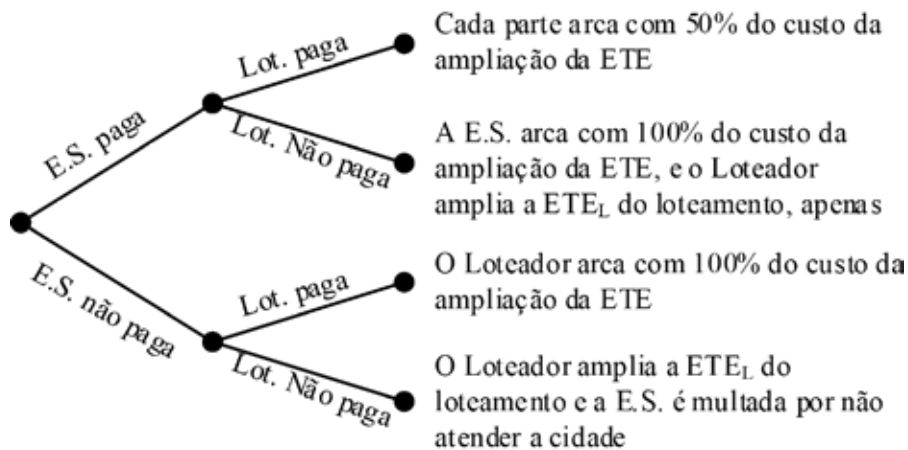
A E.S. e o Lot. têm ambos duas estratégias: {Paga investimento} e {Não paga investimento}. Devido à expansão urbana, tanto a contribuição do Loteamento como a da Cidade foi expandida. Desse modo, a ETE da E.S. precisa ser ampliada. Caso não seja, a E.S. terá um custo adicional

atribuído à multa emitida por órgão ambiental por não tratar o esgoto.

Devido à especificidade o problema, duas situações são possíveis: (a) em que na etapa 1 foi construída a ETE_L (Figura 07), ou (b) onde não foi construída a ETE_L na primeira etapa (Figura 09).

Etapa 2 - Situação (a), a ETE_L foi construída na Etapa 1.

Figura 07. Decisões possíveis na segunda rodada, caso tenha sido construída a ETE_L



Resultados possíveis: caso ambos os jogadores decidam por pagar, o valor total do investimento na ETE de 12 é rateado entre eles, apresentando um custo de 6 para cada um. Caso o Lot. mude a estratégia para não pagar o aumento da ETE, a E.S. arca com o custo de 50% do investimento, que é o necessário para atender à expansão da cidade. Nesse caso, o Lot. terá que ampliar a ETE_L com um custo de 4.

Na situação em que a E.S. decide não investir, o Lot. terá de pagar o valor total da ampliação

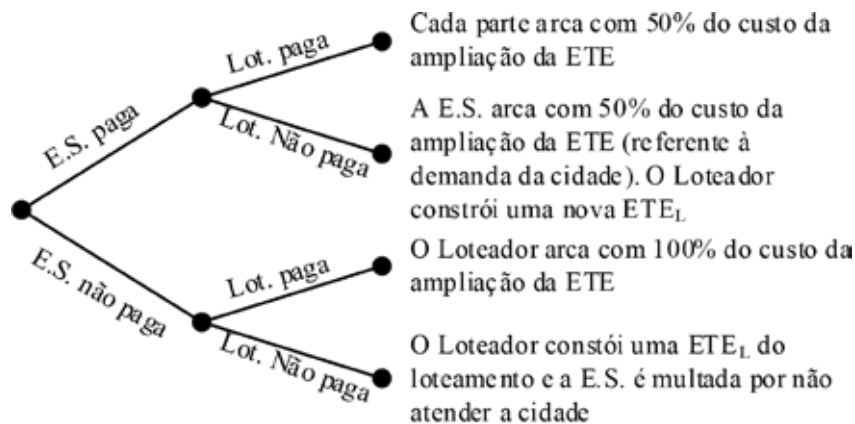
da ETE com valor. Porém, caso ambos decidam por não investir, o Loteador paga o mesmo valor de 4 para ampliar a ETE_L e a Empresa de Saneamento, por não atender a cidade em relação ao tratamento de esgoto, é multada em 8, isso para que não haja motivação em não atender à condição de 100% do esgoto tratado. Ressalta-se que esses custos são hipotéticos e utilizados para atribuir uma hierarquia entre os valores investidos e resultantes.

Figura 08. Matriz de decisões e custos caso tenha sido construída a ETE_L

		<i>Empresa de Saneamento</i>	
		Paga investimento	Não paga investimento
<i>Loteador</i>	Paga investimento	(6,6)	(12,0)
	Não paga investimento	(4,6)	(4,8)

Etapa 2 - Situação (b), a ETE_L não foi construída na Etapa 1.

Figura 09. Decisões possíveis na segunda rodada, caso não tenha sido construída a ETE_L



Os resultados possíveis são: caso ambos os jogadores decidam por pagar o investimento, o valor total do investimento na ETE de 12 é rateado entre eles, apresentando um custo de 6 para cada um. Caso o Lot. mude a estratégia para não pagar o aumento da ETE, a Empresa de Saneamento arca com o custo de 50% do investimento, que é o necessário para atender à expansão da cidade. Nesse caso, o Loteador terá que construir a ETE_L que tem um custo de 14.

Na situação em que a Empresa de Saneamento decide não investir e o Loteador sim, este terá que pagar o valor total da ampliação da ETE com valor 12 e a Empresa de Saneamento não tem custo nenhum. Porém, caso ambos decidam por não investir, o Loteador paga o mesmo valor de 14 para construir a ETE_L e a Empresa de Saneamento; por não atender a cidade em relação ao tratamento de esgoto é multada em 8, isso para que não haja motivação no não atendimento.

Figura 10. Matriz de decisões e custos caso tenha sido construída a ETE_L

		<i>Empresa de Saneamento</i>	
		Paga investimento	Não paga investimento
<i>Loteador</i>	Paga investimento	(6,6)	(12,0)
	Não paga investimento	(14,6)	(14,8)

3 RESULTADOS E ANÁLISES COM A TEORIA DOS JOGOS

Utilizando a TJ, é possível estabelecer a estratégia dominante, o equilíbrio de Nash e também o ótimo de Pareto e com isso avaliar as diferentes situações e suas implicações.

3.1 Etapa 1 – Situação inicial

Analisando os resultados possíveis nessa etapa, encontra-se uma estratégia dominante para a Empresa de Saneamento, pois a solução {Não paga investimento} sempre domina a solução

{Paga investimento}, ou seja, é sempre mais vantajosa que a outra solução. Para o Loteador não existe uma estratégia dominante, pois dependendo da estratégia da Empresa de Saneamento, a estratégia mais interessante muda. Por exemplo, se a Empresa opta por {Paga investimento}, a melhor estratégia para o Loteador seria {Não paga investimento}; já se a Empresa de Saneamento alterasse sua estratégia para {Não Paga investimento}, o Loteador teria um maior benefício se optasse por {Paga Investimento}, nesse caso tendo um custo de 10 contra 12.

Figura 11. Matriz de decisões com análises, para etapa 1

		<i>Empresa de Saneamento</i>	
		Paga investimento	Não paga investimento ^D
<i>Loteador</i>	Paga investimento	(5,5)	(10,0) ^{E.N} ^{O.P.}
	Não paga investimento	(0,10) ^{O.P.}	(12,0) ^{O.P.}

Utilizando o equilíbrio de Nash, a análise do jogo apresenta um equilíbrio único, que é a estratégia em que apenas o Lot. paga pelo investimento. Conforme o conceito já apresentado, qualquer outra solução caso um dos jogadores alterasse sua estratégia poderia implicar em um custo superior.

O jogo apresenta três combinações de estratégias que representam pontos ótimos de Pareto, onde o jogador não poderia alcançar maior benefício alterando sua estratégia.

É comum encontrar casos em que a solução para um jogo se deslocou naturalmente para o equilíbrio de Nash. No caso apresentado, a estratégia em que apenas o Lot. paga pelos investimentos é a solução pelas três análises realizadas.

Nem sempre um jogo tenderá para uma única solução. É comum que o equilíbrio de Nash não seja um ótimo de Pareto.

A solução da etapa 2 é dependente da etapa 1, pois em função das estratégias adotadas por cada jogador, no novo jogo as condições iniciais podem mudar, e as estratégias dominantes e equilíbrios também.

3.2 (A) Etapa 2 - Situação futura - (A) caso tenha sido construída a ETE_L e (B) caso não tenha sido construída a ETE_L

Em um momento seguinte, após um período de tempo no qual toda a região cresceu, o aumento na capacidade de tratamento é necessário para o loteamento e para a cidade.

Na Figura 12, é apresentada a matriz de decisões para a situação A da Etapa 2, que considera que na Etapa 1 o Lot. optou por construir a ETE_L e arcou com este custo.

Figura 12. Matriz de decisões com análises, para etapa 2-a

		Empresa de Saneamento	
		Paga investimento	Não paga investimento ^D
Loteador	Paga investimento	(5,5)	(10,0) ^{E.N} _{O.P.} ^{O.P.}
	Não paga investimento	(0,10) _{O.P.}	(12,0) _{O.P.}

A partir das estratégias apresentadas, nota-se que nessa situação a E.S. não apresenta uma estratégia dominante, pois para cada decisão possível do Lot. as suas estratégias dominadas são invertidas. Entretendo o Lot. tem uma solução dominante, pois independentemente da solução da Empresa de Saneamento, não pagar pelo investimento é dominante.

O Equilíbrio de Nash existe nesta etapa, quando o Lot. decide por não pagar o investimento e a E.S. o faz, atendendo à população. O ótimo de Pareto está presente em três diferentes cenários.

Na Figura 13 é apresentada a matriz de decisões para a situação B da Etapa 2, que considera que na Etapa 1 não foi construída a ETE_L .

Figura 13. Matriz de decisões com análises, para etapa 2-b

		Empresa de Saneamento	
		Paga investimento	Não paga investimento
Loteador ^D	Paga investimento	(6,6) _{O.P.}	(12,0) ^{E.N} _{O.P.} ^{O.P.}
	Não paga investimento	(14,6)	(14,8)

Nesse caso é possível observar que o jogo é dinâmico, pois em duas etapas diferentes os resultados podem ser analisados, e a etapa 2 é uma consequência da etapa 1. Fica evidente no exemplo proposto que, em função da decisão tomada na implantação, o resultado influenciará a decisão futura.

Ao analisar os dois casos possíveis na segunda etapa, nota-se que a decisão inicial alterou totalmente a decisão dos jogadores no segundo mo-

mento. Caso a ETE_L fosse construída na etapa 1, o Lot. estaria sujeito a um custo de 12 na primeira etapa e possibilidade de um custo de 4 na segunda, com valor total de 16. Na situação em que não foi construída e ele optou por ampliar a ETE, o custo seria 10 na primeira etapa, porém sujeito a um custo de 6, 12 ou 14 na segunda etapa. A solução de equilíbrio ou dominante na primeira etapa poderia ter como consequência um custo final superior quando considerado o jogo todo.

4 CONCLUSÃO

Utilizando uma modelagem matemática, com o suporte da Teoria dos Jogos, é possível analisar situações reais e escolher estratégias para melhorar os ganhos ou diminuir os custos associados a um determinado *jogador*. Permite entender melhor o problema e assim auxiliar na resolução dos conflitos.

Utilizando um exemplo da interação entre uma Empresa de Saneamento e um Loteador, simplificada por custos hipotéticos, estabeleceu-se um jogo com duas possibilidades de estratégia para cada jogador, que basicamente se dividem em {Pagar pelo investimento} e {Não pagar pelo investimento}, avaliados em duas etapas distintas: A Etapa 1 na implantação do Loteamento e a Etapa 2 futura na ampliação do empreendimento.

A partir dos custos utilizados na Etapa 1, fica evidenciado que a melhor estratégia é o Lot. optar por pagar investimento, com um custo máximo de 10, independentemente da decisão da Empresa de Saneamento e sem o risco de um custo adicional de 2. Na Etapa 2 foram admitidas duas possibilidades, quando na etapa 1 foi construída uma ETE para o Loteamento. Nesse caso, a decisão da E.S deve ser pagar, e a do loteador, não pagar. Se na etapa 1 a opção tiver sido pelo investimento na ETE existente, a melhor solução para ambos é Lot. pagar pelo investimento e a E.S não pagar.

Utilizando-se uma situação hipotética, foi possível apresentar as definições e os conceitos da TJ aplicados a um problema de tomada de decisão no setor de saneamento – aumento de capacidade de tratamento. Foi possível avaliar as consequências de cada decisão, com apresentação dos valores ótimos, dominantes e do equilíbrio de Nash, permitindo que os jogadores escolhessem suas estratégias. A análise da TJ permitiu que cada jogador fizesse a análise das informações,

que nem sempre são modeláveis da maneira tradicional, ou por outros métodos.

No estudo realizado foi possível notar a importância de utilizar o planejamento contínuo em um jogo dinâmico, pois a escolha das estratégias interfere nos resultados futuros. Em situações nas quais os jogadores têm acesso completo às informações, é possível racionalizar e definir estratégias com base científica e justificável. Sempre que um tomador de decisão consegue apresentar suas estratégias de forma estruturada, amplia-se o poder de argumentação e defesa de sua escolha.

O problema apresentado é de pequena dimensão, porém evidencia o potencial de aplicabilidade da Teoria dos Jogos no setor de saneamento. Trata-se de mais uma técnica que pode ser aplicada para a melhoria dos processos de gestão, utilizada em conjunto com outras técnicas de modo a permitir um maior conhecimento sobre uma situação para a obtenção de dados e realização de projeções. Como em todo problema, é importante destacar que possui limitações e necessita de insumos que muitas vezes são dados complexos, dependentes de outras decisões e de fatores políticos de difícil mensuração.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, N.; EASTER, W. Water diversions in the great lakes basin analyzed in a game theory framework, **Water Resources Management**, v. 9, n. 3, p. 221-242, 1995.

FIANI, R. **Teoria dos Jogos: com aplicações em Economia, Administração e Ciências Sociais**. 3.ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2009 – 6ª reimpressão.

GANJI, A.; KHALILI, D.; KARAMOUZ, M. Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation. I. The symmetric stochastic model with perfect information, **Advances in Water Resources**, v. 30, n. 3, p. 528-542, 2007.

GANJI, A.; KARAMOUZ, M. KHALILI, D. Development of stochastic dynamic Nash game model for reservoir operation II. The value of players' information availability and cooperative behaviors, **Advances in Water Resources**, v. 30, n. 1, p. 157-168, 2007.

HARSANYI, J. **A bargaining model for the cooperative n-person game. Contributions to the Theory of Games 4**, Princeton University Press, New Jersey, 1959.

KILGOUR, D. M.; DINAR, A. Flexible water sharing within an international river Basin. **Environmental and Resource Economics**, v. 603-604, p. 196-218, 2001.

MADANI, K.; DINAR, A. (2012a) Cooperative institutions for sustainable common pool resource management: application to groundwater. **Water Resources Research**, v. 48, 2012.

MADANI, K.; DINAR, A. (2012b) **Non-cooperative institutions for sustainable common pool resource management: application to groundwater**. V.74, p 34-45, 2012.

MADANI, K. Game theory and water resources. **Journal of Hydrology**, v. 381. p.225-238, 2010.

MADANI, K.; M.; HOOSHYAR, M. A game theory-reinforcement learning (GT-RL) method to develop optimal operation policies for multi-operator reservoir systems. **Journal of Hydrology**. v. 519 p. 732-742, 2014.

NASH, J. Equilibrium Points in n-Person Games. **Proceeding of the National Academy of Sciences**. v.18: 155-162, 1950.

NASH, J. Two-Person Cooperative Games. **Econometrica**, v. 21 n. 1, p. 128 - 140. 1953.

PARRACHINO, I.; DINAR, A.; PATRONE, F. Cooperative game theory and its application to natural, environmental, and water resource issues: 3. Application to Water Resources. **World Bank Policy Research Working Paper**; 2006.

SHEIKHMOHAMMADY, M.; MADANI, K. Bargaining over the Caspian Sea — The largest lake on the earth. Proceedings of the In: **World Environmental and Water Resources Congress 2008**, Honolulu, 2008.

SUZUKI, M.; NAKAYAMA, M. The cost assignment of the cooperative water resource development: a game theoretical approach. **Management Science**. 1976.

VON NEUMANN, J.; MORGENSTERN, O. **Theory of Games and Economic Behavior**. Princeton University Press, New Jersey, 1944.

WU, X.; WHITTINGTON, D. Incentive compatibility and conflict resolution in international river basins: a case study of the Nile Basin. **Water Resources Research** v. 42, 2006.

YABECKER, N.; EASTER, K.W. Water diversions in the great lakes basin analyzed in a game theory framework. **Water Resources Management**. 1995.

ZARA S, DINAR A, PATRONE F. Cooperative game theory and its application to natural, environmental, and water resource issues: 2. Application to Natural and Environmental Resources. **World Bank Policy Research Working Paper**, 2006.