

## Experimentação Comportamental em Mecanismos de Alocação de Água

**Francisco de Assis de Souza Filho**

Universidade Federal do Ceará – UFC  
assissouzafrilho@gmail.com

**Rubem La Laina Porto**

Escola Politécnica/USP  
rlporto@usp.br

**Jorge Nelson Pinheiro Gonçalves Teixeira**

FUNCEME  
nelson777@gmail.com

Recebido: 26/10/07 – revisado: 25/08/08 – aceito: 04/12/08

---

---

### RESUMO

A economia experimental é utilizada neste artigo como ferramenta de teste das hipóteses de racionalidade utilizadas pelos modelos econômicos em jogos estratégicos que ocorrem em diferentes mecanismos de alocação de água (comando e controle, via preço e mercado). Os resultados dos experimentos comportamentais são analisados em contraponto a modelagem matemática utilizando a teoria dos jogos e a teoria do crime racional. A ação caroneira (*Free-Rider*) e a limitação de racionalidade são avaliadas. A sistema computacional utilizado na experimentação comportamental pode vir a ser utilizado com propósitos educacionais.

**Palavras chave:** Alocação de água, experimentação econômica, economia comportamental, Caroneiro, *Free-Rider*.

---

---

### INTRODUÇÃO

Uma nova fronteira de desenvolvimento de ferramentas para a economia ambiental e de recursos hídricos encontra-se nos desenvolvimentos da economia comportamental e experimental. Através destas duas abordagens, aspectos como limitação da racionalidade e julgamento sobre incertezas podem vir a ser melhor entendidos e analisados.

O *homo oeconomicus* é motivado pelo auto-interesse e toma decisões racionais e que maximizem suas utilidades. Esta hipótese é assumida amplamente na economia do meio ambiente. No mundo real, os indivíduos não têm informação completa ou total habilidade para manipulá-las. Neste sentido demanda-se uma abordagem que incorpore a limitação da racionalidade.

Pesquisas na Economia estão caminhando em novas direções, procurando empiricamente testar a racionalidade ilimitada, o auto-interesse puro e o completo autocontrole. As pesquisas de Vernon Smith na área da Economia Experimental (Smith(1976 e 1982)) e as lideradas por Daniel Kahne-

man e Amos Tversky na área da economia comportamental (Kahneman e Tversky(1979), Tversky e Kahneman (1981)) foram premiadas com o prêmio Nobel de economia de 2002 por construírem novas abordagens para este problema.

A economia experimental é utilizada neste trabalho para analisar mecanismos de alocação de água do tipo comando e controle, via preço e via mercado. Estes mecanismos de alocação de água foram inicialmente modelados matematicamente utilizando a teoria dos jogos (representar a ação estratégica dos usuários) e a teoria do crime racional (com vistas a identificação de ação caroneira) em Souza Filho (2005) e especificamente em Souza Filho e Porto (2007a) para a alocação comando e controle, em Souza Filho et al(2007) para a via preço e Souza Filho e Porto (2007b) para a via mercado. Neste trabalho hipóteses assumidas para a representação dos usuários (tais como, racionalidade) serão testadas no experimento e os resultados da experimentação podem servir de parâmetros para o aprimoramento do modelo matemático existente ou para a especificação de novos modelos.

O presente texto é construído em seis seções em adição a esta. A segunda seção apresenta uma breve introdução à experimentação econômica e economia experimental; em seguida é descrito o problema sob análise; a quarta seção descreve os principais resultados do modelo matemático. A quinta seção descreve a metodologia utilizada e a sexta os resultados obtidos. E finalmente apresentam-se as conclusões.

### Experimentação Econômica e Economia Experimental na Literatura

*A abordagem da Economia Experimental.* Tradicionalmente, a economia é vista como uma ciência não-experimental. A economia experimental procura em laboratórios, com condições controladas, estudar o comportamento humano em situações, simples em formas puras, imitando as encontradas nas interações econômicas. A utilização generalizada dos resultados destes experimentos em situações de economia real é ainda tema de debate.

A abordagem experimental não coleciona dados de campo. A idéia básica consiste em construir artificialmente o "ambiente econômico", variando as "instituições econômicas" de um modo controlado, possibilitando, assim, melhor definição dos mecanismos de regulação e a provisão de bens públicos; funcionando como um "túnel de vento" quando se projeta a aerodinâmica.

Uma conclusão da experimentação econômica é que as instituições econômicas são importantes cabendo a elas o condicionamento das ações dos atores sociais. Sendo a econômica experimental uma ferramenta no projeto de instituições.

A história da experimentação econômica pode ser encontrada em Roth (1995a), assim como os experimentos representativos em temas como o dilema do prisioneiro, o caroneiro (*free-rider*) na provisão de bens público, coordenação e falha na coordenação, modelo da barganha de Nash, informação na barganha, leilão. Uma discussão detalhada da experimentação econômica sobre bens públicos pode ser, encontrada em Ledyard (1995); problemas de coordenação, em Ochs (1995); barganha, em Roth (1995b); tomada de decisão individual, em Camerer (1995).

A utilização da experimentação econômica em problemas de recursos naturais pode ser observada em Cason e Plott (1996). Eles testaram regras para leilão de dióxido de enxofre destinadas à agência de proteção ambiental americana; e Hackett *et al.* (1995) exploraram vários assuntos relacionados ao gerenciamento de recursos "*common-pool*". Mur-

phy *et al.* (2004) apresentam um interessante experimento para a gestão de recursos ambientais locais e Murphy *et al.* (1998) mostram uma experimentação em mercado de água através da utilização de leilão duplo (para compra e para venda de água, simultaneamente).

*A abordagem da Economia Comportamental.* A economia típica sugere que as decisões econômicas são governadas pelo auto-interesse e pela racionalidade (consistência e coerência). A economia comportamental mostra que as pessoas sistematicamente violam a consistência e a coerência em suas tomadas de decisão. Tversky e Kahneman (1981.) As pesquisas de Kahneman e Tversky fundaram-se na psicologia das crenças e escolhas intuitivas e no exame dos limites de racionalidade. As referidas pesquisas têm três tópicos básicos de análise: julgamento heurístico, escolha sob risco e efeitos de contexto, Kahneman (2002.)

A economia comportamental estabelece alguns novos conceitos como a lei dos pequenos números (atribui a mesma distribuição de probabilidade para as amostras pequenas e grandes), Tversky and Kahneman (1982) e os quatro princípios básicos que distinguem os princípios racionais e comportamentais enunciados por Camerer (1999):

- I. A utilidade esperada ( $\sum \{P_i u(X_i)\}$ ) do *modelo racional* é substituída pela teoria prospectiva ( $\sum \{\pi(P_i) u(X_i-r)\}$ ) do *modelo comportamental*, onde  $X_i$  é o resultado que tem probabilidade  $P_i$  de ocorrência, e  $u$  é a função que mede o valor do resultado;  $r$  representa a *adaptação* a uma estágio e  $u$  mede o ganho e a perda com relação a este estágio adaptado e  $\pi$  é uma função-peso que define como as probabilidades influenciam a tomada de decisão. Kahneman e Tversky (2000a), Tversky e Kahneman (1981) discutem as propriedades desta função-peso. A fundamentação psicológica desta formulação comportamental, segundo Camerer (1999), reside na psicofísica e adaptação: aversão a risco, reflexão, cálculo mental e não-linearidade da função  $\pi$ .
- II. O equilíbrio obtido como a melhor resposta mútua entre os agentes do *modelo racional* é substituído pelo aprendido e evolução do *modelo comportamental*.
- III. O desconto intertemporal da utilidade ( $\sum_t \{\delta^t u(X_t)\}$ ) do *modelo racional* é substituído pelo desconto hiperbólico ( $u(X_0) + \sum_{t=1} \{\beta \delta^t u(X_t)\}$ ) do *modelo comportamental*. O parâme-

tro  $\beta$  representa a preferência pelo imediato. A fundamentação psicológica reside na preferência pelo imediato.

- IV. A maximização dos "payoff" individuais do *modelo racional* é substituída pela utilidade social do *modelo comportamental*. A fundamentação psicológica reside na reciprocidade e antipatia as desigualdades que produzem gastos de recursos com os outros, ou seja, uma ação mais altruísta.

A apresentação dos conceitos e métodos da economia comportamental pode ser encontrada em Kahneman e Tversky (2000b), Camerer *et al.* (2004). A utilização desta teoria para explicar fenômenos no âmbito dos recursos ambientais e hídricos é uma possibilidade ainda a ser mais bem explorada.

**Situação de Aplicação**

A identificação da ação estratégica dos usuários de água quanto à ação caroneira (*free-rider*) consistindo em retiradas não autorizadas de água e a eficiência e confiabilidade do sistema no suprimento de água é o objetivo da experimentação econômica realizada neste artigo.

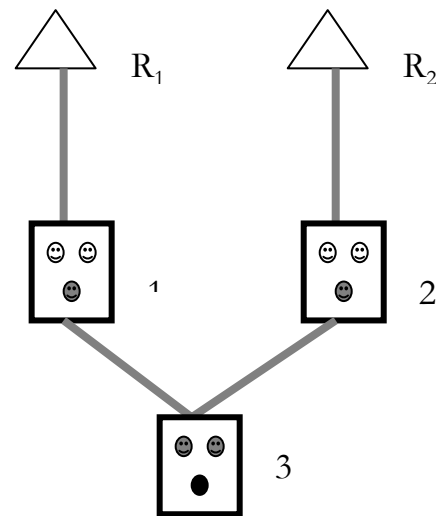
Os mecanismos de alocação de água analisados foram o comando e controle, via preço e mercado. Entende-se por alocação do tipo Comando e Controle quando o poder público define uma permissão de uso e utiliza mecanismos de coerção para garantir este direito de uso. O sistema de outorga de uso da água brasileiro é deste tipo. No sistema de preço a quantidade de água que cada usuário tem permissão de utilizar é definida a partir de sua capacidade ou não de pagar o preço da água definido por uma agência. Os usuários que possuem capacidade de pagamento (neste caso) têm a oferta rateada entre eles; os que não tem capacidade de pagamento não terão água. No sistema de mercado após uma alocação inicial a re-alocação em anos secos é definida a partir da alienação do direito de uso de um usuário vendedor deste direito a outro comprador do direito de uso.

A rede da bacia do Jaguaribe foi utilizada como referência, assim como, os dados dos usuários desta bacia serviram para se construir as funções econômico-financeiras para ser utilizada no experimento.

A situação em que há vantagem comparativa de posição na rede hidrográfica e econômica (devido ao tipo de empreendimento) foi analisada. O usuário que tem vantagem comparativa de posição possui menor restrição de oferta podendo inclusive ter uma ação caroneira (*free-rider*).

Três classes de usuários foram utilizadas no experimento e foram definidas utilizando-se a métrica das equações financeiras dos perímetros de irrigação Jaguaribe Apodi, Morada Nova e de fazendas de camarão. A equação econômica financeira tem a forma geral descrita na Equação 1.

$$\pi_i = \beta Q_i - CVA \quad Q_i - CF \quad K_i \quad (1)$$



**Figura 1 - Rede Hidrográfica como dois reservatórios (R1 e R2) e três centros de demanda. Nesta figura: usuário do tipo 1 é resentedo por face branca; usuário tipo 2 é representado por face marrom; e tipo 3 por face preta. A capacidade financeira cresce do usuário 1 ao 3.**

Nesta equação:  $\pi_i$  é o benefício líquido ou lucro líquido;  $\beta$  é o benefício por unidade de vazão captada;  $Q_i$  é a vazão efetivamente captada pelo agente-usuário sempre menor ou igual a  $K_i$  que é a capacidade instalada deste;  $CVA$  é o custo variável por unidade de vazão captada;  $CF$  é o custo fixo por unidade de vazão instalada e "i" é o agente usuário em foco. Os valores dos parâmetros de custos ( $CV=0,209$  Milhões R\$/ (hm<sup>3</sup>/ano) e  $CF=0,028$  Milhões R\$/ (hm<sup>3</sup>/ano)) e benefício ( $\beta=0,276$  Milhões

R\$/ (hm<sup>3</sup>/ano)) desta equação são constantes para todos os usuários e foram obtidos dos irrigantes do perímetro de irrigação do Jaguaribe-Apodi na Bacia do rio Jaguaribe no Estado do Ceará, apresentado do Estudo de Cobrança pelo Uso da Água, SRH-Ce(2002). Neste trabalho assumiu-se uma demanda máxima de 10hm<sup>3</sup>/ano e a renda líquida ( $\pi_i$ ) teve sua escala alterada para variar em uma escala com máximo 100, para este fim multiplica-se a renda líquida por cem (100) e divide-se por três vírgula oito (3,8). Após a aplicação desta métrica foi elaborada a tabela Tabela 1. Cada jogador tem uma tabela similar a esta com valores em função do tipo de usuário, por exemplo, outro usuário terá para K=10 u.a e Q=10 u.a valor do benefício igual a 739 u.m. Isto mostra a vantagem comparativa econômico financeira de um usuário com relação ao outro.

Os usuários estão distribuídos na rede hidrográfica em três centros de demanda, como mostrado na Figura 1. Em cada centro de demanda terá três usuários. Os usuários dos centros de demanda. O centro de demanda 3 terá os usuários com maior capacidade financeira.

### Modelos Matemáticos do Comportamento dos Usuários na Alocação de Água

A modelagem matemática da alocação de água considerando o jogo estratégico entre os usuários e os mecanismos de alocação Comando e controle, via preço e Mercado foram realizados em estudos anteriores. Entre as estratégias disponíveis aos usuários encontrava-se a ação caroneira (*free-rider*).

Esta modelagem utilizou a teoria dos jogos onde se calculou o equilíbrio de um jogo competitivo em diferentes cenários e parâmetros institucionais, descrito em por exemplo, em Nash (1950, 1953), Gibbons(1992), Osborne e Rubinstein(1994) e Myerson(1997)).

A representação de ação caroneira dos usuários foi modelada pela teoria do crime racional apresentada em, por exemplo, Cooter and Ulen(2000:439) e Souza Filho et al(2007) em sua associação com a teoria do "Public Enforcement". A definição de uma ação caroneira segue uma ética utilitarista onde a decisão de "roubar" ou não água é feita a partir de uma análise da loteria da regulação representada na Figura 2. Nesta figura p é a probabilidade de um usuário infrator ser pego (**Efetividade da Fiscalização**), M é a multa em caso do agente ser flagrado,  $\pi$  é o benefício do usuário,  $L_i$  é a licença

outorgada e  $q_i$  é quantidade de água retirada ilegalmente.

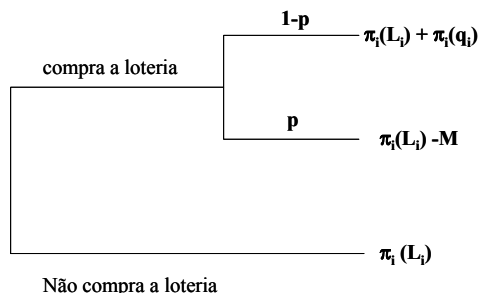


Figura 2 - Loteria da Regulação

O usuário tem duas alternativas não retirar água ilegalmente (não comprar a loteria) ou fazê-lo (comprar a loteria). Sob uma ética utilitarista e para um usuário risco neutro a loteria será comprada se seu valor esperado for maior que o benefício da utilização exclusiva da licença.

A aplicação destes conceitos a modelagem da alocação comando e controle foi realizada em diferentes perspectivas em Souza Filho (2005), Souza Filho e Porto(2007b) e Souza Filho et al(2007). Nestes trabalhos ficou estabelecido um valor da efetividade de fiscalização abaixo do qual haveria uma ação caroneira, este valor foi denominado de  $P_{CR}$  e é apresentado na Equação 2. Nesta equação CF, CV e  $\beta$  foram definidos na Equação 1 e T é um fator associado a multa ( $M = T \beta q$ ). Nos jogos estratégicos entre os usuários a decisão dos mesmos sempre foi compatível esta equação. Desta forma valor de  $p > P_{CR}$  não se justifica financeiramente uma ação caroneira; compensando para  $p < P_{CR}$ .

$$p \leq \frac{1 - \left( \frac{CF}{\beta - CV} \right)}{1 + T} \equiv P_{CR} \tag{2}$$

Em um sistema com usuários com múltiplas funções econômico financeira haverá múltiplos  $P_{CR}$ . Podendo dependendo da configuração do sistema valores menores que o máximo  $P_{CR}$  entre os usuários levar a garantia do direito de uso de todos os usuários. Chamar-se-á aqui este valor de máximo  $P_{CR}$  do jogo estratégico

( $MP_{CRJE}$ ).

**Tabela 1 - Tabela de Benefícios ou Prejuízos s em função da capacidade instalada (K) e do suprimento efetivamente recebido (Q) para o usuário do Tipo 1.**

		Preparei-me Para Receber (K)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Recebi (Q)	0	0	-7	-15	-22	-30	-37	-45	-52	-60	-67	-74
	1	0	10	3	-5	-12	-20	-27	-35	-42	-50	-57
	2	0	10	20	13	5	-2	-10	-17	-25	-32	-40
	3	0	10	20	30	23	15	8	0	-7	-15	-22
	4	0	10	20	30	40	33	25	18	10	3	-5
	5	0	10	20	30	40	50	43	35	28	20	13
	6	0	10	20	30	40	50	60	53	45	38	30
	7	0	10	20	30	40	50	60	70	63	55	48
	8	0	10	20	30	40	50	60	70	80	73	65
	9	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	83
	10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

A análise do sistema de preço público foi realizada em Souza Filho et al (2007). Neste trabalho observou-se que dois parâmetros definem o espaço de decisões do usuários. O primeiro é o  $P_{CR}$  e o segundo é o  $P_{CRLR}$  definido pela Equação 3. Nesta equação  $w_p$  é o preço da água.

$$p \leq \frac{\left( \frac{w_p}{\beta - CV} \right)}{1 + T} \equiv P_{CRLR} \quad (3)$$

Observa-se neste artigo que estas duas equações definem cinco situações para os usuários: i) Não operar:  $P_{CR} < P_{CRLR} < p$ ; ii) Caroneiro:  $P_{CR} < P_{CRLR}$  &  $p < P_{CRLR}$ ; iii) Opera apenas com a licença:  $P_{CRLR} < P_{CR} < p$ ; iv) Caroneiro:  $p < P_{CRLR} < P_{CR}$ ; e v) estratégia mista: caroneiro ou legal  $P_{CRLR} < p < P_{CR}$ . Os equilíbrios obtidos para diferentes ambientes institucionais foram apresentados no referido artigo.

A situação de alocação via mecanismo de mercado foi avaliada em Souza Filho e Porto (2007b). As trocas de mercado foram simuladas por um algoritmo de otimização utilizando programação matemática com rede de fluxo e o preço sombra em cada nó da rede fluvial definiu o preço de mercado. Neste artigo pode-se observar que o preço de mer-

cado é função da Efetividade de Fiscalização, para uma efetividade de fiscalização muito baixa o preço de mercado é zero. O que é de se esperar já que não se compra se não há a garantia de usufruir. Observou-se também que a efetividade de fiscalização demanda para alguns usuários de água terem disposição a pagar pela água é maior que o  $MP_{CRJE}$  observada no comando e controle, isto é, o mercado exige maiores garantias que a do jogo comando e controle.

### Metodologia da Experimentação Econômica

Os modelos matemáticos propostos para os mecanismos de alocação de água, descritos anteriormente, têm como pressuposto: agentes racionais e auto-interessados. Esta hipótese pode não se verificar na realidade como anteriormente descrito. Neste sentido é apresentado, a seguir, um conjunto de experimentos comportamentais a serem aplicados em grupos de pessoas com vistas à identificação dos potenciais desvios entre o comportamento identificado no experimento e o obtido como resultado dos modelos matemáticos.

Os experimentos são jogos comportamentais que reproduzem cada um dos modelos matemá-

ticos. Os jogos têm como foco central o comportamento dos agentes usuários submetido a diferentes incentivos de uma agência ou governo.

A teoria que baseia a elaboração destes jogos é a da economia experimental e da economia comportamental.

Cada um destes jogos terá um coordenador e diferentes jogadores. Os jogadores são os agentes usuários. O coordenador tem o papel de centro ou lugar onde se dão as interações entre os agentes usuários, podendo agregar a este o papel de agência e/ou de governo.

A descrição dos jogos para os participantes foi realizada sob uma estrutura que consta das seguintes partes:

- **Contexto:** descreve-se o ambiente do jogo, ou seja, qual a situação concreta que o jogo esta representando. Comunica-se ao jogador a situação concreta idealizada pelo jogo. Esta descrição faz-se necessária para que o jogo possa melhor representar esta situação concreta.
- **Regras Gerais do Jogo:** i) editam-se aqui os objetivos do jogo; ii) quais as atitudes dos jogadores durante o jogo, atitudes tais como: é possível sair do jogo antes que ele termine? ; iii) informações gerais sobre os participantes e como se obtêm pontos.
- **Para Jogar:** descreve-se o material utilizado no jogo.
- **Informações Gerais aos Jogadores:** estas informações gerais tratam da retirada de água máxima de cada um dos jogadores e outras informações complementares às já descritas nas regras do jogo.
- **Telas do Programa:** apresentam-se aqui as telas dos jogadores e do coordenador. Consideraram-se as telas auto-explicativas após a descrição, passo a passo, das ações para se jogar descritas no próximo item Jogando.
- **Jogando:** descrevem-se, neste item, passo a passo, quais as ações que se deve realizar para jogar.

Todo jogo terá um **coordenador** e vários **jogadores**. Ao coordenador compete cumprir o papel da agência reguladora, definindo os valores das variáveis a ela concernentes (tais como o preço da água e o nível de fiscalização no modelo de cobrança pelo uso da água) e servir como local de iteração do conjunto dos jogadores. Os jogadores deverão, sob as informações disponibilizadas em sua tela,

tomar decisões de quanto de infra-estrutura instalar, quanto de água tirar ilegalmente, entre outras decisões.

#### *Critérios da aplicação do Experimento Comportamental*

Utilizando Friedman et al (1994), Hagel et al (1995) e Murphy *et al.* (2004), elaboraram-se alguns fundamentos para experimentação comportamental desenvolvida neste trabalho.

O primeiro dilema no projeto de um experimento comportamental localiza-se na questão: o experimento deve "reproduzir" o modelo? Ou, ele deve procurar ser o mais real possível? Este é um falso dilema. O experimento não deve nem procurar ser igual ao modelo e nem procurar representar a realidade com muitos detalhes. O experimento deve focar na avaliação do comportamento sobre as variáveis de interesse. Não obstante, a história contada quando a aplicação do modelo deva ser crível.

A elaboração do modelo consta de três fases: i) a primeira fase é a definição do ambiente e da formulação básica do experimento; ii) a segunda é o desenvolvimento de pilotos e iii) a terceira é a aplicação formal do modelo e a análise dos resultados.

Os modelos desenvolvidos possuem três tipos de variáveis: i) as de controle direto: variáveis de controle; ii) as de controle indireto: processo aleatórios constitutivos dos modelos; iii) variáveis não controláveis. Um princípio dos experimentos comportamentais é o da DOMINÂNCIA, isto é, as variáveis sobre controle determinam os processos no experimento de forma mais significativa que as demais variáveis. Tabela 2 mostra as variáveis de controle direto e indireto nos diferentes experimentos comportamentais.

Como exemplo de variáveis não controláveis do sistema estão aquelas não representadas formalmente no experimento, entre elas, as **interações não institucionalizadas pelo experimento** como as ações decorrentes de conversas não autorizadas entre os participantes do experimento.

As seções do experimento poderão ter tempo máximo de (2) duas horas; podendo chegar em casos especiais três horas. Esta limitação de tempo tem por objetivo evitar fadiga e aborrecimento dos participantes.

Deve-se procurar realizar o experimento para diversos grupos com o objetivo de minimizar as especificidades das subjetividades dos grupos e suas idiosincrasias. O compromisso devido à recompensa monetária, ou devido ser trabalho de classe deve ser estimulado. Questão de gênero (esquecida pela teoria econômica) e aversão/propensão a riscos

individuais devem ser lembrados. Os grupos que participaram deste trabalho forma no âmbito de disciplinas ou grupos de estudos.

**Tabela 2 - Variáveis de Controle Direto (VCD) do coordenador e jogadores e variável de controle indireto.**

	Acesso Livre e Comando e Controle ( <b>posição conhecida</b> )	Preço	Troca (mercado)
Variáveis de Controle Direto pelo Coordenador	Efetividade da Fiscalização (p) Fator de Multa (T) Licença dos Jogadores (L) Quantidade de água disponível	Efetividade da Fiscalização (p) Fator de Multa (T) Preço da água (p <sub>x</sub> ) Quantidade de água disponível	Efetividade da Fiscalização (p) Fator de Multa (T) Licença Inicial dos Jogadores (L) Quantidade de água disponível
Variáveis de Controle Direto pelo Jogador	Capacidade Instalada (K)	Licença Desejada (PO) Capacidade Instalada (K)	Preço e quantidade para compra; Preço e quantidade para venda; Capacidade Instalada (K)

O experimento apresentou informações escritas e orais. As informações orais foram sempre desejadas, pois, diversas pessoas têm uma facilidade maior de entender o experimento após a explicação oral do mesmo. As instruções procuram identificar claramente os propósitos dos jogos, dar exemplo de como o jogo desenvolve, garantir que os participantes teriam privacidade durante o experimento, e contextualizar o jogo através de uma história realista, crível por todos os participantes. Os exemplos dados devem chegar a realização de aplicações do

experimento sem realizar a contagem de pontos, aprender sem pontuar.

As simulações têm o seu número total e os parâmetros de cada rodada definidos pelo coordenador. O número total de simulações nunca foi informado com antecedência. Os parâmetros foram definidos em blocos de configurações, por exemplo, no caso regulado definia-se um valor para a efetividade de fiscalização (p) e para o fator de multa (T). Usou-se a estratégia de blocos alternados; por exemplo, iniciava-se com um bloco de parâmetros A e realizava-se um certo número de rodas com esta configuração; em seguida mudava-se para outro bloco de parâmetros, digamos B, e realizava-se outro número de rodadas, e finalmente voltava-se para o bloco inicial de parâmetros, A. Assim tínhamos uma estratégia de blocos alternados: ABA.

No início os dados obtidos no experimento eram gravados ao final do jogo. Algumas perdas de dados impuseram a estratégia de armazenamento dos dados a cada jogada.

O Experimento foi aplicado através de software desenvolvido em linguagem DELPHI que simulava os agentes em uma rede de computadores pessoais. O software permite comunicação através da Internet.

#### *Etapas de Desenvolvimento e Aplicação do Modelo*

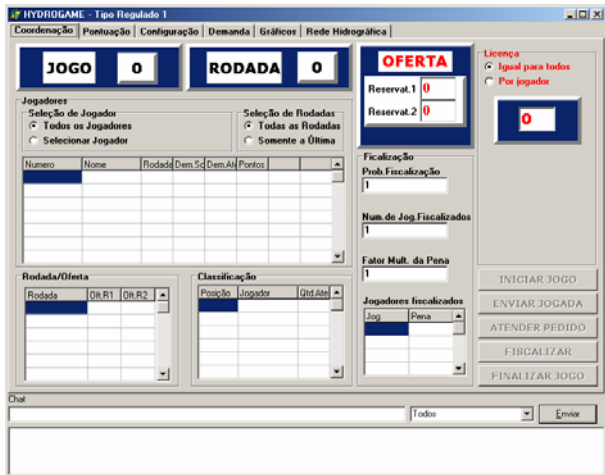
O desenvolvimento da metodologia de experimentação comportamental teve quatro fases:

- A primeira fase consistiu na formulação inicial dos jogos e na elaboração de um protótipo com características mais artesanais.
- A segunda fase foi a aplicação do protótipo a um grupo de estudantes de Psicologia.
- A terceira fase foi a migração do protótipo para uma versão computacional que pudesse operar em rede de computadores.
- A quarta fase foi a aplicação do sistema desenvolvido pelo grupo de estudantes da pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Ceará (UFC) e a grupo de Estudantes da Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica da UFC.

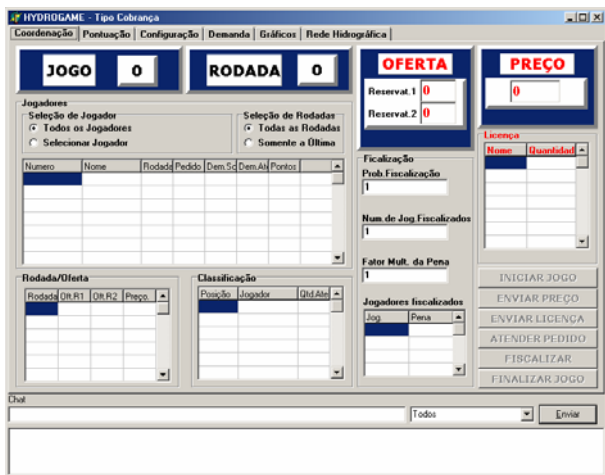
#### *Aplicação dos Experimentos*

Os experimentos comportamentais da fase final foram realizados em Laboratório Computacional.

O coordenador do experimento usava um programa servidor que possui uma tela para cada tipo de mecanismo de alocação. A Figura 3 apresenta exemplo destas telas para o caso comando e controle e preço.



(a)

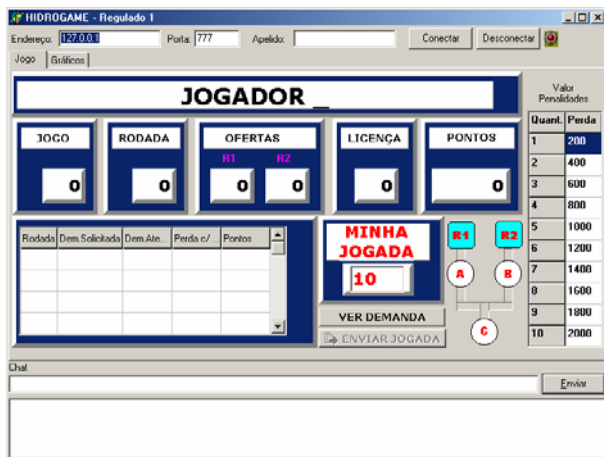


(b)

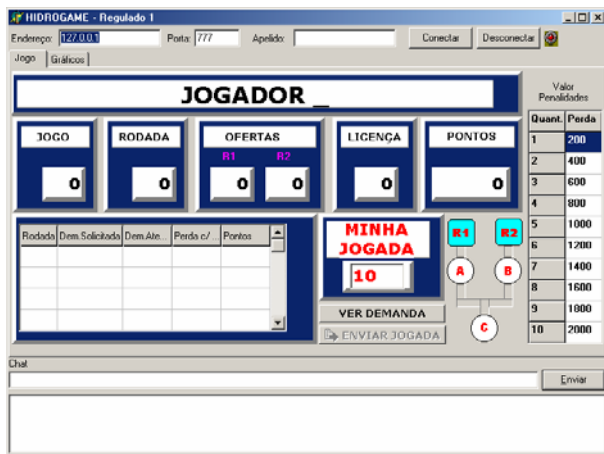
Figura 3 - Telas do Coordenador do jogo para experimento comando e controle (a) e alocação via preço (b)

Cada um dos participantes do experimento tinha uma tela computacional com a qual interagira recebendo informações do coordenador e comunicando as suas decisões. A Figura 4 mostra as telas para o experimento do mecanismo comando e controle e via preço. Observa-se nesta tela que os jogadores tem a informação da rede hidrográfica e ao conectar-se ao coordenador (cliqueando "conectar" na parte superior da tela) há um sorteio da posição na rede (A, B ou C) e o tipo das características econô-

micas e financeiras do usuário. De posse desta informação o usuário começa a interagir com os demais usuários através do coordenador. O experimento possui descrição mais detalhada em um manual expedito que pode ser obtido com os autores deste artigo.



(a)



(b)

Figura 4 - Tela computacional de interação dos jogadores com o coordenador. (a) comando e controle e (b) via preço.

### Resultados do Experimento Comportamental em comparação a modelagem matemática do agente racional

Os modelos de experimentação comportamental (EC) que terão seus resultados a seguir apresentados têm por objetivo avaliar o pressuposto dos modelos matemáticos descritos anteriormente de agentes racionais e auto-interessados.



Os jogos têm como foco central o comportamento dos agentes usuários submetido a diferentes incentivos de uma agência ou governo e a interação estratégica com os demais usuários.

Descrevem-se, a seguir, os resultados da aplicação do modelo em sua versão final e compararam-se os resultados desta aplicação com os resultados obtidos com os modelos matemáticos utilizando teoria dos jogos e comportamento racional dos usuários apresentado na seção 4 deste artigo. Os Experimentos Comportamentais (EC) realizados foram Modelo de Alocação Comando e Controle (MACC), Modelo de Alocação via Preço (MAP) e Modelo de Alocação com Transferências de Mercado (MAT).

As características do agente usuário utilizados no experimento são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 - Características dos tipos de agente usuário utilizados no caso heterogêneo. Onde b é o benefício econômico em Utilizou-se Fator de Multa (T) igual a três (3).**

Tipo Jogador	$\beta$ (um)	CV (um)	CF (um)	Pcr
1	1.50	0.56	0.81	0.035
2	2.76	2.09	0.28	0.146
3	12.09	6.89	1.30	0.188

**EC-MACC**

No experimento comportamental do modelo de alocação comando e controle, os usuários conhecem sua posição na rede hidrográfica. Os parâmetros institucionais utilizados no EC-MACC são apresentados na Tabela 4.

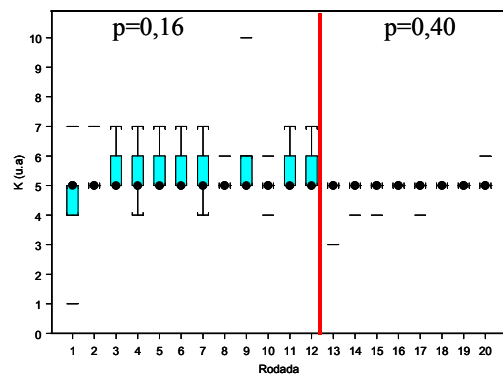
**Tabela 4 - Características Básicas das restrições institucionais e de oferta hídrica no experimento comando e controle heterogêneo. Fator de Multa (T) utilizado para todos os experimentos foi igual a três (3)**

Rodada	Efetividade de Fiscalização (p)	Oferta Total (u.a)	Oferta / jogador (per capita)	Licença (u.a)
01a 12	0,16	35	5	5
13a 20	0,40	35	5	5

Na primeira configuração institucional a efetividade de fiscalização (p) foi igual a 0,16; valor maior que o  $P_{cr}$  do agente do Tipo 2, como apresentado na Tabela 3. Neste caso o sistema modelado matematicamente não apresentou ação caroneira (*free-rider*), devido o usuário Tipo 3 ser um único com a tomada d'água mais a jusante do sistema.

A Figura 5 mostra que no experimento 50% dos agentes tiveram este comportamento, 25% retiraram uma unidade a mais que sua licença, caracterizando uma ação caroneira diferente do observado no experimento comportamental. Os agentes que tiveram este tipo de ação foram agentes localizados em posições mais a montante que mostraram uma propensão a risco estimulada pela vantagem comparativa de posição (estarem mais a montante). Esta propensão a risco maior necessita ser incorporada futuramente na modelagem matemática.

Quando a efetividade de fiscalização foi de 0,4 não houve ação caroneira (*free-rider*) por parte dos agentes e todos, a exceção de um, implantaram uma demanda igual a licença em todas as rodadas. Este resultado corrobora com os resultados do modelo matemático.



**Figura 5 - Experimento Comportamental Alocação Comando e Controle, Posição Conhecida, Box Plot. No Box Plot o ponto preto indica a mediana da distribuição, o azul abaixo da mediana o primeiro quartil (25%), e a acima o terceiro quartil (75%).**

**EC-MAP**

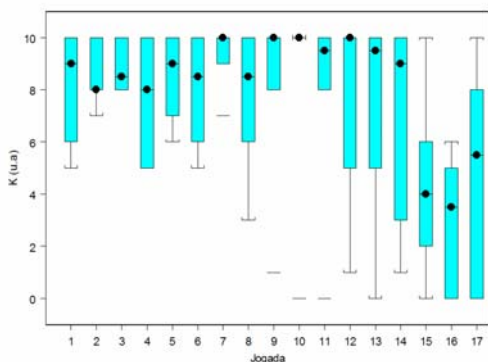
O experimento comportamental dos modelos de alocação via preço é apresentado a seguir. O processo de decisão neste processo é similar ao modelado matematicamente em Souza Filho et all(2007) onde é detalhado. As etapas seguidas grosso modo pelo modelo foram: i) coordenador (agência) define o volume alocável e o preço público; ii)

os usuários avaliavam se tinham capacidade de pagamento e solicitavam a permissão de uso de certo volume (pedido de licença); iii) a agência rateava linearmente o volume alocável pelo volume de licença solicitado e comunicava o valor da licença (L) para cada usuário; iv) o usuário tinha a informação da efetividade de fiscalização e decidia a demanda que iria instalar (K), se  $K > L$  há a ação caroneira; v) o estado fiscalizava o usuários com probabilidade p.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros do modelo institucional utilizado. A Figura 6 apresenta a capacidade instalada pelos agentes usuários nas diferentes simulações. Da Tabela 5 observa-se que a oferta *per capita* é de 5u.a.

**Tabela 5 - Características dos experimentos comportamentais via preço. O Fator de Multa utilizado foi igual a Três.**

Rodada	Efetividade de Fiscaliza. (p)	Oferta Total (u.a)	Oferta / jogador (per capita)	Preço (u.m/u.a)
01 a 08	0,16	35	5	1
09 a 14	0,20	35	5	5
15 a 17	0,40	35	5	11



**Figura 6 - Experimento Comportamental Alocação via Preço, Box Plot da Capacidade Instalada**

Os Jogadores 1 e 4 tem a mesma capacidade de pagamento e esta é a menor entre todos os agentes usuários. Nas primeiras iterações ocorre uma ação caroneira. Quando o preço chega a valores de

11 u.m/u.a os agentes 1 e 4 não tem capacidade de pagamento e a efetividade de fiscalização é muito alta não compensando uma ação caroneira; nestas condições os jogadores deixam de operar e demandam zero. Para a efetividade de fiscalização igual a 0,2 e o preço igual a cinco, já não compensava a ação deste dois agentes; observa-se que apenas o jogador 4 diagnosticou este fato.

**EC-MAT**

O experimento comportamental dos modelos de alocação via mercado tem seus parâmetros institucionais apresentadas na Tabela 6, condições estas similares às modeladas matematicamente.

Os comportamentos dos agentes quanto as trocas de mercado (preço de equilíbrio e quantidades totais trocadas) tem sua descrição condicionada por uma variável de controle dos agentes, qual seja, a disposição a comprar dos agentes. A Figura 7 mostra a evolução da disposição a pagar com as rodadas e como esta é função da efetividade de fiscalização que cresceu em patamares com as rodas. Este comportamento corrobora com o comportamento encontrado nos modelos matemáticos.

A maior disposição a pagar com o aumento da efetividade de fiscalização induziu preços da água mais elevados. Observou-se no experimento comportamental que o preço de equilíbrio do mercado foi uma função da efetividade de fiscalização (p), como mostra a Figura 8. Este preço de equilíbrio que foi de 50 u.m/u.a para a primeira configuração institucional (p=0,1) subiu para o patamar de 120 u.m/u.a quando a efetividade de fiscalização aumentou nos modelos institucionais subseqüentes. Estes valores não foram isentos de oscilações especulativas por parte de alguns jogadores, notadamente os da rodada 4 e 14. O preço teve, pois, dois patamares de valores, um quando compensava-se a ação *free-rider* por parte de alguns agentes e outro quando esta ação não compensava economicamente.

A quantidade de troca foi mais sensível à efetividade de fiscalização que ao preço. As trocas só chegaram a se manter de forma sustentável em torno de 10 u.a quando a efetividade de fiscalização (p) foi de 0,7, não tendo se estabilizado neste valor para p=0,3. Este fato é interessante pois p=0,3 já é um valor que se inibiria a ação *free-rider* no comando e controle, mas o comprador "parece" necessitar de segurança extra de que o seu gasto em adquirir direitos de uso adicionais irá lhe proporcionar valores maiores de renda. Indicando a existência de duas aversões a risco: i) a primeira de perdas associadas a uma loteria que possuía (ter ou não seu direito de

uso subtraído por ação caroneira); ii) a segunda associada a compra de mais uma loteria. Isto é, há uma aversão a risco a utilizar a licença outorgada ou valores maiores que ela; e a uma outra propensão a risco associada a licença adquirida com gasto de recursos próprios. Esta hipótese, das duas aversões a risco, poderá ser analisada em experimentos futuros.

Este padrão de comportamento corrobora com o observado no modelo matemático quando apresentou: i) diferentes patamares para o preço em função da efetividade de fiscalização; ii) quantidades trocadas serem mais sensíveis que os preços quanto à efetividade de fiscalização. Os modelos matemáticos não representaram nenhuma das flutuações de preço e de trocas encontradas no experimento comportamental.

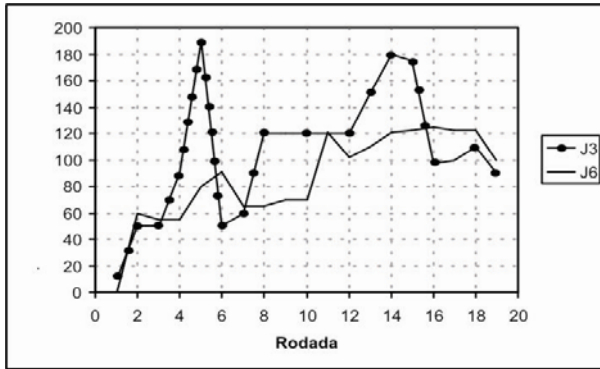


Figura 7 - Evolução da disposição a pagar de dois agentes usuários com as rodadas.

- Uma região onde a oferta é frequentemente superior a demanda ou a demanda superior a oferta produzindo a ineficiência descrita no item anterior ou a associada a existência de recursos não explorados. Caroneiros (*Free-Rider*) reprimidos mas os demais agentes ainda não acreditam nisto quando  $p=0,3$ .
- Uma região de menor ineficiência onde oferta e demanda instalada são iguais. *Free-Rider* reprimidos e os demais agentes acreditam nisto quando  $p=0,7$ .

O comportamento descrito no item iii) tem no jogador do tipo 3 uma claro representante. O jogador 3 só irá implantar a sua licença quando a efetividade de fiscalização é igual a 0,7.

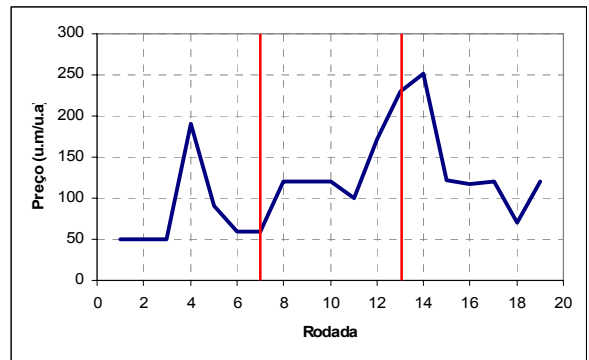


Figura 8 - Experimento Comportamental Alocação via Preço, Box Plot da Capacidade Instalada

Tabela 6 - Características das Instituições no experimento comportamental que permite trocas EC-MAT

Rodada	Fator de Multa (T)	Efetividade de Fiscalização (p)	Oferta-Total (u.a)	Oferta /jogador
01 a 07	3	0,1	35	5
11 a 13	3	0,3	35	5
14 a 19	3	0,7	35	5

A Figura 9 (6.61) apresenta a ineficiência do sistema a partir da quantidade de demanda instalada a mais que a oferta ou de oferta não aproveitada pela demanda. Observa-se nesta figura três regiões:

- onde a oferta é maior que a demanda e o recurso esta sobre explorado, levando a instalação de demanda que não produzira benefício, mas que pagar-se-á o custo fixo. Ação caroneira quando  $p=0,1$ .

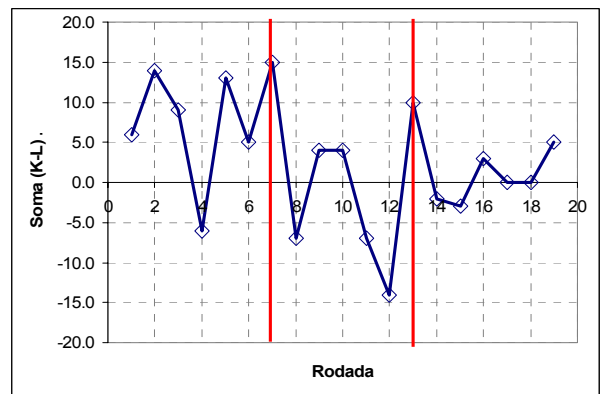


Figura 9 - Valores positivos indicam a demanda total instalada acima da oferta; valores negativos quantidade de oferta não utilizada. Estes dois valores medem a ineficiência do sistema.

## CONCLUSÃO

A experimentação econômica foi utilizada para verificar as hipóteses do comportamento dos usuários utilizadas nos modelos matemáticos. De forma geral os experimentos confirmaram os modelos não obstante a necessidade de se melhorar os modelos matemáticos quanto à incorporação de diferentes propensões a riscos.

Em algumas situações onde os usuários tinham valor esperado negativo alguns jogadores continuaram as suas retiradas de água quando o comportamento esperado seria não operar o sistema hídrico. Isto pode estar associado à limitação da racionalidade ou a uma imensa propensão ao risco. Este fato deve ser analisado com mais profundidade a partir de outra arquitetura de experimento.

Recomenda-se que em experimentos futuros questões mais específicas sejam projetadas. Com vista a possibilitar a análise mais acurada de alguns comportamentos.

Os experimentos comportamentais na forma como aqui descrito poder ser utilizados como ferramenta educacional, possibilitando uma visão mais integrada à estudantes das decisões e contexto dos diferentes tipos de alocação de água.

Experimentos comportamentais da alocação de água do tipo Conferência de Consenso na forma como ocorre nas reuniões dos usuários de água em alguns Estados do nordeste brasileiro foram tentados. Nestes experimentos pode-se observar que o contexto político e social, assim como, outras trocas simbólicas que ocorrem na negociação são fundamentais. Sendo estes fatores de difícil representação em uma experimentação comportamental na forma descrita neste trabalho. Metodologia mais adequada a estes experimentos necessita ser projetada.

Novas aplicações do experimento comportamental desenvolvido neste trabalho podem e devem ser levar a cabo com vistas a ampliar a base de informações existentes. Nestas novas aplicações deve focar o aumento do número de dados disponíveis e a possibilidade de avaliação de outros fatores, tais como, conhecimento prévio (formal e prático) e visão de mundo dos indivíduos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do Prof. Cavalcante Júnior por ter organizado a aplica-

ção do protótipo deste experimento ao grupo de psicólogos. Ao Prof. Paulo Neto por ter organizado a aplicação do experimento a grupo de estudantes da pós graduação em econômica da Universidade Federal do Ceará (CAEN), assim como, a Prof. Ticiane Studart e a Dra. Renata Lunna por terem possibilitado a aplicação deste experimento ao grupo de estudantes da Pós-graduação em hidráulica da UFC. Finalmente a analista de sistemas Joney Rosa Cisney pela colaboração na fase inicial de estruturação da migração do protótipo para o sistema final e o Grupo do departamento de monitoramento da FUNCEME que participou dos testes de validação do sistema computacional.

## REFERÊNCIAS

- CAMERER, C.**, "Individual Decision Making". In "The Handbook of Experimental Economics". Editores J.H. Hagel e A.E. Roth. Editora Princeton University Press. 1995.
- CAMERER, C.**, "Behavior economics: reunifying psychology and economics". *Proceedings National Academic of Science USA*, Vol.96, Setember 1999.
- CAMERER, C.F., LOEWENSTEIN, G., RABIN, M.** "Advances in Behavioral Economics". Princeton University Press. 738p. 2004.
- CASON, T.N, PLOTT, C.R.** "EPA's new emission trading mechanism: a laboratory evaluation". *Journal of Environmental Economics and Management*. N.30. 1996.
- COOTER, R., ULEN, T.** "Law & Economics". 3 Edição. Addison Wesley Longman. 545p. 2000.
- FRIEDMAN, D., SUNDER, S.** "Experimental Methods: a primer for economists". Cambridge University Press. 1994.
- GIBBONS, R.** "Game Theory for Applied Economists". Princeton University Press. 1992.
- HACKETT, S.C, WALKER, J.M.**, "Common Pool resources: the relevance of laboratory experimental research". In "Water Quantity/Quality management and conflict resolution". Editores: Dinal. A., Loehman, E.T., Editora Praeger Publishers. 1995.
- HAGEL, J.H. , ROTH, A.E.** "The Handbook of Experimental Economics". Editores J.H. Hagel e A.E. Roth. Editora Princeton University Press. 1995.
- KAHNEMAN, D., TVERSKY, A.**, "Prospect theory: an analysis of decision under risk", *Econometrica*, N.47, Vol.2, Março, 1979.
- KAHNEMAN, D., TVERSKY, A.**, "Choice, Values, and Frame" in "Choice, Values, and Frame". Editado: D. Kahneman e A. Tversky, Editora: Cambridge University Press. 2000a.

- KAHNEMAN, D., TVERSKY, A.**, “Choice, Values, and Frame”. Editora: Cambridge University Press. 839p. 2000b.
- KAHNEMAN, D.**, “Maps of Bounded Rationality: a perspective on intuitive judgment and choice”. Prize Nobel Lecture, <http://nobelprize.org/economics/laureates/2002/kahnemann-lecture.pdf> Dezembro, 2002.
- LEDYARD, J.O.** “Public Goods: A survey of Experimental Research”. In “The Handbook of Experimental Economics”. Editores J.H. Hagel e A.E. Roth. Editora Princeton University Press. 1995.
- MURPHY, J.J., HOWITT, R.E.**, “The role of instream flows in a water market: using experimental economics to address environmental issues”. World Congress of Resource and Environmental Economics, Veneza, Italia, 25 a 27 de Junho, 1998.
- MURPHY, J.J., DINAR, A., HOWITT, R.E., RESENTI, S.J., SMITH, V.L.** “The Design of ‘Smart’ water market institutions using Laboratory experiments”. Environmental and Resources Economics 17(4), Dezembro, 2000.
- MURPHY, J.J.**, Cardenas, JC, “An environment on enforcement strategies for managing a local environmental resource”. Journal of economics education. Volume 35, No. 1. 2004
- MYERSON, R.B.** “Game Theory: Analysis of Conflict”. Harvard University Press. 1997.
- NASH, J.** “Equilibrium Points in n-Person Games”. Proceedings of the National Academy of Sciences”. 36:48-49. 1950.
- NASH, J.** “Two-Person Cooperative Games”. Econometrica, 21:128-140. 1953.
- OCHS, J.** “Coordenatio Problem”. In “The Handbook of Experimental Economics”. Editores J.H. Hagel e A.E. Roth. Editora Princeton University Press. 1995.
- OSBORNE, M.J., RUBINSTEIN, A.** “ A Course in Game Theory”. MIT Press. 1994.
- ROTH, A.E.** “Introduction to Experimental Economics”. In “The Handbook of Experimental Economics”. Editores J.H. Hagel e A.E. Roth. Editora Princeton University Press. 1995a.
- ROTH, A.E.** “Bargaining Experiments”. Editores J.H. Hagel e A.E. Roth. Editora Princeton University Press. 1995b.
- SMITH, V.L.**, “Experimental economics: induced value theory”, American Economic Review, papers and proceedings (1976).
- SMITH, V.L.**, “Microeconomic systems as an experimental science”, American Economic Review, N.72, (1982).
- SOUZA FILHO, F.A.** “ALOCAÇÃO DE ÁGUA SAZONAL E ANUAL: Modelos Matemáticos, Experimentação Comportamental e Justiça Alocativa. Tese de Doutorado. EPUSP. 2005.
- SOUZA FILHO, F.A. E PORTO, R.** “Aocação administrativa de água: usuário free-rider e agência auto-interessada”. Jornal da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. (Submetido). 2007a.
- SOUZA FILHO, F.A. E PORTO, R.** “Alocação de água e o Estado”. Jornal da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. (Submetido). 2007b.
- SOUZA FILHO, F.A, LALL, U, PORTO, R.** “The role of price and enforcement in water allocation: insights from Game Theory in a Brazilian context”. Water Resource Research (Submetido). 2007.
- TVERSKY, A., KAHNEMAN, D.**, “The Framing of Decisions and the psychology of choice”, Science, Vol.211, Janeiro, 1981.
- TVERSKY, A., KAHNEMAN, D.**, “Belief in the law of small numbers” in “Judgment under uncertainty: heuristics and biases”. Editor: D.Kahneman, P. Slovic, A.Tversky. Editora. Cambridge University Press. 1982.

### *Behavioral Experimentation in Water Allocation Mechanisms*

#### **ABSTRACT**

*Economic experimentation is used as an analytic tool to check the economic behavior of economic agents in strategic games that occur with different water allocation mechanisms (command and control via price and market). The experiment results are compared with the results of mathematical models of these strategic games. The mathematical models use the games theory and the theory of rational crime. The boundary rationality and free-rider action was analyzed. The computational system developed could be used in training about water allocation. Key Words: water allocation, free-rider, economic experimentation, boundary rationality.*