



## Escopo do Petróleo 4.0: Análise de Dados, Computação em Nuvem e Internet das Coisas

MORAES RIBA Luiz Victor, HERVÉ Marcio

Engenheiro de Petróleo, PUC-Rio; Especialista em Gestão de Projetos, Poli-UFRJ. [luizmrriba@gmail.com](mailto:luizmrriba@gmail.com)  
Engenheiro Eletrico, M.Sc, Poli-UFRJ

### Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 03 Jul 2019

Revisão: 06 Jul 2019

Aprovação: 10 Jul 2019

Palavras-chave:

Indústria 4.0

Escopo do Petróleo

Computação em Nuvem

Internet das Coisas

### Resumo:

*Este artigo tem como objetivo definir conceitos básicos das áreas relacionadas à Indústria 4.0 e abordar como esses fundamentos se encontram ou podem já se encontrar assimilados na indústria de óleo e gás além de descrever as vantagens de suas implementações para a otimização dos processos do ramo. É de se aguardar que se façam afirmações sobre as questões que complicam as aplicações dessas tecnologias e abrir espaço para uma reflexão ao propor sugestões sobre como tais questões poderiam ser resolvidas.*

### 1. Introdução

As expectativas dos próximos anos da Indústria de Petróleo indicam bruscas e radicais transformações ao ponto de que a estrutura de todo o setor venha a ser reimaginada. Isso deve-se não somente à incessante busca por inovações que venham a manter a sua influência e liderança, mas pela necessidade de adaptar-se aos novos tempos do desenvolvimento sustentável e da globalização [1]. Sendo assim, entende-se que se inicia uma nova era industrial, tão impactante quanto as revoluções da mecanização, da automação e da robótica, dessa vez focada na digitalização, a Indústria 4.0. Trata-se da visão de “fábrica inteligente”, onde a produção é monitorada por sistemas físicos-cibernéticos que cooperam e se comunicam entre si, além de tomarem decisões descentralizadas.

Neste contexto, é importante dizer que o gerenciamento de escopo é, por sua definição, a área da gestão responsável pela delimitação das fronteiras e garantia dos requisitos exigidos para que um projeto seja devidamente completado. Ou seja, esta é a área ideal para esboçar como será esta nova indústria e traçar pontos expressivos que enriqueçam o debate. Um trabalho deste tipo já foi elaborado, por exemplo, por Zhou *et al* [2] e Rodrigues *et al* [3], porém de forma generalizada, sem a especificidade do setor de óleo e gás. Há de se destacar que o termo “Indústria 4.0” é recente, amplo e pouco utilizado, dificultando a busca por fontes sobre este assunto, logo, está sendo considerado o uso de fontes que tratam individualmente das seguintes áreas que englobam esse conceito, estas seriam: Análise de Dados, Automação Robótica, Computação

em Nuvem, Manufatura Aditiva, Internet das Coisas, Realidade Aumentada, Segurança Cibernética, Simulação e Integração de Sistemas.

Este artigo tem como objetivo, através de uma revisão de literatura, citar fundamentos básicos das áreas relacionadas à Indústria 4.0, abordar como tais conceitos se apresentam ou podem se apresentar assimilados no Setor de Óleo e Gás e quais os benefícios de suas implementações para otimizar os processos da área. Também é de se esperar que se façam ponderações sobre as questões que dificultam a adoção dessas tecnologias e permitir uma reflexão ao apresentar propostas sobre como estas poderiam ser solucionadas. Para tal estudo, foram consultadas, em sua maioria, artigos disponíveis no acervo da OnePetro e tendo dado prioridade aos que foram publicados mais recentemente.

A importância deste estudo se aplica na intenção de expor os obstáculos da indústria de óleo e gás em se repaginar diante de uma nova era mais desafiadora em que aparentemente os combustíveis fósseis não serão tão influentes na economia global como antes. Também pretendemos reunir pontos das mais diversas áreas relacionadas à esta moderna onda tecnológica que está por vir. Há também de se levantar que estão sendo apresentadas oportunidades de crescimento do setor em que prometem sobretudo poupar tempo, reduzir custos e otimizar recursos dos processos industriais.

## 2. Referencial Teórico

Indústria 4.0 é um conceito contemporâneo mencionado em meados de 2011 pelo governo alemão, tratando o tema como estratégia de desenvolvimento tecnológico para a década seguinte. Diferente das revoluções industriais anteriores, que se destacavam pela introdução da mecanização, automação e robótica no meio produtivo, esta promete focar no uso da digitalização [2]. Ou seja, espera-se cada vez mais que a indústria venha nos próximos anos a ser regida por complexos sistemas virtuais inteligentes

interconectados entre si, permitindo a otimização do processo de tomada decisão através e conforme aos objetivos de seus usuários. O conceito, por ainda estar se desenvolvendo, engloba uma série de temas da área da inovação tecnológica, alguns dos quais estão definidos nos parágrafos seguintes:

Análise de Dados define-se como a interpretação de uma série de dados coletados de diversos formatos diferentes e o uso destes como informação para debater ou solucionar problemas. Em virtude do usuário se deparar com uma grande quantidade de dados em mãos, entende-se que o gerenciamento destes se torna inviável em sua forma tradicional e obriga a adoção de sistemas físicos-cibernéticos a se responsabilizarem por sua gestão. Logo, acaba que todo o processo de mineração, aquisição, estocagem, processamento, interpretação e descrição dos dados se tornem processos computadorizados e previamente programados para agir. [4].

Computação em Nuvem é definido como o uso da memória, da capacidade de armazenamento e de cálculo de computadores e servidores hospedados em centrais de dados e conectados pela internet. Elas são auxiliadas por uma série de modelos de serviço, tais como Infraestrutura como Serviço (IaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Software como Serviço (SaaS), além de serem classificadas como nuvens públicas, privadas ou híbridas. As nuvens públicas têm sua infraestrutura centrada em hospedagem por um terceiro que permite a sua estrutura estar aberta ao uso público e tendo a responsabilidade da manutenção e atualização conferida ao contratante ou provedor. Já as nuvens privadas são, pela sua definição, o suporte da nuvem cujo provedor é a própria empresa ou uma parceira que usa de recursos e equipamentos internos para esta sustentação. Por fim, as nuvens híbridas seriam uma combinação entre os dois tipos de nuvens, de forma que os prós e contras de ambos os tipos venham a se conciliar. [5].

A Internet das Coisas (IoT) se define como a capacidade de objetos físicos

comunicarem entre si e com seus usuários devido a estarem interconectados através de sensores inteligentes e softwares que transmitem dados para uma rede virtual. Desta forma inúmeros objetos conseguem cruzar informações baseada na rotina de seus usuários de modo que estas são divulgadas aos mesmos de forma natural, imediata e espontânea. [6].

## 2.1 Análise de Dados

Dushaishi *et al* [7] contribui para a melhoria de performance e gestão de vibrações de haste de broca durante a perfuração de um poço de petróleo através da aplicação de análise de dados. Para tal experimento, ele se engaja em um estudo envolvendo 3 poços, que variam o tipo de broca utilizada e seus diâmetros, de acordo com o intervalo da perfuração, e estabelece parâmetros para as funções do modelo matemático adotado. Após a confecção e interpretação dos gráficos obtidos com os testes, lhe foi permitido a montagem de uma matriz de riscos (Figura 1) que relacionava os efeitos que poderiam ocorrer conforme a profundidade de perfuração, peso na broca, rotações por minuto e aceleração sob dadas situações, sinalizando a gravidade destas ocorrências pelas cores verde, amarelo ou vermelho. A fonte faz ponderações relevantes com relação à influência entre certos parâmetros e a consequência de certas escolhas tomadas.

Joshi *et al* [8] usa a análise de dados para monitoramento de microssísmica, procurando otimizar as operações de fraturamento hidráulico (método que possibilita a extração de combustíveis líquidos e gasosos do subsolo). Essas atividades são descritas como complexas e de alto risco devido a sua imprevisibilidade e manuseio. Frente a tais desafios, se propõe tal tecnologia como uma solução visto que proporcionaria melhoria na organização e interpretação da informação obtida, identificação dos padrões sísmicos, predição dos fatos, viabilidade operacional, gerando oportunidade para o seu uso até como uma ferramenta em tempo real.

Mohan *et al* [9] atuam na análise e visualização de dados para o gerenciamento de performance de reservatórios e produção. Esta é a essência do setor de óleo e gás por este ser constantemente dependente do monitoramento de suas operações e seus indicadores de desempenho ao longo da escala do tempo, além de lidar com o diversificado e amplo sistema de mercado ao qual corresponde. É afirmado que isto permite à indústria obter conhecimento sobre desempenho de campo e operações para a impulsão de decisões, desenvolver estratégias efetivas, aumentar a eficiência das operações e a preparar-se melhor quanto à tomada de decisões para aproveitar as oportunidades de mercado. O artigo prossegue explicando um sistema integrado de análise de dados envolvendo o modelo de negócios da área de Upstream (Figura 2), onde este relata a influência dos níveis estratégicos, táticos e operacionais quanto ao desempenho do modelo. Na conclusão, ele alerta para um contínuo aprimoramento dos processos como consequência da necessidade do modelo de negócio se sustentar e corrigir imperfeições, esta afirmação serve de base para o Ciclo de Vida da Análise de Dados Upstream (Figura 3).

Noshi e Schubert [4] descrevem o papel da tecnologia para a área Upstream, abrindo debate sobre sua aplicação e seus benefícios. A referência sinaliza impactos expressivos sobre aspectos envolvendo falha de bomba submersa elétrica e previsão de fechamento, redução de incerteza subsuperficial, melhoria nas decisões e estimativa de recuperação de óleo, avaliação de impacto e gerenciamento de produção, completação horizontal, técnicas de fraturamento, otimização de produção em reservatórios não convencionais e vigilância de campo. De modo geral, entende-se que tais pontos levantados garantem ganhos à indústria sobre sua eficácia operacional e rentabilidade.

## 2.2 Computação em Nuvem

Hems [5] aponta como a área Upstream de Óleo e Gás pode aprender com outros setores (tais como varejo, pesquisa

acadêmica, saúde e outros) acerca do uso da Computação em Nuvem. Em geral, as principais vantagens do aprendizado com essas áreas seriam a redução dos custos através de uma melhor flexibilização de suas estruturas, flexibilidade de implantação de novidades e velocidade de implementação para agregação de valor. Os autores do artigo também questionam sobre qual tipo de nuvem deveria ser escolhida para área petrolífera que hoje, majoritariamente, possui nuvens privadas. Em contramão a esta realidade, eles defendem e especulam que a nuvem pública deve ser e será adotada no futuro como consequência da longevidade dos ativos da área e da facilidade de implementação. Tal mudança já é, segundo eles, percebida com a mudança de atitude vinda de empresas muito mais conservadoras que as de óleo e gás.

Al-Thani *et al* [10] apresenta um caso de estudo sobre um ambiente integrado de computação em Nuvem para o fluxo de trabalho no setor Upstream. Para isso, este se permitiu a usar de conhecimentos geológicos, geofísicos e engenharia computacional incluídos em soluções computacionais como métodos de visualização remota, aplicação remota e interface de portais de web. Pode-se então destacar as seguintes vantagens:

- Facilidade ao apoio e gestão de implementação e de atualização
- Eficiência em compartilhamento de recursos
- Empoderamento computacional do usuário final
- Flexibilidade e escalabilidade para acomodar demanda
- Efetivo de custo comparado a supercomputadores alocados e reservados
- Melhoria de mobilidade em virtude de acesso em qualquer lugar ou hora
- Eficiência de solução quanto a recuperação de desastres, visto que os recursos podem ser espelhados, recriados, duplicados, distribuídos ao bel prazer.

Também foram levantados pontos sobre os desafios de sua adoção:

- Alta dependência de recursos, estabilidade e performance de redes.
- Ofertas extras para controle de camada intermediária, tais como alocação de recursos, agendamento de conexão e monitoramento de sistema.
- Gerenciamento de sessão e reestabelecimento de conexão perdida.
- Complexidade e frustração quanto à certificação de aplicativos.
- Introdução de novos pontos de falhas e brechas em diferentes níveis da solução.
- Segurança a vazamento de dados e confidencialidade em Nuvens Públicas.

Kumar *et al* [11] apresenta suas expectativas otimistas quanto às aplicações desta inovação no mercado. Após descrever conceitos fundamentais acerca da tecnologia, este enumera as aplicações dela quanto às questões envolvendo a seleção de viabilidade de poços, otimização da elevação artificial de gás lift, desenvolvimento de simulações de reservatórios e contribuição à Análise de Dados para a melhoria do processo de tomada de decisão. Este também alerta sobre a importância de investir em medidas de segurança e de regulação dos serviços oferecidos para assegurar e viabilizar a implementação desta inovação no setor.

Beckwith [12] elabora um pequeno artigo sobre centros de dados e suas relações com redes de nuvens. É descrito sobre a preocupação da indústria de óleo e gás quanto ao armazenamento de dados, principalmente os de origens sísmicas, responsáveis pelo mapeamento da área de exploração e que estão dimensionados em ordens de bytes incomuns ao uso de computadores pessoais, tal como Terabytes e Pentabytes. Sendo assim, entende-se a importância da preservação desses dados através da Computação em Nuvem, visto que são vulneráveis a ataques cibernéticos e perigos físicos como calor, água e eletricidade. Logo,

é feito uma relação que apresenta os locais mais propícios a guardá-los, são países como os EUA, Canadá, Alemanha, Hong Kong e Reino Unido. Estes países lideram um Ranking de Índice de Risco (Figura 4) por apresentarem melhores desempenhos quanto ao custo de energia, facilidade em fazer negócios, custo de mão de obra, estabilidade política, tributação, sustentabilidade, gestão a desastres naturais, índice de riqueza, inflação e outros. Interessante também mencionar o Brasil em uma posição expressiva nesta lista, o que indica uma oportunidade do país em investir neste tipo de serviço no futuro. A fonte termina abordando sobre a questão de eficiência de produção de energia para manter estas centrais de dados e demonstra o evidente crescimento do uso dessas centrais tanto na esfera internacional quanto nos EUA nos últimos anos.

Wilson [13] apresenta um teste de alta performance de nuvem para simulação de reservatórios. Seu estudo permitiu visualizar em gráficos (Figura 5) os rendimentos de computadores de infraestrutura interna e de nuvem afim de comparar seus desempenhos. No gráfico “Número de Horas de Processamento por Número de CPUs”, na opção interna, a partir de quatro CPUs, apresenta queda na variação do número de horas conforme o aumento do número de CPUs, enquanto no segundo, esta variação se mostra mais agressiva, visto que com oito há tendência de que o número de horas de processamento venha a ser menor. Em seguida, no gráfico “Custo por horas por Percentual de Utilização”, notou-se que a interna possui comportamento parabólico decrescente à medida que aumenta o percentual de seu uso, já quanto à nuvem, sua função tem comportamento constante, independente do quanto desta é utilizado. Sendo assim, conclui-se que a opção de nuvem é economicamente mais viável para situação onde seu uso seja baixo ao longo da extensão do tempo operacional.

Eldred *et al* [14] discute sobre o uso de Computação em Nuvem de alta performance para simulações de reservatórios. Trata-se da

fonte original do tema do artigo anterior, usando dos mesmos gráficos e interpretações para sua confecção. Além disso, o artigo propõe uma estrutura semelhante à metodologia PDCA para avaliação e implementação da Computação em Nuvem quanto às suas oportunidades (Figura 6). São apresentados 6 passos de um processo cíclico: Determinar Oportunidade, Determinar Viabilidade, Planejar, Executar, Compreender e Avaliar.

### 2.3 Internet das Coisas

Berge [6] avisa sobre a vinda da transformação digital no setor de óleo e gás. Ele adverte sobre a atenção dada aos desafios que a indústria encara, tais como:

- Paralisações operacionais não agendadas por falhas inesperadas de equipamentos.
- Aumento de custos de manutenção devido a reparos.
- Queda de receita devido à perda de produtividade na paralisação.
- Fim prematuro da vida de equipamentos.
- Aumento da queima de combustíveis e emissão de poluentes de forma desordenada.
- Risco de multa por violação de nível permitido de queima e emissão de substâncias.
- Aumento de risco de acidentes de trabalho.
- Dificuldade no acompanhamento dos requisitos de segurança trabalhista e ambiental.
- Aumento do custo operacional Offshore devido às viagens de embarque.
- Sobrecarga dos funcionários novos em decorrência à aposentadoria dos velhos
- Necessidade de mais mão de obra para monitorar processos.
- Em virtude disso, ele faz uma comparação entre o modelo tradicional da indústria de petróleo e o modelo digital

proposto pela Internet das Coisas que promete resolver estes problemas destacados. Entre as medidas listadas, se destacam:

- Inspeção Digital Automática: Proporciona confiabilidade e integridade de dados na identificação precoce de problemas com direito a notificações enviadas a aparelhos móveis como smartphones e tablets.
- Suporte de especialistas: Orientação de pessoal à longas distâncias através de comunicação de vídeo em tempo real, sem a necessidade de deslocamento dos auxiliares até o local.
- Controle de papéis: Manuseio em meio digital, sem uso e transporte de documento físico.
- Chamada de Socorro: Detecção de incidentes e ativação de alarme de ocorrências automáticos.
- Checagem de Segurança: Detecção automática e envio de relatório à sala de controle.
- Geolocalização na Segurança: Identificação de indivíduos em emergência, resgate ou evacuação, assim como advertência quanto a áreas de acesso não permitidas ao cargo que confere o indivíduo ou de alto risco para sua integridade.
- Inspeção Operacional: Coleta automática de dados e transmissão digital destes aos operadores através de aparelhos portáteis.
- Diário de Bordo Digital: Notas e imagens de incidentes, perigos, vazamentos e equipamentos danificados são capturados instantaneamente e enviados à central.

Elmer [15] disserta sobre as aplicações da Internet das Coisas em operações de elevação artificial. Para tal, a fonte é a apresenta, de forma sucinta, 4 exemplos de uso da tecnologia neste tipo de serviço: Otimização do Curso da Bomba, Melhoria do Compressor de Elevação de Gás na Cabeça de Poço Acionado Eletricamente, Ventilador Elétrico

de Resfriamento do Pannel de Ventilação do Compressor de Gás e Operação Aprimorada do Compressor com Controle de Temperatura Preciso. Em geral, com a inclusão da tecnologia nestes exemplos, foi permitido visualizar uma melhoria nos indicadores de performance e seus desempenhos. Apesar de tudo, se levantou a questão da necessidade do uso de Computação em Nuvem visto que nenhum dos pontos estudados envolvia o suporte desta, ou seja, não tinha como avaliar os prováveis benefícios que poderiam ter sido adquiridos se mesclasse ambas as tecnologias.

AlBar *et al* [16] combina a força da Internet das Coisas com Análise de Dados para desta forma desbloquear o potencial de um campo de óleo digital. Para a adesão destas inovações, são enumeradas suas principais barreiras: Integração de Dados; Preparação e Transformação de Dados; Desafio de performance; Viabilidade e Segurança de Dados; Riqueza da Capacidade Analítica e Desenvolvimento Operacional. As soluções para estes obstáculos no setor, conforme a referência, envolveria Infraestrutura de Análise, Engenharia de Dados e Análise de Dados de Oleodutos e Modelo de Produção Operacional. Entende-se com a avaliação destes aspectos que o desenvolvimento da digitalização de campos de óleo possa melhorar o monitoramento e a análise de comportamento de seus reservatórios.

Bhowmik [17] apresenta um sistema para gasodutos que integra os conceitos de Internet das Coisas, Aprendizagem de Máquina e Análise de Dados. Esse sistema é chamado “Digital Twin”, um modelo multidisciplinar analítico que pretende preservar o rendimento de dutos através da redução do tempo de inatividade, do desenvolvimento de uma estratégia de manutenção inteligente e gerenciamento de danos de fadiga.

Elmer [18] fala da gestão de emergências em plataformas de óleo através da Internet das Coisas. Após a elaboração de um sistema de gestão integrado e munido com diagramas, esquemas e procedimentos, foi dada a solicitação de sua instalação para um teste em

uma plataforma da BP e na frota da Seadrill. Este sistema tinha o intuito de prevenir, gerenciar e responder rapidamente a situações que envolvessem fogo, fumaça, vazamento de gás, pessoa ferida e outros. Para tal, foi necessário da contribuição, dedicação e advertência das equipes envolvidas nos treinamentos desta nova gestão para desta forma aproveitar o modelo ao máximo. No fim, os resultados desta implementação foram definidos como bem-sucedidos, com fácil adaptação e aceitação dos envolvidos, acreditando que permitirá mitigar mais o risco determinadas causalidades.

### 3. Considerações Finais

Este artigo pretendeu pesquisar sobre e relatar as referências de um acervo acerca de um assunto consideravelmente recente no meio acadêmico. Seu propósito seria o de esboçar o que se espera do futuro da Indústria de Óleo e Gás conforme a assimilação desta pelas inovações prometidas da Revolução Industrial 4.0 (ou Revolução Digital).

Como resultado, entende-se no geral que essa grande renovação do setor pretende trazer expressivos benefícios na gestão e gerenciamento dos serviços operacionais e administrativos, principalmente por quebrar tabus e propor ideias ousadas para a resolução de problemas. Entre as inúmeras vantagens obtidas pela adesão às inovações propostas, nota-se cada vez mais presente a otimização do meio produtivo, a redução dos custos, a melhoria na gestão do tempo e a integração e integridade dos sistemas, dos serviços e dos recursos.

Contudo, embora a conversão de um modelo comum e tradicional para um complexo e inteligente venha a ser de brilhar os olhos, é necessário que a indústria saiba das limitações e obstáculos que deve encarar para uma bem-sucedida implementação de tecnologias e processos. A Indústria 4.0 pretende transformar radicalmente as organizações de trabalho, uma mudança de paradigma que já está caminhando a largo passos, resta saber se a indústria de petróleo

conseguirá se adaptar às novas tendências em um futuro que nunca se apresentou tão desafiador como antes em sua história sesquicentenária.

### 4. Referência Bibliográfica

- [1] A. Volkenborn, A. Lea-Cox e W. Y. Tan, "Digital Revolution - How Digital Technologies Will Transform E&P Business Models in Asia-Pacific," p. 8, 2017.
- [2] K. Zhou, T. Liu e L. Zhou, "Industry 4.0 - Towards Future Industrial Opportunities and Challenges," p. 6, 2015.
- [3] L. F. Rodrigues, R. d. J. Aguiar e K. Schützer, "Indústria 4.0 - Uma Revisão da Literatura," p. 13, 2016.
- [4] C. I. Noshi e A. I. A. & J. J. Schubert, "The Role of Big Data Analytics in Exploration and Production A Review of Benefits and Applications," p. 14, 2018.
- [5] R. K. P. & A. Hems, "Cloud Computing What Upstream Oil and Gas Can Learn From Other Industries," p. 11, 2013.
- [6] J. Berge, "Digital Transformation and IIOT for Oil and Gas Production," p. 10, 2018.
- [7] M. A. Dushaishi, S. Hellvik, A. Aladasani e M. A. & Q. Okasha, "Application of Data Analytics to Improve Drilling Performance and Manage Drill Stem Vibrations," p. 11, 2018.
- [8] P. Joshi, R. Thapliyal, A. A. Chittambakkam, R. Ghosh e S. B. & S. N. Khan, "Big Data Analytics for Micro-Seismic Monitoring," p. 5, 2018.
- [9] R. Mohan, R. Narayanan, H. A. Yazeedi, T. A. Naqbi, M. Willems, A. Escorcía, L. Saputelli e N. A. (. & G. M. Gioria, "Integrated Data Analytics and Visualization for Reservoir and

- Production Performance Management,” p. 7, 2017.
- [10] L. Al-Thani, Y. Al-Ghamdi e M. A.-H. & T. Al-Ghamdi, “Integrated Cloud Computing Environment for Upstream Workflows Unconventional Resources Case Study,” p. 9, 2017.
- [11] A. Kumar, A. Dutt, S. Nahar, S. Batshas, C. Majumdar, R. Saraiya e S. S. & C. Chatterjee, “It’s Raining Barrels Cloud Computing in the O&G Industry,” p. 8, 2018.
- [12] R. Beckwith, “Managing Big Data Cloud Computing and Co-Location Centers,” *JPT*, p. 4, 2011.
- [13] A. Wilson, “Project Tests High-Performance Cloud Computing for Reservoir Simulations,” *JPT*, p. 2, 2016.
- [14] M. E. Eldred, A. Orangi, A. A. Al-Emadi, A. Ahmad e T. J. O. & N. Barghouti, “Reservoir Simulations in a High Performance Cloud Computing Environment,” p. 8, 2014.
- [15] W. G. Elmer, “Artificial Lift Applications for The Internet of Things,” p. 14, 2017.
- [16] A. AlBar, H. Asfoor e A. G. & N. Ansari, “Combining the Power of IoT and Big Data to Unleash the Potential of Digital Oil Field,” p. 10, 2019.
- [17] S. Bhowmik, “Digital Twin of Subsea Pipelines: Conceptual Design Integrating IoT, Machine Learning and Data Analytics,” p. 9, 2019.
- [18] R. B. & R. Benham, “Integrated Emergency Management Platform Using IoT to improve MEM,” p. 8, 2018.

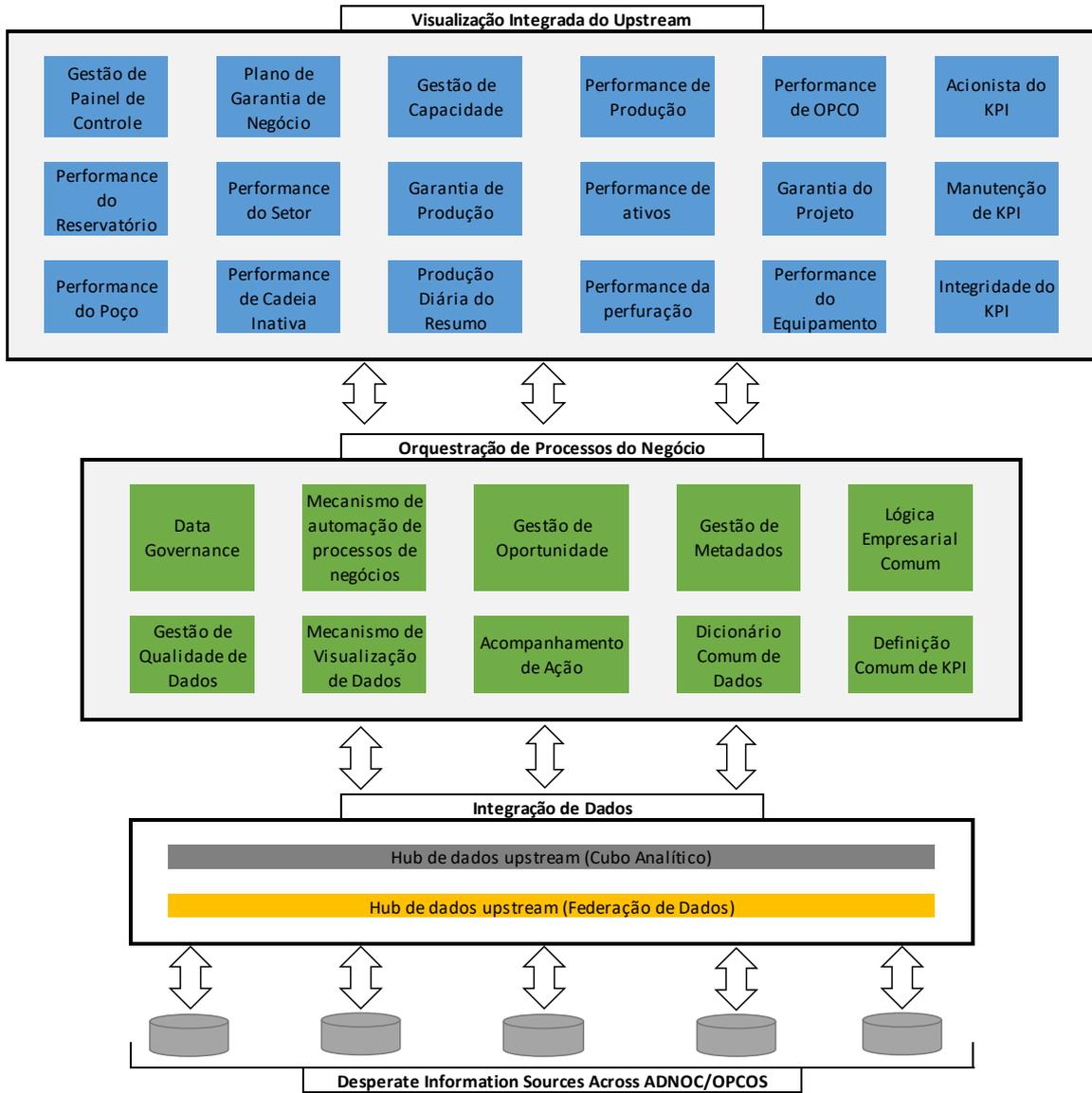
## 5. Anexos e Apêndices

Figura 1: Matriz de Riscos conforme variação de parâmetros na perfuração de um poço.

<b>Profundidade (metros)</b>	500	1000	1175	<b>1350</b>	<b>&gt;1800</b>	
	Sem indicações			Vibração Lateral	MSE + Vibração Lateral	
<b>WOB (toneladas)</b>	1,5	3	4,5	<b>6</b>	<b>&gt;8</b>	
	Sem indicações			Vibração Lateral	Stick-Slip + Vibração Lateral	
<b>RPM</b>	<b>20</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>&gt;130</b>	<b>&gt;150</b>
	Slick-slip		MSE		MSE + Vibração Lateral	MSE + Stick-Slip + Vibração Lateral
<b>Aceleração</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	100	150	<b>&gt;200</b>	
	Vibração Lateral		Sem Indicações		Vibração Lateral	

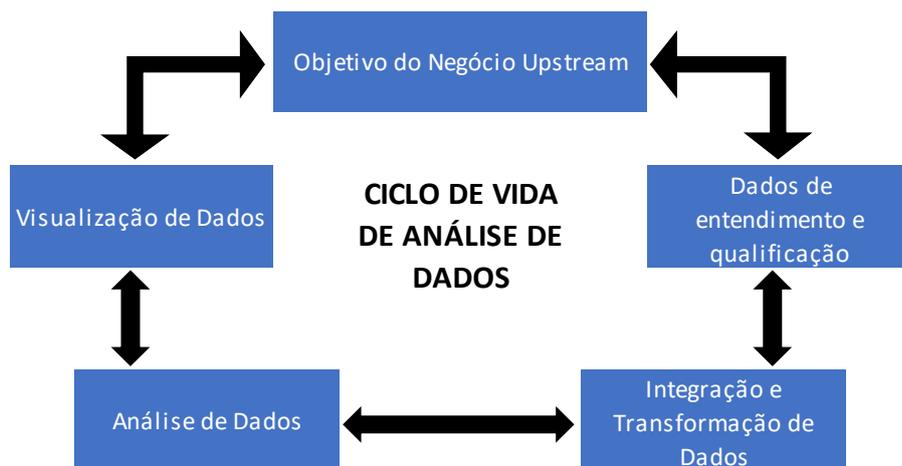
Fonte: (Dushaishi, Hellvik, Aladasani, & Okasha, 2018) [7]

Figura 2: Arquitetura do modelo de Visualização e Análise de Dados Integrado



Fonte: (Mohan, et al., 2017) [8]

Figura 3: Ciclo de Vida de Análise de Dados do Upstream



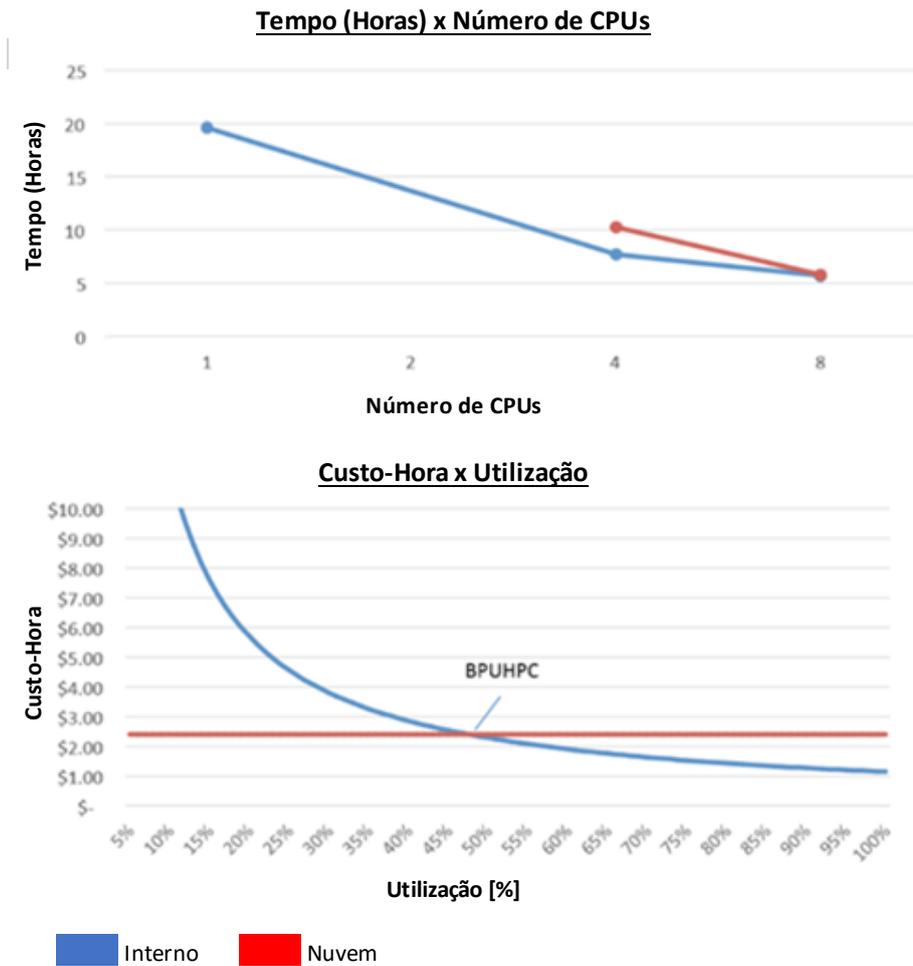
Fonte: (Mohan, et al., 2017) [8]

Figura 4: Ranking de índice de Riscos de Central de Dados

#	ÍNDICE	PAÍS
1	100	EUA
2	91	Canadá
3	86	Alemanha
4	85	Hong Kong
5	82	Reino Unido
6	81	Suécia
7	80	Catar
8	78	África do Sul
9	76	França
10	73	Austrália
11	71	Cingapura
12	70	Brasil
13	67	Holanda
14	64	Espanha
15	62	Rússia
16	61	Polônia
17	60	Irlanda
18	56	China
19	54	Japão
20	51	Índia

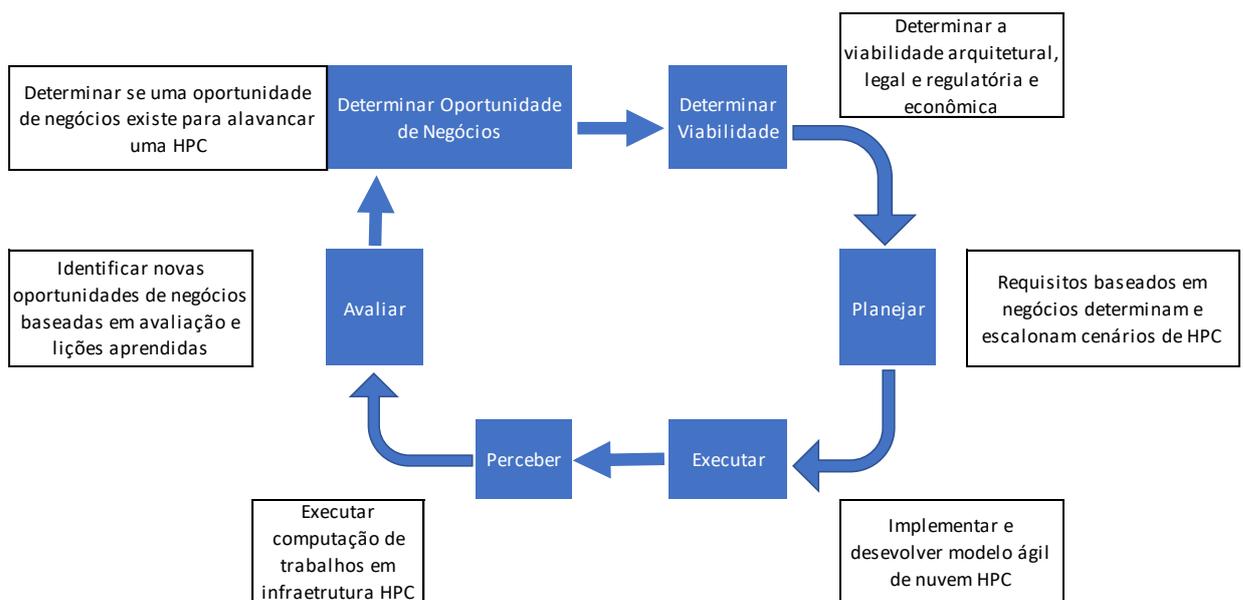
Fonte: (Beckwith, 2011) [12]

Figura 5: Gráficos (Horas de Processamento x N° de CPUs) e (Custo-Hora por Percentual de Uso)



Fonte: (Wilson, 2016) [13] & (Eldred, Orangi, Al-Emadi, Ahmad, & Barghouti, 2014) [14]

Figura 6: Implementação Cíclica da Computação em Nuvem quanto às suas oportunidades em 6 passos



Fonte: (Eldred, Orangi, Al-Emadi, Ahmad, & Barghouti, 2014) [14]