



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**DISPOSITIVO PARA COLETA AUTOMÁTICA PRESSURIZADA DE
GASES E FLUIDOS EM AMBIENTE AQUÁTICO PROFUNDO E
SISTEMA PARA MANIPULAÇÃO DE AMOSTRAS**

ARNO KIELING STEIGER
BACHAREL EM GEOGRAFIA

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Porto Alegre
OUTUBRO, 2014



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**DISPOSITIVO PARA COLETA AUTOMÁTICA PRESSURIZADA DE
GASES E FLUIDOS EM AMBIENTE AQUÁTICO PROFUNDO E
SISTEMA PARA MANIPULAÇÃO DE AMOSTRAS**

ARNO KIELING STEIGER

BACHAREL EM GEOGRAFIA

ORIENTADOR: PROF(a). DR(a). JOÃO MARCELO MEDINA KETZER

CO-ORIENTADOR: Prof(a). Dr(a). ISSAC NEWTON DA SILVA

Dissertação de Mestrado realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre
OUTUBRO, 2014**

Com efeito, se a raça humana tivesse sido confinada a tecnologias compreendidas em termos científicos, ela já teria saído de cena a muito tempo.
(Nathan Rosenberg)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos dois Amores da minha vida, a minha esposa Marlise e ao meu filho Bruno.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu Orientador Professor Doutor João Marcelo Medina Ketzer, pelo companheirismo, incentivo, pelas contribuições dadas, mas em especial pela oportunidade ímpar em confiar e acreditar na concepção deste projeto e em permitir que as ideias aqui apresentadas, fossem levadas a termo na missão oceanográfica MD 195, considerando que boa parte da obtenção de dados da missão dependeria do sucesso desta proposta, da sua execução e de seu funcionamento.

Agradeço ao Co-Orientador Professor Doutor Issac Newton da Silva pelo auxílio, contribuições, e incentivos durante o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço a Professora Doutora Betina Blochtein por também acreditar no projeto, liberando recursos financeiros do Fundo de Pesquisas do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Naturais-PUCRS, para a construção do protótipo.

Agradeço ao meu Pai, por mais uma vez estar ao meu lado, me auxiliando e contribuindo na execução deste projeto com seu background técnico e sua incessante ajuda e incentivo mesmo em seus momentos de enfermidade.

Agradeço a Adolpho Herbert Augustin pelo companheirismo, dedicação e auxílio nos preparativos dos materiais deste projeto de pesquisa utilizados na Missão Oceanográfica MD 195.

Agradeço ao meu Diretor Professor Doutor Carlos Nelson dos Reis, por todas as formas de apoio e incentivo, sem elas este caminho teria sido muito mais árduo.

Agradeço ao Paulo Mendonça da empresa Swagelok, pela presteza, auxílio e contribuições técnicas para a realização deste projeto.

Agradeço a Administração Superior da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul em conceder o desconto de 50% no valor do curso de pós-graduação.

Agradeço a minha esposa Marlise, pelo companheirismo, pelo incentivo, mas, sobretudo pelo apoio incansável durante o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	5
AGRADECIMENTOS.....	6
SUMÁRIO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE SÍMBOLOS.....	12
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivos Específicos	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
3.1. Exsudações de fluidos em leito marinho	22
3.1.1. Exsudações Naturais.....	23
3.1.2 Exsudações relacionadas a produção de petróleo e armazenamento geológico de CO ₂	25
3.2. Equipamentos e métodos de coleta de amostras de sedimentos, líquidos e gases em ambiente aquático profundo <i>in situ</i>	27
4. PROPOSTA	32
4.1. Busca por modelos similares.....	32
4.2. Especificação	32
4.3. Implementação	33
4.3.1 Módulo de coleta	33
4.3.2 Módulo de comando.....	33
4.3.4 Interface de manipulação de amostras	33
4.3.5 Ampola de armazenamento	33
5. VALIDAÇÃO	35
6. AVALIAÇÃO	37
7. CONCLUSÃO.....	40
8. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	42

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 43
ANEXOS 48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Conjunto de garrafas de Niskin, denominado Rossete. Crédito da imagem Bruno Todeschini.	16
Figura 1.2 Testemunhador a pistão, durante processo de lançamento da embarcação. Notar na extremidade inferior, em vermelho, está representado o pistão. 1) Aproximação do testemunhador no local da coleta. 2) Acionamento do gatilho. 3) Testemunhador em queda livre. 4) Penetração no sedimento. 5) Recuperação. Crédito da imagem Centre de Carottage et de Forage National	17
Figura 2. Fluxograma da metodologia do trabalho	21
Figura 3.1.1a. Imagem representativa do ambiente de coleta.....	24
Figura 3.1.1b. Foto mostrando exsudações de metano na forma de bolhas de gás subindo através de um leito de mexilhões no fundo do mar. Credito de imagem NOAA Okeanos Explorer Program.	25
Figura 3.2.c. Foto mostrando um testemunhador múltiplo para coleta pressurizada de sedimentos. Créditos da imagem: (Abegg et al. 2008).....	30
Figura 3.2.d. Testemunhador a pistão para sedimentos marinhos com sistema de preservação da pressão <i>in situ</i> . Créditos da imagem: (Abegg et al. 2008).	30
Figura 3.2.e. 	
Figura 4.2 Diagrama de blocos do dispositivo e concepção de funcionamento	
Figura 4.3. 	
Figura 4.3.b 	
Figura 4.3.c. 	
Figura 4.3.d. O modelo (esquerda) e a concepção de montagem proposta para operação em um ROV Mohican 019, configurado sem manipuladores (direita). Créditos da imagem Autor.....	
Figura 4.3.e. 	
Figura 4.3.f. Ampola de armazenamento. Créditos da imagem Autor.....	34

Figura 5. Fluxograma da validação	36
Figura 6.a. Assinalado em vermelho, o dispositivo na gaiola de transporte do ROV, durante um mergulho de avaliação.	
Figura 6.b. Dispositivo manual desenvolvido em parceria com o IDEIA-PUCRS.	
Figura 6.c.O uso da interface na transferência de amostras durante a missão oceanográfica MD 195.	
Figura 6.d. Gás hidratando no cone de coleta.....	
Figura 7. Gráfico do comportamento do motor, corrente versus torque. Adaptado pelo autor de Mabuchi Motor Co.,LTD	

LISTA DE TABELAS

Tabela 3. Tipos de amostras obtidas pelos autores.....	31
Tabela 6. Tabela de resultados das coletas.....	

LISTA DE SÍMBOLOS

Ampere	A
Centímetro cúbico	cm ³
Gás carbônico	CO ₂
Metano	CH ₄
Miliampere-hora	mAh
Milímetro	mm
Newton por metro	N/m
Níquel Metal Hidreto	Ni-MH
Pressão	bar
Quilômetro	km
Sulfeto de hidrogênio	H ₂ S
Volt	V

RESUMO

STEIGER, Arno Kieling. **DISPOSITIVO PARA COLETA AUTOMÁTICA PRESSURIZADA DE GASES E FLUIDOS EM AMBIENTE AQUÁTICO PROFUNDO E SISTEMA PARA MANIPULAÇÃO DE AMOSTRAS**. Porto Alegre. 2014. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

Devido à procura por novas fronteiras exploratórias, uma grande variedade de equipamentos para amostragem geológica vem sendo desenvolvidos, em especial para ambientes marinhos com profundidades superiores a 300 metros. A manutenção das condições *in situ* destes ambientes, notadamente a pressão, conferem qualidade ao processo de amostragem uma vez que evita a perda de elementos da amostra durante a recuperação, especialmente gases. Neste contexto o dispositivo desenvolvido nesta dissertação tem o propósito de coletar fluidos, em especial gases, de forma automatizada em ambientes subaquáticos em profundidades de até 3000 metros e mantê-los nas condições de pressão da coleta. O dispositivo é programado na superfície, sendo necessário transportá-lo até o local de trabalho, com auxílio de um veículo submarino de operação remota (ROV) de inspeção, por exemplo. Além da validação em laboratório, o dispositivo proposto foi também avaliado em condições reais de mar. Por não existir equipamento igual ao desenvolvido nesta dissertação, o mesmo foi patenteadado.

Palavras-Chaves: Equipamento de amostragem, amostrador de sedimentos, amostrador de gás, testemunhador de sedimentos, testemunhador pressurizado, metano.

ABSTRACT

STEIGER, Arno Kieling. DEVICE FOR PRESSURIZED AUTOMATED COLLECTION OF GASES AND FLUIDS IN A DEEP WATER ENVIRONMENT AND SYSTEM FOR HANDLING OF SAMPLES. Porto Alegre. 2014. Dissertation. Postgraduate Program in Engineering and Materials Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The search for new exploratory frontiers has led to the development of a wide variety of geological sampling equipment, especially for marine environments with water depths greater than 300 meters. Maintaining the *in situ* conditions of these environments, particularly the pressure, provides quality to the sampling process as it prevents loss of sample elements, especially gases, during the retrieval process. In this context the device developed for this research aimed to collect fluids, particularly gases, in an automated manner from deep-water environments at depths up to 3000 meters and to maintain them under the same pressure conditions as when collected. The device is programmed at the surface and subsequently transported to the collection site, for example, with the aid of an underwater inspection remotely operated vehicle (ROV). In addition to laboratory validation, the proposed device was also tested under real sea conditions. No equivalent equipment to the device developed in this dissertation exists and it was therefore patented.

Keywords: sampling equipment, sediment sampling, gas sampling, sediment corer, pressurised corer, methane.

1. INTRODUÇÃO

Uma grande variedade de equipamentos vem sendo desenvolvida para amostragem geológica, em especial para as investigações em ambientes marinhos. As investigações nestes ambientes geralmente adotam duas metodologias para a obtenção dos dados, uma pela via remota através de sensores e outra pela intervenção direta com a apropriação do material a ser coletado, amostragem. Frequentemente as investigações por via remota são as primeiras a serem realizadas. Os dados coletados são normalmente utilizados para orientar, planejar e escolher os pontos onde serão feitas as coletas físicas das amostras. A aquisição dos dados por via remota abrange extensas áreas em tempo relativamente reduzido e não dependem tanto das condições de mar. Um exemplo disso é o perfilador multifeixe de fundo e subfundo e ecobatímetros (Davis, 1996). As atividades para a obtenção de amostras estão mais dependentes das condições meteorológicas, de mar, da qualidade do fundo marinho, velocidades das correntes, profundidade, dentre outras. A amostragem em leito marinho, especialmente em profundidades superiores a 300 metros, exige várias técnicas, instrumentos, equipamentos e ferramentas, que por sua vez, irão desempenhar funções distintas e serão aplicadas de acordo com o tipo de amostra a ser coletado e as condições necessárias para a preservação da mesma (Figueiredo e Brehme, 2001).

Existe uma grande variedade de equipamentos para amostragem em pesquisas oceanográficas, como por exemplo, as garrafas de Niskin, ilustrada na figura 1.1. Essas garrafas são utilizadas para coletas de água do mar, possibilitando que a amostra seja colhida na profundidade desejada, com método de operação simples e rápido. Entretanto nas amostragens realizadas com esse equipamento a pressão hidrostática relativa a profundidade do ponto de coleta, é aliviada durante a recuperação das garrafas na embarcação (Godoi et al., 2000). Em função do alívio da pressão hidrostática, as quantidades de gases dissolvidos podem diminuir, pois com a queda da pressão, partes dos gases dissolvidos irão retornar para fase gasosa e não serão preservadas (Coleman e Coleman, 2013).



Figura 1.1. Conjunto de garrafas de Niskin, denominado Rossete. Crédito da imagem Bruno Todeschini.

Outro equipamento importante na amostragem de fundo marinho é o testemunhador a pistão, ilustrado na figura 1.2. Esse equipamento é muito empregado na recuperação de sedimentos lamosos, e consiste em um tubo de aço com diâmetro variável, mais comumente de 140 mm. Internamente ao tubo existe um segundo tubo em PVC, também de diâmetro variável, mas normalmente com diâmetro de 115 mm. O testemunhador a pistão pode chegar a 60 metros de comprimento. Na parte superior do testemunhador existe um peso para auxiliar na penetração no sedimento do fundo do mar e dependendo do comprimento do tubo, o peso pode chegar a 7 toneladas. O sistema é disparado por um gatilho, quando está próximo ao fundo do mar. O cabo ligado ao pistão fica enrolado e preso junto ao gatilho de disparo. Quando o gatilho é acionado, o pistão permanece imóvel exatamente no nível do fundo do mar. O deslocamento do testemunhador cria um vácuo parcial na parte superior do núcleo da amostra, o que ajuda a reduzir o atrito nas paredes do tubo de PVC, auxiliando na taxa de recuperação e na qualidade das amostras de sedimento (Hopkins, 1964). As grandes vantagens desse tipo de testemunhador são: (1) Boa taxa de recuperação e (2) recuperação de testemunhos longos. A desvantagem é que esse testemunhador não mantém a pressão do local

da coleta, dificultando a aquisição de amostras de gases contidos nos sedimentos (Hollister et al., 1973).

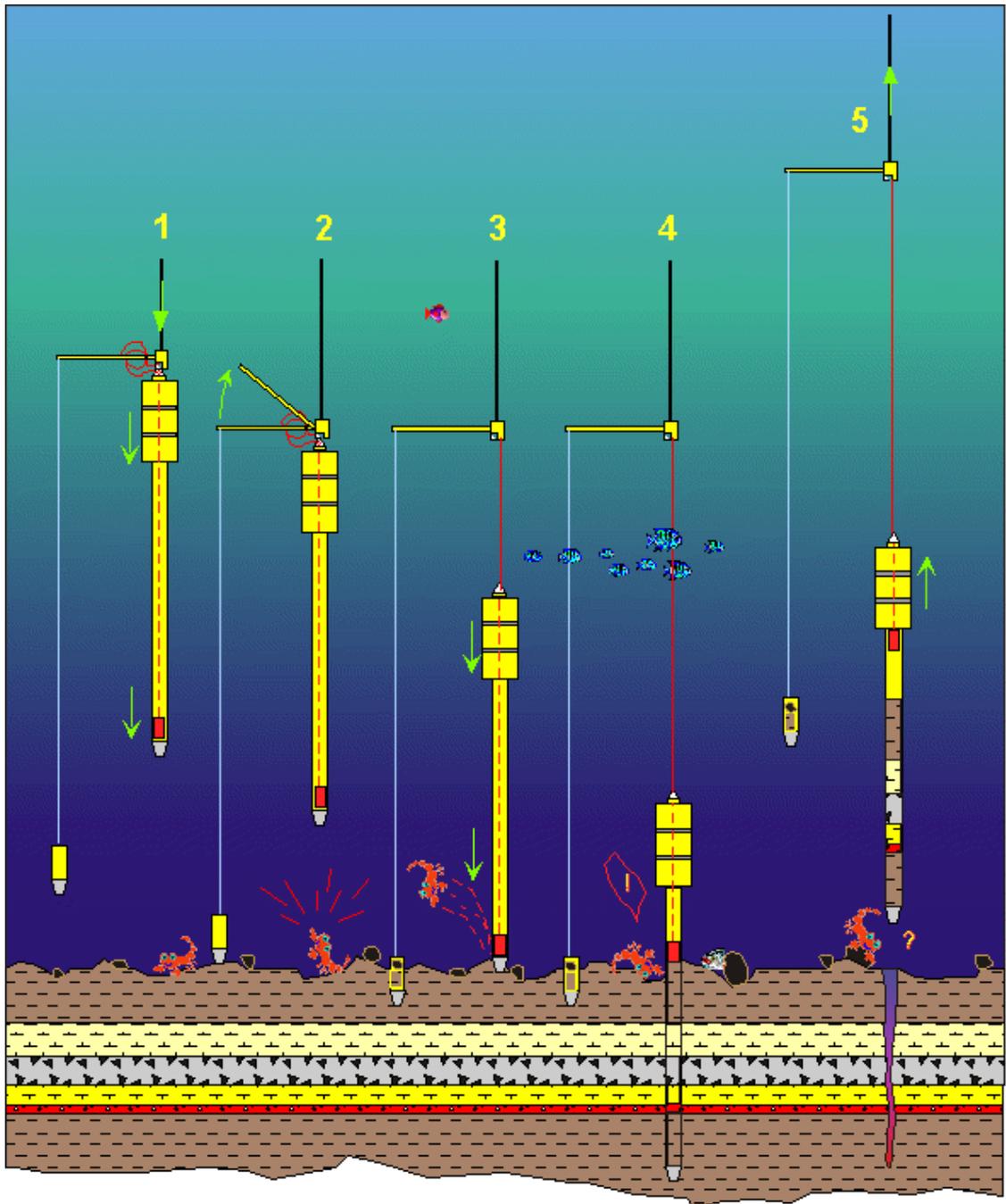


Figura 1.2 Testemunhador a pistão, durante processo de lançamento da embarcação. Notar na extremidade inferior, em vermelho, está representado o pistão. 1) Aproximação do testemunhador no local da coleta. 2) Acionamento do gatilho. 3) Testemunhador em queda livre. 4) Penetração no sedimento. 5) Recuperação. Crédito da imagem Centre de Carottage et de Forage National

A busca por novas fronteiras exploratórias para petróleo, em especial nos ambientes marinhos de grandes profundidades, e avanços tecnológicos associados a instrumentos de análises que permitem diagnósticos cada vez mais precisos, torna necessário que as amostras estejam cada vez mais bem preservadas no que se refere as condições dos ambientes em que foram coletadas. Como consequência, a necessidade de inovar métodos de coleta provoca um novo impulso ao desenvolvimento de equipamentos coletores de amostras com certas especificidades e refinamentos, fazendo com que cumpram as exigências de melhor qualidade e integridade das amostras, caracterizadas por coletas com preservação das condições *in situ* (Dickens et al., 1997; Heeschen et al., 2007; Murray et al., 1989; Abegg et al., 2008; Li et al., 2005).

Neste contexto, foi desenvolvido um dispositivo automático para coleta de amostras de fluídos oriundas de exsudações ocorrentes em meios subaquáticos. Entretanto, realizar coletas em grandes profundidades não é tarefa trivial. Nos ambientes marinhos com profundidades superiores à 300 metros as condições de trabalho são bastante limitadas para mergulhadores, sendo necessário assim o uso de veículos de operação remota (ROV sigla do inglês *Remotely Operated Vehicles*) (Gomes et al., 2013). Um ROV é um veículo submersível, não tripulado, conectado a um cabo o qual está ligado a uma embarcação. Pelo cabo, além da ligação física, passam o fornecimento de energia e dados de comunicação pelos quais um operador remoto controla o ROV (Christ et al., 2007).

Controlar um ROV requer dos operadores muitas horas de treinamento, capacidade de concentração e resistência ao cansaço, devido à complexidade das tarefas. Por esses motivos, avanços tecnológicos de automação de ROVs vem sendo projetados e implementados a fim de facilitar e melhorar o desempenho dos operadores (Zanoli. S. M., Conte. G., 2003). O dispositivo apresentado nesta dissertação possui um grande diferencial em relação a outros equipamentos de mesma categoria de aplicação, uma vez que se caracteriza como uma proposta que garante autonomia no momento da coleta. Em mais detalhes, este equipamento pode ser transportado ao ponto de coleta por ROVs da classe observação, ou seja, ROVs que não contenham manipuladores, bastando apenas transportá-lo e posicioná-lo no ponto de interesse. Essa condição diminui o custo da locação dos ROVs e torna as operações subaquáticas mais simples e rápidas, tornando o

método de coleta mais eficaz. Além disso, é importante mencionar que é possível embarcar este equipamento em veículos subaquáticos autônomos (AUVs sigla do inglês *Autonomous Underwater Vehicles*).

O dispositivo proposto foi validado em laboratório e em condições semelhantes a do ambiente de trabalho. Convém mencionar que o dispositivo também foi avaliado em condições reais de mar, durante a missão oceanográfica MD 195, que teve como objetivo realizar coletas de gases que emanam do leito marinho. Finalmente, dado que não existe um equipamento igual ao desenvolvido nesta dissertação, o mesmo foi patenteado. A petição e o protocolo do pedido de depósito da patente estão nos anexos deste trabalho.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento capaz de coletar líquidos e/ou gases de forma automática em leitões de ambientes subaquáticos em profundidades de até 3000 metros, mantendo a pressão do ambiente de coleta. Note que além do dispositivo que coleta líquidos e/ou gases, neste trabalho também foi desenvolvido uma interface de manipulação que permite a transferência da amostra para ampolas pressurizadas e/ou sua amostragem em baixa pressão.

2.1. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos deste trabalho, salientam-se:

Conceber um sistema para amostragem de gases e líquidos automatizada para ser utilizado em veículos submarinos operados remotamente e que conseqüentemente não contenham manipuladores (utilizando-se ROVs de inspeção, por exemplo)

Conceber uma interface de manipulação das amostras coletadas que garanta uma perda mínima de gás no sistema, além de armazenamento das mesmas em ampolas e/ou sua extração em baixa pressão.

Para atingir os objetivos do trabalho foi criada uma metodologia cumprindo a seguintes etapas: Fundamentação teórica, especificação, implementação do modelo, validação e avaliação. A forma como foram estruturadas as etapas da metodologia podem ser vistas no fluxograma da figura 2.

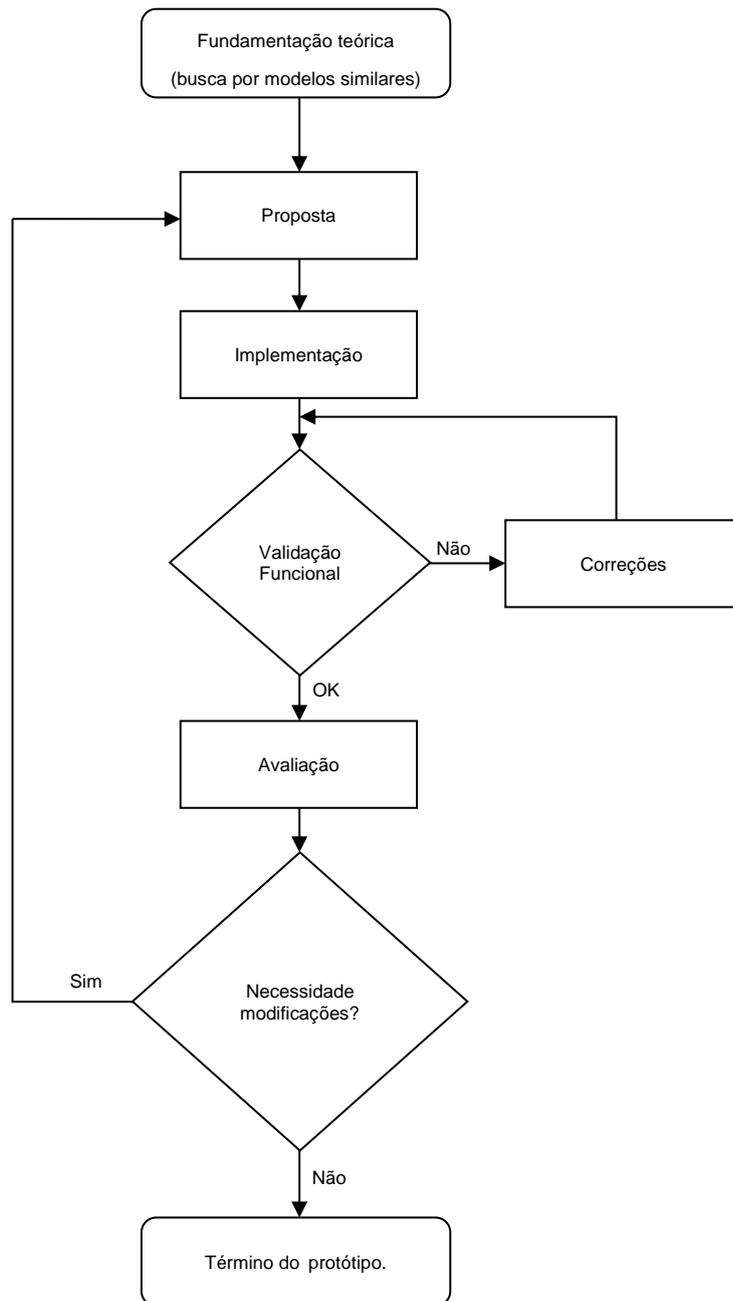


Figura 2. Fluxograma da metodologia do trabalho

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo é dedicado à revisão da literatura que envolve o conceito de exsudações de fluidos em leito marinho, exemplos de alguns fluidos, o metano como destaque entre estes fluidos, a importância do metano no contexto marinho, bem como uma revisão do estado-da arte no que diz respeito à métodos e equipamentos de coleta de metano em ambiente submarino.

3.1. Exsudações de fluidos em leito marinho

Exsudações de fluidos no leito marinho são passagens de líquidos e gases naturais em temperaturas variadas, oriundos de rochas e sedimentos para a coluna d'água. Estes fluxos podem variar de intensidade, de quase imperceptíveis como os que ocorrem entre grãos de sedimentos, até emanações violentas associadas a atividades de extrusão de lama em vulcões de lama (Judd, 2003). Da mesma forma, a origem dos fluidos é diversificada. Fluxos de água nos taludes continentais, por exemplo, podem ter sua origem de aquíferos das regiões costeiras (Judd e Hovland, 2007). Estima-se que a cada ano através de exsudações naturais são lançados $0,6 \times 10^6$ toneladas de óleo cru nos oceanos (Judd e Hovland, 2007). As exsudações gasosas no assoalho oceânico podem ser indicadoras da existência e do comportamento de bacias sedimentares com campos de petróleo em profundidade (Kornacki et al., 1994).

Diversos autores vêm demonstrando que o metano é o gás predominante nas emanações gasosas em fundo oceânico e por isso, essas emanações estão sendo vistas mais recentemente, como mais uma fonte significativa de emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, sendo assim uma possível fonte para o incremento do aquecimento global (Judd, 2004). Emanações gasosas em fundo

oceânico podem ser detectadas utilizando-se sistemas hidro acústicos como sonares (figura 3.1.), porque as plumas de gás causam fortes reflexões, devido à intensa diferença de impedância entre as bolhas de gás e a água do mar (Nikolovska, 2008).

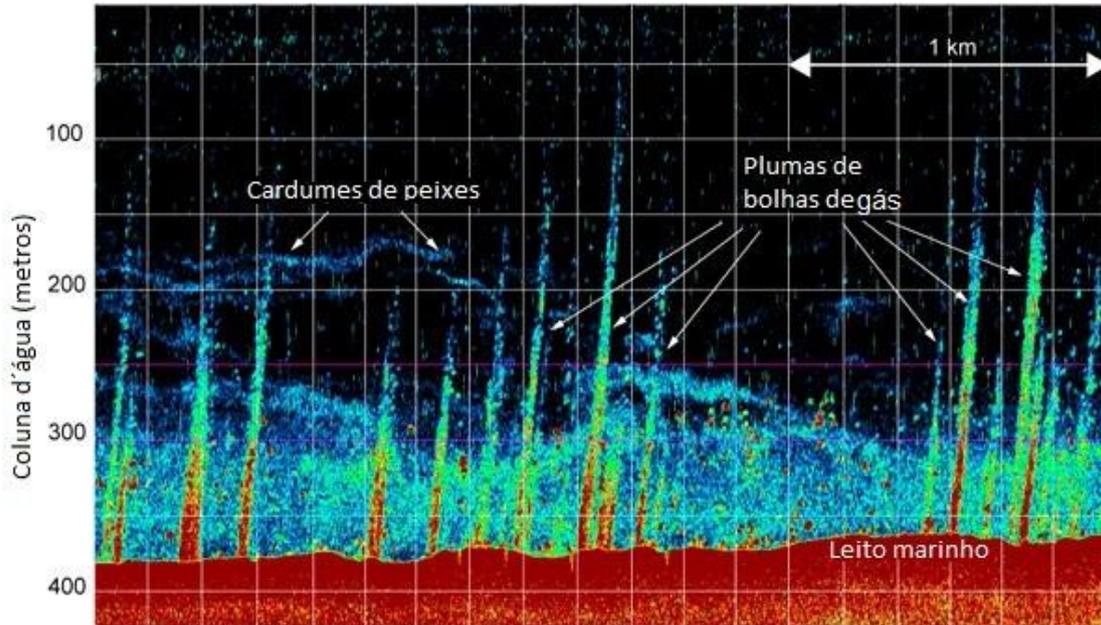


Figura 3.1. Imagem mostrando exsudações de metano na coluna d'água na forma de plumas vistas pelo sonar. Credito da imagem, *National Oceanography Centre- University of Southampton*

3.1.1. Exsudações Naturais

É estimado que as exsudações gasosas oceânicas contribuam entre 31% e 48% do metano global oriundo de fontes geológicas. [REDACTED] O metano liberado pelas emanações do fundo marinho, dependendo de sua gênese, pode ser caracterizado como biogênico, termogênico e abiogênico (Judd, 2003). Metano biogênico é proveniente da decomposição microbiana da matéria orgânica contida nos sedimentos do assoalho oceânico, em profundidades que podem chegar a 2000 metros, dependendo do gradiente geotérmico local, mas normalmente está concentrada nas primeiras dezenas de metros abaixo do leito marinho (Judd, 2003). Metano termogênico é proveniente de matéria orgânica soterrada, degradada por processos termocatalíticos que ocorrem normalmente a partir de 2000 metros, mas

principalmente em profundidades entre 4000 e 5000 metros, também podendo variar em função do gradiente geotérmico (Judd, 2004). Metano abiogênico é proveniente da desgaseificação de rochas em profundidade na terra, podendo ser encontrados nas fontes hidrotermais (Kutcherov, 2013). Dada a multiplicidade dos processos de formação do metano e dependendo das condições locais, outros hidrocarbonetos poderão ocorrer em conjunto nestes ambientes (Judd, 2003). Outros gases como etano, propano, isobutano e butano, além de CO_2 e H_2S podem ocorrer em quantidades representativas (Claypool e Kvenvolden, 1983) (figura 3.1.1 a)

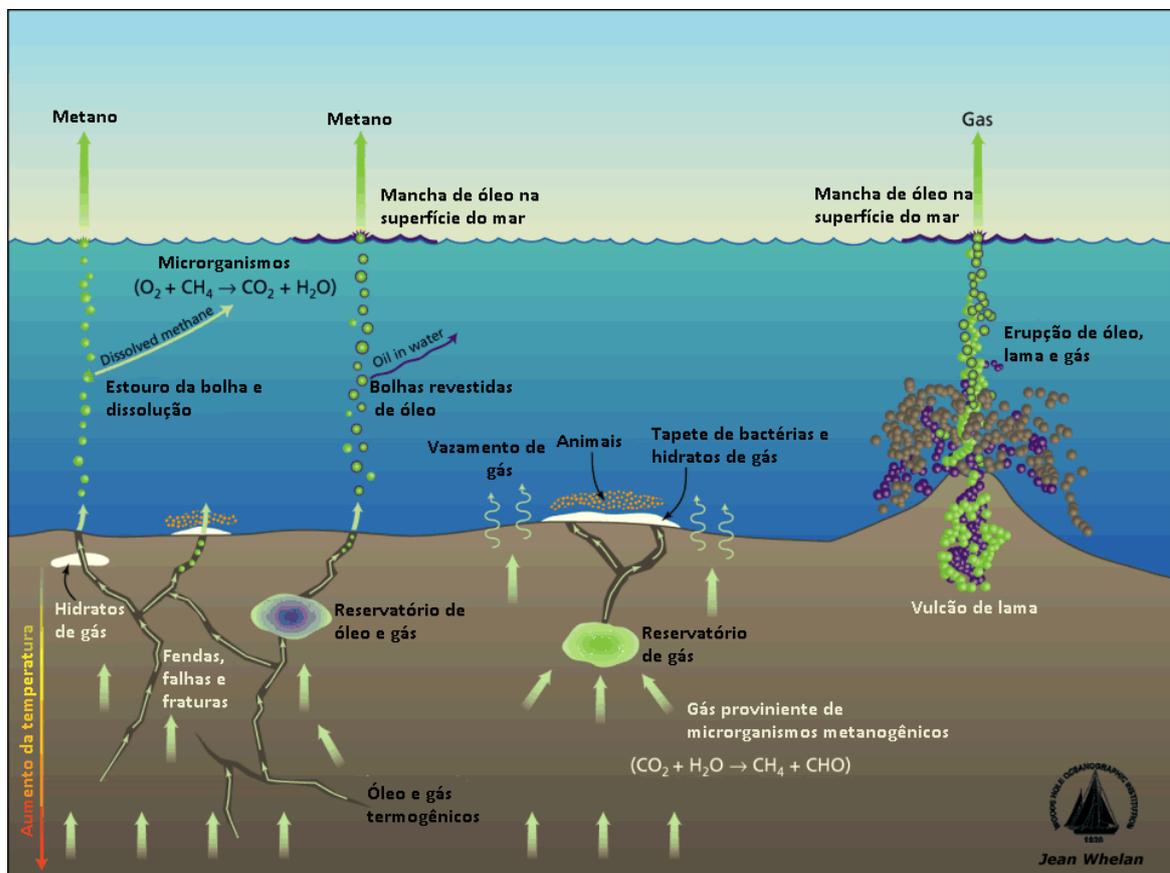


Figura 3.1.1a. Imagem representativa do ambiente de coleta.

A expressão geológica mais característica para a ocorrência dos fluxos de fluidos no assoalho oceânico são os *pock-marks*, os quais podem ser definidos com formações que geralmente possuem aspecto de cratera e que podem ter o diâmetro de dezenas a centenas de metros, e profundidades variadas entre centímetros e dezenas de metros (Judd e Hovland, 2007). “Estes locais são preferencialmente

indicados para a realização de amostragem com a finalidade de analisar a origem dos fluidos-termogênicos ou biogênicos” (Rosa et al.,2006). Outra feição que caracteriza os locais de ocorrência das exsudações são os ambientes onde observam-se as aglomerações de comunidades quimiosintéticas, normalmente representadas por tapetes de bactérias, tubos de vermes, moluscos bivalves (figura 3.1.1b) dentre outros (Kornacki et al., 1994).



Figura 3.1.1b. Foto mostrando exsudações de metano na forma de bolhas de gás subindo através de um leito de mexilhões no fundo do mar. Credito de imagem NOAA Okeanos Explorer Program.

3.1.2 Exsudações relacionadas a produção de petróleo e armazenamento geológico de CO₂

No Brasil boa parte das reservas de petróleo encontra-se em ambientes marinhos, cuja produção implica em riscos constantes de vazamentos. Mesmo assim, estudos sobre os efeitos da poluição por petróleo ainda são escassos (Gomes et al., 2001). Porém, casos como o acidente da *Britihs Petroleum* no Golfo do México começam a mudar esse panorama, a exemplo disso. A cientista marinha Samantha Joye, que anteriormente estudava apenas exsudação de óleo de processos naturais, agora voltou sua atenção a estudos de exsudações não naturais (Dreifus, 2011). Em Junho de 2011, na baía de Bohai na China um incidente durante os trabalhos de perfuração na plataforma B de um campo de produção, provocou

exsudação de 723 barris de óleo ocasionada pelo comprometimento de uma falha geológica (ConocoPhillips China, 2011), figura 3.1.c.

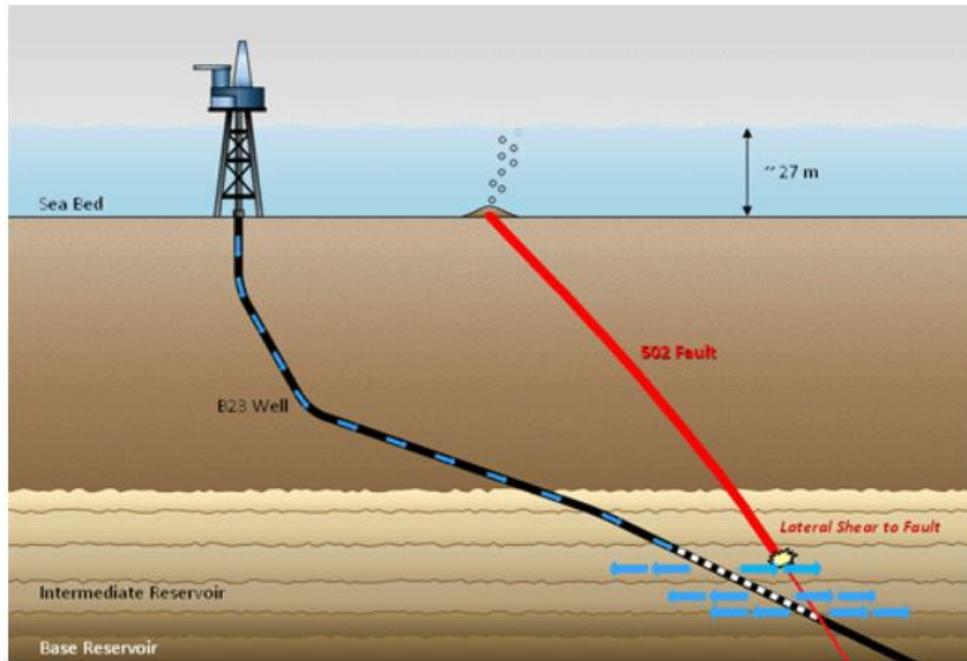


Figura 3.1.c Exsudação ocasionada pelo comprometimento de uma falha geológica por ocasião da perfuração de um poço de petróleo. Crédito da imagem Conoco Phillips.

Atualmente, uma das alternativas mais aceitas para o armazenamento geológico de CO_2 , são os reservatórios de bacias sedimentares em ambientes marinhos *offshore*. Nestes ambientes, injeções de CO_2 também podem ocorrer em função do uso desse gás em técnicas para a recuperação avançada de petróleo (Klusman, 2003). As principais vantagens de armazenamento no ambiente marinho são a distância de centros urbanos, minimizando a preocupação pública, a acessibilidade, no mar não há interferência do relevo, edificações, estradas, vegetação, o que facilita a chegada aos pontos de injeção, propriedades físicas do meio circundante, sendo mais fácil a detecção de vazamentos de CO_2 na água do que no ar (Korre et al., 2012). Neste contexto o monitoramento nas áreas de estocagem é fundamental, no que se refere a possíveis vazamentos, sendo uma garantia adicional para poder quantificar, qualificar e distinguir vazamentos naturais, daqueles que poderiam ser provocados por conta do armazenamento geológico (Blackford et al., 2013).

3.2. Equipamentos e métodos de coleta de amostras de sedimentos, líquidos e gases em ambiente aquático profundo *in situ*.

As primeiras tentativas para implementar um testemunhador pressurizado surgiram 1973 (Paull, Ussler III, 2001). Observa-se na literatura a existência de vários testes e tentativas de uso desta nova modalidade de testemunhagem, chegando a recuperar sedimentos, mas não com a pressão totalmente preservada. Dez anos depois, o trabalho pioneiro no desenvolvimento de tecnologia para recuperação de testemunhos pressurizados foi realizado pelo *Deep Sea Drilling Project*, "...foi usado com sucesso para recuperar com a pressão *in situ*, sedimentos da *Blake Outer Ridge*, figura 3.2.a (Kvenvolden et al., 1983).

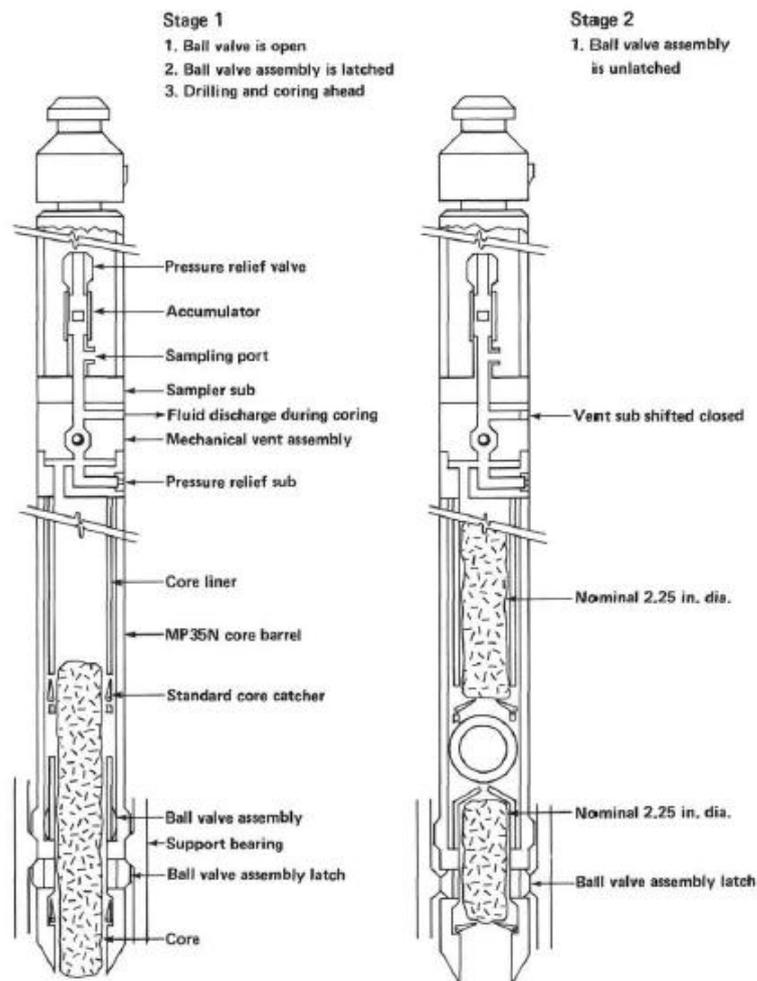


Figura 3.2.a Vista em corte do testemunhador pressurizado e suas principais partes. Créditos da imagem Kvenvolden et al., 1983

Outro exemplo de sucesso, verifica-se na pesquisa sobre o desenvolvimento de um testemunhador pressurizado para coleta de sedimentos marinhos com o objetivo de realizar análises geoquímicas de metais pesados e radionuclídeos: “O objetivo do testemunhador de sedimentos descrito nesta nota é para amostrar e recuperar sedimentos marinhos profundos para eventual transporte de volta para um laboratório em terra, mantendo sua pressão hidrostática *in situ* (Murray et al. 1989)”. Nesse trabalho, os autores chamam a atenção para os problemas relacionados à descompressão durante a recuperação de sedimentos, no que se refere a afetar a solubilidade e alcalinidade de carbonatos. De forma semelhante, porém com o objetivo de quantificar metano nos poros de sedimentos marinhos, pode-se verificar em outro trabalho que: “O testemunhador pressurizado é uma ferramenta desenhada para recuperar 1,320 cm³ de sedimento na pressão *in situ*”.

Assim, a quantidade e composição de gás numa amostra de sedimento no fundo do mar pode ser mais precisamente determinada pela liberação de gás a partir do testemunhador pressurizado sob condições laboratoriais controladas na superfície (Dickens et al., 1997)”.

Em outra pesquisa sobre concentração de gases, especificamente CH₄ em sedimentos marinhos, foi desenvolvido um testemunhador com capacidade de coleta de 10 metros de coluna de sedimento por 65 cm de diâmetro (Li et al., 2005). Nesse trabalho, os autores chamam a atenção para a necessidade de o testemunhador manter a mesma pressão do ponto de coleta durante os procedimentos de recuperação da amostra, pois na medida em que o testemunhador é içado a pressão da coluna d’água cai e a temperatura aumenta, de forma que significativas quantidades de gás são perdidas. Assim os autores argumentam: “Manter as amostras na pressão *in situ* é essencial na coleta de gases (Li et al., 2005)”. Neste sentido, pode-se expressar o comportamento de gases dissolvidos na coluna d’água considerando-se a Lei de Henry, onde a concentração de um gás na solução pode aumentar até a soma das pressões parciais de todos os gases dissolvidos excederem a pressão hidrostática (Coleman e Coleman, 2013).

$$X = K \cdot P \quad (1)$$

X= Fração molar de equilíbrio do gás em solução

P= Pressão parcial na fase gasosa

K= Constante da lei de Henry

Pode-se observar ainda o comportamento da solubilidade do gás metano em água em função da pressão no gráfico da figura 3.2.b.

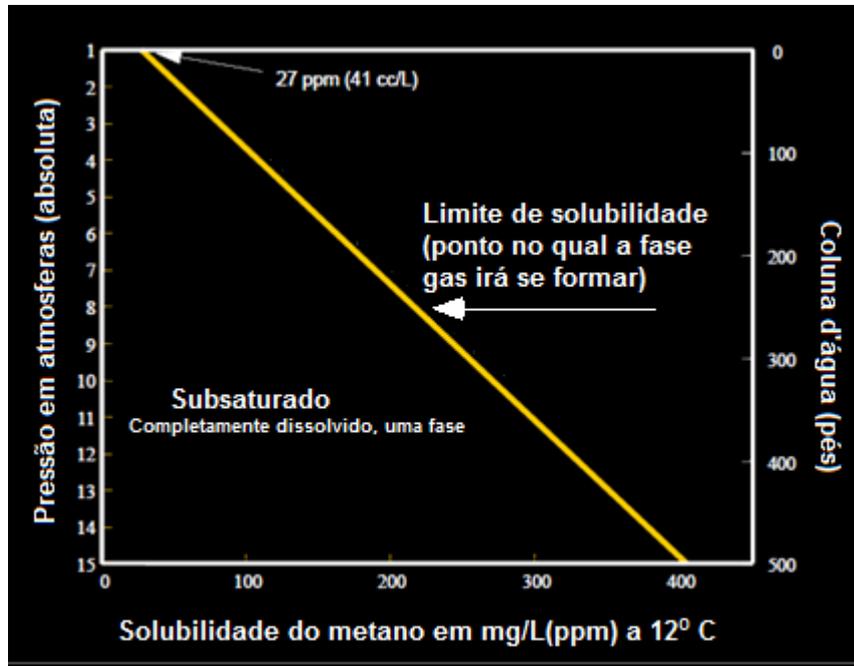


Figura 3.2.b Gráfico da solubilidade do metano em água em função da pressão. Créditos (Coleman e Coleman, 2013).

Os ambientes submetidos à elevada pressão produzem resultados importantes nos campos da química, da física e da biologia. Neste sentido, a manutenção dos sedimentos recuperados e preservados sob pressão, permite que estes sejam analisados em laboratório através de instrumentos de alta sensibilidade, os quais não poderiam ser utilizados *in situ* (Schultheiss et al., 2009). A preservação das condições *in situ* das amostras, quanto a pressão e temperatura, conferem qualidade a amostra de forma a evitar a perda de elementos por dissociação durante a recuperação e a disposição física desses elementos na amostra. Em pesquisa realizada no Golfo do México para avaliar as concentrações de hidrocarbonetos em sedimentos, os testemunhos recuperados foram mantidos na mesma pressão e temperatura *in situ*, permitindo aos pesquisadores não só a análise quanti e qualitativa dos hidrocarbonetos presentes, mas também possibilitou a observação através de tomografia computadorizada, de como estes hidrocarbonetos estavam dispostos e o seu estado físico, nas camadas dos sedimentos, (Heeschen et al., 2007). Para que a investida na coleta de fluxos de hidrocarbonetos de baixo peso molecular seja bem sucedida, é necessário que o sistema de amostragem evite a

dissociação de compostos de baixo peso molecular durante o recolhimento das amostras. Este foi o argumento utilizado no desenvolvimento e aplicação de duas ferramentas de amostragem de sedimentos, um testemunhador múltiplo com capacidade de amostragem de quatro testemunhos de 55 cm de comprimento, (figura 3.2.c) e um testemunhador a pistão com capacidade de amostragem de 2,5 m, (figura 3.2.d), sendo que os dois equipamentos foram projetados de modo a garantir a manutenção da pressão e da temperatura *in situ* (Abegg et al., 2008).

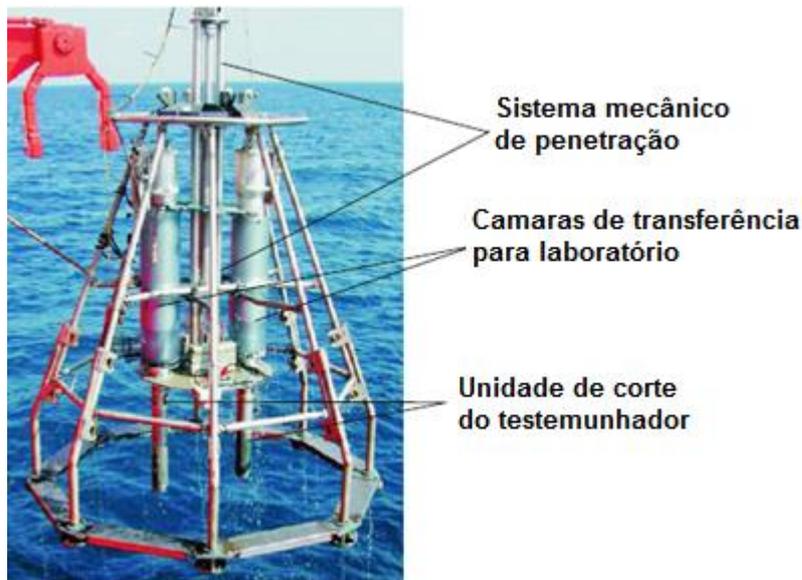


Figura 3.2.c. Foto mostrando um testemunhador múltiplo para coleta pressurizada de sedimentos. Créditos da imagem: (Abegg et al. 2008).



Figura 3.2.d. Testemunhador a pistão para sedimentos marinhos com sistema de preservação da pressão *in situ*. Créditos da imagem: (Abegg et al. 2008).

As pesquisas supracitadas apresentam equipamentos que tem a capacidade de colher amostras de sedimentos de forma pressurizada e com manutenção da temperatura. O ponto em comum destes equipamentos com o objeto desta dissertação é apenas a capacidade da manutenção da pressão *in situ* e algumas das tecnologias envolvidas que promovem esta condição. Na tabela 3 encontram-se os equipamentos por autores e os tipos de amostras que eles coletam, bem como, alguns dos requisitos funcionais e não funcionais que balizaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Autores	Tipos de amostras		Requisitos funcionais							Requisitos não funcionais	
	Sedimento sob pressão (<i>in situ</i>)	Água e/ou gases sob pressão (<i>in situ</i>)	Válvula de esfera de grosso calibre	Reservatório pressurizado para amostras	Direcionador de amostras	Válvula para transferência de amostras	Sistema de comando autônomo	Base para fixação em ROVs e/ou autoportante	Interface para manipular amostras	Resistência a corrosão da água do mar	Sistema de segurança para alívio de pressão
(Kvenvolden et al., 1983)	X	NA	X	X	NP	X	NP	NP	X	NI	X
(Murray et al., 1989)	X	NA	X	X	NP	X	NP	NP	X	NI	NI
(Dickens et al., 1997)	X	NA	X	X	NP	X	NI	NP	X	NI	NI
(Li et al., 2005)	X	NA	X	X	NP	X	NP	NP	X	NI	X
(Heeschenet al., 2007)	X	NA	X	X	NP	X	NP	NP	X	NI	X
(Abegget al., 2008)	X	NA	X	X	NP	X	NP	NP	X	NI	X
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

(NA) Não se aplica (NP) Não possui (NI) Não informado

Tabela 3. Tipos de amostras obtidas pelos autores.

Durante a pesquisa bibliográfica foi encontrado somente um equipamento análogo ao dispositivo que foi desenvolvido nesta dissertação, o qual serviu como ponto de partida para o desenvolvimento do modelo proposto....

Seção dedicada a descrever a metodologia empregada no desenvolvimento do dispositivo.

3.3. Busca por modelos similares

Foi realizada uma busca em bibliografia especializada utilizando as bases de dados eletrônicas assinadas pela PUCRS, livros e o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). ...

3.4. Especificação

Após realizada a busca por modelos similares foram definidos os requisitos funcionais e não funcionais do dispositivo.

3.5. Implementação

O modelo foi desenvolvido através de modelagem virtual em escala natural utilizando *Software Auto Cad 2005*.

Para facilitar o entendimento do equipamento, o mesmo foi dividido em dois módulos funcionais, o módulo de coleta e o módulo de comando.

4.3.1 Módulo de coleta

4.3.2 Módulo de comando

Este módulo é representado na figura 4.3.b, e composto pelos seguintes componentes:....

4.3.4 Interface de manipulação de amostras

A interface de manipulação de amostras consiste em um equipamento complementar ao dispositivo para coleta automática pressurizada de gases e fluidos em ambientes aquáticos profundos, que tem como função, possibilitar a transferência segura e controlada das amostras. Após a recuperação do dispositivo é necessário retirar a amostra do reservatório de amostras com a finalidade de estocagem em ampolas de armazenamento para posterior análise dos gases nos laboratórios em terra. O equipamento permite amostrar, armazenar e manipular gases em altas pressões até 300 bar e também reduzir a pressão até 1 bar ...

4.3.5 Ampola de armazenamento

A figura 4.3.f mostra, a ampola de armazenamento em Aço Inoxidável 304L ABNT com duas conexões e extremidades com rosca NPT fêmea cônica de ¼ de polegada, 50 cm³, e 124 bar de capacidade de pressão: Estas ampolas foram preparadas afim de se conectarem facilmente ao painel de estocagem e coleta de amostras, adicionando-se em uma de suas extremidades uma Válvula de Purga em Aço Inoxidável Série 4P, e em sua outra extremidade adicionada uma Válvula

Agulha em Aço Inoxidável Série D, Castelo Integral e Haste Não-Rotativa, $C_v = 0,53$, com uma terminação em Espiga em Aço Inoxidável sem Retenção do Engate Rápido para Instrumentação Série QC, esta terminação ainda recebeu para a sua proteção um Protetor em Aço Inoxidável para Espiga de Engate Rápido para Instrumentação Série QC de $\frac{1}{4}$ de polegada, todos os itens marca Swagelok.

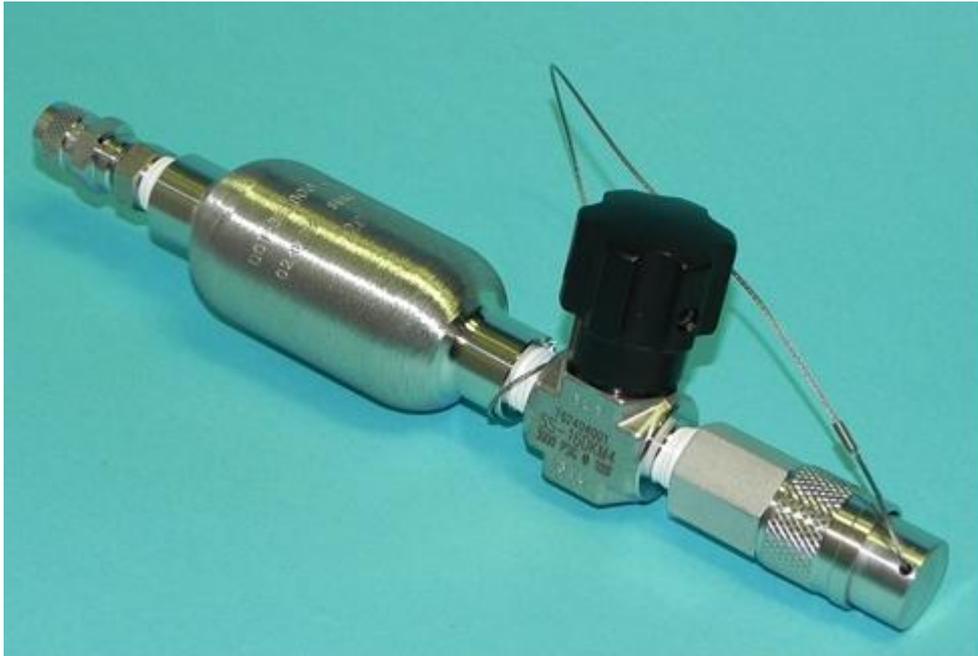


Figura 4.3.f. Ampola de armazenamento. Créditos da imagem Autor

4. VALIDAÇÃO

A validação funcional do protótipo foi realizada em laboratório e consiste na verificação da capacidade deste de suportar a pressão limite de trabalho com a verificação da estanqueidade do reservatório de amostra, bem como das partes móveis da válvula de coleta, descritos a seguir; O reservatório foi preenchido, na sua totalidade, com água. A figura 5 representa o fluxograma da validação funcional do protótipo.

Após, na válvula de amostragem foi acoplada uma mangueira de pressão, a qual estava na outra extremidade ligada a um cilindro de gás Hélio a 200 bar. A válvula do cilindro de Hélio foi então aberta para equalizar as pressões no interior do reservatório. Uma vez igualadas as pressões, a válvula de amostragem é novamente fechada e avaliada a presença ou não de vazamentos, nas conexões roscadas do reservatório de amostra. Com o reservatório nas mesmas condições, ou seja, preenchido com água e pressurizado, foi possível validar o funcionamento da válvula de coleta, simulando as condições dos ambientes de coleta. [REDACTED]

[REDACTED]. É possível avaliar a funcionalidade da válvula de coleta desta maneira, pois a válvula é do tipo esfera, sendo assim, atua de forma semelhante nos dois sentidos.

No que se refere a validação da interface de manipulação de amostras, esta foi submetida a pressão de 200 bar, utilizando para isto um cilindro gás hélio, e verificados possíveis pontos de vazamento nas conexões.

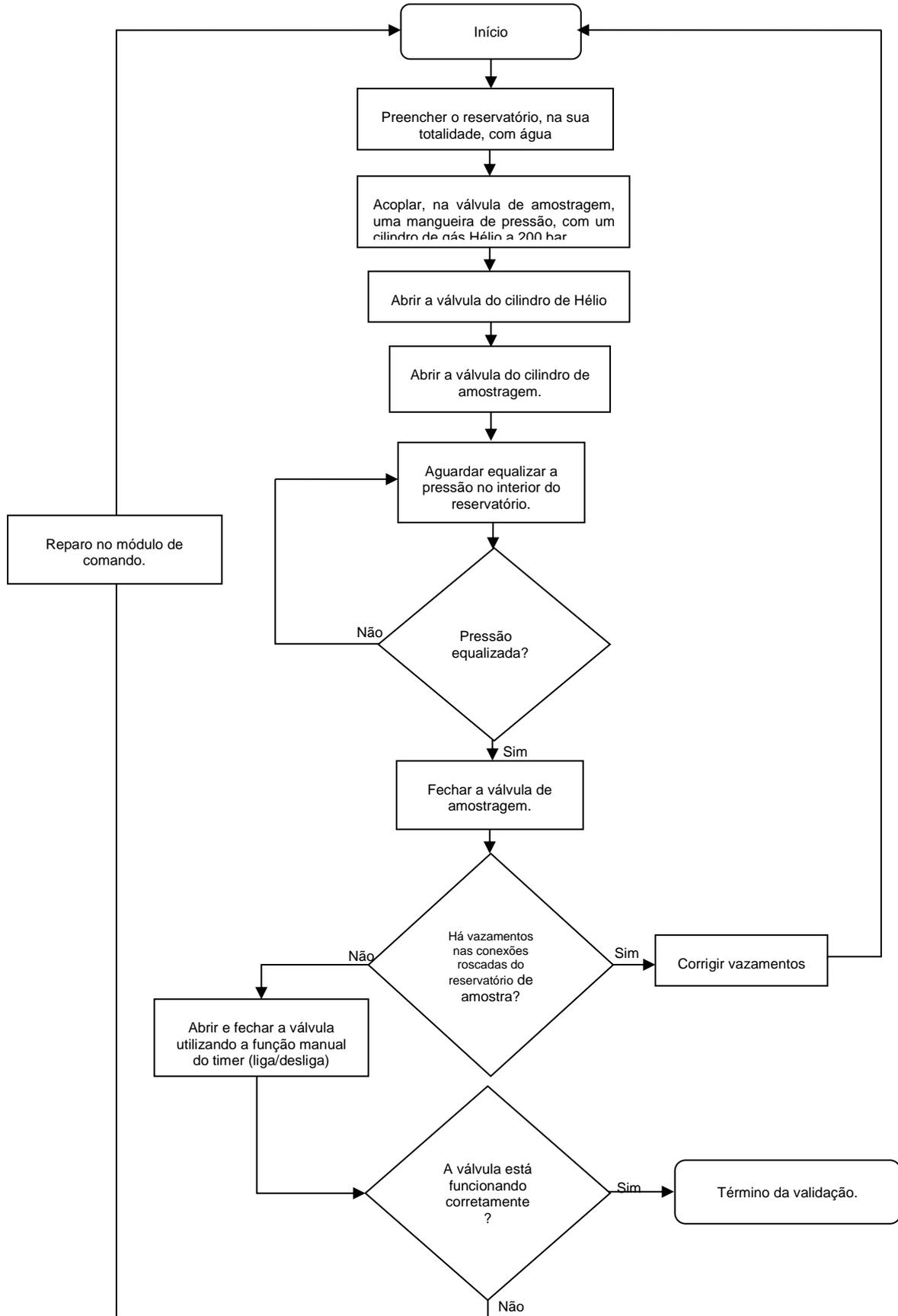


Figura 5. Fluxograma da validação

5. AVALIAÇÃO

A avaliação do protótipo feita no mar foi realizada na Missão Oceanográfica MD195 entre 09/07/2013 e 26/07/2013, na região do Cone de Rio Grande. Foram avaliados os seguintes requisitos:

- Funcionamento da válvula de coleta.
- Capacidade de retenção de pressão do reservatório de amostras.
- A funcionalidade do direcionador de amostras.
- A funcionalidade da válvula de transferência de amostras.
- A funcionalidade do módulo de comando.
- A funcionalidade da base do equipamento.
- A funcionalidade da interface de manipulação de amostras.

A avaliação ocorreu em dois momentos. A primeira avaliação ocorreu em um mergulho de 1000 m e uma segunda avaliação foi realizada em um mergulho de 2000 m. [REDACTED]

[REDACTED]. Nesta avaliação além do funcionamento da válvula de coleta foi possível também analisar a estanqueidade do módulo de comando.

Embora o dispositivo para coleta automática pressurizada de gases e fluidos em leito marinho tenha funcionado perfeitamente durante a missão oceanográfica MD 195 em profundidades de 1000 metros e 2000 metros, este equipamento não participou efetivamente das tarefas de coletas de gases durante a missão, coletando apenas água do mar nos dois mergulhos. Alguns motivos levaram a não utilizar o dispositivo como ferramenta de coleta. O motivo principal pelo qual o dispositivo, não atuou efetivamente na missão, foi pelo fato de que o ROV marca Sub-Atlantic, modelo Mohican 019, ser pequeno para operar o dispositivo, pois o peso final do protótipo ficou além dos limites operacionais no ROV. Isto acabou ocorrendo em

função de que, tanto as tratativas para a aquisição do ROV, quanto o desenvolvimento do protótipo ocorreram simultaneamente. Infelizmente, para o período previsto para a missão, não haviam ROVs maiores, do que o modelo contratado, e que efetivamente pudessem transportar o dispositivo até os pontos de coleta. Assim o dispositivo foi submerso e posto em operação na gaiola de transporte do ROV, juntamente com outros equipamentos, figura 6.a. Os dois mergulhos tiveram o propósito de expor e equipamento nas condições ambientais de trabalho, o que foi considerado a validação do protótipo. ...

Desafios/problemas técnicos encontrados durante a missão MD 195, relacionados às operações do ROV.

- Adaptação dos pilotos do ROV as condições de mar
- Dificuldades nas manobras devido aos sedimentos em suspensão, ocasionados pelas manobras do ROV ou pelas correntes marinhas de fundo.
- Panes da unidade hidráulica a qual comandava os braços do ROV,
- Panes no guincho, uma dessas panes, acabou deixando o ROV mergulhado por horas e fora de operação.
- Alterações no quadro meteorológico, geralmente afetaram o planejamento dos mergulhos.

Todas essas panes e problemas técnicos relacionados aos mergulhos do ROV na MD195 serviram para uma reflexão no sentido de reavaliarmos o método de controle de abertura e fechamento da válvula de coleta. Qualquer sistema de controle por tempo pré-programado para abertura e fechamento da válvula de coleta, como o proposto neste projeto de pesquisa, fica a mercê de qualquer evento

adicional, que por ventura possa ocorrer desde o momento do lançamento do ROV ao mar até o seu retorno ao convés da embarcação. A consequência é que, para estimar-se o momento de acionamento da válvula de coleta em condições ótimas de mergulho já é difícil, com qualquer problema técnico no ROV, ou alteração súbita das condições meteorológicas, a estimativa de tempo torna-se muito imprecisa. A título de remediar esta limitação, poderia se fazer a programação do timer com o tempo superestimado, porém desta maneira, uma vez acumulado o gás, haveria uma ociosidade de tempo até o momento de abertura da válvula, no caso de um mergulho sem empecilhos técnicos. Em condição semelhante, poderia haver uma hidratação excessiva do gás, impedindo a entrada da amostra no reservatório. Em outra situação poderia ocorrer a abertura e o fechamento da válvula de coleta antecipada, ou seja, antes da chegada do ROV no ponto de coleta.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que os objetivos desta dissertação foram alcançados no que se refere a desenvolver um dispositivo que coletasse gases e/ou líquidos de forma automatizada em profundidades de até 3000 metros, bem como, em desenvolver uma interface que permitisse a transferência e estocagem das amostras colhidas pelo dispositivo.

Tanto na validação como na avaliação os principais requisitos de funcionalidade operaram como esperado.

Da mesma forma a interface para a manipulação e armazenamento de amostras, mostrou-se eficaz, tanto para o armazenamento das amostras durante a missão oceanográfica, quanto para a manipulação das amostras em terra, em ambiente de laboratório, durante a fase analítica. O mesmo ocorreu com as ampolas de armazenamento, que meses após a coleta, mantiveram as indicações de pressões intactas.

Embora o modelo não tenha participado efetivamente das coletas de gases durante a missão oceanográfica MD 195, sistemas semelhantes ao módulo de coleta do dispositivo, auxiliados por braços de ROVs, foram utilizados com sucesso, demonstrando que o mecanismo proposto, para este módulo, desempenha boa funcionalidade para coletar gases.

Durante validação, o modelo foi submetido a pressões equivalentes aquelas em profundidade de 2000 metros. Da mesma forma na avaliação, o equipamento foi mergulhado a uma profundidade de 2000 metros. Sendo assim, não há até o momento, uma certeza de que o modelo como está concebido funcionará em 3000 metros de profundidade.

Durante a avaliação também foi possível observar que utilizar sistemas temporizados como comando de disparo do dispositivo, não é a melhor opção para este tipo de coleta de gases.

Com as inovações propostas como um novo dispositivo de coleta de gases foi possível requerer o depósito de uma patente. Os resultados obtidos abrem caminho para o aperfeiçoamento deste dispositivo, bem como, para a proposição de novos dispositivos que operem em condições semelhantes.

7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGG.F., ET AL., 2008. **Development and application of pressure-core-sampling systems for the investigation of gas-and gas –hydrate-bearing sediments.** Deep-Sea Research I 55 pp. 1590-1599.

BLACKFORD. J., ET AL, 2013. **A guide to potential impacts of leakage from CO₂ storage.** RISCS Consortium

CHRIST ET AL., 2007. **The ROV manual. A user guide for Remotely Operated Vehicles.** Elsevier. 712 p.

CLAYPOOL.G.E., KVENVOLDEN.K.A., 1983. **Methane and other hydrocarbon gases in marine sediment.** Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 11, pp.299-327

CLENELL. M.B., 2001. **Hidrato de Gás Submarino: Natureza, Ocorrência e Perspectivas para Exploração na margem Continental Brasileira.** Brazilian Journal of Geophysics, Vol 18(3), 2000.

COLEMAN D.D., COLEMAN T.M., 2013. **Collecting Water Samples for the Determination of Dissolved Gas Concentrations.** Groundwater Protections Council Forun. St. Louis, MO

CONOCOPHILLIPS CHINA. Disponível em:

<http://www.conocophillips.com.cn/EN/sustainable-development/response-to-pl19-3-incidents/Pages/what-happened.aspx>. Acesso em: Setembro de 2014

DAVIS.A.M., 1996. **Geophysics in offshore site investigation; a review of the state of art.** In: Geology of Siliciclastic Shelf Seas. Geological Society Special Publication No. 117. pp. 323-338.

DICKENS.G.R ET AL, 1997. **Direct measurement of *in situ* methane quantities in a large gas-hydrate reservoir.** Nature Vol. 305 30 january 1997 pp.426-428

DREIFUS.C., 2011.**Revisiting the Deepwater Horizon Oil Spill.** The New York Times.http://www.nytimes.com/2011/03/22/science/22conversation.html?pagewanted=all&_r=0 . Acesso 24/09/14

FIGUEIREDO JR.,A.G., BREHME, I., 2001. **Amostragem Geológica na Pesquisa Mineral.** Brazilian Journal of Geophysics, Vol 18(3), 2000.

GODOI,S.S ET AL, 2000. **Oceanografia Física Observacional.** IOF-5850-1. Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física. Universidade de São Paulo.

GOMES.A.C.M. ET AL., 2013. **Mergulho Profundo E Os Riscos Ergonômicos no Setor Petrolífero Offshore Na Bacia De Campos Dos Goytacazes -RJ.** XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Producao. Salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de outubro de 2013.

GOMES. A.S. ET AL., 2001. **Causas e Consequências do Impacto Ambiental da Exploração dos Recursos Minerais Marinhos.** Brazilian Journal of Geophysics, Vol 18(3), 2000

JUDD. A. G., 2004. **Natural Seabed Gas Seeps as Sources of Atmospheric Methane.** Environmental Geology 46 pp. 988-996

JUDD. A. G., 2003. **The global importance and context of methane escape from the seabed.** Geo-Mar Letters 23 pp. 147-154

JUDD.A.G., HOVLAND, M., 2007. **Seabed Fluid Flow impact of geology, biology and the marine environment.** Disponível em:
<http://www.cambridge.org/br/academic/subjects/earth-and-environmental-science/oceanography-and-marine-science/seabed-fluid-flow-impact-geology-biology-and-marine-environment?format=HB>. Acesso em: Agosto de 2014

HEESCHEN.K.U. ET AL, 2007. **In situ hydrocarbon concentrations from pressurized cores in surface sediments, Northern Gulf of Mexico.** Marine Chemistry 107 pp.498-515

HOLLISTER.C.D. ET AL, 1973. **A giant piston-corer.** Ocean Engineering.Vol.2 pp.159-164

KLUSMAN.R.W., 2003. **A geochemical perspective and assessment of leakage potential for a mature carbon dioxide-enhanced oil recovery project and a prototype for carbon dioxide sequestration.** AAPG Bulletin, 87(9). pp. 1485-1507.

KORNACKI.J.W. ET AL, 1994. **Impact of oil and gas slicks on petroleum exploration in the deepwater Gulf Mexico.** Geo-Marine Letters 14. pp. 160-169

KORRE. A., ET AL., 2012. **Quantification Techniques for CO₂ Leakage.** IEA GHG R&D Programme

KUTCHEROV.G.V., 2013. **Abiogenic Deep Origin of Hydrocarbons and Oil and Gas Deposits Formations.**In: Kutcherov.G.V and Kolesnikov. A (eds) **Hidrocarbono**. In Tech, pp 1-28

KVENVOLDEN. K. A., ET AL., 1983. **Pressure Core Barrel; Application to the study of gas hydrates, Deep Sea Drilling Project Site 533, Leg 79.** Disponível em: www.deepseadrilling.org/76/volume/dsdp76_07.pdf. Acesso em: Maio de 2014

LI.S. ET AL., 2005. **A Novel Pressure Corer for Seafloor Sediments in gas Hydrate Areas.** Proceeding of The Sixth(2005) Isopex Ocean Mining Symposium- Changsha, Hunan, China, October 9-13 - The International Society of Offshore and Polar Engineers pp. 213-217

MURRAY.C.N. ET AL., 1989. **A Piston Corer for Recovery of Deep Ocean Sediments Under Pressure.** Marine Geotechnology, Volume 8, pp.69-80



PAULL ET AL, 1996. **Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports**, Vol. 164

ROSA.M.L.C.C., ET AL.,2006. **Utilização de Seções Sísmicas 2D na Identificação de Zonas de Escapes de Fluidos.** Gravel n° 4, pp 109-118

SCHULTHEISS. P., ET AL., 2009. **Wireline Coring and Analysis under Pressure: Recent Use and Future Developments of the HYACINTH System.** Scientific Drilling, N.7 pp. 44-50

ZANOLI. S. M., CONTE. G., 2003. **Remotely operated vehicle depth control.**
Control Engineering Praticce 11 pp.453-459.

ANEXOS

Petição do depósito da patente

Protocolo do depósito da patente