

ANÁLISE DE RISCOS: UMA CONTRIBUIÇÃO BASEADA EM LÓGICA FUZZY PARA O SEGMENTO DE PETRÓLEO

Rayan Paixão Tavares Batista ¹
Thalys Gean Maciel Martins ²
Geraldo de Souza Ferreira ³

RESUMO

O presente trabalho aborda os principais aspectos acerca da análise de riscos na indústria petrolífera, tendo como foco as possíveis aplicações da *Lógica Fuzzy* como ferramenta de auxílio à tomada de decisão sob incertezas. Inicialmente, é feita a descrição da metodologia de pesquisa utilizada para a elaboração do trabalho. Em seguida, é apresentado o cenário atual da indústria petrolífera brasileira e a relevância crescente da área de análise de decisão para o referido setor, além dos principais riscos inerentes às atividades de E&P. Por fim, apresenta-se o conceito da *Lógica Fuzzy*, exemplificando-se duas de suas aplicações no setor de óleo e gás.

Palavras-chaves: Engenharia de Petróleo, Análise de Risco, *Lógica Fuzzy*.

1. INTRODUÇÃO

O marco inicial da indústria petrolífera data de 1859, com a perfuração do primeiro poço produtor de petróleo na Pensilvânia, Estados Unidos, liderada pelo Coronel Edwin Drake. Esse fato deu início à cadeia industrial do petróleo que, durante seus primeiros anos, foi marcada por gestões amadoras e pela inexperiência de seus agentes, acarretando a depreciação do valor do óleo devido à grande oferta no mercado americano.

A grande mudança desse cenário ocorreu em 1870 com a fundação da chamada *Standard Oil Company*, que revolucionou a indústria através da verticalização da cadeia produtiva e da consolidação de seus padrões de exploração, perfuração, produção e transporte. Esses padrões perpetuaram-se na indústria por muitos anos e contribuíram para a globalização do mercado de óleo e gás (YERGIN, 2012).

¹ Graduando do Curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal Fluminense - UFF, Membro PetroPET – Grupo de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo – rayan_tavares@id.uff.br;

² Graduando pelo Curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal Fluminense - UFF, tgean@id.uff.br;

³ Professor orientador. Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Tutor PetroPET – Grupo de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo – geraldoferreira@id.uff.br;

Ao longo do restante de sua história, a indústria petrolífera passou por diversos outros momentos de depreciação, nos quais foram necessárias mudanças no comportamento de empresas e Estados a fim de adaptar-se e superar as dificuldades impostas pela realidade de cada época. Apesar de apresentar decréscimos sucessivos de *market share* na matriz energética mundial desde a década de 1970, o consumo de óleo, gás e derivados ainda é crescente em valores absolutos. Além disso, a exploração, produção e comercialização de petróleo e seus derivados constituem-se como atividades intensivas em capital e na utilização de tecnologias de ponta, evidenciando sua importância estratégica para empresas e países ao redor do mundo.

Torna-se importante avaliar as tendências técnicas e administrativas dos principais agentes da indústria atualmente, a fim de melhor compreender as soluções que vêm sendo propostas frente aos desafios da crise de 2014, quando em uma situação de excesso de produção e com estoques elevados, houve uma queda de até 70% no preço médio do barril de petróleo. Esse cenário estreitou a margem de tolerância para erros nos projetos de exploração e produção (E&P), acarretando uma mudança no comportamento das empresas do setor, que passaram a focar-se em projetos mais curtos, rápidos e rentáveis. Além disso, passaram a destacar-se as atividades relacionadas à otimização dos projetos, eficiência operacional e disciplina de capital (ALMEIDA, 2019).

Nesse contexto, destaca-se a necessidade de desenvolvimento de ferramentas inovadoras que auxiliem a análise de riscos e tomadas de decisões nas atividades de E&P a fim de garantir-se a viabilidade comercial das mesmas. Dentre os métodos conhecidos para o desenvolvimento de tais ferramentas, destaca-se a chamada Lógica *Fuzzy*, que consiste, basicamente, em um sistema que permite um computador interpretar dados abstratos ou interpretativos, diferente da tradicional lógica *booleana*.

O presente artigo tem como objetivo apresentar mecanismos que possam ser utilizados a fim de promover maior previsibilidade e segurança operacional e financeira aos processos de E&P, e será dada atenção em especial à utilização da Lógica *Fuzzy*. Ao longo do artigo, serão comentados casos de tomada de decisão sob incerteza na indústria de petróleo, em paralelo com uma explicação acerca do cenário atual da indústria e das peculiaridades que justificam a preocupação quanto à questão da tomada de decisão na indústria. Além disso, faz-se também uma descrição sobre aspectos relevantes da Lógica *Fuzzy* e mostram-se dois casos de aplicações já existentes na indústria.

2. METODOLOGIA

O estudo constitui uma análise a respeito da utilização da Lógica *Fuzzy* no segmento de petróleo e na redução dos riscos inerentes às operações de exploração e produção. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram feitas pesquisas em bancos de dados para acesso a artigos científicos publicados em jornais e revistas acadêmicas, por intermédio do uso de palavras chaves com conectivos indexadores. Como fonte das escolhas dos artigos, optou-se pelas plataformas de pesquisas buscadas por meio do Portal Periódicos da CAPES: Scopus, Web of Science e Science Direct.

Foi definido como critério de inclusão artigos publicados entre os anos de 2016 á 2020 e utilizadas como palavras chaves: “*oil well leaking fuzzy*”, “*oil well integrity fuzzy*” e “*oil well abandonment leaking*”. Após a seleção dos artigos e conforme os critérios de inclusão previamente definidos, foram seguidos, nessa ordem, os seguintes passos: leitura exploratória; leitura seletiva e escolha do material associado aos objetivos e temas deste estudo; leitura analítica e análise dos textos, finalizando com a realização de leitura interpretativa.

3. CENÁRIO ATUAL DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO NO BRASIL

A indústria de Petróleo e Gás no Brasil vem sofrendo muitas modificações nos últimos anos, causadas, principalmente, pela descoberta recente do Pré-Sal. A expansão dos horizontes de exploração e produção nacionais fomenta a adaptação de metodologias e ferramentas de trabalho visando maior eficiência por parte dos agentes do setor. Dessa forma, entram em foco novos métodos que permitam, por exemplo, a melhor avaliação de novas descobertas, além do melhor aproveitamento dos campos que já se encontram em produção (GUILLOU, 2010).

Em meio a esse cenário, o país necessitará de inovações tecnológicas e de apoio à pesquisa para realização da exploração e produção dos novos campos, em conformidade com o momento de reflexão e replanejamento experimentado pela indústria petrolífera. Após um ciclo virtuoso de altos preços no mercado internacional, grandes lucratividades das companhias operadoras e prestadoras de serviços, desenvolvimento acelerado de projetos de produção e os consequentes aumentos na demanda por mão de obra especializada, um movimento descendente foi iniciado com a descontinuidade nos preços ocorrida a partir do segundo semestre de 2014.

Nota-se, com frequência, que as empresas se associam umas às outras para a divisão de custos e riscos. Uma empresa pode, por exemplo, ter participação em dois ou mais blocos ou

campos de petróleo, tendo como sócias diferentes empresas em cada um deles, e utilizar a mesma estrutura administrativa para gerenciar tais empreendimentos conjuntos. As recentes mudanças no setor petrolífero implicam um novo ambiente de exploração de intensa competição no Brasil. As tendências de internacionalização da exploração obrigam as empresas a adotarem técnicas padronizadas de avaliação e comparação de prospectos, visando à redução do risco. Dentro dessa perspectiva, os tomadores de decisão necessitam de um processo decisório que contemple os objetivos da empresa, as metas desejadas e as restrições orçamentárias (MATOS, 2020).

Analisando a conjuntura das atividades de E&P brasileira verifica-se que, antigamente, as atividades eram concentradas em ambientes favoráveis à exploração (campos *onshore* ou campos marítimos sob pequenas lâminas d'água) que tinham como premissas processos e tecnologias padronizadas. A realidade atual consiste no aperfeiçoamento das rotinas de manutenção preditiva pois, para descobrir novas reservas e operar com eficiência em águas ultra profundas, é necessário o desenvolvimento de tecnologia de ponta, o que movimenta toda a cadeia produtiva da indústria do petróleo (BRASIL, 2018).

As mudanças vividas pela indústria do petróleo nos últimos anos forçaram a adequação dos agentes do setor para um cenário *lower for longer*. O baixo preço do barril de petróleo forçou o setor a buscar novas alternativas para redução de custos, visando otimizar a produção, aumentar a competitividade e mitigar riscos. Nesse contexto, a inovação ganha importância ainda maior como vetor de redução de custos. No caso brasileiro, o adequado emprego dos recursos oriundos da cláusula de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), bem como de outras fontes destinadas à pesquisa e desenvolvimento para o setor de petróleo e gás, constituem uma oportunidade de assegurar a competitividade e garantir a produção futura dos ativos disponíveis no país (IBP, 2018).

A indústria de petróleo tem dado grande enfoque à inovação, como consequência ocorre a busca por tecnologias que maximizem e propiciem a descoberta e exploração de novos campos e a otimização de resultados. Essa nova vertente emerge através das aplicações dessas inovações buscando maior agilidade operacional, maior controle e gestão sobre os dados, planejamento e programação de processos e mitigação de riscos. Essas novas tecnologias são segmentadas nas seguintes áreas: a robótica, inteligência artificial e o *big data analytics* (MATOS, 2020).

4. ANÁLISE DE RISCO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO

A grande variedade de atividades inerentes ao setor de óleo e gás permite subdividi-lo em dois segmentos principais: *upstream* e *downstream*. O primeiro diz respeito às atividades de exploração e produção (E&P), nas quais são realizadas ações de busca por áreas de acumulação de petróleo (prospecção, sísmica, engenharia de reservatórios, projeção e construção de instalações, perfuração de poços exploratórios etc.), além da perfuração de poços produtores e auxiliares e da produção propriamente dita dos ativos. Já o *downstream* compreende as atividades de refino (as quais encaixam-se no âmbito da petroquímica) e transporte das frações refinadas, além da logística de distribuição e comercialização dos derivados.

O setor *upstream* é altamente intensivo em capital e a maioria de suas operações são naturalmente complexas e envolvem riscos relacionados aos mais variados aspectos de projetos em engenharia, caracterizando-se, portanto, como o segmento no qual são realizadas a maior parte dos estudos sobre o tema da análise de decisão. Suas operações podem ser subdivididas, de maneira simplificada, em três grupos principais: exploração, desenvolvimento da produção e encerramento da produção (SILVA, 2010).

Na fase de exploração, são coletadas e processadas as informações acerca da formação geológica em questão, visando encontrar-se indícios de que possa haver acumulação de hidrocarbonetos. Além disso, são feitas estimativas de reservas e perfuração de poços exploratórios a fim de constatar a presença de petróleo. O desenvolvimento da produção ocorre após a descoberta do campo de petróleo e da comprovação de sua viabilidade econômica, sendo realizada a extração propriamente dita do mineral. Por fim, o encerramento da produção é dado após o declínio produtivo do campo, situação na qual a vazão de óleo ou gás obtida não é suficiente para viabilizar economicamente a operação, levando ao descomissionamento das instalações de produção (SILVA, 2010).

No âmbito da análise de decisão no segmento *upstream*, destacam-se as atividades pertencentes à etapa de exploração, pois é nessa parte do processo que são constatadas a presença ou ausência de hidrocarbonetos na formação geológica, além da viabilidade econômica de produzir-se o reservatório em questão, tendo, portanto, grande impacto na definição dos investimentos a serem alocados em sua realização, bem como à das etapas posteriores.

Além disso, a etapa exploratória abarca uma vasta gama de decisões sob incerteza, tais como: mapeamento de regiões geologicamente favoráveis à acumulação de hidrocarbonetos,

identificação de locais para aquisição de dados de sísmica, seguida por seu processamento e interpretação (permitindo, assim, a identificação das oportunidades), perfuração do poço pioneiro e delimitação das descobertas, caso ocorram. Esses fatores, aliados a outros aspectos dos processos de exploração, compõem o chamado risco exploratório que, de modo geral, pode ser subdividido em dois grupos: risco geológico e risco comercial ou econômico (não- geológico).

O risco comercial diz respeito à economicidade de determinado campo e seu principal fator de influência são as alterações no preço do petróleo, tornando mais arriscadas as operações em épocas nas quais o preço médio do barril encontra-se em baixa. Outro ponto importante para a tomada de decisão dos investidores é a previsão do preço futuro dos insumos, podendo variar de acordo com a taxa de câmbio e o grau de aquecimento da economia do país no qual será realizada a operação. Além disso, os aspectos políticos da região em questão podem afetar o regime fiscal da atividade petrolífera, acarretando o risco de inviabilizar a campanha exploratória (SILVA, 2010).

O risco geológico diz respeito à identificação de condições favoráveis ao acúmulo de petróleo, caracterizando determinada formação como uma oportunidade exploratória (SILVA, 2010). Para que haja presença de hidrocarbonetos em determinada formação, é necessário que haja o chamado sistema petrolífero, que é composto pelas seguintes condições: presença de uma rocha geradora (na qual é formado o hidrocarboneto, devido à degradação térmica e intemperismo sofridos pela matéria orgânica presente na rocha), migração do hidrocarboneto (da rocha geradora para a rocha reservatório), presença de uma rocha reservatório (cujos poros são preenchidos pelo petróleo), existência de uma trapa (rocha capeadora que impede que o petróleo saia da rocha reservatório), retenção (aprisionamento e acúmulo do óleo da rocha reservatório) e sincronismo (sequência correta dos acontecimentos). A quantificação das probabilidades de ocorrência e sucesso das referidas condições compõe o chamado fator de chance de uma oportunidade exploratória (DIAS, 2005).

A exploração e produção de hidrocarbonetos constituem-se como casos clássicos de tomada de decisão sob incertezas, sendo válido ressaltar que as ferramentas de análise de decisão não têm por objetivo extinguir ou mesmo reduzir os riscos inerentes à exploração e produção de óleo e gás. Tais ferramentas constituem-se como formas de auxílio à quantificação e compreensão dos riscos para que o tomador de decisão possa avaliar, da maneira mais racional possível, o seu grau de exposição aos mesmos (FURTADO, 2000).

Nas últimas quatro décadas, o segmento *upstream* vem desenvolvendo e aplicando mecanismos inteligentes visando o aumento dos volumes produzidos, da segurança e eficiência

operacional, além da redução de custos e proteção do meio ambiente (SHAFIEE, 2018). Nesse contexto, destacam-se as aplicações da *Lógica Fuzzy* como ferramenta de auxílio à decisão na indústria de petróleo.

5. LÓGICA FUZZY

Segundo Rezende (2005), "um sistema de controle *fuzzy* é um sistema especialista baseado em regras cujas variáveis ou parte delas são variáveis linguísticas, as quais representam dados imprecisos como pequeno, grande e médio. A essência desse tipo de lógica é retornar um resultado sem a necessidade de entradas precisas utilizando-se de linguagem natural e raciocínio aproximado fazendo com que as tomadas de decisão se aproximem cada vez mais das decisões humanas quando, na resolução de um problema complexo, os especialistas humanos buscam estruturar em conceitos gerais o conhecimento sobre o problema e depois observam as relações essenciais entre esses conceitos".

Nesse contexto pode-se ilustrar a aplicabilidade da *Lógica Fuzzy* de maneira superficial numa operação na indústria de petróleo, nesse sentido temos inicialmente as variáveis de decisão, tais como: aquisição do bloco em estudo, realização de estudos sísmicos, perfuração de um poço exploratório e perfuração de um segundo poço exploratório. Correlacionado com essas variáveis atribui a cada uma possíveis riscos inerentes a operação, são eles: probabilidade de sucesso exploratório, tamanho da reserva, preço internacional do petróleo e seus condicionantes e o nível tributário e seus condicionantes.

Posteriormente, relacionando os conceitos fundamentais teóricos e os conceitos fundamentais associados a cada uma das variáveis escolhidas, inicia-se uma modelagem mediante a metodologia representativa da *fuzzy*. São dadas também as caracterizações e descrições qualitativas de seus valores podendo assim simular diferentes cenários com parâmetros variados.

6. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO E DISCUSSÕES ACERCA DA UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

6.1. Cálculo de parâmetros petrofísicos a partir da *Lógica Fuzzy* aplicada a perfilagem de poços

A *Lógica Fuzzy* é uma tecnologia bem-sucedida para o desenvolvimento de sistemas sofisticados, nesse exemplo pode-se destacar uma das aplicações dessa ferramenta: a petrofísica. Esta tem que conviver com falhas, incertezas e convergências frágeis entre

conjuntos de dados. Esses erros são inerentes à petrofísica, devido ao desafio de planejar, esboçar e idealizar sensores para medir formações complexas em ambientes hostis (FRANCIOLI, 2019).

Nesse sentido surge a *fuzzy* como instrumento de determinação de litofácies e cálculo da permeabilidade. A confirmação do tipo de litofácies é usada em correlação de poços e é importante para a construção de um esquema tridimensional do campo. A técnica não faz suposições e mantém a possibilidade de que um tipo específico de litofácies possa fornecer qualquer leitura de um perfil.

Já medidas petrofísicas da rocha envolvem certo grau de incerteza, especialmente quando formações carbonáticas estão presentes, pois são caracterizadas por sua variação no sistema poroso. Nesse sentido a *fuzzy* é utilizada a fim de avaliar e estimar a permeabilidade em uma zona de interesse, tomando como base de dados as permeabilidades medidas em testemunhos de rocha (CUDDY, 1997).

A exemplo disso, pode-se citar o estudo apresentado por Francioli, no qual um conjunto de perfis e 81 dados centrais de permeabilidade obtidos através de amostras de testemunho foram utilizados para a aplicação da referida técnica em um campo petrolífero brasileiro. O estudo contou com dados de perfis de raios gama, resistividade profunda, resistividade rasa, sônico, densidade e nêutron, com os quais, através de aplicação da *Lógica Fuzzy*, foi possível apresentar uma classificação para os dados de permeabilidade do referido campo.

6.2. Utilização da *Lógica Fuzzy* na Comparação de Técnicas de Análise de Risco Aplicadas a Campos de Petróleo

Uma das principais ações em análise de riscos aplicada a um campo de petróleo é a quantificação do impacto das incertezas geológicas, o qual é de vital importância na fase de análise de decisão do projeto e na integração com a estratégia de produção e modelo econômico do campo (SCHOENINGER, 2003).

Dentre essas incertezas, pode-se destacar: a existência de hidrocarbonetos, sua quantidade, qual a proporção de investimentos necessários, quantos poços devem ser perfurados, a rentabilidade esperada e quais os riscos envolvidos. A existência de inúmeras variáveis, numa fase com um conhecimento parcial sobre o prospecto, enfatiza a necessidade de utilização de uma modelagem numérica precisa.

Para essa análise de riscos de maneira eficiente é essencial a identificação desses problemas levando em consideração as possíveis soluções e restrições, a partir da coleta e

revisão de dados de histórico, desenvolvendo as variáveis chaves para, assim, ter uma avaliação precisa possibilitando checar os resultados consistentes e eventuais inconsistências inerentes ao modelo.

Desse modo, a *fuzzy* surge para proporcionar estimativas mais confiáveis acerca dos riscos da exploração petrolífera, com o propósito de sistematizar a argumentação e medir a probabilidade de sucesso da descoberta de uma acumulação de petróleo. Nesse contexto, a simulação com a *fuzzy* poderia levar alguns parâmetros, tais como: históricos de campos, localização geográfica, lâmina d'água, volume, grau API, linhas sísmicas, análises PVT, testes de formação, dados de perfilagem e plugues de testemunho, possibilitando a criação de um sistema que auxilia os profissionais a identificar as características principais a serem analisadas, gerando uma sequência de informações a serem coletadas antes de perfurar-se um novo prospecto.

Desse modo, a partir das correlações entre os prospectos é possível elaborar uma representação computacional que integra argumentação geológica (linguística) e estatísticas exploratórias na avaliação de prospectos. Esse sistema também integra conhecimentos geológicos (dados subjetivos) e dados históricos, além disso, apresenta uma distribuição de probabilidades de sucesso para o prospecto.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso e a alta lucratividade da exploração *offshore* em águas ultra profundas, principalmente nas bacias brasileiras, torna necessário que cada empresa busque melhorar suas capacidades de análise de decisão, a fim de elevar sua competitividade em um setor no qual as decisões devem ser tomadas com extrema rapidez, envolvendo grandes investimentos e com questões ambientais cada vez mais severas.

As atividades de E&P são contínuas e envolvem inúmeras informações, requerendo estudos de viabilidade e de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão. Em decorrência dessa necessidade, a *lógica fuzzy* mostra-se como uma ferramenta que permite estudar dados complexos a partir de técnicas estatísticas, buscando minimizar os riscos nas atividades, além de dar maior confiabilidade e suporte às inúmeras decisões que estão envolvidas na cadeia produtiva do petróleo.

Nota-se que o desenvolvimento da *lógica fuzzy* voltada ao suporte à decisão no segmento de petróleo permite a simplificação dos processos e uma melhor compreensão dos resultados, como, também, rapidez no processamento dos dados obtidos. Assim, o artigo demonstra que os

sistemas de inferência *fuzzy* apresentam uma forma prática e flexível de modelar situações complexas e são grandes aliadas às mais diferentes áreas de atuação do setor de petróleo (exploração, produção, segurança operacional, meio ambiente, viabilidade econômica e otimização de processos).

8. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. **Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Petróleo & Gás Natural 2018-2022**. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.inova.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/16181859-plano-de-ciencia-tecnologia-e-inovacao-para-petroleo-gas-natural.pdf>>.

CUDDY, S. J. **The Application of Mathematics of Fuzzy Logic to Petrophysics**. SPWLA 38th Annual Logging Symposium. 1997.

D'ALMEIDA, A. L. **“Estrutura e Organização da Indústria do Petróleo”**. 2019. 109 slides. Departamento de Engenharia Química e de Petróleo. Universidade Federal Fluminense. Niterói; Rio de Janeiro; Brasil.

DIAS, M. A. G. **Opções reais híbridas com aplicações em petróleo**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2005 (Tese de Doutorado).

FRANCIOLI, A. M. **Aplicações do método de monte carlo e da lógica fuzzy na perfilagem de poços em formações carbonáticas para o cálculo de parâmetros petrofísicos**. 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

FURTADO, R. **USO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EM MODELOS DE DECISÃO MULTIATRIBUTOS PARA SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO**. 2000. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Área de Administração e Política de Recursos Minerais, Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

GUILLOU, O. **Análise de Incertezas através da Caracterização Integrada de Reservatórios de Petróleo**. 2010. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e

Engenharia do Petróleo, Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.