



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

TIAGO ALERRANDRO PAULINO ARRAIS

PLANEJAMENTO OPERACIONAL PARA AQUISIÇÃO DE DADOS
SISMICOS EM BACIAS SEDIMENTARES BRASILEIRAS

MOSSORÓ-RN
2018

TIAGO ALERRANDRO PAULINO ARRAIS

**PLANEJAMENTO OPERACIONAL PARA AQUISIÇÃO DE DADOS
SISMICOS EM BACIAS SEDIMENTARES BRASILEIRAS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
campus Mossoró para obtenção do título
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Regina Celia de
Oliveira Brasil Delgado – UFERSA

Co-orientador: Prof. Dr. Jardel Dantas da
Cunha – UFERSA

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A773p Arrais, Tiago Alerrandro Paulino.
Planejamento operacional para aquisição de
dados sísmicos em bacias sedimentares brasileiras
/ Tiago Alerrandro Paulino Arrais. - 2018.
41 f. : il.

Orientadora: Regina Celia de Oliveira Brasil
Delgado.

Coorientador: Jardel Dantas da Cunha.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Prospeção sísmica. 2. Petróleo. 3.
Planejamento. I. Delgado, Regina Celia de
Oliveira Brasil, orient. II. Cunha, Jardel Dantas
da, co-orient. III. Título.

TIAGO ALERRANDRO PAULINO ARRAIS

**PLANEJAMENTO OPERACIONAL PARA AQUISIÇÃO DE DADOS
SISMICOS EM BACIAS SEDIMENTARES BRASILEIRAS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
campus Mossoró para obtenção do título
em Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 31/08/2018

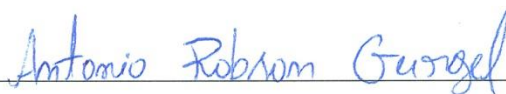
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Sc. Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado - UFERSA
Presidente



Prof. Dr. Sc. Jardel Dantas da Cunha - UFERSA
Primeiro Membro



Prof. Dr. Sc. Antonio Robson Gurgel - UFERSA
Segundo Membro

A **Deus**, que sempre esteve comigo e que tanto vem me abençoando.

A minha mãe **Laudecir Paulino**, por ter estado comigo desde o início de minha vida, ao meu pai **Antonio de Araujo Arrais** por todos os ensinamentos e apoio, e a minha irmã **Talita Cristina Paulino** por me servir de exemplo como igual nesse mundo.

Aos meus amigos por estarem sempre comigo nas horas de alegria e nas dificuldades e por toda a ajuda.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, pela vida, pelas conquistas e desafios que fizeram de mim quem sou.

Aos meus pais Laudecir Paulino e Antonio de Araujo Arrais, por todo apoio e incentivo, e por tantos ensinamentos.

Aos meus avós Luis Paulino e Joana Miguel Paulino, por todo carinho.

À minha irmã, Talita Cristina Paulino por ser um exemplo de ser humano para mim.

A professora Jailma Suerda Silva de Lima, por ser este ser humano tão maravilhoso e um exemplo de professora de verdade, que renovou minhas esperanças quando eu mais pensava em desistir.

Aos meus amigos, por serem sempre o meu suporte, pelos conselhos, pelo apoio em todas as batalhas e momentos difíceis, por cada momento de alegria e companheirismo.

Ao meu amigo e professor Jardel Dantas da Cunha bem como a minha orientadora Regina Celia de Oliveira, por todo o apoio no andamento desse estudo e por tantos ensinamentos.

A todos que de alguma forma contribuíram com minha jornada, lhes sou grato!

RESUMO

O advento da sociedade moderna traz consigo uma demanda cada vez maior por energia que é a força motriz por trás de grande parte dos mais diversos segmentos das indústrias. O petróleo a muito vem sendo uma das principais fontes de energia e matéria prima contribuindo intensamente para tais finalidades, sua exploração remonta a tempos antigos onde ainda se dependia do acaso para encontrá-lo. A crescente demanda por petróleo torna cada vez maior a necessidade de se ter precisão quanto à localização de uma acumulação de hidrocarbonetos, tendo em vista os altos custos e riscos da perfuração de um poço. Pesquisas no campo da prospecção de petróleo vêm sendo desenvolvidas no mundo inteiro de modo que atualmente os métodos sísmicos empregados são bastante precisos na localização de novas jazidas. Algo tão importante quanto à prospecção em si, é o planejamento operacional que precede e embasa a campanha de prospecção. A presente pesquisa teve como objetivo, analisar de forma qualitativa os relatórios elaborados por duas empresas do segmento de prospecção sísmica por reflexão, sobre o planejamento operacional para aquisição de dados em bacias sedimentares brasileiras, a fim de gerar conhecimento dessa importante área da indústria petrolífera. O estudo consistiu em compreender e analisar todas as etapas do planejamento operacional de campanhas sísmicas. Da análise realizada nos relatórios foi observado que existe uma forte correlação entre os aspectos considerados pelas empresas, estando os mesmos relacionados em três vertentes principais: custos, segurança e aspectos legais. Logo, a fase de planejamento operacional para aquisição de dados sísmicos é de fundamental importância para o sucesso da operação, bem como para proteção ambiental das áreas onde as operações ocorrem, segurança das equipes envolvidas e controle de despesas.

Palavras-chave: Prospecção sísmica, petróleo, planejamento.

ABSTRACT

The advent of the modern society brings with it an ever-increasing demand for energy which is the driving force behind much of the most diverse segments of industries. Oil has long been a major source of energy and raw materials contributing intensely to such purposes, its exploration dates back to ancient times where it still depended on chance to find it. The growing demand for oil makes it increasingly necessary to be accurate as to the location of an accumulation of hydrocarbons in view of the high costs and risks of drilling a well. Researches in the field of oil prospecting have been developed worldwide so that the currently seismic methods employed are quite accurate in locating new deposits. Something as important as the prospecting itself is the operational planning that precedes and fits the prospecting campaign. The present study aimed to qualitatively analyze the reports prepared by two companies in the segment of seismic prospecting by reflection on the operational planning for data acquisition in Brazilian sedimentary basins in order to generate knowledge of this important area of the oil industry. The study consisted in knowing and analyzing all the steps of the operational planning of seismic campaigns. From the analysis performed in the reports it was observed that there is a strong correlation between the aspects considered by both companies, and they are related in three main aspects: costs, safety and legal aspects. Thus, the operational planning phase for the acquisition of seismic data is fundamental importance for the success of the operation, as well as for environmental protection of the areas where operations occur, safety of the teams involved and control of expenses.

Keywords: Seismic Prospecting, petroleum, planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Onda.....	22
Figura 2 - Vibroseis utilizado para gerar as ondas sísmicas da empresa B.....	32
Figura 3 - Concentração de pessoal para reunião matinal de SMS.....	35
Figura 4 - Ponte inviável para passagem de veículo pesado.....	39

SIGLAS E ABREVIATURA

APP – Áreas de Preservação Permanente

APR – Análise Preliminar de Risco

CONAMA – Conselho Nacional para o Meio Ambiente

EAS – Estudo Ambiental de Sísmica

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EPI – Equipamentos de Proteção Individual

EVA – Estudo de Viabilidade Ambiental

FCA – Ficha de Caracterização das Atividades

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

FUNAI – Fundação Nacional do Índio

GPS – *Global Positioning System*

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

LPS – Licença de Pesquisa Sísmica

NR – Normas Regulamentadoras

OIT – Organização Internacional do Trabalho

OPEP – Organização dos Países Exploradores de Petróleo

PCA – Projeto de controle ambiental

PGA – Plano de Gestão Ambiental

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S. A.

PNUD – Programa de Nações Unidas para o Desenvolvimento

RCA – Relatório de controle ambiental

RIAS – Relatório de Impacto Ambiental de Sísmica

RIMA – Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente

SMS – Segurança do Trabalho, Meio Ambiente e Saúde do Trabalho

TR – Termo de Referência

VPS – Pontos de Vibração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivo específico.....	14
2 GESTÃO DO CONHECIMENTO (GC).....	15
2.1O Petróleo	15
2.1.1 Aspectos Econômicos da Indústria do Petróleo	16
2.1.2 Aspectos Ambientais.....	18
2.2 Métodos de Prospeção	20
2.2.1 Método Sísmico	21
2.2.1.1 Sísmica de Refração	23
2.2.1.2 Sísmica de Reflexão	24
2.2.2 Outros Métodos de Prospeção	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 Descrição Geográfica da Área.....	28
4.2 Aspectos geológicos	28
4.3 Levantamento Topográfico.....	28
4.4 Aspectos Climáticos	29
4.5 Aspectos Socioeconômicos.....	30
4.6 Permissória.....	30
4.7 Cronograma das Atividades.....	31
4.8 Sismografia	32
4.9 Composição de Bases e Alojamentos e Logística	33
4.10 Segurança.....	34
4.11 Proteção Ambiental.....	35
4.12 Estimativa de Dificuldades Operacionais	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de se obter fontes de energia é um fator constante na nossa sociedade, tal dependência é evidenciada pela inviabilidade da manutenção do nosso estilo de vida sem a energia. A exploração de petróleo vem há muito tempo sendo a fonte que move nossos meios de transporte e abastece nossas indústrias.

Embora novas fontes de energia sejam cada vez mais utilizadas, o petróleo continua sendo uma das principais fontes utilizadas mundialmente, tendo atrelado a si ao longo dos anos fatores socioeconômicos e políticos, além de mover grande parte da economia dos países produtores (SZKLO; ULLER, 2008).

A prospecção de petróleo é uma tarefa complexa que visa à viabilização da exploração de novas jazidas garantindo um índice de precisão cada vez maior. Para a indústria do petróleo, precisão é um fator decisivo, tendo em vista os elevados custos de prospecção, exploração, tratamento, armazenamento e transporte do petróleo, sendo preciso se assegurar que tais esforços não sejam realizados em vão, essa garantia é estabelecida na etapa de prospecção.

No que diz respeito à prospecção de petróleo, o principal método empregado é a sísmica de reflexão, por apresentar alta taxa de precisão, viabilidade de custos e versatilidade de utilização. Em um levantamento sísmico, as ondas são criadas por uma fonte controlada e se propagam em subsuperfície, onde algumas voltarão à superfície após terem sofrido refração ou reflexão nas interfaces geológicas em profundidade. Instrumentos distribuídos ao longo da superfície detectam o movimento do terreno causado pelas ondas que retornam e medem os tempos de chegada a diferentes afastamentos em relação à fonte. Esses tempos de percurso podem ser convertidos em valores de profundidade e, a partir daí, a distribuição de interfaces geológicas pode ser sistematicamente mapeada (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

Devido à complexidade que envolve as atividades de prospecção sísmica, uma vez que muitos fatores adversos podem ocorrer durante o seu desenvolvimento, é realizado um estudo detalhado dos diversos aspectos relevantes que envolvem esse tipo de atividade e com base neste, elaborado um planejamento operacional para sua execução. Logo, as empresas de prospecção elaboram relatórios determinando a melhor, mais segura e mais econômica forma de se obter os dados sísmicos da região de interesse.

É importante ressaltar que a literatura apresenta poucas informações sobre as etapas necessárias para realização de um levantamento sísmico, portanto, torna-se importante realizar uma análise dessas etapas com o objetivo de gerar conhecimento sobre essa atividade da indústria do petróleo.

1.1 Objetivo

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é demonstrar e analisar as etapas do planejamento operacional realizado por empresas que atuam na prospecção de petróleo para a aquisição de dados sísmicos em bacias sedimentares brasileiras.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os aspectos importantes para o levantamento de dados sísmicos em relatórios elaborados por duas empresas do ramo da prospecção geofísica no Brasil.
- Analisar a forma como cada empresa trata os aspectos envolvidos no levantamento operacional.
- Realizar um comparativo entre os aspectos abordados pelas duas empresas.
- Gerar conhecimento com base nas análises realizadas.

2 GESTÃO DO CONHECIMENTO

Este tópico aborda a fundamentação teórica referente ao método sísmico de prospecção com ênfase no método de reflexão, conceitos relacionados, bem como uma breve introdução sobre o petróleo e a importância de sua exploração para a nossa sociedade.

2.1 O Petróleo

Desde os tempos remotos a humanidade busca meios de produzir energia, inicialmente com a utilização do fogo que lhes aquecia a noite, passando pela era do vapor, até chegar à era moderna onde fontes mais abundantes e versáteis são utilizadas. O petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos que em muito impulsionou o desenvolvimento da humanidade através de inúmeros derivados que nos fornecem energia, tais como gasolina, diesel, querosene, gás natural, entre outros. A palavra petróleo é uma derivação de duas outras palavras oriundas do latim, *petra* e *oleum*, pedra e óleo, respectivamente. O petróleo pode ser encontrado no estado sólido, líquido ou gasoso, sendo de extrema importância para a manutenção do estilo de vida da sociedade moderna e, portanto, muito valorizado comercialmente (ROSA; CARVALHO; XAVIER, 2011).

De acordo com Neiva (1974), o petróleo vem sendo explorado desde tempos bíblicos, na babilônia antiga o betume era utilizado na confecção de esquifes, até o antigo Egito onde foi empregado como elemento de liga na estrutura das grandes pirâmides. Para o autor, muito além de uma fonte de energia, o petróleo é capaz de nos proporcionar diversos materiais úteis.

Na atualidade não é diferente, apesar de sua utilização ter mudado, os derivados de petróleo ainda estão presentes em quase todos os segmentos da indústria, podem ser citados: combustíveis, solventes, lubrificantes, graxas, asfalto, coque, nafta, etano propano, butano, etileno, propileno, butilenos e butadieno (SZKLO; ULLER, 2008).

A natureza do processo que vai da formação, migração até a acumulação do petróleo fornece uma ideia do quão grande são os desafios em torno da prospecção de possíveis reservatórios a serem explorados.

“A descoberta de uma jazida de petróleo em uma nova área é uma tarefa que envolve um longo e dispendioso estudo e análise de dados geofísicos e geológicos das bacias sedimentares. Somente após exaustivo prognóstico do comportamento das diversas camadas do subsolo, os geólogos e geofísicos

decidem propor a perfuração de um poço, que é a etapa que mais exige investimentos em todo processo de prospecção.” (THOMAS *et al.*, 2004)

Dando continuidade a sua explanação, Thomas *et al.* (2004) afirma que a localização de áreas que podem ser ricas em hidrocarbonetos e consequentemente exploradas é feita através do uso de métodos geológicos e geofísicos em conjunto.

Bacias sedimentares são locais extremamente propícios à exploração de petróleo. As características das rochas sedimentares tornam possível o acúmulo de hidrocarbonetos e água. No decorrer do ciclo de transformação das rochas, o agrupamento de fatores que ocorrem devido à influência de agentes externos constitui o ciclo de transições através das quais as rochas sedimentares se originam (POPP, 2013). De acordo com Craft e Hawkins (1990) é relativamente comum que bacias sedimentares possuam não apenas reservatórios de petróleo, como também aquíferos.

Segundo Rosa, Carvalho e Xavier (2011) existem certas informações a respeito das propriedades das rochas que são cruciais para o estudo do comportamento de reservatórios de petróleo. Dentre as principais propriedades os autores destacam: porosidade, compressibilidade, saturação de fluidos, capilaridade, permeabilidade relativa e efetiva. A maioria dos reservatórios comerciais de petróleo ocorre em rochas sedimentares, entretanto, há diversos outros tipos de rochas cuja porosidade é o suficiente para caracterizarem como rocha reservatório.

2.1.1 Aspectos Econômicos da Indústria do Petróleo

O petróleo veio ao longo do tempo acumulando valor, à medida que se tornava cada vez mais atrelado ao estilo de vida da sociedade moderna. Apesar de tamanha importância, os investimentos na exploração de petróleo são considerados como investimentos de risco, pois sua prospecção e exploração demandam altos investimentos que associados a uma série de fatores negativos podem gerar grandes prejuízos financeiros. Os estudos econômicos em torno da indústria do petróleo auxiliam na identificação e quantificação dos riscos financeiros relacionados à exploração, além de empregar técnicas para auxiliar na gestão de oportunidades favoráveis para investimento (JAHN *et al.*, 2012).

Dentre as fontes de energia atualmente conhecidas, o petróleo é sem dúvidas a que detém a maior importância geopolítica, tanto o surgimento das grandes estatais da indústria petrolífera como a formação da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) endossam essa afirmação (YERGIN, 1994).

No Brasil a primeira iniciativa de prospecção petrolífera ocorreu entre 1892 e 1897, por parte do fazendeiro Eugênio Ferreira de Camargo. Ele obteve direito de exploração da região de Bofete, São Paulo e rapidamente providenciou uma sonda de perfuração bem como uma equipe para operá-la e dar início a exploração daquela região. De 1919 a 1930, o governo brasileiro perfurou 51 poços. Esses primeiros esforços acabaram por revelar vastas reservas que colocaram o Brasil no mapa mundial do petróleo (GAUTO, 2011).

A economia brasileira esta fortemente atrelada à indústria petrolífera, os vastos investimentos realizados anualmente nesse setor geram uma grande quantidade de empregos direta e indiretamente (MATA, 2016).

Grande parte da força da indústria petrolífera brasileira se deve a PETROBRAS. A empresa que já possui mais de sessenta anos de mercado faz muito além de gerar empregos e renda. Desde sua fundação em 1953, a PETROBRAS investe em pesquisas e geração de novas tecnologias para exploração e prospecção cada vez mais precisa e segura das jazidas de petróleo. No que diz respeito à prospecção, existe a necessidade de se ter uma tecnologia capaz de proporcionar precisão quanto aos locais de exploração, uma vez que investir em uma área que se prove improdutivo pode gerar prejuízos catastróficos a empresa (GAUTO, 2011).

“Maior empresa brasileira, a PETROBRAS é um colosso com receitas anuais bilionárias e lucros também bilionários, produzidos com o empenho de mais de 70 mil funcionários diretos. Atualmente figura entre as 10 maiores companhias de petróleo do mundo e, a julgar pelo seu ritmo de crescimento nos últimos anos, deve se tornar uma das cinco principais petrolíferas globais até 2020. Cerca de 400 mil pessoas, no Brasil e no exterior, são acionistas da empresa, sociedade anônima de capital aberto que tem suas ações negociadas na bolsa de valores de São Paulo e também na de Nova York (EUA). O estado brasileiro possui a maior parte dessas ações, o que lhe dá controle da gestão da companhia” (GAUTO, 2011).

De acordo com Amui (2010), diante de todos esses fatores é evidente que o petróleo acaba por se tornar uma força motriz do desenvolvimento tecnológico, econômico e social, tendo peso na balança comercial de uma nação que acaba por gerar todo um mercado em torno de sua exploração e prospecção. Esses fatores justificam os largos investimentos injetados anualmente na indústria.

2.1.2 Aspectos Ambientais

A preservação do meio ambiente é de suma importância na exploração do petróleo uma vez que uma falha nesse processo de exploração pode gerar graves perdas ao meio ambiente. A educação ambiental mostra a importância de se preservar o meio ambiente uma vez que nossa própria sobrevivência dele depende. Através da educação ambiental torna-se possível a preservação, conservação e recuperação do meio ambiente quando necessário (SATO; CARVALHO, 2005).

No Brasil o órgão regulador responsável pela normatização, fiscalização da exploração e preservação do meio ambiente e dos recursos naturais é o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). O Órgão foi criado em 1982 através da Lei nº 6.938/81, visando à necessidade de serem estabelecidos critérios para o licenciamento ambiental e conseqüentemente uma melhor gestão dos recursos naturais (JÚNIOR, 2005).

A legislação referente às questões ambientais é relativamente recente, de modo geral pode-se dizer que o processo de regulação, como um todo está em constante construção. A Lei 9605 de 12.02.1998 regula as sanções penais e administrativas derivadas de condutas corporativas danosas ao meio ambiente. Existem diversas leis e decretos estabelecidos pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e CONAMA (Conselho Nacional para o Meio Ambiente), para preservação do meio ambiente (CARDOSO, 2004).

“O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei no. 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pela Lei no. 8.028, de 12 de abril de 1990, regulamentadas pelo Decreto nº. 99.274, de 06 de junho de 1990, e Lei no. 8.746, de 09 de dezembro de 1993, considerando o disposto na Lei nº. 8.490, de 19 de novembro de 1992, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e considerando a necessidade de serem estabelecidos critérios específicos para licenciamento ambiental visando o melhor controle e gestão ambiental das atividades relacionadas à exploração e lavra de jazidas de combustíveis líquidos e gás natural, na forma da Legislação vigente. Considerando que a atividade ora denominada EXPROPER (Exploração, Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural), se reveste de intenso dinamismo, sendo o lapso temporal entre uma fase e outra, por vezes, imperceptível, resolve instituir a Resolução Nº 23, de 7 de Dezembro de 1994” (BRASIL, 1994).

A Resolução CONAMA nº 350, de 6 de julho de 2004 dispõe sobre o licenciamento ambiental específico das atividades de aquisição de dados sísmicos marítimos e em zonas de transição. De acordo com a resolução, as atividades de aquisição sísmica em ambientes marítimos e em zonas de transição são potencialmente

causadoras de impactos ambientais nos ecossistemas marinho e costeiro e em atividades como a pesca e a aquicultura, entre outras e, são realizadas em áreas com diferentes níveis de sensibilidade ambiental. Assim sendo, a resolução define que tais atividades de aquisição de dados sísmicos serão objeto de licenciamento ambiental que obedecerá a regras específicas em razão de seu caráter temporário, da sua mobilidade e da ausência de instalações fixas.

As atividades de aquisição de dados sísmicos marítimos e em zonas de transição também dependem da obtenção de uma LPS (Licença de Pesquisa Sísmica). Compete ao IBAMA o licenciamento ambiental das atividades referidas, ouvidos os órgãos ambientais estaduais competentes, quando couber. O licenciamento ambiental deve obedecer às seguintes etapas:

- Etapa I - encaminhamento da FCA (Ficha de Caracterização das Atividades) por parte do empreendedor, onde são descritos os principais elementos que caracterizam as atividades e sua área de inserção e são fornecidas informações acerca da justificativa da implantação do projeto, seu porte e a tecnologia empregada, os principais aspectos ambientais envolvidos e a existência ou não de estudos e licenças ambientais emitidas por outras instâncias do governo.
- Etapa II - enquadramento das atividades pelo IBAMA, considerando as seguintes classes:
 - a) Classe 1 - Levantamentos em profundidade inferior a 50 m ou em áreas de sensibilidade ambiental, sujeitos à elaboração de PCAS e EAS/RIAS;
 - b) Classe 2 - Levantamentos em profundidade entre 50 e 200 m, sujeitos à elaboração de PCAS e EAS/RIAS;
 - c) Classe 3 - Levantamentos em profundidade superior a 200 m, sujeitos à elaboração de PCAS;
- Etapa III - emissão do TR (Termo de Referência), documento fornecido ao empreendedor, em que são estabelecidas as diretrizes, o conteúdo mínimo e a abrangência dos estudos ambientais necessários ao licenciamento da atividade pelo IBAMA, no prazo de 15 (quinze) dias úteis, contados da data de protocolo da solicitação;
- Etapa IV - entrega da documentação pelo empreendedor, juntamente com o requerimento da LPS (Licença de Pesquisa Sísmica);

- Etapa V - atendimento pelo empreendedor de esclarecimentos e informações complementares, caso solicitados, no prazo máximo de 4 (quatro) meses, contados do recebimento da respectiva notificação, prazo esse passível de prorrogação, desde que justificado, acordado com o IBAMA e requerido até 30 (trinta) dias antes de sua expiração;
- Etapa VI - manifestação por parte do IBAMA pelo deferimento ou indeferimento da LPS.

De acordo com a resolução o órgão ambiental tem o prazo de seis (6) meses a contar do ato de protocolo de requerimento até o seu deferimento ou indeferimento, ressalvados os casos em que houver EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e seu respectivo RIMA (Relatório de Impacto Ambiental), quando o prazo será de doze (12) meses. A contagem do prazo previsto será suspensa durante a elaboração dos estudos. Além disso, as informações apresentadas durante o processo de licenciamento devem ser sistematizadas em banco de dados coordenado pelo IBAMA.

Nos casos de atividades sísmicas não potencialmente causadoras de significativa degradação ambiental o IBAMA, sempre que julgar necessário, ou quando for solicitado por entidade civil, pelo Ministério Público, ou por 50 (cinquenta) pessoas maiores de dezoito anos, promoverá reunião técnica informativa.

Os custos referentes ao processo de licenciamento, incluindo a eventual realização de audiência pública ou de reunião técnica informativa, correm por conta do empreendedor.

O licenciamento ambiental em bacias terrestres (*onshore*) é da competência do órgão ambiental de cada estado, salvo havendo regulação legal em contrário. O sistema estadual de licenciamento ambiental das atividades petrolíferas só é realizado em atividades *onshore*, sendo os estados produtores como: Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Rio Grande do Norte e Sergipe responsáveis por regulamentar os procedimentos legais, de acordo com suas características espaciais, institucionais e legais próprias, alinhando sempre seus instrumentos de gestão ambiental com as normas gerais estabelecidas pela União (SILVA, 2013).

2.2 Métodos de Prospecção

O termo prospecção diz respeito às técnicas empregadas na pesquisa, localização e estudo preliminar de uma jazida mineral ou petrolífera. Atualmente existem vários

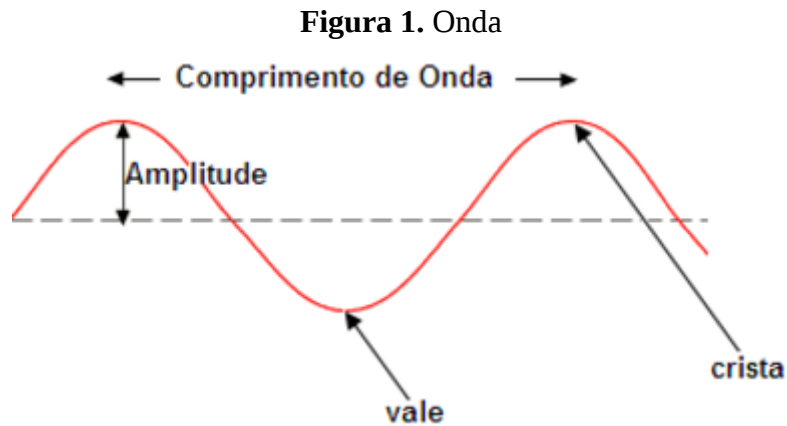
estudos para determinar se uma área possui reservas de hidrocarbonetos subterrâneas, tais técnicas podem ser geofísicas ou geológicas. Dentre os métodos geofísicos podem ser citados: gravimétricos, sônicos, sísmicos, magnéticos, de imagem e ressonância, que fornecem dados específicos e de boa qualidade. Esses métodos são responsáveis pela determinação ou não da presença, posição e organização das estruturas geológicas abaixo da superfície. Dentre os métodos de prospecção comercial, um dos mais empregados é o sísmico, tais métodos baseiam-se na emissão de ondas geradas artificialmente por diversos meios como: explosões, tiros de ar comprimido, impactos mecânicos ou caminhões vibradores (FIGUEREDO, 2018).

2.2.1 Método Sísmico

A sismologia estuda as ondas sísmicas como aquelas geradas durante terremotos (onde a fonte de ondas vem de um hipocentro). Essas ondas também podem ser geradas artificialmente. Dentre os tipos de ondas sísmicas relevantes para o método sísmico de reflexão podem ser ressaltadas, as ondas P (primária) que são ondas que se deslocam pelo interior da terra a uma velocidade relativamente alta e as ondas S (secundária) que tem um deslocamento bem mais lento em comparação com as ondas primárias. Essas ondas também são conhecidas como ondas transversais e longitudinais, respectivamente. É possível usar as ondas P e S para obter informações precisas sobre as camadas abaixo da superfície de uma determinada área de interesse (SERWAY JR, 2014).

A trepidação na superfície de um líquido, os sons que compõe uma música além de alguns sons peculiares cujos aparelhos auditivos humanos não são adaptados para ouvir (devido a sua frequência), são exemplos de ondas (Figura 1), de tipos variados. Uma onda mecânica é caracterizada por uma perturbação que desloca um sistema previamente em equilíbrio onde tal perturbação se propaga e/ou se movimenta ao longo desse sistema. Essa propagação carrega consigo energia. As ondas mecânicas são ondas que necessitam de um meio material para se propagar, conforme a onda se propaga no meio, as partículas do mesmo sofrem diversos tipos de deslocamentos que vão depender das características dessa onda. Uma onda mecânica pode ser mais bem explicada através de uma corda tensionada, onde é aplicada uma perturbação (balanço) a uma de suas extremidades, é possível observar que essa agitação vai se deslocar ao longo do comprimento desta corda, a esta perturbação é dado o nome de onda transversal, que

pode ser dividida em crista e vale. Dentre as características mensuráveis relevantes para se estudar uma onda mecânica podem ser citadas: velocidade da onda, amplitude, período, frequência e comprimento de onda (YOUNG; FREEDMAN, 2008).



Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

As ondas penetram na terra, e à medida que a energia liberada no impacto for mais alta, maior será a profundidade que a onda penetrará (relação diretamente proporcional). Conforme penetram, as ondas irão atravessar diferentes camadas geológicas que apresentam características físicas distintas e, por essa razão, vão sofrer reflexão e refração. Uma parcela da energia contida numa onda será refletida na interface entre duas camadas geológicas. O restante continuará penetrando na terra, porém, em um ângulo diferente, pois foi refratada. A reflexão e a refração são ambas regidas pelas leis da ótica. Na reflexão, o ângulo de incidência da onda é igual ao ângulo de reflexão. A refração pode ser descrita através da lei de Snell (equação 01): a relação entre os senos dos ângulos de incidência e de refração é igual à relação da velocidade da onda que incide e da onda refratada.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_2}{v_1} \quad (01)$$

A velocidade das ondas sísmicas nas camadas de rochas em subsuperfície depende tanto da densidade das rochas pelas quais as ondas circulam como de suas propriedades elásticas. Quando se trabalha com baixos níveis de energia, as rochas se deformam conforme as ondas passam por elas, porém, logo após a passagem da onda as rochas voltam ao seu estado anterior. Tendo em vista essa afirmação de que a deformação

causada pelas ondas não é permanente, pode-se afirmar que as rochas apresentam características elásticas. Próximo às fontes sísmicas, sejam naturais ou artificiais, a rocha pode sofrer deformação permanente devido à intensidade da energia gerada (THOMAS *et al.*, 2004).

A deformação longitudinal sofrida pelas rochas (compressão e alongamento) em função da passagem de uma onda P (longitudinal) é medida pelo parâmetro elástico k , já a deformação cisalhante produzida pela onda S (transversal) é proporcional ao parâmetro μ (módulo de cisalhamento). Como já citado, as velocidades das ondas P e S vão depender da elasticidade e da densidade da rocha que atravessam. Existem instrumentos capazes de detectar os movimentos do solo causados pela passagem de uma onda sísmica. Esses instrumentos são denominados de geofones, ou hidrofones (usados nos oceanos ou lagos). Os sismógrafos registram a passagem da onda em papel gerando um sismograma, porém, já existem modelos mais modernos capazes de gerar registros digitais bem mais práticos cujos dados estão prontos para serem analisados. A finalidade do estudo sísmico define o desenvolvimento da pesquisa, podem-se analisar as ondas refletidas ou as ondas refratadas (THOMAS *et al.*, 2004).

2.2.1.1 Sísmica de Refração

Halliday, Resnick e Walker (2009) definem o fenômeno de refração como sendo a passagem de uma onda de um meio para outro com propriedades distintas, nesse processo a direção da onda sofre um desvio. A frequência das ondas não é alterada no processo de refração, no entanto, a velocidade e o comprimento de onda muitas vezes se alteram.

Na prospecção por refração, as ondas percorrem grandes distâncias até serem captadas pelos geofones, e apesar de conterem informações de grandes áreas, são consideradas imprecisas em comparação com o método de reflexão (THOMAS *et al.*, 2004).

A chegada da onda sísmica após passar através das camadas do subsolo a um detector afastado da fonte sísmica sempre representa ou um raio direto ou um raio refratado. Dessa forma é possível realizar o levantamento de dados simples de refração, nos quais a atenção é voltada somente na primeira chegada (*onset*) da energia sísmica, e os gráficos gerados referentes a tempo-distância dessas primeiras chegadas são analisados para obter informações sobre as interfaces refratoras em profundidade (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

Cardoso (2012) diz que os métodos sísmicos em geral proporcionam uma excelente compreensão da formação geológica abaixo da superfície devido sua capacidade de fornecer um panorama em três dimensões (3D). Em geral o método de refração é utilizado para localizar superfícies refratoras, que são separadas por camadas terrestres com diferentes impedâncias acústicas (velocidades sísmicas x densidades), tendo em vista que esse método se baseia em registrar o tempo de chegada dos primeiros impulsos, a partir de um ponto de origem, a um conjunto de detectores distribuídos sobre a superfície. Essas ondas se propagam para baixo até a interface, são refratadas ao longo deste limite e retornam à superfície onde são detectadas pelos receptores. As primeiras chegadas próximas ao local de origem das ondas seguem trajetórias diretamente da fonte para o detector. Se o material abaixo da interface permite uma maior velocidade de passagem para esta onda, logicamente as ondas que se propagam ao longo da interface serão os primeiros a chegar aos receptores mais distantes do local de origem. Caso o tempo de chegada seja utilizado numa curva de tempo por distância, a taxa de variação dos tempos de chegada entre os detectores é proporcional à velocidade do material mais profundo acima do ponto previamente identificado.

A sismologia de refração pode ser aplicada a uma incrível variedade de estudos científicos e técnicos, dentre os quais existem aqueles voltados à engenharia e os experimentos de larga escala projetados para estudar a estrutura da crosta como um todo ou da litosfera, entre outros. Essas medições de refração podem fornecer dados de velocidade capazes de revelar, dentre outras coisas, a possibilidade de naquela área existirem hidrocarbonetos a serem explorados (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

2.2.1.2 Sísmica de Reflexão

A sísmica de reflexão constitui a técnica geofísica mais amplamente utilizada e conhecida a nível mundial. O estágio atual de sofisticação da técnica é, em grande parte, o resultado dos enormes investimentos feitos pela indústria do petróleo para torná-lo cada vez mais preciso junto com o desenvolvimento da tecnologia eletrônica e de computação avançada capaz de gerar mapas multidimensionais de subsuperfície. As seções sísmicas agora produzidas mostram detalhadamente as estruturas geológicas em escalas que variam de dezenas de metros da camada de solo intemperizado até a litosfera como um todo. Parte do sucesso desse método deve-se ao fato de que os dados

brutos (*raw*) são processados de modo a produzir uma seção sísmica que é uma imagem de fácil entendimento da estrutura geológica na qual se tem interesse. Isso também acaba por criar uma armadilha, pois uma seção sísmica é similar, porém fundamentalmente diferente de uma seção geológica em profundidade. O geólogo só será capaz de realizar boas interpretações se souber como o método de reflexão é utilizado e como as seções sísmicas são geradas (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

Segundo Thomas *et al.*, (2004), no método sísmico de reflexão as diversas reflexões irão fornecer uma visão detalhada das camadas geológicas, sendo, portanto, o mais empregado na prospecção de hidrocarbonetos. Há muitas décadas a prospecção por reflexão vem se sobressaindo dentre as demais no que diz respeito a sua precisão em encontrar novas zonas produtoras de hidrocarbonetos, bem como sua viabilidade de utilização.

Esse método se baseia no princípio de que as ondas se propagam com velocidade maior em formações duras em comparação com as formações moles, além disso, as ondas de choque se convertem em reflexo quando atingem camadas duras como as de calcário. As dimensões da camada são reveladas pela medida do tempo que a onda leva para se deslocar da superfície até a camada onde sofre reflexão retornando a superfície onde é captada pelos instrumentos de gravação. Em termos de tecnologia, a sísmica de reflexão vem se provando cada vez mais precisa na medida em que novos equipamentos e técnicas são desenvolvidos nesse setor. A prospecção em grande escala (em geral aquela de bacias sedimentares) é preferencialmente realizada através deste método, uma vez que ele é mais barato e mais preciso quando empregado dessa forma (NEIVA, 1983).

2.2.2 Outros Métodos de Prospecção

Outros métodos utilizados na prospecção de jazidas são: gravimétrico, magnético, radiométricos e termométrico (NEIVA, 1983).

Para Kearey, Brooks e Hill (2009) além do método sísmico de reflexão, se destacam também na prospecção de petróleo os métodos gravimétricos e magnéticos. O gravimétrico utiliza instrumentos na superfície do solo buscando pequenas variações de gravidade local. Esse método se baseia no princípio de que as rochas mais densas exercem maior atração gravitacional que as rochas menos densas. De acordo com o

princípio de corpo causador, uma unidade de rocha com uma densidade diferente da formação rochosa que a circunda gera uma anomalia gravitacional, e tais anomalias são analisadas através do método gravimétrico, podendo ser interpretadas como a ocorrência de um vale em profundidade, domos de sal, entre outras situações geológicas.

Já o método magnético analisa a disposição das rochas com propriedades magnéticas, através da observação das variações locais da intensidade e direção do campo magnético. Em geral esse estudo é feito com o uso de instrumentos de medição específicos (magnetômetros). Tal método utiliza as anomalias magnéticas para estudar a geologia de uma determinada área, podendo ser realizado em terra, água ou mesmo no ar, sem alterações significativas na sua precisão, além de ter uma ampla variedade de aplicações, como no caso de levantamentos de pequena escala para engenharia, arqueologia e detecção de objetos metálicos enterrados, até levantamentos de grande escala realizados para investigar estruturas geológicas regionais e prospecção de petróleo (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho é baseado na análise qualitativa de dados reais das etapas de planejamento para aquisição de dados sísmico, realizados por duas empresas que atuam na área de prospecção sísmica de petróleo. Consiste da análise comparativa entre os dados do planejamento descrito em relatórios específicos pelas empresas.

Tais relatórios levantam os seguintes aspectos: localização da área do levantamento, aspectos geológicos e geomorfológicos, levantamento topográfico, análise climática, análise da vegetação, aspectos socioeconômicos, permissoria, sismografia, estimativa de período de execução da operação sísmica, composição de bases e alojamentos, logística, segurança, legislação ambiental e estimativa de dificuldades operacionais.

Para atender a solicitação as empresas que colaboraram com este estudo terão seus nomes preservados, e serão tratadas como: Empresa A e Empresa B. As bacias sedimentares e os municípios onde às operações sísmicas foram realizadas pelas empresas serão tratados de forma genérica.

Os dados obtidos foram tratados de forma analítica, e muitas das discrepâncias que não foram possíveis de se esclarecer através da análise dos relatórios foram sanadas por meio de questionamentos aos colaboradores dessas empresas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição Geográfica da Área

A descrição relativa à localização geográfica da área onde os levantamentos sísmicos serão executados deve sempre preceder as informações referentes às outras características (ex.: geológicas, fisiográfica, entre outras) podendo apresentar diferentes níveis de detalhamento no relatório a depender do contexto geográfico em que esteja inserida.

Através da análise realizada nos relatórios, verificou-se que a Empresa B apresentou um maior detalhamento referente à localização da área onde desenvolveu a campanha sísmica, incluindo mapa de localização situando todos os municípios da área de abrangência da campanha, descrição e mapa dos principais aeroportos localizados próximos à área e principais rodovias, além de imagens (fotografias) das principais vias de acesso. Já a Empresa A fez uma breve descrição da localização da área do projeto, incluindo apenas um mapa geral de localização e citou os municípios interceptados pelo trajeto das equipes.

4.2 Aspectos Geológicos

Observou-se que as características inerentes à geologia da área do levantamento são obtidas através de revisão bibliográfica em literatura específica.

Os dados geológicos obtidos da revisão da literatura e que vão compor o referencial teórico dos relatórios são correlacionados com os dados obtidos no levantamento sísmico auxiliando na interpretação estrutural e estratigráfica da área estudada.

4.3 Levantamento Topográfico

Com base na análise dos relatórios, averiguou-se que a Empresa A iniciou sua fase de levantamento topográfico com a geração de uma rede geodésica de apoio por meio da implantação, rastreamento e processamento dos marcos de referência, pontos de apoio e pontos de orientação de referência que tem por finalidade garantir o controle horizontal e vertical do levantamento topográfico realizado na área. A aquisição dos dados topográficos foi realizada em 17 dias, já a abertura e nivelamento da área foram

realizados em 19 dias. O trabalho contou com duas (2) equipes de geodésia, uma (1) equipe de croqui e quinze (15) equipes para abertura e nivelamento do terreno.

A empresa B incluiu em sua fase de levantamento topográfico as seguintes atividades: mapeamento das linhas sísmicas; locação dos pontos de tiro e estações receptoras que definem as linhas sísmicas, neste programa especificamente por meio de topografia; cálculo e controle de qualidade das coordenadas de acordo com as especificações do projeto.

A execução de todas as atividades seguiu as especificações dos procedimentos operacionais para execução de levantamentos topográficos da empresa. O trabalho foi realizado por três (03) turmas de topografia em campo.

A empresa utilizou satélites geoestacionários associados ao sistema GPS para obter dados da topografia no local de interesse.

A movimentação de pessoal e equipamentos ao longo das linhas sísmicas depende invariavelmente da qualidade da abertura, da adequação e da sinalização das picadas (locais de inserção de geofones) que são abertas durante o levantamento topográfico.

Assim sendo, a fase de levantamento topográfico é de suma importância para a correta distribuição e rastreio das linhas sísmicas e para a definição do fluxo geral da operação sísmica de ambas as empresas, tendo em vista que não é possível transitar por certos locais devido a sua topografia peculiar, sendo necessário definir certos desvios previamente.

4.4 Aspectos Climáticos

Devido a todos os fatores envolvidos em um levantamento sísmico (a operação muitas vezes ocorre em áreas isoladas, acidentadas e de difícil acesso), os fatores climáticos da área de interesse são de extrema importância para o andamento da operação como um todo. Como um dos fatores mais importantes do planejamento é a segurança, é preciso levar em conta às possíveis intempéries e cenários adversos nos quais a equipe e os equipamentos podem estar inseridos.

As duas empresas descreveram de forma geral com base em dados da literatura os seguintes aspectos relacionados ao clima da região de abrangência da área do levantamento sísmico: tipo(s) de clima, índices de precipitação, umidade relativa do ar, temperatura e índices de evaporação.

A análise de aspectos climáticos em atividades de sísmica é extremamente relevante, pois de acordo com a mesma é possível planejar inclusive, pausas no andamento da operação caso necessário, uma vez que dar prosseguimento a uma operação desta natureza em, por exemplo, um dia chuvoso, pode acarretar uma série de adversidades maiores como atolamento de veículos, interferência nas comunicações e até mesmo, em casos extremos, acidentes envolvendo os colaboradores.

4.5 Aspectos Socioeconômicos

A apropriação e uso do solo (questões que são refletidas na fase de permissoria) assim como o acesso a bens e serviços sofrem variações em função da localização geográfica refletindo nas principais atividades econômicas desenvolvidas em uma região, por estes motivos observa-se que ambas as empresas desprezaram os aspectos socioeconômicos de cada região onde a área do levantamento está inserida.

Devido à grande extensão das áreas estudadas, ocasionalmente cada operação acabou envolvendo vários municípios e comunidades.

A Empresa A fez uma análise socioeconômica detalhada dos seguintes aspectos referentes aos municípios em que está inserida: quantitativo de população urbana e rural de cada município, concentração populacional, densidade demográfica, renda per capita média, taxa média anual de crescimento e desigualdade de renda. Boa parte dos dados socioeconômicos utilizados pela empresa foi obtida do banco de dados da PNUD (Programa de Nações Unidas para o Desenvolvimento).

Já empresa B fez uma análise sucinta dos aspectos socioeconômicos da área, avaliando principalmente a situação da malha rodoviária e recursos estaduais. É possível que a empresa não tenha se aprofundado muito nesse aspecto, pois, a campanha praticamente não interceptou centros urbanos e zonas residenciais.

4.6 Permissoria

A fase de permissoria consiste na negociação para aquisição da permissão para se atuar em áreas restritas, tais como: propriedades privadas e propriedades rurais. A fase de permissoria engloba também, emissão e pagamento de laudos indenizatórios devido à utilização e eventuais danos às propriedades utilizadas, tais como: dano a plantações e calçamento, quebra ou dano a estruturas, poluição, etc.

A empresa A realizou essa fase do trabalho com o apoio cartográfico de mapas de acesso (para definição dos limites das propriedades), aparelhos de navegação GPS

(*Global Positioning System*), no levantamento das informações estratégicas para a logística das operações, além das informações obtidas através do contato com os superficiários (aquele que adquiriu direito pela superfície de um terreno) para a autorização das atividades da equipe nas propriedades. Além disso, nessa fase, a empresa elaborou uma tabela indenizatória com base nos preços das culturas desenvolvidas na área, fornecidos pela secretaria do estado, tendo como base valores médios da cultura nos últimos cinco anos.

Posteriormente a fase anterior, a Empresa A revisou os dados obtidos durante a avaliação socioeconômica para então realizar os primeiros contatos da equipe sísmica com as comunidades situadas na área do levantamento. Nessa fase seus trabalhos incluíram o esclarecimento das atividades que serão desenvolvidas, solicitação de autorizações por escrito para execução das atividades dentro das propriedades rurais, além da emissão e pagamento de laudos indenizatórios devido à utilização e eventuais danos às propriedades utilizadas que pode ser averiguado pela própria empresa ou solicitado pelo proprietário. Em caso de concordância, a empresa segue com a indenização, caso contrário o processo segue no âmbito legal. Em geral, foram agendadas palestras com os líderes e representantes comunitários, para o esclarecimento das atividades realizadas, falando sobre materiais, ferramentas e sobre o pessoal que iria transitar pelas propriedades, além do desenvolvimento de trabalhos de responsabilidade social, disponibilizando recursos de transporte, incluindo a ambulância da equipe, médico e enfermeiro, o que só é possível devido à conclusão da etapa de permissoria.

A Empresa B estabeleceu através de seus profissionais um contato mais próximo com os proprietários de terra com o objetivo de explicar todas as etapas a serem desenvolvidas durante a operação sísmica em suas propriedades. Além deste contato inicial, a empresa se disponibilizou a qualquer momento no decorrer da operação, caso os proprietários e comunidade necessitem de maiores informações sobre a operação e também garantiu cumprir tudo que foi acordado nas negociações.

4.7 Cronograma das Atividades

Informações relativas ao período de execução das atividades operacionais são de fundamental importância por exemplo, para o estabelecimento de contratos celebrados entre empresas, bem como, para o cumprimento do tempo que foi negociado com os proprietários de terra para a execução dos serviços nas propriedades particulares.

Verificou-se que as duas empresas apresentaram cronograma para realização das atividades sísmicas.

A Empresa A, definiu em seu cronograma o tempo para execução da permissoria, topografia, perfuração, carregamento, sismografia, recuperação da área e controle de qualidade. A Empresa B definiu prazos para o planejamento detalhado da operação, licenciamento, aquisição sísmica, processamento sísmico e confecção do relatório final.

Pré-definidos os prazos, é necessário que os mesmos sejam cumpridos conforme o planejamento, pois o atraso numa operação deste porte acarreta prejuízos financeiros por hora de atraso.

4.8 Sismografia

A etapa de sismografia consiste na obtenção dos dados sísmicos, portanto, o planejamento operacional realizado para execução da mesma deve apresentar as características do processo, descrição dos equipamentos utilizados e do procedimento operacional de campo e recurso humano necessário para operação.

Os pontos de tiro e/ou pontos de vibração e as estações receptoras que compõem as linhas sísmicas devem ter suas coordenadas definidas no projeto.

A Empresa A utilizou explosivo como fonte das ondas sonoras e a empresa B utilizou os chamados vibroseis (Figura 2), que são veículos pesados dotados de uma placa vibratória que geram as vibrações responsáveis pela geração das ondas.

Figura 2. Vibroseis da empresa B utilizado para gerar as ondas sísmicas



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

A empresa A descreveu a configuração dos pontos de tiro utilizados no programa inclusive com figura esquemática contendo os parâmetros dos furos. Descreveu o tipo de carregamento que seria utilizado nos furos, como também as condições de segurança e controle de qualidade da operação.

A equipe de sismografia da empresa B foi à responsável pela preparação e posicionamento dos Pontos de Vibração (VPS) onde ocorre a gravação dos dados sísmicos pelo sismógrafo. A empresa pré-definiu as etapas de sua operação, dividindo as mesmas em: definição das linhas sísmicas do levantamento (mapeamento definitivo das estradas); definição da divisão das linhas sísmicas (quebra das linhas conforme angulação das estradas); definição das bases e sub-bases operacionais para apoio logístico do levantamento; definição da sequência de aquisição; definição do sistema de comunicação entre as diferentes frentes do levantamento, bases e sub-bases; identificação das dificuldades operacionais e obstáculos previstos; força de trabalho; controle de qualidade e elaboração de procedimentos necessários para as principais atividades que serão realizadas.

A Empresa B, descreveu detalhadamente as características dos caminhões vibradores utilizados na operação, inclusive o funcionamento da parte eletrônica.

A descrição detalhada dos equipamentos de registro de dados sísmicos (geofones) e a composição das equipes de registro foram verificadas nos relatórios de ambas as empresas.

Observou-se que a Empresa B realizou planejamento para processamento e controle de qualidade dos dados sísmicos de acordo com o seguinte: mapeamento das estradas para definir quais seriam as linhas de aquisição dos dados sísmicos; monitoramento contínuo sobre todas as atividades executadas durante o processo de registro de dados e correção de possíveis problemas que poderiam surgir durante a operação, definição dos procedimentos diários a serem seguidos pelo geofísico de campo, definição do fluxo de pré-processamento e envio dos dados, definição sobre os *softwares* utilizados para o processamento final dos dados, fluxograma com esquema de gravação dos dados em campo.

4.9 Composição de Bases e Alojamentos e Logística

As bases de ambas as empresas foram locadas nos municípios de acordo com a melhor posição geográfica em relação à área do levantamento e melhores condições de

infraestrutura, acessibilidade, comunicação, comércio local e quantidade de imóveis para locação. Em geral, as bases são compostas por: escritórios de permissoria, topografia, perfuração, sismografia, controle de qualidade, gerência, planejamento, transporte, segurança do trabalho, meio ambiente e saúde ocupacional, setores administrativo e financeiro, além da sala de rádio, departamento de pessoal, almoxarifado, salas de treinamento, enfermaria, banheiros e refeitório.

A sequência das operações e logística de aquisição foi baseada nas informações preliminares do projeto, que são conhecidas a partir do reconhecimento de área, dessa forma se pode planejar como será realizada a execução do programa. A empresa B realiza seu planejamento logístico levando em conta também a localização das principais rodovias que cruzam o projeto.

Além disso, ambas as empresas utilizaram mapas de apoio que determinam as rotas a serem utilizadas no transporte de material e pessoal.

4.10 Segurança

No que diz respeito à segurança, tanto Empresa A quanto a B possuem uma política de SMS (segurança do trabalho, meio ambiente e saúde) rígida. O foco está na prevenção de danos à segurança e à saúde dos seus colaboradores, analisando os perigos, os métodos e os recursos utilizados nas tarefas, buscando a identificação dos riscos potenciais, visando à introdução de medidas preventivas que inibam ocorrências futuras de incidentes e de acidentes.

As empresas seguiram a norma de segurança reguladora NR-04 do Ministério do Trabalho e Emprego que rege os serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho.

De acordo com a análise realizada nos relatórios, ambas as empresas realizaram reuniões diárias (Figura 3), presididas pelas equipes de SMS para serem estabelecidos padrões e orientações a respeito das atividades que foram realizadas no dia em questão levando em conta o levantamento feito sobre clima, topografia, geologia e fatores socioeconômicos, para ajudar na preservação e segurança da equipe.

Ambas as empresas realizaram análise específica sobre os colaboradores que trabalham em campo, nos riscos aos quais estão sujeitos com base na sua função e locação.

Figura 3. Concentração de pessoal para reunião matinal de SMS



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

De acordo com as análises realizadas, as duas empresas aplicaram treinamentos gerais de segurança e primeiros socorros aos seus colaboradores e, treinamentos específicos quando necessário de acordo com a função específica exercida por cada um, como por exemplo, teste de direção para aqueles que são habilitados e ao exercer sua função necessitar guiar veículos.

Além disso, verificou-se a preocupação de ambas com fatores mais específicos que também estão relacionados com a segurança, como inspeção e utilização de EPI (equipamentos de proteção individual).

4.11 Proteção Ambiental

Pelo fato de muitas operações de prospecção ocorrerem em locais com extensas faixas de vegetação foi necessário que as empresas fizessem uma análise sobre o tipo de vegetação na qual a área do projeto está inserida.

A empresa A foi bastante sucinta na análise sobre a vegetação inserida na área do projeto, determinando o tipo predominante e fazendo uma breve análise dos impactos antrópicos nesse tipo de vegetação advindo principalmente do desmatamento para cultivos de pastagens, criação extensiva de gado e agricultura de subsistência. Já a empresa B avaliou os aspectos sobre a vegetação de forma detalhada, citando as características de todos os tipos, inclusive o valor médio de umidade relativa para cada

um, bem como peculiaridades pelas quais cada tipo tende a passar (algumas devido à mudança das estações do ano), tais como perda de folhas, retração, altura média das árvores e zonas de transição.

A Constituição Federal Brasileira de 1988 determina o dever de preservar o meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações, desta maneira o território brasileiro possui diversas áreas de proteção ambiental demarcadas dentro das unidades federativas. Portanto, para realização de levantamento operacional de atividades sísmicas, as restrições ambientais deverão ser consideradas na execução das atividades, de acordo com a legislação ambiental vigente.

A Constituição do Brasil assegura às comunidades indígenas a posse exclusiva das terras que tradicionalmente ocupam, além do usufruto exclusivo das riquezas do seu solo e águas. Caso seja necessário, o ingresso nessas áreas é regulamentado por normativas da FUNAI, dependendo também da permissão prévia dos representantes dos povos indígenas envolvidos, conforme dispõe os artigos 6º e 7º, da Convenção 169 da OIT.

As empresas deverão se submeter a processo de licenciamento ambiental para desenvolvimento das atividades sísmicas.

Verificou-se que ambas as empresas possuem licenciamento emitido pelo órgão fiscalizador responsável pelas áreas estudadas.

As normas que regem a segurança do meio ambiente tornam necessário que as empresas de prospecção possuam um plano de gestão ambiental que aborda formas de minimizar os efeitos que as atividades possam vir a causar no meio ambiente.

A Empresa A assegurou em seu relatório realizar ações de sustentabilidade e atendimento aos requisitos legais aplicáveis, ao atendimento dos programas de gestão ambiental e, principalmente, no atendimento às condicionantes ambientais. Assegurou ainda praticar a responsabilidade sócio/ambiental com execução de suas atividades e para tanto, atua na formação dos colaboradores através de campanhas, palestras, treinamentos e diálogos diários a fim de difundir a todos os colaboradores conceitos e atitudes de sustentabilidade, além de estratégias voltadas para a redução e atenuação dos impactos ambientais decorrentes de suas atividades. Apresentou também procedimentos para a gestão de resíduos sólidos.

De acordo com análise realizada no relatório da Empresa B, a mesma afirmou comprometimento com o meio ambiente através de um PGA (Plano de Gestão Ambiental) que determina a forma de acondicionamento, manuseio e destinação final

dos resíduos líquidos e sólidos gerados nas operações. O Plano de Gestão Ambiental da empresa também aborda formas de minimizar os efeitos que as atividades possam vir a causar no meio ambiente.

4.12 Estimativa de Dificuldades Operacionais

Baseadas nos estudos prévios referentes à: geologia, topografia, vegetação e clima, as empresas realizaram um levantamento de possíveis dificuldades operacionais a serem enfrentadas durante as operações.

Foi observado que a empresa A baseou suas estimativas nos efeitos que tais aspectos ambientais teriam sobre seus equipamentos e veículos de forma a antecipar possíveis situações ou atos de risco que poderiam no futuro, contribuir ou serem a causa de acidentes, assim sendo, a empresa implementou inspeções regulares para verificação das condições de segurança das frentes de serviço, veículos, máquinas e instalações. Devido à irregularidade de alguns trechos, muitos veículos pesados precisam além de suportar carga, terem capacidade de subir alguns trechos com inclinação bastante acentuada, podendo também atuar sob chuva forte, neblina ou nevoa e existe ainda a possibilidade de certos veículos necessitarem atravessar trechos alagados, para tanto existe a necessidade de estes veículos estarem em plenas condições de funcionamento.

Os relatórios da empresa A mostraram que comumente desvios e não conformidades são identificadas através dessas inspeções, onde fiscalização e ações corretivas são aplicadas de imediato com eficácia. Durante cada inspeção foram avaliados diversos quesitos de SMS que, caso estivessem em desacordo com os padrões, tornam-se não conformidades e passam a ser monitorados visando às adequações as normas preestabelecidas. O principal fator relevante na estimativa de dificuldades operacionais para a empresa A, mostrou-se ser a topografia.

A empresa A ainda antecipou os acidentes causados por desvios de conduta, praticando observações de comportamento, para a verificação do cumprimento das normas de SMS por parte dos colaboradores. Nesse quesito, o fator mais provável na causa de acidentes operacionais é o não uso e uso incorreto dos EPI's durante as atividades.

Baseado nesses dados a empresa A gerou um gráfico com as frações de dificuldades e contratempos operacionais.

A empresa B realizou reconhecimento de área para verificar algumas dificuldades operacionais a serem enfrentadas durante a execução do programa. Dentre os quesitos avaliados, mais uma vez a relevância foi dada a viabilidade de veículos pesados transitarem por estradas e vias. São considerados trechos urbanos, estradas de barro que podem causar atolamento e grau de conservação de pontes no percurso.

Para cada via a ser transitada foi realizado previamente uma APR (Análise Preliminar de Risco), tendo em vista que devido à necessidade de se passarem os vibroseis por tais vias, as mesmas precisam ser pré-definidas com exatidão.

Com base nos aspectos climáticos da área, a empresa B possui uma estimativa dos dias que as atividades podem ocorrer sob chuva e de acordo com o SMS, uma série de procedimentos foram adotados para esses dias, entre os quais: todos os colaboradores devem utilizar capa de chuva; de acordo com as condições do tempo, o capataz, coordenador de linha e observador avaliarão as dificuldades nas operações e conforme análise de risco será decidido pela paralisação ou continuação das operações; em caso de ocorrência de raios a operação será paralisada, abrigando os funcionários em locais seguros; os funcionários devem se comunicar via rádio sobre os riscos da operação; motoristas devem manter uma velocidade baixa e, somente devem usar o pisca-alerta se necessitar parar o veículo; caso tenha a visibilidade comprometida por causa da chuva ou neblina e cerrações, o motorista ou condutor deverá parar o veículo em local seguro e comunicar via rádio as condições na sua localização; se a chuva forte persistir, o observador é responsável por parar a operação e, aguardar por melhoria do tempo e em último caso optar pelo retorno à base; caso a operação seja paralisada, o observador deverá comunicar-se com a base sobre as condições climáticas, informando ao chefe de equipe sobre o cancelamento das atividades ao longo do dia; no retorno à base, motoristas e condutores devem sair em comboio de pelo menos dois veículos mantendo sempre a comunicação e, tomando decisões seguras para que o retorno aconteça sem nenhuma ocorrência anormal.

Conforme reconhecimento de área a Empresa B, verificou que alguns trechos de linhas sísmicas apresentavam obstáculos que impossibilitam a passagem dos vibradores, como o caso de pontes sem condições de segurança (Figura 4) ou mesmo inviáveis para a passagem de veículos. No caso das pontes que se apresentavam em más condições, a empresa B realiza uma possível recuperação das suas estruturas ou utiliza pontes móveis sobrepondo às danificadas. No caso da necessidade de a empresa realizar restauração de

pontes, à devida autorização deve ser solicitada a prefeitura do município onde a área está situada.

Figura 4. Ponte inviável para passagem de veículo pesado



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da análise realizada nos relatórios de planejamento para operações sísmicas foi verificado que existe uma forte correlação entre os aspectos considerados pelas empresas, estando os mesmos relacionados em três vertentes principais: custos, segurança e aspectos legais.

Algo a ser ressaltado, é o fato de que apesar das semelhanças nos levantamentos, os relatórios analisados descrevem duas diferentes zonas de prospecção. A empresa A realizou sua operação em contato direto com diversos centros urbanos, enquanto que a empresa B, nesta operação em particular, teve muito pouco contato com estes centros.

No que diz respeito aos custos, observou-se uma notável busca de ambas as empresas por firmar uma campanha para obtenção de dados sísmicos o menos onerosa possível. Isso foi claramente verificado na análise dos seguintes aspectos: levantamento topográfico, análise climática, aspectos socioeconômicos, permissoria, estimativa de período de execução, sismografia, composição de bases e alojamentos e logística.

Os custos estão presentes no planejamento de várias etapas das operações sísmicas, a exemplo da análise dos aspectos climáticos, que por mais que pareça ser um fator plenamente atrelado à segurança, influi diretamente no regime de manutenção preventiva de determinados veículos e equipamentos, tendo em vista que esse tipo de manutenção gera menos despesa que a manutenção corretiva.

A outra vertente observada foi à segurança, ambas as empresas realizaram diversos estudos e estabelecem medidas nesse âmbito, embasadas sempre pela equipe de SMS e considerando os aspectos pertinentes. Nesse contexto podem ser citados: levantamento topográfico, análise climática, sismografia, permissoria, composição de bases e alojamentos e logística, segurança e estimativa de dificuldades operacionais.

A terceira vertente considerada está relacionada ao âmbito legal, e diz respeito à necessidade das empresas se submeterem a processos de licenciamento ambiental para realizar as atividades e obtenção de permissão para o trabalho em áreas privadas. O início das operações deve sempre ocorrer após a obtenção dessas autorizações, de modo a evitar infringir leis ambientais ou gerar transtorno de ordem legal com os proprietários de terras na área do levantamento sísmico. Entre os aspectos envolvidos nessa vertente podem ser citados: levantamento topográfico, aspectos socioeconômicos, permissoria, sismografia e aspectos ambientais.

Diante das considerações anteriores, verifica-se que a fase de planejamento operacional para o desenvolvimento de atividades sísmicas é de fundamental importância para o sucesso da operação, bem como para proteção ambiental, segurança das equipes envolvidas e controle de despesas.

6 REFERÊNCIAS

- AMUI, S. **Petróleo e Gás Natural para Executivos: Exploração de Áreas, Perfuração e Completação de Poços e Produção de Hidrocarbonetos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.
- BRASIL. Lei nº 23, de 7 de Dezembro de 1994. **Dispões sobre exploração, perfuração e produção de petróleo e gás natural**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res2394.html>. Acesso em: 31 março 2018.
- CARDOSO, L. C. **Logística do petróleo: Transporte e armazenamento**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.
- CARDOSO, L. C. **Petróleo: Do poço ao posto**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.
- CRAFT, B. C.; HAWKINS, M. **Applied petroleum reservoir engineering**. 2 ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, Inc., 1990.
- FIGUEREDO, A. F. **Prospecção de petróleo**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/economia/prospeccao-de-petroleo>. Acesso em: 28 março 2018.
- GAUTO, M. A. **Petróleo S.A.: Exploração, produção, refino e derivados**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica. Volume 2**. 8 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.
- JAHN, F.; COOK, M.; GRAHAM, M.; FERREIRA, D. **Introdução a exploração e produção de petróleo: Hidrocarbonetos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- JÚNIOR, E.; MENDONÇA, F.; NETO, O.; XAVIER, Y. **Direito ambiental aplicado à indústria do petróleo e gás natural**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2005.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I., 2009, tradução: COELHO, C. M., 1 ed. **Geofísica de exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MATA, D. **Preços de petróleo e os trabalhadores do setor petrolífero brasileiro**, 2016. Disponível em:

http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6501/1/BRU_n13_Pre%C3%A7os.pdf.

Acesso em: 30 março 2018.

NEIVA, J. **Conheça o petróleo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1974.

NEIVA, J. **Conheça o petróleo e outras fontes de energia**. 4 ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1983.

POPP, J. H. **Geologia geral**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D. **Engenharia de reservatórios de petróleo**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

SATO, M.; CARVALHO, I. **Educação Ambiental: Pesquisa e desafios**. São Paulo: ARTMED Editora S.A., 2005.

SERWAY, R. A.; JR, J. J. **Princípios de física volume 2: oscilações, ondas e termodinâmica**. 5 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SILVA, L. A. **O Sistema de Licenciamento Ambiental Onshore por Área Geográfica na Bacia Potiguar/RN**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Petróleo e Gás) - Universidade Potiguar. Natal/RN, 2013.

SZKLO, A.; ULLER, V. C. **Fundamentos do refino de petróleo: tecnologia e economia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.

YERGIN, D. **The Prize: The Epic Quest for Oil, Money and Power**. *United States of America (USA)*: Simon & Schuster, 1994.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 12 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.