

RAQUEL KAHAN BONATO

**Revisão Bibliográfica em Realidade Virtual e Modelagem 3D Aplicada à
Engenharia Civil e à Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural**

RAQUEL KAHAN BONATO

**Revisão Bibliográfica em Realidade Virtual e Modelagem 3D Aplicada à Engenharia
Civil e à Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Silvio Jorge Simões

Co-orientadora: Márcia Regina de Freitas

Bonato, Raquel Kahan
B699r Revisão bibliográfica em realidade virtual e modelagem 3D aplicada à engenharia civil e à exploração e produção de petróleo e gás natural / Raquel Kahan Bonato – Guaratinguetá , 2015.
112 f. : il.
Bibliografia : f. 102-112

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.
Orientador: Prof. Dr. Silvio Jorge Simões
Co-orientadora: Prof.^a. Dr.^a Márcia Regina de Freitas

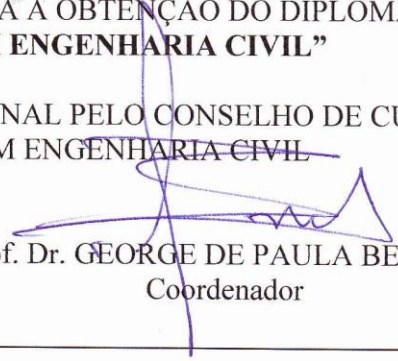
1. Canteiro de obras 2. Realidade virtual 3. Desenho tridimensional I.
Título

CDU 69

Raquel Kahan Bonato


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

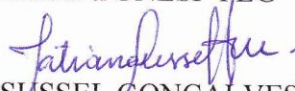
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL


Prof. Dr. GEORGE DE PAULA BERNARDES
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMÕES
Orientador/UNESP-FEG


Profa. Dra. MARCIA REGINA DE FREITAS
Co-orientadora/UNESP-FEG


Profa. Dra. TATIANA SUSSEEL GONÇALVES MENDES
Membro Externo

Dezembro de 2015

A Deus, por tudo que Ele é e merece, e aos meus pais e irmão, que sempre estiveram comigo, nos maiores e menores desafios, e me ensinaram muito do que sei hoje.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por me sustentar, fortalecer, capacitar e viver comigo todas as dificuldades e alegrias deste caminho de batalhas e vitórias.

Aos meus pais, Luiz e Nadia, que sempre estiveram ao meu lado, apoiaram minhas decisões e escolhas e, com muita paciência, me ouviram e aconselharam em todos os momentos.

Ao meu irmão Felipe, meu exemplo de excelência nos estudos e profissionalmente.

Ao meu namorado Henrique, que não deixou que eu me sentisse sozinha em qualquer lugar que estivesse, que me apoiou durante estes últimos anos e caminhou ao meu lado com muita compreensão e carinho nessa estrada de desafios, vales e montanhas.

Às minhas companheiras da República Happy, que me auxiliaram a sobreviver, dividiram parte de suas vidas comigo, aconselharam-me e suportaram meu bom humor incontrolável.

Aos meus amigos de turma, que dividiram conhecimentos, experiências, dúvidas e materiais didáticos para que chegássemos juntos até aqui. Em especial à Daiana e à Maísa, que me acompanharam nos melhores e piores dias dessa conquista.

À minha chefinha do estágio, Thamires, que ouviu minhas reclamações e sempre respondeu com uma palavra amigável e de esperança e, também, que sugeriu parte do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu professor orientador, Silvio, e minha co-orientadora Márcia, que me auxiliaram na realização desta pesquisa.

A todos os professores e funcionários da FEG-UNESP que muito auxiliaram ao longo de minha formação.

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor de Petróleo e Gás PRH-ANP/MCTI no 48 (PRH48).

E a todos que, de alguma forma, participaram desta conquista.

“Confie no Senhor de todo o seu coração e não se apoie em seu próprio entendimento”.

Provérbios 3:5

BONATO, R. K. **Revisão Bibliográfica em Realidade Virtual e Modelagem 3D Aplicada à Engenharia Civil e à Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural**. 2015. 112 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

Neste trabalho, abordam-se os conceitos e as tecnologias referentes à Realidade Virtual, assim como seu histórico e a atualização dos dispositivos não convencionais existentes. Ressaltam-se as técnicas de modelagem tridimensional, pois cada ambiente virtual depende da criação dos modelos e objetos inseridos nesses ambientes. Através da criação de modelos tridimensionais, analisam-se as vantagens e desvantagens da aplicação dessa tecnologia aos projetos relacionados à exploração e produção de petróleo e gás natural e aos projetos de engenharia civil, como os arranjos de canteiro de obras. Dois modelos foram desenvolvidos com a utilização de um programa de modelagem tridimensional, sendo o primeiro de canteiro de obras, ambiente típico da engenharia civil, e o segundo de perfis geológicos para a perfuração de poços de exploração. Assim, analisa-se a concepção dos modelos, registrando as facilidades e dificuldades encontradas em cada caso. Dessa forma, evidencia-se que a modelagem de canteiro apresenta maior complexidade devido ao maior número de elementos a serem modelados, porém o modelo de perfis geológicos possui maior complexidade na interpretação dos dados necessários para as entradas nos modelos, advindos dos métodos sísmicos de investigação de subsuperfícies. Observa-se, ainda, a necessidade de tecnologias e programas específicos voltados à Realidade Virtual, além de maiores conhecimentos para a inserção de programação adequada à interação dos usuários com os ambientes virtuais.

PALAVRAS-CHAVE: Realidade Virtual. Modelagem 3D. Petróleo e gás natural. Perfis geológicos. Arranjo de canteiro.

BONATO, A. T. Literature Review on Virtual Reality and 3D Modeling Applied to Civil Engineering and Exploration and Production of Oil and Natural Gas. 2015. 112 f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

In this work, we discuss the concepts and technologies related to Virtual Reality, as well as its historical and upgrading of existing non-conventional devices. They emphasize the three-dimensional modeling techniques, because each virtual environment depends on the creation of models and objects inserted in these environments. It analyzes also the advantages and disadvantages of applying this technology to projects related to exploration and production of oil and natural gas and civil engineering projects, for example the construction site arrangements by creating three-dimensional models. Two models were developed using a three-dimensional modeling program, the first of the construction site, typical environment of civil engineering, and the second of geological profiles for drilling exploration wells. Thus, it analyzes the design of the models, recording facilities and difficulties encountered in each case. It is evident that the site modeling is more complex due to the greater number of elements to be modeled, but the model of geological profiles have greater complexity in interpreting data needed for the entries in the models, arising from seismic research methods subsurface investigation. It notes also the need for specific technologies and programs related to Virtual Reality, and more knowledge for the insertion of appropriate programming to user interaction with virtual environments.

KEYWORDS: Virtual reality. 3d modeling. Oil and natural gas. Geological sections. Site arrangement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sensorama Machine	17
Figura 2 - Sketchpad e seu inventor Ivan Sutherland.....	18
Figura 3 - Ultimate Display, o primeiro Head-Mounted.....	18
Figura 4 - Técnica Comandos de Gestos para controle de sistemas.....	29
Figura 5 - Capacete HMD desenvolvido pela NASA	31
Figura 6 - Capacete Forte VFX1	31
Figura 7 - Óculos <i>I-glasses</i> , dispositivo mais versátil que os capacetes	32
Figura 8 - Óculos Glasstron, da Sony.....	32
Figura 9 - Protótipo Helmet, da Toshiba, um capacete com visão 360°.....	32
Figura 10 - Óculos da empresa brasileira BeeNoculus e sua forma de utilização.....	33
Figura 11 - <i>DataGlove</i> de neoprene e fibra de vidro	36
Figura 12 - <i>SayreGlove</i>	36
Figura 13 - <i>PowerGlove</i> , da Mattel	37
Figura 14 - Luva com estrutura externa.....	37
Figura 15 - <i>CyberGlove</i>	38
Figura 16 - <i>CyberTouch</i>	38
Figura 17 – <i>CyberGrasp</i>	39
Figura 18 – <i>Geomagic Touch Haptic Device</i>	39
Figura 19 - Dispositivo <i>Falcon</i> , da Novint.....	40
Figura 20 – Colete KOR-FX	41
Figura 21 - Esboço do dispositivo <i>Testa Suit</i>	42
Figura 22 - Caverna Digital da USP	43
Figura 23 - Modelo de Caverna Digital (CAVE)	43
Figura 24 - Ambiente virtual que representa o projeto arquitetônico desenvolvido pela empresa.....	45
Figura 25 – Geração de superfícies através da união por Triângulos.....	47
Figura 26 – Geração de superfícies através da união por Polígonos Planos	47
Figura 27 – Geração de superfícies através da união por Superfícies Livres.....	48
Figura 28 – Superfície cilíndrica obtida a partir da união de superfícies poligonais	49
Figura 29 – Representação do movimento da superfície de um fluido gerado pela queda de uma gota.	49
Figura 30 – Representação do elipsoide	50

Figura 31 – Representação aramada de um paralelepípedo	51
Figura 32 – Ambiguidade visual na interpretação do cubo de representação aramada.....	51
Figura 33 – Representação de um sólido cúbico pelas superfícies limitantes.....	52
Figura 34 – Sólido formado por superfícies poligonais variadas	52
Figura 35 – Representação por Enumeração na Ocupação Espacial.....	53
Figura 36 – Visualização dos Voxels que compõem o objeto.....	53
Figura 37 – Representação por decomposição do espaço em octrees	54
Figura 38 – Decomposição do Espaço em Octrees	55
Figura 39 – Algoritmo com sua repetição até não haver a classe “Cheio-Vazio”	55
Figura 40 - Varredura Rotacional.....	56
Figura 41 - Varredura Translacional	56
Figura 42 - Modelo topográfico obtido por Seção Transversal Serial	57
Figura 43 – Representação de um sólido por CSG através do diagrama de árvore	58
Figura 44 - Mapa de Anomalia de Bouguer, da Bacia do Recôncavo, BA.....	68
Figura 45 - Mapa aeromagnético do campo de petróleo Puckett, Texas.....	68
Figura 46 - Tipos de poços segundo a sua direção	71
Figura 47 - Tipos de plataformas utilizados	74
Figura 48 - Projeto da sala da engenharia (figura sem escala e dimensões em metros).....	82
Figura 49 - Projeto da sala do mestre e sala do administrativo (figura sem escala e dimensões em metros).....	83
Figura 50 - Projeto do almoxarifado (figura sem escala e dimensões em metros).....	83
Figura 51 - Projeto da guarita (figura sem escala e dimensões em metros)	84
Figura 52 - Modelagem da sala da engenharia nas etapas: paredes e sólidos criados para abertura dos vãos (a); posicionamento dos sólidos (b); utilização da técnica booleana para abertura dos vãos (c); adição de elementos de portas e janelas (d) (figura sem escala).....	85
Figura 53 – Representação aramada das paredes e vãos da sala de engenharia	86
Figura 54 - Sala da engenharia modelada em 3D	86
Figura 55 - Modelagem dos elementos preestabelecidos: terreno, tapumes, entradas e locação das construções (volumes roxos).....	87
Figura 56 – Malha de obtenção de dados geológicos por métodos sísmicos	88
Figura 57 - Dados sísmicos posicionados de acordo com a malha	89
Figura 58 – Curvas dos horizontes, traçadas a partir de pontos obtidos por refletores.....	90
Figura 63 - Alternativa de arranjo de canteiro.....	92

Figura 64 - Detalhe da proximidade entre as salas da engenharia (azul), do mestre (vermelha), do administrativo (verde) e o almoxarifado (amarelo).....	93
Figura 64 - Malha de seções sísmicas sintéticas.....	94
Figura 64 – Dados de horizontes criados baseados em métodos sísmicos.....	95
Figura 63 – Malhas 3D dos horizontes relacionadas aos perfis sísmicos.....	96
Figura 64 – Planos de cada horizonte pela vista frontal.....	97
Figura 65 – Modelo do ambiente da guarita e sua disposição interna.....	98
Figura 66 – Interfaces dos perfis geológicos dos horizontes visualizados separadamente	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa da Pesquisa	14
1.2	Objetivos da pesquisa	15
1.3	Estrutura da Pesquisa	16
2	REALIDADE VIRTUAL.....	17
2.1	Histórico	17
2.2	Definição de realidade virtual	21
2.3	Formas de RV	22
2.3.1	RV de simulação	23
2.3.2	Telepresença.....	23
2.3.3	Realidade aumentada	23
2.3.4	RV de projeção	23
2.4	Classificação dos sistemas de RV	24
2.5	Elementos dos sistemas de RV	24
2.5.1	O ambiente virtual.....	24
2.5.2	O ambiente computacional	25
2.5.3	A tecnologia de RV	25
2.5.4	Formas de interação.....	25
2.6	Interação	26
2.6.1	Seleção e manipulação 3D.....	27
2.6.2	Navegação.....	28
2.6.3	Controle do sistema	28
2.6.4	Entrada simbólica.....	29
2.7	Dispositivos dos sistemas de RV.....	29
2.7.1	Dispositivos não convencionais	29
2.8	Aplicações da RV	43
2.8.1	Aplicações na Engenharia Civil	44
3	MODELAGEM 3D.....	46
3.1	Modelagem de superfícies	46
3.1.1	Superfícies poligonais.....	48
3.1.2	Superfícies paramétricas	49
3.1.3	Superfícies quádricas	50
3.2	Modelagem de sólidos.....	50

3.2.1	Representação aramada (wireframe).....	50
3.2.2	Representação por superfícies limitantes.....	51
3.2.3	Representação por Enumeração na Ocupação Espacial.....	53
3.2.4	Representação Implícita.....	55
3.3	Modelagem geométrica.....	56
3.3.1	Geração de Objetos por Varredura ou <i>Sweeping</i>	56
3.3.1	Geometria Sólida Construtiva – CSG.....	57
4	EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL	59
4.1	Histórico mundial.....	60
4.2	Histórico no Brasil.....	62
4.3	Cadeia produtiva de petróleo e gás natural.....	64
4.4	Exploração.....	66
4.5	Perfuração.....	69
4.5.1	Classificação dos poços.....	69
4.5.2	Métodos de perfuração.....	71
4.6	Avaliação técnico-econômica dos poços e reservatório.....	72
4.7	Perfuração marítima.....	72
4.7.1	Tipos de plataformas.....	73
5	MODELAGEM 3D E REALIDADE VIRTUAL APLICADOS À EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL	75
5.3	Produção.....	78
5.4	Centros de Realidade Virtual.....	78
5.4.1	O CENPES.....	79
6	METODOLOGIA.....	81
6.1	Ferramentas utilizadas.....	81
6.2	Modelagem de canteiro.....	82
6.3	Modelagem dos perfis geológicos.....	87
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
8	CONCLUSÃO.....	100
	REFERÊNCIAS	102

INTRODUÇÃO

A indústria de petróleo e gás natural possui relevância diante da economia brasileira. Entre 2000 e 2014, a participação desse segmento no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil aumentou de 3% para 13%, demonstrando sua representatividade [Portal, 2014]. Uma das causas desse aumento consiste da evolução dessa indústria quanto à sua produção, na qual se pode observar a ascendência das produções, principalmente das relativas ao mar.

Apesar disso, no decorrer do tempo, houve uma tendência no aumento progressivo dos custos na realização de levantamentos de hidrocarbonetos, especialmente em locais afastados, como reservatórios de águas profundas ou, ainda, em ambientes mais remotos e hostis. No caso dos reservatórios em águas profundas, as reservas de petróleo e gás enfrentam constantemente o desafio da redução dos custos de todas as atividades de exploração e produção de petróleo e gás [Santos et. al, 2012].

Neste sentido, pode-se utilizar da computação de alto desempenho, da visualização e das tecnologias de colaboração remota com o objetivo de melhorar a produtividade, o que influencia numa melhor relação custo-benefício. Essas tecnologias estão sendo utilizadas e melhor desenvolvidas ao redor de todo o planeta [Santos et. al, 2012]. A interação entre Ciências da Terra e de Engenharia tem o potencial de gerir e interpretar o aumento da quantidade de dados, oriundos da captação nos ambientes reais ou da geração através de simulações de computador. O trabalho de engenheiros e cientistas consiste em detectar características, medi-las, e, finalmente, criar um modelo que tente explicar as características observadas com a melhor precisão possível [Huang; Jiang; Li, 2001].

No campo da engenharia *offshore*, a exploração em águas profundas – incluindo plataformas de petróleo, navios e todos os equipamentos – é atualmente concebida por meio de modelagem computacional de sistemas complexos. Neste aspecto, a concepção de uma nova unidade de produção consiste num processo caro e demorado, que pode levar vários anos e consumir centenas de milhões de dólares, dependendo da complexidade da unidade e da maturidade da tecnologia necessária para desenvolver o projeto de forma técnica e economicamente viável [Santos et. al, 2012].

Na área específica da Engenharia Civil, existe uma dificuldade de entendimento entre o espaço real e as representações adotadas pelos projetos arquitetônicos, visto que as plantas, fachadas e elevações de uma construção são executadas de forma abstrata e, na maioria dos casos, apenas com o objetivo de serem inseridas suas medidas e distâncias. Dessa forma, a RV apresenta um potencial de permitir a visualização e vivência dos usuários dos ambientes

antes que sejam construídos, com a vantagem de evitar retrabalhos oriundos de distorções nas interpretações e imaginações dos projetos [Silva, 2013]. A utilização de modelos 3D substitui as maquetes reais, muitas vezes em tamanhos reduzidos, e permitem maior flexibilidade e agilidade nas alterações de revestimentos e acabamentos dos edifícios [Silva, 2000].

Entretanto, não apenas em relação ao projeto final, mas durante a execução dos serviços, durante as diferentes fases das obras civis, a RV pode contribuir. Essa tecnologia tem potencial para auxiliar nos estudos de canteiro, pois apresenta flexibilidade nas configurações desses espaços, permitindo analisar diferentes alternativas para os posicionamentos dos materiais e a vivência em cada alternativa, potencializando a capacidade das análises [Aymone, 2005].

1.1 Justificativa da Pesquisa

Devido à sua enorme complexidade, os projetos de engenharia *offshore* são divididos em subprojetos inter-relacionados menores, cada um lidando com uma representação abstrata dos outros. Para conseguir a colaboração e interoperabilidade entre esses subprojetos, é necessária uma interface baseada em modelo computacional. Desta maneira, tecnologias de visualização e colaboração remota ajudam a reduzir o problema de custo-benefício da exploração em águas profundas [Tori; Kirner, 2006].

Nos últimos anos, a indústria petrolífera tem conseguido ganhos sensíveis de eficiência e eficácia na realização de projetos utilizando tecnologias de realidade virtual. Em entrevista realizada em 2007, Paulo Ricardo da Silva dos Santos, gerente setorial de Exploração e Produção da Petrobras afirmou: "Um levantamento realizado em um campo de trabalho da Petrobras, antes da utilização dessa tecnologia, indicou que eram necessários perfurar 65 poços, ao custo de 15 milhões de dólares cada, para a extração do petróleo. Com o uso da realidade virtual, esse número diminuiu para 51" [Colavitti, 2007].

As companhias de petróleo estão entre as primeiras a incluir a utilização industrial dos chamados centros de realidade virtual em seus processos, equipados com sistemas de projeção imersiva com grandes paredes de exibição e ferramentas de videoconferência, entre outras soluções [Santos et. al, 2012].

Os recursos de modelagem geométrica tridimensional, visualização científica e ambientes virtuais imersivos vão cada vez mais contribuir na interação das equipes, relacionando aspectos geológicos e as diferentes atividades relacionadas à engenharia. Como a atividade de exploração do petróleo é fortemente dependente da sua posição geoespacial, é

necessária a interação entre realidade virtual e geoprocessamento, particularmente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem organizar diferentes mapas temáticos, propiciando a sua visualização, análise e integração em um mesmo ambiente. Ao integrar com softwares de realidade virtual, os diferentes tipos de dados analisados em um SIG (mapas, imagens de satélite, perfis verticais e dados de volume) podem ser visualizados em condições próximas do real e com precisão adequada para a realização de análises [Huang; Jiang; Li, 2001].

Os arranjos físicos de canteiro também apresentam, em menor escala, uma complexidade em relação aos volumes dos materiais a serem dispostos, assim como alternativas logísticas e exigências de armazenamento, que interferem na produtividade e qualidade dos serviços a serem executados nas obras. Em canteiros restritos, essas análises tornam-se mais complexas, visto que mobilizações de instalações e materiais são indesejáveis por causarem acréscimo nos custos e prazos dos empreendimentos. Assim, a realização de um projeto de canteiro estratégico contribui para o aumento da produtividade e, ainda, para a redução dos custos e desperdícios de uma obra, fatores importantes e visados no mercado [Aymone, 2005].

Portanto, este projeto de investigação busca analisar o potencial da realidade virtual e dos modelos 3D nas diferentes atividades de exploração e produção de gás e petróleo e de arranjo físico de canteiro de obras, objetivando a redução dos custos e dos riscos das operações e a melhoria da produtividade.

1.2 Objetivos da pesquisa

Diante de avanços tecnológicos devido ao investimento de empresas na aplicação de realidade virtual, a presente pesquisa busca apresentar as possíveis vantagens e desafios da criação de modelos 3D para aplicação posterior em ambientes de Realidade Virtual nas áreas de engenharia civil e de exploração e produção de petróleo e gás natural.

Dessa forma, a pesquisa busca analisar o potencial da RV e dos modelos tridimensionais nas aplicações de arranjo de canteiro de obras e de exploração e produção de petróleo e gás natural. Isso se dará através de um levantamento bibliográfico, apresentando um panorama da Realidade Virtual, seus dispositivos existentes e das técnicas de Modelagem 3D, assim como através da criação de dois modelos tridimensionais, sendo um de canteiro de obras e outro de perfis geológicos, através de um software convencional, para a análise das possíveis dificuldades e facilidades relacionadas à construção dos modelos.

1.3 Estrutura da Pesquisa

Esta pesquisa organiza-se em oito capítulos, sendo este introdutório o primeiro deles. Os capítulos 2, 3, 4 e 5 destinam-se na revisão de literatura relevante aos temas abordados nesta pesquisa. O capítulo 6 aborda a metodologia utilizada, enquanto no capítulo 7 encontram-se as análises e discussões dos resultados. Finalmente, no capítulo 8 estão apresentadas as conclusões, principais vantagens e dificuldades da pesquisa, bem como as sugestões para futuros trabalhos.

REALIDADE VIRTUAL

1.1 Histórico

Segundo Gigante (1993), a Realidade Virtual teve seu início na indústria de simulação, com os simuladores de vôo que a Força Aérea dos Estados Unidos passou a construir após a Segunda Guerra Mundial.

As primeiras proposições a respeito de sistemas imersivos iniciaram no final dos anos 50, com a criação do “Sensorama Machine”, pelo cinematógrafo e inventor chamado Morton Heiling, conforme representado na Figura 1. Este equipamento consistia num simulador que permitia ao usuário ver um filme enquanto estava sentado num veículo e que utilizava imagem estereoscópica, som estéreo, odores, vibração do veículo e projeção de vento no cabelo do usuário de forma a tornar a experiência realista. Essa combinação de efeitos causava uma experiência de imersão que, até aquele momento, era inimaginável. Seu equipamento não obteve sucesso comercial, porém auxiliou na dissipação de suas ideias de integração entre a realidade e o meio virtual [Fisher, 1991].

Figura 1 – Sensorama Machine



Fonte: Inventor (S.d.)

Na década de 1960, o estudante de Harvard Ivan Sutherland inventou o sistema Sketchpad, mostrado na Figura 2, que deu base à denominada computação gráfica. Este protótipo interativo gerava imagens no computador por meio de um tubo de raios catódicos. Além do caráter visual, o sistema incluía recursos de audição e posicionamento com movimentação da cabeça do usuário através de um sensor de movimento [Craig; Sherman; Will, 2009]. Posteriormente, no final dessa mesma década, desenvolveu o primeiro capacete de realidade virtual, o “Ultimate Display”, conforme a Figura 3 [Tori; Kirner, 2006].

Figura 2 - Sketchpad e seu inventor Ivan Sutherland



Fonte: Tori; Kirner (2006)

Figura 3 - Ultimate Display, o primeiro Head-Mounted



Fonte: Craig; Sherman; Will (2009)

Em 1969, Myron Krueger decidiu iniciar suas experiências com a interação homem-computador, combinando a projeção de imagens geradas por computador e imagens de vídeo. Seu sistema diferiu do trabalho de Sutherland devido à entrada de dados através de câmeras de vídeo para controlar os movimentos do usuário. O uso dessa tecnologia resultou em duas diferenças significativas: a perspectiva da máquina do usuário era do ponto de vista de uma segunda pessoa, e o usuário não era limitado por quaisquer dispositivos mecânicos ou outros sensores conectados a seu corpo [Gigante, 1993].

Também no final dos anos 1960, o professor e fundador do departamento de ciência da computação da Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill (UNC), Fred Brooks, defendia a necessidade de desenvolvimento de trabalhos voltados para problemas específicos de aplicação. Devido à indisponibilidade, na época, de hardware com a capacidade exigida, a UNC também teve de se concentrar no desenvolvimento de hardware, incluindo motores de alto desempenho gráfico, dispositivos de cabeça, e uma variedade de dispositivos de entrada e de saída, incluindo os de fornecimento de *feedback* tátil, sob a forma de forças de resposta. Vários produtos comerciais têm evoluído a partir da investigação inovadora na UNC [Craig; Sherman; Will, 2009].

Em 1975, Krueger inventou o Videoplace, uma câmera de vídeo que capturava a imagem dos participantes e projetava-a em duas dimensões numa grande tela. Os participantes podiam interagir uns com os outros e com objetos projetados nessa tela, sendo que seus movimentos eram constantemente capturados e processados. Essa técnica tornou-se também conhecida como Realidade Virtual de Projeção [Espinheira Neto, 2004].

Em 1977, na Universidade de Illinois em Chicago, foi desenvolvida a primeira luva para interação com computador, através do trabalho de Tom DeFanti e Dan Sandin, co-fundador do Electronic Visualization Laboratory (EVL), onde foram exploradas diferentes tipos de representações gráficas, dispositivos de entrada e saída, e técnicas de interação [Craig; Sherman; Will, 2009].

Entretanto, apenas no final da década de 1980 foi cunhado o termo Realidade Virtual (RV), pelo artista e cientista da computação Jaron Lanier. O termo, assim como o conceito, apresenta a ideia da integração entre o real e o virtual, por mais antagônicos que sejam [Tori; Kirner, 2006].

Em 1982, Thomas Furness demonstrava para a Força Aérea Americana o VCASS (Visually Coupled Airborne Systems Simulator), conhecido como Super Cockpit - um simulador que imitava a cabine de um avião através do uso de computadores e videocapacetes que integravam a parte de áudio e vídeo, representando um espaço gráfico 3D. Assim, os

pilotos podiam aprender a voar e lutar em trajetórias com seis graus de liberdade sem decolar verdadeiramente. Entretanto, o custo do equipamento apresentava um problema, pois eram necessários milhões de dólares apenas para o capacete [Espinheira Neto, 2004].

No final de 1986, a equipe da NASA já possuía um ambiente virtual que permitia aos usuários ordenar comandos pela voz, escutar fala sintetizada e som 3D, além de manipular objetos virtuais diretamente através do movimento das mãos. O mais importante é que, através deste trabalho, verificou-se a possibilidade de comercialização de um conjunto de novas tecnologias, sendo que o preço de aquisição e desenvolvimento tornava-se mais acessível, o que deu início a inúmeros programas de pesquisa em RV no mundo inteiro, incluindo firmas de software até grandes corporações de informática [Biocca; Delaney, 1995].

No Brasil, os primeiros registros de ações na área de RV datam do início da década de 90, através de publicações, realização de eventos, defesas de mestrado e doutorado, desenvolvimento de projetos, cooperações internacionais, criação de grupos, entre outros. Porém, o marco escolhido para definir o início efetivo da RV no Brasil foi a realização do primeiro evento da série SVR (Symposium on Virtual and Augmented Reality), realizado na Universidade Federal de São Carlos, em novembro de 1997, sob a denominação de 1º Workshop de Realidade Virtual – WRV'97 [Kirner, 2008].

Segundo Kirner (2008), no final da década de 90 e início dos anos 2000, a RV passou a ser usada em empresas brasileiras, apoiando o desenvolvimento de projetos e produtos. A empresa Absolut-Technologies surgiu como principal distribuidora de equipamentos, software e soluções profissionais para empresas e universidades. A Petrobrás, em 1998, realizou a Primeira Mostra Petrobrás de Realidade Virtual e acelerou a montagem de Centros de Realidade Virtual, a partir de 2001. Outras empresas também investiram em centros de RV, como a Embraer, no final na década de 1990, e General Motors do Brasil, que instalou uma Powerwall em 2004. Entre as universidades, a USP adquiriu uma Caverna (“CAVE”) em 1998 e, em 2001, o LSI-USP construiu sua própria Caverna Digital. A universidade de Caxias do Sul instalou uma Caverna para uso na área de Artes, em 2005. A USP-São Carlos instalou uma Caverna em 2006 e o Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) instalou sua Caverna em 2007. Mais recentemente, em 2011, a Polícia do Rio de Janeiro inaugurou um simulador virtual para treinar agentes de Polícia Civil e Militar; em 2014, a Ford incorporou um novo laboratório de realidade virtual à sua estrutura global de desenvolvimento de veículos, com um de seus centros no Brasil; além das atualizações, modernizações e expansões do número de salas dos centros de RV já existentes [Leta, 2011; Ford, 2014].

Em março de 2014, a Petrobras assinou um termo de compromisso para a implantação do Centro Tecnológico da Baixada Santista, que conta com a colaboração da Prefeitura de Santos e das universidades USP, Unicamp, Unesp e Fundação Parque Tecnológico de Santos para a implantação do empreendimento. O projeto envolve uma infraestrutura laboratorial voltada ao desenvolvimento de pesquisas para apoiar as atividades de exploração e produção de petróleo na Bacia de Santos, com previsão de término das obras para 2016 [Petrobras, 2014].

1.2 Definição de Realidade Virtual

Para Coates (1992), “Realidade Virtual consiste em simulações eletrônicas de ambientes experimentados através de capacetes, óculos, luvas e roupas com fio, permitindo ao usuário final a interação em situações tridimensionais realistas”.

Para Kirner et al. (1995), “Realidade Virtual é uma interface avançada para aplicações computacionais, onde o usuário pode navegar e interagir, em tempo real, em um ambiente tridimensional gerado por computador, usando dispositivos multisensoriais”.

Assim, a RV, através de modelos tridimensionais, consiste numa interface avançada e mais natural do usuário diante de aplicações executadas no ambiente virtual. A interação em tempo real e a possibilidade de acréscimo de outros estímulos ao usuário, como os sentidos de tato e audição, permitem a experiência de vivência às situações criadas por estes ambientes, possibilitando ainda a análise das reações e comportamentos dos usuários.

As linguagens e ferramentas existentes permitem a visualização de ambientes de qualquer posição desejada, a partir da geração de imagens de diversos e determinados pontos de vista. Também permitem a manipulação de objetos e a movimentação no espaço tridimensional. Para ajudar a criar as sensações de realidade, os objetos podem conter animações e comportamentos, autônomos ou disparados por eventos predeterminados.

Deve-se destacar a relevância da interação do usuário com o ambiente virtual através de equipamentos que permitem a detecção das ações dos usuários e a reação instantânea, modificando aspectos da aplicação. A interação mais simples consiste na navegação no modelo tridimensional através de um dispositivo como mouse 3D ou de captura de gestos, situação na qual não ocorrem alterações no ambiente devido a ações do usuário.

Entretanto, ambientes de maior complexidade, que possibilitem alterações no ambiente, permitem que as habilidades dos usuários sejam utilizadas, além dos conhecimentos intuitivos aguçados pela sensação de realidade criada. Para isso, podem ser utilizados dispositivos como

capacetes de visualização, luvas, gestos do próprio corpo humano ou, ainda, dispositivos convencionais como mouse, teclado e monitor de vídeo. Independentemente da tecnologia, o que deve prevalecer consiste na sensação do usuário de atuar no ambiente em tempo real.

Ao se tratar de tempo real, deve-se considerar limites admissíveis para os atrasos entre ações do usuário e as reações do ambiente. Baseado nas sensações e percepções do ser humano, é estabelecido o intervalo de 0,1 segundo ou 100 milissegundos como atraso admissível para visão, audição, tato e reações de força. Assim, o sistema envolvendo processadores, softwares, dispositivos e aplicativos de interação, entre outras tecnologias, deve funcionar com taxas mínimas de 10 quadros por segundo de renderização de imagens (sendo aconselhável em torno de 20 quadros por segundo para cenas animadas) e de 100 milissegundos de atraso nas reações aos comandos do usuário. Logo, as tecnologias aplicadas em cada situação devem ter desempenhos compatíveis com as percepções dos usuários, podendo apresentar maiores capacidades de renderização e reação, mas nunca menores que as taxas mínimas, de forma a não causar desconforto nos usuários.

A navegação nos ambientes virtuais é desenvolvida a partir de 3 eixos, envolvendo movimentos de rotação e translação tendo, portanto, 6 graus de liberdade. Geralmente, utiliza-se a regra da mão direita como convenção dos valores positivos de translação e rotação.

A Realidade Virtual, quando comparada à multimídia, diferencia-se em tecnologia e, principalmente, em relação aos objetivos para a qual foi criada, apesar de ambas utilizarem múltiplas mídias integradas, como, dentre outras, imagens, vídeos, animações e áudios. A multimídia prioriza a qualidade das imagens, necessitando de alta capacidade de transmissão apesar de utilizar dispositivos convencionais. Além disso, trabalha com imagens já processadas e atua no espaço 2D. Já a RV prioriza a interação em tempo real com o usuário, necessitando de dispositivos especiais e técnicas e recursos de renderização em 3D.

1.3 Formas de RV

Steuer (1995) divide a Realidade Virtual em dois segmentos: presença e telepresença. Entretanto, com os avanços tecnológicos e inovações na área, Espinheira Neto (2004) sugere que as formas de RV podem ser, além da telepresença, de simulação, realidade aumentada e de projeção.

1.3.1 RV de simulação

Segundo Fisher (1991), a simulação consiste na forma mais antiga de RV, com sua origem nos simuladores militares norte-americanos de voos após a Segunda Guerra Mundial. Através de uma cabine portada de monitores, telas de vídeo e dispositivos que captem as reações dos usuários, estes interagem com o ambiente virtual e sentem-se imersos nele. Esta forma diferencia-se da telepresença, pois permite que o usuário atue diretamente no ambiente virtual, enquanto a telepresença utiliza um telerobô que reflete as reações do usuário dentro do ambiente virtual para interagir com o meio.

1.3.2 Telepresença

Esta forma consiste na utilização de câmeras de vídeo e microfones remotos para captar as ações dos usuários e projetá-las no ambiente virtual através de telerobôs, sendo estes que interagem diretamente com o ambiente e, os usuários, apenas com os telerobôs [Steuer, 1995].

1.3.3 Realidade aumentada

Esta forma permite a integração entre o ambiente virtual com objetos virtuais, que surgiu a partir da mistura entre a RV de simulação e da telepresença. Através da utilização de dispositivos de cabeça transparentes, diagramas, animações e gráficos 3D são sobrepostos ao mundo real. Um fator que apresenta dificuldades nesse sistema consiste na superposição exata do mundo virtual com o mundo real. Portanto, há a necessidade de utilizar sensores de posicionamento que rastreiem a posição do usuário para, então, combinar as imagens real e virtual e apresentar o resultado final ao usuário [Espinheira Neto, 2004].

1.3.4 RV de projeção

Na RV de projeção, criada na década de 1970, o usuário encontra-se fisicamente em outro plano, externo ao ambiente virtual, porém sua comunicação com os objetos e com os demais usuários dentro dele é permitida. Esse sistema baseia-se na utilização de dispositivos e

captura de imagens e de projeção, seja em telas panorâmicas, mesas virtuais ou *Caves*, que serão explicadas no item 2.7. Assim, não há necessidade dos usuários acoplarem nenhum dispositivo em seus corpos [Espinheira Neto, 2004].

1.4 Classificação dos sistemas de RV

Essa tecnologia propõe uma classificação independente das tecnologias existentes, baseada no senso de presença do usuário no modelo, podendo ser imersiva ou não-imersiva [Biocca; Delaney, 1995].

Quando imersiva, há a utilização de dispositivos multissensoriais que capturam os movimentos e comportamentos do usuário e reagem a eles, permitindo uma sensação de presença nos modelos sem a necessidade de abstração pelo usuário.

A não-imersiva é realizada através de uma janela, como um monitor ou projeção, transportando parcialmente o usuário ao ambiente virtual, exigindo deste uma parcela de imaginação para a interação com o sistema.

1.5 Elementos dos sistemas de RV

Segundo Tori e Kirner [2006], em um sistema de Realidade Virtual, deve-se considerar a análise de 4 elementos: o ambiente virtual, o ambiente computacional, a tecnologia de realidade virtual e as formas de interação. Esses componentes devem trabalhar em conjunto nos procedimentos de processamento das informações, resumidos basicamente na leitura de dados dos dispositivos de entrada, execução da animação/simulação e renderização sensorial. Para isso, utilizam informações da base de dados do ambiente virtual e da interface do usuário.

1.5.1 O ambiente virtual

Criado a partir de um modelo tridimensional, o ambiente virtual pode possuir diversas formas, objetos e personagens (avatars). Por meio de cores, texturas, iluminação e da precisão geométrica, desenvolvem-se modelos próximos da realidade. Entretanto, há casos em que o objetivo do modelo consiste apenas em simulações físicas, não necessitando de

aparência próxima ao real, mas apenas de aspectos que auxiliem sua visualização e análise, realizado também por meio de cores e iluminação. A precisão geométrica, no entanto, tem importância para qualquer situação e deve permitir sua recuperação e visualização em tempo real.

Assim, os ambientes virtuais contêm objetos com características geométricas, juntamente com cores, texturas e iluminação associadas a eles. Também podem possuir atributos de movimentação e acústica, além de nível de detalhamento dos objetos relacionado à distância na qual se encontram: quanto mais longe, menor o nível de detalhes.

1.5.2 O ambiente computacional

O ambiente computacional envolve características de configuração do computador, das entradas e saídas, do banco de dados e das características das respostas em tempo real do sistema operacional. Pode-se incluir, ainda, uma rede de computadores de forma a melhorar os processos colaborativos entre diferentes profissionais de diversas áreas e localidades.

Assim, um sistema de realidade virtual possui dois componentes básicos: o hardware e o software. O primeiro inclui os dispositivos de entrada; os dispositivos multissensoriais, que são os elementos sensoriais de saída; e os processadores e redes. O segundo engloba ferramentas de autoria de ambiente 3D, quando na fase de preparação do sistema; e, na fase de execução, com controladores de simulação/animação, banco de dados dos objetos virtuais, funções de interação e interface de entrada e saída.

1.5.3 A tecnologia de RV

A tecnologia de RV inclui todos os dispositivos de hardware utilizados na interação do usuário com o ambiente virtual. Assim, estão envolvidas tecnologias como rastreadores, luvas, capacetes, mouses 3D, fones de ouvido, dispositivos de reação, entre outros, os quais serão tratados posteriormente no item 2.7.

1.5.4 Formas de interação

As interações do sistema encontram-se em suas interfaces, que englobam os dispositivos de hardware e o software de controle. Segundo Bowman e Hodges (1997), essas interações podem ter características de navegação, seleção, manipulação ou controle do sistema. Entretanto, Adams (1997) caracteriza as sessões de RV em três formas, sendo elas: passiva, exploratória ou interativa. Ambas as classificações serão tratadas no item 2.6.

1.6 Interação

Conforme o item 2.5.4, existe três formas de sessões possíveis na utilização de sistemas de RV: a passiva, a exploratória e a interativa.

A primeira proporciona ao usuário uma exploração do ambiente de maneira automática e sem interferência, onde a rota e os pontos de observação são explícitos e controlados exclusivamente pelo software, sem que o usuário tenha algum controle, exceto talvez para sair da sessão. A segunda proporciona uma exploração do ambiente dirigida pelo usuário, a qual permite ao participante escolher a rota e os pontos de observação, porém, sem interagir de outra forma com os objetos contidos na cena. A terceira, que consiste na sessão de RV interativa, proporciona uma exploração do ambiente dirigida pelo usuário e, além disso, permite que este promova ações de modo a obter respostas e reações das entidades virtuais do ambiente. Por exemplo, se o usuário move o ponto de observação em direção à porta, esta pode parecer abrir-se, permitindo ao participante passar por ela [Valerio Netto; Machado; Oliveira, 2002].

Portanto, ao manter o objetivo de proporcionar naturalidade ao usuário diante de um ambiente virtual, deve-se utilizar sessões interativas.

No início da era computacional, não se deu a devida importância ao processo de interação homem-máquina (HCI), pois a prioridade consistia em obter precisão no processamento dos dados. Entretanto, com a evolução e disseminação dos computadores pessoais, gerando usuários indispostos em aprender a utilizar aplicações com interfaces primitivas de interação, surgiu a necessidade de serem adotadas metodologias específicas para a HCI. A busca por estratégias avançadas de interação demanda grande parte do tempo dos projetistas com o início do processo de desenvolvimento de um novo software ou dispositivo. Entretanto, existem benefícios derivados de um bom projeto de interação, dentre eles: a usabilidade do sistema, uma menor curva de aprendizagem, a localização e uso de todas as potencialidades da aplicação, a otimização do tempo do usuário na busca pela informação, entre outros [Kelner; Teichrieb, 2007].

Nas aplicações de Realidade Virtual, são demandadas técnicas especiais de interação que lidam com o espaço 3D, sendo que a interação pode ocorrer tanto no sentido usuário-aplicação, quanto no sentido aplicação-usuário. Segundo Bowman (2004), ainda deve ser avaliado se a interação do sistema será imersiva ou não-imersiva, visto que, para os ambientes imersivos, as técnicas de interação introduzem novos paradigmas para o usuário, estimulando outros sentidos que não poderiam ser explorados em ambientes não-imersivos, como por exemplo, a visão estereoscópica. Para ele, as técnicas de interação para RV podem ser classificadas conforme os itens: técnicas para seleção e manipulação, para controle do sistema, para navegação e de entrada simbólica. Esta divisão tem sido amplamente aplicada pela comunidade de interface homem-máquina e tem sua base conforme a tarefa realizada pelo usuário.

1.6.1 Seleção e manipulação 3D

Anteriormente à habilitação das opções de manipulação, deve ocorrer a seleção dos objetos de interesse. Para isso, são utilizadas as técnicas de Apontamento, Manipulação Direta, Mundo em Miniatura e Agregação e Integração, cada qual com suas particularidades. Uma característica importante dessa técnica consiste na preservação da forma dos objetos [Bastos; Teichrieb; Kelner, 2006].

Os objetivos da seleção são consultar um objeto, navegar até este objeto, tornar o objeto ativo e definir a manipulação a ser realizada, enquanto os da manipulação são posicionar objetos (*design* de objetos, agrupamento de objetos, *layout* do ambiente virtual), navegar pelo ambiente e realizar uma determinada ação [Kelner; Teichrieb, 2007]. Em muitos casos, o processo de seleção de um item pode ser incorporado diretamente ao processo de manipulação. Por exemplo, a translação de uma caixa pode ser realizada pelo toque ou apontamento para a caixa, pressionando um botão, e em seguida, movendo a mão que está fazendo contato virtual com a caixa. [Craig; Sherman; Will, 2009].

Deve-se atentar, além dos objetivos dessa técnica, para suas dificuldades de implementação, sendo a principal delas, a maneira de indicar um evento de seleção ou manipulação, através de retornos visuais, auditivos ou tácteis para o usuário, de forma que o mesmo saiba quando um objeto está selecionado e pronto para ser manipulado. Essa dificuldade aumenta quando o ambiente possui interseções entre objetos. Outro aspecto

importante de implementação consiste na definição do que acontece no sistema após a manipulação [Kelner; Teichrieb, 2007].

1.6.2 Navegação

Segundo Craig, Sherman e Will (2009), a navegação descreve como os usuários movem-se de um lugar para outro numa experiência de RV, a qual possui técnicas específicas para isso. Essas técnicas são classificadas em dois grupos: Viagens (*Travel*) e *Wayfinding*.

Ao viajar, o usuário locomove-se entre dois lugares, através da definição da posição e orientação de seu ponto de vista. Assim, o usuário pode realizar tarefas de exploração do ambiente virtual, de busca por algum local específico do ambiente e de manobra. No caso da busca, a posição do alvo pode ser conhecida, quando o usuário quer encontrar novamente um local específico, denominada uma busca privilegiada (*primed*), ou pode se tratar de uma busca de posição não conhecida, denominando-se busca ingênua (*naive*) [Kelner; Teichrieb, 2007].

A ação conhecida como *wayfinding* utiliza-se do conhecimento espacial do usuário para definir um caminho no ambiente, permitindo ainda a procura por um caminho específico. O auxílio de pistas e dicas disponíveis no ambiente virtual facilita a realização desta tarefa. Entretanto, no caso do uso das técnicas deste grupo, deve-se considerar que os usuários possuem habilidades de orientação diferentes [Kelner; Teichrieb, 2007].

As técnicas de interação para navegação são: Locomoção Física, Direcionamento, Planejamento de Rotas, Baseadas em Alvo, Manipulação Manual, *Travel-by-Scaling*, Orientação do *Viewpoint*, Especificação da Velocidade e Controles Integrados da Câmera para Ambientes Desktop 3D [Craig; Sherman e Will, 2009]

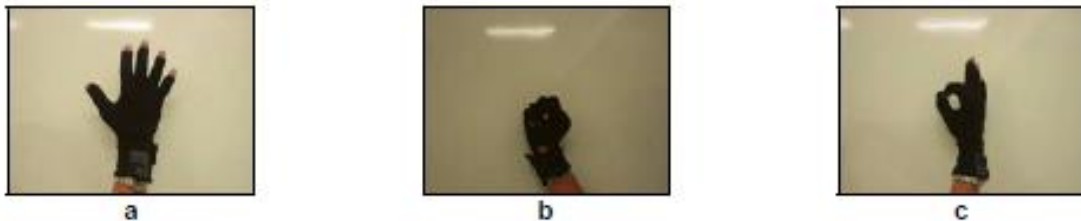
1.6.3 Controle do sistema

Segundo Bertol e Foell (1997), as técnicas de interação para controle do sistema servem basicamente para modificar o estado do sistema ou seu modo de interação. Normalmente, estas ações são realizadas através de comandos disponíveis na interface.

As técnicas de interação para controle do sistema são os Menus Gráficos, que podem ser adaptados dos menus de interfaces 2D; os Comandos de Voz, que possibilitam “conversas”

entre o usuário e o sistema; os Comandos de Gestos, através da utilização de dispositivos táteis, conforme ilustrado pela Figura 4; e as Ferramentas, utilizando objetos físicos ou virtuais para a interação [Bastos; Teichrieb; Kelner, 2006].

Figura 4 - Técnica Comandos de Gestos para controle de sistemas



Fonte: Bastos; Teichrieb; Kelner (2006)

1.6.4 Entrada simbólica

Segundo Bastos, Teichrieb e Kelner (2006), as técnicas de Entrada Simbólica são de quatro tipos: em Teclado, em Caneta, em Gestos e na Fala. Em situações de necessidade são utilizadas entrada de texto ou número que permitem nomear objetos virtuais, entrar com nomes de arquivos para operações de abrir/salvar, especificar propriedades numéricas, além de possibilitar a entrada de anotações referentes aos ambientes.

1.7 Dispositivos dos sistemas de RV

As interfaces baseadas em realidade virtual podem apresentar interação do usuário com o sistema através de dispositivos não convencionais, como apresentado no item 2.7.1, ou mesmo através de dispositivos convencionais, como mouse, teclado e monitor de vídeo, podendo estes conter algumas adaptações. A principal função dos dispositivos é permitir uma interação natural e intuitiva pelo usuário, dando a sensação de estar atuando dentro do ambiente virtual, apontando, pegando, manipulando e executando outras ações sobre os objetos virtuais em tempo-real [Kirner; Siscoutto, 2007].

1.7.1 Dispositivos não convencionais

Enquadram-se os dispositivos como luvas de dados (*DataGlove*), capacetes sensoriais (*Head Mounted Display-HMD*), óculos estereoscópicos (*ShutterGlasses*), cavernas digitais, entre outros.

a) Capacetes sensoriais (HMD) e óculos 3D

Os capacetes HMD e os óculos 3D são utilizados no fornecimento da imagem do ambiente virtual ao usuário. Os capacetes, além disso, detectam os movimentos da cabeça, correspondendo a um equipamento de saída e entrada de dados e, ao vesti-lo, o usuário tem a sua inserção no mundo virtual e seu isolamento do mundo real, caracterizando-o como um dispositivo de imersão [Rodrigues, 2004]. Os óculos, entretanto, dependem dos dispositivos do ambiente de visualização para determinar seu grau de imersão: se utilizado monitor ou tela de projeção, não se caracterizará como imersivo, mas se consistir de uma caverna, será imersivo [Tori; Kirner, 2006].

Os óculos e os capacetes diferem-se quanto ao seu funcionamento. Nos óculos estereoscópicos ativos, como os *ShutterGlasses*, ao alternar a abertura e fechamento comutativo entre os olhos esquerdo e direito, ou seja, quando se exibe a imagem correspondente a do olho esquerdo e bloqueia-se a visão do olho direito e vice-versa, gera-se uma defasagem entre as imagens, causando a sensação de realidade no usuário. Nos óculos estereoscópicos passivos, como os *Crystal Eyes*, utiliza-se uma técnica de polarização da lente que segrega o sinal luminoso relativo ao olho esquerdo e direito, exigindo duas projeções sobrepostas dos objetos [Rodrigues, 2010].

Entretanto, segundo Tori e Kirner (2006), o funcionamento dos capacetes consiste na apresentação de duas imagens diretamente nos olhos do usuário com determinada defasagem entre elas. Também existem vários tipos de capacetes para visualização de Realidade Virtual disponíveis no mercado.

As principais diferenças entre os dispositivos consistem nos visores binoculares e lunetas, ou sistemas integrados como o BOOM (*Binocular Omni-Oriented Monitor*). Além disso, podem variar em relação às imagens monocromáticas ou coloridas (técnica utilizada para reproduzir sensação de profundidade) e características de objetos opacos ou translúcidos (substituem ou complementam a realidade objetiva) [Rodrigues, 2010].

A NASA foi uma das primeiras a desenvolver a tecnologia dos capacetes e criou o HMD, mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Capacete HMD desenvolvido pela NASA



Fonte: BeeNoculus (S.d.)

Em 1995, o Forte VFX1, mostrado na Figura 6, teve seu lançamento no mercado como um dispositivo de sistema complexo e caro, que unia aspectos visuais e de áudio no mesmo equipamento [VR-Tifacts, 2010].

Figura 6 - Capacete Forte VFX1



Fonte: VR-Tifacts (2010)

Ainda em 1995, foram lançados no mercado os óculos *I-glasses*, mostrado na Figura 7, que se apresentam como dispositivos visuais, porém menos robustos e mais versáteis [BeeNoculus, 2015].

Figura 7 - Óculos *I-glasses*, dispositivo mais versátil que os capacetes



Fonte: BeeNoculus (S.d.)

Em 1997, o *Glasstron* (Figura 8), desenvolvido por profissionais da Sony, apareceu na Europa e EUA com seu aspecto versátil aliado à qualidade de imagem e som, apresentando maior liberdade e naturalidade aos usuários [Sony, 2009].

Figura 8 - Óculos Glasstron, da Sony



Fonte: Sony Insider (2009)

Em 2006, a Toshiba apresentou o protótipo *Helmet* (Figura 9), cuja tecnologia foi projetada para mostrar imagens em uma visão de 360 graus, utilizando uma tela em forma de cúpula, e sincronizar com o movimento da cabeça do usuário através de sensores infravermelhos [Kageyama, 2006].

Figura 9 - Protótipo *Helmet*, da Toshiba, um capacete com visão 360°

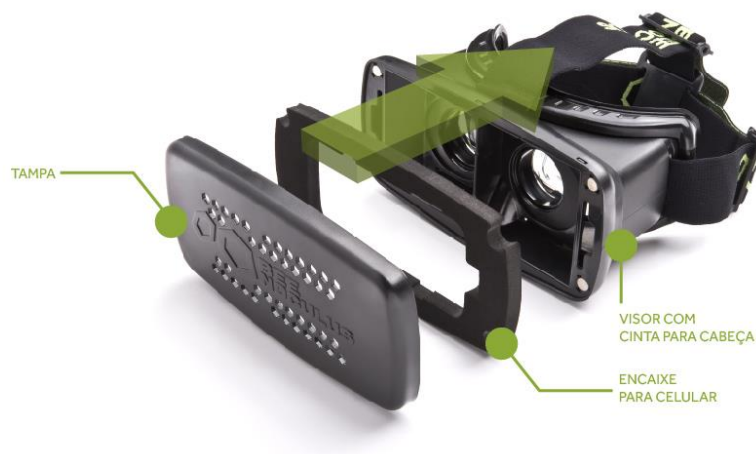


Fonte: Kageyama (2006)

Existem outros exemplos de capacetes desenvolvidos ao longo dos anos, sendo alguns apenas aperfeiçoamentos dos citados acima, assemelhando-se na aparência dos dispositivos. Dentre os dispositivos mais atuais, tem-se: os óculos *Gear VR Innovator Edition*, criados pela Samsung com compatibilidade para seu *smartphone*, com lançamento em abril de 2015; os óculos *Hololens*, da Microsoft, que permitem uma interação com o sistema por meio do movimento e dos gestos manuais, apresentados na conferência *Build* de 2015; o *Oculus Rift*, da Oculus, com previsão de lançamento para o início de 2016; o capacete *Morpheus*, da Sony, com compatibilidade para PlayStation, cujo lançamento está previsto para junho de 2016 [Garrett, 2014; Kurtz, 2015; Oculus, 2015; Sansumg, 2015; Nouira, 2015].

Uma tecnologia que merece destaque trata-se do *BeeNoculus*, apresentado na Figura 10, desenvolvido pela empresa brasileira de mesmo nome, que teve seu lançamento em janeiro de 2015. Este dispositivo consiste em óculos semelhantes aos *Gear VR* e *Oculus Rift*, porém, possuem compatibilidade com smartphones de diversificadas marcas, além de preços mais acessíveis, principalmente ao público nacional. O objetivo da empresa BeeNoculus é de democratizar a realidade virtual no Brasil, com foco no entretenimento imersivo e na educação a partir do estudo individual e interesse pessoal ao adquirir conhecimentos.

Figura 10 - Óculos da empresa brasileira BeeNoculus e sua forma de utilização



Fonte: BeeNoculus (2015)

b) Dispositivos auditivos

Apesar de não receber destaque quanto a sua importância, os recursos auditivos também são responsáveis pela criação de ambientes virtuais imersivos. Através da utilização de sistemas de processamento sonoro que os localizam, além da mistura de sons emitidos nas orelhas esquerda e direita, faz-se uso da técnica de atenuação causada pela cabeça e orelhas. Dessa forma, há a possibilidade do usuário reconhecer a direção da origem desses sons [Gnecco; Guimarães; Damazio, 2007].

Existem diversas placas de som desenvolvidas para trabalhar juntamente a ferramentas que constroem ambientes em realidade virtual, algumas delas atuando simultaneamente com diversas fontes de som. Segundo Machado e Cardoso (2006), com a baixa dos preços das placas digitais, permite-se maior acessibilidade e difusão do uso dessas técnicas e, conseqüentemente, simplificando a produção dos efeitos citados.

Em relação aos dispositivos utilizados diretamente pelos participantes do ambiente virtual, estes assemelham-se aos fones de ouvido convencionais, dos quais alguns são conjugados aos óculos de RV, conforme os apresentados nas Figuras 6, 7 e 8.

c) Dispositivos hápticos

Segundo Machado (2007), existem situações em que apenas os sentidos da visão e audição não são suficientes para proporcionar o reconhecimento dos objetos, como ocorre em ambientes escuros e quando os objetos encontram-se ocultos na cena.

Nesses casos, utilizam-se recursos hápticos, que consistem em sensações oriundas do toque ou contato físico. Estas sensações não se limitam à sensibilidade da pele, algumas delas envolvem vias musculares e ósseas. As percepções hápticas possuem dois componentes: o tato e a propriocepção. O primeiro relaciona-se às percepções cutâneas de temperatura, pressão, vibrações e texturas; e o segundo relaciona-se às tensões aplicadas aos músculos e ossos, referentes à força necessária para mover ou deformar os objetos, por exemplo. Assim, os dispositivos projetados podem focar apenas no tato ou apenas na propriocepção, como na maioria dos equipamentos, ou em ambos, mesmo que na vida real esses componentes não possam dissociar-se um do outro [Craig; Sherman; Will, 2009].

Para Craig, Sherman e Will (2009), os dispositivos hápticos podem ser agrupados em duas categorias: os estacionários (“*world-grounded*”) e os acoplados ao corpo (“*body-based*”). Os dispositivos estacionários consistem nos mecanismos que possuem uma base fixada a

alguma superfície ou objeto do mundo real, na qual estão ligados múltiplos componentes capazes de exercer uma força ativa ou resistiva numa determinada direção. Os acoplados ao corpo, entretanto, tratam-se dos que, de alguma forma, são vestidos ou conectados aos usuários, possibilitando um maior grau de movimentação e liberdade em relação aos anteriores.

Para Machado (2007), os dispositivos podem ser divididos em grupos com relação à parte do corpo na qual ocorrem as interações, sendo elas: para mãos, para braços e pernas, e para o corpo.

Os dispositivos para mãos geralmente têm seu foco em sensações de tato, como a transferência de sensações de temperatura, pressão e vibrações, realizadas por meio de atuadores. Os atuadores responsáveis pelas sensações de pressão, denominados pneumáticos, são compostos por bolsas de ar que se enchem para causar pressão nos dedos. Os atuadores térmicos possuem semicondutores com a finalidade de simular variação de temperatura à pele do usuário. Já os atuadores vibratórios fazem uso de pequenos motores elétricos, micro autofalantes ou materiais piezoelétricos para a emissão de vibrações quando ocorre contato entre o usuário e algum objeto com esta programação. Para dispositivos de propriocepção, os mecanismos necessitam de algum tipo de ponto de apoio, de modo a transferir os esforços a esse ponto de resistência [Machado, 2007].

Os primeiros protótipos de luvas consequenciaram na *Sayre Glove*, desenvolvidos em 1977, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), através da utilização de tubos flexíveis com uma fonte de luz em uma extremidade e uma célula fotoelétrica do outro, montados ao longo de cada dedo da luva. O movimento de dobrar os dedos resultava na diminuição da quantidade de luz que passava pelo tubo e, assim, detectava a flexão dos dedos pela tensão medida por um fotodiodo [Sturman; Zeltzer, 1994].

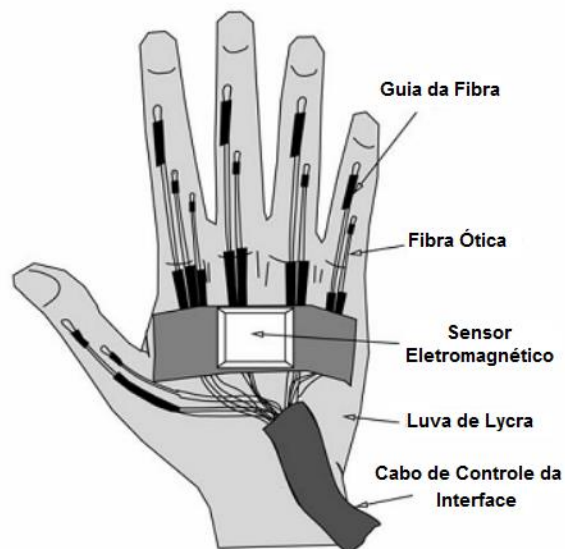
O primeiro dispositivo com caráter comercial apareceu em 1987, apresentado na Figura 11, com uma versão melhorada da primeira *DataGlove*, desenvolvida por Thomas Zimmerman em 1982. A tecnologia foi similar à utilizada na *Sayre Glove*, fabricada originalmente de neoprene. No entanto, os tubos de luz foram substituídos por fibra óptica e a luva foi complementada com sensores, como mostrado na Figura 12, aumentando a sua capacidade de distinguir diferentes gestos [Sturman; Zeltzer, 1994].

Figura 11 - *DataGlove* de neoprene e fibra de vidro



Fonte: Sturman; Zeltzer (1994).

Figura 12 - *SayreGlove*



Fonte: Kelner; Farias (2010, tradução da autora)

Dessa última foi inspirada a *Power Glove*, conforme a Figura 13, comercializada pela Mattel Intellivision como um dispositivo de controle para o console do videogame Nintendo em 1989. A *Power Glove* utilizava tinta resistiva para medir a flexão das articulações dos dedos juntamente com a utilização de sensores. Uma versão atualizada da *Power Glove*, a *P5 Glove*, foi comercializada pela Essential Reality em 2002 [Premaratne, 2014].

Figura 13 - PowerGlove, da Mattel

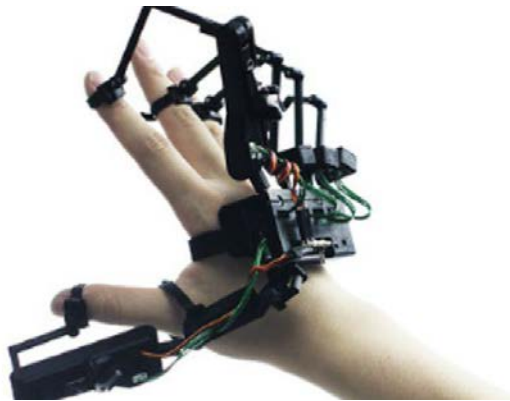


Fonte: MyNintendo (2015)

Havia outros desenvolvimentos, tais como a *Super Glove*, desenvolvida pela Nissho Eletrônica em 1995, que era provida de 10 a 16 sensores e utilizava tinta resistiva impressa em placas costuradas no pano luva [Premaratne, 2014].

Além dessas, existe também as Luvas com Esqueletos Externos, que contém uma estrutura externa presa à mão para identificar os movimentos, conforme a Figura 14. Permite uma leitura rápida e precisa de todos os dedos e possuiu um sensor em cada junta [Kelner; Farias, 2010]. Em 2014, foi desenvolvida a denominada “exoluva”, conforme a Figura 15, criada pela Dexta Robotics. Também apresenta como vantagem o rastreamento em tempo real do movimento das mãos, porém, através de vibrações e reações hápticas o utilizador ganha noção sensorial dos objetos, ou seja, será possível agarrar um objeto num jogo de realidade virtual e sentir de forma mais real essa experiência [Sapotek, 2014].

Figura 14 - Luva com estrutura externa



Fonte: Sapotek (2014)

Posteriormente, até chegar nos dias atuais, houve o desenvolvimento de luvas com as tecnologias similares às apresentadas, tais como: as *CyberGloves* (Figura 15), as *CyberTouch* (Figura 16) e as *CyberGrasp* (Figura 17) [CyberGlove, 2015].

Figura 15 - *CyberGlove*



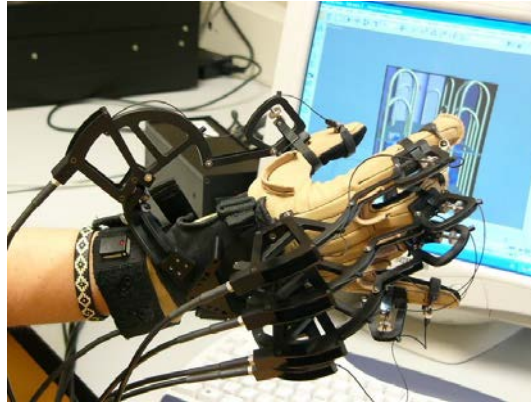
Fonte: CyberGlove (2015)

Figura 16 - *CyberTouch*



Fonte: CyberGlove (2015)

Figura 17 – CyberGrasp



Fonte: CyberGlove (2015)

Além disso, existem os dispositivos para braços e pernas, que necessitam de apoio. Por exemplo, os dispositivos na linha do *Geomagic Haptic Device*, conforme mostrado na Figura 18, disponíveis em modelos com 3 ou 6 graus de liberdade, que proporcionam uma entrada tridimensional com feedback de força e podem medir com precisão a posição espacial 3D (ao longo dos eixos x, y e z) e a orientação (passo, registo e rotação) do estilete manual. Os dispositivos utilizam motores para criarem as forças que fazem recuar a mão do utilizador para simular o toque e a interação com objetos virtuais. São utilizados em diversas aplicações, podendo ser personalizados para simularem uma variedade de ferramentas, como, por exemplo, simulações médicas e exercícios de formação, no qual o estilete emula as sensações físicas – como sondas, punções, perfurações ou cortes – da utilização de uma seringa, bisturi, artroscópio ou outro instrumento médico [Geomagic, 2015].

Figura 18 – Geomagic Touch Haptic Device



Fonte: Geomagic (2015).

O dispositivo *Falcon*, da Novint, semelhante ao *Geomatic Haptic Device*, como observado na Figura 19, tem seu foco no desenvolvimento de dispositivos e softwares customizados para atender necessidades específicas dos projetos de seus clientes [Novint, 2012].

Figura 19 - Dispositivo *Falcon*, da Novint



Fonte: Novint (2012)

Para o corpo, em 1998 já estava desenvolvido o colete tátil, composto por 16 vibradores mecânicos pequenos, fixados no colete como uma matriz 4x4, distanciados de 5 centímetros entre eles. Assim, a área de cobertura das vibrações constitui-se ampla nas costas dos usuários [Machado, 2006].

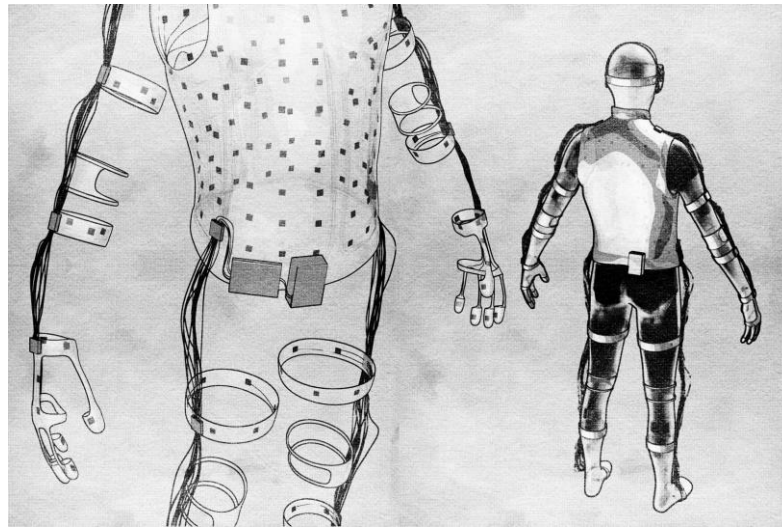
O colete KOR-FX (*Kinetic Omnidirectional Response*), apresentado na Figura 20, foi desenvolvido com a finalidade de permitir que seus usuários sintam cada movimento, uma bala, e uma explosão dentro de situações criadas em jogos de RV. Seu funcionamento baseia-se na emissão de som nos dois transdutores posicionados na parte frontal do colete, que, ao vibrarem com a intensidade do som, provocam uma sensação de impacto e explosão. O dispositivo possui uma autonomia de 30 a 40 horas, podendo funcionar com pilhas recarregáveis ou uma bateria comum [Público, 2015].

Figura 20 – Colete KOR-FX

Fonte: Público (2015)

Além disso, a empresa escocesa Tesla Studios está no processo de desenvolvimento de seu traje denominado *Tesla Suit*, conforme esboço da Figura 21, uma vestimenta de corpo inteiro que permite ao usuário ter sensações físicas e manipular um avatar virtual. As sensações são possíveis devido à presença de terminais elétricos embutidos no tecido do macacão, os quais aplicam impulsos elétricos, permitindo a simulação de força de um soco no peito ou de mergulho em uma água quente. Seu lançamento está previsto ainda para 2015. O *Tesla Suit* não se caracteriza exatamente como um traje, mas uma série de sensores que permitem que o usuário tenha a sensação de movimento no espaço de realidade virtual (incluindo mudanças de temperatura). Vários acessórios avulsos, denominados módulos, estão disponíveis separadamente, como o *T-Belt* (Cinto Tesla), o *T-Glove* (Luva Tesla), e o macacão “*Smart Textile*” (Tecido inteligente). No entanto, quando somadas, elas funcionam como um único traje. A reação ao movimento em tempo real é possível devido aos módulos estarem conectados uns com os outros via Bluetooth, embora sejam completamente independentes [DesafioINT, 2015].

Figura 21 - Esboço do dispositivo *Testa Suit*



Fonte: DesafioINT (2015)

d) Caverna Digital – CAVE

As Cavernas Digitais, conhecidas nos Estados Unidos como CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) e na Europa como Cube, conforme a Figura 22, consistem em salas portadas de monitores de tela grande estacionários, nos quais as imagens são projetadas. Além disso, existem sensores de posição que capturam os movimentos dos usuários e atualizam essas imagens. Em geral, também possuem som 3D, auxiliando na geração de sensações reais [LSI-USP, s.d.; Craig; Sherman; Will, 2009].

Assim, as telas em torno do participante envolvem o usuário tanto quanto possível com a representação visual do mundo, conforme a Figura 23 e, mesmo com uma única superfície de exibição, é possível preencher porções significativas da visão do usuário quando este se posiciona próximo da tela. Essa característica consiste numa das principais vantagens do uso dessa tecnologia [Craig; Sherman; Will, 2009].

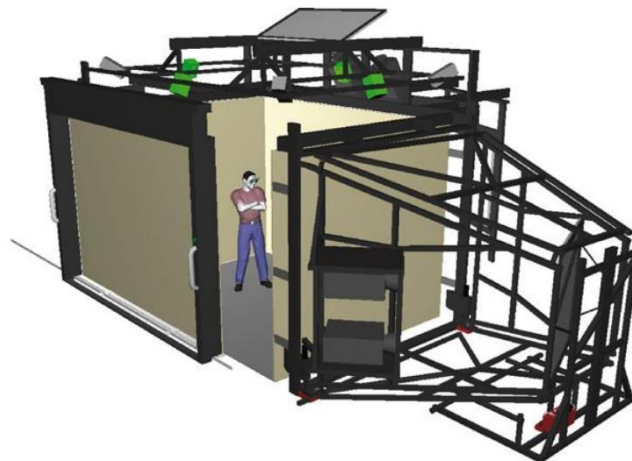
Outro benefício inclui a diminuição da quantidade de hardware utilizado por usuários, o que melhora a capacidade de ver demais participantes em pé fisicamente ao lado deles e permite que usuários compartilhem a mesma experiência simultaneamente, devido ao impacto negativo da redução da latência. A capacidade do usuário para continuar a ver o mundo físico ao ver o mundo virtual também melhora a segurança do sistema [Craig; Sherman; Will, 2009].

Figura 22 - Caverna Digital da USP



Fonte: LSI-USP (S.d.)

Figura 23 - Modelo de Caverna Digital (CAVE)



Fonte: Kelner; Farias (2010)

1.8 Aplicações da RV

A tecnologia de RV, na medida em que apresenta maior desenvolvimento, apresenta também mais aplicações possíveis, tendo uma variedade de utilização de acordo com os diversos setores nos quais ocorre sua aplicação.

Segundo Gigante (1993), corroborado por Craig, Sherman e Will (2009), a RV tem sua utilização resumida nas áreas de:

- Manufatura e negócios: no desenvolvimento de produtos, em treinamentos sobre os negócios e em *marketing*;
- Científica: em explorações de áreas desconhecidas, como Marte e o fundo dos oceanos; e em simulações de diversos tipos;

- Medicina: em treinamentos, em planejamentos pré-operatórios e na assistência durante as operações;
- Educação: facilitando a absorção de conhecimentos sobre as ciências, de conceitos sobre construtivismo, além de ser utilizada na educação informal e no auxílio do aprendizado de pessoas com necessidades especiais;
- Segurança pública e militar: no treinamento da operação de equipamentos, incluindo treinamentos situacionais e missões de planejamento;
- Arte: no desenho e esboço, na exploração do meio, na empatia de experiências, na exploração das condições humanas, entre outros;
- Entretenimento: em jogos, ficção interativa, expressões criativas e na produção de entretenimento.

1.8.1 Aplicações na Engenharia Civil

Atualmente, a modelagem 3D possui um grande foco dos profissionais da engenharia civil, construtoras e incorporadoras devido ao desenvolvimento do conceito e das ferramentas *Building Information Modeling* (BIM), que se assemelha à Realidade Virtual [Mattos, 2014].

O BIM consiste numa plataforma na qual há a possibilidade de inserir todas as informações da obra, incluindo as necessárias ao gerenciamento de projetos. Sua principal característica envolve a utilização de um mesmo ambiente virtual para a consolidação dos projetos da obra pelos diferentes profissionais, incluindo os responsáveis pelos projetos estrutural, arquitetônico, de instalações elétricas, de instalações hidrossanitárias, entre outros, assim como a integração que ocorre nas técnicas de RV [Mattos, 2014].

Entretanto, no BIM não ocorre uma atualização automática das plataformas em tempo real, como na RV, sendo apenas possível relacionar o ambiente virtual com o cronograma físico da obra, e outras atualizações devem ser realizadas manualmente. Outra diferença deve-se ao uso de dispositivos interativos na RV que não são utilizados no BIM, limitando-o às interpretações dos projetos relacionados apenas à visualização dos monitores convencionais, sem as facilidades de compreensão dos modelos e projetos apresentadas pelo uso dos dispositivos interativos de RV, apresentados no item 2.7 [Mattos, 2014].

A principal vantagem da RV aplicada à engenharia civil semelhante à obtida através da utilização do BIM consiste na possibilidade de antever e corrigir interferências entre projetos, consequenciando em melhorias de produtividade, eficiência e qualidade dos projetos. Dentre

outras vantagens oriundas somente da RV, tem-se: A habilidade de testar as ideias em tempo real num espaço tridimensional durante o processo de projeto e esboço, melhoria na comunicação das ideias e no poder de convencimento do cliente, e a possibilidade de geração de projetos melhores, mais consistentes e mais próximos das necessidades e gostos do cliente. Dentre as possibilidades, a RV pode ser utilizada na modelagem das edificações, na navegação dentro do projeto, no sobrevoo e na visualização simultânea e interativa [Silva, 2000].

Empresas estão utilizando maquetes arquitetônicas que permitem que seus clientes experimentem a sensação de tamanho natural dos projetos dentro de cavernas digitais, assim como a interação com os elementos do ambiente, como mostrado na Figura 24 [Silva, 2013].

Figura 24 - Ambiente virtual que representa o projeto arquitetônico desenvolvido pela empresa



Fonte: Silva (2013)

Além disso, a RV pode ser aplicada na área de projeto do arranjo físico (*layout*) do canteiro de obras, conforme será tratado no item 6.2, num estudo realizado com base em dados de uma construtora de pequeno porte localizada no Estado de São Paulo. Assim, a ferramenta auxilia e apoia o projetista na visualização espacial do terreno, nas projeções das edificações, nos volumes ocupados por cada elemento do canteiro, tanto dos materiais quanto dos equipamentos e passagens, a mensuração de distâncias, dentre outras informações presentes. Auxiliam, ainda, na adequação do arranjo físico às diferentes fases de obra, conforme o cronograma de execução e o recebimento de materiais, permitindo a análise de alternativas e simulações das possibilidades, de modo que o projetista tenha condições de optar pelo *layout* que atenda as suas necessidades da maneira mais eficiente dentre as analisadas [Aymone; Bernardes, 2005].

MODELAGEM 3D

A modelagem 3D, ou modelagem tridimensional, compreende uma das partes componentes da RV, possibilitando a criação de ambientes através da união de objetos modelados. Deve-se ressaltar que os objetos são representados em 3D, apesar dos dispositivos gráficos utilizados apresentarem tecnologia 2D. Assim, ocorre uma conversão entre os dados tridimensionais e sua representação bidimensional [Ferreira; Pellegrino, 2006].

Esses objetos modelados consistem em elementos geométricos criados a partir da definição de sua estrutura através da declaração de pontos no sistema (x,y,z) , denominados vértices, interligados por segmentos de retas e curvas. Os segmentos de interligação entre os vértices, com suas características específicas, necessitam de indicação de seus vértices inicial e final, semelhantemente a vetores. Esses elementos consistem nas denominadas relações topológicas [Ferreira; Pellegrino, 2006].

Posteriormente, para facilitar a interpretação do objeto, realiza-se a eliminação de linhas ocultas, que remove a representação das arestas e, conseqüentemente, de algumas faces do objeto que não estão visíveis ao usuário em seu ponto de vista determinado [Ferreira; Pellegrino, 2006].

O processo de modelagem 3D não consiste totalmente na criação de todos os elementos da RV, apesar de envolver diversos aspectos. Assim, as ações realizadas na modelagem 3D interferem significativamente nos resultados apresentados pelo ambiente de RV. Portanto, deve-se observar três características principais no processo de criação e modelagem 3D: o conhecimento dos projetistas em relação a quem serão os usuários, identificando-os em termos de atitudes, comportamentos e necessidades; o desenvolvimento conjunto entre as equipes de desenvolvedores e dos usuários; e que os protótipos sejam criados rapidamente, avaliados pelos usuários e consecutivamente corrigidos, refinados e melhorados [Kirner; Salvador, 2007].

Existem dois tipos de modelagem geométrica aplicados de acordo com o interesse do modelo: a modelagem de superfícies e a modelagem de sólidos, as quais serão exploradas a seguir.

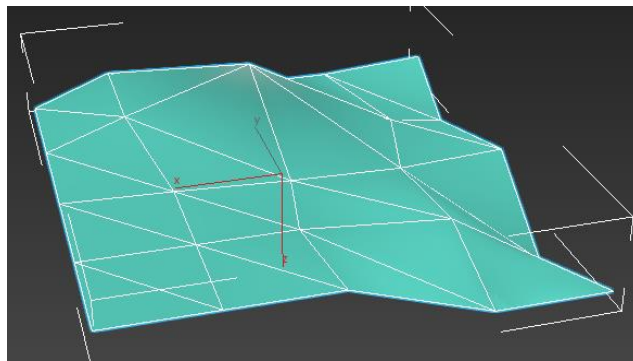
1.9 Modelagem de superfícies

Utilizada quando a ênfase dos modelos é dada na aparência dos objetos, importando apenas a visualização da superfície externa de maneira realista. Assim, não há necessidade de

atribuir volumes aos objetos, evitando o acréscimo de informações desnecessárias. Dessa forma, há maior eficiência e agilidade no modelo quanto à reformulação de vistas, interação e renderização [Ferreira; Pellegrino, 2006].

Derivada da propriedade de que por 3 pontos não colineares passa apenas um plano, pode-se utilizar o método da triangulação de Delaunay na representação de superfícies, com o objetivo de obter partições homogêneas da grade composta por seus pontos, como mostra a Figura 25 [Ferreira; Pellegrino, 2006].

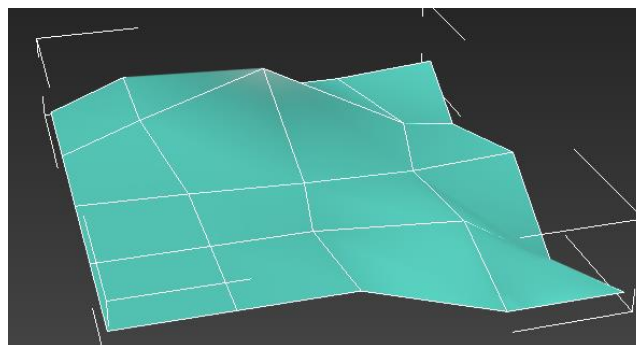
Figura 25 – Geração de superfícies através da união por Triângulos



Fonte: Produção do próprio autor

Um método utilizado para outras formas de grade é o de Voronoi, que identifica qual conjunto de polígonos melhor representa a superfície, representado na Figura 26.

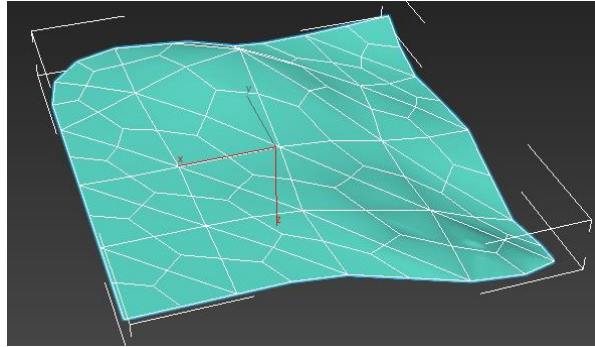
Figura 26 – Geração de superfícies através da união por Polígonos Planos



Fonte: Produção do próprio autor

Também é possível unir os vértices por elementos não lineares, a partir de curvas tipo Bézier, Splines, NURBs, entre outras, conforme a Figura 27.

Figura 27 – Geração de superfícies através da união por Superfícies Livres



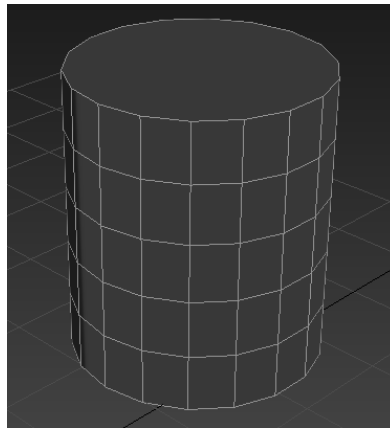
Fonte: Produção do próprio autor

Segundo Ferreira e Pellegrino (2006), existem diversas formas de representação dos modelos de superfícies, cada qual desenvolvido para necessidades específicas, seja para atender características de reduzido espaço de armazenamento, seja para agilizar a visualização através de dados redundantes e rápidos algoritmos. Dentre os algoritmos, os mais utilizados são: as superfícies poligonais, as paramétricas e as quádricas.

1.9.1 Superfícies poligonais

Consiste na mais simples modelagem, na qual as superfícies são compostas por superfícies planas poligonais como triangulares, retangulares ou qualquer outra. É utilizada geralmente na representação de objetos prismáticos. Porém, quando em situações de superfícies circulares, deve-se utilizar uma grande quantidade de pequenos componentes planos em sua representação, a fim de obter uma aproximação, conforme mostrado na Figura 28. Os pontos dos vértices do modelo são extraídos das superfícies dos objetos por amostragem, medição ou aproximação.

Figura 28 – Superfície cilíndrica obtida a partir da união de superfícies poligonais



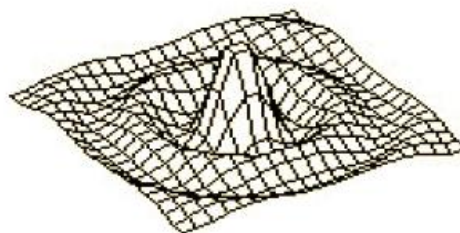
Fonte: Produção do próprio autor

1.9.2 Superfícies paramétricas

Consiste na modelagem a partir de três polinômios, um para cada dimensão do espaço xyz , que variam de acordo com um mesmo parâmetro “ u ”. Possibilita, por meio dos coeficientes dos polinômios, induzir a curva num caminho determinado, produzindo, assim, um contorno mais preciso do objeto do que as superfícies poligonais. O grau dos polinômios pode variar de acordo com a fidelidade desejada, sendo usualmente adotado o valor de grau 3. Entretanto, se adotado grau 1, este modelo iguala-se ao polinomial. Com relação à precisão do traçado, essa depende apenas do tamanho do passo “ u ” escolhido. Um exemplo de superfície obtida por paramétricas está representado na Figura 29.

Caso haja interesse, é possível utilizar um subconjunto desse modelo, no qual as superfícies são aproximadas por pequenos retalhos, adaptados à curvatura da silhueta, conforme ilustrado na Figura 29. Este subconjunto apresenta melhor adaptação à superfície real, o que exige maior capacidade de armazenamento computacional.

Figura 29 – Representação do movimento da superfície de um fluido gerado pela queda de uma gota.

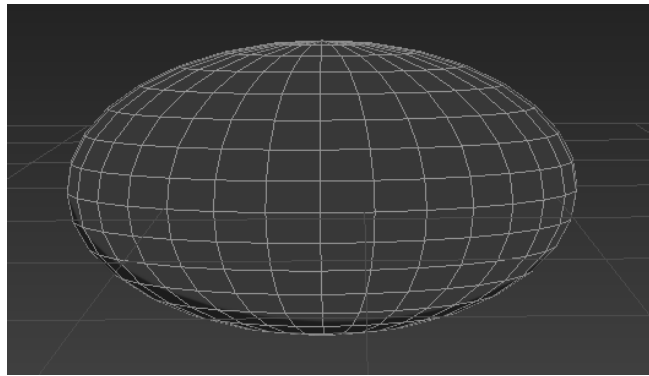


Fonte: (Ferreira; Pellegrino, 2006)

1.9.3 Superfícies quádricas

Definidas por equações do tipo $f(x, y, z) = 0$, onde f é um polinômio de grau 2, utilizadas na representação de esferas, cilindros, elipsoides, cones, troncos de paraboloides e demais superfícies equacionadas pela geometria analítica. Um exemplo está apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Representação do elipsoide



Fonte: Produção do próprio autor

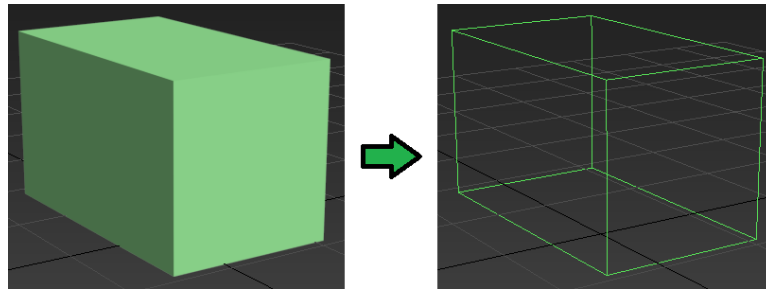
1.10 Modelagem de sólidos

A modelagem de sólidos está diretamente ligada à sua forma de visualização e aos elementos básicos que o representam, podendo ser classificados em exatos ou aproximados. Os primeiros têm sua origem a partir de equacionamentos matemáticos de seus volumes e superfícies, o que garante precisão e exige grande capacidade de processamento. Os segundos utilizam superfícies mais simples, como as malhas de polígonos citadas anteriormente, a fim de compor os objetos, o que requer menor capacidade de processamento [Ferreira; Pellegrino, 2006].

1.10.1 Representação aramada (wireframe)

Uma das formas mais simples, rápidas e tradicionais para o traçado de objetos dá-se, somente, pela delimitação de seu interior por meio das bordas do objeto, a denominada representação Aramada ou Wireframe. Assim, o sólido é visualizado apenas pelo conjunto de vértices e arestas que o formam, conforme a Figura 31, e o usuário deve utilizar sua observação e imaginação para o reconhecimento espacial [Igarashi; Matsuoka; Tanaka, 2007].

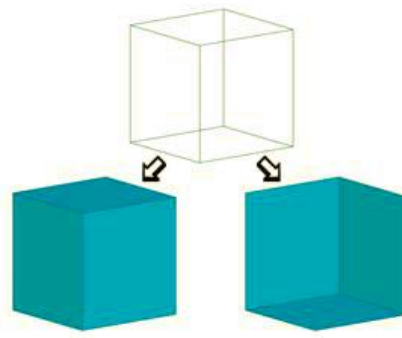
Figura 31 – Representação aramada de um paralelepípedo



Fonte: Produção do próprio autor

A vantagem deste tipo de representação reside em sua simplicidade, pois, como o sólido é representado apenas por vértices e arestas, o processamento necessário para gerá-lo torna-se mais rápido. No entanto, sua desvantagem advém ainda dessa característica, visto que sua representação não possui as informações necessárias para uma boa visualização do sólido criado, dependendo da interpretação do usuário e gerando uma ambiguidade visual no que se refere à orientação, como fica evidenciado na Figura 32 [Sousa, 2008].

Figura 32 – Ambiguidade visual na interpretação do cubo de representação aramada

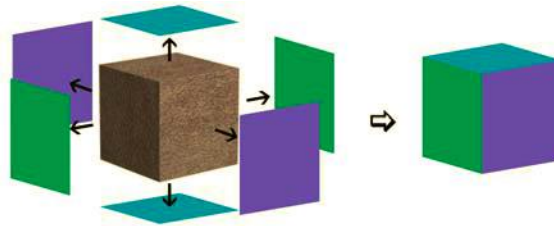


Fonte: Sousa (2008)

1.10.2 Representação por superfícies limitantes

Na representação por Superfícies Limitantes, ou por Fronteiras ou B-Rep (*Boundary Representation*), o objeto sólido é gerado pelo conjunto das superfícies, agrupadas convenientemente, que o limitam. Logo, um bloco cúbico de concreto tem sua representação apenas pela superfície que o reveste, como mostrado na Figura 33 [Igarashi; Matsuoka; Tanaka, 2007].

Figura 33 – Representação de um sólido cúbico pelas superfícies limitantes.

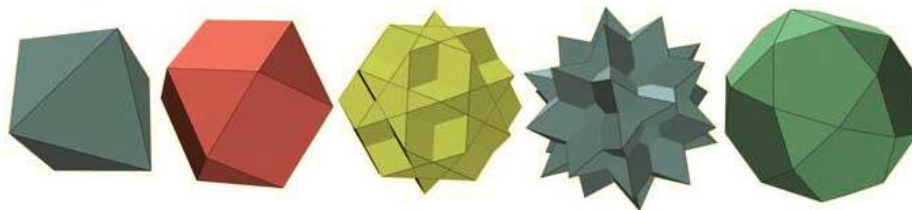


Fonte: Sousa (2008)

Pode-se entender que, nessa técnica, o objeto consiste em elementos isolados, armazenados na forma de listas, que deve ser gerenciada ou montada logicamente, para compor a envoltória do sólido. Assim, esse método depende da manipulação eficiente dos elementos das listas de dados, ligada diretamente à experiência do modelador e de uma pré-visualização do objeto, que nem sempre é trivial como o da Figura 33 [Ferreira; Pellegrino, 2006].

Sua principal vantagem consiste na possibilidade de modelar qualquer sólido, com qualquer formato, como mostrado na Figura 34, limitando-se apenas em relação à memória do computador e no desempenho do sistema, se a base de dados exigir muita capacidade. Entretanto, o maior desafio desse método encontra-se na dificuldade de conceber as formas complexas antes de representá-las no computador, para permitir sua montagem. Ademais, a obtenção de parâmetros como volume e centro de massa não são obtidos diretamente, é necessário utilizar algoritmos para sua determinação [Ferreira; Pellegrino, 2006].

Figura 34 – Sólido formado por superfícies poligonais variadas

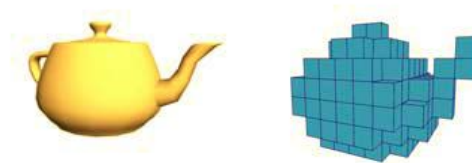


Fonte: Sousa (2008)

1.10.3 Representação por Enumeração na Ocupação Espacial

Segundo Sousa (2008), esta forma de representação consiste em decompor o objeto em células idênticas organizadas numa grade regular fixa. Assim, todo o espaço do conjunto encontra-se dividido em cubos do mesmo tamanho, como pode ser visualizado na Figura 35.

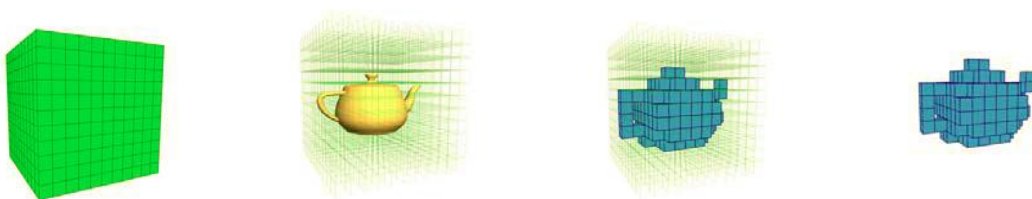
Figura 35 – Representação por Enumeração na Ocupação Espacial



Fonte: Sousa (2008)

A representação por enumeração na ocupação espacial é conceituada como uma decomposição. Pode-se imaginar que um espaço no qual um sólido está contido, incluindo a vizinhança do objeto, também pode ser representado de forma dividida e composta por cubos (chamados de Voxels). Assim, pode-se considerar que apenas os cubos correspondentes ao sólido seriam visualizados, conforme o exemplo da Figura 36. Logo, cada célula corresponde a uma região do espaço 3D e ocorre apenas o controle da presença ou ausência de uma célula em cada posição, através de uma matriz de zeros e uns, com caráter booleano [Sousa, 2008].

Figura 36 – Visualização dos Voxels que compõem o objeto



Fonte: Sousa (2008)

Dentre as vantagens desta representação tem-se: a facilidade de definição dos pontos pertencentes ao sólido; a facilidade de determinação de interferências entre dois ou mais objetos; a facilidade de operações booleanas entre sólidos; e a facilidade de definição de parâmetros do objeto, como massa, volumes de sólidos e momentos de inércia. No entanto, sua desvantagem reside em que, para sólidos mais complexos ou de representação mais

detalhada, exige-se alta capacidade de memória devido à redução das dimensões unitárias do cubo e ao aumento em sua quantidade [Sousa, 2008].

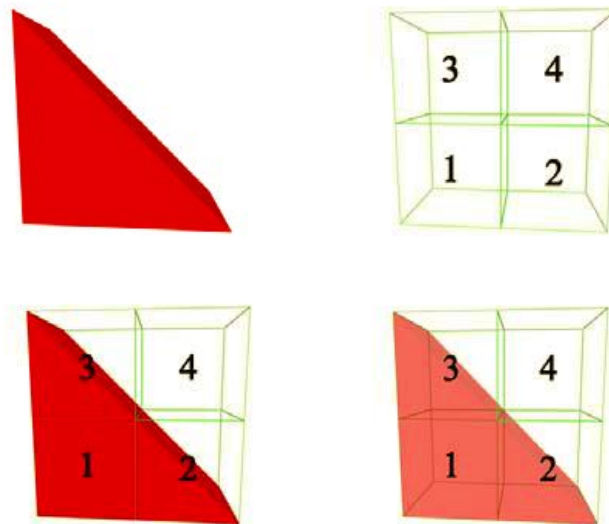
Segundo Esperança e Cavalcanti (2007), a representação por decomposição do espaço inclui a decomposição em *Octrees* e em *Quadrees* como casos particulares.

Na decomposição do espaço em *octrees*, o objeto é dividido em 8 cubos menores de igual tamanho. Posteriormente, cada cubo (voxel) recebe uma das três classificações:

- Cheio: Quando o cubo está contido totalmente dentro do objeto.
- Vazio: Quando o cubo está contido totalmente fora do objeto.
- Cheio-Vazio: Quando o cubo está contido parcialmente dentro do objeto.

A Figura 37 representa esse procedimento, sendo a célula 1 classificada como estado Cheio, a célula 4, estado Vazio, e as células 2 e 3, estado Cheio-Vazio.

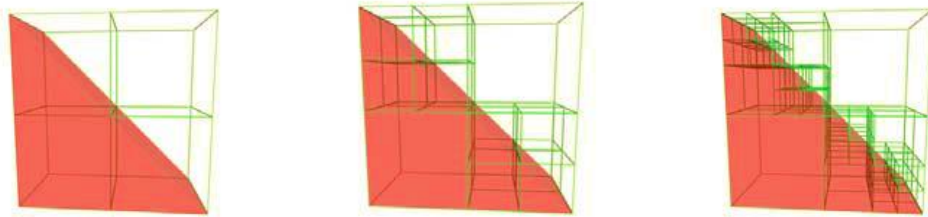
Figura 37 – Representação por decomposição do espaço em octrees



Fonte: Sousa (2008)

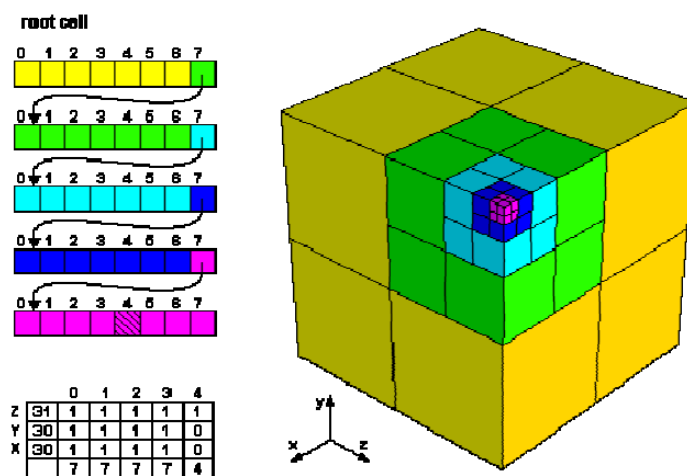
Quando um cubo está classificado como “Cheio-Vazio”, este é novamente dividido em 8 cubos iguais entre si, repetindo o processo de classificação dos cubos, conforme mostrado na Figura 38. O algoritmo tem sua repetição até que todos os cubos apresentem apenas as classes “Cheio” ou “Vazio”, como indicado na Figura 39.

Figura 38 – Decomposição do Espaço em Octrees



Fonte: Sousa (2008)

Figura 39 – Algoritmo com sua repetição até não haver a classe “Cheio-Vazio”



Fonte: Esperança; Cavalcanti (2007)

Na representação por decomposição do espaço em *quadtrees*, esta se apresenta semelhante à anterior, porém, é utilizada apenas em objetos 2D ou em objetos 3D com espessura constante [Sousa, 2008].

1.10.4 Representação Implícita

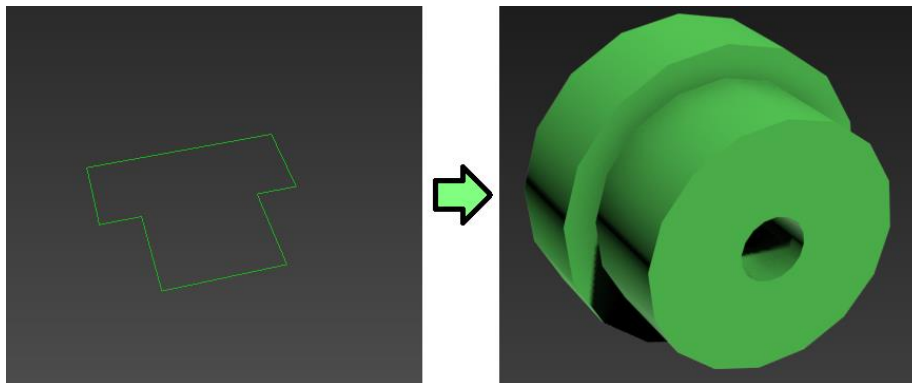
Como muitas formas Euclidianas possuem equações matemáticas conhecidas e simples, de maneira geral, pode-se utilizar estas equações para o armazenamento e modelagem dos sólidos. Porém, quando visualizado, não se leva em consideração a sua equação matemática implícita [Sousa, 2008].

1.11 Modelagem geométrica

1.11.1 Geração de Objetos por Varredura ou *Sweeping*

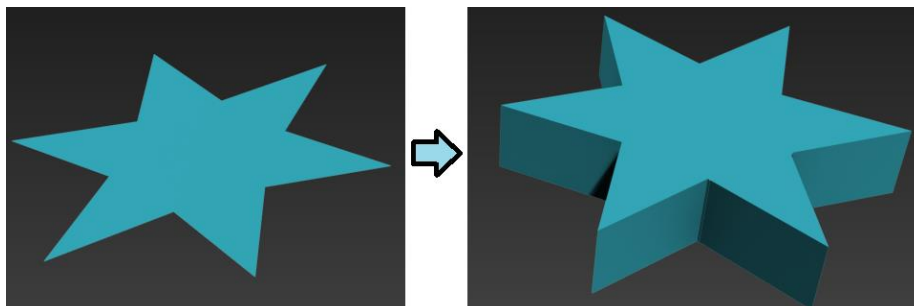
A Modelagem por Varredura consiste na obtenção de objetos a partir do deslocamento de uma curva ou de uma figura plana, denominada geratriz, ao longo de uma trajetória, chamada de diretriz. A movimentação da geratriz pode-se classificar na rotação em torno de um eixo, originando uma Varredura Rotacional, como mostrado na Figura 40, ou na translação segundo uma direção, obtendo uma Varredura Translacional, conforme a Figura 41. Entretanto, pode-se associar movimentos de rotação e translação para gerar sólidos com características cíclicas com pequenas variações de dimensões, tais como parafusos [Silveira Neto, 2005].

Figura 40 - Varredura Rotacional



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 41 - Varredura Translacional



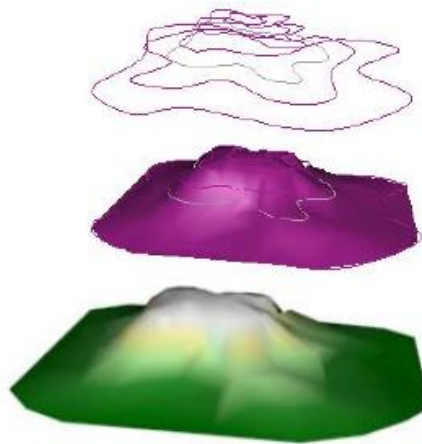
Fonte: Produção do próprio autor

A vantagem desse método consiste na facilidade de compreensão e modelagem, por meio de algoritmos simples de geração das superfícies e sólidos. No entanto, não existe

garantia da possibilidade de construção, no mundo real, dos objetos criados por esse método [Sousa, 2008].

Uma variante da varredura translacional consiste na Seção Transversal Serial, que permite uma extrusão que percorre uma linha-guia através de seções de diferentes formas e tamanhos. Dispondo as seções de maneira sobreposta, pode-se utilizar as curvas de nível como camadas para a modelagem de superfícies topográficas, conforme indicado na Figura 42 [Silveira Neto, 2005].

Figura 42 - Modelo topográfico obtido por Seção Transversal Serial



Fonte: Silveira Neto (2005)

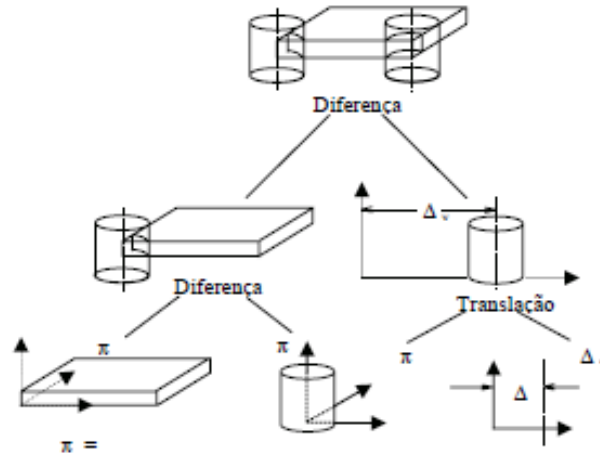
1.11.1 Geometria Sólida Construtiva – CSG

Segundo Igarashi, Matsuoka e Tanaka (2007), o CSG (*Constructive Solid Geometry*) ou Geometria Sólida Construtiva utiliza-se da combinação de sólidos preexistentes, denominados primitivos, através de operações booleanas para montar outros objetos sólidos. Essas operações são classificadas como: união, intersecção e diferença. Entretanto, são permitidas transformações afins (rotação e translação), aplicadas diretamente aos primitivos, sendo estas transformações precedentes às booleanas. Ainda há a possibilidade de alteração nos parâmetros que definem os sólidos primitivos, como comprimento, altura ou dimensões da base.

O armazenamento do sólido na CSG é realizado através de uma árvore de operadores, denominados nós, e primitivas simples, conforme observado na Figura 43. Nessa figura, o bloco e o cilindro compõem o conjunto de sólidos primitivos utilizados, e o cilindro sobre a

operação de translação anteriormente às duas operações de diferença [Ferreira; Pellegrino, 2006].

Figura 43 – Representação de um sólido por CSG através do diagrama de árvore



Fonte: Ferreira; Pellegrino (2006)

Uma das vantagens desse método encontra-se na liberdade de modelagem dos sólidos, devido à variada quantidade de elementos primitivos possíveis. Outra vantagem encontra-se na interpretação pelo computador do modelo com características sólidas, não apenas de sua superfície externa, de forma a armazenar parâmetros volumétricos, de massa, momento de inércia, entre outros. Entretanto, sua desvantagem consiste na necessidade de carregamento de dados com elementos primitivos no dispositivo de modelagem, a fim de agilizar esse processo quanto às formas mais complexas [Ferreira; Pellegrino, 2006].

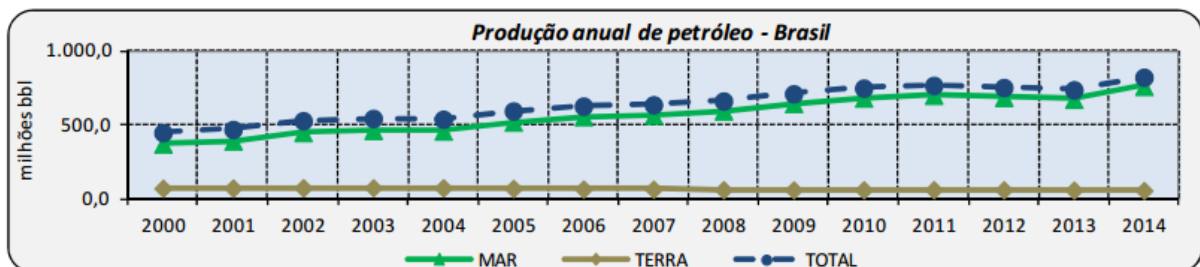
EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL

O petróleo consiste numa mistura de compostos de ocorrência natural, na qual predomina a presença de hidrocarbonetos, podendo chegar a mais de 90% de sua composição, e, em menor quantidade, de derivados orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e organo-metálicos [Zílio; Pinto, 2002]. Em seu estado líquido, caracteriza-se como oleoso, inflamável, menos denso que a água, com odor singular e coloração que varia entre o preto e o castanho-claro [Thomas, 2001]. Esse material é utilizado como matéria prima para a produção de gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, querosene, óleo diesel, parafinas, asfalto, polímeros plásticos e óleos lubrificantes. A transformação do petróleo nesses derivados segue a cadeia produtiva especificada no item 4.3.

O gás natural, segundo a Lei N° 9478, de 6 de agosto de 1997 [Brasil, 1997], consiste em: “Todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gasíferos, incluindo gases úmidos, secos, residuais e gases raros”. O gás natural pode ser encontrado junto ou separadamente ao petróleo e tem sua utilização na produção de metanol e ureia, além de sua utilização direta como fonte de geração de energia elétrica, em substituição ao carvão e óleo combustível, e como alimento de motores à combustão, substituindo gasolina, etanol e óleo diesel [Portal Brasil, 2011].

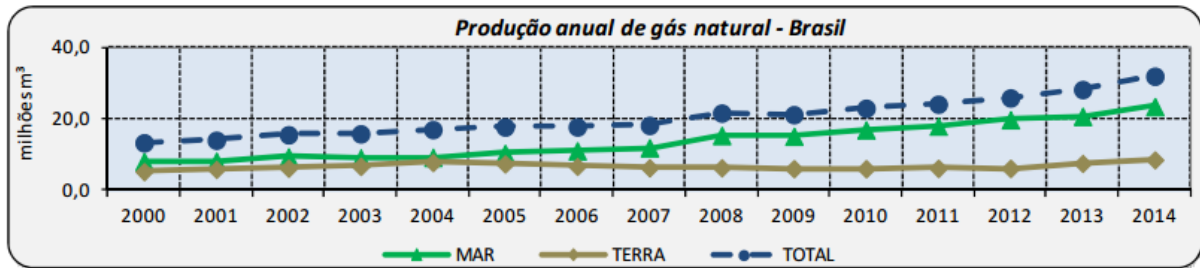
Nos últimos anos, houve uma evolução da indústria de petróleo e gás natural quanto à sua produção, conforme apresentada nos Gráficos 1 e 2, nos quais se pode observar a ascendência das produções, principalmente das relativas ao mar [Bdep, 2015].

Gráfico 1 – Produção anual de petróleo no Brasil no período entre 2000 e 2014



Fonte: Bdep (2015)

Gráfico 2 – Produção anual de gás natural no Brasil no período entre 2000 e 2014



Fonte: Bdep (2015)

A formação do petróleo e do gás natural inicia da deposição de matéria orgânica junto a sedimentos. Posteriormente a esses componentes fundamentais, ocorre a interação de fatores termoquímicos, que devem apresentar características adequadas para essa geração. A matéria orgânica depositada pode ser oriunda de microorganismos e algas que formam o fitoplâncton e que não sofrem oxidação devido ao meio marítimo, dando origem ao petróleo. Entretanto, pode também ser oriunda de vegetais lenhosos, dando origem ao gás natural [Thomas, 2001].

Essas substâncias, após sua formação na rocha geradora, migram para as rochas reservatório, que possuem alta porosidade e permeabilidade, como os arenitos e demais rochas sedimentares. Ainda é necessária a presença de uma barreira que possibilite o acúmulo das substâncias, que consiste na rocha selante, com característica de baixa permeabilidade e que seja plástica, para permitir a absorção de deformações sem fraturar, tais como os folhetos e evaporitos [Thomas, 2001].

Os processos de exploração e produção de petróleo e gás natural são classificados entre *onshore* e *offshore*, conforme sua localização [ANP, 2014]:

- *Onshore*: consiste nos processos operados em terra;
- *Offshore*: consiste nos processos operados no mar.

Nas operações offshore ainda há uma classificação diante das medidas de profundidade no mar (distância vertical entre a superfície do mar e o solo marinho ou lâmina d'água), sendo elas: águas rasas - até 300 metros; águas profundas - entre 300 a 1.500 metros; e águas ultraprofundas - igual/acima de 1.500 metros [Morais, 2013].

1.12 Histórico mundial

Desde a Antiguidade e Idade Média, o petróleo era conhecido e utilizado pelas civilizações, não com caráter energético, mas para impermeabilizações, calafetação de embarcações, pavimentação de estradas, no assentamento de tijolos e construção de

pirâmides, embalsamento de mortos e até para fins bélicos como bolas incendiárias. Nessas épocas, o petróleo era obtido através da sua retirada nas exsudações naturais superficiais, sendo, portanto, em pouca quantidade disponível [Thomas, 2001].

As atividades de exploração e produção (E&P) caracterizavam-se por artesanais ou domiciliares, e o mercado, ainda desorganizado, permitia a entrada de competidores eventuais, cuja frequência oscilava de acordo com o preço do produto cru. O interesse por petróleo baseava-se, inicialmente, na produção de querosene para substituir o óleo de baleia utilizado em lampiões para a iluminação, principalmente com a extinção desse animal devido à caça excessiva e ao aumento da demanda mundial. O petróleo ainda era utilizado na produção de graxas e lubrificantes para maquinários desenvolvidos após a Revolução Industrial [Canelas, 2007].

Na década de 1850, houve o interesse de aumentar a produção de querosene para iluminação e, assim, houve incentivo quanto aos estudos pioneiros da exploração do petróleo. Em 1859, em Titusville, no estado da Pensilvânia, Edwin Drake perfurou um poço através de técnicas utilizadas por exploradores de sal, encontrando uma jazida de petróleo a 21 metros de profundidade, cuja produção chegou a 25 m³ de petróleo por dia com o auxílio de uma bomba manual [Morais, 2013].

Posteriormente, foram descobertas diversas jazidas de petróleo e, quinze meses depois, havia cerca de 70 poços de produção nos Estados Unidos. Esse grande aumento da produção de petróleo permitiu a geração de excedentes de querosene, possibilitando sua exportação para a Europa, em 1861, para a substituição de velas de sebo para iluminação. Esse consistiu no início da indústria do petróleo em escala mundial e, em 1863, deu-se início à construção dos primeiros oleodutos, constituídos de madeira, para o transporte da produção para os mercados consumidores norte-americanos e mundiais [Morais, 2013].

Em 1862, no Canadá, foi descoberta a primeira jazida de petróleo jorrante do mundo, ou seja, o petróleo que sobe à superfície sem a necessidade da utilização de bombas. Porém, a maior influência do início da indústria de petróleo afetou os próprios Estados Unidos, onde ocorreram grandes descobertas em diversos estados. Somente no final do século XIX a procura por novas jazidas espalhou-se pelo mundo, incluindo Ásia e Leste Europeu, devido ao desenvolvimento de novos produtos derivados, como óleo combustível, graxas, óleos lubrificantes, vaselina, parafina e gasolina [Morais, 2013].

A intensificação das atividades de exploração de petróleo no mundo deu-se a partir da Primeira Guerra Mundial, especialmente no Oriente Médio. Em 1973, os árabes, em conflito com Israel, reduziram a produção de petróleo, o que acarretou no aumento do preço do barril

de três para doze dólares. Em 1979, com a revolução iraniana, o preço ficou acima de 40 dólares, até que, em 1985, a Arábia Saudita, atingida pelo esfriamento econômico geral, aumentou sua produção de petróleo, o que fez com que o preço do produto reduzisse pela metade [Oliveira, 2007].

1.13 Histórico no Brasil

Em 1858, o Marquês de Olinda concede a José Darros Pimentel o direito a extração de xisto betuminoso destinado à fabricação de querosene nas localidades às margens do Rio Marau, na Província da Bahia. Entretanto, esses registros não faziam referência ao petróleo. O primeiro registro da procura específica por petróleo no Brasil data do ano de 1864, impulsionada pela corrida mundial. O Governo Imperial concedeu permissão ao empreendedor Thomas Sargent para pesquisar petróleo, turfa e outros minerais nas localidades de Camamu e Ilhéus, também na Província da Bahia, com o objetivo de fabricação de óleo para iluminação. Essa foi a primeira concessão das muitas que se seguiram, destinadas principalmente às Províncias da Bahia, Maranhão e São Paulo e na Bacia Amazônica [Thomas, 2001; Morais, 2013].

Em 1891, as atividades de mineração sofreram uma mudança brusca devido a uma alteração na legislação de exploração das jazidas. Com essa alteração, o proprietário do solo passou a obter juntamente seu subsolo, o que antes era propriedade considerada nacional. Assim, neste mesmo ano apareceram as primeiras notícias sobre pesquisas relacionadas ao petróleo em Alagoas. Isso se deu pela descoberta de sedimentos argilosos betuminosos no litoral. Entretanto, o primeiro poço com o objetivo de encontrar petróleo foi perfurado apenas em 1897, no estado de São Paulo [Thomas, 2001; Morais, 2013].

Ao final da Primeira Guerra Mundial, o governo brasileiro decidiu participar diretamente das atividades de exploração de petróleo. Em 1919, houve a entrada do Estado no setor petrolífero, por meio do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil (SGMB), órgão do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, que realizou perfurações iniciais no Paraná, Alagoas, Bahia, Pará, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Essas perfurações não obtiveram sucesso em relação à descoberta de poços comerciais, apesar da execução de 50 poços, porém, deve-se considerar nos resultados a realização de levantamentos da estrutura geológica de bacias sedimentares e o treinamento de várias equipes de geólogos brasileiros [Morais, 2013].

No início dos anos 1930, houve o crescimento da demanda interna devido aos processos de industrialização e de expansão das estradas de rodagem. Assim, a dependência do Brasil dos derivados de petróleo importados aprofundou-se. Em 1934, a nova Constituição, promulgava a nacionalização das jazidas e minas julgadas básicas ou essenciais à defesa econômica ou militar do país, e a exigência de nacionalidade brasileira ou de constituição de uma empresa nacional para atuar no setor de mineração, entre outras disposições com fortes influências nacionalistas [Morais, 2013].

Em 1938, sob jurisdição do recém criado Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), iniciou-se a perfuração de poços na Bahia. Apesar de apresentarem condições antieconômicas após a perfuração de 17 poços, decidiu-se investir em sua exploração como forma de desenvolvimento de atividades petrolíferas. Em 1953, Vargas instituiu o monopólio estatal do petróleo, culminando na criação da Petrobrás, resultado da campanha popular que começou em 1946, com o histórico slogan "O petróleo é nosso". A estatal Petrobras, fundada no dia 3 de outubro pelo então presidente Getúlio Vargas, tinha o objetivo de executar as atividades do setor petrolífero no Brasil em nome da União e iniciou influentemente as pesquisas do petróleo brasileiro [Thomas, 2001; Petrobras, 2015b].

Desde sua criação, a Petrobras apresentou grande interesse na perfuração de poços e descoberta de jazidas e, em sua história, possui descobertas relevantes em cada década. Na década de 50, foram as descobertas dos campos de petróleo no Alagoas e na Bahia; em 60, foram os campos de Carmópolis e a primeira descoberta ao mar no campo de Guaricema; em 70, a jazida da Bacia de Campos (RJ), através da continuidade da exploração no mar apesar da crise; em 80, Mossoró (RN), descobertas na Bacia de Campos, o campo gigante de Albacora e o campo de Marlim, a grandes profundidades no Brasil, marcando a história da empresa em exploração em águas profundas, nunca antes exploradas, além da plataforma continental no Rio Grande do Norte; em 90, mais descobertas específicas de campos gigantes também na Bacia de Campos, porém ocorre o término de seu monopólio; em 2000, realiza perfuração em águas ultra profundas na bacia de Santos, além de iniciar a produção no pré-sal em 2010 [Thomas, 2001; Petrobras, 2015b]. Pode-se notar que a empresa objetivava o aumento contínuo da produção através de investimentos em tecnologia e pesquisa, de forma a apontar para a autossuficiência sustentável do Brasil na produção de petróleo e gás, conquistada no ano de 2006, com produção média diária de 1,9 milhão de barris por dia [Petrobras, 2015b].

1.14 Cadeia produtiva de petróleo e gás natural

Conceitualmente, cadeia produtiva consiste num instrumento desenvolvido com foco na visão sistêmica. Parte-se da premissa que é possível a representação do processo de produção de bens como um sistema, no qual as diversas etapas e os diversos atores encontram-se interconectados por fluxos de bens (matéria-prima, materiais e equipamentos), de serviços, de capital e de informação [Oliveira, 2007].

Segundo Sansone (2012), “as atividades relacionadas à indústria do petróleo e do gás natural objetivam a: busca do óleo e do gás na natureza; avaliação técnica e econômica das ocorrências; retirada da natureza; obtenção dos produtos e comercialização”. Dessa forma, o setor de petróleo e gás natural tem em sua cadeia produtiva os processos de: exploração, perfuração, avaliação, completação, produção, transporte, estocagem, refino e distribuição.

As atividades de **exploração**, localizadas na fase inicial da cadeia produtiva, são voltadas para a descoberta de reservas de petróleo e gás natural, onshore e offshore. Essas atividades subdividem-se em duas etapas: investigação e prospecção. Essas atividades serão melhor apresentadas no item 4.4. Posteriormente, com os dados dos procedimentos de exploração, ocorre a **perfuração** dos poços, tópico que será tratado no item 4.5, e a **avaliação** técnico-econômica dos poços e reservatório, que será tratado no item 4.6 [Sansone, 2012].

A etapa seguinte consiste na **completação**, que se trata do conjunto de operações realizadas com a finalidade de deixar o poço anteriormente perfurado com capacidade de operação segura e econômica durante sua vida útil produtiva. Dessa forma, o poço deverá permitir a produção de petróleo e/ou gás natural e, ainda, a injeção de fluidos no reservatório. Segundo Oliveira (2007), as atividades de completação englobam:

- Perfilagem: avalia a qualidade da cimentação feita na perfuração, utilizando-se, geralmente, perfis acústicos que medem a aderência do cimento ao tubo de revestimento e à formação geológica do reservatório;
- Instalação de equipamentos: como a coluna de produção, a “árvore de natal” e válvulas *Blow Out Preventer* (BOP) e *Down Hole Safety Valve* (DHSV). A coluna de produção, constituída basicamente por tubos metálicos, é descida pelo interior do revestimento de poço para conduzir os fluidos produzidos até a superfície e proteger o revestimento contra fluidos agressivos e pressões elevadas, de forma a permitir a instalação de equipamentos para a elevação artificial. A árvore de natal e as válvulas BOP e DHSV consistem em equipamentos de segurança para evitar o refluxo dos fluidos.

- Canhoneio: consiste na perfuração do revestimento ao longo do trecho de produção do poço, de modo a possibilitar a comunicação da parte do reservatório onde ocorrem os hidrocarbonetos com a linha de produção. Esse procedimento é realizado através do uso de cargas explosivas especialmente moldadas para sua extração, não sendo realizada em poços horizontais.

Segundo Oliveira (2007), a fase de produção divide-se em quatro aspectos fundamentais: o planejamento, o desenvolvimento, a análise e controle da produção e a desativação.

Posteriormente aos processos de produção e tratamento, o petróleo bruto é estocado em tanques até a sua destinação. Seu escoamento para o refino (destino) é realizado com o auxílio de bombas, que o conduzem através de dutos ou por modal rodoviário, ferroviário ou hidroviário até os tanques dos terminais marítimos. Esses terminais marítimos podem estar localizados na costa, em locais escolhidos em função de estudos oceanográficos que consideram a profundidade, os ventos, as ondas e as correntes marítimas, ou podem ser construídos em mar aberto, utilizando sistema de várias boias, ou monoboias, dependendo das condições marítimas. Além disso, esses terminais devem permitir a amarração de um ou mais navios, possuindo equipamentos para bombear e estocar o petróleo, como citado anteriormente. Os dutos para transporte, sendo eles classificados em oleodutos ou polidutos, são tubulações projetadas, construídas e operadas para transportar grandes quantidades de fluido a grandes distâncias, do modo mais econômico e seguro. Os oleodutos são responsáveis apenas pelo transporte de óleo, enquanto os polidutos, além do petróleo, pelo transporte de seus derivados. Os dutos são também compostos, além da tubulação, de estações de bombeamento, variando em número e potência em função da distância e do relevo topográfico da região por onde passa [Oliveira, 2007]. A gestão das etapas de transporte e estocagem de petróleo englobam: a escolha e o dimensionamento da frota, a gestão de portos, se for o caso, e a gestão do sistema de transporte e estocagem [Sansone, 2012].

O refino “é a etapa em que o petróleo bruto, que é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos onde predominam os hidrocarbonetos, é separado nas frações desejadas para processamento e transformação em produtos de maior valor agregado. Os processos de refino envolvem a passagem do petróleo por unidades de destilação, conversão, tratamento, etc, visando obter combustíveis, lubrificantes e parafinas em unidades industriais conhecidas como refinarias” [Oliveira, 2007]. Ainda para a gestão do sistema de refino, deve-se: escolher os produtos e processos, dimensionar as instalações e gerir os processos [Sansone, 2012].

Finalmente, ocorre o transporte dos derivados de petróleo até os mercados consumidores. Isso acarreta em atividades de logística, nas quais há, primeiramente, o transporte e o armazenamento até as bases primárias de estocagem dos produtos, e, depois, são encaminhados às bases secundárias de distribuição em função das demandas. No armazenamento, os tanques podem pertencer aos terminais marítimos ou às distribuidoras, sendo possível neste último caso a mistura de produtos ou adição de aditivos conforme decisão da distribuidora. O transporte pode ser realizado por: modal rodoviário, através de caminhões-tanque; por modal ferroviário, através de vagões apropriados; por modal hidroviário, através de navios; ou por meio de dutos. Após essa etapa, fica a critério das distribuidoras o sistema de logística e distribuição nos pontos de consumo [Oliveira, 2007].

1.15 Exploração

Segundo Thomas (2001), as atividades de exploração são realizadas, num primeiro momento, a partir da investigação de superfície. O geólogo desenvolve um mapeamento das rochas que afloram na superfície e identifica e delimita estruturas capazes de acumular hidrocarbonetos, ou seja, bacias sedimentares. Utiliza-se, também, o apoio de métodos como a aerofotometria e fotogeologia para inferir a respeito das formações rochosas, bem como imagens de radar e satélites e análises paleontológicas:

- Aerofotometria: “é fundamentalmente utilizada para construção de mapas base ou topográficos e consiste em fotografar o terreno utilizando-se um avião devidamente equipado, voando com altitude, direção e velocidade constantes” [Thomas, 2001];
- Fotogeologia: “consiste na determinação das feições geológicas a partir de fotos aéreas, onde dobras, falhas e o mergulho das camadas geológicas são visíveis. As estruturas geológicas podem ser identificadas através da variação da cor do solo, da configuração de rios e de drenagem presente na região em estudo” [Thomas, 2001];
- Técnicas de sensoriamento remoto: “uso de imagens de radar obtidas por satélite terrestre, cujas cores são processadas para ressaltar características específicas das rochas expostas na superfície” [Oliveira, 2007];
- Técnicas de análise paleontológica: “identificação em laboratório dos fósseis presentes nas amostras das rochas provenientes da superfície e subsuperfície, visando correlacionar os tipos de rochas” [Oliveira, 2007].

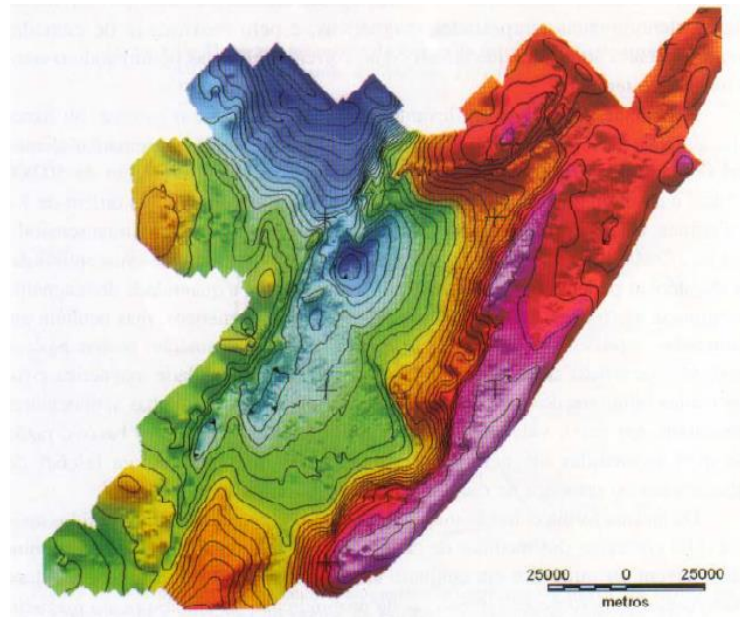
Deve-se utilizar, ainda na fase investigativa, estudos de geologia de subsuperfície, através de dados geológicos obtidos em poço exploratório. Nesse momento, há a interface entre as etapas de exploração e perfuração. Com os dados dos poços, é possível realizar a descrição das amostras de rochas obtidas, o estudo das formações perfuradas e sua profundidade, a construção de mapas e seções estruturais através da relação entre os dados dos diferentes poços e a identificação de fósseis presentes nas amostras de rochas. Assim, através da utilização dessas informações, o geólogo identifica as estruturas mais promissoras ao acúmulo de petróleo e inicia-se a exploração através de métodos indiretos nessas estruturas identificadas [Thomas, 2001].

Os métodos de prospecção, ou métodos indiretos, permitem o reconhecimento e mapeamento das grandes estruturas geológicas que não aparecem na superfície. Assim, é possível averiguar a existência das bacias sedimentares detectadas pelos métodos diretos. Os métodos de prospecção são classificados em dois grupos: os métodos potenciais e os métodos sísmicos.

Os métodos potenciais baseiam-se na detecção de pequenas variações das propriedades físicas das rochas para sua identificação. São eles:

- Gravimetria: baseado na medição das variações da densidade das rochas na subsuperfície terrestre através de variações no campo gravitacional. É obtido um mapa gravimétrico, denominado Mapa de Anomalia Bouguer, após a realização de correções de latitude, elevação, topografia e marés, pois consistem em fatores que também interferem no campo gravitacional, conforme a Figura 44. Assim, são feitas estimativas da espessura da camada de sedimentos em uma bacia sedimentar, podendo informar sua extensão e limites, detecção da presença de rochas com densidades anômalas, como as ígneas e domos de sal. Entretanto, a interpretação do mapa é ambígua, já que diferentes situações geológicas podem apresentar perfis gravimétricos semelhantes, o que implica que esse método não pode ser utilizado isoladamente, apesar de mostrar a existência de anomalias;

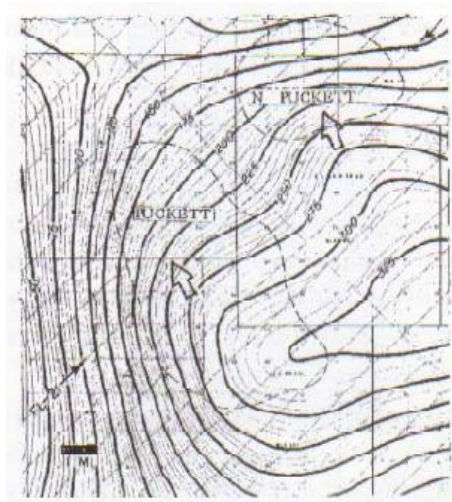
Figura 44 - Mapa de Anomalia de Bouguer, da Bacia do Recôncavo, BA



Fonte: Thomas (2001)

- Magnetometria: baseado na medição das variações de intensidade do campo magnético terrestre, devido à distribuição irregular das rochas magnetizadas em subsuperfície. A magnetização das rochas dá-se através de minerais ferromagnéticos, principalmente a magnetita. As rochas sedimentares apresentam alto teor de sílica e valores baixos de susceptibilidade magnética. Semelhantemente ao método da gravimetria, a interpretação do mapa magnético, apresentado na Figura 45, é ambígua e este método não pode ser utilizado isoladamente.

Figura 45 - Mapa aeromagnético do campo de petróleo Puckett, Texas



Fonte: Thomas (2001)

Os métodos sísmicos, por sua vez, utilizam as propriedades de refração e reflexão das ondas para realizar seus levantamentos geológicos. Atualmente, o método mais utilizado é o sísmico de reflexão, no qual se inicia com a geração de ondas elásticas que se propagam pelo interior da Terra. A geração das ondas é realizada por meio de fontes artificiais, que podem ser explosões com dinamite, vibradores ou canhões de ar comprimido. Então, essas ondas são refletidas e refratadas nas interfaces entre rochas de diferentes composições e retornam à superfície, onde são captadas por sensores e equipamentos de registro, que podem ser os geofones, utilizados em terra, ou os hidrofones, utilizados no mar [Thomas, 2001]. Segundo Sebrae (2011), os métodos mais utilizados na indústria do petróleo são:

- Sísmica 2D: fornece um perfil longitudinal de subsuperfície de acordo com o posicionamento dos sensores de captação. Em áreas com estruturas complexas (domos de sal, falhas e dobras), produzem uma imagem falsa da subsuperfície;
- Sísmica 3D: considerando estruturas geológicas de subsuperfície de natureza tridimensional, com interesse para exploração de hidrocarbonetos, esse método aperfeiçoou o 2D. Consiste, basicamente, na aplicação da sísmica 2D em linhas paralelas, com o objetivo de abranger a subsuperfície inteiramente.
- Sísmica 4D: utilizada na etapa de produção, consiste na repetição de um levantamento 3D, porém realizado em grandes intervalos de tempo, mantendo-se as mesmas condições de aquisição e processamento, de modo que permita a observação de eventuais alterações nas características petrofísicas dos reservatórios.

1.16 Perfuração

Posteriormente às etapas de exploração, são realizadas perfurações ainda com o objetivo de obtenção de dados para avaliação da reserva de petróleo. Após a coleta de dados suficientes, e de análises econômicas e técnicas da produção, há a determinação de um projeto com a locação dos poços. Assim, são iniciados os procedimentos de perfuração dos poços voltados à produção.

1.16.1 Classificação dos poços

Segundo Petrobrás (2015a), os poços de petróleo e gás podem ser classificados por dois aspectos: segundo a finalidade e segundo a direção, como serão explanados a seguir, baseados nessa mesma literatura.

a) Segundo a finalidade

Existem diferentes tipos de poços que se diferenciam conforme sua finalidade. São eles:

- Poço pioneiro: consiste no primeiro poço perfurado quando há a busca de petróleo e/ou gás natural;
- Poço estratigráfico: esse tipo de perfuração é realizado para o mapeamento de dados geológicos das camadas de rocha e obtenção de demais informações relevantes;
- Poço de extensão ou delimitatório: trata-se do tipo de poço perfurado quando se deseja ampliar ou demarcar os limites de uma jazida;
- Poço pioneiro adjacente: sua perfuração é realizada com a finalidade de descobrir novas jazidas em uma área adjacente a uma descoberta anterior;
- Poço para jazida mais rasa: ocorre sua perfuração quando há interesse de testar a existência de jazidas mais rasas do que as já descobertas numa determinada área;
- Poço para jazida mais profunda: ocorre sua perfuração quando há interesse de testar a existência de jazidas mais profundas do que as já descobertas numa determinada área;

Após as pesquisas e mapeamentos realizados através dos poços pioneiros e adjacentes e, ainda, depois da comprovação de viabilidade econômica, são realizadas as perfurações dos poços:

- Poço de produção ou desenvolvimento: através desse tipo de poço é realizada a drenagem de petróleo de um campo;
- Poço de injeção ou injetor: com a finalidade de aumentar ou melhorar a recuperação de petróleo e gás natural de um reservatório, injeta-se fluidos como água e gás.
- Poço especial: para quaisquer outros tipos de poço.

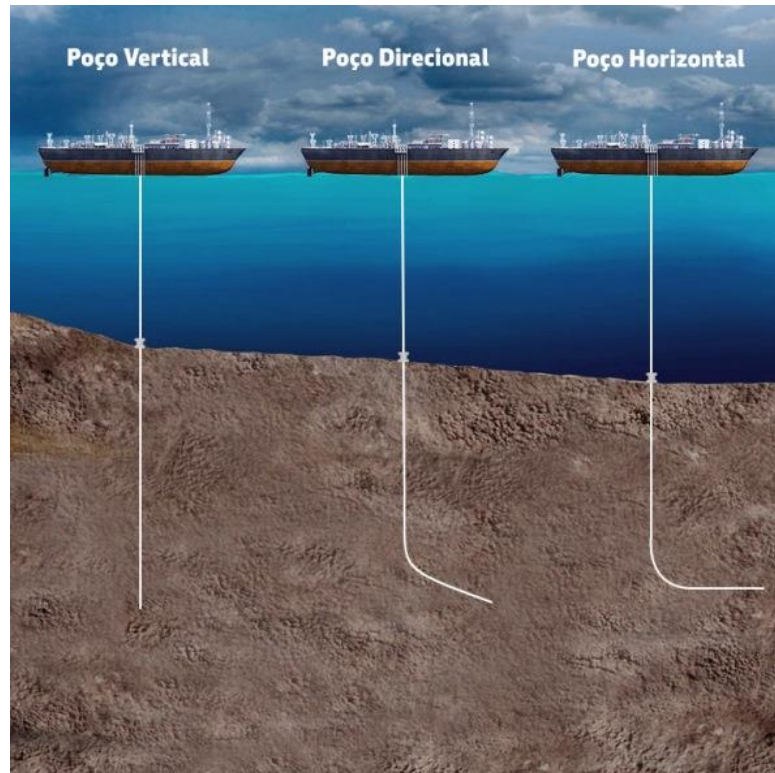
b) Segundo a direção

Outra classificação para os poços de petróleo baseia-se na direção de sua perfuração, conforme a Figura 46, que se subdivide da seguinte maneira:

- Poço vertical: nesse tipo de perfuração, a sonda e o alvo (ou objetivo) encontram-se na mesma reta vertical;
- Poço direcional: qualquer poço em que a perfuração não é realizada na vertical;

- Poço horizontal: consiste num tipo de perfuração feita na horizontal, especialmente para garantir um maior aproveitamento do petróleo.

Figura 46 - Tipos de poços segundo a sua direção



Fonte: Petrobras (2015a)

Existem, ainda, alguns tipos que não se enquadram nas classificações acima. São eles: [Petrobras, 2015a].

- Poço repetido: quando, por algum motivo, há necessidade de perfurar novamente um poço, mantendo os mesmos objetivos;
- Poço partilhado ou multilateral: quando há o aproveitamento de um poço já perfurado, ou parte dele, para objetivos diferentes;
- Poço desviado: ocorre quando há necessidade de desviar a trajetória da perfuração devido à presença de um obstáculo.

1.16.2 Métodos de perfuração

Segundo Schaffel (2002), existem basicamente dois métodos de perfuração de poços: o percussivo e o rotativo.

- Percussivo: o método mais antigo e com uma característica rudimentar, consiste na perfuração por meio de golpes na rocha com a utilização de uma broca, causando sua fragmentação por esmagamento. Os resíduos gerados no interior do poço são retirados através da caçamba.
- Rotativo: este método, utilizado atualmente pela indústria de petróleo, consiste na perfuração através da utilização de uma mesa rotativa, que transmite seu torque à coluna de perfuração com a broca em sua extremidade. A combinação entre o peso da coluna de perfuração e sua rotação sobre as rochas causam o esmerilhamento por compressão.

1.17 Avaliação técnico-econômica dos poços e reservatório

Segundo Oliveira (2007), a avaliação técnico-econômica dos poços e reservatório ocorre após a etapa de exploração e após a perfuração de poços pioneiros executados também para coleta de dados da formação, conforme explicado no item 4.1. Assim, com base em todos os dados obtidos e a partir de equações e softwares especializados, é possível realizar a modelagem do comportamento do campo petrolífero, por meio de simuladores numéricos do modelo físico do reservatório, com a finalidade de estimar e conhecer o comportamento de fases dos seus fluidos (petróleo, gás natural e água) e os mecanismos que controlam o seu escoamento no meio poroso.

A avaliação acompanha as fases posteriores de exploração e produção de petróleo e gás natural, pois a quantidade de dados e informações obtida inicialmente é insuficiente para delinear um reservatório por completo e definir suas propriedades. Conforme se realiza a execução dos poços e a produção aumenta, mais dados são obtidos e incorporados ao modelo inicialmente idealizado, aprimorando-o continuamente.

Ainda em relação a esta etapa, através de um trabalho integrado entre especialistas de diferentes disciplinas, é quantificado o valor econômico de um campo de petróleo e definido o plano ótimo para seu desenvolvimento.

1.18 Perfuração marítima

Inicialmente, devido às limitações tecnológicas, utilizou-se de técnicas semelhantes às usadas em terra para a perfuração e exploração de petróleo e gás natural. Entretanto, com a descoberta de jazidas em águas mais profundas, tornou-se necessário o desenvolvimento de equipamentos e técnicas específicas à perfuração marítima. Dentre os equipamentos que

apresentam maiores diferenças consistem nas plataformas, que podem ser de perfuração, produção ou ambas as atividades. Ainda existem modificações no sistema de cabeça de poço, que pode ser do tipo submerso ou de sondas flutuantes, ambos ancorados no fundo do mar [Thomas, 2001].

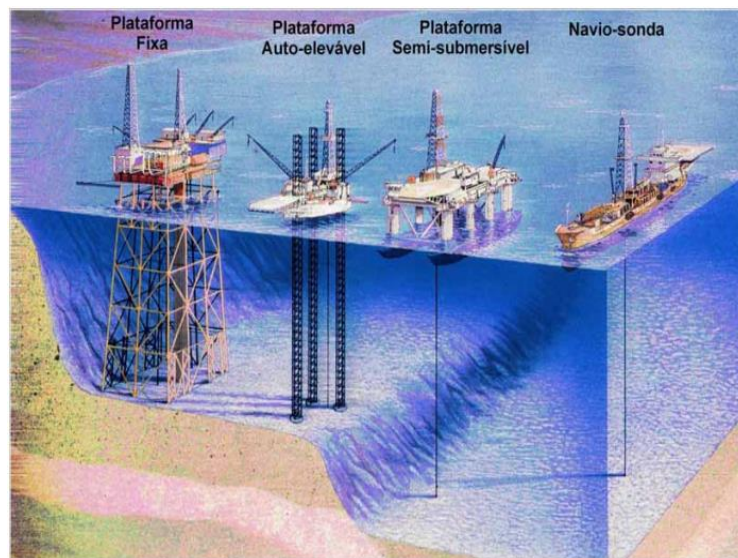
1.18.1 Tipos de plataformas

Os tipos de plataformas existentes podem ser divididos entre: com BOP na superfície, como as plataformas fixas, as auto eleváveis, as submersíveis e as tension legs, ou com BOP no fundo do mar, denominadas flutuantes, como as semissubmersíveis e os navios sonda [Thomas, 2001]. Algumas dessas plataformas estão ilustradas na Figura 50. Para cada caso, são analisadas as condições de lâmina d'água, condições do mar, relevo do fundo do mar, finalidade do poço, logísticas de apoio e custo/benefício. No Brasil, o tipo mais utilizado consiste nas plataformas fixas. Nessas estruturas também estão locados engenheiros, técnicos de várias especialidades, profissionais de hotelaria e enfermagem, técnicos de segurança, mergulhadores, entre outros, para realização direta dos trabalhos ou como suporte [Petrobras, 2014]. As explanações sobre as plataformas baseiam-se nessa mesma literatura.

- Plataforma fixa: construída de estruturas modulares de aço, cravada com estacas no fundo do mar, realizada em operações com previsão de longa duração, utilizada na perfuração de poços e produção de petróleo, apropriada para águas rasas;
- Plataforma auto elevável: composta por uma balsa e, no mínimo, três pernas de comprimentos variáveis, que se movimentam até entrarem em contato com o fundo do mar. Posteriormente, a plataforma é elevada acima do nível d'água. Permite deslocamento através da movimentação das pernas para cima e navegação por reboque ou propulsão própria, porém também oferece alto grau de estabilidade quando em repouso. É utilizada na perfuração de poços em águas rasas;
- Plataforma submersível: composta por uma estrutura montada sobre flutuador, deslocada com o auxílio de um rebocador. Utilizada em águas calmas e rasas, localidades que possibilitam o apoio de seu casco no fundo;
- Plataforma semissubmersível: composta por um ou mais conveses apoiados por colunas em flutuadores submersos, possui um sistema de ancoragem no fundo do mar para controle da estabilidade e propulsores no casco para posicionamento dinâmico. Utilizada tanto na perfuração de poços quanto na produção de petróleo;

- Plataforma *tension leg* (TLWP) ou de pernas atirantadas: flutuante, com características semelhantes à semissubmersível, possui pernas que são ancoradas por tendões, fixados no fundo do mar por estacas. A flutuação da plataforma permite a tração constante nas pernas, o que gera grande estabilidade. Apresenta alto potencial de utilização em águas ultraprofundas;
- Navio-sonda: consiste na unidade flutuante para perfuração de poços e pode operar em águas ultraprofundas. Utilizam-se, ainda, propulsores e sensores acústicos para compensar os efeitos dos ventos e das ondas, controlando a estabilidade.

Figura 47 - Tipos de plataformas utilizados



Fonte: Mansano (2004)

MODELAGEM 3D E REALIDADE VIRTUAL APLICADOS À EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL

A partir do final da década de 1990, quando o preço do petróleo encontrava-se em baixa, a indústria procurou alternativas para a redução dos custos de exploração e produção de petróleo e gás, sendo uma delas a Realidade Virtual. Dessa forma, iniciou-se a exploração dessa tecnologia através de equipamentos como telas de projeção e dispositivos de interação, a fim de que os profissionais possuíssem ferramentas adequadas para a interpretação e análise de uma grande quantidade de dados [Russo et. al, 2006].

Um dos aspectos mais importantes e de colaboração que a RV apresenta consiste na possibilidade de integração desses dados, de forma que profissionais de diversas áreas e segmentos da exploração e produção consigam utilizar e aprimorar o mesmo modelo [Russo et. al, 2006]. Os principais usuários dos sistemas são os engenheiros de reservatório, geocientistas, desenvolvedores e gerentes envolvidos no planejamento e acompanhamento de empreendimentos de Exploração e Produção [Andrade, 2010].

Entretanto, os maiores desafios dessa tecnologia estão relacionados às mesmas características das quais advém suas vantagens. Um deles consiste na criação de ambientes virtuais colaborativos eficientes, que incluam todos os profissionais envolvidos nos processos, até os dispersos geograficamente. Nesse aspecto, as atividades de exploração de petróleo e gás natural *offshore* apresentam as maiores dificuldades, devido à locação de profissionais e atividades realizadas nas plataformas e em localidades de difícil acesso [Russo et. al, 2006].

Outro desafio consiste no desenvolvimento dos ambientes com grande quantidade de dados, o que pode dificultar a utilização dos diferentes tipos de usuários dos modelos. Segundo Andrade (2010), esses usuários são classificados entre: simples, avançados e desenvolvedores, cada qual conforme suas atividades relacionadas aos modelos.

Os usuários simples, dentre eles os geocientistas e engenheiros, utilizam o modelo com o objetivo de analisar as atividades de determinada tarefa, através da visualização e interação com os ambientes imersivos, que devem fornecer visualizações integradas e acesso fácil às informações. Os usuários avançados, também geocientistas e engenheiros, utilizam os modelos a fim de customizar as aplicações conforme suas necessidades, para trazer melhorias em relação aos seus objetivos específicos, através de *scripts* ou arquivos de configuração. Finalmente, os usuários desenvolvedores, parceiros no desenvolvimento dos ambientes virtuais, estão envolvidos na tarefa de implementar as funcionalidades planejadas no seu projeto, com o foco em obter maior produtividade através da criação de novas aplicações.

Assim, os ambientes virtuais necessitam atender às necessidades dessas três classes de profissionais de forma satisfatória e eficiente [Andrade, 2010].

Em relação à visualização dos modelos em tempo real, por se tratar de modelos complexos com uma grande quantidade de dados e variáveis, isso também se apresenta como um desafio. Deve-se atrelar a criação de ambientes virtuais dinâmicos e que permitam visualização de diferentes perspectivas às características reais e detalhadas dos projetos. Assim, têm-se dois requisitos que se conflitam, pois, diante de tecnologias que suportam grande quantidade de dados, pode ocorrer a redução da velocidade de transmissão das informações, gerando um intervalo no tempo real. Ou pode-se privilegiar a atualização em tempo real do modelo em detrimento aos detalhes de projeto. Em ambos os casos, há uma perda considerável das vantagens de utilização de RV para tomadas decisões rápidas e eficazes, e, portanto, a solução, além do desenvolvimento de dispositivos mais avançados e que suportem maior quantidade de dados, está no equilíbrio entre os dois requisitos apresentados [Russo et. al, 2006].

Segundo Russo et. al (2006), os recursos de RV utilizados para a implantação de melhorias no sistema segregam-se entre três categorias principais relacionadas à exploração e produção de petróleo e gás natural: a exploração dos reservatórios, projeto e construção de facilidades de produção e produção e transporte de óleo e gás.

1.19 Exploração de reservatórios

Em meados de 1970, as interpretações sísmicas utilizavam mapas desenhados em papel, sobre os quais, através de seus conhecimentos e experiências, os especialistas desenvolviam modelos mentais em três dimensões em relação às características das camadas de rocha [Russo et. al, 2006].

Com o desenvolvimento tecnológico, imagens estereoscópicas e com a criação dos ambientes de realidade virtual, possibilitou-se a utilização de modelos de modo interativo e exploratório. Com isso, a dependência dos modelos mentais tornou-se extinta, o que promoveu uma rapidez na realização dos mapeamentos, assim como na interpretação dos dados, além do aumento da precisão geométrica dos reservatórios. Também promoveu a criação de ambientes colaborativos com a unificação de um modelo que pode ser desenvolvido através de geomodelagem e permite a visualização pelos diversos usuários, possibilitando discussões baseadas num mesmo modelo, porém podendo ter focos em dados diferentes [Russo et. al, 2006].

Assim, os modelos 3D e a RV possibilitam uma melhor observação do arranjo e forma dos corpos sedimentares a partir dos dados disponíveis, além da visualização de volumes obtidos pela interpolação de dados sísmicos entre dois horizontes próximos; a obtenção de uma melhor definição de falhas e fraturas que sejam consistentes com o modelo idealizado; e uma melhor visualização da distribuição das fácies reservatórios e com isso chegar a um melhor entendimento dos controles geológicos [Almeida; Lara, 1991].

Ademais, através da realidade virtual, há a possibilidade de acompanhamento remoto das perfurações de poços, com a visualização dos processos de monitoramento de reservatórios, usando sísmica 4D. Dessa forma, pode-se identificar o posicionamento da capa de gás e/ou contato óleo-água e sua frente de avanço em processos de injeção de água. Logo, uma equipe de profissionais especializados para essa função, ainda que remotamente, revê, atualiza e corrige os modelos conforme a ocorrência de imprevistos durante as perfurações [Russo et. al, 2006; Almeida; Lara, 1991].

1.20 Projeto e Construção

As fases de projeto e construção têm seus focos voltados às estruturas sofisticadas e complexas offshore, como as plataformas. Assim, através de simulações, pode-se analisar a estabilidade das estruturas em relação a ações de correntes marítimas, ondas, pressão dos ventos e condições de estresse dos materiais, dentro outros fatores. Pode-se, ainda, utilizar os modelos para o auxílio na definição do tipo de plataforma mais adequado e adotado nos projetos, incluindo seu sistema de ancoragem [Russo et. al, 2006].

Realiza-se, ainda, o planejamento e projeto de instalação de facilidades. Projetos desenvolvidos em sistemas CAD podem ser alimentados em determinados tipos de softwares e planejar, a partir de uma análise visual, a localização ou disposição de facilidades em uma instalação de petróleo. Ainda se pode verificar as inconsistências no desenvolvimento de projetos que tenham passado despercebidos, incluindo a revisão do projeto por meio de visitas virtuais às instalações projetadas [Almeida; Lara, 1991].

Pode-se, também, estudar e analisar diferentes estratégias para desenvolvimento do campo, verificar qual o melhor esquema para desenvolvimento de um campo de petróleo e melhorar o acompanhamento de projetos de recuperação avançada de petróleo [Almeida; Lara, 1991]. Além do recurso de revisão do projeto de construção das estruturas, na qual os recursos de RV apresentam ganho significativo quando há a utilização de recursos [Russo et. al, 2006].

1.21 Produção

A fase de produção tem o enfoque voltado à eficiência e segurança dos processos envolvidos, o que envolve treinamento dos profissionais, monitoramento das plantas de produção, manutenção, tratamento de situações de emergência, entre outros. Para isso, a RV pode ser utilizada com o objetivo de monitorar as plantas, que devem estar sempre atualizadas no modelo, além de colaborar no desenvolvimento de sistemas para treinamento pessoal relacionado a situações de emergência, o que reduz o risco de acidentes como derramamentos de óleo, por exemplo [Russo et. al, 2006].

As tecnologias de RV trazem novas possibilidades no acompanhamento de operações em locais de difícil acesso, como, por exemplo, em grandes profundidades do oceano. Dessa forma, o sistema de RV cria um espaço virtual por meio da leitura de sensores instalados nos equipamentos submarinos. Essa técnica apresenta vantagens em relação à obtenção de imagens reais com câmeras submarinas, pois apresenta maior nitidez nas imagens, sem restrições de campo de visão e com uma boa fidelidade do cenário real [Russo et. al, 2006].

1.22 Centros de Realidade Virtual

Existem centros de RV com foco nas atividades de petróleo e gás natural localizados em diversos países, dentre eles: Estados Unidos, Reino Unido, Singapura, França, Rússia, Suécia, Arábia Saudita, Qatar, Coreia do Sul, Holanda, Kuwait, China, Alemanha, Malásia e, inclusive, o Brasil [Barco, 2015; Eon Reality, 2015]. Há também centros de RV de uma mesma empresa distribuídos por esses países, como, por exemplo, a Shell, que mantém em funcionamento 15 centros para a realização de suas pesquisas em produção de petróleo e gás natural [Shell, 2015].

No Brasil, em 2011, a empresa A OGX inaugurou sua nova Sala de Realidade Virtual, localizada na sede da empresa, no Centro do Rio de Janeiro. A sala, com capacidade para 70 lugares, foi equipada de forma a ser considerada a maior e mais moderna relacionada à indústria do petróleo no mundo, contendo seis projetores, cobrindo uma superfície de projeção de, aproximadamente, 9 x 3 metros quadrados, com mais de 9 milhões de pixels, consistindo na maior tela de projeção do setor. Assim, a sala permitia a visualização em três dimensões de dados geológicos e geofísicos, apresentando relevância nos trabalhos da OGX, e também para a CCX/MPX (carvão) e AUX (ouro) [Geofísica, 2011].

Existem outros centros de RV distribuídos pelo Brasil, dos quais o mais conhecido e antigo trata-se do CENPES, conforme o item 5.4.1.

1.22.1 O CENPES

O CENPES – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras – teve sua criação a partir da necessidade de avanços tecnológicos específicos nas áreas de exploração e produção de petróleo, pois se encontravam defasadas em relação ao contexto mundial. O setor de petróleo encontrava-se em processo acelerado de inovações nas áreas de plataformas de perfuração e de produção, principalmente no Golfo do México [Morais, 2013].

Dessa forma, em 1967, foi divulgada a definição do CENPES em 1967 e, em 1968, foi assinado o convênio com a UFRJ para a cessão da área na Cidade Universitária. “O CENPES absorveu do Centro de Aperfeiçoamento de Pessoal (Cenap) os setores de Pesquisas de Refinação e Petroquímica, e de Intercâmbio e Documentação. O novo órgão seria responsável por promover todas as pesquisas científicas e tecnológicas na empresa, recolhendo e sistematizando sua documentação, além de coordenar trabalhos relativos a estudos de patentes” [Petrobras, 2013].

A princípio, foi “estruturado em cinco áreas: Divisão de Refinação e Petroquímica; Análises e Ensaios; Documentação Técnica e Patentes; Programação e Processamento de Dados; Exploração e Produção. Seu laboratório foi equipado com unidades-piloto para pesquisas aplicadas, direcionadas às demandas da área de refinação de derivados e à prestação de serviços técnicos (troubleshooting) para as áreas operacionais da PETROBRAS” [Morais, 2013].

Posteriormente, devido às condições precárias de funcionamento e as instalações dos laboratórios em áreas pequenas, condição que inviabilizava a realização de pesquisas de maior alcance, houve a mudança de localidade do CENPES. Assim, em novembro de 1973, ocorreu a mudança efetiva para outro campus da mesma Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na Cidade Universitária, Ilha do Fundão, na cidade do Rio de Janeiro [Morais, 2013]. Entretanto, segundo Almeida e Lara (1999), apenas em dezembro de 1998 foi inaugurado um laboratório de visualização, montado a partir de uma parceria entre o Cenpes e a empresa Silicon Graphics do Brasil, a fim de testar os benefícios do uso dos ambientes virtuais para a realização de estudos de caracterização de reservatórios e outras aplicações. As atividades realizadas consistiam em:

- Modelagem Geológica 3D e Interpretação sísmica de alguns campos da Petrobras;
- Projeto de Acompanhamento Geológico em Tempo Real para definição de trajetória de poços não convencionais;
- Projeto de Visualização de Instalações Submarinas e Construção de Plataformas;
- Cursos/Treinamento em Softwares de Caracterização geológica e Geofísica de reservatórios;
- Visitas de demonstração para técnicos da Petrobras, Embraer e Westinghouse.

A partir de sua criação, apesar das reformulações e modernizações ocorridas, o CENPES funciona em tempo integral, caracterizando-se como vanguardista na utilização da tecnologia de realidade virtual na Petrobras e no Brasil [Almeida; Lara, 1991].

Dentre as reformulações mais recentes, tem-se, “em 2010, o projeto da sala de projeções foi baseado na denominada Hologscape, um sistema que combina a possibilidade da imersão de uma Caverna Digital com comprimento total de tela de 15×2,40m. Dois anos depois, a Hologscape foi substituída por uma ferramenta de visualização científica imersiva chamada Domo, que compõe uma sala de demonstração com sistema de projeção simultânea em uma tela frontal e no piso da sala, onde permite ao usuário uma experiência sensorial, fazendo sentir-se dentro do ambiente virtual” [Scussel, 2012].

Em 2012, as soluções integradas no Cenpes consistiam em salas de visualização compartilhada, ambientes de imersão com telas enormes e projeções de alta resolução (Cave Lite e Domo), que tornavam o trabalho mais eficaz. Os ambientes colaborativos criados eram compostos, dentre outros, por sistemas de videoconferência que permitiam interação entre os diversos laboratórios de realidade virtual da Petrobrás, sistema de automação Crestron, além de projeção e sistema de áudio de alta qualidade [Scussel, 2012].

Desde 2012, houve a continuidade nos investimentos em tecnologias que apresentem melhores soluções para os ambientes virtuais, conforme o desenvolvimento dessas tecnologias que não cessam de evoluir.

METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica para a obtenção dos conhecimentos necessários ao desenvolvimento de modelos tridimensionais. Depois, dentre uma diversa quantidade de programas pesquisados, efetuou-se a escolha de um deles como ferramenta para a elaboração dos trabalhos, com base na disponibilização do programa e nos recursos apresentados.

Posteriormente, baseado em arquivos criados no formato CAD de ambientes de instalações provisórias de canteiro de obras, projetados conforme as exigências das normas técnicas brasileiras, modelou-se o arranjo físico de um canteiro.

Finalmente, a modelagem dos perfis geológicos foi desenvolvida com base em dados sintéticos de métodos potenciais de investigação, criados com base na observação de um conjunto de dados reais disponibilizados por Holanda et al. (2013).

1.23 Ferramentas utilizadas

Para a realização dos modelos tanto do canteiro de obras quanto dos perfis geológicos, foi utilizado o programa 3ds Max. Esta ferramenta permite a criação de objetos virtuais, ambientes computacionais e até personagens, tendo a possibilidade de aplicação de texturas, tintas e demais tratamentos de superfícies, além do acréscimo de iluminação no ambiente e animações em objetos. Também permite a importação de desenhos e arquivos de programas como AutoCAD, Revit, entre outros.

Basicamente, esse programa é utilizado na criação de animações e cenários e na modelagem de projetos técnicos. Entretanto, em relação ao último, seu foco encontra-se relacionado a projetos arquitetônicos, obras civis e modelos topográficos, sendo incomum seu uso na modelagem de superfícies geológicas e sistemas relacionados à exploração e produção de petróleo e gás natural. Isso se deve à existência de outros programas semelhantes e com sua utilização já implementada e bem consolidada nesse setor.

A respeito dos equipamentos utilizados, tratou-se de dispositivos convencionais, incluindo um computador com placa de vídeo dedicada e um mouse.

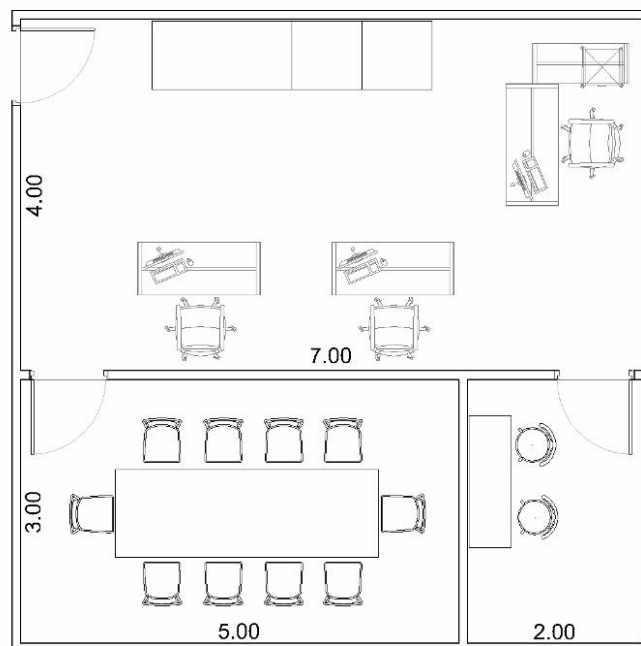
1.24 Modelagem de canteiro

A realização da modelagem de canteiro de obras apresentou a finalidade de permitir uma análise visual das alternativas existentes para o arranjo do canteiro. Assim, sua concepção baseou-se na estratégia de modelar cada ambiente e os elementos componentes do canteiro de maneira individual para, posteriormente, uni-los sobre um plano que representa a superfície do terreno da obra em estudo. Não foram modelados todos os ambientes necessários ao canteiro, apenas os de interesse imediato ao início da obra, excetuando o vestiário, cuja área depende do número de efetivos trabalhando.

Utilizou-se das plantas baixas dos ambientes do canteiro desenvolvidas para atender as necessidades quanto à área, espaço e mobiliário de cada um deles, respeitando-se a NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Nesta primeira fase de projeto, os desenhos foram realizados em arquivos no AutoCAD, de disseminada utilização no setor da construção civil, e depois, tiveram sua importação para o 3ds Max.

A Figura 48 apresenta o projeto da sala da engenharia, composta por um escritório, uma sala de reuniões e uma copa. A disposição das mesas e cadeiras foi prevista com base no tamanho da equipe técnica e a quantidade de armários foi inserida a partir da noção do volume de documentos de arquivamento necessário na obra.

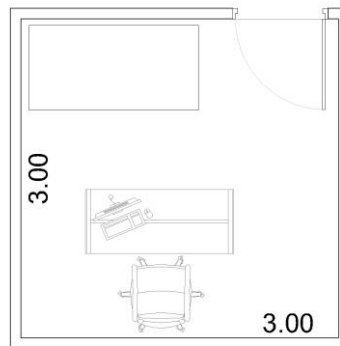
Figura 48 - Projeto da sala da engenharia (figura sem escala e dimensões em metros)



Fonte: Produção do próprio autor

A Figura 49 apresenta igualmente a sala do mestre de obras e a sala do administrativo, que não necessitam de uma área elevada, pois não haverá concentração de pessoas para discussões técnicas, como ocorre na sala da engenharia, mas devem comportar um conjunto de mesa e cadeira e um armário para o armazenamento dos projetos, no caso da sala do mestre, ou documentação dos processos de compras e demais procedimentos realizados, no caso do administrativo.

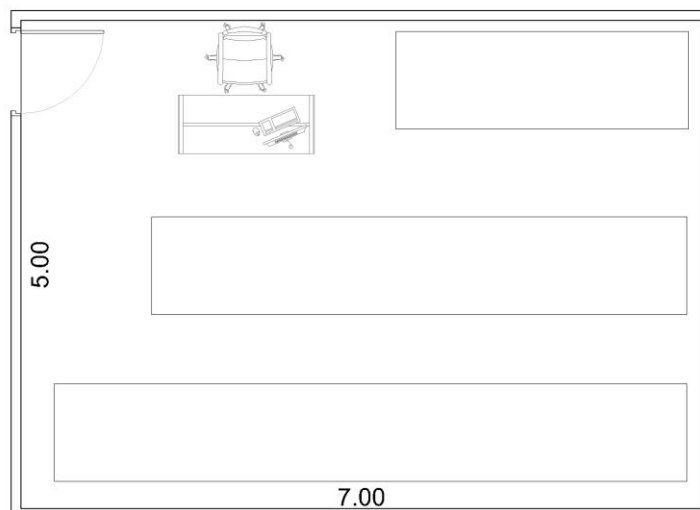
Figura 49 - Projeto da sala do mestre e sala do administrativo (figura sem escala e dimensões em metros)



Fonte: Produção do próprio autor

A Figura 50 representa o projeto do almoxarifado, que necessita de uma ampla área com prateleiras para a organização e disposição dos materiais. Também é necessário um conjunto de mesa e cadeira para garantir que o almoxarife tenha condições de realizar suas atividades em relação ao controle de materiais, suas entradas e saídas.

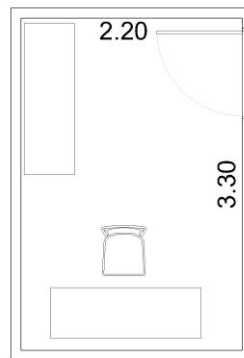
Figura 50 - Projeto do almoxarifado (figura sem escala e dimensões em metros)



Fonte: Produção do próprio autor

A Figura 51 representa o projeto da guarita, que deve comportar também um conjunto de mesa e cadeira e um armário para permitir o armazenamento dos formulários de autorização de entrada de pessoas, a fim de possibilitar o controle dessa entrada. Portanto, a guarita deve necessariamente localizar-se nas proximidades da entrada do canteiro. Deve, ainda, possuir aberturas de janelas para que o funcionário contratado tenha a visão do canteiro e dos arredores da obra, permitindo o trabalho de vigia e segurança.

Figura 51 - Projeto da guarita (figura sem escala e dimensões em metros)

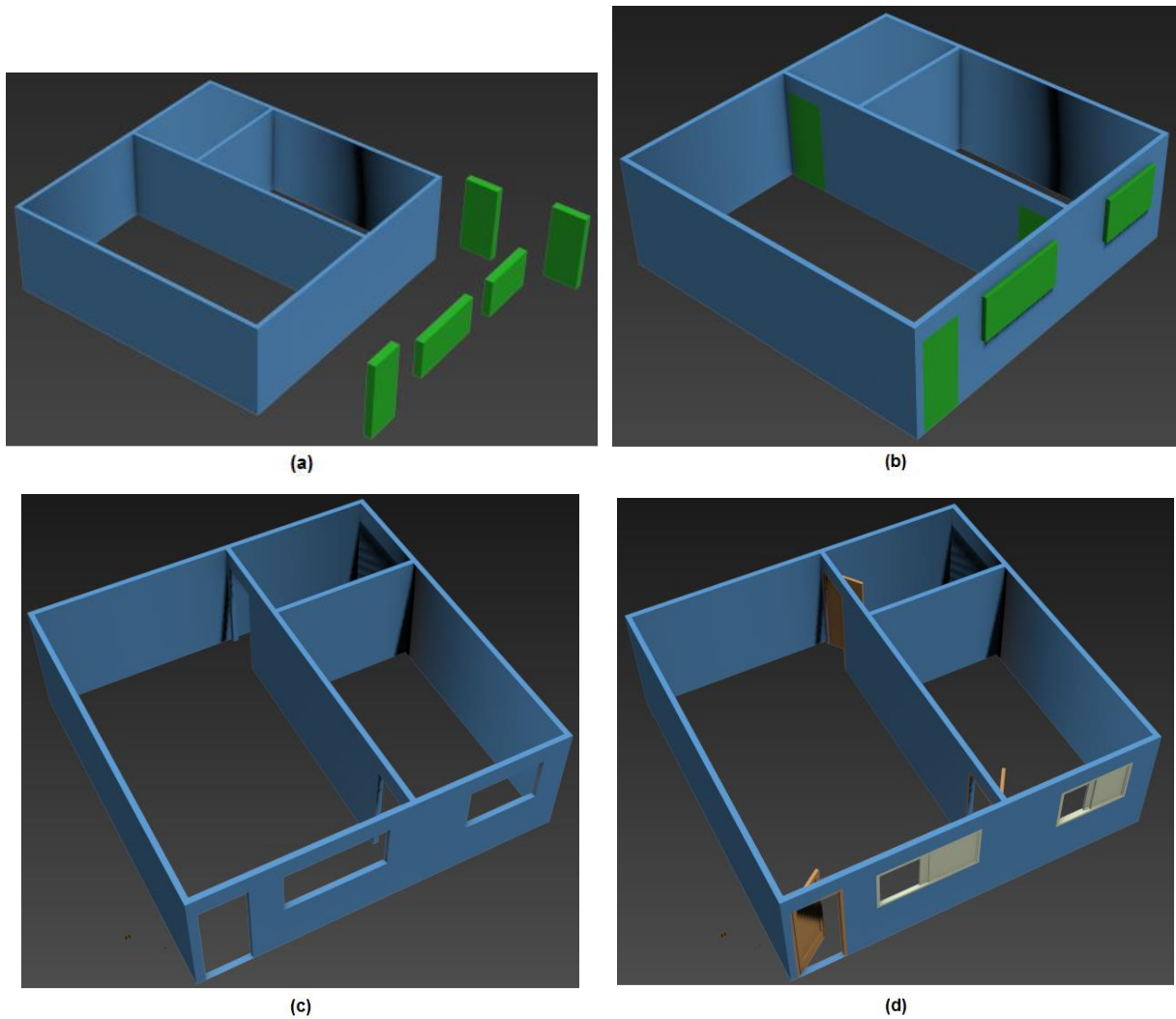


Fonte: Produção do próprio autor

Na transformação dos desenhos em 2D para 3D, foram construídas paredes seguindo as dimensões das plantas baixas, introduzindo o valor do pé direito pré-determinado de 2,80m, atendendo também à NR 18. Para isso, utilizou-se um comando existente no 3ds Max para a criação de superfícies limitantes das paredes.

Após, criaram-se os vãos das portas e janelas através de combinações booleanas de subtração entre os sólidos apresentados na Figura 52 (a), sendo o volume azul a representação das paredes da sala de engenharia e os sólidos verdes, objetos de auxílio para esse procedimento, contendo as dimensões das aberturas nas paredes. Posteriormente, estes sólidos foram posicionados nos lugares de suas correspondentes aberturas futuras, conforme a Figura 52 (b), e, então, subtraídos das paredes, resultando no modelo apresentado na Figura 52 (c). Introduziram-se, ainda, as janelas e portas nessas aberturas criadas, por meio de outro comando preexistente e de modelagem rápida desses elementos, originando até esta etapa a Figura 52 (d).

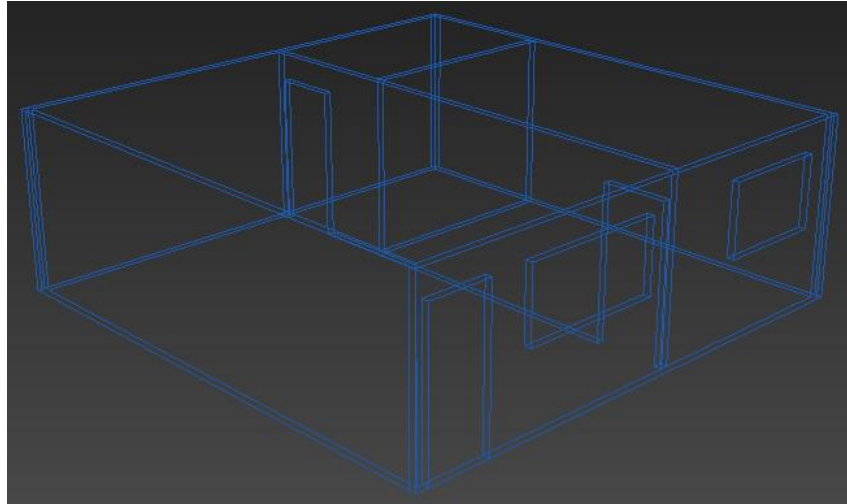
Figura 52 - Modelagem da sala da engenharia nas etapas: paredes e sólidos criados para abertura dos vãos (a); posicionamento dos sólidos (b); utilização da técnica booleana para abertura dos vãos (c); adição de elementos de portas e janelas (d) (figura sem escala)



Fonte: Produção do próprio autor

Na realização deste procedimento, utilizou-se a visualização dos objetos em representação aramada, conforme a Figura 53, de forma a facilitar a seleção dos vértices, exigida pelo comando referenciado.

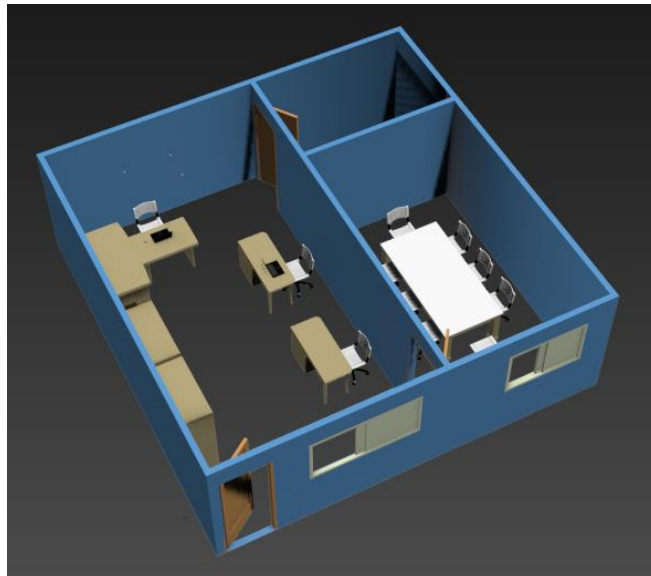
Figura 53 – Representação aramada das paredes e vãos da sala de engenharia



Fonte: Produção do próprio autor

Em seguida, inseriu-se o mobiliário nos ambientes, obtido e importado de blocos preexistentes e disponibilizados em sites gratuitamente. Dessa forma, foram desenvolvidos os módulos de cada ambiente do canteiro, incluindo seu arranjo interno, conforme indicado na Figura 54, na qual consta apenas a sala da engenharia.

Figura 54 - Sala da engenharia modelada em 3D

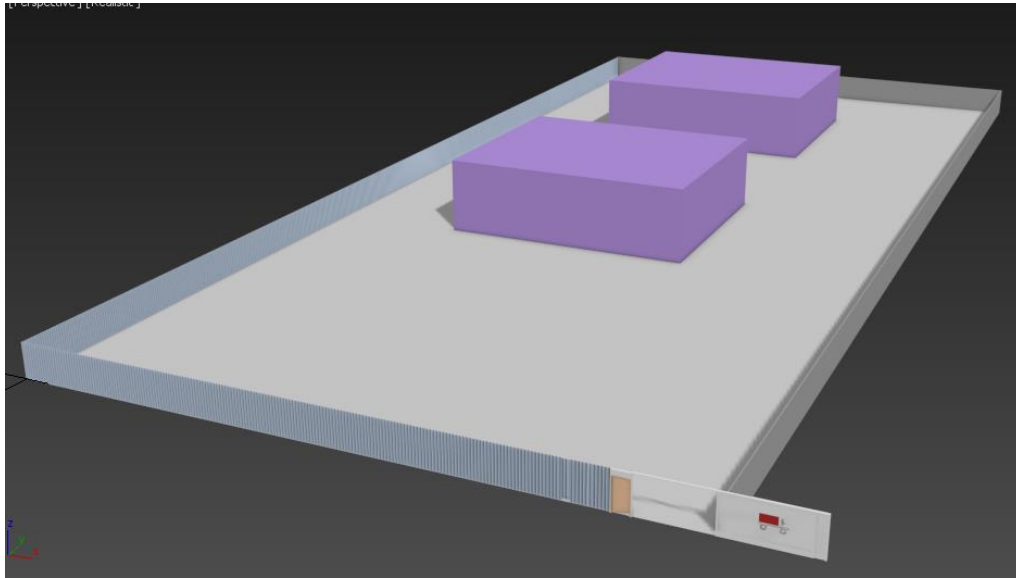


Fonte: Produção do próprio autor

Posteriormente, conforme a Figura 55, modelou-se o terreno do canteiro da obra, através de um plano com as dimensões contidas no projeto, os tapumes metálicos ao redor e as entradas de caminhões e pedestres. Locaram-se, ainda, os paralelepípedos caracterizados

pela coloração roxa na imagem, a fim de representar a ocupação das estruturas a serem construídas, de modo a determinar, neste caso, que nenhuma das instalações provisórias ocupasse este espaço, o que consistia numa condicionante do projeto do arranjo.

Figura 55 - Modelagem dos elementos preestabelecidos: terreno, tapumes, entradas e locação das construções (volumes roxos)



Fonte: Produção do próprio autor

Assim, todos os elementos necessários propostos por esta pesquisa para o início dos projetos e discussões a respeito da disposição do canteiro encontram-se modelados até este ponto. As etapas seguintes consistem apenas na introdução, no terreno, dos módulos dos ambientes e materiais anteriormente desenvolvidos. Para facilitar a seleção e a movimentação desses elementos, pode-se restringir a seleção dos objetos fixos de canteiro. Dessa forma, os elementos de delimitação dos espaços disponíveis para a locação das instalações ou materiais e outros objetos que representem condicionantes de projeto, como o plano do terreno, os tapumes e os volumes que representam as construções, tiveram sua seleção desabilitada nas configurações dos objetos.

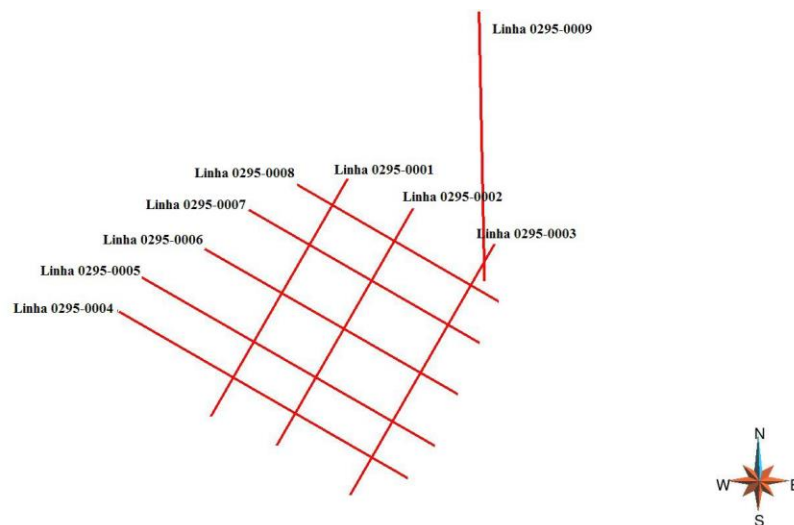
1.25 Modelagem dos perfis geológicos

A realização da modelagem 3D dos perfis geológicos teve como objetivo principal facilitar a integração dos dados e, conseqüentemente, sua interpretação para decisões em relação à exploração de petróleo e gás natural.

Na criação dos dados sintéticos para a realização da modelagem de perfis geológicos, utilizou-se como base os dados apresentados por Holanda et al. (2013), representativos de uma área da Bacia do Parnaíba, relacionadas ao projeto da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) denominado 0295_ANP_2D_PARNAIBA. Os dados desse artigo foram obtidos por meio da utilização de refletores para a geração das imagens de cada seção sísmica, procedimento caracterizado como sísmica 2D.

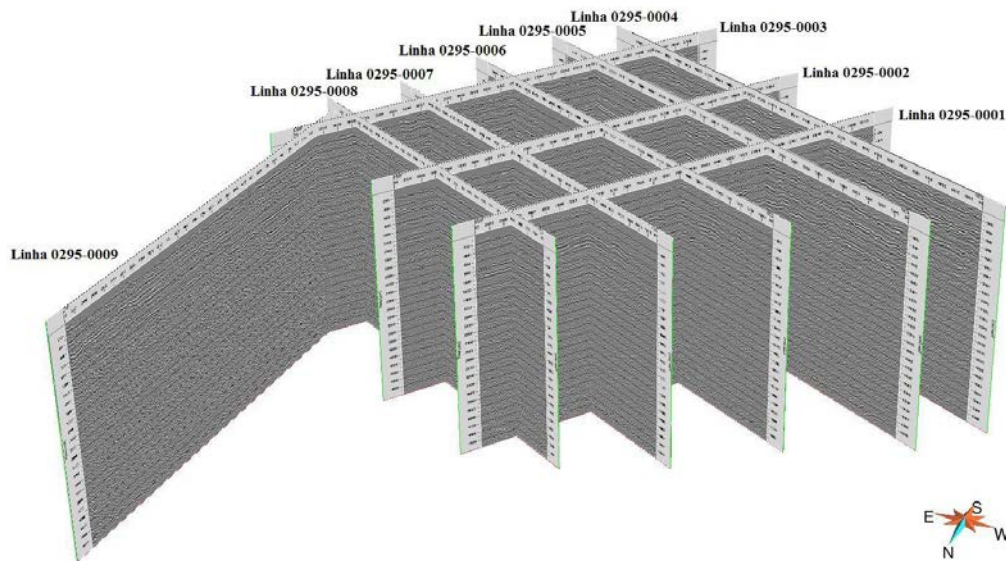
As seções sísmicas apresentadas pelo artigo base constam na Figura 56, que consistem em nove linhas identificadas, sendo elas: Linhas 0295-0001, 0295-0002, 0295-0003, 0295-0004, 0295-0005, 0295-0006, 0295-0007, 0295-0008 e 0295-0009. Essas linhas foram projetadas com o objetivo de que uma delas, a Linha 0295-0009, percorresse sobre a localização de um poço existente, o denominado Poço 1-FL-1-PI. Havia esse interesse para permitir a identificação e o reconhecimento dos horizontes sísmicos da formação geológica, possibilitando a interpretação sismoestratigráfica das camadas de rochas, além da calibração dos equipamentos relacionada a essas formações.

Figura 56 – Malha de obtenção de dados geológicos por métodos sísmicos



Fonte: Holanda et al. (2013)

Posteriormente, os refletores de cada seção sísmica foram identificados dentre um conjunto por meio das variações de impedância acústica observadas entre as diferentes camadas de rochas. Assim, foram obtidos pontos de representação dos diferentes horizontes para cada seção, conjunto de dados explicitados na Figura 57.

Figura 57 - Dados sísmicos posicionados de acordo com a malha

Fonte: (Holanda et al., 2013)

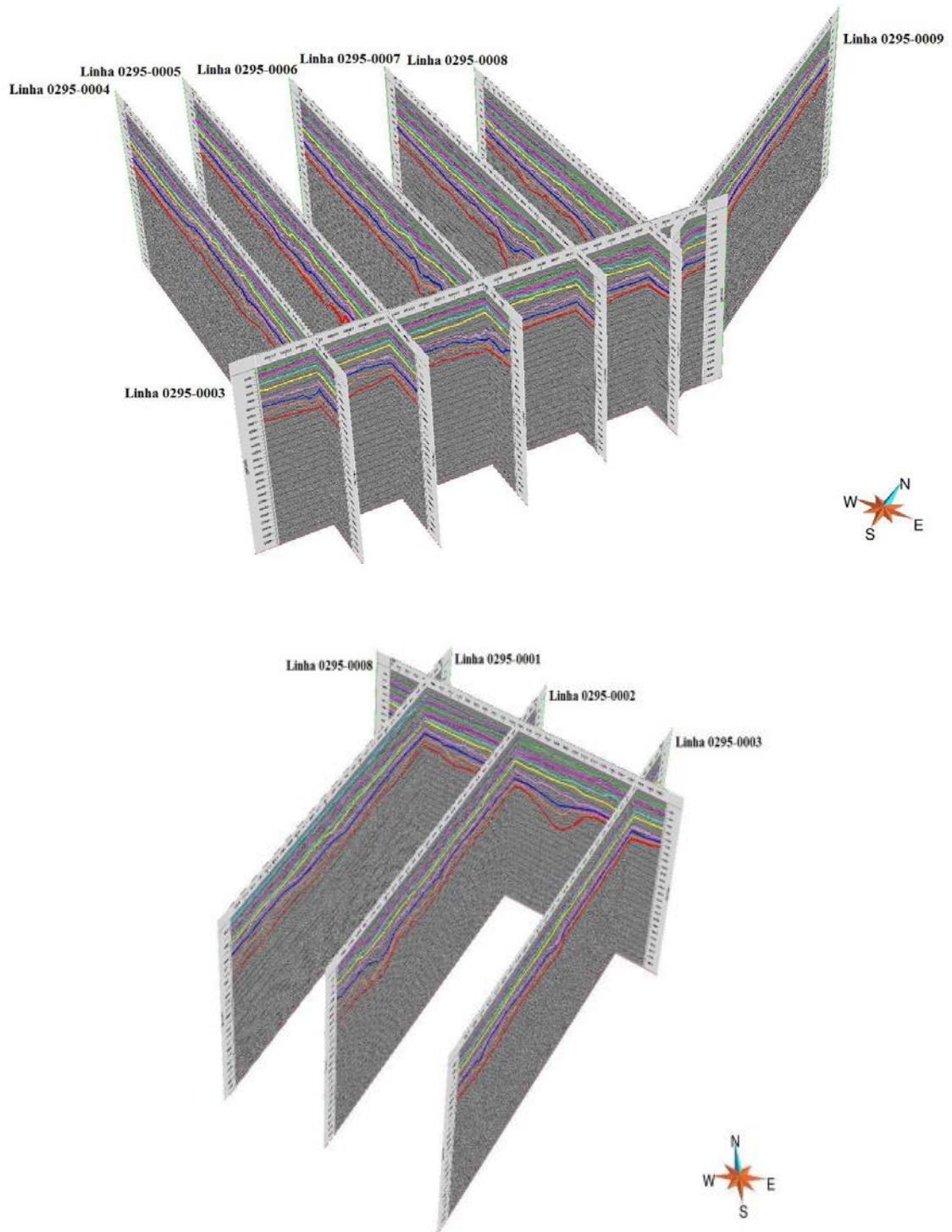
Com os pontos obtidos em cada seção, traçaram-se curvas a partir deles e dos dados de calibração, respeitando-se a tendência dos dados na extrapolação dessas curvas. Essa interpretação só foi possível devido à continuidade apresentada pelas linhas dos refletores ao longo das seções sísmicas. Essas linhas representam os horizontes das formações geológicas, conforme as linhas coloridas presentes na Figura 58, sendo cada cor um limitante entre os horizontes. As linhas representam, do topo para a base: Formação Poti (roxo), Formação Longá (verde), Formação Cabeças (rosa), Formação Pimenteiras (azul claro), Formação de idade Devoniano Médio (amarelo), Formação Itaim (rosa claro), Formação Jaicós (azul marinho), Formação Ipu (laranja) e Embasamento (vermelho), conforme o resumo da Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre as formações geológicas e as cores de suas representações

Formação	Cor
Poti	Roxo
Longá	Verde
Cabeças	Rosa
Pimenteiras	Azul Claro
Devoniano Médio	Amarelo
Itaim	Rosa Claro
Jaicós	Azul Marinho
Ipu	Laranja
Embasamento	Vermelho

Fonte: Produção do próprio autor

Figura 58 – Curvas dos horizontes, traçadas a partir de pontos obtidos por refletores



Fonte: Holanda et al. (2013)

Depois, no artigo de Holanda et al. (2013), as seções são inseridas como entrada de dados nos programas selecionados, nos quais ocorre um agrupamento entre as curvas que representam o mesmo horizonte e, em seguida, há a criação dos volumes de interesse.

Na criação dos dados sintéticos dos perfis para a realização da modelagem geológica no presente trabalho, não foram gerados inicialmente pontos, mas diretamente as curvas de representação dos horizontes. Isso se deve ao objetivo do trabalho, com enfoque na utilização e análise das técnicas de modelagem, não havendo relevância a interpretação dos dados quanto às suas características geológicas, assim como a necessidade de precisão do espaço amostral.

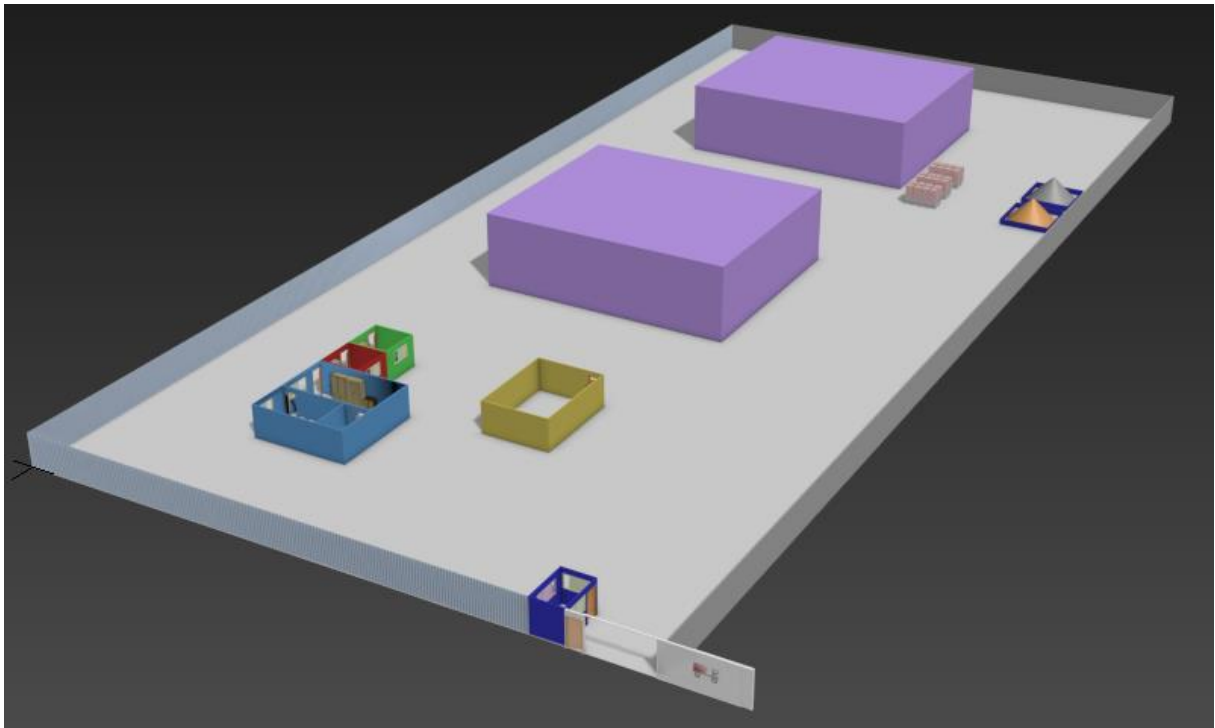
Então, as seções criadas foram posicionadas na malha no ambiente do programa 3D por meio da utilização das linhas de referência, permitindo que as curvas criassem uma malha de dados diferente para cada horizonte. Essa etapa ocorreu em sequência diferenciada de quando os dados pertencem a um estudo de caso verídico, como no artigo de Holanda et. al (2013), em que o posicionamento das seções sísmicas ocorre anteriormente à determinação dos horizontes utilizados.

Para a modelagem dos planos limitantes cada horizonte, foi desenvolvido um plano seguindo os dados das malhas de cada um deles, através da técnica de modelagem de superfícies pela união de Superfícies Livres, conforme item 3.1, respeitando-se as tendências de curvatura dos dados dos perfis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos objetos tridimensionais modelados anteriormente, inseriram-se os ambientes do canteiro no terreno previamente confeccionado, respeitando-se as prioridades de proximidades entre os elementos. A Figura 63 apresenta um desses resultados, sendo uma das alternativas para o arranjo de canteiro, no qual se encontram a sala da engenharia, a sala do mestre e a sala do administrativo, representadas respectivamente nas cores azul, vermelha e verde. Nessa alternativa, os ambientes descritos foram localizados como vizinhos, concentrando o corpo gerencial da obra e facilitando, assim, a comunicação entre esses profissionais. O almoxarifado, representado pelo objeto amarelo, também foi posicionado nas proximidades desses elementos, com o objetivo de facilitar a realização do controle de materiais. Ademais, a guarita foi posicionada ao lado das entradas de pedestres e caminhões, para facilitar a segurança da obra, e os materiais como brita, areia e blocos cerâmicos, próximos às torres a serem construídas, evitando grandes deslocamentos e aumentando a produtividade, além de permitir o acesso dos caminhões ao local para descarregamento.

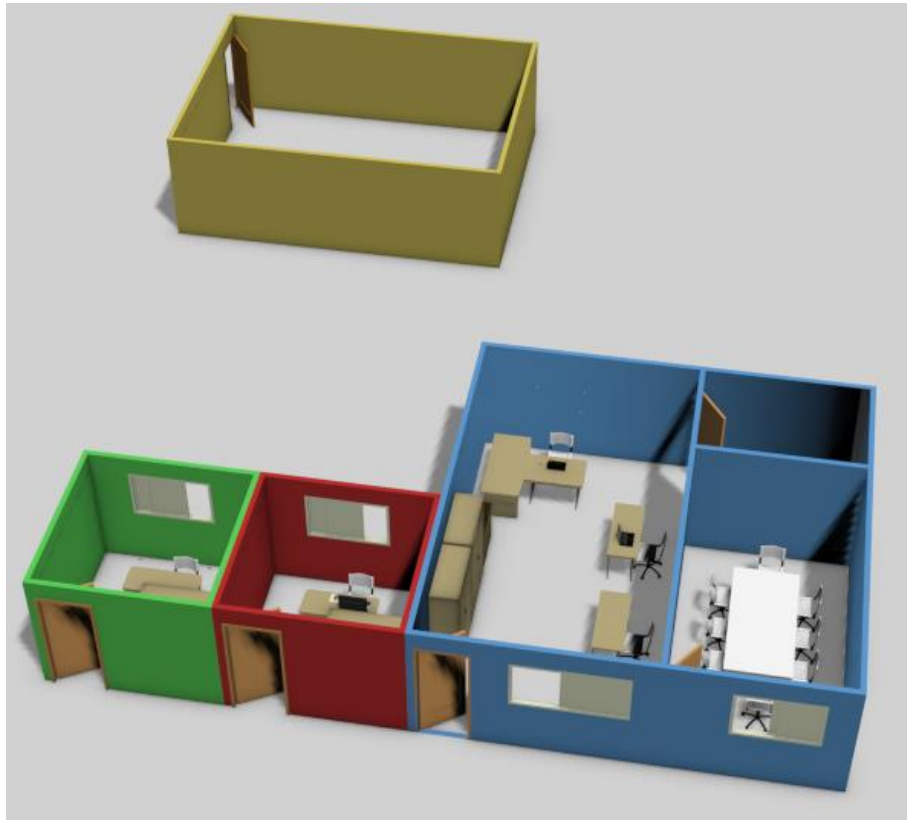
Figura 59 - Alternativa de arranjo de canteiro



Fonte: Produção do próprio autor

A Figura 64 apresenta em detalhe o posicionamento das instalações do corpo técnico em proximidade ao almoxarifado.

Figura 60 - Detalhe da proximidade entre as salas da engenharia (azul), do mestre (vermelha), do administrativo (verde) e o almoxarifado (amarelo)



Fonte: Produção do próprio autor

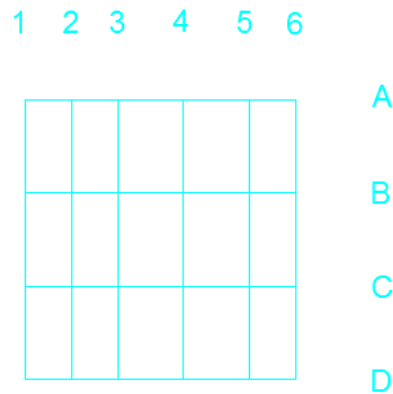
Neste caso modelado, não foram introduzidas características de superfície dos objetos, como cores e texturas dos materiais, pois, devido às características dos aparelhos de gerações de imagens comuns utilizados, essas informações causariam alterações na velocidade dos processamentos das informações. Além disso, a falta da adição desses tratamentos de superfície não interferiu nas análises e interpretações do modelo e as cores utilizadas para cada ambiente auxiliaram em sua identificação.

Na modelagem de canteiro, as concepções de cada elemento ocorreram sem grandes dificuldades de entendimento. A partir das plantas baixas predefinidas dos ambientes, seu pé direito e as dimensões dos materiais e mobiliário, a criação dos modelos através de funções existentes específicas para a construção civil apresentou rapidez e facilidade.

Nos objetos dessa modelagem ocorreu, principalmente, a representação por superfícies limitantes, técnica que não exige interpretações de dados complexos. Além disso, requereu apenas conhecimentos básicos de plantas arquitetônicas e visão espacial, capacidades desenvolvidas ao longo de todo o curso de graduação em Engenharia Civil.

Em relação à modelagem de perfis geológicos, primeiramente se criaram os dados sintéticos representados na Figura 64, indicando semelhantemente a malha de seções sísmicas para a localização dos refletores, conforme a Figura 56. As linhas tiveram sua identificação, ainda que simplista, apenas para critérios de referência.

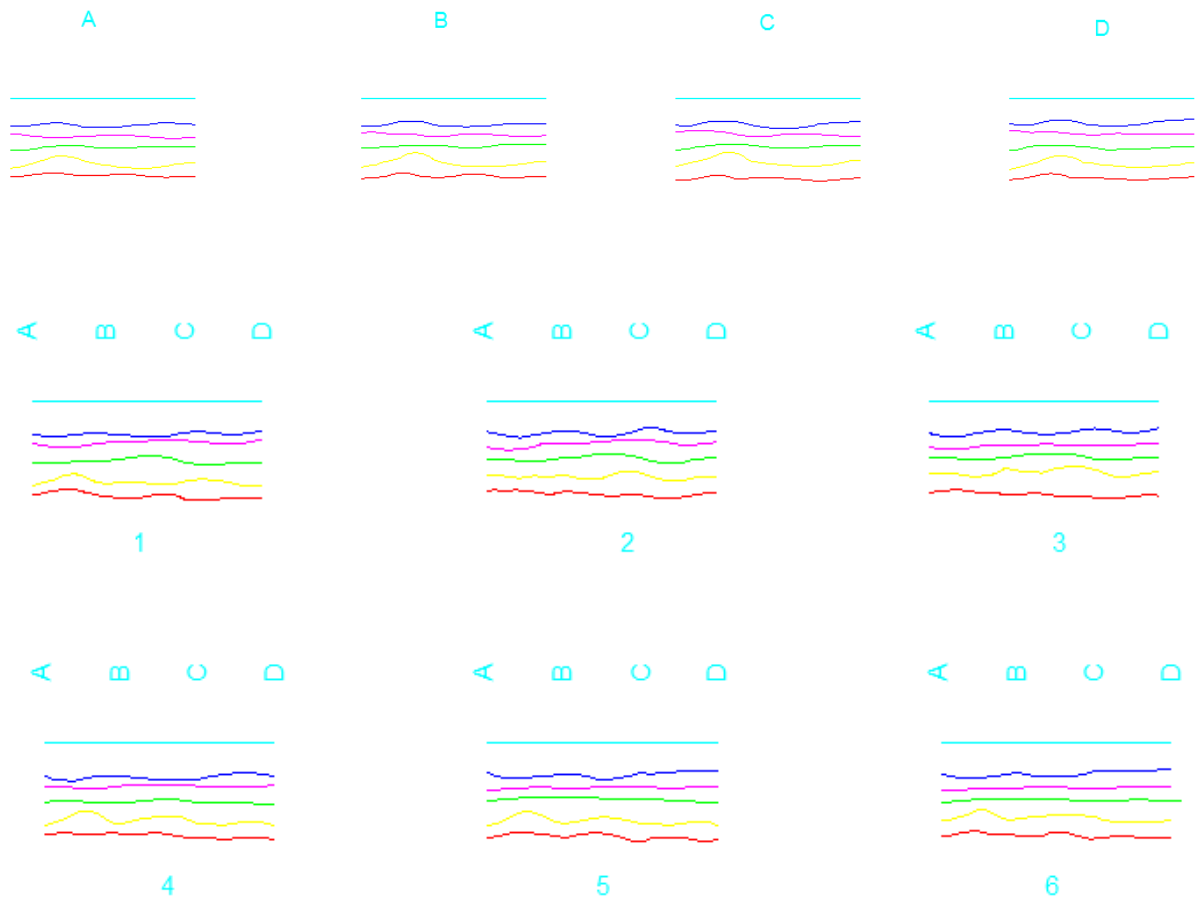
Figura 61 - Malha de seções sísmicas sintéticas



Fonte: Produção do próprio autor

Na criação dos dados dos perfis para a realização da modelagem no presente trabalho, não foram gerados inicialmente pontos, mas diretamente as curvas de representação dos horizontes, conforme a Figura 61. Isso se deve ao objetivo do trabalho, com enfoque na utilização e análise das técnicas de modelagem, não havendo relevância a interpretação dos dados quanto a suas características geológicas, não apresentando, assim, a necessidade de precisão do espaço amostral. Dessa forma, foram desenvolvidos os dados sintéticos apresentados na Figura 64 no programa AutoCAD.

Figura 62 – Dados de horizontes criados baseados em métodos sísmicos



Fonte: Produção do próprio autor

Na Figura 64, a primeira linha de cada seção, na cor azul claro, consiste na referência das seções em relação à malha criada e apresentada anteriormente, além de permanecer posicionada horizontalmente. As letras e números identificam, ainda, os respectivos perfis referenciados na malha de seções sísmicas. As demais linhas representam, segundo suas cores, as formações geológicas indicadas na Tabela 3, oriunda da seleção de dados de Holanda et al. (2013), apresentados na Tabela 1.

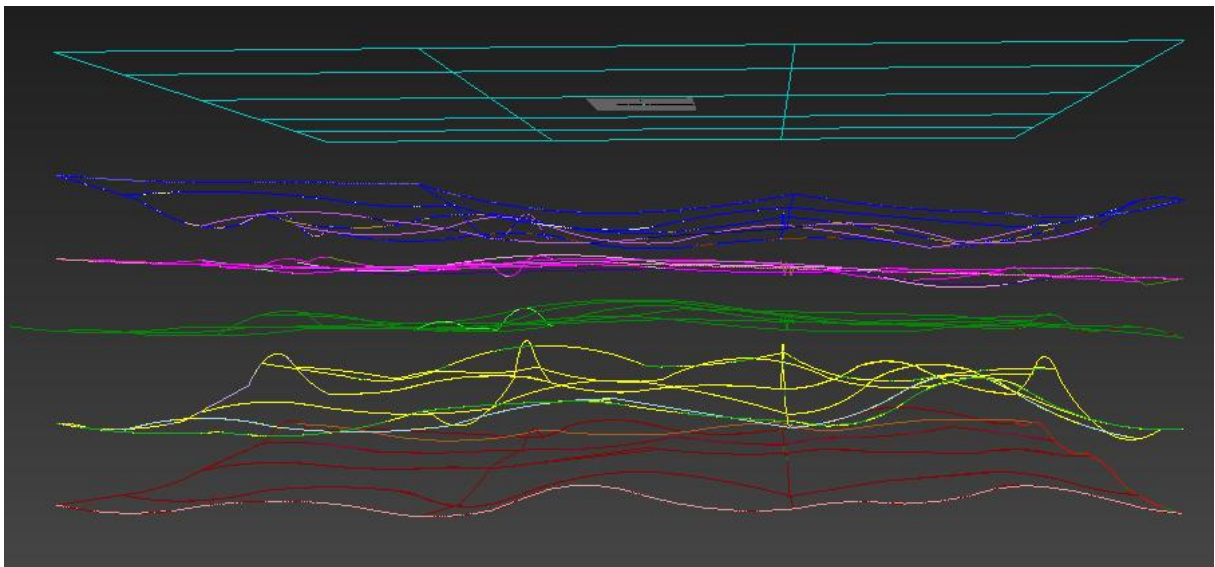
Tabela 3 – Relação entre as formações geológicas de dados sintéticos e as cores de suas representações

Formação	Cor
Referência de Malha	Azul Claro
Longá	Azul Marinho
Cabeças	Rosa
Pimenteiras	Verde
Devoniano Médio	Amarelo
Embasamento	Vermelho

Fonte: Produção do próprio autor

As formações selecionadas do artigo de Holanda et al. (2013) consistem nas que representam o principal sistema petrolífero potencial da área alvo da Bacia do Parnaíba. A Formação Pimenteiras consiste no principal gerador potencial do hidrocarboneto, juntamente ao Devoniano Médio; a Formação Cabeças, o principal reservatório potencial da Bacia do Parnaíba e a Formação Longá, o selador.

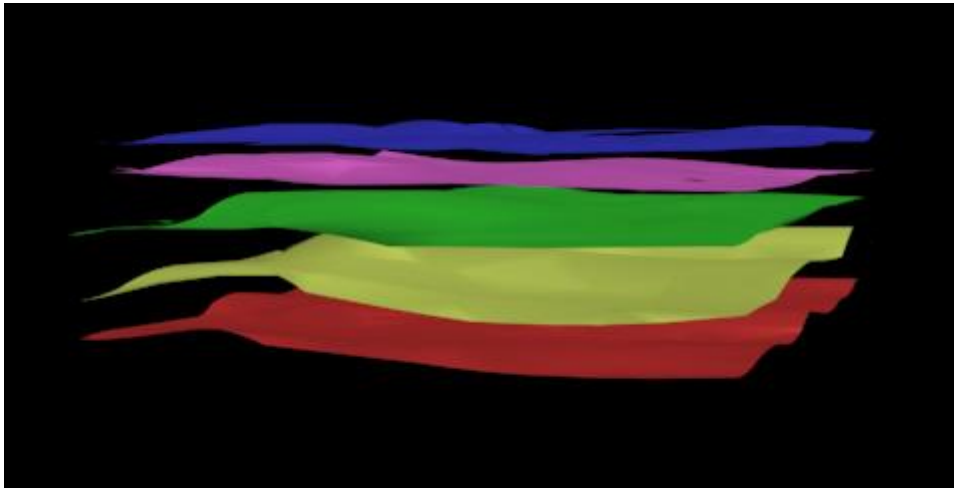
Posteriormente, as seções criadas foram importadas ao ambiente do programa 3D e posicionadas na malha com o auxílio das linhas de referência, permitindo que as curvas criassem uma malha de dados diferente para cada horizonte, conforme a Figura 63. Pode-se observar a correspondência das malhas com as cores identificando cada formação.

Figura 63 – Malhas 3D dos horizontes relacionadas aos perfis sísmicos

Fonte: Produção do próprio autor

Finalmente, para cada horizonte foi desenvolvido um plano seguindo os dados das malhas de cada um deles, através da modelagem de superfícies. O resultado desse procedimento encontra-se apresentado na Figura 63.

Figura 64 – Planos de cada horizonte pela vista frontal



Fonte: Produção do próprio autor

Na modelagem dos perfis geológicos, anteriormente à criação dos modelos, deve ocorrer a interpretação dos dados sísmicos obtidos, de modo a traçar os horizontes referentes a cada plano vertical de dados, através da utilização de programas específicos. Ainda devem ser interpretados os planos e sua relação com os demais da malha, para permitir a montagem das malhas de dados correspondentes. Assim, deve-se obter conhecimentos específicos sobre os métodos sísmicos aplicados e a interpretação dos dados gerados por eles. Por esta razão, utilizou-se dados sintéticos, criados de forma direcionada a sua utilização direta na aplicação da modelagem, sem a necessidade de interpretações geológicas e conversões nos formatos de dados. Entretanto, na criação dos dados sintéticos, observou-se a correspondência das profundidades dos horizontes nas intersecções dos perfis, de modo a utilizar dados consistentes e não conflituosos entre si.

Com base nessa análise, observa-se a grande importância de uma equipe multiprofissional de trabalho, na qual existam profissionais de diferentes formações colaborando num mesmo projeto, como geólogos e engenheiros das diversas especializações. Como se trata de uma cadeia complexa de exploração e produção, deve-se, ainda, investir na educação e aprimoramento desses profissionais, principalmente ao se tratar dos ingressantes nessa área, para o conhecimento generalizado da cadeia, a conscientização quanto à

responsabilidade de seu trabalho e, conseqüentemente, para facilitar a comunicação integrada, seja verbal, visual ou via outros meios, entre esses profissionais.

Como exemplo específico relacionado à aplicação de modelos de perfis geológicos, pode-se promover treinamentos e cursos a respeito das técnicas e leitura de dados sísmicos, de modo que o mesmo profissional que gera as modelagens geológicas tenha conhecimentos de interpretação dos dados, possibilitando também a detecção de erros durante os projetos, reduzindo o risco de falhas.

Uma característica apresentada por ambos os modelos (canteiro e geológico) consiste em que estes não são utilizados somente nas análises globais dos modelos. Assim, pode-se analisar especificamente cada objeto que compõe o ambiente global. No caso do canteiro, pode-se analisar os arranjos físicos internos de cada ambiente, auxiliando na disposição de todo o mobiliário, conforme mostrado na Figura 64.

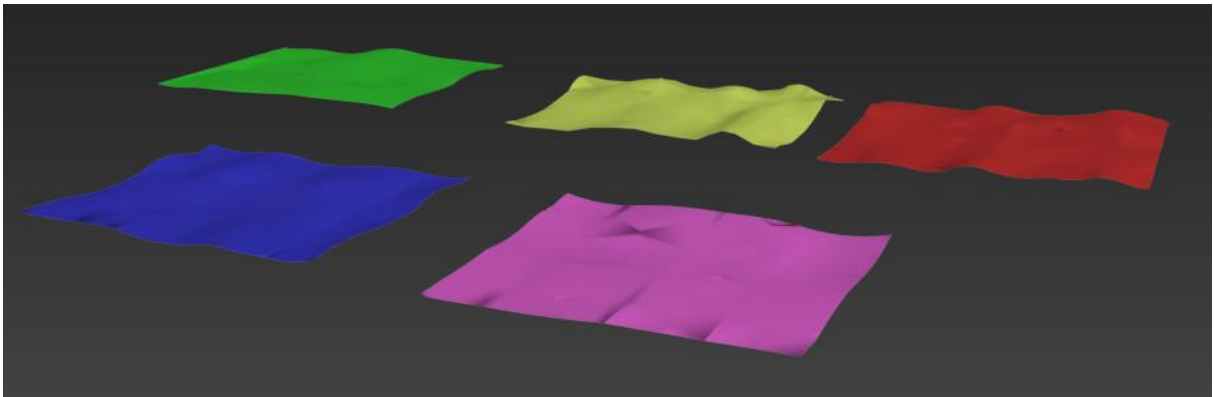
Figura 65 – Modelo do ambiente da guarita e sua disposição interna



Fonte: Produção do próprio autor

Ainda nesse sentido, no caso dos perfis geológicos, pode-se realizar análises quanto às camadas individualmente e de maneira mais detalhada, sem a interferência das demais camadas em sua visualização, conforme a Figura 65.

Figura 66 – Interfaces dos perfis geológicos dos horizontes visualizados separadamente



Fonte: Produção do próprio autor

Através das modelagens, pode-se observar melhorias na eficiência das interpretações e análises, auxiliadas visualmente, o que, somente com os desenhos 2D, dependiam da imaginação e criação de modelos mentais. Observa-se, inclusive, uma melhoria na eficiência das comunicações entre os profissionais e os diversos seguimentos que se utilizam dos mesmos dados e participam dos mesmos processos, gerando como consequência uma redução nos prazos de entregas de relatórios, análises, detecção de problemas e tomadas de decisão, além da redução dos riscos dos processos.

Os resultados obtidos na presente pesquisa consistem apenas em modelagens tridimensionais, que não possuem a aplicação de técnicas de Realidade Virtual. Porém, caracterizam-se como ambientes para uma possível aplicação das técnicas de RV, que, através de programas específicos para essa finalidade, permitirá a imersão e interatividade dos usuários. A princípio, as análises apresentadas, oriundas dos modelos 3D, baseiam-se apenas em conclusões realizadas por um perfil de usuário desenvolvedor, cuja interface apresenta a possibilidade de execução de alterações nos modelos, o que não aconteceria posteriormente à aplicação da RV, que habilitaria usuários para utilizarem apenas comandos relacionados à função de cada profissional envolvido.

CONCLUSÃO

As modelagens 3D mostraram-se uma ferramenta eficiente na unificação dos modelos que antes eram realizados mentalmente. Dessa forma, apresentam utilidade na integração entre os diversos profissionais envolvidos nos processos de projeto e execução, auxiliando as discussões e tomadas de decisão.

O modelo de canteiro de obras caracterizou-se como de maior complexidade de modelagem em relação ao de perfis geológicos, devido à maior quantidade de elementos que o compõe. Entretanto, o segundo modelo apresentou maior complexidade na interpretação dos dados a serem modelados, apesar das técnicas mostrarem-se mais simples e triviais. Assim, pode-se inferir que em ambas as modelagens tridimensionais não se observa a exigência de conhecimentos específicos de linguagens computacionais, apenas conhecimentos básicos do programa utilizado, de desenho técnico e, mais especificamente, de edificações, representações arquitetônicas, topografia e capacidade de visão espacial.

Também se pode observar, através da revisão bibliográfica, o alto potencial das tecnologias de Realidade Virtual quanto à melhoria da eficiência dos processos, devido à geração de interfaces naturais com os usuários de seus ambientes. Ainda se observa maior potencial quando relacionadas a sistemas de alta complexidade, como os envolvidos na exploração e produção de petróleo e gás natural.

Por meio dos modelos, infere-se ainda mais sobre o potencial da utilização das tecnologias de Realidade Virtual, pois, se apenas com as modelagens 3D já ocorrem aumentos na eficiência da comunicação, visualização e interpretação das características dos projetos, com o acréscimo de dispositivos que permitam a imersão e interação dos profissionais nesses modelos, os ganhos tendem a ser maiores. Ademais, o acréscimo do tempo real aos modelos apresenta-se como um recurso de grande auxílio no monitoramento das operações, principalmente relacionadas aos perfis geológicos, como no acompanhamento das perfurações de poços e demais atividades remotas ou de verificação inacessível, possibilitando ainda mais a integração entre os profissionais envolvidos em todo o processo e seu sistema.

Com a utilização dos modelos tridimensionais, apesar de tratar-se de grandes ferramentas de visualização e interpretação, sem as técnicas de RV não seria possível sua aplicação no setor de petróleo e gás natural. Isso se deve às características dos sistemas de exploração e produção desses produtos, que envolvem profissionais dispersos em localidades com acesso a diferentes tipos de informações. Dessa forma, a Realidade Virtual possibilita uma integração entre todo o sistema, mostrando-se ainda mais eficiente com as aplicações em

tempo-real. Isso não é observado na modelagem 3D, cujos modelos devem ser alterados manualmente, o que poderia causar problemas de versões diferentes de modelos para um mesmo projeto, se as alterações fossem realizadas por vários profissionais, ainda que se utilizassem de plataformas de dados na internet, ou causaria uma redução nas velocidades de comunicação e na alteração, adição e integração de informações, o que também é indesejável.

Com o desenvolvimento dessas tecnologias de RV, pode-se explorar ainda mais suas vantagens, utilizando dispositivos específicos para cada aplicação, de forma a obter melhorias mais acentuadas em sua eficiência. Através dessas melhorias, há o retorno financeiro em relação aos investimentos nos dispositivos, tornando o custo-benefício atrativo para as empresas, tema de grande interesse para possíveis trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ADAMS, Paul C. Cyberspace and virtual places. **Geographical Review**, v. 87, n. 2, p. 155-171, 1997.

ALMEIDA, Alberto Sampaio; LARA, Anelise Quintão. O Potencial de Aplicação de Sistemas de Visualização e Realidade Virtual na Atividade Upstream de Petróleo. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, 15, 1991, Águas de Lindóia. Anais Eletrônicos ABCM. Águas de Lindóia: ABCM – Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 1991. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/1999/pdf/AAEEHE.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2015.

ANDRADE, Marcelo et al. Um Protótipo Inovador para Fórum de Discussão em Ambientes Virtuais de Aprendizagem. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. 2010.

AYMONE, José L.F.; BERNARDES, Maurício M. e S. Proposição de uma Sistemática de Utilização de Realidade Virtual para Auxiliar o Processo de Controle da Produção de Obras Civis. In: **SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, 2, 2005, São Paulo.

BARCO. Barco References. 2015. Disponível em: <<https://www.barco.com/en/References?page=1&market=692525dc-55b8-44c5-a33e-74fafa53b9c9>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

BASTOS, Nacha Costa; TEICHRIEB, Veronica; KELNER, Judith. Interação com Realidade Virtual e Aumentada. **SBC**, 2006.

BDEP – Banco de Dados de Exploração e Produção. **PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL POR ESTADO (2000-2014)**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, Rio de Janeiro, 10 fev. 2015. Disponível em: <<http://www.bdep.gov.br/?id=574>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

BEENOCULUS. Os dispositivos de Realidade Virtual na história. 30 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.beenoculus.com/realidade-virtual-historia/>>. Acesso em: 21 set. 2015.

BERTOL, Daniela; FOELL, David. **Designing digital space: an architect's guide to virtual reality**. John Wiley & Sons, 1997.

BIOCCA, Frank; DELANEY, Ben. Immersive virtual reality technology. **Communication in the age of virtual reality**, p. 57-124, 1995.

BOWMAN, Doug A.; HODGES, Larry F. An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments. In: **Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics**. ACM, 1997. p. 35-ff.

BOWMAN, Doug A. et al. **3D user interfaces: theory and practice**. Addison-Wesley, 2004.

BRASIL. Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997. **Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências**, Brasília, 33p. 1997.

CANELAS, André Luís de Souza. **Evolução da Importância Econômica da Indústria de Petróleo e Gás Natural no Brasil: Contribuição a Variáveis Macroeconômicas**. 2007. XI, 120 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2007.

COATES, George. Program from Invisible Site—a virtual sho, a multimedia performance work presented by George Coates Performance Works, San Francisco, CA, March, 1992.

COLAVITTI, Fernanda. A explosão da realidade virtual. **Galileu (online)**, São Paulo, Globo, 2007. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Galileu/0,6993,ECT803835-1938-2,00.html>>

CRAIG, Alan B; SHERMAN, William R; WILL, Jeffrey D. **Developing virtual reality applications**. Burlington: Elsevier, 2009. 381 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas) -

CYBERGLOVE Systems. CyberGlove III. 2015. Disponível em: <<http://www.cyberglovesystems.com/>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

DESAFIOINT. Traje de realidade virtual estará no mercado ainda este ano. 21 maio 2015. Disponível em: <<https://desafioint.wordpress.com/2015/05/>>. Acesso em: 30 out. 2015.

EAN REALITY. 2011. Disponível em: <<http://www.eonreality.com/>>. Acesso em: 02 nov. 2011.

ESPERANÇA, Claudio; CAVALCANTI, Paulo Roma. **Introdução à Computação Gráfica Modelação**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2007. 54 slides, color. Acompanha texto. Disponível em: <<http://www.dei.isep.ipp.pt/~jpp/sgrai/Modelacao.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

ESPINHEIRA NETO, Ruy Alberto de Assis. **Arquitetura Digital: A Realidade Virtual, Suas Aplicações e Possibilidades**. 2004. XI, 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

FERREIRA, Maria Alice Grigas Varella; PELLEGRINO, Sérgio Roberto Matiello. Modelagem 3D. In: _____. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2006. p. 246-264.

FISHER, Scott. Virtual environments, personal simulation and telepresence. **Implementing and Interacting with Real Time Microworlds**, 1991.

FORD inaugura Centro de Realidade Virtual de ultra-alta definição para o desenvolvimento de veículos. Melbourne, Ford, 08 out. 2014. Disponível em: <<https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/br/pt/news/2014/10/08/ford-inaugura-centro-de-realidade-virtual-de-ultra-alta-definica.html>>. Acesso em: 17 out. 2015.

GARRETT, Filipe. Samsung apresenta Gear VR para ser usado com Galaxy Note 4. **TechTudo**, 14 nov. 2014. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/11/samsung-apresenta-gear-vr-para-ser-usado-com-galaxy-note-4.html>>. Acesso em: 21 set. 2015.

GÁS natural tem diversas aplicações. **Portal Brasil**. mar. 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/gas-natural-tem-diversas-aplicacoes>>. Acesso em: 30 out. 2015.

GEOFÍSICA Brasil. OGX inaugura sala de realidade virtual. 18 out. 2011. Disponível em: <<http://geofisicabrasil.com/noticias/37-empresas24/2529-ogx-inaugura-sala-de-realidade-virtual.html>>. Acesso em: 22 out. 2015.

GEOMAGIC. Visão Geral: The Geomagic Haptic Device. 2015. Disponível em: <<http://www.geomagic.com/pt/products/phantom-omni/overview>>. Acesso em: 29 set. 2015.

GIGANTE, Michael A. Virtual reality: definitions, history and applications. *Virtual Reality Systems*, p. 3-14, 1993.

GLOSSÁRIO. ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Jul. 2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=582#o>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

GNECCO, Bruno Barberi; GUIMARÃES, Marcelo de Paiva; DAMAZIO, Rodrigo. Ambientes de Hardware e Software para Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada. In: ____. **Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações**. Petrópolis: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2007. p. 72-89.

HOLANDA, Rafael Mansano; PAIXÃO, Eduardo Nascimento; CRUZ, João Carlos Ribeiro. **Interpretação sísmica 2D e modelagem 3D sismo-estratigráfica e estrutural de uma área-alvo da Bacia do Parnaíba**, 2013. SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica, 2013. Disponível em: <http://sys2.sbgf.org.br/congresso/abstracts/trabalhos/sbgf_4076.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2015.

HUANG, Bo; JIANG, Bin; LI, Hui. **An integration of GIS, virtual reality and the Internet for visualization, analysis and exploration of spatial data**. International Journal of Geographical Information Science, vol. 15 no. 3, 439-456. 2001.

IGARASHI, Takeo; MATSUOKA, Satoshi; TANAKA, Hidehiko. Teddy: a sketching interface for 3D freeform design. In: **Acm siggraph 2007 courses**. ACM, 2007. p. 21.

INVENTOR in the Field of Virtual Reality. Disponível em: <<http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html>>. Acesso em: 07 jun 2015.

KAGEYAMA, Yuri. Heargear shows images in 360-degree view. **NBC News**, Tokyo, 25 out. 2006. Disponível em: <http://www.nbcnews.com/id/15420310/ns/technology_and_science-innovation/t/headgear-shows-images--degree-view/#.VjgTA_nF-7l>. Acesso em: 21 set. 2015.

KELNER, Judith; FARIAS, Thiago. **Dispositivos de Interação**. 2010. Grupo de Pesquisa em Realidade Virtual Multimídia, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, 2010. Disponível em: <http://cin.ufpe.br/~if687/frame/turmas/turma_2010_1/05_Dispositivos_De_Interacao.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

KELNER, Judith; TEICHRIEB, Veronica. Técnicas de Interação para Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada. **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**, p. 53-70, 2008.

KIRNER, C. Evolução da Realidade Virtual no Brasil. In: X Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2008, João Pessoa. **Proceedings of the X Symposium on Virtual and Augmented Reality**. Porto Alegre: SBC, 2008. v. 1. p. 1-11. Disponível em: <<http://www.ckirner.com/historia-rv/historiarv.htm>>. Acesso em: 05 set. 2015.

KIRNER, C. et al. Projeto AVVIC - Ambiente Virtual para Visualização Interativa Compartilhada. Outubro, 1995.

KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada In: ____. **Realidade virtual e aumentada**: conceitos, projeto e aplicações. Petrópolis: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2007. p. 2-21.

KURTZ, João. Oculus Rift tem lançamento da versão final anunciada para início de 2016. **TechTudo**, 19 jun. 2015. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/05/oculus-rift-fabricante-anuncia-lancamento-para-inicio-de-2016.html>>. Acesso em: 20 set. 2015.

LETA, Thamine. Polícia do RJ inaugura simulador virtual para treinar agentes. **G1**, Rio de Janeiro, 23 mar. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2011/03/policia-do-rj-inaugura-simulador-virtual-para-treinar-agentes.html>>. Acesso em: 17 out. 2015.

LSI-USP - Laboratório de Sistemas Integráveis. **Realidade Virtual**. S. l. s.d. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/interativos/nrv/caverna.html>>. Acesso em: 30 out. 2015.

MACHADO, Liliane dos Santos. Dispositivos Hápticos para Interfaces de Realidade Virtual e Aumentada. In: ____. **Realidade virtual e aumentada**: conceitos, projeto e aplicações. Petrópolis: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2007. p. 152-167.

MACHADO, Liliane dos Santos; CARDOSO, Alexandre. Dispositivos de Entrada e Saída para Sistemas de Realidade Virtual. In: ____. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2006. p. 39-50.

MANSANO, Renato Brandão. **Engenharia de Perfuração e Completação em Poços de Petróleo**. Florianópolis: UFSC, 05 de agosto de 2004. Disponível em: <http://www.petroleo.ufsc.br/palestras/2004_08_05.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2015.

MATTOS, Aldo Dórea. BIM 3D, 4D, 5D e 6D. **PINI Blogs**. 17 dez. 2014. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/bim-3d-4d-5d-e-6d-335300-1.aspx>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

MYNINTENDO News. Here's A 30 Minute Documentary On The Power Glove. 26 set. 2015. Disponível em: <<http://mynintendonews.com/2015/09/26/heres-a-30-minute-documentary-on-the-power-glove/>>. Acesso em: 30 out. 2015.

MORAIS, José Mauro. **Petróleo em águas profundas**: Uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore. Brasília: Ipea: PETROBRAS, 2013. 424p.

NOUIRA, Lucia. A Sony lança seu capacete Morpheus. **CCM**, 21 maio 2015. Disponível em: <<http://br.ccm.net/news/26148-a-sony-lanca-seu-capacete-morpheus>>. Acesso em: 21 set. 2015.

NOVINT Technolgs. Reach into the Future with the Novint Falcon. 2012. Disponível em: <<http://novintcustom.com/>>. Acesso em: 30 out. 2015.

OCULUS. **DK2**: Development Kit 2. 2015. Disponível em: <<https://www.oculus.com/en-us/dk2/>>. Acesso em: 14 set. 2015.

OLIVEIRA, José Brito. **Desenho e Estudo da Cadeia Produtiva do Petróleo e Gás Natural do Espírito Santo**. Espírito Santo: SEBRAE: PETROBRAS, 2007. 174p.

PETROBRAS. Memória Petrobras: Criação do CENPES. 2013. Disponível em: <<http://memoria.petrobras.com.br/curiosidades/voce-sabia/criacao-do-cenpes#.VkqZpPnF-7k>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

PETROBRAS (2014a). Fatos e dados: Assinamos termo de compromisso para a implantação do Centro Tecnológico da Baixada Santista. 2014. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/assinamos-termo-de-compromisso-para-a-implantacao-do-centro-tecnologico-da-baixada-santista.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2015.

PETROBRAS (2014b). Infográfico: Tipos de Plataformas. 2014. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/infograficos/tipos-de-plataformas/desktop/index.html>>. Acesso em: 10 out. 2015.

PETROBRAS (2015a). Fatos e dados: Conheça os diferentes tipos de poços de petróleo e gás natural. 2015. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/conheca-os-diferentes-tipos-de-pocos-de-petroleo-e-gas-natural.htm>>. Acesso em: 30 out. 2015.

PETROBRAS (2015b). Nossa História: Viaje 50 anos no tempo e conheça a Petrobras. 2015. Disponível em: <<http://www.petrobras.com/pt/quem-somos/nossa-historia/>>. Acesso em: 16 out. 2015.

PORTAL Brasil. Setor de petróleo e gás chega a 13% do PIB brasileiro. 30 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/06/setor-de-petroleo-e-gas-chega-a-13-do-pib-brasileiro>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

PREMARATNE, Prashan. Historical Development of Hand Gesture Recognition. In: _____. **Human Computer Interaction Using Hand Gestures**. Springer, 2014. p. 5-29.

PÚBLICO. Depois dos óculos de realidade virtual, o colete que aumenta emoções. 15 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.publico.pt/tecnologia/noticia/depois-dos-oculos-de-realidade-virtual-o-colete-que-aumenta-emocoes-1682207>>. Acesso em: 30 out. 2015.

REGULAMENTADORA, Norma. 18 (NR 18) Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. **Ministério do Trabalho e Emprego**.

RODRIGUES, Fabio Luiz Doreto. **Sistema de realidade virtual para simulador visual de passadiço**. 2010. 120 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Eletrônicos) – Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RODRIGUES, Silviane Gomes. **ADVICE: um Ambiente Virtual Colaborativo para o Ensino a Distância**. 2004. 133 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.

RUSSO, Enio Emanuel Ramos et al. A Realidade Virtual na Indústria de Exploração e Produção de Petróleo. In: _____. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2006. p. 313-318.

SANSONE, Eduardo César. **A Cadeia Produtiva do Petróleo**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012. 25 slides, color. Acompanha texto. Disponível em: <http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/320857/mod_resource/content/1/Aula%2012%20-%20parte%20%20Prof.%20Sansone.pdf>. Acesso em: 30 set. 2015.

SANSUMG. About This Product (SM-R321NZWAXAR). 2015. Disponível em: <<http://www.samsung.com/us/mobile/wearable-tech/SM-R321NZWAXAR>>. Acesso em: 14 set. 2015.

SANTOS, Ismael H.F.; SOARES, Luciano P.; CARVALHO, Felipe; RAPOSO, Alberto. A collaborative virtual reality oil & gás workflow. **The International Journal of Virtual Reality**, 11 (1): 1-13. 2012.

SAPOTEK. Empresa chinesa desenvolve uma luva que o deixa sentir objetos de realidade virtual. 27 out. 2014. Disponível em: <http://tek.sapo.pt/multimedia/artigo/empresa_chinesa_desenvolve_uma_luva_que_o_deixa_sentir_objetos_de_realidade_virt-1419027tek.html>. Acesso em: 30 out. 2015.

SCHAFFEL, Silvia Blajberg. **A Questão Ambiental na Etapa da Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil**. 2002. VIII, 130 p. Tese (Mestrado em Programa de Planejamento Energético) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SCUSSEL, Alexandre. Centro de Pesquisas da Petrobras investe em alta tecnologia. S.l.: **MundoGeo**, 12 jul. 2012. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2012/07/12/centro-de-pesquisas-da-petrobras-investe-em-alta-tecnologia/>>. Acesso em: 22 out. 2015.

SHELL Global. Virtual reality helps unlock more energy. S.l. 2015. Disponível em: <<http://www.shell.com/global/future-energy/innovation/researching-around-the-world/iscope.html>>. Acesso em: 22 out. 2015.

SILVA, Francisco Assis. **Emprego da Realidade Virtual como ambiente de trabalho para a Arquitetura e Engenharia Civil**. Faculdade de Informática – UNOESTE. Presidente Prudente-SP. Disponível em:

<http://www2.unoeste.br/~chico/emprego_da_realidade_virtual.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

SILVA, Luciano. Visualização e Interação em Arquitetura via RV e RA. In: Simpósio de Realidade Virtual, 15, 2013, Cuiabá. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação – SBC, 2013. v. 3. p. 201-226.

SILVEIRA NETO, Walter Dutra. Técnicas de Modelagens e Renderização em Softwares Tridimensionais. **Revista do Centro de Artes da UDESC**, Florianópolis, v. 2, n. 2. 2005.

SONY Insider. Sony concept vídeo glasses. 12 fev. 2009. Disponível em: <<http://www.sonyinsider.com/2009/02/12/sony-concept-video-glasses/>>. Acesso em: 20 set. 2015.

SOUSA, Washington César Braga. **PLARVICE 3D: Plataforma em Realidade Virtual não-Imersiva para Criação de Estruturas Tridimensionais**. 2008. 109p. Tese (Graduação de Engenheiro Eletricista – Opção Telecomunicações) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

STEUER, Jonathan. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. **Journal of communication**, v. 42, n. 4, p. 73-93, 1992.

STURMAN, D.J; ZELTZER, D. A survey of glove-based input, *Computer Graphics and Applications*, **IEEE**, V14 #1, Jan. 1994,30 -39. Disponível em: <<http://www.springer.com/978-981-4585-68-2>>. Acesso em: 30 out. 2015.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2001. 271p.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio. Fundamentos de Realidade Virtual. In:____. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Belém: SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2006. p. 2-21.

VALERIO NETTO, Antonio; MACHADO, Liliane dos Santos; OLIVEIRA, Maria Cristina Ferreira. **Realidade Virtual: Definições, Dispositivos e Aplicações**. S.l. s.d.

VR-TIFACTS. Retrospective photo review of Forte VFX1 Virtual Reality system. 09 nov. 2010. Disponível em: <<http://vrtifacts.com/retrospective-photo-review-of-forte-vfx1-virtual-reality-system/>>. Acesso em: 20 set. 2015.

ZILIO, Evaldo López; PINTO, Ulysses Brandão. **Identificação e Distribuição dos Principais Grupos de Compostos Presentes nos Petróleos Brasileiros**. Bol. Téc. PETROBRAS, Rio de Janeiro, v. 45, n. 1, p. 21-25, jan./mar. 2002. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/boletim/Boletim_45_1/identificacaoedistribuicao.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2015.