



**Universidade
Potiguar**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*

**UNIVERSIDADE POTIGUAR
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PETRÓLEO E GÁS
NATURAL
ALMIR MARIANO DE SOUSA JUNIOR**

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA ESCOLHA DA TÉCNICA DE
RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA DE RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO**

**MOSSORÓ - RN
UNIVERSIDADE POTIGUAR - UNP**

2013

ALMIR MARIANO DE SOUSA JUNIOR

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA ESCOLHA DA TÉCNICA DE
RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA DE RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia de Petróleo e Gás da
Universidade Potiguar de Mossoró - UNP.

Orientador: Prof. Dr. Franklin Silva Mendes.

MOSSORÓ - RN

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Sobrenome, Nome

Nome do trabalho nome do trabalho nome do trabalho nome do trabalho nome do trabalho nome do trabalho – Cidade, ano.

Nº de páginas

Área de concentração: Lorem ipsum.

Orientador: Prof. Dr. Fulano de Tal.

Tese (DOUTORADO ou Mestrado) – Instituição com toda a hierarquia.

1. Palavra chave; 2. Palavra chave; 3. Palavra chave

ALMIR MARIANO DE SOUSA JUNIOR

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA ESCOLHA DA TÉCNICA DE
RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA DE RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO**

Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Petróleo e Gás da Universidade Potiguar – UNP, campus Mossoró.

Mossoró, 22 de março de 2013.

Prof. Dr. Franklin Silva Mendes
Universidade Potiguar - UnP

Prof. Dr. Carlos Enrique de Medeiros Jerônimo
Universidade Potiguar/Petrobras RN/CE

Prof. Dr. Roberto Vieira Pordeus
Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA

“O segredo do sucesso não é prever o futuro,
mas criar uma organização que prosperará
em um futuro que não pode ser previsto”

Michael Hammer

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o responsável por tudo inclusive minha vida, por me dar forças nos momentos de dificuldade para superar os obstáculos da mesma.

A toda a minha família, em especial Maria Amélia Rebouças de Sousa, Almir Mariano de Sousa, Nair Soares, Albeci Mariano e a Francisco Mariano de Sousa (*in memorian*) por ter me proporcionado toda a educação necessária para realização desse trabalho e terem me apoiado e incentivado em todas as fases da vida;

A todos os meus queridos amigos que me ajudaram diretamente ou indiretamente nas conquistas e realizações não só nesse trabalho, mas como em todo tempo de vida, em especial, Micheline Tomaz, Sofia Tomaz, Anne Caroline Brilhante, Marcelo Motta, Luciano Maia, Josenildo Brito, Anastácio Mesquita, Felipe Mendes, Ingrid Cristie, Marcelo Viana, Rita Cesário (*in memorian*), Marlus Heitor (*in memorian*), Thamiles Medeiros, Raphaela Vilela, Abel Dutra, Fernan Irber, Ana Paula e Sara Farias (empregada).

Aos colegas do mestrado, Fernan Irber, Severino Pereira, Cacilda Alves, Igo Leite, Aridane Sarine e Clauder Arcanjo, com os quais compartilhei diversos momentos em sala de aula, bem como os docentes do programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Petróleo e Gás da Universidade Potiguar, por terem favorecido o meu crescimento acadêmico profissional.

Aos profissionais que em tempos de dificuldades, onde o desenvolvimento a busca incessante pela tomada de decisão é a qualquer custo engavetando a necessidade decisão mais estruturada, integram-se às ações voltadas ao empirismo, onde é preciso incentivar a adoção de ferramentas para auxílio na tomada de decisão, disseminam conhecimentos, que de tal forma permitem contribuir com o aperfeiçoamento técnico rumo ao desenvolvimento da nação.

Ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Norte – CREA/RN;

A Universidade Potiguar e em especial aos meus alunos;

Ao Prof. Dr. Franklin Silva Mendes (orientador) e ao Prof. Dr. Carlos Enrique de Medeiros Jerônimo (Co-orientador) que se dispõem a me ajudar com toda calma e competência essa dissertação e que sem os vossos conhecimentos extraordinários e senso de direção seria impossível a realização desse trabalho;

Ao Prof. Roberto Vieira Pordeus pela atenção e importância que atribui nesse trabalho;

RESUMO

ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA ESCOLHA DA TÉCNICA DE RECUPERAÇÃO SECUNDÁRIA DE RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO

Objetivo deste trabalho foi de construir um modelo simplificado de auxílio a tomada de decisão na escolha da melhor técnica de recuperação secundária em reservatório de hidrocarbonetos. Foi utilizado o Método Análise Hierárquico, o AHP, em auxílio ao processo de tomada de decisão que a partir de um *brainstorming* e do questionário enviado pela *web* pelo “Google Docs” realizou-se a tabulação e os cálculos necessários para definição das prioridades dos decisores. Os dados utilizados no cálculo são advindos aplicação do questionário e os critérios do *brainstorming*. A técnica de recuperação de reservatório escolhida pelos decisores foi a de injeção de Água seguida da de Vapor e Gás *Lift*. O modelo adotado mostrou-se adequado de acordo com a verificação junto aos possíveis *stakeholders* dos aspectos técnicos em processos de tomada de decisão para intervenção de reservatórios de petróleo da bacia RN/CE.

Palavras-chave: AHP; Recuperação de reservatório; Multicritério.

ABSTRACT

MULTICRITERIA ANALYSIS IN CHOOSING THE TECHNICAL SECONDARY RECOVERY OF PETROLEUM RESERVOIR

This study aimed to construct a simplified model to aid decision making in choosing the best technique for secondary recovery in reservoir hydrocarbons. We used a hierarchical analysis method, AHP, in aid of the process of decision-making from a brainstorming and the questionnaire sent by the web "Google Docs" held tabulation and calculations needed for setting priorities makers. The data used in the calculation are coming questionnaire application and criteria of brainstorming. The recovery technique chosen reservoir makers injection was followed by Water Vapor and Gas Lift. The model was adequate according to the verification among potential stakeholders from aspects in technical decision-making processes for intervention oil reservoir basin RN/CE.

Keywords: AHP; Recovery reservoir; Multicritéria.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO.....	16
2ASPECTOS TEÓRICOS.....	17
3METODOLOGIA.....	25
4RESULTADOS.....	29
5CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
ANEXOS.....	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Atualmente, as reservas brasileiras de petróleo ocupam a 14^a (décima quarta) colocação no *ranking* de acordo com o [relatório estatístico](#) anual da [energia](#) mundial preparado pela companhia de [gás](#) e petróleo. Em compensação, subiu para a sétima posição no *ranking* de maiores consumidores de petróleo no mundo.

O Rio Grande do Norte, em 2012, possuía a terceira maior reserva total de petróleo, e também possuía a terceira maior reserva provada de petróleo, com o maior número de poços em terra e o segundo em mar. Desde 2008 o Espírito Santo vem passando à frente do Rio Grande do Norte, como segundo maior produtor brasileiro de petróleo atrás apenas do Rio de Janeiro.

Essa queda anual na produção de petróleo é preocupante, pois são necessários investimentos para que se mantenha a produção, principalmente quando se trabalha com um número muito elevado de poços. Para manter a produção de cerca de 21 milhões de barris, o Rio Grande do Norte possui 3.911 poços produtores sendo que 103 deles se localiza no mar. A Bahia, segunda maior produtora em terra, possui 1.693 poços, sendo deles 9 (nove) no mar,

para produzir cerca de 16 milhões de barris. Essa discrepância se intensifica com a terceira maior produtora em terra, o Amazonas, com 55 poços produzindo 13 milhões de barris e o com maior produtor brasileiro, o Rio de Janeiro, com 555 poços em mar produzindo 600 milhões de barris.

O número de poços no Rio Grande do Norte vem aumentando ao longo dos anos, conseqüentemente o número de perfurações, porém a produção total vem decaindo ao longo do tempo. Cada vez que é necessário perfurar um novo poço é preciso realizar todo um processo de prospecção do petróleo, estudo econômico e de qualidade, e análise do poço (terra ou mar). Há também, nesse processo, as principais atividades como perfuração de poços, teste de produção, completação e outros trabalhos correlatos para as empresas que se encontram na fase *upstream* da cadeia produtiva do petróleo.

Segundo Rosa (2006), na medida em que um reservatório de petróleo produz óleo e gás, a energia contida nesse reservatório vai sendo dissipada por diferentes mecanismos. A dissipação da energia do reservatório acontece em razão da descompressão dos fluidos e das resistências, associadas às forças viscosas e capilares, encontradas pelo fluido ao escoar até os poços produtores. Assim, a perda de energia faz com que as vazões de produção e a pressão no interior do reservatório diminuam com o tempo. Em virtude disso, devem-se introduzir métodos de recuperação e manutenção de pressão no reservatório para manter ou aumentar a produção de petróleo. De forma resumida, tais métodos visam aumentar e a acelerar a produção de petróleo, minimizando a dissipação da energia.

As atividades de produção de petróleo se desmembram em outras diversas que requerem planejamento e acompanhamento constante, em um contexto que realiza inúmeras tomadas de decisões. Essas decisões são suportadas com base em análises de gráficos, estudos de viabilidade, em casos de sucessos anteriores, relatórios, mas que preponderantemente residem como fator de escolha de qual caminho a experiência profissional deve seguir. Isso acontece em um processo que não agrega as opiniões dos gestores em um único processo de tomada de decisão que tanto representa suas afinidades como suas divergências, a partir de critérios que qualificam suas escolhas.

Nesse contexto, surge a necessidade de implantação de sistemas que possam auxiliar o tomador de decisão, com enfoque analítico de apoio multicritério à decisão diante de uma complexidade crescente e amplitude de informação. Ou seja, a subjetividade humana é representada em modelos matemáticos e de simulação de sistemas, devido a presença de critérios múltiplos que residem na própria realidade dos problemas multidimensionais, sendo os modelos multicritério, no processo decisório, revelados os mais adequados. Um dos métodos mais utilizados na atualidade é o *Analytic Hierarchy Process* - AHP, pela sua facilidade e abrangência de aplicação, encontrados em diversos estudos de variadas áreas, e principalmente em atividades de tomadas de decisões complexas como a da engenharia de reservatório.

Tendo em vista a problemática até então exposta, como implantar um sistema de tomada de decisão simplificado para a escolha da melhor técnica de recuperação de um reservatório de hidrocarbonetos?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Objetivo deste trabalho é construir um modelo simplificado de auxílio a tomada de decisão na escolha da melhor técnica de recuperação secundária em reservatório de hidrocarbonetos.

1.2.2 Específicos

- Identificar as alternativas de recuperação secundária de um reservatório de hidrocarbonetos e os critérios de avaliação das alternativas na escolha da técnica;
- Escolha de um técnica multicritério que representa de forma simplificada a escolha da técnica de recuperação secundária;
- Aplicação da técnica em grupo de possíveis decisores para a avaliação do modelo.

1.3 JUSTIFICATIVA

O presente estudo busca propor um método viável e simplificado para a problemática em comento, para auxiliar os gestores em suas decisões de forma hierarquizada. Além disso, estudos relevantes na área de tomada de decisão multicritério em reservatório de petróleo não foram encontrados, mesmo assim, identifica-se potencialidades de aplicação dos métodos multicritérios no setor econômico do petróleo e gás, principalmente em técnicas de recuperação de reservatório de petróleo.

2 ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

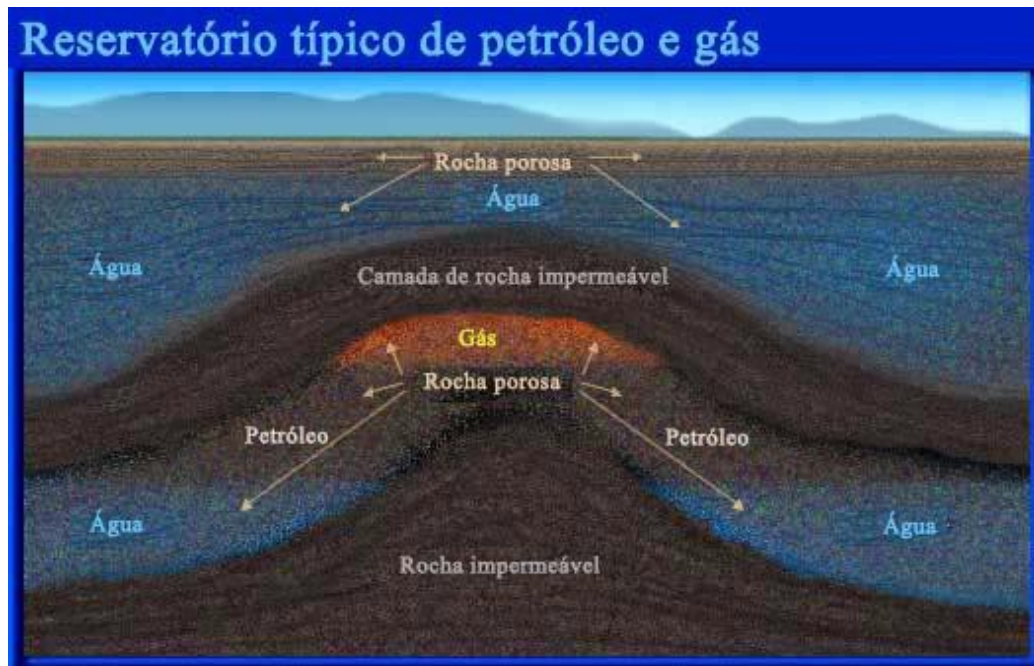
No final de 2010, as reservas totais de petróleo do Brasil foram contabilizadas em 28,5 bilhões de barris, um acréscimo de 34,7% em comparação a 2009 – em parte devido à inclusão de reservas do pré-sal. Já as reservas provadas aumentaram 10,7% e atingiram a marca de 14,2 bilhões de barris, volume que representou 50% das reservas totais.

Para Alboudwarej (2007), as estimativas do total de reservas de petróleo no mundo oscilam entre 9 e 13 trilhões de barris, incluindo óleos pesados, ultra pesados e o betume que, somados representam aproximadamente 70% dos recursos petrolíferos. Os óleos pesados são muito viscosos e possui elevada quantidade de carbono em relação ao hidrogênio, alto índice de aromáticos, asfalteno, enxofre, metais pesados e nitrogênio. Regionalmente, o Rio Grande do Norte conta com grandes reservas de petróleo pesado que ainda precisam ser produzidas. É possível aumentar a recuperação de óleo em alguns destes reservatórios, localizados no Estado do Rio Grande do Norte, com a ajuda dos processos de recuperação avançada de petróleo.

O setor de Exploração e Produção do Petróleo (E&P), também denominado de *upstream* da cadeia do petróleo é dividido, basicamente, em três fases que compreendem diversas atividades. Estas fases são: a exploração, que é o conjunto de operações ou atividades destinadas a avaliar áreas, buscando descobrir e identificar jazidas de petróleo ou gás natural; o desenvolvimento, que reúne as operações e investimentos destinados à viabilização das atividades de produção de um determinado campo de petróleo ou gás; e a produção, conjunto de operações coordenadas de extração petróleo ou gás natural de uma jazida (ALMEIDA, 2004).

Uma acumulação de petróleo pode se apresentar totalmente líquida, totalmente gasosa ou ainda com uma parte líquida e uma parte gasosa em equilíbrio. Isso irá depender da composição e das condições de pressão e temperatura (Figura 1). Dessa forma, podemos dizer que existe reservatório de líquido que também é conhecido como reservatório de óleo, reservatório de gás e reservatório com as duas fases, óleo e gás (ROSA; CARVALHO; XAVIER, 2006).

Figura – Reservatório tipo óleo – gás.



Fonte: Douglas Pinto, 2010.

Das reservas provadas, 93,6% se localizavam em mar, com destaque para o Rio de Janeiro – que deteve 87,8% das reservas provadas *offshore* e 82,2% do total – e 6,4% em terra.

O Rio Grande do Norte, em 2010, possuía a terceira maior reserva total de petróleo, com 333,9 milhões de barris em terra e 185,7 milhões de barris em mar e a terceira maior reserva provada de petróleo com 254,6 e 120,5 milhões de barris em terra e mar respectivamente.

Uma boa parte dos poços – 3.911 ou 43,7% do total – está localizada no Rio Grande do Norte, estado que produziu 20,8 bilhões de barris de petróleo ou 2,8% do total. Em mar 684 bilhões de barris de óleo representa 91,2% do total produzido, e só o Rio de Janeiro foi responsável por 87% desta produção marítima e por 79,3% do total, após diminuição de 1,7% em comparação a 2009. Entre 2001 e 2010, o crescimento anual médio de sua produção foi de 5,1%.

São Paulo foi o estado que registrou o maior crescimento em 2010: 1.483% da produção *offshore*. Em terra, o Rio Grande do Norte foi o que mais produziu, apesar da queda de 2,3% em relação a 2009, a produção ficou em 17,9 milhões de barris ou 27,1% da produção *onshore*.

O Rio Grande do Norte possui o maior número de poços em terra e tem o segundo maior número de poços em mar. É importante demonstrar para entender a evolução do número de poços e de produção no Rio Grande do Norte, a Tabela 1 e 2 demonstra essa informação respectivamente.

Tabela – Número de poços produtores de petróleo e de gás natural, por localização (terra e mar), segundo Unidades da Federação – 2001-2010.

UF	Local	Número de poços produtores de petróleo e de gás natural										10/09 %
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
AM	Terra	67	68	70	56	57	55	53	60	63	55	-12,70
BA	Terra	1.737	1.853	1.947	1.842	1.823	1.783	1.779	1.735	1.734	1.684	-2,88
	Mar	27	27	27	21	5	5	8	8	10	9	-10,00
ES	Terra	339	293	425	381	353	328	306	282	254	285	12,2
	Mar	3	4	4	4	4	11	18	19	17	38	123,53
RJ	Mar	502	498	486	475	503	528	524	529	554	555	0,18
RN	Terra	3.844	3.863	3.940	2.972	3.161	3.355	3.405	3.569	3.529	3.808	7,91
	Mar	105	109	109	79	97	98	101	100	103	103	-

Fonte: Adaptado de ANP/SDP, conforme a Lei nº 9.478/1997.

Tabela – Produção de Petróleo (mil barris), por localização (terra e mar), segundo Unidades da Federação – 2001-2010.

UF	Local	Produção de Petróleo (mil barris)										10/09 %
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
AM	Terra	15.743	15.914	15.410	15.541	14.376	13.062	12.276	11.657	12.351	13.030	5,49
BA	Terra	16.310	16.061	16.064	16.324	16.144	15.703	15.525	15.156	14.642	15.551	6,20
	Mar	-	-	-	-	-	-	134	284	338	343	1,44
ES	Terra	7.087	8.984	9.183	7.278	6.338	6.103	5.963	5.108	4.587	4.801	4,67
	Mar	62	1.138	6.617	4.407	5.945	16.759	36.197	37.133	31.371	75.232	139,81
RJ		380.466	438.292	446.238	443.156	501.772	529.627	520.922	547.348	605.213	594.804	-1,72
RN	Terra	25.817	25.038	24.658	24.774	23.031	20.435	19.676	19.208	18.295	17.868	-2,33
	Mar	3.768	3.810	3.917	4.319	4.153	3.731	3.141	3.124	3.012	2.914	-3,26

Fonte: Adaptado de ANP/SDP, conforme o Decreto nº 2.705/1998.

2.2 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO

Não é necessário esperar a queda da pressão e consequente declínio acentuado da produção de óleo para se começar a interferir no reservatório. É altamente recomendável o estudo da melhor técnica para estímulo do poço seja feito previamente analisando os critérios determinantes para identificar sua viabilidade. Esta intervenção deve ser realizada antes que o reservatório entre em declínio acentuado e tem o objetivo de manter ou aumentar a pressão.

Os métodos de recuperação de petróleo foram desenvolvidos para se obter uma produção maior do que aquelas que se obteriam, caso apenas a energia natural do reservatório fosse utilizada (PASSOS, 2002).

A vida produtiva de um reservatório de petróleo se compõe de três etapas que, cronologicamente, são chamadas de recuperação primária, recuperação secundária, recuperação terciária. Atualmente, as expressões “secundária” e “terciária” perderam a sua conotação cronológica e passaram a denominar a natureza do processo (THOMAS, 2001).

2.2.1 Recuperação Primária

A recuperação primária é a etapa da produção onde a energia preexistente no reservatório é responsável pela movimentação do óleo para a superfície. Rosa, Carvalho e Xavier (2006) relatam que no início de sua vida produtiva, viável técnico-economicamente, o reservatório possui energia para abastecer o poço, promovendo a elevação até a superfície e escoando horizontalmente até as facilidades de produção.

Nesse estágio inicial de produção de óleo num reservatório, o óleo é forçado para a superfície devido a forças naturais, como: expansão do óleo, expansão do gás ou ambos; deslocamento pela migração de água naturalmente pressurizada de uma zona de comunicação;

e escoamento de uma posição mais alta no reservatório para poços em posições mais baixas. As forças de expulsão naturais presentes em um determinado reservatório dependem das propriedades da rocha e do fluido, da estrutura geológica e da geometria do reservatório, além da taxa de produção de óleo e gás (CORREIA; FRANÇA; THOMÉ, 2006). Quando para Mustafa, Souza e Rocha (2003), a produção de petróleo nessa fase varia entre 15% e 20% do volume original da jazida.

2.2.2 Recuperação Secundária

Quando a energia natural do reservatório extingue-se ao longo da recuperação primária, o grande volume de petróleo ainda permanece aprisionada. Portanto inicia-se a utilização de métodos de recuperação secundária, que consiste na injeção de fluidos, geralmente, água e gás natural.

Segundo Rosa, Carvalho e Xavier (2006) a recuperação secundária de petróleo pode ser classificada em recuperação secundária convencional e especial.

O objetivo da injeção desses fluidos (água e gás) é exclusivamente mecânico, com a finalidade de empurrar ou deslocar o óleo para fora dos poros das rochas, sem que haja qualquer interação química ou termodinâmica entre o fluidos ou entre os fluidos e a rocha reservatório. O fluido injetado deve empurrar o óleo para fora dos poros da rocha, ocupando o espaço deixado.

Com a recuperação secundária convencional se consegue elevar a recuperação para cerca de 30 a 45% do volume original da jazida. O restante fica retido nos poros da rocha reservatório, de onde só vai ser retirado através de métodos de recuperação secundária especiais (MUSTAFA; SOUZA; ROCHA, 2003).

2.2.3 Recuperação Secundária Especial

Também denominado de Recuperação Avançada de Óleo ou *Enhanced Oil Recovery* – EOR (em Inglês), são todos os processos de recuperação que não seja a simples injeção de água ou gás natural para manter a pressão no reservatório e, assim, aumentar a capacidade de produção (CORREIA; FRANÇA; THOMÉ, 2006).

Considerando a natureza geral do processo, classificam-se os métodos avançados em: métodos térmicos, métodos miscíveis e métodos químicos. Esta classificação, entretanto, não é única e alguns métodos poderiam ser incluídos em outras categorias (PASSOS, 2002).

Entretanto, apesar de aumentar o tempo de vida produtiva dos reservatórios, essas técnicas têm como principal limitador o incremento ao preço final do petróleo produzido. Este fato leva muitas reservas a serem abandonadas antes da execução dessa etapa de produção. O tópico seguinte tratará do processo de tomada de decisão que influencia em deliberações cotidianas nas organizações como a escolha de uma técnica para recuperação de reservatório.

2.3 TOMADA DE DECISÃO

O processo decisório tem obtido cada vez mais destaque nas pesquisas que envolvem organizações (LENGNICK-HALL, 2003; TONN, 2003), tendo em vistas as rápidas mudanças que estão ocorrendo no ambiente social, econômico e legal (TAPSCOTT; CASTON, 1995). Estas mudanças implicam na procura de uma maior proatividade dos tomadores de decisão (DRUCKER, 1998) e na continua procura de eficiência nos processos (GONÇALVES, 2000).

Para Saaty (1991), o tomador de decisão é sempre motivado pela necessidade de prever ou controlar, na maioria das vezes num sistema complexo de componentes correlacionadas em

busca de análises. Quanto mais ele entende essa complexidade, mais acertada será sua decisão.

Lombard (2010), afirma que a incerteza está diretamente relacionada àquilo que o indivíduo simplesmente não sabe e não há base científica para definir a chance de uma ocorrência no futuro e quanto mais distante no tempo, maior será a percepção de decisão sem fundamentação.

Robbins e Decenzo (2004) acreditam que um tomador de decisão seria plenamente objetivo e lógico. Definiria um problema com cuidado e teria uma meta clara e específica. Além disso, as etapas no processo de tomada de decisão levariam consistentemente à escolha da alternativa que maximiza a meta.

É extremamente indiscutível o papel da tomada de decisão no cenário de recuperação de reservatório de hidrocarbonetos. A capacidade de resolver problemas é vista como fator gerador de resultados, desempenhada nas atividades profissionais e no sucesso de quem as executa. No tocante, diversas organizações baseiam-se em diversas formas para auxiliar nesse processo, tais como análise baseada na previsão de comportamento de reservatórios, análise de curva de declínio de produção, simulação de fluxo e estimativa de reserva.

Devido às constantes mudanças no setor petrolífero, motiva-se a aplicação de melhorias de processos de exploração e produção para descobrir e extrair maiores quantidades de hidrocarbonetos das formações geológicas (extrair mais significa aumentar o fator de recuperação), pois as tendências de exploração obrigam as empresas a adotarem técnicas padronizadas, dentro dessa perspectiva, os indivíduos necessitam de um processo decisório que contemple os objetivos da empresa, as metas desejadas e as restrições apresentadas.

O que não difere na aplicabilidade, especificamente, na Engenharia de Reservatório, por mais que não existam pesquisas significativas, ou um processo decisório formal e padronizado entre diversas organizações. No entanto, Yu (2011) afirma que o conhecimento do profissional tomador de decisão é tratado usualmente como habilidade isolada quando poderia ser acumulado como conhecimento da corporação. Para que a competência da organização estabeleça-se como um todo, é preciso pensar na reunião da soma das competências dos

indivíduos, elementos técnicos e econômicos que a integram. Mas isso não é o bastante é necessário um processo formal de tomada de decisão. Na sessão seguinte será comentado o processo de tomada de decisão.

2.3.1 Processo Decisório

Este item é dedicado a tratar das etapas do processo decisório identificando os elementos que compõem a decisão.

A teoria da decisão parte do pressuposto de que os indivíduos são capazes de expressar suas preferências básicas, e são racionais, quando enfrentam situações de decisão simples. É importante salientar que o ser humano tem a capacidade cognitiva limitada, assim, tem limitação para compreender todos os sistemas ao seu redor e/ou processar as informações que recebem. (GOMES E GOMES, 2012).

Tendo a capacidade cognitiva limitada, o ser humana busca definir uma metodologia racional que permita avaliar a decisão a ser tomada.

Russo e Shoemaker (1993) dividem o processo de tomada de decisão em quatro elementos principais, segundo os quais “todo bom tomador de decisão deve, consciente ou inconscientemente, passar por um deles”. Os elementos são:

- **Estruturar:** definir o que deve ser decidido e determinar que critérios o fariam preferir uma opção em relação a outra;
- **Colher informações:** trata-se de procurar fatos reconhecíveis como as estimativas razoáveis a respeito dos “não reconhecíveis”, necessários para tomar a decisão;
- **Chegar a conclusões:** segundo os autores, uma estruturação perfeita e boas informações não garantem uma decisão correta. As pessoas nas podem tomar conscientemente boas decisões usando apenas critérios intuitivos, mesmo dispendo de dados excelentes.

- **Aprender (ou deixar de aprender) com o feedback:** significa que o tomador de decisão deve manter o acompanhamento daquilo que se esperava que acontecesse, resguardando-se sistematicamente das explicações egoístas e assegurando-se de rever as lições produzidas pelo feedback na próxima vez que surgir uma situação semelhante.

O modelo do processo de decisão de Uris (1989) se divide em 6 etapas:

- **Análise e identificação da situação e do problema:** A situação e o ambiente são identificados por meio de informações coletadas rigorosamente para que se possa chegar a uma decisão segura e precisa.
- **Desenvolvimento de alternativas:** A partir de experiências próprias dos decisores, facilitadores e analistas, são desenvolvidos alternativas para a resolução do problema.
- **Comparação entre alternativas:** Realizada a partir de comparação das vantagens e desvantagens podendo ser realizado a partir de algoritmos.
- **Classificação dos riscos de cada alternativa:** Sempre tem que levar em consideração o grau de risco que há em cada alternativa e escolher a alternativa que apresente comprovadamente o menor grau e atingimento dos objetivos.
- **Escolha da alternativa:** Uma vez identificados as vantagens e desvantagens, os decisores serão capazes de identificar a alternativa que melhor solucione o problema.
- **Execução e avaliação:** Não apenas implantar a alternativa, mas avaliar se os resultados com sua aplicação estão de acordo com o previsto.

Os autores Shamblin e Stevens Jr. (1989) identificam outros seis estágios:

- Formulação do problema;
- Construção de um modelo de estudo;
- Sugestão de solução com base no estudo;

- Teste da solução do modelo;
- Estabelecimento de controles sobre solução;
- Implementação da solução.

Chiavenato (1983) identifica sete etapas:

- Percepção da situação que envolve algum problema;
- Análise e definição do problema;
- Definição dos objetivos;
- Procura de alternativas de solução;
- Avaliação e comparação da alternativas;
- Seleção da(s) alternativa(s) adequada(s);
- Implementação das alternativas escolhidas.

2.3.1.1 Metodologia sintética para abordagem de problema

Gomes (1999) propõe a seguinte abordagem para estudo e busca de solução de um problema, denominado metodologia sintética para abordagem de problema.

- Premissas
 - Para haver decisão, são necessárias pelo menos duas alternativas, classificação em pelo menos dois critérios/atributos; pode haver conflito entre os critérios; e/ou as alternativas podem não possuir crescimento monotônico simultâneo em todos os critérios/atributos;
 - O processo de decisão é dinâmico; alteram-se preferências, objetivos, e degradam-se alternativas durante o processo.

- Dificuldades
 - Os critérios, alternativas, atributos, consequências das alternativas ou restrições do problema podem não estar claramente definidos;
 - Critérios e/ou alternativas podem estar interligados;
 - Podem ocorrer dificuldades de quantificação das alternativas nos critérios de decisão;
 - Juízos de valor dos atores da decisão podem ser conflitantes;
 - Preferências dos decisores podem mudar durante o processo de decisão;
 - Algumas alternativas podem degradar durante o processo de decisão, e outras podem agregar maior valor;

- Cuidados
 - Só aceitar como verdadeiro o que se souber com clareza;
 - Reconhecer corretamente o problema a ser atacado;
 - Verificar se existe disposição para resolver o problema;
 - Revisar o processo de forma a estar seguro de que nada foi omitido;
 - Verificar se o tempo e a competência da equipe são suficientes para resolver o problema;
 - Escolher corretamente as escalas utilizadas;
 - Quantificar o não determinístico.

- Elementos
 - Atores;
 - Problema;
 - Objetivo
 - Preferências;

- Processos, subsistemas, modelos, metodologia e transformação que ocorrerão;
- Meio ambiente, restrições e relaxações;
- Entradas ou insumos;
- Alternativas;
- Critérios e atributos;
- Saídas, resultados, benefícios e beneficiários;
- Controle e realimentação.

- Etapas

- Identificação, formulação e análise do problema:
- Definição de objetivos e preferências:
- Identificação das restrições e/ou relaxações:
- Identificar critérios e/ou atributos de decisão:
- Construção e teste de um modelo para estudo:
- Realimentação do modelo de estudo:
- Estabelecimento de medidas de eficácia:
- Identificação de alternativas que solucionem o problema:
- Mensuração das consequências das alternativas e do grau que permite alcançar o objetivo:
- Comparação das alternativas:
- Escolha da(s) alternativa(s):
- Implementação:
- Realimentação:
- Escolhas orientadas:

A abordagem de Gomes (1999) se mostrou a mais completa, todos os elementos supracitados fazem parte do contexto da Engenharia do Petróleo, não somente pela necessidade de se realizar uma avaliação econômico, mas principalmente pela natureza criteriosa condução de planejamento e controle dos processos na área e não menos importante a sua complexidade. Na etapa seguinte estão apresentados alguns método multicritérios que auxiliam esse processo de tomada de decisão.

2.3.2 Métodos Multicritério

O processo de tomada de decisão, tem se transformado aceleradamente, principalmente devido aos grandes e intensos avanços tecnológicos, tendo como Herbert A. Simon como o pioneiro na pesquisa a respeito de tomada de decisão.

Conforme Ballestrin (2002), Herbert A. Simon afirmava os modelos de simulação computacional era a forma mais adequada para o processo de tomada de decisão na resolução de problemas. Daí por diante, Simon vem pesquisando a associação dos recursos computacionais ao comportamento do homem e tornou-se o primeiro cientista a abordar o conceito de Inteligência Artificial.

Nos anos 50, a indústria petrolífera começou a utilizar as técnicas insipientes de programação linear para determinar a melhor composição em termos de octanagem, com o mínimo de custo. A partir daí, o uso de tais técnicas tem se espalhado, sendo utilizado em industrias de computadores de serviços etc; para resolver problemas tão dispares quanto a composição de carne e gordura em um hambúrguer e o controle de portfólio de ação de um banco. Por esta razão foram desenvolvidos métodos estritamente matemáticos para se encontrar a solução ótima de um problema (GOMES; GOMES, 2012).

A modelagem teórica do processo decisório supõe que a tomada de decisão gerencial seja racional no sentido de que os gerentes fazem escolhas consistentes, de valor maximizado dentro de restrições especificadas (ROBBINS; DECENZO, 2004).

Devido à presença da subjetividade, inerente aos tomadores de decisão e aos seres humanos de uma forma geral, é possível afirmar que este processo é holístico, logo, difícil de ser separado em partes. Sendo assim, qualquer metodologia de apoio à decisão deve suportar esta subjetividade que atua como ponte que vai promover a comunicação entre os atores, a elaboração e a justificação dos julgamentos de valores feitos por esses mesmos atores.

Para Gomes e Freitas Júnior (2000), os problemas de decisão são discretos, quando se trata de um número finito de alternativas, ou contínuo, quando tal número pode ser pensado como sendo infinitamente grande.

Os métodos contínuos são também denominados métodos de otimização de critério ou métodos iterativos, compreendendo basicamente métodos de programação matemática com mais de uma função objetivo. A utilização desses métodos, tanto discretos como contínuos, é imensamente facilitada através de softwares especializados.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD ou Análise Multicritério), pode ser definido como um conjunto de técnicas que auxiliam um determinado decisor, que pode ser uma pessoa, um grupo político ou um grupo de técnicos à tomar uma decisão à respeito de um problema complexo, com múltiplas possibilidades de solução, avaliando e buscando alternativas de resolução, de acordo com diversos critérios.

Dentre os métodos múlticritérios discretos mais usuais destacam-se a Utilidade Multiatributo, o *Analytic Hierarchy Process* – AHP e os métodos *ELimination Et Choix TRaduisant la rEalité* – ELECTRE (GOMES; GOMES, 2012). Entre os métodos multicritérios se destacam:

- Utilidade Multiatributo – MAUT (KEENEY; RAIFFA, 1976);
- Processo de Hierarquização Analítica (*Analytical Hierarchy Process* – AHP) (SAATY, 1977);
- *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* –TOPSIS) (HWANG; YOON, 1981);

- *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation* – PROMETHEE (BRANS; VINCKE, 1984);
- Abordagem de Decisão *Fuzzy* (*Fuzzy Decision Approach* – FDA) (LIANG; WANG, 1992);
- Métodos *ELimination Et Choix TRaduisant la rEalité* – ELECTRE (ROY; BOUYSSOU, 1993);
- *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* – MACBETH (BANA E COSTA; VASNICK, 1994);

Tabela – Prós e Contras de algumas ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão.

Ferramenta AMD	Prós	Contras
Utilidade Multiatributo MAUT (KEENEY; RAIFFA, 1976)	<ul style="list-style-type: none"> - Teoria sólida, base: cálculo matemático - Aplicável a uma gama de problemas - Identifica incoerências e dependência entre atributos e alternativas - Análises de decisões que envolvam resultados quantitativos e qualitativos 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de profundo conhecimento e detalhamento das variáveis e suas relações - Grande habilidade por parte do usuário para definição das funções de utilidade - Cálculo muito complexo e que envolve muitas variáveis
Processo de Hierarquização Analítica (<i>Analytical Hierarchy Process</i> – AHP) (SAATY, 1977)	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo simples para construir - Processo lógico - Eficiente em lidar com atributos qualitativos e quantitativos - Os resultados são fáceis de entender 	<ul style="list-style-type: none"> - Dúvidas têm sido levantadas sobre fundamentação dessa teoria. Existe uma forte visão de que os axiomas em que o AHP se baseia não são suficientemente claros a para de ser empiricamente testado.
Técnica da Ordem Preferência por Similaridade para a Solução Ideal) (<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>) (HWANG; YOON, 1981)	<ul style="list-style-type: none"> - A consistência interna e solidez lógica - Fácil de seguir - Intuitivamente atraente - Não há cálculos complicados - Facilmente configurado em MS Excel - Os resultados são fáceis de entender - Valor do índice simples dado - Os resultados podem ser facilmente demonstradas graficamente 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande número de procedimentos - Grande número de cálculos - Fornece um resultado geral
<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i> (PROMETHEE) (BRANS; VINCKE, 1984)	<ul style="list-style-type: none"> - Incentiva mais interação entre o decisor e o modelo na procura de boas opções - Os defensores argumentam que o seu conceito <i>outranking</i> é mais relevante a situações práticas do que o conceito de dominação restritiva 	<ul style="list-style-type: none"> - Muito conhecimento necessário
Abordagem de Decisão <i>Fuzzy</i> (<i>Fuzzy Decision Approach</i> – FDA) (LIANG; WANG, 1992);	<ul style="list-style-type: none"> - É baseada em palavras e não em números, expresso linguisticamente - Melhor tratamento das imprecisões - Facilidade na especificação das regras. - O uso de variáveis linguísticas nos deixa mais perto do pensamento humano; - Requer poucas regras, poucos valores e poucas decisões. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construção complexa - A lógica fuzzy é bastante imprecisa - Dificuldade em prever qual será a interação entre as diferentes condicionantes do problema
Métodos <i>ELimination Et Choix TRaduisant la rEalité</i> – ELECTRE	<ul style="list-style-type: none"> - Os defensores argumentam que o seu conceito <i>outranking</i> é mais relevante a situações práticas do que o conceito de 	<ul style="list-style-type: none"> - Muito conhecimento necessário - Não é transparente - Muito provavelmente será necessário um

(ROY; BOUYSSOU, 1993);	dominação restritiva - Pode ser usado para escolher, classificar, e ordenar alternativas.	especialista em AMD para ajudar / realizar a análise
<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i> – MACBETH (BANA E COSTA; VASNICK, 1994)	- Julgamento comparativo dos Decisores entre os diversos critérios e ações - É utilizado um software especializado que fornece os pesos dos critérios de acordo com os julgamentos feitos. - A principal vantagem desta técnica é maneira como os Decisores expressam suas preferências, de forma qualitativa.	- O software pode não conseguir gerar resultados compatíveis com as comparações realizadas e sugere variações de julgamentos que permitam a aproximação de um resultado - A possibilidade de se tornar um método cansativo caso haja necessidade de um grande número de comparações.

Fonte: Adaptado de Keeney e Raiffa (1976); Saaty (1977); Hwang e Yoon (1981); Brans e Vincke (1984); Liang e Wang (1992); Roy e Bouyssou (1993); Bana e Costa e Vasnick (1994).

De acordo com o conceituado por Hatch e Cunliffe (2006), a indústria do petróleo é uma atividade tecnologicamente intensiva, onde o *input* é não *standard* e o *output* é customizado devido as suas especificidades, sendo necessário o auxílio de ferramenta na tomada de decisão.

Na escolha da melhor técnica de recuperação secundária, especificamente na bacia RN/CE, a utilização de uma rotina simplificada e estruturada baseada em critérios, não somente minimizaria o fator subjetivo como potencializa de maneira objetiva a decisão. A Tabela 3 expõe os prós e contras de algumas ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão e que juntamente com o “Estudo da Arte” definiu qual método foi utilizado no presente estudo.

2.3.3 Estudo da Arte

Este sub capítulo tem como objetivo apresentar como a evolução dos indicadores de análise multicritério podem auxiliar o processo de tomada de decisão na área de Engenharia de Petróleo, uma vez que buscam simplificar os dados e as informações complexas e multidimensionais. No processo de tomada de decisão multicritério o decisor procura ordenar elementos de um conjunto de alternativas ou simplesmente escolher o melhor elemento. Para isso, o decisor identifica vários pontos de vista, dimensões ou critérios que lhe parecem pertinente. Quando um indicador é construído, definem-se algumas dimensões.

Shindy et al (1997), reportam sobre um estudo sobre o desenvolvimento de um sistema especialista do conhecimento para a seleção de o método de EOR em reservatórios de petróleo. Acredita-se que com um sistema de engenharia julgamento que decorre de conhecimento e experiência estará disponível para classificar, processar, analisar e cruzar os dados referem-se reservatórios adquiridos. Acoplamento deste com outras fontes de informação que nos permitirá alcançar a seleção mais viável de Técnicas de EOR para campos de petróleo maduros e permitir uma eficiente e rentável operação de reservatórios de petróleo.

Ortiz-Gómez et al, descrevem três modelos de otimização inteira mista de multiperíodo complexidade variável para o planejamento da produção de petróleo em poços de um reservatório de óleo. O problema considera topologia fixa e está preocupado com as decisões envolvendo os perfis de produção de petróleo e de operação / fechar em tempos de poços em cada período de tempo. Assumindo um comportamento não-linear para a pressão também flui (em relação ao tempo), enquanto que o cálculo da produção de petróleo (teste bem Moderno).

Tehrani, Smart e Shwishin (2002) abordam a importância da compactação em Despressurização de reservatórios de petróleo, apresentando os resultados de um estudo em profundidade em diversos aspectos da despressurização de um reservatório. Apresenta, ainda, os resultados de estudos de sensibilidade, utilizando uma composição simulador. O estudo mostra que parâmetros têm impacto significativo sobre a recuperação de reservatório de petróleo e gás no processo de despressurização, em que circunstâncias e quais não têm efeito significativo. Uma conclusão é que ignorar o efeito da compactação poderia resultar em previsões exageradamente otimistas e decisões de investimento, o que poderia resultar em economia desastrosas para o projeto.

Jack e Sun (2003) analisa os controles sobre Fator de Recuperação de reservatórios fraturados: Lições Aprendidas 100 Campos fraturados. Uma centena de reservatórios fraturados de todo o mundo foram avaliados para determinar como recuperação final foi afetada pelo reservatório inerente e fluido propriedades, tais como a porosidade, a permeabilidade, a viscosidade, a razão de mobilidade, distribuição de fratura e unidade mecanismo versus a escolha de reservatório

estratégia de gestão, por exemplo, a otimização da taxa de produção e tipo de EOR técnica. Reservatórios de petróleo fraturados foram divididos em quatro grupos. tipo I reservatórios têm pouca porosidade e permeabilidade da matriz. Reservatórios do tipo II, têm matriz baixa porosidade e permeabilidade. Matrix fornece alguma capacidade de armazenamento e fraturas fornecem as vias de fluxo de fluido. Tipo III (microporosa) reservatórios têm alta matriz de porosidade e permeabilidade da matriz baixa. Matrix fornece a capacidade de armazenamento e fraturas fornecem as vias de fluxo de fluido. Tipo IV (macroporosa) reservatórios tem matriz de alta porosidade e permeabilidade. Matrix fornece tanto a capacidade de armazenamento e fluido de fluxo, enquanto as vias fracturas apenas melhoram a permeabilidade.

Chen et al (2004) estudam sobre a injeção de Projetos de produção de Chengdao campo petrolífero offshore. De acordo com os elementos do reservatório Guantao no campo petrolífero Chengdao tendo uma série de camadas de desenvolvimento e sendo produzidos por misturar várias camadas. Através da investigação detalhada sobre geologia, microfaciológica sedimentares e unidades de fluxo de reservatórios, o estudo sobre o ideal padrão de injeção, o intervalo de injeção separada e a razão de produção de injeção são efetuada com as tecnologias de simulação numérica de reservatório e do reservatório engenharia de análise. Consistente com os elementos de Guantao formação no campo petrolífero em Chengdao, as técnicas de injeção de água e condução de gás são apurados, que fornecem decisão - tomada de base para a desenvolvimento do campo petrolífero *offshore* de Chengdao.

Chugunov, Shepelyov e Sternin (2008) relatam as estimativas generalizadas intervalo em decisões sob incerteza, resumindo e ampliando ainda mais os aspectos teóricos e práticos das estimativas de intervalo generalizadas abordagem (GIE) na tomada de decisão sob incerteza. A avaliação do reservatório sobre as propriedades da abordagem GIE, que acreditamos que pode ser importante para uma ampla variedade de problemas interdisciplinares, incluindo a avaliação de projetos de investimento, avaliação tecnológica, e no desenvolvimento de políticas e regulamentos. A Estrutura GIE, é baseada em cenários de representação do conhecimento especialista, é mais análise orientada, uma vez que oferece flexibilidade para adicionar / remover / modificar

cenários a partir da descrição de especialistas da quantidade estimada. O exemplo prático em projetar a dinâmica da produção mundial de petróleo também ilustra o algoritmo que um perito independente poderia usar para desenvolver e analisar novos cenários baseados no conjunto inicial de projeções disponíveis a partir de estudos e pesquisas relevantes.

Manrique e et al (2008) apresentam estratégias eficazes de EOR decisão com dados limitados, através de demonstração de estudos de caso. Os EOR tomada de decisão procedimentos são apresentados através de exemplos de estudos de caso da Ásia, Canadá, México, América do Sul e os EUA. Os tipos de ativos avaliado inclui um aspecto de tipos de reservatórios, desde areias de petróleo para petróleo leve reservatórios. A vantagem de flexíveis de tomada de decisão é mostrado que estruturas adaptar-se o volume e a qualidade de informações por formular a decisão correta cobre a problemática e se concentrar em projetos e / ou propriedades com aparente economia. O AUE de decisão abordagens integrar várias ferramentas de avaliação, publicamente ou comercialmente disponível, cuja combinação depende da disponibilidade e qualidade dos dados. Isso permite que as equipes integradas para colaborar na decisão processo de tomada, sem excesso de analisar os dados disponíveis.

Krohling e Campanharo (2011) utilizam a método Topsis fuzzy para tomada de decisão em grupo: Um estudo de caso para acidentes com derramamento de óleo no mar. A seleção das melhores respostas de combate ao derramamento de óleo no mar quando vários alternativas devem ser avaliadas com pesos diferentes para cada critério consistir de uma decisão tomada problema multicritério. Neste trabalho, em primeiro lugar, a Técnica ordena por Similaridade para a Solução Ideal (Topsis) é descrito. Em segundo lugar, a sua expansão conhecido como Topsis fuzzy para lidar com incerteza os dados são apresentados. Em seguida, com base em Topsis difusa foi utilizado um Topsis fuzzy para tomada de decisão de grupo, o qual é aplicado para avaliar as classificações de resposta alternativas a um derramamento de óleo simulado. O estudo de caso foi realizado por um dos maiores reservatórios de petróleo brasileiros. Os resultados mostram a viabilidade para descobrir as melhores respostas de combate em caso de acidentes com derramamento de óleo no mar.

Cheng e Zhou (2011) desenvolvem uma abordagem de avaliação fuzzy para análise de reservas de petróleo e gás, onde foi observado que a tecnologia de modelagem estocástica reservatório, o que torna usos dos parâmetros da reserva em modelo estocástico, resolve o problema que os parâmetros são difíceis de determinar em reservatórios complexos usando o tradicional método volumétrico. A abordagem, no entanto, sem considerar a inerente incerteza de porosidade, saturação de petróleo bruto e relação líquido, não é possível determinar os fatores que desempenham um papel de liderança e avaliar a escala de influências sobre a reserva cálculo. Neste artigo, vários conjuntos de cenários de cálculo de reserva são apresentados com base em atributos geológicos de poços de X campo de petróleo. Usando associação do método de análise para determinar os parâmetros, as combinações ótimas de fatores influentes envolvidos no cálculo, são usados para comparar graus de relevância de programas diferentes. Este papel resolve a ambiguidade no processo de estimativa de reservas, seguindo a avaliação quantitativa do efeito da incerteza sobre os parâmetros de reserva cálculo. Em busca da redução dos riscos e fornecimento da base confiável na tomada de decisões de exploração de petróleo e reservatório desenvolvimento.

Zhang e Xue (2012) trabalharam o Método analítico sobre a qualidade da melhor microbiana recuperação de petróleo com base em Fuzzy-AHP, analisando a avaliação da qualidade da recuperação melhorada de petróleo microbiana baseada no método AHP e Fuzzy. Obtendo o vetor peso relativo importância que afetam a qualidades (ou fatores), através da AHP/Fuzzy.

Xu et al (2012) abordam a aplicação de opções reais para avaliação e tomada de decisões na indústria petrolífera. Este estudo estabelece um risco neutro método de malha binomial para aplicar opções reais teoria para avaliação e tomada de decisão na exploração de petróleo e indústria de produção, sob os preços do petróleo incertos. Primeiro, o West Texas Intermediate (WTI) a evolução do preço do petróleo nos últimos 25 anos, a partir de 02 de janeiro de 1986 a 28 de maio de 2010, é estudado e modelado com o movimento browniano geométrico e um fator de dizer modelos de preços de reversão. Perfil de produção segundo lugar, para recuperação de petróleo primário e água inundações de um reservatório de óleo sintético é *onshore* gerado utilizando simulador. Terceiro, a estrutura binomial opções reais

método de avaliação é estabelecido para o valor do projeto com flexibilidade em tempo de comutação do ensino primário para a água de recuperação de petróleo inundações. Sete resultados e conclusões são alcançadas: 1) para GBM modelo de preço, os pressupostos da constante velocidade de deriva e volatilidade não mantenha para os preços do petróleo WTI, 2) um fator de reversão à média é o melhor modelo para se ajustar os preços do petróleo WTI do que o modelo GBM, 3) a evolução do petróleo WTI preços nos últimos 25 anos foi de acordo com três regimes de preços e, desde 2003, a economia mundial tem aumentado a sua tolerância ao aumento dos preços do petróleo e à maior flutuação de preços do seu preço longo prazo; 4) o método pode ser estabelecida ROE usado para identificar o melhor momento para mudar de primário para óleo inundações de água recuperação; 5) com um fator de média modelo de preços do petróleo e de reversão mais atualizado dados de custo, o método de ROE acha que a água tempo de comutação de inundação é mais cedo do que que a partir de método tradicional do valor presente líquido otimização; 6) os resultados ROE revelam que a maioria das cheias de água o tempo deve começar quando os preços do petróleo estão altos, e 7) água tempo de comutação é sensível a inundação modelos dos preços do petróleo e à investimentos e custos operacionais. O quadro estabelecido ROE aumenta a avaliação e tomada de decisão para o petróleo, incluindo indústria, quando a mudar de um método melhorado de recuperação de óleo para o outro e quando mudar de convencional para a produção de hidrocarbonetos não-convencional.

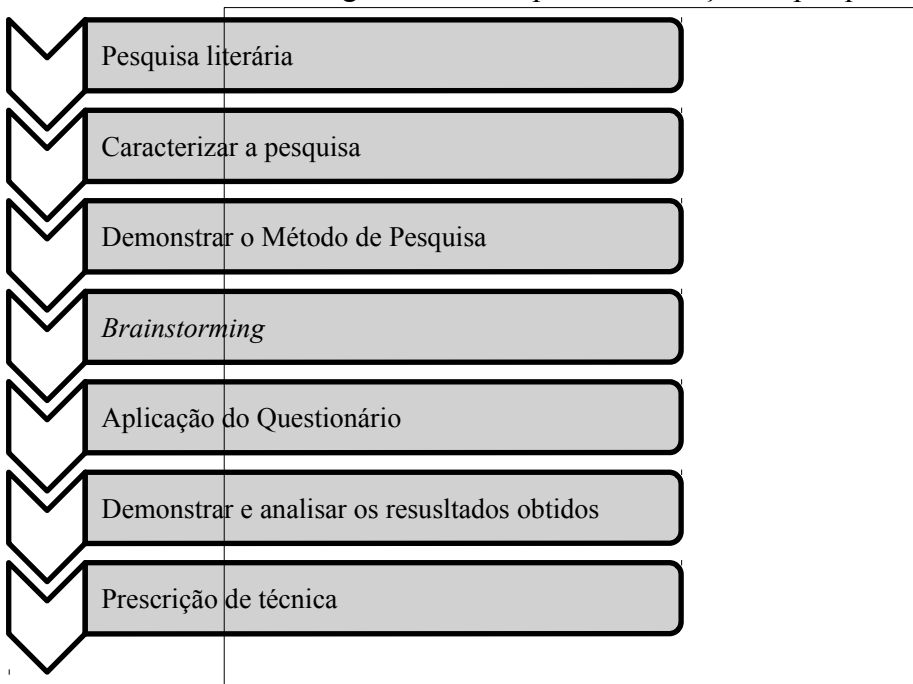
Akhavan, Abd Shukor e Jabbari (2013) apresentam uma avaliação dos métodos de EOR de um óleo pesado reservatório com o método AHP: O caso de Ferdowsi reservatório Recuperação aprimorada de petróleo, estratégias para o desenvolvimento de reservatórios de óleo pesado. Considerando a complexidade do processo, pois envolve uma grande valor econômico e parâmetros e é necessário considerar o risco associado com geológica, incertezas econômicas e tecnológicas, sendo muito importante a escolha da estratégia adequada para obter melhoria na qualidade dos resultados e para aceleração no processo. Os autores aplicaram o processo de hierarquia analítica para avaliar cinco alternativas – AHP, em reservatório de óleo pesado em um pesado petróleo no Campo do Irã. Este método ajuda a equipe no gerenciamento de reservatórios para estruturar o modelo de hierarquia fundamental, que é adequado para o reservatório Ferdowsi no Irã.

3 METODOLOGIA

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Na realização de uma pesquisa é importante traçar um plano para sua realização, servindo de guia de acompanhamento deixando claro quais passos foram percorridos e quais devem ser percorridos permitindo que demais pesquisadores possam reproduzir. A Figura 2 expõe os principais passos percorridos para realização do presente trabalho.

Figura – Passos para a realização da pesquisa.



Fonte: Autoria Própria, 2013.

- Pesquisa literária: O presente trabalho buscou realizar o seguinte passo, descrito por Lima (2008), como uma atividade de localizar e consultar diversas fontes de informação escrita como livros, periódicos, documentos entre outros, com objetivo de coletar materiais genéricos ou específicos a respeito de um tema de interesse do pesquisador. Ainda para a busca de informações a pesquisa bibliográfica

desenvolvida no presente estudo é conceituada por Vergara (2000) como um estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais e redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral. De acordo com Gil (2007) a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas. Esse tipo pesquisa não somente ajudou na elaboração do trabalho, mas teve como intuito principal atender os objetivos específicos de escolher qual método multicritério seria utilizado na pesquisa e da identificação das alternativas de recuperação secundária, atendido parcialmente, ficando a cargo da etapa Brainstorming na escolha dos critérios utilizados na escolha das alternativas, assim atingindo dois objetivos específicos.

Os passos seguintes objetivaram atingir o terceiro objetivo específico, o da aplicação do método com um grupo de possíveis decisores, e a escolha dos critérios e por consequência atingir o objetivo geral.

- Caracterizar a pesquisa: O intuito da realização deste passo foi de expor informações suficientes para entender as condições de realização deste estudo. Informações como: Abordagem da pesquisa; tipo de pesquisa; época e local do trabalho; tipo de instrumento utilizado; especificações técnicas, quantidade, fonte ou método de preparação dos materiais; equipamentos (VIEIRA, 1991).
- Demonstrar o Método de Pesquisa: Complementarmente a caracterização da pesquisa, será descrito o método que foi utilizado na presente pesquisa, o AHP, este passo buscou descrever informações suficientes para que outro pesquisador possa reproduzir o trabalho.
- *Brainstorming*: é uma técnica de grupo pelo qual são feitos esforços para encontrar uma conclusão para um problema específico, reunindo uma lista de idéias espontaneamente contribuíram pelo seu membros. Esta etapa é muito importante para o estudo, pois é nela que se identificou os critérios para avaliar as alternativas, sua descrição foi feita na “Caracterização da Pesquisa”.

- Aplicação do Questionário: Ainda como um instrumento de coleta de dados e informações, foi aplicado um questionário a partir das orientações do demonstrativo do método AHP. Descrito na “Caracterização da pesquisa”, foi utilizado uma ferramenta web, o “Google Docs”, onde foi produzido o questionário e enviado por e-mail para possíveis participantes de uma decisão na escolha da melhor técnica de recuperação secundária. O questionário se encontra em anexo.
- Demonstrar e analisar os resultados obtidos: Com base no método AHP, a presente etapa expõe cálculos e tabelas utilizados para definição das prioridades dos decisores. Os dados utilizados no cálculo são advindos aplicação do questionário.
- Prescrição da técnica: De posse dos tratamentos estatísticos da pesquisa, após discussões e definido as prioridades dos decisores, as conclusões deste trabalho expõe informações do modelo a ser aplicado em uma decisão real, e os encaminhamentos sugeridos a partir dos resultados da aplicação do modelo da aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* – AHP, dando uma proposta de auxílio para tomada de decisão simplificada em cenários que necessitaram da escolha adequada da melhor técnica de recuperação secundária.

As presentes etapas foram formuladas buscando atingir os objetivos deste trabalho, algumas destas etapas estão neste e nos capítulos que se seguem. Ou seja, o presente trabalho reuniu as principais informações envolvendo as técnicas de recuperação secundária em reservatórios de petróleo para subsidiar na aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* – AHP, para auxiliar na tomada de decisão em qual técnica será a mais adequada para recuperação de poços na região RN/CE.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se por uma abordagem combinada dos métodos quantitativos e qualitativos, ou triangulação metodológica. O conceito de triangulação está baseado na premissa de que qualquer viés inerente a um método, pesquisador e fonte de dados em particular poderia ser neutralizado quando usado em conjunto com outros métodos, pesquisadores e fontes de dados. (KICK apud CRESWELL, 1994). Para Creswell e Clark (2006), as vantagens de combinar as abordagens quantitativas e qualitativas são:

- Proporcionar vantagens que compensam os pontos fracos de ambas as abordagens;
- Prover evidências mais abrangentes para o estudo de um problema de pesquisa do que cada abordagem isoladamente;
- Ajudar a responder as questões que não podem ser respondidas por uma abordagem;
- Encorajar os pesquisadores a colaborarem, superando relacionamentos contraditórios entre pesquisadores quantitativos e qualitativos;
- Encorajar o uso de pontos de vistas múltiplos ou concepções metodológicas mais do que uma simples associação típica das concepções dos pesquisadores *quanti e quali*;
- Ser “prática” no sentido de que o pesquisador é livre para usar todos os métodos possíveis para solucionar o problema de pesquisa.

Conforme Miguel (2012), antes de utilizar uma abordagem combinada, o pesquisador deve considerar se existe uma visão de mundo predominante, se é possível aplicar cada uma delas e o tipo de combinação se são intimamente relacionados.

O presente estudo é definido como sendo “uma pesquisa ora prescritiva ora normativa, no sentido de pretender ajudar as pessoas a tomarem decisões melhores, em face de suas preferências básicas” (GOMES; GOMES 2012). É importante ainda ressaltar que “a pesquisa

empírica normativa quantitativa visa ao desenvolvimento de políticas, estratégias e ações que melhorem a situação corrente” (MIGUEL, 2012).

Por um lado, a pesquisa se demonstra prescritiva, dando instruções para atingir um objetivo, por um outro é descritiva, tal abordagem procura descrever o comportamento das pessoas diante de uma tomada de decisão. March (1978) explica essa diferença, argumenta que as teorias prescritivas são “dedicadas ao aperfeiçoamento da ação da inteligência humana, por meio da premissa de que aquela ação emana da razão e por meio da melhoria da tecnologia da decisão”. E as teorias descritivas são dedicadas ao “aperfeiçoamento do entendimento da ação humana, por meio da premissa de que aquela ação faz sentido” (MARCH, 1978).

Ansoff (1990) afirma que as duas abordagens são complementares, “um entendimento teórico claro de como uma organização funciona oferece uma base valiosa para decidir como ela deve funcionar”.

Complementarmente ao processo de tomada de decisão, e para a escolha das alternativas a pesquisa se utilizará de uma método de apoio à decisão multicritério, o AHP, pela fácil adequação à problemática, os seus elementos estão elencados no tópico que se segue

3.2.1 Elementos do processo decisório

Malczewski (1999) sintetiza em 6 componentes o modelo de Gomes (1999) adotado para este trabalho para a resolução dos problemas multicritério, são eles:

- Objetivo;
- Decisor(es);
- Conjunto de critérios de decisão;
- Conjunto de alternativas;

- Conjunto de estados da natureza;
- Consequências da decisão.

Tabela – Elementos da aplicação no presente estudo.

Elemento	Aplicação no presente estudo
Objetivo	Escolha da melhor técnica de recuperação secundária
Decisor(es)	<i>Stakeholders</i> dos aspectos técnicos
Crítérios de decisão	Pressão, Temperatura, Aspectos econômicos, pH e Salinidade
Alternativas	Injeção a Água, Injeção à Vapor e Gás Lift
Estados da natureza	Bacia exploratória RN/CE
Consequência da Decisão	Aumento do desempenho produtivo de reservatório

Fonte: Adaptado de Malczewski, 1999.

Este estudo de tomada de decisão realizado tem como busca e consequência o aumento do desempenho produtivo de reservatórios na Bacia exploratória RN/CE, objeto da pesquisa. Em relação aos objetivos, dentre diversas formas que poderiam ser utilizadas para o aumento da produção dos reservatórios se escolheu as técnicas de recuperação secundária, dessa forma o objetivo do modelo é “escolha da melhor técnica de recuperação secundária”. Como maior parte dos decisores que participaram da pesquisa são especialistas técnico da área, os critérios escolhidos no *Brainstorming* (comentado no próximo item) são de caráter técnico.

3.2.2 *Brainstorming*

O processo de tomada de decisão, uma vez que buscam simplificar os dados e as informações complexas e multidimensionais procura simplesmente escolher a melhor alternativa. Para isso, o decisor identifica vários pontos de vista, dimensões ou critérios que lhe parecem pertinentes. Todavia, cada elemento é igualmente caracterizado pelo desempenho sobre cada proporção e um valor final do indicador é calculado. Nesse contexto, Marchant et al. (2003) analisaram indicadores e critérios distintos, verificando se os mesmos desempenham corretamente suas funções. Ou seja, se eles refletem satisfatoriamente a realidade para qual estão designados ou, ainda, se eles podem servir de ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

Os autores citados mostraram que essa questão é bastante complexa, pois os critérios analisados podem apresentar algumas fragilidades, como por exemplo, pouca ou muita compensação. Ou seja, desvantagens numa dimensão podem ser compensadas por vantagens em outras dimensões, ao passo que desvantagens extremas não podem ser compensadas pelo bom desempenho em outras dimensões. Para compensar essas desigualdades entre as vantagens e desvantagens foi realizado um *Brainstorming* para a identificação dos critérios que compõe a decisão.

O *Brainstorming* é uma técnica de geração de ideias em grupo dividida em duas fases: (1) fase criativa, onde os participantes apresentam o maior número possível de ideias (2) fase crítica, onde cada participante defende sua ideia com o objetivo de convencer os demais membros do grupo. Na segunda fase são filtradas as melhores ideias, permanecendo somente aquelas aprovadas pelo grupo. A técnica é composta de quatro regras básicas: (1) As críticas devem ser banidas – a avaliação das ideias deve ser guardada para momentos posteriores; (2) A geração livre de ideias deve ser encorajada; (3) Foco na quantidade – quanto maior o número de ideias, maiores as chances de se ter ideias válidas; (4) Combinação e aperfeiçoamento de ideias geradas pelo grupo (DEY, 2001).

Com sua aplicação foi definido os seguintes critérios:

- Pressão;
- Temperatura;
- Aspectos econômicos;
- pH e;
- Salinidade.

3.2.3 Ferramenta Google Docs

A utilização de questionários durante o processo de pesquisas quantitativas é bastante usual por pesquisadores de diversas áreas de conhecimento, principalmente os da engenharia, restringindo-se a formulação do questionário e análise dos resultados obtidos.

De acordo com o conceituado Gil (2002), a seleção dos métodos e técnicas, é de fundamental importância para se ter uma pesquisa bem sucedida, sendo assim, o pesquisador utiliza dessa seleção e consequentes análises, para atender aos objetivos da pesquisa de forma eficiente e clara. Portanto, para realizar uma metodologia com características satisfatórias, devemos seguir os parâmetros sejam eles humanos, materiais ou financeiros.

Para Machado (2009), o uso significativo dessas ferramentas pelo público virtual é cada vez mais acentuado, devido a facilidade de aprendizado e manuseio, sendo a principal característica da Web 2.0 criar interfaces amigáveis, possibilitando uma ligação entre os mesmos.

O Google Docs trabalha a abordagem inovadora de pesquisa possibilitando diversidade de estratégias, como também uma economia coletiva nos processos do método de pesquisa. Com isso utiliza a mediação por uma ferramenta da Web 2.0, o Google Docs, selecionada para elaboração, disponibilização e avaliação dos questionários.

A escolha dessa ferramenta se deu, devido a praticidade e confiabilidade na elaboração de questionários que propõe inovação na pesquisa do investigador, disponibilizando a avaliação desse tipo de questionário proposto estudo.

A ferramenta Google Docs, especificamente, permite a interação e o intercâmbio de ideias, possibilitando trocar informações, ser autores, interferir e contribuir para a construção de uma realidade/conhecimento discutindo através da de uma pesquisa estruturada com diversos especialistas. Em anexo se encontra o modelo do questionário utilizado nesta pesquisa e que se baseia no método AHP explicado no próximo ponto.

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICO CLÁSSICO

O *Analytic Hierarchy Process* – AHP, criado por Thomas L. Saaty é baseado na comparação paritária dos critérios considerados, isso é feito por meio das perguntas: “Qual desses critérios é o mais importante?” e “Quanto esse critério é mais importante?” (GOMES; GOMES, 2012).

O AHP é um método bastante utilizada na tomada de decisão, pois seleciona a melhor opção dentro das alternativas possíveis e auxilia na determinação de prioridades, no âmbito quantitativos e qualitativos. Divide-se em estruturação, julgamentos e síntese dos resultados, se projetando como um dos mais utilizados no auxílio à tomada de decisão, devido a sua fácil compreensão e análise. O método permite que fatores aparentemente não comparáveis possam ser comparados, pois se atribui valor de importância par a par para cada um dos critérios escolhidos na análise do objetivo.

Os elementos fundamentais do Método AHP são:

- **Atributos e propriedades:** um conjunto de alternativas é comparado em relação a um conjunto de propriedades (critérios).
- **Correlação Binária:** quando dois elementos são comparados baseados em uma propriedade, realiza-se uma comparação binária, na qual um elemento é preferível ou indiferente ao outro.
- **Escala Fundamental:** a cada elemento associa-se um valor de prioridade sobre outros elementos em uma escala numérica.
- **Hierarquia:** conjunto de elementos ordenados por ordem de preferência e homogêneos em seus respectivos níveis hierárquicos.

O processo utilizado pelo Método AHP pode ser dividido em estruturação hierárquica do problema de decisão e, modelagem do método propriamente dito.

O tomador de decisões, para aplicar o AHP, define o objetivo geral e, assim, seleciona os atributos para alcançar a meta. Os elementos deverão estar estruturados hierarquicamente. Comparado a uma árvore, à medida que se afasta da raiz (objetivo), temos fatores mais específicos, e os mais extremos (as folhas) representam os fatores ou critérios de avaliação. Assim, quanto mais genéricos forem os atributos, mais altos eles deverão estar na hierarquia. As alternativas ficam na base da árvore, abaixo do último nível de atributos. Esse arranjo permite fazer com que seja possível para o tomador de decisão focalizar cada parte e todo o complexo problema, com isso obter prioridades através de uma simples comparação par a par baseada nos dados obtidos pelo usuário.

A grande vantagem do método AHP é permitir que o usuário atribua pesos relativos para múltiplos critérios, ou múltiplas alternativas para um dado critério, de forma intuitiva, ao mesmo tempo em que realiza uma comparação par a par entre os mesmos. Isso permite que, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, com os conhecimentos e a experiência das pessoas, pode-se reconhecer qual dos critérios é mais importante (SAATY, 1991).

Primeiramente devem-se definir os critérios que serão comparados para auxiliar na escolha das alternativas. Com os critérios definidos, monta-se a Matriz de Prioridades de Critérios, tendo como base a regra sugerida pelo referido autor.

As escalas de razão, proporcionalidade e escalas de razão normalizadas são essenciais para a geração e síntese de prioridades, no AHP ou em qualquer outro método multicritério que necessite integrar medidas de comparação com sua própria escala. Adicionalmente, escalas de razão são a única maneira de generalizar uma teoria de decisão para o caso de dependência e feedback, porque as escalas de razão podem ser somadas e multiplicadas quando elas pertencem a mesma escala.

Quando dois decisores chegam a diferentes escalas de razão para o mesmo problema, deve-se testar a compatibilidade das respostas de ambos e aceitar ou rejeitar a proximidade entre elas. Logo, com as escalas de razão, pode-se associar cada alternativa a um vetor de

benefícios, custos, oportunidades e riscos, para a determinação da alternativa ótima para o problema.

As comparações par a par são usadas para expressar o grau de preferência de uma alternativa sobre outra em um determinado critério, correlacionando essa preferência em uma escala numérica, da qual o principal autovetor de prioridades é derivado. O autovetor mostra a dominância de cada elemento com respeito ao outro para um dado critério, sendo que um elemento que não está sujeito a um critério recebe o valor zero no autovetor sem incluí-lo em comparações.

O método AHP possui três maneiras de obter a ordem das alternativas:

- **Relativa:** onde cada alternativa é comparada par a par com relação a um dado critério.
- **Absoluta:** onde as alternativas são classificadas numa escala de intensidade para um determinado critério.
- **Benchmarking:** onde uma alternativa conhecida é adicionada ao grupo de alternativas e as demais alternativas são comparadas a ela.

A sensibilidade do principal autovetor direito a perturbações em julgamentos limita o número de elementos em cada conjunto de comparações e requer que os elementos sejam homogêneos. O autovetor esquerdo é significativo e recíproco. Devido à escolha da unidade como um dos dois elementos em uma comparação par a par, não é possível obter o principal autovetor esquerdo através de comparações par a par quando o elemento dominante não pode ser decomposto. Como resultado, para perguntar quão menor é um elemento em relação a outro, deve-se tomar o recíproco perguntando quão maior o outro elemento é.

É aplicada para determinar a escala de razão unidimensional, a partir das escalas de razão de cada critério, para representar a avaliação global de cada alternativa. A síntese das escalas na estrutura de decisão pode somente ser feita através da adição ponderada do valor de cada escala.

A multiplicação ponderada do valor das escalas, no qual as prioridades das alternativas são elevadas conforme o peso dos critérios e os resultados são multiplicados, apresenta as seguintes falhas:

- Não ocorre a aplicação do mesmo peso para as mesmas medidas na mesma escala de razão em diversos critérios.
- Assume que a matriz de comparações é sempre consistente, logo sacrificando a idéia de inconsistência e de como lidar com ela.
- Não ocorre a generalização para o caso de interdependência e feedback, tal que o AHP é generalizado para o Método de Análise em Rede (ANP), onde os critérios e as alternativas dependem um do outro.
- Sempre ocorre a preservação de ordem, contradizendo casos onde a reversibilidade de ordem é permitida.

A preservação e a reversibilidade de ordem podem ser mostradas sem adicionar ou remover nenhum critério, apenas introduzindo cópias de uma alternativa. Dessa forma nota-se que a reversibilidade de ordem é tão intrínseco à tomada de decisão quanto é a preservação de ordem.

A decisão de cada membro do grupo deve ser integrada uma por vez, de maneira matemática, podendo ser levados em consideração a experiência, o conhecimento e o poder de cada pessoa dentro do grupo, sem que seja necessário um consenso ou a decisão da maioria.

O Método AHP, após a divisão do problema em níveis hierárquicos, determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao final do método. No capítulo que segue está aplicação, os resultados e as equações utilizadas no estudo.

4 RESULTADOS

As etapas gerais para aplicação do método Analytic Hierarchy Process se divide em:

1. Construir a hierarquia de critérios
2. Realizar comparação par-a-par para definir as prioridades

2.1 Critérios, obter pesos

- (a) Construir $A'_{n \times m}$ para cada nível da hierarquia;
- (b) Normalizar A' como:

$$\text{Equação } A_{ij} / \sum A_{ik}, \text{ para } k = 1 \dots M$$

- (c) Calcular prioridade de cada linha j como:

$$\text{Equação } - w_i = \sum A_{ij}, \text{ para } j = 1 \dots n$$

- (d) Calcular a consistência dos julgamentos de A' como:

$$\text{Equação } - A1 * w = \lambda * w \quad IC = (\lambda - n) / (n - 1) \quad RC = IC / IR$$

2.2 Construir $A''_{n \times m}$ para cada critério em relação as alternativas;

3. Obter a prioridade composta das alternativas como:

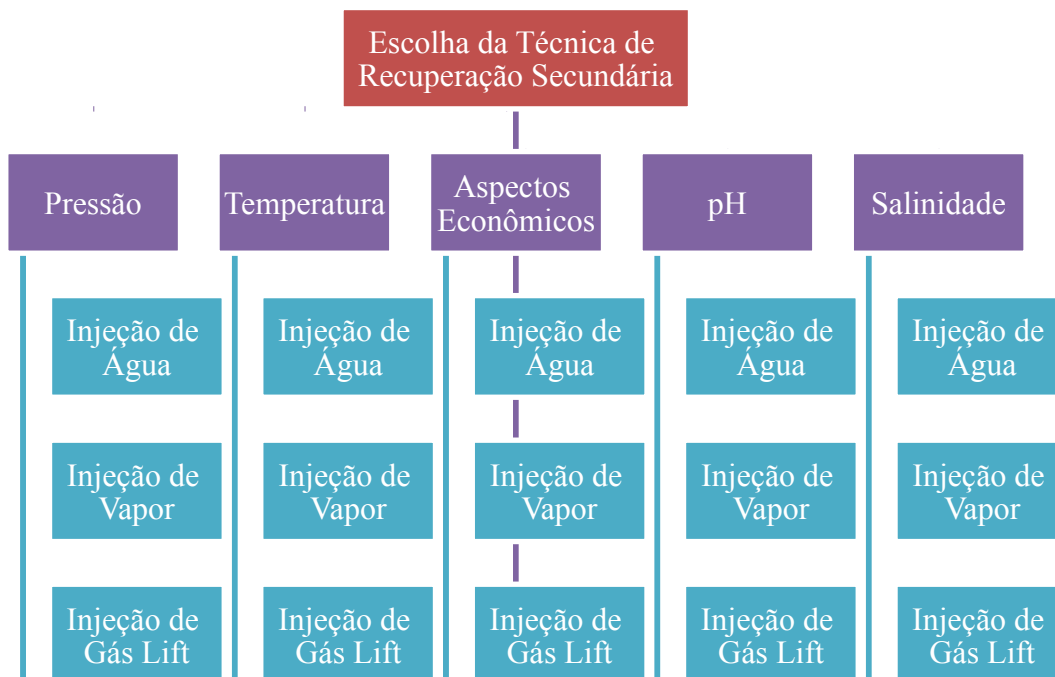
$$\text{Equação } - A'' * w$$

A seguir, é apresentada a aplicação das etapas do método AHP, sua estrutura, elementos e conceitos fundamentais. Para melhorar esclarecer o problema desse trabalho, a construção da hierarquia dos critérios se estrutura da seguinte forma: Objetivo: Escolha da melhor técnica de recuperação secundária; Critérios: pressão, temperatura, aspectos econômicos, pH e Salinidade e; Alternativas: Injeção a Água, Injeção à vapor e gás Lift (ver Figura 3).

O decisor deve efetuar a estruturação do problema, combinando os critérios segundo os diversos níveis hierárquicos necessários, para que se obtenha uma fiel representação do problema. Dessa forma, determinam-se as alternativas do problema, que serão analisadas em cada critério do nível hierárquico mais baixo.

A estruturação do problema deve ser feita de tal forma que os critérios aplicados em cada nível devem ser homogêneos e não redundantes. Ou seja, os critérios de um determinado nível devem apresentar o mesmo grau de importância relativa dentro do seu nível (homogeneidade), e um critério de um determinado nível deve ser independente em relação aos critérios dos níveis inferiores (não redundância).

Figura – Estrutura Hierárquica dos Critérios.



Fonte: Autoria própria, 2013.

Depois de construir a hierarquia, cada decisor deve fazer uma comparação, par a par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz, o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque do nível imediatamente superior.

A segunda etapa consiste em estabelecer prioridades entre os elementos para cada nível da hierarquia, por meio de uma matriz de comparação. O primeiro ponto a ser considerado é a

determinação de uma escala de valores para comparação, que não deve exceder um total de nove fatores, a fim de se manter a matriz consistente. Assim, usou a Escala Fundamental definida por Saaty.

A comparação par a par das alternativas é utilizada realizando uma escala linear própria, que varia de 1 a 9, a qual é denominada Escala Fundamental de Saaty.

Tabela – Escala Fundamental de Saaty.

<i>Valor</i>	<i>Definição</i>	<i>Explicação</i>
1	Igual importância	Contribuição idêntica
3	Fraca importância	Julgamento levemente superior
5	Forte importância	Julgamento fortemente a favor
7	Muito forte importância	Dominância reconhecida
9	Importância absoluta	Dominância comprovada
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Dúvida

Fonte: Saaty, 1996.

Dessa maneira será gerada uma matriz quadrada recíproca positiva conhecida como Matriz Dominante. Assim a Matriz Dominante é aquela que expressa o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, onde as alternativas são comparadas par a par.

Considerando os 5 critérios da estrutura hierárquica foi desenvolvida a seguinte matriz de comparação quadrada, apresentada pela Matriz Superior A para os critérios.

Tabela – Matriz Superior A.

<i>Matriz A</i>	<i>Pressão</i>	<i>Temperatura</i>	<i>A. Econômicos</i>	<i>pH</i>	<i>Salinidade</i>
Pressão	1,00	6,57	0,14	6,71	6,86
Temperatura		1,00	0,14	5,88	5,89
A. Econômicos			1,00	7,86	8,00
pH				1,00	3,11
Salinidade					1,00

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Definida a estrutura hierárquica, realiza-se a comparação par a par de cada alternativa dentro de cada critério do nível imediatamente superior, ou seja, para cada critério serão relacionadas as alternativas devidamente aplicadas na Escala Fundamental.

Na etapa três, para obter a prioridade relativa de cada critério é necessário:

- a) Normalizar os valores da matriz de comparações (Matriz A) – tendo por objetivo igualar todos os critérios a uma mesma unidade, para isto cada valor da matriz é dividido pelo total da sua respectiva coluna (ver Tabelas X1 e X2).

Tabela – Matriz A, soma das colunas.

<i>Matriz A'</i>	<i>Pressão</i> <i>o</i>	<i>Temperatura</i> <i>a</i>	<i>A. Econômicos</i>	<i>pH</i>	<i>Salinidade</i> <i>e</i>
Pressão	1,00	6,57	0,14	6,71	6,86
Temperatura	0,15	1,00	0,14	5,88	5,89
A. Econômicos	7,38	7,20	1,00	7,86	8,00
pH	0,15	0,17	0,13	1,00	3,11
Salinidade	0,15	0,17	0,13	0,32	1,00
Soma	8,83	15,11	1,53	21,77	24,85

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Tabela – Matriz A normalizada.

<i>Matriz A''</i>	<i>Pressão</i> <i>o</i>	<i>Temperatura</i> <i>a</i>	<i>A. Econômicos</i>	<i>pH</i>	<i>Salinidade</i> <i>e</i>
Pressão	0,11	0,43	0,09	0,31	0,28
Temperatura	0,02	0,07	0,09	0,27	0,24
A. Econômicos	0,84	0,48	0,66	0,36	0,32
pH	0,02	0,01	0,08	0,05	0,13
Salinidade	0,02	0,01	0,08	0,01	0,04

Fonte: Autoria Própria, 2013

- b) Obter o vetor de prioridades – tendo por objetivo identificar a ordem de importância de cada critério, para isto é calculado a média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada obtida no item anterior.

Tabela – Matriz A e o vetor prioridade.

<i>Matriz A'''</i>	<i>Pressã o</i>	<i>Temperatur a</i>	<i>A. Econômicos</i>	<i>pH</i>	<i>Salinidad e</i>	<i>Prioridad e</i>
Pressão	0,11	0,43	0,09	0,31	0,28	0,2442
Temperatura	0,02	0,07	0,09	0,27	0,24	0,1362
A. Econômicos	0,84	0,48	0,66	0,36	0,32	0,5301
pH	0,02	0,01	0,08	0,05	0,13	0,0565
Salinidade	0,02	0,01	0,08	0,01	0,04	0,0329

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Assim, a partir dos resultados obtidos, o critério Aspectos Econômicos veio em primeiro lugar seguido de pressão, temperatura, pH e salinidade.

Na etapa 4 é feita a avaliação de consistência das prioridades relativas, assim as próximas etapas são:

- a) Calcular a Razão de Consistência (RC) para medir o quanto os julgamentos foram consistentes em relação a grandes amostras de juízos completamente aleatórios.

As avaliações do método AHP são baseadas no pressuposto de que o decisor é racional, isto é, se A é preferido a B e B é preferível a C, então A é preferido a C. Se o RC é superior a 0,1 os julgamentos não são confiáveis porque estão muito próximos para o conforto de aleatoriedade, neste caso os resultados obtidos não apresentam valores consistentes.

Para calcular a Razão de Consistência (RC) é necessário primeiro obter o valor de λ_{max} que representa o maior autovalor da matriz A, obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{Equação} - Aw = \lambda_{max} \times w$$

Onde:

A é a Matriz A.

w é o vetor de prioridade.

Uma vez calculado λ_{max} , deve-se calcular o Índice de Consistência (IC) para logo calcular a Razão de Consistência (RC). O índice de consistência é determinado de acordo com a fórmula abaixo, em que n é o número de critérios (ordem da matriz):

$$\text{Equação - } IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

A Razão de Consistência (RC) é obtida pela fórmula:

$$\text{Equação - } RC = \frac{IC}{RI}$$

Em que IR é o índice de consistência referente a um grande número de comparações par a par efetuadas. Este é um índice aleatório calculado para matrizes quadradas de ordem n pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos EUA. Para a matriz $n = 5$, $RI = 1.12$.

Assim obteve-se os seguintes resultados:

Tabela – λ_{max} , Índice e Razão de Consistência para a Matriz A dos Critérios.

<i>Variável</i>	<i>Resultado</i>
λ_{max}	6,22
IC	0,31
RC	0,27

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Com o Razão de Consistência igual a 0,27, menor que 0,3, para o presente estudo se considera consistente tendo em vista os aspectos diversos na avaliação da escolha da técnica de recuperação secundária.

A quinta etapa é a construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas

Todos os procedimentos para a construção da matriz de comparação e para a determinação da prioridade relativa de cada critério devem ser feitos novamente,

observando agora a importância relativa de cada uma das alternativas que compõem a estrutura hierárquica do problema em questão. As Tabelas 11 à 15 são as matrizes paritárias para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas que foram utilizadas nos cálculos para encontrar a Tabela 16 com os auto vetores de prioridade das alternativas.

Tabela – Matriz Pressão.

<i>Matriz Pressão</i>	<i>Água</i>	<i>Vapor</i>	<i>Gás Lift</i>
Água	1	4,19	5,04
Vapor	0,23864	1	4,90
Gás Lift	0,19835	0,20393	1

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Tabela – Matriz Superior Temperatura.

<i>Matriz Temperatura</i>	<i>Água</i>	<i>Vapor</i>	<i>Gás Lift</i>
Água	1	1,13	4,09
Vapor	0,88719	1	7,29
Gás Lift	0,24466	0,13725	1

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Tabela – Matriz Superior A. Econômicos.

<i>Matriz A. Econômicos</i>	<i>Água</i>	<i>Vapor</i>	<i>Gás Lift</i>
Água	1	2,23	3,49
Vapor	0,44881	1	4,18
Gás Lift	0,28646	0,23909	1

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Tabela – Matriz Superior pH.

<i>Matriz pH</i>	<i>Água</i>	<i>Vapor</i>	<i>Gás Lift</i>
Água	1	1,33	4,77
Vapor	0,75259	1	4,04
Gás Lift	0,20974	0,24779	1

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Tabela – Matriz Superior Salinidade.

<i>Matriz Salinidade</i>	<i>Água</i>	<i>Vapor</i>	<i>Gás Lift</i>
Água	1	2,54	4,48
Vapor	0,39381	1	4,59

Gás Lift	0,22346	0,2179	1
----------	---------	--------	---

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Com os dados coletados acima entrou-se as informações demonstradas na Tabela 16 e 17.

Tabela – Auto vetores de prioridade para cada critério, considerando as alternativas.

	<i>Pressão</i>	<i>Temperatura</i>	<i>A. Econômicos</i>	<i>pH</i>	<i>Salinidade</i>
Água	1,933347	1,297185	1,621384	1,511647	1,738813
Vapor	0,799454	1,446614	1,029281	1,183296	0,965657
Gás Lift	0,267198	0,256199	0,349333	0,305056	0,295529

Fonte: Autoria Própria, 2013.

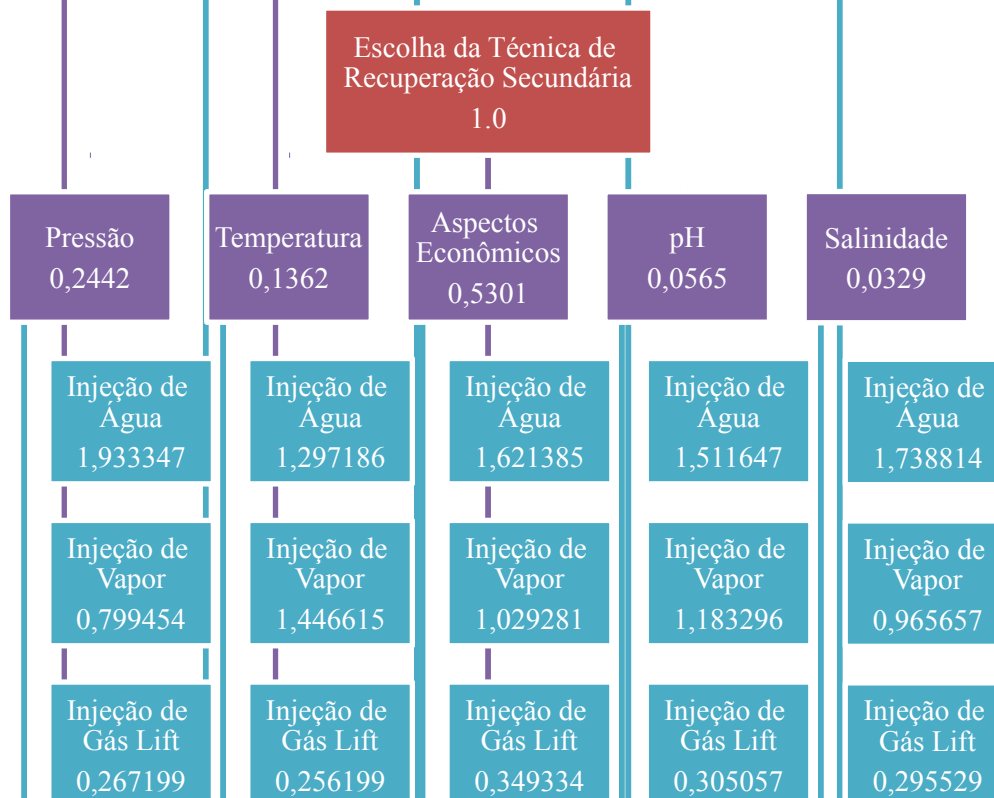
Tabela – λ_{max} , Índice e Razão de Consistência das Matrizes paritária para cada critério, considerando as alternativas.

<i>Variável</i>	<i>Pressão</i>	<i>Temperatura</i>	<i>A. Econômicos</i>	<i>pH</i>	<i>Salinidade</i>
λ_{max}	3,23	3,05	3,11	3,00	3,10
IC	0,12	0,03	0,05	0,001	0,05
RC	0,20	0,05	0,09	0,001	0,09

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Verifica-se que as Razões de Consistência para as Matrizes paritárias para cada Critério, considerando as alternativas também são consistente, menor que 0,30. Assim, constrói-se Estrutura Hierárquica dos Critérios com seus respectivos pesos (Figura 3).

Figura – Estrutura Hierárquica dos Critérios com seus respectivos pesos.



Fonte: Autoria própria, 2013.

A penúltima etapa é obtida a prioridade composta para as alternativas. Nesta penúltima etapa, obtém-se as prioridades compostas das alternativas, multiplicando os valores anteriores e os das prioridades relativas, obtidos no início do método, ou seja:

Figura – Cálculo das Prioridades Compostas das Alternativas.

$$\begin{pmatrix} 1,93335 & 1,29719 & 1,62138 & 1,51165 & 1,73881 \\ 0,79945 & 1,44661 & 1,02928 & 1,18330 & 0,96566 \\ 0,26720 & 0,25620 & 0,34933 & 0,30506 & 0,29553 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,24422 \\ 0,13625 \\ 0,53009 \\ 0,05652 \\ 0,03293 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,65106 \\ 1,03663 \\ 0,31231 \end{pmatrix}$$

Fonte: Autoria Própria, 2013.

E por último, a sétima etapa a escolha da alternativa, que de acordo com o cálculo das prioridades compostas das alternativas verificou-se a preferência de escolha da técnica secundária de recuperação de poço foi a injeção de água,

seguida da injeção de vapor e por último e mais afastadas das demais a injeção de gás *lift* (ver Tabela 18).

Tabela – Prioridade Composta das Alternativas.

<i>Técnica de Recuperação</i>	<i>Prioridade Composta</i>
Água	1,651063219
Vapor	1,036625341
Gás Lift	0,31231144

Fonte: Autoria Própria, 2013.

5 CONCLUSÃO

A análise do comportamento dos reservatórios de petróleo da bacia potiguar RN/CE, apresenta características e necessidades de intervenções em processos de exploração em grandes proporções, sendo que frequentemente os *stakeholders* dos aspectos técnicos necessitam tomar decisões e uma delas é a deliberação do tipo de intervenção, buscando modelar suas preferências, os métodos multicritérios se mostram mais próximos da realidade.

O método AHP, foi escolhido para esta pesquisa pela sua vasta utilização na área da Engenharia de Petróleo e pela sua simplicidade de sua aplicação

Com o auxílio da ferramenta de apoio multicritério, construiu-se um modelo simplificado para a escolha da melhor técnica de recuperação de reservatório de petróleo, apresentando-se adequado de acordo com a verificação junto aos possíveis decisores. Contudo o presente estudo apresenta-se como instrumento viável para auxílio na tomada de decisão do processo de escolha da técnica de recuperação de reservatório mais adequada, deixando a referida decisão de ser empírica e passando a ser sistematizada, envolvendo elementos maximizadores da produção.

É altamente recomendável a utilização da referida técnica para reprodutibilidade em cenários semelhantes para auxílio da problemática. Referente à frequência dos aspectos econômicos se deu devido ao posicionamento dos decisores quando na definição da hierarquia dos fatores. Tendo em vista o cenário atual da região, que existe um declínio preocupante da produção e elevado número de poços de petróleo, os tomadores de decisão provavelmente priorizaram a minimização dos custos para obtenção ganho a longo prazo.

REFERÊNCIAS

AKHAVAN, A.; ABD SHUKOR, H.; JABBARI, N. The Evaluation of EOR Methods for a Heavy-oil Reservoir With the AHP Method: The Case of Ferdowsi Reservoir. **Petroleum Science and Technology**, v. 31, n. 3, p. 267-275, 2013.

ALBOUDWAREJ, H.; FELIX, J.; TAYLOR, S. **Highlighting heavy oil**, **Oilfield Review**. p.34-53, Jun. 2006, disponível em: www.slb.com, acessado em maio de 2013.

ALVARADO, V.; MANRIUE, E. [Enhanced Oil Recovery: An Update Review](#) **Energies**, 2010, Vol.3(9), p.1529.

ANSOFF, H. I. **A nova estratégia empresarial**. São Paulo: Atlas, 1990. p.24.

BANA e COSTA, C. A. & VANSNICK, J. C. **MACBETH** - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions, **International Transactions in Operational Research**, vol. 1, n. 4, 1994.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method. **Management Science**, 1985.

CHEN, Q. et al. OPTIMAL STUDY ON THE INJECTION-PRODUCTION PROJECTS OF CHENGDAO OFFSHORE OILFIELD [J]. **Drilling & Production Technology**, v. 3, p. 019, 2004.

CHENG, C. et al. Study of SEA indicators system of urban green electricity power based on fuzzy AHP and DPSIR model. **Energy Procedia**, v. 12, p. 15

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração**. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

CHUGUNOV, N.; SHEPELYOV, G.; STERNIN, M.. The generalised interval estimations in decision making under uncertainty. **International Journal of Technology, Policy and Management**, v. 8, n. 3, p. 298-321, 2008.

DECENZO, D.A.; ROBBINS, S.P. **Administração de Recursos Humanos**. 6º Edição. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004.

DEY, P. K. Decision support system for risk management: a case study. **Management Decision**, s.l., v. 39, n. 8, p. 634-649, 2001.

GOMES, L. F. A. M.; FREITAS JUNIOR, A. A. **A importância do apoio multicritério à decisão na formação do administrador**. Revista ANGRAD, v.1, n.1. Rio de Janeiro, 2000.

_____; GOMES, C. F. S. Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

_____; _____. Uma aplicação de conjuntos aproximativos ao apoio multicritério à negociação. **Pesquisa Naval**, Rio de Janeiro, v.12, p 263-270, 1999.

HWANG, C. L.; YOON, K. Multiple attribute decision making: Methods and applications, a state-of-the-art survey. Berlin, Springer-Verlag, 1981.

JACK, A.; SUN, S. Controls on recovery factor in fractured reservoirs: lessons learned from 100 fractured fields. In: **SPE Annual Technical Conference and Exhibition**. 2003.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H., Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs, Wiley and Sons, New York, 1976

KROHLING, R. A. ; CAMPANHARO, V. C. [Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea](#). **Expert Systems With Applications**, 2011, Vol.38(4), pp.4190-4197

LENGNICK-HALL, M. L. (2003). Identify, Learning and Decision Making in Changing Organizations. **Personnel Psychology**, v. 56, n. 2, p. 530, summer.

LIANG, G. e M. WANG, A. **Fuzzy Multi-criteria Decision Method for Facility Selection**, **International Journal of Production Research**, vol. 29, 1991.

LIMA, Manolita Correia. **Monografia: a engenharia da produção acadêmica/ Manolita Correia Lima**. -2. ed. rev. E atualizada – São Paulo: Saraiva, 2008.

MARCH, J. G. **Bounded rationality, ambiguity, and the engineering of choice**. The Bell Journal of Economics, v.9, p 587-608, 1978.

MARCHANT, J.A.; ANDERSEN, H.J.; ONYANGO, C.M. **Evaluation of an imaging sensor for detecting vegetation using different waveband combinations**. Computers and Eletronics in Agriculture, Bristol, v.32, n.1, p.101-17, 2001.

MIGUEL, P. A. C. (org.) **Metodologia de pesquisa em engenharia da produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 129-144.

Ortiz-Gómez, A. ; Rico-Ramirez, V.; Hernández-Castro, S. **Computers and Chemical Engineering**, 2002, Vol.26(4), pp.703-714

- PASSOS, G. D. **Injeção de dióxido de carbono (CO₂) como método de recuperação terciária de petróleo em campos maduros: uma abordagem sob a ótica da ecologia industrial**. 2002. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/monografias/mono_goncalo_dantas.zip>. Acesso em: fev. 2013.
- ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, José Augusto Daniel. Engenharia de Reservatórios de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la décision: méthodes et cas**. Paris: Economica, 1993.
- SAATY, T. L. **Decisões Vencedoras**. tradução de Hugo Melo. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2002.
- SAATY, T. L. **Scaling method for priorities in hierarchical structures**. Journal of mathematical psychology, 1977.
- SHAMBLIN, J. L. ; STEVENS JR., G. T. **Pesquisa Operacional: uma abordagem básica**. São Paulo: Atlas, 1989.
- SHINDY, A. M., DARWICH, T. D., SAYYOUH, M. H., ABDEL-AZIZ O. **Development of an expert system for EOR method selection**. SPE 37708, 1997.
- SIMON, H.A. **The New Science of the management decision**. Harper and Brothers Publicits, 1960.
- TAPSCOTT, D.; CASTON, A. Mudança de Paradigma: A nova promessa da Tecnologia da Informação. São Paulo: Makron-McGraw-Hill, 1995.
- TEHRANI, A. D. H.; SMART, B. G. D.; SHWISHIN, N. M. M. Importance of Compaction in Depressurisation of Oil Reservoirs. In: **SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition**. 2002.
- THOMAS, J. E. **Fundamentos da Engenharia do Petróleo**. Rio de Janeiro - Interciência 2001.
- VIEIRA, S. **Como escrever uma tese**; ilustrações de Marcio Vieira Hoffmann.- São Paulo : Pioneira, 1991.

ANEXOS