



## **MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E TEORIA DOS JOGOS APLICADOS A ESCOLHA DO REGIME MAIS ADEQUADO PARA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NO BRASIL**

**Felipe Costa Araujo e Alexandre Bevilacqua Leoneti**  
Grupo de Pesquisa em Ciências da Decisão (www.integra.mat.br)  
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade  
Universidade de São Paulo  
Av. Bandeirantes 3900, Ribeirão Preto 14040-900, Brasil  
fcaraujo@usp.br ; ableoneti@usp.br

### **RESUMO**

O Brasil vem passando por um período de mudanças com o intuito de promover o desenvolvimento econômico, tecnológico e científico da indústria de petróleo e gás natural. Os regimes jurídico-regulatórios surgem como opções do Estado para interagir com os setores envolvidos nesta indústria. Recentemente, duas mudanças modificaram drasticamente à toda a indústria: quebra do monopólio em 1997 com a utilização do regime de Concessão e a utilização da Partilha de Produção a partir de 2013 para as áreas do pré-sal. A busca pelo regime mais adequado é um problema complexo, já que cada envolvido busca defender seus próprios interesses. Os métodos multicritérios (MCDM) e a Teoria dos Jogos podem ser aplicados para modelação destes problemas complexos, de forma a encontrar critérios, objetivos e alternativas, visando encontrar a melhor solução possível. Logo, o objetivo deste trabalho é buscar o regime mais adequado para os setores envolvidos na indústria.

**PALAVRAS CHAVE.** Métodos de decisão multicritério (MCDM), Regimes jurídico-regulatórios, exploração de petróleo e gás natural.

### **ABSTRACT**

Brazil is facing a period of changes in the fiscal systems to promote the economic, technologic and scientific development of the oil and natural gas industry. The fiscal systems represents the government options to interact with the sectors involved in the industry. Recently, two major changes affected tremendously this industry, the Concession system utilization after 1997 breaking the monopoly and the Production Sharing utilization for the strategic pre-salt areas after 2013. The search for the most adequate fiscal system is a complex problem, because every sector defends its own specific interests. Multicriteria Decision and Game Theory could be applied to model these complex group problems, searching for criteria, objectives and alternatives to find the most adequate fiscal system. Therefore, the main goal of this paper is to propose a framework to find the most appropriate fiscal system to the sectors involved in the industry.

**KEYWORDS.** Multicriteria Decision Methods (MCDM), Legal-regulatory fiscal regimes, oil and gas exploration.



## 1. Introdução

A indústria de E&P deve atender a um conjunto de regulações e legislações conhecido como regime jurídico-regulatório. Cada país é único na estruturação e operacionalização da maneira como o Estado ordena, se envolve e se relaciona com os outros setores da indústria, principalmente com as empresas exploradoras [Johnston 1994]. Os regimes são definidos como as “regras de relacionamento” e o arcabouço legal-regulatório existentes entre os governos locais e as empresas exploradoras [Bain e Tozzini 2009].

Através de uma extensa revisão bibliográfica, os quatro regimes jurídico-regulatórios mais adotados são: i) Concessão; ii) Partilha de Produção; iii) Contrato de Serviços; e iv) Joint-Venture [Bain e Tozzini 2009], [Consoli 2015], [Coimbra 2015], [Lucchesi 2011]. No entanto, Johnston [1994, 2008], Tomalsquin e Pinto Junior [2011], Nakhle [2008, 2015], Tordo et al. [2010] e Mommer [1999] dividem os regimes jurídico-regulatórios de maneira ligeiramente diferente em somente Concessão e Contratuais Remuneratórios, sendo que a principal diferença entre eles é a propriedade dos hidrocarbonetos. Nos regimes de concessão a propriedade é da empresa exploradora, já nos regimes contratuais (Partilha de Produção, Serviços e Joint-Ventures), a propriedade fica com o Estado.

O regime de Concessão é normalmente adotado em países desenvolvidos, como EUA, Noruega e Canadá, além de países em desenvolvimento com quadros institucionais relativamente estáveis como Brasil e Rússia. A Partilha de Produção é utilizado por países com elevada taxa de produção, como China, Indonésia e Nigéria, com foco na defesa dos interesses nacionais, porém que não contam com quadro institucional relativamente estável. O Regime de Serviços geralmente é utilizado por países de relativa facilidade de exploração dos recursos, como Arábia Saudita e Irã. Estes países já são grandes produtores e geralmente não têm grande interesse em atrair outras empresas exploradoras para atuar em seus territórios. O regime de Joint-Venture é pouco utilizado, tendo como principal exemplo a Venezuela, onde a formação de associações é uma das únicas maneiras das empresas exploradoras entrarem no mercado junto com a sua empresa estatal [Bain e Tozzini 2009].

Desde o século XIX com os primeiros poços pioneiros até os dias atuais, a indústria de E&P no Brasil apresentou características singulares. Pode-se resumir a trajetória da utilização dos regimes no Brasil de acordo com os acontecimentos a seguir: (i) Nacionalização das reservas minerais em 1934; (ii) Criação da NOC (Petrobras) e constituição do monopólio nas atividades de E&P em 1953; (iii) Desbravamento de fronteiras exploratórias no ambiente offshore nas décadas de 70 e 80; (iv) Processo de abertura do setor de E&P com a quebra do monopólio da Petrobras em 1997; (v) Entrada de novas empresas nacionais e estrangeiras com as licitações públicas e abertas a partir de 1999; (vi) Descoberta das novas áreas do pré-sal na década 2000; (vii) Promulgação do novo marco regulatório com o regime de Partilha para áreas do pré-sal em 2013 [Consoli 2015], [Tomalsquin e Pinto Junior 2011].

Atualmente, a legislação brasileira utiliza dois regimes jurídico-regulatórios. A Concessão é o regime principal sempre utilizado para novas áreas da região pós-sal, campos *onshore* e outros campos de menor interesse estratégico. Já o regime de Partilha é somente utilizado para a região do pré-sal e para áreas consideradas estratégicas.

É importante encontrar o regime jurídico-regulatório que atenda ao interesse nacional e mantenha o dinamismo do ambiente de negócios e empresarial [Tomalsquin e Pinto Junior 2011], ou seja, é imprescindível encontrar o balanço entre uma legislação que proteja os interesses nacionais com um ambiente de negócios de estimulação do desenvolvimento econômico e tecnológico. Este balanço entre a escolha de variadas alternativas de regimes pode ser visto como um problema complexo e a utilização de um método de decisão multicritério, conhecido na literatura como *Multicriteria Decision Making* (MCDM), é recomendado. Os métodos de análise multicritério permitem avaliar um problema complexo incorporando seus diversos e diferentes aspectos [Leoneti 2016].



## 2. Revisão bibliográfica dos métodos multicritério (MCDM) e Teoria dos Jogos

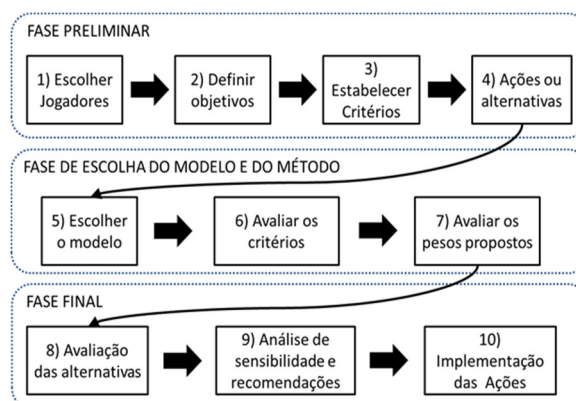
Diversos métodos MCDM vêm sendo largamente estudados e aplicados para a análise de problemas complexos, tais como: *Elimination et Choice Traduisant la Realite* (ELECTRE), *Analytical Hierarch Process* (AHP), *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), *Multiattribute Utility Theory* (MAUT), *Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique* (MACBETH) e *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) [Leoneti e Pires 2017]. Os métodos MCDMs buscam auxiliar no processo de escolha dentre várias alternativas de acordo a uma função objetivo de maximização ou minimização representando maximização de um ganho ou minimização de um prejuízo [Almeida et al. 2015]. Em suma, os métodos MCDM são definidos como um conjunto de ferramentas para agregar diversos critérios (normalmente conflituosos) sejam eles quantitativos ou qualitativos com o intuito de classificar, ordenar ou selecionar as alternativas mais adequadas para auxiliar no processo de decisão.

Além dos métodos MCDM, pode-se utilizar a Teoria dos Jogos para modelar e avaliar os conflitos existentes entre os jogadores com uma abordagem estratégica e busca entender como analisam a situação e tomam suas decisões em situações de interação estratégica [Leoneti 2016]. Este jogo pode ser definido como não-cooperativo, pois os jogadores envolvidos não podem estabelecer nenhum compromisso ou acordo prévio. O resultado de modelos matemáticos em jogos não-cooperativos prova que em qualquer jogo sempre existe um ponto de equilíbrio [Nash 1950], denominado equilíbrio de Nash. O equilíbrio de Nash representa um processo de balança de ajuste em favor da alternativa mais favorável em detrimento da menos favorável, desde que os jogadores tenham uma correta expectativa sobre os outros e ajam racionalmente [Binmore 2007].

O método de resolução de problemas complexos proposto por Leoneti [2016] visa mesclar uma abordagem multicritério com a Teoria dos Jogos. Este método consiste na utilização de uma Função de Utilidade (UF) para modelar problemas complexos de decisões em grupos como jogos, sendo possível avaliar os conflitos existentes entre os envolvidos utilizando-se uma abordagem estratégica, visando considerar as diferentes preferências dos jogadores envolvidos na decisão em grupo e encontrar soluções de equilíbrio para determinar a “melhor” ação para o grupo [Leoneti 2016].

## 3. Metodologia

O problema complexo definido foi como encontrar a alternativa mais adequada possível para os jogadores envolvidos na indústria de E&P de petróleo e gás natural em território brasileiro. O procedimento a ser seguido para a modelagem deste problema complexo está resumido na figura 1 e divide-se em três fases: i) Fase preliminar; ii) Fase intermediária de escolha do modelo; iii) Fase final [Almeida et al. 2015].



**Fig. 1** - Procedimento para resolução de um problema multicritério

Fonte: Adaptado de Almeida et al. [2015]



O processo de modelagem começa na fase preliminar, também chamada de fase de modelagem do problema. A modelagem é um processo criativo que envolve intuição e ações específicas, além de dinâmico, já que vai se adaptando com o decorrer do procedimento de resolução [Almeida et al. 2015]. O primeiro passo da fase preliminar é conhecer os jogadores participantes, sendo que o primeiro deles definido como os governos locais, responsável pela definição do regime jurídico-regulatório a ser utilizado. O outro jogador é caracterizado pelas empresas exploradoras de petróleo e gás natural, que exercerão a função de exploração de acordo com os regimes escolhidos pelo Estado.

Johnston [2008] define que de um lado se encontra o governo local que é detentor da propriedade dos recursos petrolíferos e, do outro lado, as empresas exploradoras que possuem os recursos financeiros, técnicos e operacionais para a exploração destes recursos. Estes distintos interesses identificados resultam em diferentes objetivos e critérios de avaliação que serão melhor abordados na seção de resultados e discussões.

O quarto passo do procedimento visa estabelecer os regimes jurídico-regulatórios disponíveis atualmente como as ações ou alternativas possíveis a serem aplicadas. A escolha do regime de cada país busca encontrar a correta divisão da renda petrolífera gerada, impactando enormemente na atratividade de seus projetos de E&P de petróleo e gás natural [Johnston 1994]. Os regimes são definidos como as “regras de relacionamento” e o arcabouço legal-regulatório existentes entre os governos locais e as empresas exploradoras [Bain e Tozzini 2009].

A segunda fase do procedimento começa com a escolha do modelo a ser utilizado, que neste caso será o método proposto por Leoneti [2016]. Este método consiste na utilização de uma abordagem multicritério da Função de Utilidade (UF) em conjunto com a Teoria dos Jogos para modelar problemas complexos em grupos como jogos, sendo possível dividi-lo em quatro etapas principais: (i) Identificação dos critérios ou atributos específicos do jogo como colunas e as alternativas possíveis como linhas, gerando a Matriz de Decisão; (ii) Cálculo das projeções escalares, Alternativa Ideal e da Função de Utilidade (UF) para os jogadores envolvidos; (iii) Geração da Matriz de Pagamento (“*payoff*”) de acordo com os valores calculados pela Função de Utilidade (UF); (iv) Incorporação dos pesos relativos ponderados de cada jogador para a geração da Matriz de Pagamento (“*payoff*”) e utilização da Teoria de Jogos para buscar entender estrategicamente aos jogadores e encontrar a soluções de equilíbrio.

Primeiramente o método disponibiliza os critérios de avaliação como colunas e as alternativas como linhas na Matriz de Decisão. A próxima etapa é caracterizada pelo cálculo da Função de Utilidade (UF), sendo necessário conhecer as Projeções Escalares ( $\alpha_{xy}$ ) segundo fórmula (1) e a *Pairwise Comparison Function* PCF ( $\varphi_{(x,y)}$ ) ou Função de Comparação Emparelhada segundo fórmula (2).

$$\alpha_{xy} = \|x\| \cos \theta_{xy} \quad (1)$$

$$\varphi_{(x,y)} = \left[ \frac{\alpha_{xy}}{\|y\|} \right]^\delta \cdot \cos \theta_{xy}, \text{ onde: } \delta = \begin{cases} 1, \text{ se } \alpha_{xy} \leq \|y\| \\ -1, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

A função PCF ( $\varphi_{(x,y)}$ ) corresponde ao cálculo das projeções escalares ( $\alpha_{xy}$ ), do ângulo formado entre  $x$  e  $y$  ( $\theta_{xy}$ ), da Norma da alternativa  $y$  ( $\|y\| = \sqrt{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}$ ) e da variável  $\delta$  como um valor condicional igual a -1 ou 1. O valor da função PCF sempre assume valores entre 0 e 1 ( $0 \leq \varphi_{(x,y)} \leq 1$ ) sendo que quanto mais próximo de 1, mais semelhantes as alternativas. Antes de se prosseguir com o cálculo da Função de Utilidade (UF) é necessário incorporar o coeficiente de ajuste conhecido como Função de Comparação Emparelhada Ajustada (APCF). O APCF é encontrado a partir do uso da Alternativa Ideal (IA), representado pelo maior valor de cada critério dentre todas as alternativas, segundo as seguintes fórmulas (3), (4) e (5).



$$\alpha_{xIA} = \|x\| \cos \theta_{xIA} \quad (3)$$

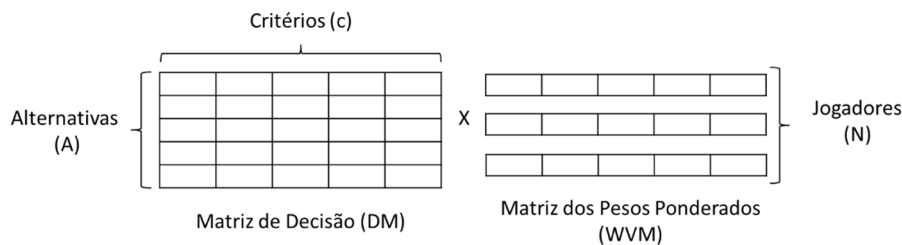
$$\varphi_{(x,IA)} = \left( \frac{\alpha_{xIA}}{\|IA\|} \right) \cdot \cos \theta_{xIA} \quad (4)$$

$$\varphi'_{(x,y)} = \varphi_{(x,y)} \cdot \varphi_{(y,IA)} \quad (5)$$

O novo valor do PCF ( $\varphi'_{(x,y)}$ ) é encontrado a partir dos novos valores das Projeções Escalares entre as alternativas e a Alternativa Ideal ( $\alpha_{xIA}$ ), a Norma da Alternativa Ideal ( $\|IA\|$ ) e os ângulos formados entre as alternativas e a Alternativa Ideal ( $\theta_{xIA}$ ). A partir dos novos valores do PCF ( $\varphi'_{(x,y)}$ ) é possível calcular a Função de Utilidade (UF), segundo a fórmula (6), com o intuito de gerar as tabelas de pagamento (“payoff”) que representam uma estimativa da medida de “satisfação” dos jogadores.

$$\pi(x, y_i) = \varphi'_{(x, IA)} \cdot \prod_{i=1}^{n-1} \varphi'_{(x, y_i)} \quad (6)$$

Nos processos de decisão com mais de um jogador é justificável a aplicação da análise multicritério (MCDM) em grupo, conhecidos como GMCDM. Cada jogador tem suas próprias preferências de acordo com interesses específicos, que serão expressos na importância relativa dos critérios condensados nos pesos relativos ponderados. A estrutura de um problema multicritério em grupo (GMCDM) é alterada com a incorporação dos pesos ponderados (*Weighting Vectors* ou WVs). Esta nova Matriz de Decisão em Grupo (GDM) será formada pela multiplicação da matriz de decisão e dos pesos ponderados de cada jogador considerado, segundo a figura 2.



**Fig. 2** - Estrutura da Matriz de Decisão em Grupo (GDM) em um problema multicritério  
Fonte: Adaptado de Leoneti [2016]

A Matriz de Decisão em Grupo (GDM) será responsável por incorporar a ponderação das preferências dos jogadores de acordo com os pesos relativos ponderados (WVs). Segundo o método *Rank-Ordered Centroid* (ROC) [Barron e Barrett 1996], pode-se atribuir uma ordem de ranqueamento quando os pesos ponderados não são conhecidos ou quando pouca informação é conhecida. Barron e Barrett [1996] propõem que o método ROC é o mais eficaz para definir ordens de ranqueamento por determinar o centroide dos pesos ponderados de acordo com o número de critérios e assume que os pesos estão distribuídos de acordo com peso de sua classificação e ordenação. O método ROC utiliza a fórmula (7) a seguir, onde  $\omega_i$  representa os valores dos pesos ponderados,  $n$  corresponde ao número de critérios e  $j$  representa a cada um destes critérios, além de satisfazer as seguintes condições de contorno:  $\omega_1 \geq \omega_2 \geq \dots \geq \omega_n$  e  $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = 1$ .

$$\omega_i(ROC) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{j}, i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$



Posteriormente, o método Leoneti [2016] busca utilizar a Teoria de Jogos para avaliar os possíveis conflitos das preferências dos jogadores segundo uma abordagem estratégica para busca de soluções de equilíbrio, sendo que neste trabalho a técnica escolhida foi o equilíbrio de Nash. A pressuposição principal do equilíbrio de Nash é que cada indivíduo atuará, dentro de seu controle, para maximizar seu resultado de acordo com seus critérios, conforme o comportamento dos outros jogadores [Myerson 1999].

O último estágio do procedimento proposto por Almeida et al. [2015] consiste na avaliação das alternativas de acordo com os resultados obtidos. Cada jogador pode apresentar resultados bastante distintos de acordo com seus objetivos e critérios específicos, representado por sua matriz de pagamento (“*payoff*”). Esta análise também leva em conta os resultados encontrados para as soluções de equilíbrio encontradas através da Teoria dos Jogos e do equilíbrio de Nash.

#### 4. Resultados e discussões

O primeiro passo da fase preliminar do procedimento é conhecer os jogadores participantes, que neste caso são os governos locais e as empresas exploradoras. Diversos autores buscaram identificar e definir as interações existentes entre ambos jogadores, dentre os quais se destacam [Bain e Tozzini 2009], [Johnston 2008], [Manaf et al. 2016], [Nakhle 2008, 2015], [Tordo et al. 2010], [Daniel et al. 2008], [Willigers et al. 2009], [Tomalsquin e Pinto Junior 2011], [Alberta 2009], [Consoli 2015], [Coimbra 2015]. A correta identificação e definição destas interações entre os jogadores auxiliam nos próximos passos do procedimento, que são respectivamente, definir os objetivos específicos, estabelecer os critérios de avaliação, conhecer as alternativas possíveis e gerar a matriz de decisão.

É fundamental entender que no processo de definição dos objetivos existe um dilema de escolha entre a apropriação da parcela governamental da renda petrolífera e as condições de rentabilidade dos projetos [Kjemperud 2006]. Os interesses antagônicos entre os governos, que são os detentores das reservas, e as empresas exploradoras são os principais fatores a ditar a dinâmica de investimento na indústria como um todo [Coimbra 2015].

Os principais objetivos dos governos locais são: (i) Maximização da arrecadação de impostos e tributos através da participação governamental na renda petrolífera gerada (*government take*) [Hunter 2010], [Johnston 2008]; (ii) Otimização da produção de petróleo e gás natural em território nacional [Hunter 2010]; (iii) Estabelecimento de medidas e mecanismos de controle das atividades executadas e dos níveis de produção [Tomalsquin e Pinto Junior 2011]; (iv) Desenvolvimento econômico e tecnológico da indústria petrolífera e de outras indústrias locais [Tomalsquin e Pinto Junior 2011], [Tordo et al. 2013]. Os objetivos das empresas exploradoras são otimizar sua margem de lucro, contar com um quadro político-institucional estável e ter o controle gerencial e operacional das atividades executadas [Johnston 1994]. Além disso, as empresas também buscam sistemas tributários e licitatórios concisos, simples de entender e com baixos custos administrativos [Nakhle 2008], além de uma correta divisão das rendas geradas de maneira mais progressiva [Tordo et al. 2010].

A avaliação dos critérios (ou atributos) está relacionada ao cumprimento de um objetivo, ou seja, cada objetivo necessita de um critério para medir e avaliar seu desempenho [Almeida et al. 2015]. Manaf et al. [2016] desenvolveram um estudo para quantificar os critérios mais importantes dos projetos de E&P através de uma escala de atratividade, que busca identificar os critérios mais importantes para as empresas exploradoras e auxiliar aos governos locais na busca de desenhos regulatórios mais adequados. Estes critérios podem ser agrupados em quatro dimensões segundo os princípios de Adam Smith (Equidade, Certeza, Conveniência e Economia): (i) Equidade: Representa a medida da relação risco e retorno financeiro associado; (ii) Certeza: Relaciona a estabilidade dos países quanto a liberdade do ambiente de negócios e alterações arbitrárias; (iii) Conveniência: Remete a clareza e flexibilidade das regulações, além da utilização de sistemas de tributação progressivos ou regressivos; (iv) Economia: Representa a transparência e a simplicidade do regime tributário e dos métodos de licitações e leilões utilizados. Adicionalmente aos quatro critérios citados anteriormente, se consideram outros dois critérios. (v)



O *government take*, mesmo não sendo uma métrica perfeita por não levar em consideração aspectos qualitativos, pode ser utilizado como uma forma de se medir o grau de participação de um Estado nas atividades desenvolvidas pela indústria de maneira geral [Lucchesi 2011]. (vi) Nível de controle governamental, caracterizado pelos mecanismos de controle das estruturas do próprio governo ou da NOC dividido em três itens: (i) Controle das atividades operacionais e gerenciais; (ii) Controle do ritmo de produção dos recursos; (iii) Políticas de conteúdo local.

A partir da revisão bibliográfica se estabelecem como alternativas aos seguintes regimes: (i) Concessão; (ii) Partilha de Produção; (iii) Contrato de serviços; (iv) Joint-Venture. De acordo com [Daniel et al. 2008], diversos cuidados devem ser tomados no momento de comparar os regimes adotados pelos países, a saber: (i) Problemas de interpretação e entendimento das regulações; (ii) Aplicação e entendimento dos impostos indiretos às atividades; (iii) Inconsistência entre as regras de investimentos e consideração de reduções e incentivos. A tabela 1 faz um resumo da fase preliminar do procedimento.

**Tabela 1** - Resumo da Fase Preliminar do procedimento de estruturação do problema

Jogadores	Objetivos	Crítérios	Alternativas
Governos locais	Participação Governamental ( <i>government take</i> )	<i>Government take</i>	Concessão
Empresas exploradoras	Controle governamental das atividades e da produção	Nível de Controle	Partilha de Produção
	Rentabilidade adequada com os riscos envolvidos	Equidade	Contrato de Serviços
	Estabilidade jurídico-regulatória	Certeza	Joint-Venture
	Progressividade e flexibilidade da tributação	Conveniência	
	Transparência e simplicidade das licitações e da tributação	Economia	

A segunda fase do procedimento proposto por Almeida et al. [2015] começa com o escolha do modelo a ser utilizado, que neste caso será o método Leoneti [2016]. A primeira etapa deste método é a geração da matriz de decisão com os critérios de avaliação como colunas e as alternativas como linhas, segundo a tabela 2. A catalogação dos dados utilizou uma Escala Likert estendida de 1 a 9 para a avaliação dos critérios, sendo que o valor de 9 é atribuído ao país com maior classificação (benchmarking) e o valor 1 é atribuído ao país com a menor classificação. Todos os outros valores serão considerados proporcionais ao benchmarking e ao país de menor classificação. Os critérios de *Government take*, Equidade e Certeza foram baseados em itens quantitativos. Porém, os critérios de Nível de Controle, Conveniência e Economia por serem itens qualitativos foram calculados de acordo ao número de itens positivos e negativos de suas legislações e regulações.

**Tabela 2** - Matriz de Decisão com seis critérios e quatro alternativas

	<i>Government take</i>	Nível de Controle	Equidade	Certeza	Conveniência	Economia
<b>A1 - Concessão</b>	4,7	4,7	6,3	8,6	6,3	6,3
<b>A2 - Partilha</b>	5,9	7,6	4,6	6,4	5,2	3,7
<b>A3 - Serviços</b>	7,8	8,4	2,5	7,1	1,4	2,7
<b>A4 - Joint-Venture</b>	8,7	9,0	1,3	1,0	1,0	1,0

A segunda etapa do método Leoneti [2016] se refere ao cálculo das projeções escalares segundo a fórmula (1), da função PCF de acordo com a fórmula (2), da Alternativa Ideal (IA) e do coeficiente de ajuste APCF segundo as fórmulas (3), (4) e (5) com o intuito de encontrar os



resultados da Função de Utilidade (UF) conforme a fórmula (6). Com os resultados da Função de Utilidade (UF), pode-se realizar a terceira etapa do método Leoneti [2016] que é a geração da matriz de pagamento (“*payoff*”). Esta matriz representa uma estimativa da medida de “satisfação” para todas as estratégias no conjunto de ações.

Neste processo de decisão existem dois jogadores identificados (governos locais e empresas exploradoras) com objetivos bastante antagônicos. A quarta etapa do método Leoneti [2016] busca modelar o problema complexo com dois jogadores aplicando algumas técnicas de análise multicritério em grupo (GMCDM) em conjunto com a Teoria dos Jogos. Cada jogador tem suas próprias preferências de acordo com interesses específicos, que serão expressos na importância relativa dos critérios condensados nos pesos relativos ponderados. A avaliação da ponderação dos pesos (WVs) é uma característica fundamental dos problemas em grupo, pois cada jogador tem diferentes prioridades segundo cada um dos critérios [Leoneti 2016].

O método ROC proposto por Barron e Barrett [1996] será utilizado para a definição dos valores dos pesos relativos. Segundo a fórmula (7), no caso de seis critérios, os valores dos pesos relativos são:  $\omega_1 = 0,408$ ;  $\omega_2 = 0,242$ ;  $\omega_3 = 0,158$ ;  $\omega_4 = 0,130$ ;  $\omega_5 = 0,061$ ;  $\omega_6 = 0,028$ . O critério mais importante de cada jogador será multiplicado pelo valor de  $\omega_1$ , o segundo critério mais importante será multiplicado por  $\omega_2$ , e assim por diante até o sexto critério. Além disso, para estabelecer a ordem de importância dos jogadores se realizou uma extensa revisão bibliográfica para identificar as interações dos jogadores e seus interesses mais primordiais. Portanto, a ordem de preferência foi arbitrada segundo a tabela 3.

**Tabela 3 - Ordem de preferência de cada jogador (P1 e P2)**

Ordem de preferência de cada jogador		
	P1 = Governos Locais	P2 = Empresas Exploradoras
1º	<i>Government take</i>	Equidade
2º	Nível de Controle	Certeza
3º	Equidade	Conveniência
4º	Economia	Economia
5º	Conveniência	<i>Government take</i>
6º	Certeza	Nível de Controle

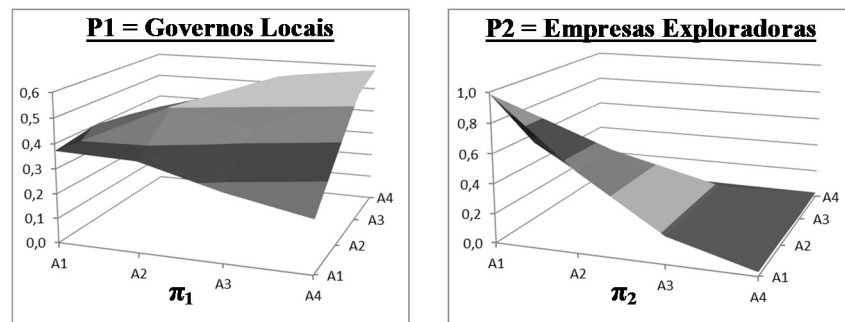
Portanto com os resultados obtidos na Matriz de Decisão em Grupo, os pesos relativos calculados através do método ROC e a ordem das preferências de cada jogador, pode-se chegar ao resultado final das matrizes de pagamentos (“*payoff*”) de cada jogador. Estas matrizes indicam as recompensas específicas de cada jogador em relação a cada uma das alternativas disponíveis. Os resultados obtidos se encontram na tabela 4 e na figura 3.





**Tabela 4 - Matrizes de Pagamentos (“payoff”) de cada jogador (P1 e P2)**

Jogador P1 = Governos locais				Jogador P2 = Empresas Exploradoras					
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
A1	0,371	0,361	0,274	0,211	A1	0,986	0,539	0,215	0,037
A2	0,401	0,504	0,442	0,375	A2	0,536	0,538	0,214	0,037
A3	0,378	0,475	0,590	0,532	A3	0,183	0,183	0,186	0,032
A4	0,347	0,437	0,542	0,582	A4	0,028	0,029	0,022	0,030



**Fig. 3 - Gráfico da Matriz de Pagamentos (“payoff”) de cada jogador (P1 e P2)**

A última etapa do procedimento tem o intuito de avaliar as alternativas de acordo com os resultados obtidos na modelagem. Pode-se notar que os resultados encontrados para cada um dos jogadores é bastante distinto. O jogador P1 (governos locais) tem uma melhor uniformidade entre os pagamentos ligeiramente concentrados nas alternativas A3 (Serviços) e A4 (Joint-Venture), enquanto o jogador P2 (empresas exploradoras) tem seus maiores pagamentos fortemente concentrados na alternativa A1 (Concessão). As opções do jogador P2 são sempre altamente dominantes em A1, devido a grande diferença entre os pagamentos identificadas para qualquer outra alternativa (A2, A3 e A4). De fato, os resultados representam razoavelmente a situação real, uma vez que os governos locais (P1) tendem a preferir qualquer outro regime do que o regime de Concessão, enquanto o oposto é esperado para as empresas exploradoras (P2).

Para encontrar a alternativa mais adequada e alcançar a maior satisfação possível dos jogadores, a técnica do equilíbrio de Nash pode ser utilizada. Os resultados obtidos para o equilíbrio de Nash indicaram três possíveis equilíbrios por consenso (ambos os jogadores escolhendo a mesma alternativa), que foram: alternativas A2, A3 e A4. Com o critério baseado no maior valor da média entre os pagamentos dos jogadores propostos por Leoneti e de Sessa [2016], o equilíbrio de Nash ideal seria o formado pela alternativa A2. Deve-se notar, no entanto, que o jogador P2 apresenta uma forte predominância da alternativa A1 sobre as outras alternativas, indicado por uma enorme diferença nos pagamentos, tornando sua presença no mercado menos provável sem a adoção da alternativa A1.

## 5. Considerações Finais

Os métodos multicritérios visam auxiliar no processo de escolha entre várias alternativas através da avaliação de atributos, geralmente conflitantes. Devido aos potenciais conflitos entre os jogadores para qualquer decisão em grupo, os métodos multicritérios têm uma eficiência reduzida. A Teoria dos Jogos utiliza uma modelagem matemática para compreender a interação entre os jogadores, para avaliar potenciais conflitos e estimar os resultados de sua preferência de acordo com uma abordagem estratégica. Assim, propõe-se o uso do método Leoneti que busca mesclar uma abordagem multicritério baseada na Função de Utilidade (UF) com a Teoria dos Jogos para modelar problemas complexos envolvendo a decisão de grupo como jogos.

A comparação dos regimes jurídico-regulatórios foi realizada através de um procedimento multicritério e método Leoneti para compreender e analisar as vantagens e desvantagens relevantes



para o ambiente brasileiro. O foco principal foi a obtenção da alternativa mais adequada para alcançar, tanto quanto possível, os objetivos dos jogadores. Os resultados encontrados para o equilíbrio de Nash indicam que o regime de Partilha de Produção seria a alternativa de equilíbrio mais adequada. No entanto, o pagamento obtido para as empresas exploradoras no regime de Partilha é muito inferior ao pagamento obtido no regime de Concessão, mostrando que o equilíbrio de Nash pode não ser sempre o melhor resultado para todos os jogadores envolvidos no jogo.

A utilização de novos estudos de comparação entre os regimes, possível adição de novos jogadores, incorporação de novos objetivos aos jogadores e consequentes critérios de avaliação podem ser incluídos em futuros trabalhos. Também é possível utilizar novas técnicas de equilíbrio visando encontrar soluções diferentes e mais equilibradas.

**Agradecimentos:** À CAPES pela Bolsa de Mestrado no Programa DS-CAPES.

## Referências

Alberta (2009). Alberta's Royalty System - Jurisdictional Comparison, Price Waterhouse Coopers. Web page. [http://www.energy.alberta.ca/org/pdfs/royalty\\_jurisdiction.pdf](http://www.energy.alberta.ca/org/pdfs/royalty_jurisdiction.pdf). Acessado: 23/01/2017.

Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J., Almeida Filho, A. T. e Garcez, T. V. (2015). Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, Springer.

Bain Company e Tozzini Freire Advogados (2009). Estudos de Alternativas Regulatórias, Institucionais e Financeiras para a exploração e produção de petróleo e gás natural e para o desenvolvimento industrial da cadeia produtiva de petróleo e gás natural no Brasil. BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, São Paulo, SP.

Barron, F. H. e Barret, B. E. (1996). Decision Quality Using Ranked Attribute Weights, Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), Management Science Vol. 42 No. 11, p.1515-1523.

Binmore, K. (2007). Playing for Real: A text on Game Theory, Oxford University Press.

Consoli, H. S. (2015). Avaliação da atratividade de projetos de E&P em águas profundas: uma análise comparativa entre os regimes de concessão e de partilha. Dissertação (Mestrado em Economia) no programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Coimbra, V. A. (2013). Decisão sob incerteza na exploração e produção de hidrocarbonetos no Brasil: quantificando diferentes riscos e seu impacto sobre a atratividade de investimentos. Dissertação (Mestrado em Economia) no programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Daniel, P., Goldsworthy, B., Maliszewski, W., Puyo, D., M. e Watson, A. (2008). Evaluating Fiscal Regimes for Resource Projects, IMF Conference on Taxing Natural Resources.

Hunter, T. (2010). The offshore petroleum regulatory frameworks of Australia and Norway, Oil, gas & energy law intelligence, Vol. 8, No. 4.

Johnston, D. (2008). Changing Fiscal Landscape, Journal of World Energy Law and Business, Vol. 1, No. 1.



Johnston, D. (1994). *International Petroleum Fiscal Systems and Production Sharing Contracts*, Penn Well Books, Tulsa, OK.

Kjemperud, A. (2003). *Petroleum Fiscal Regimes Basic Concepts*. Coordinating Committee for Geoscience Programmes in Asia (CCOP), Bangkok, Thailand.

Leoneti, A. B. (2016). Utility Function for modeling Group Multicriteria Decision Making problems as games, *Operations Research Perspectives*, Vol. 3, p. 21-26, Elsevier.

Leoneti, A. B. e de Sessa, F. (2016). A Deviation Index Proposal to Evaluate Group Decision Making Based on Equilibrium Solutions. *International Conference on Group Decision and Negotiation*, pp. 101-112, Springer.

Leoneti, A. B. e Pires, E. C. (2017). Decision sciences in the management of water resources: multi-criteria methods and game theory applied to the field of sanitation. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, Vol. 7, IWA Publishing.

Lucchesi, R., D. (2011). Regimes fiscais de exploração e produção de petróleo no Brasil e no mundo, *Dissertação de Mestrado no programa de Pós-graduação em Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro*.

Manaf, N., A., A., Mas'ud, A., Ishak, Z., Saad, N e Russel, A. (2016). Towards establishing a scale for assessing the attractiveness of petroleum fiscal regimes - Evidence from Malaysia, *Energy Policy* No 88, p. 253-261, Elsevier.

Mommer, B. (1999). *Oil Prices and Fiscal Regimes*, Oxford Institute Energy Studies.

Myerson, R. B. (1999). Nash Equilibrium and the History of Economic Theory, *Journal of Economic Literature*, V. 37, No. 3.

Nakhle, C. (2008). *Petroleum Taxation: Sharing the oil wealth*, Routledge Studies in International Business and the World Economy, New York, NY, USA.

Nakhle, C. (2015). *Licensing and upstream petroleum fiscal regimes: Assessing Lebanon's choices*, LCPS (Lebanese Center for Policy Studies), Policy Paper, Ras Beirut, Lebanon.

Nash, J. F. (1950). *Non-Cooperative Games*. PhD Dissertation, Princeton University.

Tomalsquin, M. T. e Pinto Junior, H. Q. (2011). *Marcos Regulatórios da Indústria Mundial do Petróleo*, Editora Synergia, Rio de Janeiro, RJ.

Tordo, S., Johnston, D. e Johnston, D. (2010). *Petroleum Exploration and Production Rights: Allocation Strategies and Design Issues*, World Bank Paper 179, Washington, USA.

Tordo, S., Warner, M., Manzano, O. E. e Anouti, Y. (2013). *Local Content Policies in the Oil and Gas Sector*. The World Bank, Washington, D.C., USA.

Willigers, B., J., A., Bratvold, R. B. e Hausken, K., A. (2009). A game theoretic approach to conflicting and evolving stakeholder preferences in the E&P industry, *SPE Economics and Management* No. 1, SPE 124178, p. 19-26.