

Conflitos Pelo Uso da Água no Setor Agrícola no Norte Fluminense (II): Processo Decisório Através do Modelo Grafo para Solução de Conflitos

Augusto César Vieira Getirana, José Paulo Soares de Azevedo, Paulo Canedo de Magalhães

Programa de Engenharia Civil – COPPE – UFRJ

augusto@hidro.ufrj.br; zepaulo@hidro.ufrj.br; canedo@hidro.ufrj.br

Recebido: 18/08/05 - Revisado: 29/03/06 - Aceito: 30/01/07

RESUMO

Este artigo procede uma análise decisória de conflito pelo uso da água no setor agrícola a partir de resultados ótimos de cenários construídos com diferentes propostas de soluções para a obtenção de um termo de compromisso viável entre decisões. O processo é realizado com a utilização do Modelo Grafo para Solução de Conflitos (GMCR). O estudo de caso é o conflito existente entre usuários do canal Coqueiros. Este canal de 45 quilômetros, integrante de uma complexa rede de canais utilizados para a irrigação e drenagem, localiza-se no município de Campos dos Goytacazes, no Norte Fluminense e tem em sua bacia uma área potencialmente irrigável de, aproximadamente, 14.000ha. Foram adotados seis cenários, cada um correspondendo a uma alternativa para a solução do conflito, os quais foram utilizados para a geração dos estados necessários para a análise no GMCR. Alguns estados que alcançaram o estado de equilíbrio foram analisados para a determinação de soluções para o conflito e verificou-se que o cenário que prevê alocação de água por cotas, sem restrições de vazão ao longo do canal, corresponde a uma solução de compromisso factível, pois não seria necessária a interferência econômica do Poder Público através de subsídios agrícolas.

Palavras-chave: Análise de conflitos, teoria dos jogos, GMCR, irrigação.

INTRODUÇÃO

Segundo a teoria econômica, a disputa por um bem ocorre a partir do momento em que o mesmo passa a ser escasso ou insuficiente para o suprimento da necessidade de todos. Isto se aplica a qualquer recurso disponível em nosso planeta, inclusive à água.

Chama a atenção no território brasileiro a quantidade de grandes e caudalosos rios, que totalizam uma produção hídrica de superfície com média de aproximadamente 250.000m³/s (toda a Europa produz em torno de 100.000m³/s). Entretanto, cerca de 70% da água doce do País encontra-se na região Amazônica, enquanto os outros 30% são distribuídos para 95% da população que habitam o resto do território nacional.

Em suas dimensões continentais, encontram-se no Brasil casos distintos de problemas de escassez de água gerada pela crescente demanda pelo recurso. Entretanto, é nas regiões Nordeste e Sudeste onde eles se evidenciam mais claramente. Muitos dos casos de conflito causados pela indisponibilidade de água giram em torno do setor agrícola,

responsável pelo consumo de significativa fatia do total da água usada pelo homem.

Tais problemas de escassez, unidos às questões de qualidade da água, são as principais origens dos conflitos pelo uso da água, que se intensificam o crescimento populacional e a concentração urbana. Verifica-se não somente no Brasil, mas em todo o mundo, um crescimento significativo do número de relatos de conflitos em torno dos recursos hídricos (United Nations, 1988; Furtado e Campos, 1997; UNESCO, 2002; Carneiro, 2004; Mbonile, 2005; Sneddon e Fox, 2006). Nota-se, ainda, um aumento na busca por modelos matemáticos capazes de representar mais fielmente os componentes de um conflito (Fang *et al.*, 1993; Hipel *et al.*, 1997).

Tendo em vista as diferentes peculiaridades relacionadas à sociedade, política e economia regionais e, adicionalmente, ao uso dos recursos hídricos, cada caso de conflito deve ser tratado individualmente, impossibilitando a aplicação das mesmas soluções em diferentes situações.

Neste sentido, este artigo descreve o desenvolvimento de um processo decisório sobre potenciais conflitos pelo uso da água no setor agrícola, na Baixada Fluminense, apresentado por Getirana *et al.* (2007), onde foi adotado o Modelo Grafo para So-

Tabela 1 – Caracterização dos Critérios de Estabilidade [Adaptado de Fang et al. (1988)].

Critérios de estabilidade	Referências	Características	
		Visão de futuro	Recuo
Estabilidade de Nash	Nash (1950a; 1950b; 1951), von Neumann e Morgenstern (1953)	Pequeno	Nunca
Metarracionalidade geral	Howard (1971)	Médio	Bloqueio
Metarracionalidade simétrica	Howard (1971)	Médio	Bloqueio
Estabilidade seqüencial	Fraser e Hipel (1979; 1984)	Médio	Nunca
Estabilidade de L_h	Kilgour (1985), Kilgour <i>et al.</i> (1987), Zagare (1984)	Variável	Estratégico
Estabilidade não-míope	Brams e Wittman (1981); Kilgour (1984; 1985); Kilgour <i>et al.</i> (1987)	Grande	Estratégico

lução de Conflitos (GMCR – *Graph Model for Conflict Resolution*) para modelar as preferências dos diferentes agentes em um conflito.

CONFLITOS E A SUA MODELAGEM

Pode-se encontrar na literatura diferentes conceitos para o termo “conflito”. Mostert (1998) o define como uma discordância em torno de um curso de ação a ser adotado. No entanto, de uma forma geral, pode-se afirmar que uma situação de conflito ocorrerá sempre que existir disputa entre dois ou mais grupos com poderes de decisão e interesses diversos.

A modelagem de conflito tem como objetivo fornecer uma conceituação aproximada de conflitos reais, destacando as suas principais características e representando-as através de uma estrutura matemática formal. Desta forma, um modelo de conflito é uma ferramenta geral para o estudo sistemático de disputas em curso, disputas do passado ou disputas hipotéticas (Fang *et al.*, 1993). Calibrado o modelo para uma certa disputa em curso, é possível antecipar movimentos e contra movimentos de cada decisor e propor possíveis concertações para o conflito.

Teoria dos jogos

A Teoria dos Jogos, cujas origens remontam aos trabalhos de Fermat no século XV em jogos de salão, teve suas bases modernas desenvolvidas por von Neumann (1928). Desde então, diversos desenvolvimentos alargaram significativamente os conceitos e aplicações da Teoria de Jogos (tabela 1). Dentre os diversos ramos da Teoria dos Jogos destaca-se

a Modelagem de Conflitos, desenvolvido primeiramente por Howard (1971).

Devido ao grau de complexidade dos conflitos relacionados ao uso da água, provocado pela atuação de diferentes agentes, nem sempre bem definidos, e a postura quase que imprevisível dos mesmos, causada por uma decisão qualquer, a aplicação da Teoria dos Jogos apresenta-se como uma boa opção para se analisar o comportamento humano nestas situações. As primeiras aplicações de Teoria dos Jogos em conflitos pelo uso da água foram formalmente apresentadas na década de 60, com Rogers (1968). O autor avaliou soluções para um conflito internacional entre Índia e Paquistão causado por danos provenientes de inundações da porção inferior dos rios Ganges e Brahmaputra. Após esta abordagem pioneira, outras aplicações de Teoria dos Jogos no gerenciamento de recursos hídricos vêm sendo apresentadas ao longo dos anos. Exemplos brasileiros podem ser encontrados em Ribeiro e Dorfman (1996) e outros trabalhos citados mais adiante, os quais fazem uso do modelo adotado neste trabalho.

O MODELO GMCR

Dentre as várias abordagens da análise de conflitos, o GMCR é considerado ser uma simples, mas eficiente ferramenta de suporte na estruturação e análise de conflitos (Fang *et al.*, 1993; Li *et al.*, 2004). Ele é conceituado como um modelo de jogo abstrato, matematicamente fundado na Teoria dos Jogos. Vários exemplos de aplicações do Modelo Grafo para Solução de Conflito no gerenciamento de recursos hídricos e conflitos ambientais podem ser encontrados na literatura (Sakakibara *et al.*,

2002; Li *et al.*, 2004; Hamouda *et al.*, 2004; Gopalakrishnan *et al.*, 2005). Alguns casos da aplicação do GMCR para o suporte a decisão de conflitos no cenário brasileiro também são encontrados. Entre eles, destacam-se Malta (2000), Vieira e Ribeiro (2005) e Rufino *et al.* (2005). Dentre estes trabalhos, o primeiro apresenta um bom resumo, em português, dos principais atributos do GMCR. Devido à possibilidade de estruturar um conflito no seu nível macro (Vieira e Ribeiro, 2005), além da grande difusão que o modelo vem apresentando nestes últimos anos, optou-se por utilizar O GMCR na análise do caso apresentado neste artigo.

Nas próximas seções são apresentados brevemente os componentes utilizados na estruturação de um conflito no modelo grafo, seus conceitos e a definição matemática do GMCR. Para maiores detalhes, recomenda-se a leitura das referências citadas ao longo do texto.

Componentes do modelo grafo

Para o melhor entendimento dos conceitos básicos da formulação de um modelo de conflito, é fundamental o conhecimento de algumas definições. As principais são apresentadas a seguir (Fang *et al.*, 1993; Hipel *et al.*, 1997):

- **Decisores:** Conceitualmente, associa-se um decisor para cada grupo de pessoas potencialmente beneficiadas ou prejudicadas de alguma forma pelas possíveis soluções do conflito.
- **Opções e estratégias:** As opções de um decisor são as ações que ele pode ou não tomar em um conflito. A estratégia de um decisor é a sua decisão (Quais das suas opções tomar e quais não tomar?). O conjunto de estratégias disponíveis para um decisor é, a princípio, dado pelo conjunto de todas as combinações de suas decisões em relação a cada opção.
- **Estágios e estado:** No GMCR admite-se que os decisores podem mudar de estratégia ao longo da evolução do conflito, e cada vez que algum decisor ou conjunto de decisores muda sua estratégia, diz-se que o conflito muda de estágio. O GMCR adota estados ao invés de escolhas individuais dos decisores. O estado de um conflito em um certo estágio é definido pelo conjunto de estratégias selecionadas por cada decisor. O conjunto de estados de um conflito é dado, em prin-

cípio, pelo conjunto de todas as combinações de estratégias dos diferentes decisores.

- **Preferências:** Em um conflito, cada decisor associa ao conjunto de estados viáveis do conflito uma estrutura de preferências. De forma geral, durante a evolução do conflito, cada decisor agirá tentando fazer com que o conflito evolua para os estados de sua maior preferência.
- **Mudança ou movimento unilateral:** Uma mudança unilateral ou movimento unilateral ocorre quando um decisor decide mover o conflito pela mudança de seleção de sua estratégia. Quando a mudança é feita para um estado de maior preferência denomina-se melhora unilateral.
- **Estado estável:** Um estado é dito estável para um decisor quando ele não considera vantagem mover o conflito deste estado através de uma mudança unilateral.
- **Equilíbrio:** Se o estado é estável para todos os decisores, este estado é uma possível solução do conflito e é denominado equilíbrio.
- **Crêterios de estabilidade:** A definição matemática precisa de como a estabilidade pode ser calculada deve incluir uma descrição do possível comportamento humano ou social em uma situação de conflito, pois o ser humano pode reagir de diferentes formas na disputa.

O comportamento característico dos decisores correspondente aos diversos critérios de estabilidade utilizados no GMCR é descrito em Fang *et al.* (1988), conforme a tabela 1. Na caracterização “visão de futuro” é descrita a habilidade do decisor para considerar os possíveis movimentos que o conflito pode tomar no futuro. Se o decisor tem uma grande visão de futuro ele imagina vários movimentos e contra-movimentos na evolução da disputa antes de tomar sua próxima decisão. Na caracterização propensão a “recuo”, se o decisor tem um comportamento estratégico, ele admite promover uma mudança unilateral temporária para um estado pior de acordo com as suas preferências (piora unilateral), para mais tarde poder alcançar um estado de maior preferência. “Bloqueio” indica que o decisor imagina que os outros decisores promoverão, se puderem, pioras unilaterais, apenas para bloquear seus melhoramentos unilaterais.

Conceitos da teoria de grafo

Um grafo direcionado D é definido como um par de (V,A) , onde V é um conjunto $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ de elementos chamados vértices e A é um conjunto $\{a_{ij}, a_{kl}, \dots\}$ de elementos do produto cartesiano $V \times V$ chamados de arcos. Se a_{ij} é um arco e v_i e v_j são vértices tal que $a_{ij} = (v_i, v_j)$ então diz-se que a_{ij} liga v_i a v_j , onde v_i é a cauda e v_j é a cabeça de a_{ij} . Um arco com cabeça e cauda iguais é chamado “loop”. Num dado grafo D , um conjunto de vértices e arcos alternados, $(v_0, a_1, v_1, \dots, a_k, v_k)$, define um caminho direcionado se, para qualquer a_i , v_{i-1} é a sua cauda e v_i é a sua cabeça.

A matriz adjacente A de um grafo direcionado é a matriz $n \times n [a_{ij}]$, com $a_{ij} = 1$ se (v_i, v_j) é um arco de D , e $a_{ij} = 0$ no caso contrário. Se existe em D uma passagem direcionada de v_i a v_j , o vértice v_j é dito alcançável de v_i em D . A matriz de alcance R de um grafo direcionado é a matriz $n \times n [r_{ij}]$, com $r_{ij} = 1$ se v_j é alcançável de v_i e $r_{ij} = 0$ no caso contrário.

Para um grafo direcionado transitivo, a matriz de alcance e a matriz adjacente satisfazem a seguinte equação:

$$R = A + I \tag{1}$$

onde I é a matriz Identidade.

Definição do modelo GMCR

Seja um conflito onde $N = \{1, 2, \dots, n\}$ é o conjunto de índices dos decisores e $U = \{1, 2, \dots, u\}$ o conjunto de índices dos estados do conflito. Para cada decisor i no conflito, considera-se conhecido um vetor de preferências para os estados em U , também chamado função de valor de preferência, $P_i: U \rightarrow \mathbb{N}$, onde \mathbb{N} é o conjunto de números naturais.

$$P_i = (P_i(1), P_i(2), \dots, P_i(u)) \tag{2}$$

No modelo GMCR, o conflito é representado por um conjunto de grafos direcionados finitos, um para cada decisor i , denotado $D_i = (U, A_i)$. O conjunto de vértices U de todos os grafos representam os estados possíveis do conflito e, portanto, são comuns em todos os grafos D_i . Os arcos em A_i representam transições entre os estados e são definidos levando-se em conta apenas as mudanças unilaterais possíveis para o decisor i . Ou seja, o arco (q, k) existe em A_i se e somente se o decisor i pode provocar uma mudança unilateral num estágio do estado q para o estado k . As funções de valor de preferência representam a ordem de preferência dos estados

para os decisores. Ou seja, se $P_i(k) > P_i(q)$, então o estado k é preferível ao estado q para o decisor i .

O conjunto de grafos direcionados e de funções de valor de preferência constitui o Modelo Grafo de Conflito.

Análise de estabilidade em conflitos de 2 ou mais decisores

A definição matemática precisa de como a estabilidade pode ser calculada deve incluir uma descrição do possível comportamento humano ou social numa situação de conflito, pois o ser humano pode reagir de diferentes formas na disputa.

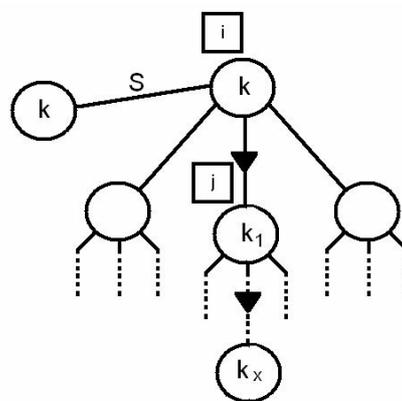


Figura. 1 – Problema de decisão do decisor i de um estado inicial k em um conflito de dois decisores, onde j é oponente a i , k, k_1, k_x , são os estados e s significa manter o status quo.

Seja o problema do decisor i num estado inicial k (conforme figura 1). Se i toma a iniciativa e decide mover o conflito para algum estado $k_1 \in S_i(k)$, então seu oponente talvez decida mover o conflito de k_1 . Dependendo do que i espera que j possa fazer em cada $k_1 \in S_i(k)$, i pode preferir não mover o conflito, mantendo-o no estado k . Se isto acontecer, k é estável para i . Se um estado k é estável para os dois decisores, k é um equilíbrio, ou seja, k deve persistir se ocorrer. A definição dos conceitos de estabilidade para um conflito de n decisores é análoga (figura 2).

- **Estabilidade de Nash** – Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é Nash estável (estabilidade R) para o decisor i , se e somente se $S_i^+(k) = \emptyset$.

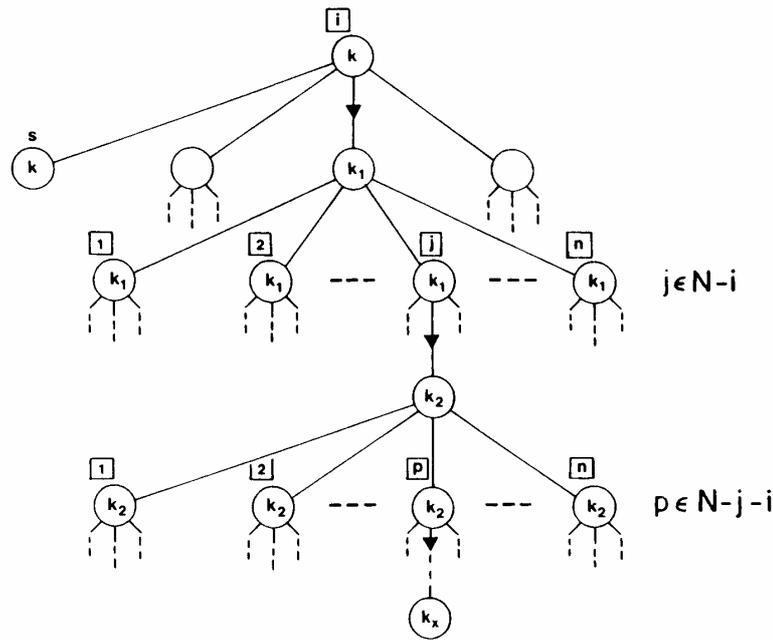


Figura 2 – Problema de decisão do jogador i de um estado inicial k em um conflito de n jogadores, onde k_1 , k_2 , e k_x são estados e s permanecer estacionado.

- **Metaracionalidade Geral** – Para $i \in N$, um estado $k \in U$ é metaracional geral estável (estabilidade GMR) para o decisor i se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe pelo menos um $k_x \in S_{N-i}(k_1)$ com $P_i(k_x) \leq P_i(k)$.
- **Metaracionalidade Simétrica** – Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é metaracional simétrico estável (estabilidade SMR) para o decisor i, se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe $k_x \in S_{N-i}(k_1)$, tal que $P_i(k_x) \leq P_i(k)$ e $P_i(k_3) \leq P_i(k)$ para todo $k_3 \in S_i(k_x)$.
- **Estabilidade Seqüencial** – Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é seqüencial estável (estabilidade SEQ) para o decisor i se e somente se para todo $k_1 \in S_i^+(k)$ existe $k_x \in S_{N-i}^+(k_1)$ com $P_i(k_x) \leq P_i(k)$.
- **Estabilidade L_h** – Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é L_h estável para o decisor i se e somente se $G_h(i, k) = k$. A análise da estabilidade L_h exige o cálculo dos valores de $G_h(i, k)$, para todo $i \in N$ e para todo $k \in U$. Para o cálculo de $G_h(i, k)$, se $S_i(k) = \emptyset$ então o estado k é L_h estável e, verificam-se apenas os estados k para os quais $S_i(k) \neq \emptyset$. Suponha, portanto, k tal que $S_i(k) \neq \emptyset$. Sejam $V_h(i, k) \in U$, o maior *payoff* que o decisor i pode obter mo-

vendo o conflito do estado k e $Q_h(i, k)$, o estado para o qual ele deve mover o conflito para obter $V_h(i, k)$.

- **Estabilidade Não Míope** – A Estabilidade Não Míope (estabilidade NM) corresponde ao limite da Estabilidade L_h quando h tende ao infinito. Definição: Seja $i \in N$. Um estado $k \in U$ é não míope estável para o decisor i se e somente se existe t' inteiro e positivo tal que $G_t(i, k) = k$ para todo $t \geq t'$.

Matrizes e listas de alcance dos movimentos unilaterais de um decisor

A matriz de alcance dos movimentos unilaterais de um decisor é representada por uma matriz $R_i = uxu$, onde $R_i(k, q) = 1$, se o decisor i pode mover unilateralmente o conflito em um estágio do estado k para o estado q, $R_i(k, q) = 0$, no caso contrário e $R_i(k, k) = 0$ por convenção. Note que a matriz R_i é a matriz adjacente da teoria de grafo, mas no contexto de análise de conflitos a sua interpretação como matriz de alcance é mais interessante.

Cada lista $S_i(k)$ é formada pelos estados para o qual o decisor i pode mover unilateralmente o conflito em um estágio quando o conflito está no estado k. Portanto:

$$S_i(k) = \{q: R_i(k, q) = 1\} \quad (3)$$

Em um conflito com $n > 2$ decisores (figura 2) o problema do decisor i em um estado inicial k , pode ser descrito como: se i toma a iniciativa e decide mover o conflito para algum estado $k_1 \in S_i(k)$, então outro decisor j , diferente de i , pode mover o conflito de k_1 para $k_2 \in S_j(k_1)$. Dependendo da decisão de j , outro decisor p , diferente de i e j , pode optar por mover o conflito de k_2 para, por exemplo, $k_3 \in S_p(k_2)$ e assim por diante. Dependendo do que o decisor i espera que os outros decisores façam a partir de cada $k_1 \in S_i(k)$, i pode decidir manter o *status quo* k .

Matrizes e listas de alcance dos melhoramentos unilaterais de um decisor

Para representar apenas os melhoramentos unilaterais (ver definição de melhora unilateral anterior), cada matriz R_i é substituída por uma matriz R_i^+ , definida por:

$$R_i^+(k, q) = 1 \text{ se } R_i(k, q) = 1 \text{ e } P_i(q) > P_i(k) \quad (4)$$

Caso contrário, $R_i^+(k, q) = 0$. Analogamente, as listas de alcance $S_i(k)$ são substituídas por:

$$S_i^+(k) = \{q: R_i^+(k, q) = 1\} \quad (5)$$

ESTUDO DE CASO

O conflito analisado neste artigo é o mesmo apresentado pela parte (I) deste estudo nesta revista. Trata-se de conflitos pelo uso da água no setor agrícola, em uma complexa rede de canais de irrigação e drenagem na Baixada Campista, no Norte Fluminense.

Neste sistema, alguns agricultores utilizam os canais como adutores de água para o abastecimento da irrigação. No entanto, apesar da grande disponibilidade de água no Paraíba do Sul, mesmo nas épocas de estiagem, os canais não têm capacidade de aduzir vazões suficientes que satisfaçam a todos os usuários sem que cause danos a outros, pois em determinados trechos, encontram-se, por vezes, depressões no relevo, local onde se encontravam antigas lagoas, e trechos assoreados, que reduzem a área da seção do canal, prejudicando consideravelmente sua condutividade hidráulica e alagando terras potencialmente produtivas nos seus arredores.

Portanto, para que haja disponibilidade de água para uns irrigantes, outros sairão prejudicados com o alagamento de suas terras. Dessa forma, os conflitos existentes entre usuários de recursos hídricos dos canais podem ser caracterizados, principalmente, pelo manejo ineficiente das comportas das cabeceiras associado ao alto índice pluviométrico nos períodos de chuva e a problemas de natureza hidráulica devido às baixíssimas declividades dos canais, trechos que cruzam depressões do terreno, além de assoreamentos freqüentes. Outra causa é o fato que nos períodos de seca, quando o nível d'água no canal fica consideravelmente reduzido, alguns irrigantes, constroem pequenas barragens de forma que o nível se eleve em seus pontos de captação, prejudicando o abastecimento de outros irrigantes a jusante com o impedimento parcial do escoamento.

O uso da água dos canais para irrigação fundamenta-se, basicamente, na produção canavieira, com alguns focos de policultura espalhados pela região.

Devido à grande extensão dos canais e da área abrangida pelo sistema, optou-se por realizar o estudo dos conflitos existentes entre irrigantes abastecidos apenas pelo canal Coqueiros. Sua unidade hidrológica possui cerca de 14.000ha de solos potencialmente irrigáveis e um comprimento de, aproximadamente, 45km (Getirana *et al.*, 2005). Neste canal especificamente, os conflitos ocorrem em proporções moderadas, havendo grande tendência de crescimento com o aumento da prática da irrigação entre os agricultores.

Para este estudo, foram utilizados alguns resultados obtidos através da otimização de cenários para possíveis soluções do conflito entre os irrigantes do canal Coqueiros. Como a cultura dominante na região atualmente é a cana-de-açúcar, todos os cenários propostos prevêm a intensificação da irrigação da monocultura canavieira, desconsiderando a distribuição de outras culturas na região, consideradas de produção de pequena escala ou familiar.

A partir dos resultados obtidos em simulações do canal (Getirana, 2005), foi possível identificar dois potenciais pontos de conflitos. Estes locais registraram restrições de vazão que limitam o abastecimento de usuários localizados a jusante dos mesmos (Getirana *et al.*, 2007). Dessa forma, os doze "usuários de recursos hídricos" do canal propostos foram agrupados em três "blocos", onde cada bloco tem em comum as restrições de vazão descritas. O resultado deste processo é a definição de três grupos de irrigantes ou decisores (D1, D2 e D3) que têm interesses conflitantes entre si, ou seja, a disponibi-

lidade de água para seus respectivos consumos. A figura 3 exibe o resultado do processo realizado.

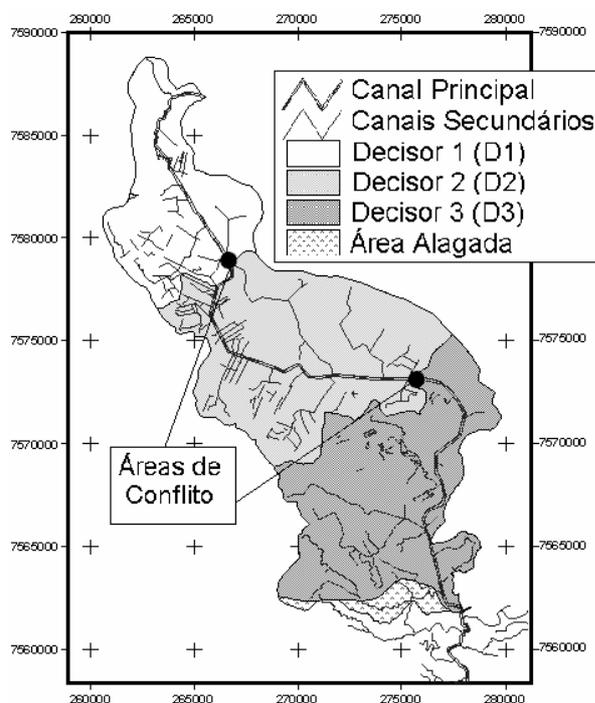


Figura 3 – Delimitação da unidade hidrológica do canal Coqueiros e das áreas correspondentes aos decisores ou grupos de irrigantes (D1, D2 e D3) e destaque dos locais onde ocorrem alagamentos.

Estruturação das propostas de soluções

São propostas três hipóteses para a solução dos conflitos entre irrigantes, algumas se tratando de intervenções estruturais e outras, não-estruturais. São elas: nos trechos onde ocorrem tais conflitos haverá (1) a restrições de vazão para os irrigantes a jusante, de forma que o nível da água nestes pontos seja suficiente para que não prejudique irrigantes nos arredores; (2) seja permitido o alagamento de parte das propriedades dos agricultores que os circundam com o aumento da vazão, abastecendo irrigantes a jusante e; (3) sejam executadas intervenções estruturais como a construção de diques, retificação de canal, revestimento do leito, etc. de forma que não haja mais restrições de vazão e áreas alagadas nestes trechos. Propôs-se neste trabalho que as despesas relacionadas às intervenções estruturais no canal serão realizadas pelo Poder Público, não convertendo as despesas para os irrigantes.

O método de alocação de água pode ser realizado de duas formas: (1) por quotas ou; (2) por otimização da renda líquida global. A primeira baseia-se na área irrigável de cada agricultor (quanto maior, mais água), enquanto a segunda fundamenta-se na eficiência do agricultor (quanto maior a eficiência, mais água). O método de alocação de água corresponde ao critério a ser adotado pelo Órgão Gestor (OG) para a distribuição de água entre os usuários. A tabela 2 apresenta a síntese de cada um dos seis cenários propostos para a solução do conflito e seus resultados obtidos com a aplicação de um modelo de Programação Linear tendo a maximização da renda líquida gerada como função objetivo e a tabela 3 apresenta os decisores, suas opções e estratégias. Pode-se verificar, na primeira tabela, as rendas líquidas obtidas pelos grupos de irrigantes no final de seis anos, conforme o volume de água alocado para cada decisor.

O GMCR foi utilizado para a verificação das melhores alternativas para os diversos decisores considerados na disputa do sistema do canal Coqueiros. Para verificar a sensibilidade do modelo em representar as tendências do Órgão Gestor, realizou-se a análise de estabilidade de dois casos, que se distinguem na forma que o OG expressa suas preferências, de maneira a representar interesses econômicos do Estado do Rio de Janeiro. Ambos são descritos a seguir:

Caso 1: O OG não tem preferência explícita por nenhuma das ações, portanto consideramos a função *payoff* como constante para todos os estados do conflito, com $P_{4i} = 46$. Os demais decisores têm suas preferências variando de acordo com o seu grau de satisfação, ou seja, maior quantidade de água alocada para a sua área irrigada. A decisão do OG será feita de acordo com a concordância dos demais decisores.

Caso 2: O OG tem preferência maior pelo estado onde o sistema, localizado no Rio de Janeiro, pagará mais impostos ao Estado por estar obtendo maior retorno econômico com a produção. Assim, a função *payoff* terá variação para os estados considerados. Para os demais decisores o valor de P não muda do Caso 1 para o 2.

A tabela 4 apresenta os possíveis estados do conflito, bem como a lista de alcance de cada decisor e a função *payoff* de cada um. Pode-se observar que os Decisores 1, 2 e 3 têm uma só opção de movimento, enquanto que o D4 pode se movimentar para um maior número de estados devido ao maior número de opções, apresentados na tabela 3. Devido a inconsistências de preferências observadas em alguns cenários (por exemplo, considerou-se inad-

Tabela 2 – Percentual de água alocada do total disponível, por porção da bacia, no mês de maior demanda de acordo com Getirana et al. (2007).

Parâmetro	Usuários	Cenário					
		Alocação por cotas			Alocação ótima		
		1	2	3	4	5	6
Fração alocada do total disponível (%)	Superior	41,3	30,6	28,5	34,8	32,4	31,0
	Médio	33,8	21,6	22,2	27,3	20,8	21,2
	Inferior	25,0	47,7	49,3	25,0	46,8	47,7
	Total	100,0	100,0	100,0	87,1	100,0	100,0
Renda líquida gerada em 6 anos (10 ⁶ R\$)	Superior	35,68	31,42	29,20	35,68	33,23	31,88
	Médio	27,86	22,10	22,72	27,86	21,28	21,78
	Inferior	25,55	48,77	50,38	25,69	47,97	48,87
	Total	89,09	102,28	102,29	89,23	102,47	102,53

Obs.: Cenários 1 e 4 – com restrição; cenários 2 e 5 – sem restrição e cenários 3 e 6 – com intervenção.

Tabela 3 - Disputa do Sistema Canal Coqueiros: decisores, suas opções, e estratégias.

Número	Decisores	Opções	Estratégias
1	Irrigantes – porção superior	Aceitar a decisão do OG	(S, N)
2	Irrigantes – porção média	Aceitar a decisão do OG	(S, N)
3	Irrigantes – porção inferior	Aceitar a decisão do OG	(S, N)
4	Órgão Gestor (OG)	Cota com restrição	(S, N, N, N, N, N)
		Cota sem restrição	(N, S, N, N, N, N)
		Cota com intervenção	(N, N, S, N, N, N)
		Ótima com restrição	(N, N, N, S, N, N)
		Ótima sem restrição	(N, N, N, N, S, N)
		Ótima com intervenção	(N, N, N, N, N, S)
		Não há decisão	(N, N, N, N, N, N)

missível um decisor rejeitar a decisão do OG que melhor lhe sirva), o tamanho da lista foi reduzido. Esta medida reduziu a lista de 56 ($2 \times 2 \times 2 \times 7 = 56$) para 46 estados resultantes da combinação de opções de cada decisor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na tabela 5 representam os estados de equilíbrio do conflito do canal Coqueiros, de acordo com todos os critérios de estabilidade, para os dois casos propostos. O GMCR é um modelo que faz a análise de estabilidade através de diferentes métodos reconhecidos na literatura, conforme descrito anteriormente. Por esta razão, o modelo é incapaz de ordenar os estados de equilíbrio que atingiram a estabilidade, de maneira

que o processo de classificação dos resultados deve ser realizado analiticamente.

Verifica-se que, no Caso 1, os estados 2, 6, 7, 8, 10, 17 e 21, encontraram a estabilidade em todos os critérios utilizados pelo GMCR. Ou seja, na busca por um melhor estado, todos os decisores se viram na situação que para qualquer movimento unilateral, nenhum outro estado oferece uma função *payoff* superior à oferecida por estes. No entanto, nota-se que, apesar da estabilidade numérica, alguns estados não correspondem a resultados satisfatórios para a resolução do conflito. Observa-se no estado 7 (tabela 4) que, apesar de os três grupos de irrigantes terem concordado com a decisão do OG, este último optou por não tomar decisão alguma, mantendo o conflito. Similarmente, nos estados 8, 10, 17 e 21, ao menos um decisor foi contra a decisão do OG o que leva à continuidade do conflito. Eliminando estes estados de equilíbrio, restam apenas os estados 2 e 6.

Tabela 4¹ – Conflito canal Coqueiros: estados, listas de alcance e funções *payoff*.

Nº	Estados	S1	S2	S3	S4	P1	P2	P3	P4 ₁	P4 ₂
1	(S)x(S)x(S)x(SNNNNN)	-	-	8	2,3,4,5,6,7	46	46	1	46	3
2	(S)x(S)x(S)x(NSNNNN)	20	14	9	1,3,4,5,6,7	26	33	41	46	8
3	(S)x(S)x(S)x(NNSNNN)	21	15	-	1,2,4,5,6,7	1	37	46	46	11
4	(S)x(S)x(S)x(NNNSNN)	22	16	10	1,2,3,5,6,7	44	44	2	46	5
5	(S)x(S)x(S)x(NNNNSN)	23	17	11	1,2,3,4,6,7	37	1	34	46	16
6	(S)x(S)x(S)x(NNNNNS)	24	18	12	1,2,3,4,5,7	30	26	42	46	19
7	(S)x(S)x(S)x(NNNNNN)	25	19	13	1,2,3,4,5,6	21	21	21	46	1
8	(S)x(S)x(N)x(SNNNNN)	-	-	1	9,10,11,12,13	45	45	3	46	4
9	(S)x(S)x(N)x(NSNNNN)	31	26	2	8,10,11,12,13	25	32	32	46	9
10	(S)x(S)x(N)x(NNNSNN)	32	27	4	8,9,11,12,13	43	43	4	46	6
11	(S)x(S)x(N)x(NNNNSN)	33	28	5	8,9,10,12,13	36	3	24	46	15
12	(S)x(S)x(N)x(NNNNNS)	34	29	6	8,9,10,11,13	29	25	33	46	18
13	(S)x(S)x(N)x(NNNNNN)	35	30	7	8,9,10,11,12	10	22	12	46	1
14	(S)x(N)x(S)x(NSNNNN)	36	2	26	15,16,17,18,19	24	29	38	46	9
15	(S)x(N)x(S)x(NNSNNN)	37	3	-	14,16,17,18,19	2	35	45	46	12
16	(S)x(N)x(S)x(NNNSNN)	38	4	27	14,15,17,18,19	42	40	6	46	6
17	(S)x(N)x(S)x(NNNNSN)	39	5	28	14,15,16,18,19	35	5	27	46	15
18	(S)x(N)x(S)x(NNNNNS)	40	6	29	14,15,16,17,19	28	16	40	46	18
19	(S)x(N)x(S)x(NNNNNN)	41	7	30	14,15,16,17,18	9	11	19	46	1
20	(N)x(S)x(S)x(NSNNNN)	2	36	31	21,22,23,24,25	19	31	37	46	9
21	(N)x(S)x(S)x(NNSNNN)	3	37	-	20,22,23,24,25	3	36	44	46	12
22	(N)x(S)x(S)x(NNNSNN)	4	38	32	20,21,23,24,25	40	42	7	46	6
23	(N)x(S)x(S)x(NNNNSN)	5	39	33	20,21,22,24,25	33	2	26	46	15
24	(N)x(S)x(S)x(NNNNNS)	6	40	34	20,21,22,23,25	22	24	39	46	18
25	(N)x(S)x(S)x(NNNNNN)	7	41	35	20,21,22,23,24	6	20	18	46	1
26	(S)x(N)x(N)x(NSNNNN)	42	9	14	27,28,29,30	23	28	30	46	10
27	(S)x(N)x(N)x(NNNSNN)	43	10	16	26,28,29,30	41	39	8	46	7
28	(S)x(N)x(N)x(NNNNSN)	44	11	17	26,27,29,30	34	6	23	46	14
29	(S)x(N)x(N)x(NNNNNS)	45	12	18	26,27,28,30	27	17	31	46	17
30	(S)x(N)x(N)x(NNNNNN)	46	13	19	26,27,28,29	7	10	11	46	1
31	(N)x(S)x(N)x(NSNNNN)	9	42	20	32,33,34,35	12	30	28	46	10
32	(N)x(S)x(N)x(NNNSNN)	10	43	21	31,33,34,35	39	41	9	46	7
33	(N)x(S)x(N)x(NNNNSN)	11	44	22	31,32,34,35	32	4	22	46	14
34	(N)x(S)x(N)x(NNNNNS)	12	45	23	31,32,33,35	18	23	29	46	17
35	(N)x(S)x(N)x(NNNNNN)	13	46	24	31,32,33,34	5	18	10	46	1
36	(N)x(N)x(S)x(NSNNNN)	14	20	42	37,38,39,40,41	11	27	35	46	10
37	(N)x(N)x(S)x(NNSNNN)	15	21	-	36,38,39,40,41	4	34	43	46	13
38	(N)x(N)x(S)x(NNNSNN)	16	22	43	36,37,39,40,41	38	38	5	46	7
39	(N)x(N)x(S)x(NNNNSN)	17	23	44	36,37,38,40,41	31	7	25	46	14
40	(N)x(N)x(S)x(NNNNNS)	18	24	45	36,37,38,39,41	17	9	36	46	17
41	(N)x(N)x(S)x(NNNNNN)	19	25	46	36,37,38,39,40	8	8	17	46	1
42	(N)x(N)x(N)x(NSNNNN)	26	31	36	43,44,45,46	20	13	14	46	2
43	(N)x(N)x(N)x(NNNSNN)	27	32	38	42,44,45,46	13	12	20	46	2
44	(N)x(N)x(N)x(NNNNSN)	28	33	39	42,43,45,46	14	19	13	46	2
45	(N)x(N)x(N)x(NNNNNS)	29	34	40	42,43,44,46	15	14	15	46	2
46	(N)x(N)x(N)x(NNNNNN)	30	35	41	42,43,44,45	16	15	16	46	1

¹ – S1, S2, S3 e S4 são listas de alcance e P1, P2, P3 e P4_{1,2} são funções *payoff* de preferência dos Decisores 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Analisando-se o estado 6, que representa uma solução correspondente à alocação ótima de água com intervenções estruturais no canal (tabela 3), é possível observar que, para o Caso 1, onde o D4 (Órgão Gestor) não tem preferência por nenhum dos estados, este é um resultado intermediário para os Decisores 1 e 2 (irrigantes localizados nas porções superior e média da bacia do canal), com $P1 = 30$ e $P2 = 26$, enquanto que o D3 (irrigantes localizados na porção inferior da bacia do canal) obtém $P3 = 42$, ou seja, seria uma solução de grande aceitação por parte destes irrigantes. Nota-se também que para todos os movimentos unilaterais realizados por qualquer um dos três grupos de irrigantes, todas as funções *payoff* são menores que as atuais. Portanto, estes decisores estacionam no estado $q = 6$, o qual torna-se estável e de equilíbrio para o conflito. O mesmo ocorre para o estado de equilíbrio $q = 2$, referente ao cenário onde o OG decide pela alocação por cotas e sem restrições de vazões, onde verifica-se que todos os movimentos unilaterais realizados por qualquer decisor trazem piora unilateral aos mesmos.

Tabela 5 – Conflito canal Coqueiros: Estados de equilíbrio.

Caso	Critérios de Estabilidade
	R, SEQ, L_n , NM, GMR ¹ , SMR ²
1	2, 6, 7, 8, 10, 17, 21
2	6

¹ – Todos os estados atingiram a estabilidade, exceto 1, 3, 4, 5, 11, 15, 23 e 33.

² - Todos os estados atingiram a estabilidade, exceto 1, 3, 4, 5, 11, 15, 23, 30, 33, 35, 38, 42,43,44, 45 e 46.

No Caso 2, as funções *payoff* não mudam para os Decisores 1, 2 e 3, porém, o D4, que neste caso tem preferência diferenciada para os diversos estados, atinge o equilíbrio em $q = 6$, pois os demais para onde ele pode se mover, ou seja, os estados $q = 9, 10, 11, 12$ e 13 (conforme apresentado na tabela 4), têm função *payoff* de menor valor que o estado 6, onde $P4 = 19$. Portanto, ele estaciona em $q = 6$. Este resultado, de acordo com as opções do OG na tabela 3, representa o cenário 6, que é o que gera o maior retorno econômico global (tabela 2).

CONCLUSÕES

O reconhecimento pelo meio técnico especializado que a prática da Gestão de Recursos Hídricos, e, por conseguinte, a sua análise, deve incorpo-

rar o uso dos modelos baseados na Teoria de Conflitos, já está bastante sedimentado (Fang *et al.*, 1993; Malta, 2000; Li *et al.*, 2004; Hamouda *et al.*, 2004; Vieira e Ribeiro, 2005). Neste trabalho, discute-se a aplicação da Teoria de Conflitos, mais especificamente o Modelo Grafo para Solução de Conflito (GMCR) na análise da disputas pelo uso de recursos hídricos no Norte Fluminense, de acordo com as descrições de Carneiro (2004) e alguns cenários propostos por Getirana *et al.* (2007).

Verificou-se que, de acordo com os critérios estabelecidos, o modelo matemático alcançou a estabilidade em 7 estados no Caso 1 e um estado no Caso 2. No entanto, através de interpretações realizadas sobre os resultados apresentados pelo modelo, verificou-se que apenas os estados 2 e 6 representaram propostas factíveis para a solução do conflito. Da mesma forma, constatou-se que, no Caso 1, onde o OG não expõe preferências por qualquer decisão tomada, o estado 2 corresponde a uma solução que não é necessária a interferência do Poder Público, ao contrário do estado 6 (alocação de água otimizada e com intervenções estruturais ao longo do canal), que representa uma solução para o conflito caso haja subsídios agrícolas que financiem as intervenções necessárias no canal. Portanto, para o Caso 1, o Cenário 2 (alocação dos recursos hídricos por cotas e sem restrição de vazões) seria a melhor proposta para dar-se início a discussões entre os atores do conflito para que uma solução real seja alcançada. Por outro lado, o Caso 2 obteve o Cenário 6 como melhor e única solução (alocação ótima dos recursos hídricos com intervenções estruturais no sistema). Ou seja, o conflito seria solucionado com um melhor rendimento líquido global do sistema apenas se houvesse investimentos externos na melhora do sistema de adução e drenagem.

REFERÊNCIAS

- BRAMS, S.J.; WITTMAN, D. (1981) "Nonmyopic Equilibria in 2x2 Games", Conflict Management and Peace Science, v.6, pp. 39-62
- CARNEIRO, P.R.F. (2004) "Água e conflito na Baixada dos Goytacazes". REGA, v.1, n.2, pp.87-100
- FANG, L.; HIPEL, K.W.; KILGOUR, D.M. (1988) "The Graph Model Approach to Environmental Conflict Resolution". J. of Environmental Management, v. 27, pp, 195-212
- _____ (1993) *Interactive decision making: The Graph Model for Conflict Resolution*. John Wiley & Sons.

- FRASER, N.M.; HIPEL, K.W. (1979) "Solving Complex Conflicts". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v.9, pp. 805-817.
- _____ (1984) *Conflict analysis: Models and resolutions*. North-Holland, New York.
- FURTADO, L.L.S.; CAMPOS, J.N.B. (1997) "Manejo e Cobrança de Água no Sistema de Vazanteiros e Irrigantes do Sistema Orós – Lima Campos". In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vol. 1, pp. 9 – 15, Vitória, ES.
- GETIRANA, A.C.V. (2005) *Análise de soluções de conflitos pelo uso da água no setor agrícola através de técnicas de programação linear*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- GETIRANA, A.C.V.; MAGALHÃES, P.C.; AZEVEDO, J.P.S. (2006) "Conflitos Pelo Uso da Água no Setor Agrícola no Norte Fluminense (I): Análise Econômica de Soluções Propostas". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Nesta edição.
- GETIRANA, A.C.V.; SANTOS, C.S.M.; BOMFIM, E.; et al. (2005) "Metodologia para a determinação de usuários de recursos hídricos do setor agrícola através de SIG visando o planejamento de bacia hidrográfica". In: Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Cartografia. Macaé, RJ.
- GOPALAKRISHNAN, C.; LEVY, J.; LI, K. W.; et al. (2005) *Water Allocation among Multiple Stakeholders: Conflict Analysis of the Waiahole Water Project, Hawaii*. Water Resources Development, v.21, n.2, pp.283–295
- HAMOUDA, L.; HIPEL, K. W.; KILGOUR, D. M. et al. (2004) "Shellfish Conflict in Baynes Sound: A Strategic Perspective". Environmental Management, v.34, n.4, pp.474–486
- HIPEL, K.W.; KILGOUR, D.M.; FANG, L.; et al. (1997) "The decision support system GMCR in environmental conflict management". Applied Mathematics and Computation, v.83, pp.117-152
- HOWARD, N. (1971) *Paradoxes of Rationality*. MIT Press, Cambridge, MA
- KILGOUR, D.M. (1984) "Equilibria for Far-sighted Players". Theory and Decision, v.16, pp. 135-157
- _____ (1985) "Anticipation and Stability in Two-Person Noncooperative Games". In: Ward, M. D. and Luterbacher, U. (eds), *Dynamic Models of International Conflict*, Lynne Rienner Press, Boulder, CO, pp. 26-51
- KILGOUR, D.M.; HIPEL, K.W. (2005) "The Graph Model for Conflict Resolution: past, present, and future". Group Decision and Negotiation, v.14, pp.441–460
- KILGOUR, D.M.; HIPEL, K.W.; FANG, L. (1987) "The Graph Model for Conflicts". Automatica, v. 23, n. 1, pp. 41-55
- LI, K.W.; KILGOUR, D.M.; HIPEL, K.W. (2004) "Status quo analysis of the Flathead River conflict". Water Resources Research, v.40, W05S03
- MALTA, V.F. (2000) *Avaliação do Modelo Grafo para Solução de Conflitos em problemas de recursos hídricos no Brasil*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- MBONILE, M.J. (2005) "Migration and intensification of water conflicts in the Pangani Basin, Tanzania". Habitat International, v.29, pp. 41–67
- MOSTERT, E. (1998) "A framework for conflict resolution". Water International, v.23, n.4, pp.206-215
- NASH, J.F. (1951) "Noncooperative Games". Annals of Mathematics. v. 54, n. 2, pp 286-295
- _____ (1950a) "The bargaining problem". Econometrica, v.18, n.2, pp.155–162
- _____ (1950b) "Equilibrium points in n-person games". Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 36, pp.48-49
- RIBEIRO, M.M.R.; DORFMAN, R. (1996) "Aplicação da teoria dos jogos para redução dos prejuízos agrícolas decorrentes de déficit hídrico". Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.1, n.2, pp.53-70
- ROGERS, P. (1968) "A game theory approach to the problems of international river basins". Water Resources Research, v.5, n.4, pp.749-760
- RUFINO, A.C.S.; VIEIRA, Z.M.C.L.; RIBEIRO, M.M.R. (2005) "Análise de conflito na definição da vazão de fronteira em bacia interestadual". In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, PB.
- SAKAKIBARA, H.; OKADA, N.; NAKASE, D. (2002) "The application of robustness analysis to the conflict with incomplete information". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v.32, n.1, pp.14-23
- SNEDDON, C.; FOX, C. (2006) "Rethinking transboundary waters: A critical hydrogeopolitics of the Mekong basin". Political Geography, v.25, pp.181-202
- UNESCO (2002) *Conflict and Cooperation related to International Water Resources: Historical Perspectives*. UN, Paris, France. 208p.
- UNITED NATIONS (1988) *Assessment of multiple objective water resources projects: approaching for developing countries*. United Nations Environment Programme. 125p.
- VIEIRA, Z.M.C.L.; RIBEIRO, M.M.R. (2005) "Análise de conflitos: apoio à decisão no gerenciamento da demanda urbana de água." Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, n.3, pp.23-35
- VON NEUMANN, J. (1928) "Zur Theorie der Gesellschaftespiele". Mathematische Annalen, v. 100, pp. 295-320
- VON NEUMANN, J.; MORGENSTERN, O. (1953) "Theory of Games and Economic Behavior". Princeton University Press, Princeton, NJ.

ZAGARE, F.C. (1984) "Limited-move Equilibria in 2x2 Games".
Theory and Decision, v.16, pp.1-19

Water Use Conflicts in Baixada Campista, Northern Rio de Janeiro (II): Decision Process By Applying The Graph Model For Conflict Resolution

ABSTRACT

This paper presents a procedure for decision analysis in water use conflicts among irrigators. It seeks a feasible compromise among decision makers by using optimal results for different solution proposals. The process is developed by applying the Graph Model for Conflict Resolution (GMCR). The case study is the existing conflict among Coqueiros canal water users. This 45 kilometer canal belongs to a complex irrigation and drainage canal network and it is located in the Campos dos Goytacazes municipality, in the north of Rio de Janeiro State. Its basin has a potential irrigable area of approximately 14,000ha. Six hypothetical scenarios have been built, each one corresponding to different alternatives for conflict solution. In addition, two different tendencies were adopted by the Management Institute to take care of the conflict. The first tendency takes into account that the MI has no explicit preferences for any of its actions. As for the second, the MI shows explicit preferences for the scenarios which provide more income tax.. Several scenarios that reached the state of equilibrium were analyzed to allow the determination of solutions to the conflict. Nevertheless, the only scenario which presents a feasible solution is the one that foresees water allocation by quotas, without discharge constraints along the canal and it does not require economic interferences by the State Government.

Key-words: water resources planning system, conflict analyses, games theory.