RAISSA BASTI RAMOS

O Papel dos *Pockmarks* nos processos sedimentares do Talude sul do Brasil

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

Orientador: Prof. Dr. Michel Michaelovitch de Mahiques

São Paulo

2019

Nome: RAMOS, Raissa Basti

Título: O Papel dos *Pockmarks* nos processos sedimentares do Talude Sul do Brasil

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

VERSÃO CORRIGIDA

Julgada em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. (a) Dr.(a) _____

Conceito: _____

Prof. (a) Dr.(a) _____

Conceito: _____

Prof. (a) Dr.(a) _____

Conceito: _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus e à vida pela oportunidade de realização deste trabalho.

Aos meus pais pelo apoio incondicional ao longo de todos esses anos. Sem eles, nada nesta jornada seria possível. Obrigada por entenderem e por participarem desta missão. Este título também é de vocês.

Aos meus familiares pelo apoio, por acreditarem e comemorarem a cada conquista.

Ao meu Professor e Orientador Michel Michaelovitch de Mahiques por cada oportunidade (e que foram muitas), por toda a preocupação, por acreditar em mim, por todo o suporte dado para a conclusão deste trabalho e pelo ombro amigo quando mais precisei.

Ao Laboratório de Geologia de Margens Continentais (LAMA) por ser o melhor laboratório do IOUSP. Em especial a Lurdes, Rod, Felipe, Max, Jásão, Ivo, Rô, Jorge e Lígia, que foram importantíssimos no aprendizado para confecção de grande parte deste trabalho. Obrigada por cada ajuda e ombros amigos. Com certeza, tornei-me uma pessoa muito melhor ao lado de cada um de vocês.

À Professora Márcia Caruso Bicego por todas as oportunidades, confiança, preocupação e carinho ao longo de todos esses anos. Sem contar os inúmeros momentos divertidos. Obrigada por me proporcionar essa vivência de trabalhar ao seu lado.

Aos técnicos do Laboratório de Sedimentologia do IOUSP, Edilson e Samara, por toda a ajuda e salvação de vida ao longo desses anos. Vocês são verdadeiros anjos e o IO é muito grato por ter vocês como parceiros da Ciência e da vida.

Aos técnicos dos Laboratórios Didáticos da Oc. Geológica e Oc. Química do IOUSP, Giba e Elvis, por cederem um espacinho para a realização das minhas análises, por toda a paciência e ajuda.

Às tripulações dos Navios Oceanográficos Alpha Crucis e Alpha Delphini por todo o carinho, acolhimento e preocupação proporcionados durante os cruzeiros. Obrigada por nos fazerem sentir em casa.

Aos funcionários da Secretaria da Pós-Graduação do IOUSP por sempre estarem prontos e dispostos a ajudar.

À todos os funcionários do IOUSP.

Aos meus amigos de turma, que mesmo não estando todos juntos, essa jornada começou com vocês e guardo com muito carinho todas as nossas lembranças.

À Dóris, que realizou as análises dos *proxies* orgânicos e inorgânicos dos dados apresentados neste trabalho e que, gentilmente, cedeu-os para que eu os trabalhasse.

Ao meu amigo Juninho (Ronald Vilella), que foi responsável por me ensinar a mexer em ferramentas de edição de imagem e no Surfer. Ajudou muito na elaboração do modelo conceitual apresentado neste trabalho. Obrigada por cada conversa e por todo o apoio ao longo desses anos. Você vai muito longe, acredite.

Aos meus amigos do IOUSP. Obrigada por tudo o que vivemos e se tudo der certo, tudo o que iremos viver. Obrigada pelas SNO's inesquecíveis e por conhecer cada um de vocês de verdade. Vocês foram muito importantes na confecção deste trabalho com cada dica, abraço ou só um ombro para desabafar. Gostaria de citar cada um, mas tenho muito medo de esquecer alguém. Não me perdoaria jamais se isso acontecesse. Eu amo muito vocês.

À todas as pessoas que eu conheci nos embarques e nos projetos durante o mestrado e graduação. A convivência fez eu conhecer pessoas que eu quero levar para a minha vida inteira. Todas presentes do Mar.

À Associação Atlética Acadêmica XII de Fevereiro (ICBIÓ-USP) por ser um divisor de águas na minha vida universitária. Obrigada por me apresentar um mundo paralelo à Ciência e por me proporcionar conhecer pessoas maravilhosas (queria citar todas elas, mas tenho medo de esquecer alguém e não perdoaria por isso), reforçar valores e aprender uma infinidade deles.

À Gestão 2018. Com certeza, o ano em que mais conheci de mim mesma, que fiz laços muito fortes e que vivi as maiores emoções da trajetória universitária, em todos os âmbitos possíveis. Em especial à Toto, Moch, Chups, Amanda e AC pelos CDP's de bonde, pelas conversas até 2h da manhã no meio da semana e por toda a união. Foi intenso, foi, mas viveria tudo outra vez. Obrigada Gestão 2016 e 2017 por serem o início disso tudo. Gestão 2019, estamos juntos até o fim.

Ao meu time de coração, o Utsal, por serem meu refúgio, responsável pelo início do meu elo com a Atlética e por ter pessoas tão incríveis como parceiras de grupo. Eu amo muito

vocês. Obrigada ao Tênis Campo, por me mostrar um novo esporte e desafio e ao Hand Barango por me acolherem tão bem.

À Unidos do Camaleão por me dar o presente de tocar numa bateria, que sempre foi um sonho para mim desde antes de entrar na universidade.

Ao esporte universitário por me ajudar a aguentar a pressão da melhor maneira possível, por me proporcionar contato com realidades diferentes, por conhecer pessoas incríveis, que lutam para fazer o esporte acontecer, e por ensinar sobre a vida.

“Um navio está seguro no porto, mas não é para isso que os navios são feitos”

(William Shedd)

RESUMO

Durante um cruzeiro oceanográfico, realizado em 2011, na região do Talude Sul do Brasil, foram contabilizadas 984 depressões, reconhecidas como *pockmarks*, distribuídas entre as isóbatas de 300 e 700 metros de profundidade. Um levantamento geofísico raso posterior, associado a dados de sísmica profunda, revelaram a associação dos *pockmarks* com diápiros de sal. Os dados geofísicos foram transformados para XYZ e, a partir deles, elaborados Modelos Digitais de Terreno. A partir dos registros sísmicos foram definidos locais de amostragem de sedimentos. Os sedimentos coletados foram submetidos a análises de Carbono Orgânico Total (%COT), Carbonato Biodetrítico (%CaCO₃), razão isotópica de Carbono ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$), Granulometria, Teor de Metais e Datação por radiocarbono. Foram encontrados *pockmarks* de tamanhos e formas variados e diápiros com distintos graus de exposição e extensão. Os registros sísmicos revelam sedimentação plano-paralela, estabelecida antes da formação dos *pockmarks*, posteriormente deformada nas zonas de *pockmarks* e diapirismo. Observaram-se, ainda, feições associadas à exsudação e acúmulo de gás, além de zonas de fratura associadas ao diapirismo. Juntamente à forçante halocinética, esta porção do talude tem sua morfologia moldada pela interação das correntes de fundo dominantes com os *pockmarks* e diápiros. Um modelo geomorfológico foi proposto a fim de caracterizar os diferentes estágios evolutivos desta porção de talude. A deposição de finos e a preservação do carbono orgânico dentro das depressões mostram a baixa interação das correntes de fundo com as zonas mais internas dos *pockmarks*, dando a esse tipo de feição o *status* de armadilha de sedimento. As análises geoquímicas mostram uma componente terrígena nos sedimentos depositados dentro dos *pockmarks* localizados numa zona de sedimentação carbonática e de tamanho de grão mais grosso.

Palavras-Chave: *pockmarks*, diapirismo, armadilhas de sedimento

ABSTRACT

During an oceanographic survey, in 2011, on the Brazilian Southern Slope, 984 depressions were recorded, recognized as *pockmarks*, distributed between 300 and 700 m of water depth. A later shallow geophysical survey, associated with deep seismic data, revealed the association of *pockmarks* with salt diapirs. The geophysical data were transformed to XYZ and, from them, Digital Terrain Models were elaborated. Sediment sampling sites were defined from the seismic records. The collected sediments were submitted to analysis of Total Organic Carbon (% TOC), Biodebitric Carbonate (%CaCO₃), Carbon Isotope Ratio ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$), Grain Size, Metal Analyzes and Radiocarbon dating. *pockmarks* of varying sizes and shapes were found, as well as diapirs with varying degrees of exposure and extension. Seismic records reveal flat-parallel, deformed sedimentation in *pockmarks* and diapirism zones. There were also features associated with gas exudation and accumulation, as well as fracture zones associated with diapirism. Apart of the halokinetic forcing, this portion of the slope has its morphology shaped by the interaction of dominant bottom currents with *pockmarks* and diapirs. A geomorphological model was proposed in order to characterize the different evolutionary stages of this portion of the slope. The deposition of fine sediments and the preservation of organic carbon within the depressions show the low interaction of the bottom currents with the deeper zones of the *pockmarks*, giving this type of feature the status of a natural sediment trap. The geochemical analyzes show a terrigenous signature of sediments deposited within the *pockmarks* located on a zone of carbonatic sedimentation and coarse grain size.

Keywords: *pockmarks*, diapirism, sediment trap

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Esquema ilustrativo da sucessão tectono-estratigráfica do processo de abertura do Oceano Atlântico. Observa-se o processo tectônico dominante de acordo com a fase de evolução da abertura da bacia (Mohriak et al., 2009).....	16
Figura 2 : Ilustração dos mecanismos que geram fluxos de sal em bacias de margem passiva. A ilustração A, mostra o mecanismo da sobrecarga sedimentar e um fluxo de sal em direção a menor espessura sedimentar. A ilustração B, ilustra o início da movimentação do sal em consequência de uma cunha progradante de sedimentos. As ilustrações foram retiradas e modificadas de Mohriak et al., (2009).....	18
Figura 3 : Modelo conceitual representando os tipos de diapirismo e seu processo de desenvolvimento em regime extensional (Fossen, 2012).....	19
Figura 4 : Modelo extraído de Mahiques et al. (2017). Nesta ilustração, observa-se a associação do fraturamento do pacote de sedimento com o deslocamento do diápiro. Através das fraturas, ocorre a migração de gás. O fluxo de gás induz o aumento da permeabilidade do sedimento e feições do tipo <i>pockmark</i> são formadas.....	20
Figura 5 : Área de Estudo: campo de <i>pockmarks</i> localizado ao Sul da Bacia de Santos, em uma região de talude continental.....	23
Figura 6 : Modelo esquemático do processo de abertura e formação da Bacia do Oceano Atlântico (Mohriak et al., 2009).....	26
Figura 7 : Seção Geológica da Bacia de Santos. Observa-se a orientação na migração e do sal em direção ao centro da bacia. Essa migração é originada pela expulsão do sal depois do soerguimento da Serra do Mar e deposição de sedimento terrígeno, gerando (extraído de Mohriak et al., 2009).....	27
Figura 8 : Mapa representativo das forças tectônicas atuantes na margem continental sudeste brasileira. A área de estudo deste trabalho encontra-se sob domínio de esforços distensivos presentes no talude (modificado de Mohriak et al., 2009).....	28
Figura 9 : Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 100 a 1.500 metros de profundidade na Bacia de Santos (extraído de Matsuura, 1986).....	31
Figura 10 : Representação dos pontos de amostragem e da malha sísmica utilizada para a aquisição de dados, com base em um levantamento batimétrico, intitulado Sirius, realizado em 2011.....	34
Figura 11 : Resumo esquemático do procedimento de análise de sedimento através de <i>proxies</i> orgânicos e inorgânicos.....	35
Figura 12 : MDT representativo área 1 (A1). Neste modelo, identifica-se a presença de <i>pockmarks</i> , diápiros e trincheiras ou canais.....	39
Figura 13 : Representação da área 2 (A2), que também apresenta <i>pockmarks</i> , diápiros e trincheiras/canais. Como pode ser observado, os diápiros configuram verdadeiras cicatrizes no assoalho oceânico e, neste estágio, são chamados de diápiros exumados.....	40
Figura 14 : MDT representando a área 3 (A3). Neste modelo, podemos identificar, também, a presença de <i>pockmarks</i> , diápiros e trincheiras/canais.....	41
Figura 15 : Representação da área 4 (A4). Esta interpolação apresenta uma das <i>pockmarks</i> mais profundas da região de estudo. Sua profundidade é da magnitude de 100 m.....	41
Figura 16 : Perfil sísmico original evidenciando a ausência de mudanças na morfologia do terreno (A). O perfil (B) representa o perfil interpretado e ressalta o padrão de estratificação plano-paralela. O refletor R1, escolhido como referência, não apresenta perturbações ao longo da extensão do registro.....	42

- Figura 17 : Registro sísmico apresenta o processo de fraturamento do pacote sedimentar. O perfil (A), perfil original, mostra uma alteração na forma de fundo, com o início de um processo de abatimento. O perfil (B), perfil interpretado, ressalta os refletores em laranja, que representam as falhas e indícios de cortinas de gás alterando o registro.43
- Figura 18 : O perfil sísmico mostra a variedade dos *pockmarks* encontrados. Perfil (A), perfil original, mostra um fundo perturbado do ponto de vista morfológico, com a presença de *pockmarks* variadas em suas formas e profundidades. Observam-se *pockmarks* circulares e assimétricos de acordo com o grau de inclinação do flanco. O perfil (B), perfil interpretado, ressalta o padrão estratigráfico, com o acompanhamento do refletor R1 à topografia de fundo e sem alterações na espessura do pacote..... 45
- Figura 19 : Perfil sísmico de um *pockmark* assimétrico. Perfil (A), perfil original, mostra a assimetria da depressão, com a altura de um dos flancos superior à do outro. Esse registro configura um dos *pockmarks* mais profundos e extensos deste levantamento. O perfil (B), perfil interpretado, mostra o refletor R1 acompanhando a topografia de fundo com uma tendência de afinamento do pacote sedimentar em direção à depressão..... 46
- Figura 20 : Perfil sísmico original do *pockmark* mais profundo deste levantamento (A). O perfil (B), perfil interpretado, mostra refletores truncados no flanco esquerdo, representado pelo refletor rosa R2. O refletor R3 representa o pacote de sedimento depositado dentro do *pockmark*..... 47
- Figura 21 : O registro sísmico original mostra dois *pockmarks* de escalas diferentes (A). A estratigrafia, representada pelo perfil (B), perfil interpretado, mostra uma tendência ao afinamento do pacote sedimentar. Também, observa-se uma intensa perturbação dos refletores pelo escape de gás.....48
- Figura 22 : A figura representa o perfil sísmico de uma sequência de *pockmarks*. O perfil (A) mostra a sequência de feições do tipo *pockmarks*. Há indícios de formação de estruturas de colapso. A estratigrafia, perfil (B), apresenta-se, na maior parte do registro, em conformidade com a superfície de fundo, entretanto, é perturbada por um processo de falhamento.....49
- Figura 23 : O registro sísmico apresenta feições do tipo *pockmarks* e os refletores de um diápiro e um processo de fraturamento do pacote sedimentar. O Perfil (A), perfil original, mostra duas depressões com profundidades e desembocaduras de magnitudes diferentes. Associados ao *pockmark* mais profundo, observa-se no perfil interpretado (B) uma perturbação da estratigrafia por um processo de falhamento e pela interação dos estratos coma subida de um diápiro.....50
- Figura 24 : Perfil sísmico original de um diápiro exumado (A). No perfil (B), perfil interpretado, observa-se porções deste corpo de sal expostas e recobertas por sedimento. O refletor R1 apresenta-se truncado, indicando um processo erosivo ou um evento de deposição sucessivo à subida do diápiro.....52
- Figura 25 : Perfil original de um diápiro com a maior das alturas encontradas na área de estudo (A). No perfil (B), perfil interpretado, observa-se comportamentos distintos dos refletores. Em profundidades maiores, o R2 apresenta-se truncado nas proximidades do flanco do diápiro, enquanto que R1 acompanha a batimetria.....53
- Figura 26 : O perfil original mostra um substrato bastante perturbado pela atividade halocinética (A). No perfil (B), perfil interpretado, é possível avaliar a altura e extensão do corpo de sal e sua interação com sedimento depositado. Neste caso, R1 apresenta-se truncado ao flanco do diápiro. Também, observa-se um processo de falhamento, no qual origina zonas de abatimento e soerguimento do assoalho.....54
- Figura 27 : Registro sísmico original representando um grau de exposição distinto dos diápiros (A). No perfil (B), perfil interpretado, R1 apresenta-se truncado com o diápiro menor, enquanto que, na interação com o diápiro maior, acompanha a topografia de fundo. R2, semelhante à Figura 25, apresenta-se truncado a sequência sedimentar sobrejacente e com a orientação em direção a subida do diápiro..... 55
- Figura 28 : *Box-plot* das estações representando os *outliers*.....56
- Figura 29 : Representação dos dados do teor de % CaCO_3 . Nota-se uma divisão nos grupos de estações coletadas dentro e fora dos *pockmarks*, acentuada nas profundidades mais rasas. Comparando os dois

grupos, as amostras coletadas dentro das depressões apresentam quantidade de carbonato inferior em relação às amostras externas.	57
Figura 30 : Gráfico de dispersão de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ versus %COT. As amostras de dentro dos <i>pockmarks</i> , representadas pelo marcador circular sólido, indicam maior quantidade de carbono orgânico e, portanto, de matéria orgânica dentro dos <i>pockmarks</i> . Os dados de isótopos, apesar de apresentarem uma certa diferença entre as estações, não permite uma inferência a respeito da diferença na qualidade da matéria orgânica depositada nas diferentes províncias fisiográficas.....	58
Figura 31 : Gráfico de Dispersão das razões elementares $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Ca})$ versus $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{Ca})$ das amostras coletadas dentro e fora dos <i>pockmarks</i>	59
Figura 32 : Gráfico de Dispersão das razões elementares $\text{Ln}(\text{Mg}/\text{Al})$ versus $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{K})$ das amostras coletadas dentro e fora dos <i>pockmarks</i>	60
Figura 33 : Gráfico representando as porcentagens da fração Areia, Silte Muito Grosso, Silte Grosso, Silte Médio, Silte Fino, Silte Muito Fino e Argila das estações.....	61
Figura 34 : Classificação dos <i>pockmarks</i> com base nos tipos, magnitude de tamanho e padrão composto (Chen et al., 2015).....	64
Figura 35 : Modelo Evolutivo conceitual de uma porção de talude dominado por forçantes halocinéticas e oceanográficas.....	66
Figura 36 : Perfil Sísmico ilustrativo do processo evolutivo morfológico de uma porção do talude sul do Brasil.....	67
Figura 37 : Representação faciológica do MDT do setor área 3 (A3). Observam-se duas fácies predominantes. A primeira associada à disposição dos <i>pockmarks</i> em aglomerados. A segunda está relacionada com a deformação das depressões a partir de determinada isóбата, com feições assimétricas.....	68
Figura 38 : Esquema representativo do sistema de falhas de uma porção do campo de <i>pockmarks</i> . São representadas a distribuição das <i>pockmarks</i> em função da geometria das falhas e das zonas de diápiros emergentes (Linhas vermelhas) (Mahiques et al., 2017).....	69
Figura 39 : Análise Discriminante das amostras coletadas dentro e fora dos <i>pockmarks</i> , tendo como parâmetros as frações de Areia, Silte Muito Grosso, Silte Grosso, Silte Médio, Silte Fino, Silte Muito Fino e Argila.....	71
Figura 40 : Esquema ilustrativo do modelo de deposição de sedimentos para <i>pockmarks</i> rasos e função da velocidade de fluxo. (Pau et al., 2013).....	72
Figura 41 : Modelo de deposição de sedimentos em função da interação com a corrente de fundo para <i>pockmarks</i> profundos (Ramos et al., n.d.).....	72
Figura 42 : Análise de Componentes Principais realizada entre os elementos Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Sc e Ti e o teor de %COT.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Resultados obtidos através da datação por radiocarbono de fragmentos de corais.....	62
Tabela 2 : Valores de correlação de Pearson.....	73
Tabela 3 : Resultados obtidos de %CaCO ₃ , %COT e $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	89
Tabela 4 : Resultados obtidos da Análise de Metais.....	95
Tabela 5 : Resultados obtidos da Análise Granulométrica.....	98

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACAS – Água Central do Atlântico Sul

ACS – Água Circumpolar Superior

ACP – Água Circumpolar

APAN – Água Profunda do Atlântico Norte

AIA – Água Intermediária Antártica

AMS - *Accelerator Mass Spectrometry*

AT – Água Tropical

BCM – *Brazilian- Malvinas Confluence*

CB – Corrente do Brasil

CCB – Corrente Costeira do Brasil

CCI – Corrente de Contorno Intermediária

CM – Corrente da Malvinas

COT - Carbono Orgânico Total

EA-IRMS – *Elemental Analysis Isotope Ratio Mass Spectrometry*

MDT – Modelo Digital de Terreno

MO – Matéria Orgânica

PDB – *Pee Dee Belemnite*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ - Razão Isotópica de Carbono

Sumário

1. Introdução	15
1.1. Contexto Geológico	15
1.2. A Halocinese e a formação dos <i>pockmarks</i>	19
1.3. Hipótese	22
1.4. Objetivos	22
2. Área de Estudo	23
2.1. Localização	23
2.2. Geologia	24
2.2.1. A Evolução do Atlântico e a Formação do Sal	24
2.3. A Halocinese na Bacia de Santos	27
2.4. Geomorfologia e Composição Sedimentar	29
2.5. Circulação	30
3. Materiais e Métodos	33
3.1. Amostragem	33
3.2. Geofísica	33
3.2.1. Processamento e Interpretação de dados	33
3.3. Sedimentologia e Geoquímica	35
3.3.1. Determinação %CaCO ₃	36
3.3.2. Determinação %COT e $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	36
3.3.3. Granulometria	37
3.3.4. Metais	38
3.4. Datação	38
4. Resultados	39
4.1. Geofísica	39
4.1.1. MDT's	39
4.1.2. Sísmica	42
4.2. Sedimentologia e Geoquímica	56
5. Discussão	63
5.1. Evolução Morfológica	63
5.2. Faciologia	68
5.3. O Papel da Corrente do Brasil	70
5.4. <i>Pockmarks</i> como armadilhas de sedimento	70
5.5. A Origem do Sedimento	74
6. Conclusões	77
7. Referências Bibliográficas	79
8. Anexos	89

1. Introdução

1.1. Contexto Geológico

A história evolutiva da formação do Oceano Atlântico é de extrema importância para entender a presença de feições geológicas atuais distribuídas no fundo marinho.

A abertura do Oceano Atlântico, após o estabelecimento da falha tríplice, deu-se de sul para norte, entre os continentes Sul-Americano e Africano e de maneira desigual, devido à maior taxa de estiramento na parte Sul do golfo recém-formado (Mohriak et. al., 2009).

A deposição de evaporitos, ocorrida na Fase 3 do processo de Evolução tectono-sedimentar da Bacia de Santos (Figura 1), foram formados pela combinação da criação do espaço de acomodação, transgressões marinhas graduais, circulação restrita e clima semiárido. Esta deposição deu-se no Aptiano e foi seguida por eventos de deriva continental, aprofundamento da bacia e deposição terrígena. A partir daí, começou-se o processo que deu origem a atividades halocinéticas na região de estudos.

A deposição de sedimentos terrígenos na margem continental, associados ao soerguimento da Serra do Mar e da Mantiqueira, excederam o espaço de acomodação gerado pela subida do nível do Mar, desenvolvendo uma frente de progradação, durante o Cretáceo Superior, associada a subsidência termal da parte central da Bacia de Santos (Pereira et al. 1986; Pereira & Feijó, 1994). A combinação dos fatores citados, originou um fluxo do depósito de evaporitos em direção a parte central da bacia (Mohriak et. al., 2009). A sucessão de eventos que culminou com a atividade halocinética responsável pela alteração nos padrões morfológicos e sedimentares atuais pode ser observada na figura 1.

Figura 1: Esquema ilustrativo da sucessão tectono-estratigráfica do processo de abertura do Oceano Atlântico. Observa-se o processo tectônico dominante de acordo com a fase de evolução da abertura da bacia (Mohriak et al., 2009).

A movimentação do Sal é conceitualmente conhecida como Halocinese. E é esse processo responsável pela geração de regimes tectônicos extensionais e contracionais em diferentes porções da Bacia de Santos.

O regime de esforços, responsável pela formação das estruturas halocinéticas em bacias intra-cratônicas e margens passivas, apresenta um esforço principal na direção vertical (força de gravidade, resultando em estruturas diversas tais como domos de sal, muralhas de sal e falhas de crescimento. Os princípios básicos da deformação do sal seguem o comportamento dos fluidos (Barton, 1933; Mohriak et al., 2009).

A força de gravidade, assim como as diferenças de pressão, move esses fluidos de regiões de alta pressão total para regiões de baixa pressão total. As forças gravitacionais atuam nos corpos de sal de modo a criar uma pressão desigual sobre a área do sal. A pressão desigual tende a mover o sal das regiões de alta para as de baixas pressões litostáticas, de maneira semelhante ao fluxo de fluidos causado por um diferencial de pressão hidrostática (Hubbert, 1951; Mohriak et al., 2009). Pelo princípio de fluabilidade, a sobrecarga sedimentar mais densa também leva o sal a subir para uma posição onde ocorra um equilíbrio isostático (Mohriak et al., 2009).

Assim, o sal tem uma tendência de fluir de áreas de grande sobrecarga (seja um talude na interface água/sedimento por mergulho ou acúmulo de sedimento, rochas vulcânicas lascas tectônicas), para áreas de menor sobrecarga, normalmente ocorrendo o fluxo de depocentros das bacias para áreas de menor espessura sedimentar (Figura 2(A)) (Mohriak et al., 2009). Outro mecanismo de formação de fluxos de sal, são as cunhas de progradação: a progradação de sedimentos clásticos em direção à bacia gera uma sobrecarga, comprimindo parte da camada de evaporitos e, assim, um fluxo de sal é gerado em direção à bacia. (Jenyon, 1985; Ge et al., 1997). O corpo de sal pode migrar até encontrar um obstáculo e, a partir daí ocorrer sua ascensão (Figura 2(B)).

Durante a subida de uma almofada ou diápiro de sal, o topo da estrutura pode ser elevado acima da superfície regional da camada de sal. Os estratos sedimentares da cobertura são arqueados e esse arqueamento resulta em estiramento paralelo às camadas, condicionando falhamentos nas regiões que apresentam a máxima curvatura. As falhas mergulham na direção da crista da almofada, sendo representadas geralmente por falhas normais que terminam na direção do sal, próximo à superfície de estiramento neutro (Mohriak et al., 2009).

Figura 2: Ilustração dos mecanismos que geram fluxos de sal em bacias de margem passiva. A ilustração A, mostra o mecanismo da sobrecarga sedimentar e um fluxo de sal em direção a menor espessura sedimentar. A ilustração B, ilustra o início da movimentação do sal em consequência de uma cunha progradante de sedimentos. As ilustrações foram retiradas e modificadas de Mohriak et al., (2009).

Existem três tipos de diapirismo dominantes em bacias com regimes tectônicos extensionais, como é o caso da Bacia de Santos: o Diapirismo Reativo, o Passivo e o Ativo. De acordo com Vendeville & Jackson (1992), o diapirismo reativo pode ser descrito como um tipo de regime onde as camadas sobrepostas às estruturas de sal são rompidas durante o processo de ascensão de um diápiro. O mecanismo que controla a ascensão de um diápiro, neste caso, está associado à extensão da sobrecarga e do fluxo de sal. A extensão da sobrecarga pode originar o diapirismo de duas maneiras distintas:

- i) Falhamentos extensionais afinam as camadas sedimentares sobrejacentes, criando um gradiente de pressão;
- ii) Os falhamentos reduzem a resistência da sobrecarga à ruptura, permitindo que o sal penetre e rompa as camadas sobrejacentes.

Figura 3: Modelo conceitual representando os tipos de diapirismo e seu processo de desenvolvimento em regime extensional (Fossen, 2012).

O diapirismo ativo, também descrito por Vendeville & Jackson (1992), é definido como um processo em que o diápiro apresenta força o suficiente para romper as camadas, de modo penetrativo, uma vez que estas não apresentam resistência por serem muito finas ou pouco resistentes. Logo, regiões que apresentam, camadas sedimentares naturalmente mais finas, pela presença de cortes erosivos (como cânions submarinos ou subaéreos, por exemplo) são preferenciais para a ascensão de estruturas de sal (Mohriak et al., 2009). Em um trabalho feito por Barton (1993), o diapirismo passivo foi descrito como um processo (*downbuilding*), no qual o diápiro aparece próximo à superfície em equilíbrio isostático. A medida que o sedimento é depositado em bacias periféricas, localizadas no flanco do diápiro, por um processo de agradiação, a estrutura salina retoma seu processo de crescimento, não necessariamente rompendo a estratigrafia sobreposta ao seu topo.

1.2. A Halocinese e a formação dos *pockmarks*

Como feições de fundo marinho, a presença de *pockmarks* tem sido observada e reconhecida cientificamente em regiões costeiras (Kelley et al., 1994; Brothers et al., 2011 e

2012), plataformas continentais (King & MacLean, 1970), ou em oceano profundo (Gay et al., 2006).

Pockmarks são feições em forma de cratera, que apresentam um diâmetro que pode variar entre menos que 1 m a mais que 1 km, e cuja formação está ligada, principalmente, ao escape gradual ou repentino de gás (mais frequente, o metano) (Scanlon & Knebel, 1989), águas subterrâneas (Khandriche and Werner, 1996), ou água intersticial com alta carga de pressão (Harrington, 1985).

Chamadas de feição de colapso, sua formação está diretamente ligada ao escape de gás, proveniente da decomposição da matéria orgânica do sedimento, e canalizado ao estratos mais rasos pelas falhas normais. De acordo com Schattner et al. (2016), o escape de gás do reservatório para a superfície é controlado pela permeabilidade e resistência ao estresse causado pela pressão da camada selante. No fundo marinho, uma diminuição no estresse local pode levar a uma expulsão violenta de gás e formação dessas feições (Figura 2) (Riboulot et al., 2013).

Figura 4: Modelo extraído de Mahiques et al. (2017). Nesta ilustração, observa-se a associação do fraturamento do pacote de sedimento com o deslocamento do diápiro. Através das fraturas, ocorre a migração de gás. O fluxo de gás induz o aumento da permeabilidade do sedimento e feições do tipo *pockmark* são formadas.

A interação entre *pockmarks* e correntes oceânicas é pouco estudada, mas é de primária importância para a circulação, mistura, transporte de sedimento interno e evolução morfológica dessas feições. Entender o comportamento do fluxo nas vizinhanças das *pockmarks* pode levar a modelos mais precisos de dispersão de fauna e nutrientes (Wildish et al., 2008), bem como uma melhor estimativa de taxas de deposição e erosão sedimentares internos aos *pockmarks* e no ambiente adjacente (Pau & Hammer, 2013).

Os primeiros registros de feições do tipo *pockmarks* foram relatadas na década de 70 por King & McLean (1970) na plataforma continental ao largo da Nova Escócia, Canada. Desde então, a ocorrência dessas feições vem sendo relatada em porções distintas das margens continentais ao redor do mundo e a sua importância vem sendo muito maior do que apenas curiosidade científica (Frazão & Vital, 2007), dando ao seu estudo uma importância econômica, sendo indicadores de potenciais reservatórios de Hidrato de Metano.

Do ponto de vista geológico, *pockmarks* são indicativos de margens continentais hidraulicamente ativas, como é caso da Bacia de Santos, onde a formação destas feições está intrinsicamente relacionada ao diapirismo de sal (Mahiques et al., 2017). Tratando-se especificamente da atividade do sal e sua relação com os processos sedimentares, este trabalho contribui para melhor entender em como a dinâmica das estruturas salinas e a formação de *pockmarks* podem interferir nos processos erosivos (Driscoll & Uchupi, 1997) e distribuição de sedimentos em seu interior e em suas áreas adjacentes. Também devemos considerar sua importância econômica de potenciais fontes de recursos minerais (Judd & Hovland, 2009). Por se tratarem de estruturas que se formam pelo escape violento de gás, *pockmarks* mostram-se como indicadores importantíssimos para o estudo de áreas de risco ou “*geohazards*” (Ingrassia et al., 2015). Na escala climática, o estudo dos *pockmarks* contribui para o entendimento de como estruturas que exsudam gás interferem nas mudanças climáticas (Judd & Hovland, 1992; Judd, 2004). Um estudo de Judd et al. (2002), mostra, em valores, a contribuição do volume de gás emitido por estruturas de exsudação no ciclo geológico do carbono e sua notável contribuição na escala de mudanças climáticas.

Neste trabalho, é realizada uma caracterização sedimentar e morfológica atual em uma zona de Talude Continental da Margem Continental Sul brasileira da Bacia de Santos, onde foi localizado, através de um mapeamento batimétrico de alta resolução, em 2011, um campo com 984 *pockmarks*, no intervalo de isóbatas entre 300 e 700 m. A partir desta análise, discute-se o papel das feições encontradas, somado aos agentes de transporte atuantes, nos processos deposicionais dentro das *pockmarks* e no ambiente ao redor.

1.3. Hipótese

Pockmarks são feições que interferem no processo de sedimentação de uma zona de talude continental, agindo como armadilhas de sedimento.

1.4. Objetivos

Os objetivos gerais deste estudo são reconhecer os padrões geomorfológicos e sedimentares numa zona de talude da Bacia de Santos marcada pela abundância de *pockmarks* e avaliar a interferência das feições presentes no processo deposicional dentro das feições e no ambiente adjacente.

Para a consecução do objetivo geral, serão estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Analisar os perfis sísmicos sob o ponto de vista da estratigrafia e morfologia;
2. Investigar a origem do sedimento e suas respectivas idades;
3. Comparar a origem dos sedimentos e suas idades dentro e fora das feições presentes na área de estudo.

2. Área de Estudo

2.1. Localização

Durante um cruzeiro oceanográfico, intitulado Sirius, em 2011, um campo de *pockmarks* (Figura 5) foi identificado através de um levantamento multifeixe em uma região de talude da Margem Continental Sul brasileira da Bacia de Santos. A região apresenta 984 feições de formas, extensões e profundidades variadas, além de distribuídas em um intervalo de profundidade amplo do talude: o campo tem sua profundidade mais rasa na isóbata de 300 metros, enquanto que, seu ponto mais profundo, chega a profundidades maiores que 800 metros.

Figura 5: Área de Estudo: campo de *pockmarks* localizado ao Sul da Bacia de Santos, em uma região de talude continental.

2.2. Geologia

A região de estudo que compreende este trabalho, trata-se da bacia de Santos. Geologicamente, se encontra entre a bacia de Pelotas, ao Sul do Brasil, e a bacia de Campos, também localizada na Margem Sudeste brasileira. O limite norte da bacia de Santos é delimitado pelo Alto de Cabo Frio (Mohriak et al., 1995) e, ao Sul é delimitada pelas Dorsal de São Paulo e Alto de Florianópolis (Mohriak, 2005). A presença destas barreiras físicas, ao Sul, permitiu a deposição de evaporitos em direção ao norte, enquanto que, na bacia de Pelotas, predominaram condições marinhas (Mohriak, 2005).

2.2.1. A Evolução do Atlântico e a Formação do Sal

A origem do sal e a dinâmica das estruturas salinas (halocinese), após a sua formação, condicionada pelas forças tectônicas, são de extrema importância para entender a presença de feições geológicas atuais no fundo marinho e o controle que exercem nos processos sedimentares na região de estudo.

A evolução tectônica-sedimentar do Atlântico Sul está intrinsicamente relacionada com a ruptura do supercontinente Gondwana, que culminou com a formação de crosta oceânica e a separação dos continentes sul-americano e africano, no Eocretáceo (Asmus & Ponte, 1973; Mohriak et al., 2009).

No contexto da tectônica extensional, registra-se a formação de bacias intracontinentais, do tipo rifte, formando lagos que se distribuíam entre o Brasil e África, inicialmente, com água doce e, na fase final de abertura, com água salgada (Mohriak et al., 2009).

A formação da Bacia de Santos tem sua origem associada aos primeiros pulsos tectônicos que ocasionaram a separação da América do Sul e África no Neocomiano (Cretáceo Inferior) (Caldas, 2009). Pode-se dividir o processo de formação em 4 estágios de evolução: Pré-rifte, Rifte, Proto-oceânico (Pós-rifte) e Marinho aberto (Pós-rifte).

O processo de abertura da margem continental atlântica (Campos et al., 1974; Mohriak et al., 2009) apresenta eventos tectono-sedimentares marcantes nas seguintes etapas (Figura 6):

(a) início do rifteamento da margem: soerguimento termal astenosférico, com afinamento regional da crosta continental e manto superior, chamado fase dúctil, e formação de falhas na crosta superior (Stanton, 2009);

(b) a formação de depocentros lacustrinos: fase rúptil, com um aumento de estiramento litosférico e a ocorrência de grandes falhas afetando a crosta continental, extrusões basálticas e formação de semi-grábens. A origem da crosta oceânica está relacionada à Dorsal Mesoatlântica (Stanton, 2009);

(c) o início das transgressões marinhas, com deposição de evaporitos e formação de centro de espalhamento oceânico: extensão litosférica, com geração de grandes falhas e rotação de blocos do rifte. A partir de então, os autores admitem a ruptura que dá início à formação do assoalho oceânico (Stanton, 2009). Sedimentos aptianos pouco afetados por falhas e que constituem uma sequência sedimentar do estágio final do rifte, podem dar origem a rochas geradoras e reservatórios de petróleo (Papaterra, 2010). De acordo com Henry & Brumbaugh (1995), nesta fase ocorreu a deposição carbonática aptiana (Pré-Sal) que culminou com a deposição de evaporitos no topo da sequência. Os evaporitos depositados durante a fase rifte são compostos predominantemente por halita (NaCl), sal de grande mobilidade, seguida por anidrita (CaSO₄). Entretanto, sais solúveis como taquidrita (CaMg₂.C₁₆.12H₂O), carnalita (KMgC₁₃.6H₂O) e silvinita (KCl) também podem ser encontrados. A idade aproximada destes volumosos depósitos de evaporitos é 113-112 Ma (Moreira et al., 2007);

(d) o início da Deriva Continental: formação da Cordilheira Mesoceânica, juntamente com o extravasamento da crosta oceânica e reativação de falhas regionais (Stanton, 2009);

(e) a separação das bacias de margem conjugada: aprofundamento da batimetria no final do Albiano, com a deposição de carbonatos de plataforma, progressivamente substituídos por sequências terrígena.

Figura 6: Modelo esquemático do processo de abertura e formação da Bacia do Oceano Atlântico (Mohriak et al., 2009).

2.3. A Halocinese na Bacia de Santos

O soerguimento da Serra do Mar foi decisivo para a formação da frente progradante responsável pela deformação do depósito evaporítico (Figura 7), que iniciou-se no final do Cretáceo e início do Terciário.

Na parte sul da bacia, próximo à região da Plataforma de Florianópolis, destaca-se a ocorrência de muralhas de sal com geometria linear em planta e que, em seções sísmicas, aparecem com forma de agulhas atravessando toda a sequência sedimentar cretácea e terciária. Ocorrem, também, nessa região, anomalias gravimétricas e magnéticas de direção NNE associadas a altos vulcânicos na direção da plataforma de Florianópolis e anomalias E-W que correspondem a zonas de fraturas (Zona de Fratura do Rio Grande) (Mohriak, 2003).

De acordo com Mohriak et al. (2009), a partir da década de 1980, principalmente para margens do tipo Atlântico, modelagens físicas indicam a relação entre a formação reativa, ou seja, o sal corta todas as camadas que o sobrepõem (Vendeville & Jackson, 1992) através de diápiros e muralhas de sal, e processos extensionais que afetam o depósito pós-sal.

Figura 7: Seção Geológica da Bacia de Santos. Observa-se a orientação na migração e do sal em direção ao centro da bacia. Essa migração é originada pela expulsão do sal depois do soerguimento da Serra do Mar e deposição de sedimento terrígeno, gerando (extraído de Mohriak et al., 2009).

A área de estudo localiza-se em uma região influenciada por diápiros extensionais (Figura 8). O mecanismo de formação está relacionado a esforços distensivos (associados à tectônica extensional), com falhamentos afetando a sobrecarga sedimentar. Esses blocos rígidos,

formados por camadas sedimentares carbonáticas e siliciclásticas, estão sobrepostos a uma camada dúctil de evaporitos que, durante o fluxo, condicionam falhas lítricas (que mergulham em direção às almofadas de sal) normais na sobrecarga. Essas falhas rompem os estratos rígidos e controlam o crescimento de uma seção sedimentar depositada contemporaneamente com a movimentação do sal (Mohriak et al., 2009).

Os depósitos evaporíticos estende-se desde a Bacia de Santos à Bacia de Sergipe, no nordeste do Brasil. O comprimento total deste depósito é da ordem de 1.800 km e a sua porção sul tem a extensão de 700 km, cujas características estão intrinsicamente ligadas ao arcabouço estrutural do embasamento representado pelo Platô de São Paulo (Camboa & Rabinowitx, 1984).

Figura 8: Mapa representativo das forças tectônicas atuantes na margem continental sudeste brasileira. A área de estudo deste trabalho encontra-se sob domínio de esforços distensivos presentes no talude (modificado de Mohriak et al., 2009).

Os evaporitos da Bacia de Santos ocorrem em subsuperfície, desde a atual plataforma até as isóbatas de 3.000 metros. Contudo, não há registros de sal equivalente na bacia africana, ou seja, no sul da Bacia da Namíbia (Leyden, 1976). Essa distribuição pode ser uma evidência de que todo o sal aptiano observado, atualmente, corresponde à inteira bacia evaporítica que

ficou sob domínio da margem brasileira, devido ao deslocamento para leste do centro de espalhamento imediatamente após a sua deposição (Kumar & Gamboa, 1979). O depósito evaporítico tem sua maior espessura em direção ao depocentro da bacia (Figura 7), onde chega a extensões verticais equivalentes a 2.500 m e que se distanciam 200 quilômetros da margem oeste mais próxima (Mohriak et al., 2009).

2.4. Geomorfologia e Composição Sedimentar

O talude continental é o compartimento fisiográfico que apresenta os maiores valores de inclinação das margens continentais. A área de estudo localiza-se, de acordo com a divisão geomorfológica proposta Zembruski (1979), dentro do Embaiamento de São Paulo, no setor Sul. O Embaiamento de São Paulo é definido como um conjunto de províncias fisiográficas similar, com característica côncava, que denotam a geomorfologia de baía. A largura do talude nesta região é de 70 km e declividade que varia de 0,5° a 2° (Zembruski, 1979).

Os cânions submarinos somados às cicatrizes no assoalho do talude, constituem-se como as principais formas de transporte de sedimento das plataformas para as bacias oceânicas (Lastras et al., 2009; Mountjoy et al., 2009). Os processos de alimentação de bacias oceânicas com sedimento terrígeno através dos cânions e cicatrizes ocorreram em trato de mar baixo (Kowsmann et al., 2002).

O trato de mar baixo gerou condições favoráveis ao transporte de sedimento diretamente para o talude, bem como pela formação de planícies costeiras e erosão intensa da plataforma continental. Dentre os impactos desse fenômeno nos processos oceânicos, estão: (1) a elevação das taxas de sedimentação terrígena; (2) o resfriamento das massas de água superficiais; (3) a intensificação da circulação de fundo; (4) o menor acúmulo de depósitos calcários no Atlântico Sul e (5) a modificação da fauna planctônica. (Kowsmann & Costa, 1979).

De acordo com Mahiques et al. (2004), a composição dos sedimentos do assoalho oceânico do Embaiamento de São Paulo é constituída por sedimentos muito finos, com predomínio de areias siliciclásticas e lama, bem como a presença de quantidades significativas de argila e carbonato de cálcio, este último, em áreas restritas. Os sedimentos mais grossos, de composição carbonática, considerados relíquitos, representam apenas 5% dos sedimentos de

fundo atuais e são formados por foraminíferos e esqueletos de corais depositados em nível de mar mais baixo (Rocha et al., 1975).

2.5. Circulação

Os processos sedimentares que ocorrem no Embaiamento de São Paulo são dominados pelos padrões de circulação oceânica locais. Tal dominância, deve-se à ausência atual de rios de expressão que desaguam no oceano, uma vez que a orientação da formação montanhosa da Serra do Mar impede fluxos de grande porte em direção ao oceano. (Mahiques et al., 2004).

De acordo com Mahiques et al. (2009), a Ilha de São Sebastião atua como divisor de duas províncias sedimentares dentro do Embaiamento de São Paulo. Ao sul da ilha, os processos são governados pela Corrente Costeira do Brasil (**CCB**) (Nagai et al., 2009), e ao norte, são governados pela ressurgência de Cabo Frio e os meandros da Corrente do Brasil (**CB**) (Souza & Robinson, 2004).

Nos primeiros três quilômetros de coluna d'água (Figura 9) encontra-se a Água Tropical (**AT**), Água Central do Atlântico Sul (**ACAS**), Água Intermediária Antártica (**AIA**), Água Circumpolar Superior (**ACS**) e Água Profunda do Atlântico Norte (**APAN**) (Silveira et al., 2000). A **CB** é formada pelo empilhamento de massas de água características do Atlântico Sul, transportando a **AT** e **ACAS** em direção ao sul-sudoeste; a **Corrente de Contorno Intermediária (CCI)** transporta a **AIA** e a **ACS**, no sentido contrário a **CB**, para norte-nordeste; a Corrente de Contorno Profunda (**CCP**) carrega a **APAN** em direção ao sul (Castro Filho et al., 2006).

Figura 9: Representação esquemática da circulação no Oceano Atlântico Sudoeste ao nível de 100 a 1.500 metros de profundidade na Bacia de Santos (extraído de Matsuura, 1986).

A Água Tropical é formada como consequência de uma intensa radiação e grandes taxas de evaporação comparados aos níveis de precipitação. Em seu trajeto para o Sul, mistura-se com a água costeira e de salinidade baixa. A **AT** é caracterizada por temperaturas superiores a 20 graus e salinidades acima de 36, ao largo do Sudeste brasileiro. A **ACAS** flui para sul na região da picnolina, e com temperaturas maiores que 6°C e menores que 20°C, e salinidades entre 34,6 e 36 (Silveira et al., 2000). De acordo com Miranda (1982), essa massa de água tem fluxo para o norte e, em determinados momentos, no verão, alcança a plataforma continental, aflorando em diversos pontos da costa, sendo uma importante fonte de nutrientes para as camadas superficiais, contribuindo para a produtividade local. A **AIA** está localizada entre as isóbatas de 600-1260 metros (Cirano et al., 2006) e possui propriedades termohalinas de 3 graus a 6 graus de temperatura e 34,2 a 34,6 de salinidade. Inseridas no sistema de circulação profunda do Giro Subtropical, a **AIA** e **ACAS** penetram na bacia sudeste brasileira, pelo talude da Bacia de Santos, e bifurcam-se, com a **AIA** fluindo em direção ao norte (Müller et al., 1998). Stramma & Peterson (1990) caracterizam a **APAN** por valores de temperatura de 3,31 - 2,04 graus e salinidades entre 34,6 e 34,9, ocupando as isóbatas entre 1.300 e 3.600

metros ao largo do sudeste brasileiro. A **ACS** possui densidade semelhante à **APAN** e é proveniente da mistura entre esta e a Água Circumpolar (**ACP**).

Ao sul da região de estudo, temos, fluindo para norte, a Corrente das Malvinas (**CM**), caracterizada por águas frias e rica em nutrientes (Wainer & Venegas, 2002). Nas latitudes entre 35° e 40°S, a **CM** encontra a **CB**, definida como a Confluência Brasil-Malvinas (*Brazil-Malvinas Confluence* - **BCM**), assim, sendo uma área de intensa produtividade (Boltovskoy et al., 1996). A intensidade das correntes superficiais (**CB** e **CM**) e o deslocamento norte-sul da **BCM** são controlados pelo regime eólico e da migração da Zona de Convergência Intertropical (**ZCIT**) (Johns et al., 1998; Wainer & Venegas, 2002). Sendo assim, são importantes fontes de nutrientes juntamente com a descarga do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos (Ferreira et al., 2012); De acordo com Campos et al. (1999), em condições adequadas, a pluma do Rio da Prata pode alcançar latitudes próximas à 23°S, promovendo uma descarga significativa de nutrientes na Bacia de Santos.

3. Materiais e Métodos

3.1. Amostragem

O material utilizado neste trabalho foi coletado durante um cruzeiro oceanográfico a bordo do Navio Oceanográfico Alpha Crucis, no âmbito do Projeto “*Continental slope morphological features on the SE Brazilian margin: Active tectonics versus modern oceanographic conditions*” (FAPESP 2014/08266-2); Professor Responsável: Michel Michaelovitch de Mahiques.

A aquisição de dados geofísicos foi realizada com base em uma malha amostral pré-estabelecida e referenciada por um levantamento batimétrico multifeixe, representado na figura 10, e efetuado durante um cruzeiro oceanográfico, intitulado Sirius, em 2011. A partir dos dados geofísicos, pontos de amostragem de sedimento foram realizados ao longo da área de estudo.

3.2. Geofísica

Os dados geofísicos foram coletados por um perfilador de sub-superfície (SBP - *sub-bottom profiler*) CHIRP 3260 que opera com a frequência de 3,5 kHz. O programa utilizado para a aquisição dos dados sísmicos foi o *EchoControl Client for Windows* (Knudsen Engineering).

3.2.1. Processamento e Interpretação de dados

1. Aquisição de dados à bordo do Navio Alpha Crucis;
2. Transformação dos dados para o formato XYZ através do software MDPS (Meridata Finland);
3. Tratamento dos dados pelo software de processamento SonarWiz (Chesapeake Technology):
 - a. Utilização de ganho AGC, com alteração da frequência e intensidade, de acordo com a necessidade do registro;
 - b. Eliminação da coluna de água;
4. A velocidade do som utilizada no sedimento foi de 1.500 m/s.
5. Interpretação do registro de alta resolução através do software SonarWiz.

Para a elaboração dos MDT's, foram utilizados os dados em XYZ de acordo com o conjunto de malhas amostrais, denominados de área 1(A1), área 2 (A2), área 3 (A3) e área 4 (A4) (Figura 10).

Figura 10: Representação dos pontos de amostragem e da malha sísmica utilizada para a aquisição de dados, com base em um levantamento batimétrico, entitulado Sirius, realizado em 2011.

3.3. Sedimentologia e Geoquímica

A amostragem de sedimento foi feita através de um amostrador de fundo, *box-corer*. A sub-amostragem foi realizada com espátula de inox, num intervalo de amostragem contínuo de 2 em 2 cm. As amostras para análise dos *proxies* orgânicos foram armazenadas em bandejas de inox e postas em refrigeradores a bordo.

Para avaliarmos a quantidade e qualidade do sedimento depositado, e como ele responde à variação da morfologia do campo de *pockmarks*, foram feitos estudos sedimentológicos e para estimar a idade do sedimento, bem como a utilização de *proxies* orgânicos e inorgânicos (Figura 11). Do ponto de vista orgânico, foram feitas análises para a determinação de Carbono Orgânico Total (% COT) e razão isotópica de Carbono ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$), cuja a metodologia está, originalmente, descrita em (Nagaoka, 2018). Do ponto de vista inorgânico, foram realizadas análise de Carbonato Biodetrítico (%CaCO₃) e de teor de metais. A fim de comparar os resultados a posteriori, dividiu-se a amostragem em estações coletadas no substrato, dentro dos *pockmarks* e nos diápiros, como representado na Figura 10.

Após a determinação dos *proxies* orgânicos e inorgânicos, foi aplicado um teste de Kruskal-Wallis para analisar a variância dos dados entre as estações. Para os dados de Carbonato Biodetrítico, foi aplicado um *box-plot*, (Figura 28), afim de avaliar a presença de *outliers* resultados.

Figura 11: Resumo esquemático do procedimento de análise de sedimento através de *proxies* orgânicos e inorgânicos.

3.3.1. Determinação %CaCO₃

Para a determinação da % CaCO₃ no sedimento, uma alíquota de sedimento de aproximadamente 1 grama foi tratada com 2 mL de Ácido Clorídrico (HCl) 1 mol L⁻¹ e homogeneizada através de um vortéx (Whirli Mixer da Fisherbrand), mantendo-se em ácido por 24 horas. Posteriormente, adicionam-se de três a quatro gotas de HCl concentrado, com o propósito de certificar a total remoção do CaCO₃, não havendo mais reações químicas. Em seguida, adicionam-se 8 ml de água Milli-Q por 5 vezes para que todo o ácido, verificado com papel universal de pH, seja retirado do sedimento. Após as lavagens, os tubos com as amostras serão colocados na estufa a 60°C por 3 dias e o teor de CaCO₃ (expresso em %) será determinado pela diferença de massa de sedimento inicial e final através da equação (1):

$$\text{Teor de CaCO}_3 = \left[\frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Peso inicial: peso da amostra antes de acidificá-la;

Peso final: peso da amostra após sua acidificação e secagem.

3.3.2. Determinação %COT e δ¹³C_{PDB}

A %COT (3) e δ¹³C_{PDB} (2) foram determinados em alíquota de sedimento submetido à remoção do Carbonato de Cálcio (CaCO₃). Após a remoção de CaCO₃, o sedimento seco foi homogeneizado em almofariz com pistilo. Cerca de 6 a 8 mg de amostra foi pesado em cápsula de estanho (5 por 9 mm) e submetidos a análise elementar e isotópica no analisador elementar Costech Instruments Elemental Combustion System acoplado ao detector de espectrometria de massas com razão isotópica Thermo Scientific Delta Advantage Isotope Ratio MS (EA-IRMS).

$$\delta = [(R \text{ amostra} / R \text{ padrão}) - 1] \times 1000 \quad (2)$$

R amostra: razão isotópica medida a amostra

R padrão: razão isotópica medida no padrão de referência

A proporção em massa (%) de carbono foi obtida através da relação entre as proporções do padrão e das áreas correspondentes aos picos do padrão e da amostra **(3)**:

$$\% \text{ Amostra} = [(\% \text{ padrão} \times \text{massa padrão} / \text{área do padrão})] \times \text{área amostra} \quad (3)$$

O padrão adotado na quantificação em massa foi o Solo LECO 502-309 – LECO Corporation. Os teores de carbono nesse padrão são de 13,77%. A calibração para as análises isotópicas do carbono orgânico foi feita através dos padrões certificados USGS-40 (ácido glutâmico: $\delta^{13}\text{C} = -26,389\text{‰}$ vs PDB e IAEA-600 (caféina: $\delta^{13}\text{C} = -27,771\text{‰}$ vs PDB).

3.3.3. Granulometria

O material é inicialmente submetido a retirada de matéria orgânica **(1)**, em seguida, lavado, para a remoção de CaCO_3 **(2)**. As amostras, em seguida, são peneiradas em malha de 63 micrômetros para a separação das frações areia e lama. A fração areia é seca e pesada em balança analítica. A fração lama é submetida a análise no granulômetro a laser (Malvern 2000) **(3)**:

(1) A retirada de matéria orgânica foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, utilizando a seguinte metodologia: separou-se uma alíquota das amostras com o peso entre 4 a 5 gramas de sedimento. Em seguida, adicionou-se Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2), concentração de 10%, às amostras e colocadas em chapa aquecida por 24 horas para catalisar a reação. Após a queima total, as amostras são lavadas com água destilada e, assim, prontas para a remoção de CaCO_3 .

(2) As amostras são submetidas a retirada de CaCO_3 com solução HCl, concentração 10%. Após a queima total, as amostras são lavadas e submetidas à análise.

(3) Após a remoção de matéria orgânica e carbonato de cálcio, antes da análise no granulômetro, é utilizado um dispersante químico, Pirofosfato de Sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), para desagregar o sedimento. Deixa-se agir por alguns minutos, e, assim, uma alíquota homogênea de cada profundidade é posta para análise.

3.3.4. Metais

A análise dos metais foi feita pelo equipamento ICP-OES Varian 710, localizado no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. As amostras foram preparadas para a análise com base no protocolo de Digestão Total estabelecido pela EPA - Método 3052. A metodologia original, utilizada na obtenção dos dados de metais, está descrita em Santos et al. (2018).

3.4. Datação

Para a obtenção de registros de idade, fragmentos de corais foram separados para a datação de radiocarbono através da técnica de AMS. A análise foi feita no Laboratório Beta Analytics, Miami (US). As idades calibradas de radiocarbono foram calculadas pelo software CALIB, versão 7.1 (Stuiver et al. 2018), usando a correção do efeito reservatório marinho global de 400 anos (Stuiver e Braziunas, 1993).

4. Resultados

Os resultados apresentados a seguir serão descritos de acordo com a seguinte divisão: Geofísica, representada pelos modelos digitais de terreno e perfis sísmicos, e Geoquímica, com a análise de gráficos e tabelas de marcadores orgânicos e inorgânicos.

4.1. Geofísica

4.1.1. MDT's

Os MDT's foram elaborados com a finalidade de identificar e diferenciar os padrões morfológicos distribuídos ao longo na área de estudo. Na área 1 (A1) (Figura 12), observa-se a projeção de um diápiro exposto, circundado por feições do tipo *pockmarks*, de diferentes formas e profundidades.

Figura 12: MDT representativo área 1 (A1). Neste modelo, identifica-se a presença de *pockmarks*, diápiros e trincheiras ou canais.

Na Figura 12, observam-se *pockmarks* isoladas e o alinhadas, sugerindo a formação de trincheiras, denominadas de canais, em torno do diápiro exposto, aqui referido como diápiro exumado. Apresentam-se feições de escape com profundidades em torno de 30 m, com uma extensão horizontal que varia entre 750 e 800 m. As feições positivas, representadas pelos

diápiros, e, neste caso, pelo diápiro exumado, apresentam uma magnitude horizontal de 1.87 km e vertical de 39 m de exposição.

A Figura 13 apresenta *pockmarks* distribuídas ao longo do bloco-diagrama, com profundidades que variam em um entre de 30 e 56 m de profundidade e apresentam aberturas com extensões variadas, na escala de 780 m a 2 km. Consta representado no modelo, os já citados diápiros de sal, com alturas, em relação ao fundo, e extensões variadas. Observam-se feições positivas, com alturas que variam de 10 a 70 m de exposição. Somada aos *pockmarks*, ocorrem trincheiras/canais, associadas aos diápiros.

Figura 13: Representação da área 2 (A2), que também apresenta *pockmarks*, diápiros e trincheiras/canais. Como pode ser observado, os diápiros configuram verdadeiras cicatrizes no assoalho oceânico e, neste estágio, são chamados de diápiros exumados.

A Figura 14 mostra feições positivas e negativas de diferentes extensões e profundidades. Os *pockmarks* apresentam profundidades que variam entre 12 e 137 m e extensões num intervalo de 700 m a 1.3 km. Os diápiros, feições positivas, apresentam extensões com valores entre 800 m e 2 km e alturas num intervalo de 40 a 82 m. A partir da isóbata de 540 m, ocorre um aumento do gradiente batimétrico e, a partir desta profundidade, são observadas feições negativas assimétricas.

Figura 14: MDT representando a área 3 (A3). Neste modelo, podemos identificar, também, a presença de *pockmarks*, diápiros e trincheiras/canais.

A área 4 (A4) (Figura 15) é representativa da magnitude e diversidade de *pockmarks* encontradas na região de estudo (Figura 4), onde um *pockmark* de aproximadamente 73 m de profundidade foi encontrado nas porções mais distais do talude, na isóbata de 800 m, e apresenta diâmetro de aproximadamente 1.3 km. Essas características configuram uma das maiores feições de colapso encontradas neste levantamento.

Figura 15: Representação da área 4 (A4). Esta interpolação apresenta uma das *pockmarks* mais profundas da região de estudo. Sua profundidade é da magnitude de 100 m.

4.1.2. Sísmica

4.1.2.1. Fundo

Morfologia

As áreas mapeadas são representativas do contexto morfológico onde estão inseridas. A variação de profundidade, 440 a 800 m é típica do talude.

Estratigrafia

O perfil sísmico característico do fundo marinho, mostra um padrão de estratificação plano-paralela (Figura 16), com refletores internos de baixa amplitude.

Figura 16: Perfil sísmico original evidenciando a ausência de mudanças na morfologia do terreno (A). O perfil (B) representa o perfil interpretado e resalta o padrão de estratificação plano-paralela. O refletor R1, escolhido como referência, não apresenta perturbações ao longo da extensão do registro.

As linhas sísmicas nas áreas desprovidas de *pockmarks* ainda que possam exibir padrão homogêneo, em superfície, apresentam fraturas e falhas normais. O fraturamento do pacote provoca uma descontinuidade dos refletores representados (Figura 17). O pacote de sedimento, como observado no perfil B da Figura 17, está deformado pelo conjunto de falhas e, em

determinados trechos, sofre interferência de possíveis exsudações de gás. No registro, também, observa-se uma alteração na forma do fundo, indicada por um início de processo de subsidência do assoalho desta porção de talude. Este registro pode ser representado pelo modelo proposto por Mahiques et al. (2017) (Figura 4), que ilustra o início do processo de formação dos *pockmarks*.

Figura 17: Registro sísmico apresenta o processo de fraturamento do pacote sedimentar. O perfil (A), perfil original, mostra uma alteração na forma de fundo, com o início de um processo de abatimento. O perfil (B), perfil interpretado, ressalta os refletores em laranja, que representam as falhas e indícios de cortinas de gás alterando o registro.

4.1.2.2. *Pockmarks*

Morfologia

Os resultados obtidos, através dos modelos digitais de terreno, mostram uma variedade no tamanho e forma dos *pockmarks*. Foram encontradas feições com profundidades que

variam de 10 a 137 m. Somada à variedade batimétrica, observou-se *pockmarks* com formas elípticas e circulares nas suas mais variadas extensões horizontais, com diâmetros aparentes que variam entre 50 m a 1,5 km.

Estratigrafia

Os perfis sísmicos reforçam as características morfológicas já discutidas anteriormente, como a diferença de simetria e de profundidade dos *pockmarks*. Pelos dados geofísicos, observa-se a alteração na forma pela assimetria na inclinação dos flancos, verificada no perfil B (Figura 18). Os registros mostram, também, os padrões estratigráficos dos *pockmarks* estudados, com refletores que acompanham a topografia das feições, como observado nas Figuras 18 e 19, que apresentam perturbações, como é o caso do registro representado pela Figura 21, onde os refletores apresentam uma forte perturbação devido a escape de gás. Os refletores também se apresentam truncados (refletor R2), perfil B, Figura 20, com o indício de interrupção de um processo sedimentar. No perfil B da Figura 20, também se observou um pacote de sedimento depositado no flanco esquerdo da depressão, representado pelo refletor R3.

Figura 18: O perfil sísmico mostra a variedade dos *pockmarks* encontrados. Perfil (A), perfil original, mostra um fundo perturbado do ponto de vista morfológico, com a presença de *pockmarks* variadas em suas formas e profundidades. Observam-se *pockmarks* circulares e assimétricos de acordo com o grau de inclinação do flanco. O perfil (B), perfil interpretado, ressalta o padrão estratigráfico, com o acompanhamento do refletor R1 à topografia de fundo e sem alterações na espessura do pacote.

Figura 19: Perfil sísmico de um *pockmark* assimétrico. Perfil (A), perfil original, mostra a assimetria da depressão, com a altura de um dos flancos superior à do outro. Esse registro configura um dos *pockmarks* mais profundos e extensos deste levantamento. O perfil (B), perfil interpretado, mostra o refletor R1 acompanhando a topografia de fundo com uma tendência de afinamento do pacote sedimentar em direção à depressão.

Figura 20: Perfil sísmico original do *pockmark* mais profundo deste levantamento (A). O perfil (B), perfil interpretado, mostra refletores truncados no flanco esquerdo, representado pelo refletor rosa R2. O refletor R3 representa o pacote de sedimento depositado dentro do *pockmark*.

Figura 21: O registro sísmico original mostra dois *pockmarks* de escalas diferentes (A). A estratigrafia, representada pelo perfil (B), perfil interpretado, mostra uma tendência ao afinamento do pacote sedimentar. Também, observa-se uma intensa perturbação dos refletores pelo escape de gás.

No perfil B da Figura 21, os refletores abaixo do *pockmark* apresentam-se perturbados, indicando a influência de escape de gás. O registro sísmico representado pela Figura 22 mostra um *pockmark* circular e uma depressão assimétrica, o que sugere um evento de colapso, já descrito por Pilcher & Argent (2007) e que indica um estágio evolutivo avançado de formação e desenvolvimento de um *pockmark*. Nos resultados obtidos e representados pela Figura 23, observa-se a associação de *pockmarks* com feições definidas como diápiros e falhas.

Figura 22: A figura representa o perfil sísmico de uma sequência de *pockmarks*. O perfil (A) mostra a sequência de feições do tipo *pockmarks*. Há indícios de formação de estruturas de colapso. A estratigrafia, perfil (B), apresenta-se, na maior parte do registro, em conformidade com a superfície de fundo, entretanto, é perturbada por um processo de falhamento.

Figura 23: O registro sísmico apresenta feições do tipo *pockmarks* e os refletores de um diápiro e um processo de fraturamento do pacote sedimentar. O Perfil (A), perfil original, mostra duas depressões com profundidades e desembocaduras de magnitudes diferentes. Associados ao *pockmark* mais profundo, observa-se no perfil interpretado (B) uma perturbação da estratigrafia por um processo de falhamento e pela interação dos estratos coma subida de um diápiro.

4.1.2.3. Diápiros

Morfologia

Em relação à morfologia, ocorrem diápiros distribuídos ao longo do campo de *pockmarks* em formas e extensões variadas. Foram reconhecidas estruturas em formas de domo, de

alturas variadas (Figura 25), e “paredes” de sal (Figura 24). A expressão marcada desses corpos de sal no assoalho oceânico, lembra verdadeiras “cicatrices” ou os chamados diápiros exumados. Associados aos diápiros, observa-se canais adjacentes aos flancos, representados nos MDT’s representados pelas Figuras 12, 13 e 14.

Estratigrafia

Os perfis sísmicos realizados sobre os diápiros permitem caracterizá-los como feições extensas e com alturas variadas de 39 a 81 m. Do ponto de vista estratigráfico, por definição, os diápiros são estruturas que perfuram as camadas subjacentes. Sendo assim, observa-se a deformação dos refletores em profundidades variáveis. Nas Figuras 25 e 27, R2 apresenta-se truncado sobre o flanco do diápiro, já exposto, marcando o processo de ascensão por ruptura dos estratos pelo diápiro. Nos perfis 24, 25, 26 e 27, em profundidades menores, observam-se refletores, como é o caso do refletor de referência R1, que acompanham a batimetria adjacente ao diápiro. Analisando o grau de exposição dos diápiros e sua interação com a sedimentação recente, observam-se feições, como o diápiro exumado, a sudoeste do campo de *pockmarks*. Na Figura 24, o mesmo aparece exposto e com micro-bacias, onde é possível verificar a deposição de sedimento. Assim como diápiros totalmente expostos, também há feições de sal parcialmente expostas e sub-superficiais, como pode ser observado no perfil da Figura 27.

Figura 24: Perfil sísmico original de um diápiro exumado (A). No perfil (B), perfil interpretado, observa-se porções deste corpo de sal expostas e recobertas por sedimento. O refletor R1 apresenta-se truncado, indicando um processo erosivo ou um evento de deposição sucessivo à subida do diápiro.

Figura 25: Perfil original de um diápiro com a maior das alturas encontradas na área de estudo (A). No perfil (B), perfil interpretado, observa-se comportamentos distintos dos refletos. Em profundidades maiores, o R2 apresenta-se truncado nas proximidades do flanco do diápiro, enquanto que R1 acompanha a batimetria.

Figura 26: O perfil original mostra um substrato bastante perturbado pela atividade halocinética (A). No perfil (B), perfil interpretado, é possível avaliar a altura e extensão do corpo de sal e sua interação com sedimento depositado. Neste caso, R1 apresenta-se truncado ao flanco do diápiro. Também, observa-se um processo de falhamento, no qual origina zonas de abatimento e soerguimento do assoalho.

Figura 27: Registro sísmico original representando um grau de exposição distinto dos diápiros (A). No perfil (B), perfil interpretado, R1 apresenta-se truncado com o diápiro menor, enquanto que, na interação com o diápiro maior, acompanha a topografia de fundo. R2, semelhante à Figura 25, apresenta-se truncado a sequência sedimentar subjacente e com a orientação em direção a subida do diápiro.

4.2. Sedimentologia e Geoquímica

Os resultados obtidos das análises de % CaCO_3 , % COT e $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ são apresentados na tabela 3 (Anexo 1). São descritos de acordo com o método geoquímico e comparados de acordo com a classificação de sedimentos coletados dentro e fora (diápiro e fundo) dos *pockmarks*, a fim de verificar as diferenças em sua composição. As amostras correspondentes a não-*pockmarks* são as estações 249, 250, 255, 256 e 258, 259, 260, 262 e 264. As coletadas dentro são as estações 253, 254, 257, 263.

Os dados obtidos de % CaCO_3 foram plotados em *box-plot* e verificou-se a presença de *outliers* (Figura 28). Pós eliminação dos outliers, os dados foram plotados em um gráfico de dispersão (Figura 29). No gráfico da figura 29, observa-se uma divisão em dois grupos de estação, acentuada nas amostras mais rasas. Os valores correspondentes às amostras coletadas fora dos *pockmarks* possuem um intervalo que varia entre as porcentagens de 18,33% e 68,57%, Média $38,28\% \pm 9,57$. Para os sedimentos depositados dentro dos *pockmarks*, a % CaCO_3 está entre 11,75% e 38,62% (Média $27,00 \pm 3,92\%$). Foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, para dados não paramétricos, entre as estações e foi observada uma diferença significativa (5%) entre as médias das estações.

Figura 28: Box-plot das estações representando os outliers.

Figura 29: Representação dos dados do teor de % CaCO_3 . Nota-se uma divisão nos grupos de estações coletadas dentro e fora dos *pockmarks*, acentuada nas profundidades mais rasas. Comparando os dois grupos, as amostras coletadas dentro das depressões apresentam quantidade de carbonato inferior em relação às amostras externas.

Os dados de %COT e $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ estão representados na Figura 30. Os resultados das análises de %COT apresentam valores entre 0,14% e 0,71% (Média $0,39 \pm 0,11\%$), enquanto que os valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ apresentam baixa variabilidade, com extremos entre -22,68‰ e -20,27‰. Para as amostras coletadas dentro dos *pockmarks*, os valores de %COT e $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, representados na Figura 19, variam entre 0,30% e 1,04% (Média $0,67 \pm 0,13\%$) e -22,5 e -19,9 (Média $-20,9 \pm 0,51$), respectivamente. Comparando os valores de %COT de dentro e fora dos *pockmarks*, verificam-se maiores valores dentro dos *pockmarks* em relação às amostras de fora, indicando a maior acumulação de matéria orgânica dentro das depressões. Considerando a qualidade dessa matéria orgânica, que pode ser descrita através da composição isotópica do carbono $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$, os resultados não apresentam uma diferença significativa nos valores isotópicos.

Figura 30: Gráfico de dispersão de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ versus %COT. As amostras de dentro dos *pockmarks*, representadas pelo marcador circular sólido, indicam maior quantidade de carbono orgânico e, portanto, de matéria orgânica dentro dos *pockmarks*. Os dados de isótopos, apesar de apresentarem uma certa diferença entre as estações, não permite uma inferência a respeito da diferença na qualidade da matéria orgânica depositada nas diferentes províncias fisiográficas.

Um teste para dados não paramétricos (Teste de Kruskal-Wallis) foi realizado para todos os elementos (Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Sc e Ti), e razões elementares. Constatou-se uma diferença significativa (5%) entre as médias das amostras coletadas dentro e fora dos *pockmarks*. Os resultados das análises elementares dos metais estão na tabela 4 (Anexo 2). A Figura 31 representa a dispersão dos valores de razões $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{Ca})$ versus $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Ca})$, a fim de avaliar a contribuição da fonte terrígena no sedimento depositado. A variação entre os dados de $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{Ca})$, correspondentes às estações coletadas fora dos *pockmarks*, apresenta valores situados num intervalo entre -2,14 e -0,48, com uma média de $-1,43 \pm 0,33$. Dentro dos *pockmarks* a razão $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{Ca})$ está situada em entre -1,28 e -0,17, com média $-0,74 \pm 0,26$. Para os metais, também foi realizado um teste para dados não paramétricos e observou-se uma diferença significativa entre os elementos e as razões elementares com um nível de significância de 5%. Analisando o gráfico de dispersão (Figura 31), observa-se a distinção entre os dois grupos, reforçada pela diferença no valor das médias de $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{Ca})$. O grupo de amostras de dentro dos *pockmarks* apresenta os valores mais altos da razão, indicando um maior aporte terrígeno. O mesmo acontece para a razão $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Ca})$, valores mínimos e máximos em -4,46 e -2,48, respectivamente, e média em $-3,63 \pm 0,40$ fora dos *pockmarks*, e dentro dos *pockmarks*, mínimos e máximos em -3,18 e -2,31, média $-2,78 \pm 0,25$. Dentro dos *pockmarks*, os valores da razão $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Ca})$ são maiores, quando comparados com as amostras

de fora, como observado na figura 31, reforçando uma assinatura terrígena do sedimento. As razões de $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{K})$ e $\text{Ln}(\text{Mg}/\text{Al})$ (Figura 32), são utilizadas para avaliar a fonte do sedimento depositado, através da composição mineralógica. Para os dados coletados fora dos *pockmarks*, a razão $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{K})$ apresenta valores entre 0,07 e 1,29, com uma média de $0,79 \pm 0,19$, e $\text{Ln}(\text{Mg}/\text{Al})$, valores entre -1,82 e 0,53 e média $-0,90 \pm 0,58$. Para dentro dos *pockmarks*, a razão $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{K})$ apresenta valores entre 0,25 e 1,05, média $0,62 \pm 0,22$, e o *proxy* $\text{Ln}(\text{Mg}/\text{Al})$ têm seus valores com o mínimo e máximo em 0,25 e 1,05, média em $-1,34 \pm 0,34$. O gráfico representa a distribuição destas razões e nota-se uma localização preferencial das amostras de dentro dos *pockmarks* nos setores onde as razões possuem valores menores, apresentando uma composição do sedimento mais rica em Alumínio e Potássio. Ambas as razões indicam condições de intemperismo distintas. A razão $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Al})$, com valores apresentados na tabela 3, apresenta mínimo e máximo de -3,40 e 0,008, respectivamente, e média $-2,32 \pm 0,74$ para amostras coletadas fora dos *pockmarks*. As amostras de dentro das depressões possuem mínimos e máximos em -2,91 e -0,79 e média de $-2,41 \pm 0,40$, podendo indicar uma diferença no tipo de transporte sedimentar.

Figura 31: Gráfico de Dispersão das razões elementares $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Ca})$ versus $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{Ca})$ das amostras coletadas dentro e fora dos *pockmarks*.

Figura 32: Gráfico de Dispersão das razões elementares $\text{Ln}(\text{Mg}/\text{Al})$ versus $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{K})$ das amostras coletadas dentro e fora dos *pockmarks*.

Os dados granulométricos, tabela 5 (Anexo 3), e representados pelo gráfico abaixo (Figura 33), estão representados por barras referentes às estações, nas quais estão ordenadas em sedimentos coletados em não-*pockmarks* e *pockmarks*. Analisando as frações mais grossas (areia e silte muito grosso), as maiores porcentagens de areia (acima da média de 21%) encontram-se nas estações, 249, 259, 262 e 264, todas localizadas fora dos *pockmarks*. As menores porcentagens (inferiores a 21%) foram encontradas nas estações 254 (porcentagem inferior a 9%), 253 (ambas *pockmark*), 255, 256 e 260 (todas não-*pockmark*). Em relação ao silte muito grosso, os maiores valores (maiores ou iguais a 25%) encontram-se nas estações 249, 256, 258, 259 e 262 (todas não-*pockmark*). As demais estações, possuem valores abaixo de 25%, sendo os menores deles pertencentes às estações 260 (não-*pockmark*) e 254 (*pockmark*), ambos com 19%. Considerando as frações mais finas (silte muito fino e argila), os maiores valores de Silte Muito Fino, situados acima da média de 7%, encontram-se nas estações 255, 256, 260 e 264 (não-*pockmarks*), enquanto que todas as estações coletadas dentro dos *pockmarks* apresentam valores acima da média. Em relação a fração argila, com porcentagem média de 3%, todas as estações, exceto a 259 (não-*pockmark*), apresentaram valores iguais ou superiores à média.

Figura 33: Gráfico representando as porcentagens da fração Areia, Silte Muito Grosso, Silte Grosso, Silte Médio, Silte Fino, Silte Muito Fino e Argila das estações.

Os dados obtidos, através da datação dos fragmentos de coral por radiocarbono (tabela 1), marcam uma divisão na idade do sedimento depositado. Os sedimentos datados de fora dos *pockmarks*, apresentaram uma idade superior aos coletados dentro das depressões. Dentro dos *pockmarks*, foram encontrados sedimentos relativamente recentes, que datam o Holoceno Médio e Tardio, enquanto que os sedimentos datados sobre os diápiros, ultrapassaram o limite de idade estabelecido pelo método de datação por radiocarbono (50 mil anos).

Tabela 1: Resultados obtidos através da datação por radiocarbono de fragmentos de corais.

BETA	Amostras	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$	Conventional Age	Median Probability (cal BP)	2 Sigma Calibration (Cal BP)	Percent Modern Carbon (pMC)	Fraction Modern	D^{14}C
516491	253_30-32	1,6	-0,2	6040±30 BP	6455	6370-6555	47.1 +/- 0.2 pMC	0.4715 +/- 0.0018	-528.5 +/- 1.7 o/oo
444742	254_26-28	1,6	3,9	1560 +/- 30 BP	1120	1035-1220	82.3 +/- 0.3 pMC	0.8235 +/- 0.0031	-176.5 +/- 3.1 o/oo
444744	256_07-08	0,2	4,3	19930 +/- 60 BP	23525	23245-23770	8.4 +/- 0.1 pMC	0.0837 +/- 0.0006	-916.3 +/- 0.6 o/oo
444745	256_09-10	-4,1	2,7	17330 +/- 60 BP	20415	20190-20605	11.6 +/- 0.1 pMC	0.1156 +/- 0.0009	-884.4 +/- 0.9 o/oo
444746	258_00	-4,9	1,8	13070 +/- 40 BP	15085	14840-15245	19.7 +/- 0.1 pMC	0.1965 +/- 0.0010	-803.5 +/- 1.0 o/oo
444747	258_22-24	-5,8	1,2	13160 +/- 40 BP	15200	15055-15340	19.4 +/- 0.1 pMC	0.1943 +/- 0.0010	-805.7 +/- 1.0 o/oo
444748	258_30	-6,7	-0,3	13000 +/- 50 BP	14955	14680-15175	19.8 +/- 0.1 pMC	0.1982 +/- 0.0012	-801.8 +/- 1.2 o/oo
444749	259_20-22	-6,2	1,7	15050 +/- 40 BP	17835	17665-17990	15.4 +/- 0.1 pMC	0.1536 +/- 0.0008	-846.4 +/- 0.8 o/oo
444750	259_26	0,1	4,2	16800 +/- 60 BP	19785	19580-20000	12.4 +/- 0.1 pMC	0.1235 +/- 0.0009	-876.5 +/- 0.9 o/oo
444758	260_08-10	-4,4	0,7	> 43500 BP			< 0.4 pMC	< 0.0044	< -995.6 o/oo
444751	260_10	-5,6	0,6	> 43500 BP			< 0.4 pMC	< 0.0044	< -995.6 o/oo
444752	260_28	-4,7	0,2	> 43500 BP			< 0.4 pMC	< 0.0044	< -995.6 o/oo

5. Discussão

5.1. Evolução Morfológica

O talude continental sul do Brasil é influenciado estruturalmente por forças halocinéticas. As formas irregulares observadas nos registros sísmicos e nos modelos digitais de terreno apresentam-se como resposta a um processo evolutivo de ascensão de um diápiro. Juntamente à halocinese, as formas de fundo são moldadas e influenciadas por forças oceanográficas, como erosão por interação com o sistema de correntes atuante na região, bem como processos deposicionais dominantes. Portanto, neste trabalho, propõe-se a caracterização dos diferentes estágios de evolução desta porção de talude do ponto de vista morfológico e estratigráfico (Figura 36) juntamente a um modelo evolutivo (Figura 35).

Estágio 1: Fundo

O estágio 1, representado pela figura 16, é caracterizado por apresentar o fundo marinho com sua morfologia plana e a estratificação plano-paralela preservada. Tal configuração pode estar associada ao fato da região apresentada estar fora de uma zona da interação do diápiro com o fundo.

Estágio 2: Fraturamento

O deslocamento e ascensão dos corpos de sal geram fraturas no pacote de sedimento em direção à superfície do diápiro (Schattner et al., 2016). Essas fraturas aumentam a permeabilidade acima do diápiro e condições favoráveis à migração de fluidos e escape de gás em direção à superfície de sedimentação são atingidas (Schattner et al., 2018). Em formato de células de drenagem, através das falhas, o gás migra em direção a superfície (Maia et al., 2016), como pode ser observado na Figura 17 e cujo o processo está representado no modelo evolutivo (Figura 35). Após o fraturamento, um abatimento da superfície de fundo é observado em decorrência de um enfraquecimento estrutural do terreno.

Estágio 3: Formação dos *pockmarks*

O escape contínuo ou repentino de gás, através das fraturas, é responsável pela formação de depressões, definidas como *pockmarks*. A associação com o escape e a formação das depressões pode ser observada na Figura 21, com a perturbação da estratigrafia pela percolação do gás, e na Figura 23, onde a subida do gás ocorre por fraturas entre um diápiro em sub-superfície e o *pockmark*. Uma variedade de formas e diferentes tamanhos foram

catalogadas desde 1970 (Chen et al., 2015). Neste levantamento, foram encontradas *pockmarks* que variam de dezenas a centenas de metros de extensão e profundidade, como pode ser observado nas Figuras 18, 19, 20 e 21. De acordo com a classificação pelo tamanho, proposta por Chen et al. (2015), os *pockmarks* deste estudo podem ser classificados desde *pockmarks* normais até mega-*pockmarks* (Figura 34).

Pockmarks de tamanhos variados são comuns ao redor do mundo, porém *pockmarks* gigantes e mega-*pockmarks* são raros e seus fatores de controle formação são pouco estudados (León et al., 2010; Wenau et al., 2017). Gigantes ou mega-*pockmarks* tem seu tamanho relacionado com explosões de gás catastróficas e de larga escala (Judd & Hovland, 2009; Lammers et al., 1995; Cole et al., 2000; Hill et al., 2004 apud. Chen et al., 2018). Estudos prévios sugerem que os mecanismos que controlam feições desta escala estão associados, dentro outros fatores, a falhas geradas pela tectônica de sal (Wenau et al., 2017).

Table 1						
Types	Circular pockmarks	Elliptical pockmarks	Crescent pockmarks	Comet pockmarks	Elongated pockmarks	Irregular pockmarks
Plan view

Table 2				
Magnitude of size	Meters	Dozens of meters	Hundreds of meters	Kilometers
Types	Small pockmarks	(Normal) pockmarks	Giant pockmarks	Mega-pockmarks

Table 3			
Composite pattern	Composite pockmarks	Pockmark strings	Pockmark group
Plan view

Figura 34: Classificação dos *pockmarks* com base nos tipos, magnitude de tamanho e padrão composto (Chen et al., 2015).

Além dos tamanhos variados, os *pockmarks* encontrados apresentaram formas diferentes. Foram encontradas *pockmarks* circulares e assimétricas, como na figura 18, indicando a interação destas feições com correntes de fundo (Schattner et al., 2016). O escape de gás não ocorre de maneira homogênea em sub-superfície, mas é dirigido a zonas de maior permeabilidade. As zonas de maior permeabilidade são representadas por cadeias de *pockmarks* (Figura 22) e podem indicar a distribuição de falhas de sub-superfície. Ainda neste estágio, o diápiro se localiza em sub-superfície, porém interfere na exposição das camadas

estratigráficas à medida que está em seu processo de ascensão. Essa exposição somada à disposição das cadeias de *pockmarks*, quando submetidos a interação com as correntes de fundo (Corrente do Brasil e Corrente de Contorno Intermediária (Schattner et al., 2016), não só alteram a forma individual dos *pockmarks*, mas é responsável pela formação de depressões alongadas ou canais contorníticos, definidos nos modelos A1(Figura 12), A2(Figura 13) e A3(Figura 14). Os canais contorníticos são mantidos pela ausência de deposição de sedimento em seu interior, pela canalização do fluxo de corrente, e deposição de sedimentos nas porções adjacentes, formando depósitos contorníticos (Schattner et al., 2018). A formação dos *pockmarks* pode ou não configurar o estágio final de evolução morfológica desta porção de talude. A continuidade deste processo está intrinsecamente ligada à sequência da atividade halocinética. Em caso de persistência do diapirismo, a interação dos corpos de sal com setores mais rasos do assoalho pode provocar o rompimento da superfície pelo diápiro e a morfologia de fundo novamente alterada, só que de maneira positiva. Em caso de interrupção da halocinese, os *pockmarks* passam a ser somente controlados por forçantes oceanográficas, como os processos deposicionais e hidrodinâmicos, como pode ser observado no modelo proposto por Ramos et al. (2019).

Estágio 4 e 5: Diápiro Emergente e Exumação

O processo de extensão controla o sistema de falhas provocadas pelo deslocamento dos corpos de sal e gera espaço (Fossen, 2012), por ser uma área de maior permeabilidade para a percolação do sal nas camadas estratigráficas mais rasas. À medida que este sistema ainda se mantém ativo, o diápiro tende a romper a superfície de sedimentação (Figuras 25, 26 e 27) até atingir seu equilíbrio geostático, ou seja, sem nenhuma tensão que provoque seu deslocamento. Durante o processo de ascensão, a taxa e a tendência de subida geram inconformidades e os estratos adjacentes ao diápiro, representado por R2, nas Figuras 25, 27 e 36, são deformados e acompanham o processo de subida (Giles & Rowan, 2012). Sendo assim, apresentam-se truncados à unidade sedimentar (área verde, Figura 36) sobrejacente e na orientação de subida do diápiro. Quando o equilíbrio é atingido, tem-se o processo de exumação de um diápiro (Figura 24), representado pelo estágio 5 no modelo proposto (Figura 35). As feições positivas geradas entram em contato com as correntes de fundo e comportam-se como obstáculos, acelerando o fluxo de correntes e contribuindo com a formação e manutenção das depressões alongadas/canais, definidas como depósitos contorníticos (Hernández-Molina et al., 2003; García et al., 2009), que podem ter início de formação durante o estágio 3. Os depósitos contorníticos podem ser identificados através de

uma elevação ao lado dos canais contorníticos (área verde Figura 36), que também são reconhecidos pelo padrão de deposição de R1, acompanhando a topografia de fundo adjacente ao diápiro (Figuras 25 e 27).

Figura 35: Modelo Evolutivo conceitual de uma porção de talude dominado por forças halocinéticas e oceanográficas.

Figura 36: Perfil Sísmico ilustrativo do processo evolutivo morfológico de uma porção do talude sul do Brasi

5.2. Faciologia

O MDT correspondente a área 3 (A3), permite dividir um setor da região de estudo em duas fácies (Figura 37). A primeira fácies, localizada entre as isóbatas de 590 e 640 m, mostra a disposição dos *pockmarks* associadas aos domos de sal expostos e distribuídos aleatoriamente. Como explicado no processo de evolução, existe uma ligação entre o processo de formação dos *pockmarks* e o diapirismo (Mahiques et al., 2017). Os *pockmarks* aleatórios podem não estar associados com a proximidade da superfície do diápiro, mas, sim, com o sistema de falhas gerado pela atividade halocínética na bacia. Em um trabalho realizado por Mahiques et al. (2017), é representada a disposição dos *pockmarks* em relação à geometria das falhas presentes na região (Figura 38), foi observada a correspondência das depressões com o mapeamento e com as bordas de diápiros emergentes (linhas vermelhas).

Figura 37: Representação faciológica do MDT do setor A3. Observam-se duas fácies predominantes. A primeira associada à disposição dos *pockmarks* em aglomerados. A segunda está relacionada com a deformação das depressões a partir de determinada isóbata, com feições assimétricas.

Ainda na facie 1, temos depressões alongadas, adjacentes ao diápiro, provavelmente originada pela interação do obstáculo oferecido com a corrente de fundo. Entretanto, o domínio de forma deste setor, são *pockmarks* circulares. Tal forma pode estar relacionada com a baixa interação das correntes de fundo com as depressões, de maneira que o contato do fluxo com os *pockmarks* não foi suficiente a ponto de alterar sua forma.

A facie 2, presente na região de isóbatas >640m, foi identificada pela presença de depressões assimétricas, na direção ortogonal às isóbatas, sugerindo a formação de um canal, e na direção ortogonal. As assimetrias podem ser decorrentes de dois processos distintos. Primeiro, a região inferior localiza-se numa área de quebra das isóbatas. Pilcher & Argent (2007) descreveram um novo arranjo de *pockmarks* alinhados baseado em fluxos de gravidade em áreas de instabilidade do talude. Esse arranjo começa com *pockmarks* pequenos e alinhados, na direção de descida, que tem suas dimensões alteradas, ao longo do tempo, em uma escala que impossibilitou a sua caracterização individual. Outro fator que pode influenciar na irregularidade das formas é o grau de interação da faixa de isóbatas de quebra do talude com as correntes de fundo dominantes. A interação do sistema de correntes com um dos flancos dos *pockmarks*, provoca a remobilização dos sedimentos e, portanto, sua deformação.

Figura 38: Esquema representativo do sistema de falhas de uma porção do campo de *pockmarks*. São representadas a distribuição das *pockmarks* em função da geometria das falhas e das zonas de diápiros emergentes (Linhas vermelhas) (Mahiques et al., 2017).

5.3. O Papel da Corrente do Brasil

O talude sul do Brasil é dominado por um padrão de sedimentação hemipelágica, onde os canais e cânions presentes na morfologia desta província são responsáveis pela chegada de sedimento terrígeno nas porções mais distais da margem (Ponzi, 2004). A distribuição granulométrica desta porção de talude é marcada por um padrão irregular, no qual são encontradas frações grossas, médias ou finas (Mahiques et al., 2004, Nagai et al., 2014). Em direção às regiões mais profundas, plataforma externa e talude, são encontrados depósitos de sedimentos mais grossos e baixas taxas de sedimentação. Tal distribuição deve-se à dinâmica da Corrente do Brasil, com movimentos de ressurgência e subsidência provocados pelo meandramento na isóbata de 200 metros que atua como uma enceradeira (Mahiques et al., 2004), impedindo a deposição de sedimento. A ausência de deposição de sedimento favorece a exposição de uma superfície relíquia, que pode ter sua idade comprovada pela idade dos sedimentos coletados e datados por radiocarbono fora dos *pockmarks*.

A interação da Corrente do Brasil com o padrão morfológico encontrado neste estudo, além de contribuir para a alteração da forma dos *pockmarks* e na criação de depressões alongadas, levanta uma questão importante sobre a distribuição de sedimentos de acordo com a mudança no padrão morfológico. Dentro dos *pockmarks*, foram encontrados sedimentos com características geoquímicas distintas, com uma assinatura terrígena mais pronunciada em relação aos sedimentos coletados fora dos *pockmarks*.

5.4. *Pockmarks* como armadilhas de sedimento

Considerando o estudo do tamanho do grão, uma análise discriminante foi realizada com as porcentagens obtidas das frações de areia, silte (muito grosso, grosso, médio, muito fino e fino) e argila. A representação dos dados (Figura 39) mostra uma divisão na classificação das amostras, onde 137 das 173 (79,9%) amostras analisadas foram classificadas no grupo esperado.

Figura 39: Análise Discriminante das amostras coletadas dentro e fora dos *pockmarks*, tendo como parâmetros as frações de Areia, Silte Muito Grosso, Silte Grosso, Silte Médio, Silte Fino, Silte Muito Fino e Argila.

Os escores obtidos através da análise mostram que o grupo classificado como não-*pockmark* está fortemente associado com os parâmetros de silte muito grosso e areia, enquanto que, o grupo de amostras coletadas dentro dos *pockmarks*, está associado às frações mais finas (silte muito fino e argila). Hammer et al. (2009) e Pau et al. (2013) propuseram um modelo para avaliar o padrão de sedimentação em função do fluxo para *pockmarks* rasas (5 centímetros abaixo da desembocadura) e afirmam que a fração mais fina tende a não ser depositada devido ao aumento da intensidade do fluxo e a ressuspensão do sedimento por meio de turbilhões. Os turbilhões, neste estudo, foram gerados a partir do aumento na velocidade do fluxo. Quanto maiores as velocidades de fluxo, turbilhões mais intensos ocupam as partes centrais do modelo de *pockmark* e uma componente vertical da velocidade ressuspende o sedimento mais fino impedindo sua deposição (Figura 40).

Figura 40: Esquema ilustrativo do modelo de deposição de sedimentos para *pockmarks* rasos e função da velocidade de fluxo. (Pau et al., 2013).

Os *pockmarks* analisados na área de estudo do presente trabalho apresentam dimensões quase 20 vezes maiores (em diâmetro e profundidade) das utilizadas pelo modelo de Pau et al., (2013), e sofrem a ação da Corrente do Brasil com fluxos de velocidade de $\sim 0.55 \pm 0.23 \text{ m s}^{-1}$ (Biló et al., 2014). Portanto, a geometria da feição é um fator determinante para a deposição de sedimentos finos dentro dos *pockmarks*. Um modelo proposto por Ramos et al. (n.d.) representa o padrão de deposição de sedimentos em *pockmarks* profundos (Figura 41). Os turbilhões conseguem interagir com as porções mais rasas da depressão, entretanto, a partir de certa profundidade, não há uma remobilização efetiva e o sedimento fino passa a ser depositado.

Figura 41: Modelo de deposição de sedimentos em função da interação com a corrente de fundo para *pockmarks* profundos (Ramos et al., n.d.).

A maior quantidade de matéria orgânica presente dentro dos *pockmarks*, representada no gráfico %COT versus $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (Figura 30), revela o baixo potencial de oxidação da matéria orgânica. A baixa degradação é devido à ausência de interação das correntes de fundo com o sedimento depositado. Essa baixa interação assemelha-se ao processo atuante na deposição das frações finas, onde a geometria do *pockmark*, principalmente a profundidade, aprisiona o sedimento.

Foi realizada uma Análise de Componentes Principais (ACP) com os elementos (Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Sc e Ti) e a %COT, através do método de correlação (Figura 42). Os valores de correlação entre os parâmetros estão na tabela 2. A componente 1, com uma variância que explica 54,4% dos dados, mostra-se associada a uma distribuição das amostras coletadas dentro dos *pockmarks*, as quais apresentam-se fortemente relacionadas aos elementos Mg, Al, K, Sc, Fe, Ba e Ti e ao teor de carbono orgânico. Os elementos correlacionados a %COT são de origem terrígena e podem estar associadas às frações mais finas do sedimento, sendo, assim, caracterizados como argilominerais. A componente 2 da ACP explica 23,2 % da variância e está associada aos elementos Ca e Sr, que apresentam a disposição de suas componentes contrária à dos demais elementos. Sendo assim, a ACP contribui com a afirmação de que os *pockmarks* agem como armadilhas naturais de sedimento fino e de origem terrígena.

Tabela 2: Valores de correlação de Pearson

	%COT	Al	Ba	Ca	Fe	K	Mg	Sc	Sr	Ti
%COT		0,02838	7,80E-08	5,44E-07	8,44E-06	6,66E-08	0,66545	0,0086324	1,49E-10	1,02E-08
Al	0,21298		1,67E-14	0,037604	5,97E-18	2,47E-14	1,29E-20	4,97E-44	0,4143	2,91E-15
Ba	0,49323	0,65865		0,0043435	5,80E-20	8,43E-14	2,13E-07	4,69E-12	0,0043361	7,40E-31
Ca	-0,46404	0,20225	-0,27492		0,82003	0,61262	7,24E-05	0,17117	2,38E-11	0,038163
Fe	0,4176	0,71638	0,74456	0,022359		1,39E-33	1,63E-09	8,58E-14	0,01245	5,94E-40
K	0,49548	0,65541	0,64507	-0,049739	0,86918		3,93E-05	1,46E-13	2,00E-05	1,38E-43
Mg	0,042483	0,75299	0,47846	0,37567	0,54432	0,38818		1,13E-16	0,25005	2,79E-06
Sc	0,2539	0,91972	0,60819	0,13391	0,64492	0,64031	0,69653		0,40932	8,72E-13
Sr	-0,57212	-0,080114	-0,27497	0,59181	-0,24199	-0,40143	0,1127	-0,080969		0,000452
Ti	0,52109	0,67253	0,85102	-0,20167	0,90302	0,91806	0,43718	0,62423	-0,33477

Figura 42: Análise de Componentes Principais realizada entre os elementos Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Sc e Ti e o teor de %COT.

5.5. A Origem do Sedimento

Em termos de matéria orgânica, os dados de isótopo de carbono, apesar de apresentarem uma diferença significativa entre as estações, pelo teste de Kruskal-Wallis, não foi possível diferenciar, em termos composicionais a diferença na fonte. Essa observação pode estar relacionada ao fato de a origem da matéria orgânica ser a mesma, porém sua quantidade diferente, em maior quantidade dentro dos *pockmarks*, em consequência dos níveis de oxidação baixos dentro das depressões. A ACP realizada anteriormente, representada pela figura 29, mostra uma forte correlação entre os elementos Ti, Fe, Al, K, Sc, Ba e Mg, na componente 1, enquanto que Ca e Sr apresentam-se relacionados a componente 2 e fortemente correlacionados entre si.

Ti, Fe e Al são elementos relacionados com os alumino silicatos, que estão associados com os argilominerais carregados do continente como um produto do processo de intemperismo, e, através da descarga de rios, chegam aos oceanos (Goldberg & Arrhenius, 1958; Jansen et al., 1998; Yarincik et al., 2000). A maior concentração de K no ambiente marinho está associada com sedimentos de origem terrígena (Goldberg and Arrhenius, 1958). De acordo com Govin et al. (2012), sua ocorrência está associada a ambientes predominantemente áridos, com baixas taxas de intemperismo químico. A oposição entre Ca e Sr, com os demais elementos pode estar associada à diferença em suas origens, e consequentemente, na fonte do sedimento depositado. O Sr apresenta uma maior concentração

no oceano quando comparada com águas doces (Albuquerque, 2008), podendo ser usado como um indicador de ambiente marinho. O Ca representa a quantidade de carbonato presente no sedimento (Peterson et al., 2000; Bozzano et al., 2002; Govin et al., 2012) e está associado com a produtividade local marinha (Haug et al., 2001; Gonzalez-Mora & Sierro, 2007). Uma análise geoquímica através das razões elementares $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Ca})$ e $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{Ca})$ foi realizada a fim de avaliar a contribuição terrígena no aporte de sedimento. O gráfico de dispersão representado pela Figura 31 mostra um deslocamento das amostras coletadas dentro dos *pockmarks* na região onde são encontrados os maiores valores de ambas razões, afirmando uma maior contribuição de fonte terrígena na composição do sedimento.

Mais do que a assinatura terrígena, a composição elementar permite a diferenciação do sedimento no nível de localização da rocha intemperizada no embasamento continental. As razões Fe/K e Ti/Al foram utilizadas na América do Sul para refletir o grau de intemperismo em áreas com baixa influência de aporte eólico (Govin et al., 2012), como é o caso do Rio da Prata (Mahowald et al., 2006). A média da razão $\text{Ln}(\text{Fe}/\text{K})$ dos sedimentos coletados dentro e fora dos *pockmarks* apresenta valores, respectivamente, de $0,62 \pm 0,22$ e $0,79 \pm 0,19$ (que se assemelha a valores apresentados por Govin et al., 2012 para a latitude de 24°S na América do Sul. Esse valor representa uma mistura de fonte de sedimento proveniente do Rio da Prata e da região dos Pampas (Razik et al., 2015). Entretanto, a diferença significativa entre as razões elementares das duas províncias não justifica a diferença de fontes. Esse comportamento pode estar associado a diferenças nas condições de intemperismo ao longo do tempo, que podem ser reforçadas pela diferença de idade dos sedimentos dentro e fora dos *pockmarks* (Ramos et al., n.d).

A razão $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Al})$ é utilizada para comparar a proporção entre o transporte fluvial (altos valores de Ti/Al) e o transporte eólico (baixos valores de Ti/Al) (Govin et al., 2012). Entretanto, como a região de estudo não apresenta regimes eólicos dominantes nas redondezas continentais, essa razão pode ser utilizada como um *proxy* para intensidade de corrente. Os valores de $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Al})$ obtidos para sedimentos coletados dentro e fora dos *pockmarks*, possuem uma média de, respectivamente, $-2,32 \pm 0,74$ e $-2,41 \pm 0,40$. Govin et al. (2012) propõem valores intermediários de $\text{Ln}(\text{Ti}/\text{Al})$ para sedimentos coletados na pluma do Rio da Prata, de $-2,73 \pm 0,09$. Sendo assim, os valores maiores para a razão Ti/Al deste trabalho podem estar associados a um enriquecimento de Ti devido ao processo de intemperismo de rochas máficas, como o basalto. Os valores obtidos para as amostras dentro e fora dos *pockmarks* se assemelham a valores encontrados por Martin & Meybeck (1979), com razão de

-2,42 e Depetris et al. (2003), razão de 2.56 ± 0.33 . Esses valores representam uma assinatura proveniente do embasamento do Paraná. Do ponto de vista do transporte, a diferença nas médias pode indicar uma variação na intensidade do regime de correntes.

A razão $\text{Ln}(\text{Mg}/\text{Al})$ também está relacionada com fontes ligadas ao intemperismo. Os altos valores da razão (Figura 32) indicam um aumento da entrada detrítica de caulinita e dolomita ricas em Mg (Martín-Puertas et al., 2010). As médias obtidas para o sedimento coletado dentro do *pockmark* é inferior à média das amostras coletadas fora. Tal explicação pode estar na diferença significativa na idade do sedimento. Ou seja, em períodos distintos do processo deposicional, a intensidade do intemperismo também comportou-se de maneira distinta.

6. Conclusões

Através da análise dos resultados obtidos pelos dados geoquímicos e geofísicos foi possível reconhecer que o talude sul do Brasil é dominado por forças tectônicas e oceanográficas. Dada a configuração morfológica do talude, submetido a um processo evolutivo halocinético, a distribuição dos sedimentos e a hidrodinâmica da área de estudo respondem de maneiras distintas a mudança de forma do campo de *pockmarks*.

Do ponto de vista geomorfológico:

- O talude Sul do Brasil é fortemente influenciado por uma força tectônica, descrita por processos halocinéticos. O processo de diapirismo submete o terreno à um processo evolutivo morfológico, no qual inicia-se com uma forma de fundo preservada, seguida de um fraturamento do pacote sedimentar em decorrência da movimentação dos corpos de sal em sub-superfície. Esse fraturamento possibilita o escape de gás aumenta a permeabilidade do sedimento formando os *pockmarks*. Com a continuidade da atividade halocinética, o diápiro pode romper a superfície de sedimentação, como um diápiro emergente, podendo chegar ao seu nível máximo de exposição, que é definido como diápiro exumado;
- Juntamente aos processos halocinéticos, as forças oceanográficas moldam o talude em relação a sua forma. A interação dos *pockmarks* e diápiros expostos com a Corrente do Brasil e a Corrente de Contorno intermediária é responsável pela variedade nas formas circulares e elípticas das depressões estudadas. Além disso, essa interação promove a formação de depressões alongadas, que não recebem aporte de sedimento e que são mantidas pelo intenso fluxo gerado no contato entre a corrente e os diápiros expostos.
- Foram observados dois padrões faciológicos no talude: o primeiro marcado pela força tectônica, associada ao diápiros e sua dinâmica interna e o outro, associado ao domínio hidrodinâmico.

Do ponto de vista estratigráfico:

- Foi reconhecida a ligação genética entre o diapirismo e o processo de formação dos *pockmarks*. Essa ligação é realizada através das fraturas geradas pela halocinese e do escape de gás por meio delas.

- Foram observados dois momentos de deposição durante o processo de ascensão de um diápiro. O primeiro, marcado pelo truncamento dos refletores em direção ao flanco durante a subida de um diápiro (R2) e o segundo, da formação de depósitos contorníticos (R1), provenientes da dinâmica entre o sedimento e o fluxo de corrente dentro das depressões alongadas e que impediam a deposição de sedimento interna.

Do ponto de vista sedimentológico

- Os *pockmarks* funcionam como armadilhas naturais de sedimento. O aprisionamento de sedimento foi identificado pela predominância de sedimentos finos com assinatura terrígena em seu interior comparado com os sedimentos coletados em porções mais rasas dos *pockmarks* e fora das depressões, que possuem um padrão de sedimentação carbonática com tamanho de grão mais grosso.

7. Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, C. Q. (2008). *Bionomia da corvina Micropogonias furnieri no extremo sul de sua área de ocorrência, através da análise química de otólitos* (Doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio Grande).
- ASMUS, H. E., & PONTE, F. C. (1973). The Brazilian marginal basins. **In** *The South Atlantic* (pp. 87-133). Springer, Boston, MA.
- BARTON, D. C. (1933). Mechanics of formation of salt domes with special reference to Gulf Coast salt domes of Texas and Louisiana. *AAPG Bulletin*, 17(9), 1025-1083.
- BILÓ, T. C., da Silveira, I. C. A., Belo, W. C., de Castro, B. M., & Piola, A. R. (2014). Methods for estimating the velocities of the Brazil Current in the pre-salt reservoir area off southeast Brazil (23° S–26° S). *Ocean Dynamics*, 64(10), 1431-1446.
- BOLTOVSKOY, E., BOLTOVSKOY, D., CORREA, N., & BRANDINI, F. (1996). Planktic foraminifera from the southwestern Atlantic (30–60 S): species-specific patterns in the upper 50 m. *Marine micropaleontology*, 28(1), 53-72.
- BOZZANO, G., KUHLMANN, H., & ALONSO, B. (2002). Storminess control over African dust input to the Moroccan Atlantic margin (NW Africa) at the time of maxima boreal summer insolation: a record of the last 220 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183(1-2), 155-168.
- BROTHERS, L. L., KELLEY, J. T., BELKNAY, D. F., BARNHARDT, W. A., ANDREWS, B. D., & MAYNARD, M. L. (2011). More than a century of bathymetric observations and present-day shallow sediment characterization in Belfast Bay, Maine, USA: implications for pockmark field longevity. *Geo-Marine Letters*, 31(4), 237-248.
- BROTHERS, L. L., KELLEY, J. T., BELKNAP, D. F., BARNHARDT, W. A., ANDREWS, B. D., LEGERE, C., & CLARKE, J. E. H. (2012). Shallow stratigraphic control on pockmark distribution in north temperate estuaries. *Marine Geology*, 329, 34-45.
- CALDAS, M. F., & ZALÁN, P. V. (2009). Reconstituição cinemática e tectono-sedimentação associada a domos salinos nas águas profundas da Bacia de Santos, Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 17(2), 227-248.

- CAMBOA, L. A. P., & RABINOWITZ, P. D. (1984). The evolution of the Rio Grande Rise in the southwest Atlantic Ocean. *Marine Geology*, 58(1-2), 35-58.
- CAMPOS, C. W. M., PONTE, F. C., & MIURA, K. (1974). Geology of the Brazilian continental margin. In *The geology of continental margins* (pp. 447-461). Springer, Berlin, Heidelberg.
- CAMPOS, E. J., LENTINI, C. A., MILLER, J. L., & PIOLA, A. R. (1999). Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil Bight. *Geophysical Research Letters*, 26(14), 2061-2064.
- CASTRO, B. D., LORENZZETTI, J. A., SILVEIRA, I. D., & MIRANDA, L. D. (2006). Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) eo Chuí (RS). *O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região -sul do Brasil*. EDUSP, São Paulo, 11-120.
- CHEN, J., SONG, H., GUAN, Y., YANG, S., PINHEIRO, L. M., BAI, Y., ... & GENG, M. (2015). Morphologies, classification and genesis of *pockmarks*, mud volcanoes and associated fluid escape features in the northern Zhongjiannan Basin, South China Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 122, 106-117.
- CHEN, J., SONG, H., GUAN, Y., PINHEIRO, L. M., & GENG, M. (2018). Geological and oceanographic controls on seabed fluid escape structures in the northern Zhongjiannan Basin, South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 168, 38-47.
- CIRANO, M., MATA, M. M., CAMPOS, E. J., & DEIRÓ, N. F. (2006). A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação global OCCAM. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(2), 209-230.
- COLE, D., STEWART, S. A., & CARTWRIGHT, J. A. (2000). Giant irregular pockmark craters in the Palaeogene of the outer Moray Firth basin, UK North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 17(5), 563-577.
- da SILVA, I. C. A., SCHMIDT, A. C. K., CAMPOS, E. J. D., de GODOI, S. S., & IKEDA, Y. (2000). A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Rev. Bras. Ocean*, 48(2), 171-183.

- de MAHIQUES, M. M., TESSLER, M. G., CIOTTI, A. M., da SILVEIRA, I. C. A., e SOUSA, S. H. D. M., FIGUEIRA, R. C. L., ... & PASSOS, R. F. (2004). Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. *Continental Shelf Research*, 24(15), 1685-1697.
- de MAHIQUES, M. M., WAINER, I. K. C., BURONE, L., NAGAI, R., e SOUSA, S. H. D. M., FIGUEIRA, R. C. L., ... & HAMMER, Ø. (2009). A high-resolution Holocene record on the Southern Brazilian shelf: paleoenvironmental implications. *Quaternary International*, 206(1-2), 52-61.
- de MAHIQUES, M. M., SCHATTNER, U., LAZAR, M., SUMIDA, P. Y. G., & de SOUZA, L. A. P. (2017). An extensive pockmark field on the upper Atlantic margin of Southeast Brazil: spatial analysis and its relationship with salt diapirism. *Heliyon*, 3(2), e00257.
- de SOUZA, R. B., & ROBINSON, I. S. (2004). Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. *Continental Shelf Research*, 24(2), 241-262.
- DEPETRIS, P. J., PROBST, J. L., PASQUINI, A. I., & GAIERO, D. M. (2003). The geochemical characteristics of the Paraná River suspended sediment load: an initial assessment. *Hydrological Processes*, 17(7), 1267-1277.
- dos SANTOS, R. F., NAGAOKA, D., RAMOS, R. B., SALAROLI, A. B., TANIGUCHI, S., FIGUEIRA, R. C. L., ... & de MAHIQUES, M. M. (2018). Metal/Ca ratios in *pockmarks* and adjacent sediments on the SW Atlantic slope: Implications for redox potential and modern seepage. *Journal of Geochemical Exploration*, 192, 163-173.
- DRISCOLL, N., & UCHUPI, E. (1997). The importance of gas and groundwater seepage in landscape and seascape evolution. *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 13(1), 35-48.
- FERREIRA, F., LEIPNITZ, I. I., VICALVI, M. A., & SANJINÉSS, A. E. S. (2012). Zoneamento paleoclimático do Quaternário da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 15(2), 173-188.
- FOSSEN, H. (2012). Geologia estrutural. *São Paulo: Oficina dos textos*.
- FRAZÃO, E., & VITAL, H. (2007). Estruturas rasas de gás em sedimentos no estuário Potengi (nordeste do Brasil). *Revista Brasileira de Geofísica*, 25, 17-26.

- GARCÍA, M., HERNÁNDEZ-MOLINA, F. J., LLAVE, E., STOW, D. A. V., LEÓN, R., FERNÁNDEZ-PUGA, M. C., ... & SOMOZA, L. (2009). Contourite erosive features caused by the Mediterranean Outflow Water in the Gulf of Cadiz: Quaternary tectonic and oceanographic implications. *Marine Geology*, 257(1-4), 24-40.
- GAY, A., LOPEZ, M., COCHONAT, P., SÉRANNE, M., LEVACHÉ, D., & SERMONDADAZ, G. (2006). Isolated seafloor *pockmarks* linked to BSRs, fluid chimneys, polygonal faults and stacked Oligocene–Miocene turbiditic palaeochannels in the Lower Congo Basin. *Marine Geology*, 226(1-2), 25-40.
- GE, H., JACKSON, M. P., & VENDEVILLE, B. C. (1997). Kinematics and dynamics of salt tectonics driven by progradation. *AAPG bulletin*, 81(3), 398-423.
- GILES, K. A., & ROWAN, M. G. (2012). Concepts in halokinetic-sequence deformation and stratigraphy. *Geological Society. London, Special Publications*, 363(1), 7-31.
- GOLDBERG, E. D., & ARRHENIUS, G. O. S. (1958). Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 13(2-3), 153-212.
- GOZÁLEZ MORA, B., & SIERRO, F. J. (2007). Caracterización geoquímica de las capas ricas en materia orgánica registradas durante el estadio isotópico marino 7 en el Mar de Alborán (Mediterráneo occidental).
- GOVIN, A., HOLZWARTH, U., HESLOP, D., FORD KEELING, L., Zabel, M., MULITZA, S., ... & CHIESSI, C. M. (2012). Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°N–49°S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(1).
- HAMMER, Ø., WEBB, K. E., & DEPREITER, D. (2009). Numerical simulation of upwelling currents in *pockmarks*, and data from the Inner Oslofjord, Norway. *Geo-Marine Letters*, 29(4), 269-275.
- HARRINGTON, P. K. (1985). Formation of *pockmarks* by pore-water escape. *Geo-Marine Letters*, 5(3), 193-197.
- HAUG, G. H., HUGUEN, K. A., SIGMAN, D. M., PETERSON, L. C., & RÖHL, U. (2001). Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*, 293(5533), 1304-1308.

- HENRY, S. G., BRUMBAUGH, W. M., & CAMERON, N. (1995, August). Pre-salt source rock development on Brazil's conjugate margin: West African examples. In **4th International Congress of the Brazilian Geophysical Society**.
- HERNÁNDEZ-MOLINA, J., LLAVE, E., SOMOZA, L., FERNÁNDEZ-PUGA, M. C., MAESTRO, A., LEJON, R., ... & FERNÁNDEZ-SALAS, L. M. (2003). Looking for clues to paleoceanographic imprints: a diagnosis of the Gulf of Cadiz contourite depositional systems. **Geology**, 31(1), 19-22.
- HILL, J. C., DRISCOLL, N. W., WEISSEL, J. K., & GOFF, J. A. (2004). Large-scale elongated gas blowouts along the US Atlantic margin. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 109(B9).
- HUBBERT, M. K. (1951). Mechanical basis for certain familiar geologic structures. **GSA Bulletin**, 62(4), 355-372.
- INGRASSIA, M., MARTORELLI, E., BOSMAN, A., MACELLONI, L., SPOSATO, A., & CHIOCCI, F. L. (2015). The Zannone Giant Pockmark: First evidence of a giant complex seeping structure in shallow-water, central Mediterranean Sea, Italy. **Marine Geology**, 363, 38-51.
- JANSEN, J. H. F., VAN DER GAAST, S. J., KOSTER, B., & VAARS, A. J. (1998). CORTEX, a shipboard XRF-scanner for element analyses in split sediment cores. **Marine Geology**, 151(1-4), 143-153.
- JENYON, M. K. (1985). Basin-edge diapirism and updip salt flow in Zechstein of southern North Sea. **AAPG Bulletin**, 69(1), 53-64.
- JOHNS, W. E., LEE, T. N., BEARDSLEY, R. C., CANDELA, J., LIMEBURNER, R., & CASTRO, B. (1998). Annual cycle and variability of the North Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, 28(1), 103-128.
- JUDD, A. G., HOVLAND, M., DIMITROV, L. I., GARCIA GIL, S., & JUKES, V. (2002). The geological methane budget at continental margins and its influence on climate change. **Geofluids**, 2(2), 109-126.
- JUDD, A. G. (2004). Natural seabed gas seeps as sources of atmospheric methane. **Environmental Geology**, 46(8), 988-996.

- JUDD, A. G., & HOVLAND, M. (1992). The evidence of shallow gas in marine sediments. *Continental Shelf Research*, 12(10), 1081-1095.
- JUDD, A., & HOVLAND, M. (2009). *Seabed fluid flow: the impact on geology, biology and the marine environment*. Cambridge University Press.
- KELLEY, J. T., DICKSON, S. M., BELKNAP, D. F., BARNHARDT, W. A., & HENDERSON, M. (1994). Giant sea-bed *pockmarks*: evidence for gas escape from Belfast Bay, Maine. *Geology*, 22(1), 59-62.
- KHANDRICHE, A., & WERNER, F. (1996). Freshwater induced *pockmarks* in Bay of Eckernförde, western Baltic. *Oceanographic Literature Review*, 2(43), 140.
- KING, L. H., & MACLEAN, B. R. I. A. N. (1970). *pockmarks* on the Scotian shelf. *Geological Society of America Bulletin*, 81(10), 3141-3148.
- KOWSMANN, R. O., & ATAIDE COSTA, M. P. D. (1979). *Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes: relatório final* (No. 551.4 PRO).
- KOWSMANN, R. O., & de CARVALHO, M. D. (2002). Erosional event causing gas-venting on the upper continental slope, Campos Basin, Brazil. *Continental Shelf Research*, 22(16), 2345-2354.
- KUMAR, N., & GAMBOA, L. A. P. (1979). Evolution of the Sao Paulo Plateau (southeastern Brazilian margin) and implications for the early history of the South Atlantic. *Geological Society of America Bulletin*, 90(3), 281-293.
- LAMMERS, S., SUESS, E., & HOVLAND, M. (1995). A large methane plume east of Bear Island (Barents Sea): implications for the marine methane cycle. *Geologische Rundschau*, 84(1), 59-66.
- LASTRAS, G., ARZOLA, R. G., MASSON, D. G., WYNN, R. B., HUVENNE, V. A. I., HÜHNERABCH, V., & CANALS, M. (2009). Geomorphology and sedimentary features in the Central Portuguese submarine canyons, Western Iberian margin. *Geomorphology*, 103(3), 310-329.

- LEÓN, R., SOMOZA, L., MEDIALDEA, T., MAESTRO, A., DÍAZ-DEL-RÍO, V., & del CARMEN FERNÁNDEZ-PUGA, M. (2006). Classification of sea-floor features associated with methane seeps along the Gulf of Cádiz continental margin. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53(11-13), 1464-1481.
- LEYDEN, R. (1976). Salt distribution and crustal models for the eastern Brazilian margin. Geodynamics project, scientific report no. 19. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*.
- MAIA, A. R., CARTWRIGHT, J., & ANDERSEN, E. (2016). Shallow plumbing systems inferred from spatial analysis of pockmark arrays. *Marine and Petroleum Geology*, 77, 865-881.
- MARTIN, J. M., & MEYBECK, M. (1979). Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine chemistry*, 7(3), 173-206.
- MARTÍN-PUERTAS, C., JIMÉNEZ-ESPEJO, F., MARTÍNEZ-RUIZ, F., NIETO-MORENO, V., RODRIGO, M., MATA, M. P., & VALERO-GARCÉS, B. L. (2010). Late Holocene climate variability in the southwestern Mediterranean region: an integrated marine and terrestrial geochemical approach. *Climate of the Past*, 6(6), 807-816.
- MATSUURA, Y. (1986). Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Ciência e cultura*, 38, 1439-1447.
- MIRANDA, L. B. D. (1982). Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: cabo de São Tome (RJ) a Ilha de São Sebastiao (SP).
- MOHRIAK, W. U., MACEDO, J. M., CASTELLANI, R. T., RANGEL, H. D., BARROS, A. Z. N., LATGÉ, M. A. L., ... & AIRES, J. R. (1995). Salt tectonics and structural styles in the deep-water province of the Cabo Frio region, Rio de Janeiro, Brazil.
- MOHRIAK, W. U. (2003). Bacias sedimentares da margem continental Brasileira. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil, 2003*, 87-165.
- MOHRIAK, W. U. (2005). Interpretação geológica e geofísica da Bacia do Espírito Santo e da região de Abrolhos: Petrografia, datação radiométrica e visualização sísmica das rochas vulcânicas. *Bol. Geocienc. Petrobras*, 14(1), 133-142.

- MOHRIAK, W., SZATMARI, P., & ANJOS, S. M. C. (2009). Sal: Geologia e Tectônica; Exemplos nas Bacias Brasileiras. *Terrae Didática*, 4(1), 90-91.
- MOUNTJOY, J. J., BARNES, P. M., & PETTINGA, J. R. (2009). Morphostructure and evolution of submarine canyons across an active margin: Cook Strait sector of the Hikurangi Margin, New Zealand. *Marine Geology*, 260(1-4), 45-68.
- MOREIRA, J. L. P., MADEIRA, C. V., GIL, J. A., & MACHADO, M. A. P. (2007). Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 15(2), 531-549.
- MÜLLER, T. J., IKEDA, Y., ZANGENBERG, N., & NONATO, L. V. (1998). Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20 S and 28 S. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C3), 5429-5437.
- NAGAI, R. H., SOUSA, S. H. D. M., BURONE, L., & MAHIQUES, M. M. D. (2009). Paleoproductivity changes during the Holocene in the inner shelf of Cabo Frio, southeastern Brazilian continental margin: Benthic foraminifera and sedimentological proxies. *Quaternary International*, 206(1-2), 62-71.
- NAGAI, R. H., FERREIRA, P. A., MULKHERJEE, S., MARTINS, M. V., FIGUEIRA, R. C. L., SOUSA, S. H. M., & MAHIQUES, M. M. (2014). Hydrodynamic controls on the distribution of surface sediments from the southeast South American continental shelf between 23 S and 38 S. *Continental shelf research*, 89, 51-60.
- NAGAOKA, D. (2018). *Caracterização Geoquímica Orgânica em Sedimentos presentes nos pockmarks e Diápiros do Talude Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- PAPATERRA, G. E. Z. (2010). Pré-sal: conceituação geológica sobre uma nova fronteira exploratória no Brasil. *Master thesis, UFRJ*.
- PAU, M., & HAMMER, Ø. (2013). Sediment mapping and long-term monitoring of currents and sediment fluxes in *pockmarks* in the Oslofjord, Norway. *Marine Geology*, 346, 262-273.
- PEREIRA, M. J., BARBOSA, C. M., AGRA, J., GOMES, J. B., ARANHA, L. G. F., SAITO, M., ... & BAGNI, O. (1986). Estratigrafia da Bacia de Santos: análise das seqüências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica. In *Congresso Brasileiro de Geologia* (Vol. 34, No. 1, pp. 65-79).

- PEREIRA M.J. & FEIJÓ F.J. (1994). Bacia de Santos Estratigrafia das Bacias Sedimentares do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8, 219-234.
- PETERSON, L. C., HAUG, G. H., HUGHEN, K. A., & RÖHL, U. (2000). Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during the last glacial. *Science*, 290(5498), 1947-1951.
- PILCHER, R., & ARGENT, J. (2007). Mega-pockmarks and linear pockmark trains on the West African continental margin. *Marine Geology*, 244(1-4), 15-32.
- PONZI, V. R. A. (2004). Sedimentação marinha. BAPTISTA NETO, JA, PONZI, VR A., SICHEL, SE *Introdução à Geologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciência*, 219-241.
- RAMOS, R. B., dos SANTOS, R. F., SCHATTNER, U., FIGUEIRA, R. C. L., BÍCEGO, M.C., LOBO, F.J., de MAHIQUES, M.M. (n.d). *pockmarks* as natural traps: a case study from the SW Atlantic slope.
- RAZIK, S., GOVIN, A., CHIESSI, C. M., & VON DOBENECK, T. (2015). Depositional provinces, dispersal, and origin of terrigenous sediments along the SE South American continental margin. *Marine Geology*, 363, 261-272.
- RIBOULOT, V., CATTANEO, A., SULTAN, N., GARZIGLIA, S., KER, S., IMBERT, P., & VOISSET, M. (2013). Sea-level change and free gas occurrence influencing a submarine landslide and pockmark formation and distribution in deepwater Nigeria. *Earth and Planetary Science Letters*, 375, 78-91.
- ROCHA, J.M.; MILLIMAN, J.D.; SANTANA, C.I. & VICALVI, M.A. (1975). Southern Brazil. In: *Contributions to Sedimentology*, Upper continental margin sedimentation off Brazil, Stuttgart, v.4, p.117-150.
- SCANLON, K. M., & KNEBEL, H. J. (1989). *pockmarks* in the floor of Penobscot Bay, Maine. *Geo-Marine Letters*, 9(1), 53-58.
- SCHATTNER, U., LAZAR, M., SOUZA, L. A. P., TEN BRINK, U., & de MAHIQUES, M. M. (2016). *Pockmark* asymmetry and seafloor currents in the Santos Basin offshore Brazil. *Geo-Marine Letters*, 36(6), 457-464.
- SCHATTNER, U., LOBO, F. J., GARCÍA, M., KANARI, M., RAMOS, R. B., & de MAHIQUES, M. M. (2018). A detailed look at diapir piercement onto the ocean floor: New evidence from Santos Basin, offshore Brazil. *Marine Geology*, 406, 98-108.

- STANTON, N. (2009). *Caracterização Crustal da Margem Sudeste Brasileira através de magnetometria e suas implicações tectônicas* (Doctoral dissertation, PhD Thesis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 170 p.(in Portugues)).
- STRAMMA, L., & PETERSON, R. G. (1990). The south atlantic current. *Journal of Physical Oceanography*, 20(6), 846-859.
- STUIVER, M., & BRAZIUNAS, T. F. (1993). Modeling atmospheric ^{14}C influences and ^{14}C ages of marine samples to 10,000 BC. *Radiocarbon*, 35(1), 137-189.
- STUIVER M, REIMER PJ, REIMER RW (2018) CALIB 7.1 [WWW program] at <http://calib.org>, accessed 2018-8-28. In:
- VENDEVILLE, B. C., & JACKSON, M. P. (1992). The rise of diapirs during thin-skinned extension. *Marine and Petroleum Geology*, 9(4), 331-354.
- WAINER, I., & VENEGAS, S. A. (2002). South Atlantic multidecadal variability in the climate system model. *Journal of Climate*, 15(12), 1408-1420.
- WENAU, S., SPIEBß, V., PAPE, T., & FEKETE, N. (2017). Controlling mechanisms of giant deep water *pockmarks* in the Lower Congo Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 83, 140-157.
- WILDISH, D. J., AKAGI, H. M., MCKEOWN, D. L., & POHLE, G. W. (2008). *pockmarks* influence benthic communities in Passamaquoddy Bay, Bay of Fundy, Canada. *Marine Ecology Progress Series*, 357, 51-66.
- YARINCIK, K. M., MURRAY, R. W., LYONS, T. W., PETERSON, L. C., & HAUG, G. H. (2000). Oxygenation history of bottom waters in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578,000 years: Results from redox-sensitive metals (Mo, V, Mn, and Fe). *Paleoceanography*, 15(6), 593-604.
- ZEMBRUSCKI, S. G., & CHAVES, H. A. F. (1979). Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes.

8. Anexos

Tabela 3: Resultados obtidos de %CaCO₃, %COT e $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$.

Estações	Grupo	Prof. (cm)	% CaCO ₃	% COT	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$
249	Substrato	0	32,195	0,433	-21,718
		1	29,235	0,394	-20,276
		3	28,198	0,400	-20,951
		5	29,977	0,564	-20,851
		7	30,153	0,244	-22,667
		9	56,864	0,148	-22,214
		11	32,139	0,538	-20,621
		13	30,500	0,319	ND
		15	31,669	0,319	-21,058
		17	31,339	0,387	-21,855
		19	29,737	0,253	-22,113
		21	30,845	0,212	-20,762
250	Diápiro	0	53,300	0,304	-20,950
		1	25,432	0,551	-21,062
		3	46,038	0,382	-21,033
		5	45,222	0,367	-21,405
		7	47,513	0,330	-21,692
		9	47,130	0,372	-21,934
		11	47,470	0,292	-21,859
		13	44,338	0,271	-22,163
		15	44,193	0,190	-22,391
		17	46,442	0,285	-20,557
		19	43,171	0,333	-21,627
253	Pockmark	0	33,447	0,877	-21,360
		1	32,234	0,739	-21,225
		3	33,099	0,560	-20,424
		5	32,369	0,643	-21,044
		7	25,684	0,566	-21,321
		9	26,745	0,618	-21,291
		11	25,740	0,592	-21,554
		13	26,634	0,645	-20,523

		15	31,714	0,725	-20,672
		17	30,496	0,606	-21,596
		19	31,370	0,704	-20,846
		21	29,783	0,564	-21,916
		23	27,024	0,306	-21,305
		25	26,664	0,612	-21,160
		27	29,698	0,612	-21,225
		29	28,676	0,417	-21,975
		31	30,705	0,613	-21,395
		Camada Óxica	12,377	0,564	-21,485
		Camada Anóxica	11,754	0,578	-22,448
		0	25,960	0,924	-20,913
		1	25,899	0,976	-21,042
		3	20,141	0,679	-20,364
		5	23,138	0,677	-19,895
		7	25,102	0,744	-21,009
		9	24,680	0,778	-20,696
		11	25,136	0,801	-20,601
		13	24,886	0,689	-20,855
		15	23,526	0,656	-20,620
		17	25,641	0,619	-21,062
		19	24,031	0,720	-21,374
254	Pockmark	21	25,779	0,557	-20,043
		23	25,171	0,769	-20,791
		25	24,809	0,784	-21,144
		27	24,198	0,747	-20,190
		29	24,782	0,733	-21,084
		31	32,065	0,578	-21,422
		33	27,619	0,707	-21,280
		35	29,050	0,569	-21,579
		37	25,398	0,618	-20,838
		39	28,547	0,542	-21,638
		0	41,341	0,710	-21,568
		1	38,607	0,554	-21,431
255	Substrato	3	38,974	0,493	-21,255
		5	35,999	0,477	-21,591

		7	36,668	0,403	-21,205
		9	37,212	0,410	-21,378
		11	36,310	0,430	-21,640
		13	39,393	0,458	-20,538
		15	42,023	0,476	-21,406
		17	37,863	0,428	-21,356
		19	39,077	0,608	-21,409
		21	38,615	0,377	-20,386
		23	41,532	0,522	-21,668
		0	49,897	0,519	-21,424
		1	46,839	0,421	-21,523
		3	44,333	0,475	-20,332
		5	37,072	0,386	-21,191
		7	44,655	0,475	-21,236
		9	41,971	0,504	-22,321
		11	45,196	0,310	-20,307
		13	35,604	0,474	-21,105
		15	40,549	0,384	-21,061
256	Substrato	17	24,384	0,521	-21,219
		19	27,320	0,340	-20,628
		21	19,668	0,580	-21,471
		23	22,666	0,513	-21,586
		25	20,848	0,515	-21,733
		27	19,662	0,442	-22,268
		29	19,129	0,514	-21,850
		31	19,373	0,505	-21,474
		0	27,013	1,046	-21,120
		1	25,648	0,691	-20,978
		3	25,788	0,718	-20,145
		5	26,974	0,742	-20,809
		7	25,390	0,887	-20,219
		9	26,135	0,660	-20,439
257	Pockmark	11	25,675	0,891	-20,227
		13	25,786	0,914	-20,671
		15	28,546	0,739	-20,549
		17	28,242	0,735	-20,143
		19	27,942	0,658	-20,220

		21	25,146	0,864	-20,682
		23	25,432	0,709	-21,160
		25	27,259	0,611	-20,273
		27	25,930	0,742	-21,417
		29	27,433	0,701	-21,366
258	Substrato	0	42,628	0,615	-21,175
		1	40,650	0,455	-20,498
		3	38,053	0,415	-21,223
		5	41,565	0,391	-20,867
		7	38,426	0,355	-21,368
		9	38,075	0,264	-21,656
		11	37,462	0,252	-21,586
		13	34,198	0,245	-21,573
		15	30,998	0,328	-22,645
		17	26,876	0,384	ND
		19	34,317	0,385	ND
		21	35,218	0,142	-21,526
		23	43,716	0,398	-22,145
		25	29,260	0,592	-21,795
		27	26,552	0,413	-21,860
		29	31,217	0,516	-20,872
259	Diápiro	0	55,064	0,408	-20,855
		1	44,860	0,423	-21,205
		3	46,795	0,652	-20,365
		5	47,252	0,303	-21,790
		7	54,092	0,380	-21,609
		9	51,107	0,504	-21,047
		11	52,667	0,327	-20,692
		13	48,940	0,300	-21,021
		15	45,612	0,373	-21,597
		17	45,315	0,327	-21,725
		19	44,969	0,362	-20,787
		21	33,438	0,375	-22,114
		23	32,651	0,417	-21,484
		25	33,429	0,421	-21,128
260	Diápiro	0	68,572	0,381	-20,855
		1	56,121	0,259	-21,230

		3	46,239	0,631	-20,652
		5	43,660	0,522	-20,469
		7	48,025	0,210	-21,594
		9	52,624	0,311	ND
		11	39,738	0,306	ND
		13	32,453	0,323	ND
		15	35,214	0,299	-21,396
		17	50,008	0,225	-21,220
		19	41,445	0,247	-20,750
		21	39,463	0,195	-22,684
		23	37,426	0,227	-21,071
		25	33,551	0,214	-22,007
		27	22,739	0,297	-21,361
		29	34,795	0,331	-21,895
<hr/>					
262	Diápiro	0	41,990	0,384	-20,403
		1	41,970	0,365	-20,467
		3	49,460	0,316	-21,244
		5	43,550	0,313	-20,957
<hr/>					
263	Pockmark	0	29,498	0,686	-20,860
		1	28,538	0,646	-21,355
		3	28,009	0,723	-20,797
		5	38,630	0,595	-20,909
		7	27,876	0,739	-21,028
		9	27,613	0,545	-20,988
		11	28,107	0,425	-20,412
		13	28,253	0,661	-21,059
		15	29,175	0,533	-21,664
		17	28,801	0,434	-21,797
		19	29,503	0,377	-21,007
<hr/>					
264	Diápiro	0	43,604	0,275	-21,935
		1	42,238	0,444	-21,787
		3	40,568	0,391	-21,340
		5	40,929	0,577	-22,093
		7	39,506	0,390	-22,241
		9	44,533	0,263	-20,963
		11	32,805	0,346	-21,006
		13	25,507	0,412	-21,688

15	23,010	0,414	-21,598
17	21,416	0,539	-21,728
19	19,430	0,431	-20,753
21	18,331	0,391	-21,540

Tabela 4: Resultados obtidos da Análise de Metais.

Estações	Grupo	Prof. (cm)	Al	Ba	Ca	Fe	K	Mg	Sc	Sr	Ti
249	Substrato	Topo	36737,7	120,3	65776,5	18715,3	17333,9	8194,8	4,3	153,1	3001,9
250	Diápiro	Topo	29781,3	79,9	79356,4	23381,5	14087,1	7676,9	3,6	199,8	1903,4
		0	34475,7	141,7	52644,1	18600,6	14383,2	9044,6	5,9	146,3	2673,6
		1	9656,4	109,4	22715,0	13521,8	4777,6	3512,5	0,8	146,2	1530,5
		2	15948,9	137,4	42865,3	19634,1	7074,6	8512,9	1,1	181,7	2212,8
		4	11671,6	111,4	30452,3	14092,6	4927,2	6650,7	0,4	141,2	1600,3
		6	33897,2	142,2	41276,0	16326,0	6331,6	9406,2	4,5	189,4	1837,5
		8	16340,4	110,4	33851,3	17795,3	6304,5	8473,3	0,8	147,0	1917,5
		10	37323,5	152,0	48495,2	19421,9	7420,4	6031,5	4,8	214,4	2089,0
		12	31535,6	149,4	41280,8	15945,6	6672,5	8604,3	4,8	207,3	1878,3
253	Pockmark	14	28458,3	125,3	37072,2	13601,4	5733,1	7697,5	3,2	173,4	1623,0
		16	5084,4	161,3	29288,1	17245,7	7520,9	3304,3	0,1	223,3	2304,0
		18	37766,8	158,3	46586,0	15816,4	7615,2	9453,0	4,6	222,8	2147,5
		20	41278,6	182,2	55073,8	17845,4	8789,1	6197,4	5,2	266,5	2448,7
		22	26174,9	132,1	35493,8	11081,8	5083,2	6600,6	3,8	195,9	1496,2
		24	14815,8	156,8	45137,9	16581,8	7718,1	8382,5	0,2	218,9	2267,2
		26	27686,6	169,6	49420,8	15486,4	7769,0	8820,3	1,6	245,8	2201,4
		28	31122,4	160,3	45246,2	12535,2	6474,1	7529,3	4,3	242,1	1877,8
		30	31479,9	160,3	45685,5	12819,6	6697,5	7632,4	4,1	240,4	1921,7
		0	37580,3	138,2	44630,0	21819,1	15717,0	9664,6	5,6	127,3	2987,5
		1	52415,7	185,7	44508,4	27024,8	12938,4	10117,5	7,3	245,4	2890,7
		2	36010,9	171,3	41772,8	27517,0	13224,3	9203,0	6,1	218,8	2935,9
		4	34311,4	155,3	39192,6	21479,8	12996,0	8833,6	5,8	196,2	2851,7
		6	35948,8	167,0	40783,3	22487,4	13579,6	9347,0	6,5	212,6	2905,1
		8	28515,4	133,7	33024,7	19535,4	11385,0	6722,4	3,6	165,3	2489,0
		10	34400,4	156,5	37338,2	23615,9	14239,5	8164,8	5,2	184,3	3093,3
254	Pockmarks	12	30584,2	139,5	36162,6	24810,8	13374,2	7025,1	4,8	175,4	2812,1
		14	20269,0	125,8	25433,8	21256,5	11650,2	3764,5	1,6	161,1	2522,4
		16	28163,3	144,3	35993,8	20390,8	14042,3	6185,0	4,4	188,2	2828,4
		18	25715,3	132,9	31291,9	19943,4	13538,5	6450,8	4,3	173,9	2747,2
		20	33021,3	133,7	40148,6	20439,5	14278,8	6943,8	4,7	181,4	2867,2
		22	24104,9	141,1	34396,3	19131,7	12362,3	5840,7	3,8	187,9	2837,1
		24	30729,4	136,7	36636,5	17910,5	11537,7	7609,7	6,0	186,9	2517,3
		26	32929,2	145,8	40767,6	20413,0	13305,5	8311,6	5,5	197,9	2896,0

		28	21487,6	122,6	30260,2	16353,6	9771,5	3698,1	1,1	165,2	2385,6
		30	28749,1	132,5	31302,5	17584,7	11861,4	5486,9	3,4	181,8	2699,7
		32	30161,3	140,5	39602,9	19195,3	12462,1	7511,9	4,4	194,2	2736,4
		34	27442,3	132,3	38553,9	17931,8	11480,0	6481,5	4,1	187,2	2605,0
		36	21436,8	144,1	32937,1	18803,5	11857,1	3854,6	1,6	200,4	2860,2
		38	25730,8	135,6	39627,9	18876,7	11808,5	6156,6	3,2	192,3	2762,1
255	Substrato	1	33782,8	134,3	73991,3	19922,2	12297,6	6703,5	3,1	195,8	2452,6
		2	21550,9	97,4	61492,4	15194,0	6118,1	7256,2	2,2	243,9	1473,8
		4	11749,7	87,0	47919,6	11870,1	4789,4	6177,5	0,4	202,8	1219,3
		6	26929,4	102,7	60093,5	14406,1	6527,5	8046,3	3,1	230,9	1569,7
		8	6921,8	106,6	47182,5	14308,2	6288,8	4555,8	0,2	243,4	1614,0
		10	7798,7	93,4	43966,7	12684,0	5425,4	4612,4	0,5	221,4	1383,5
		12	9448,8	70,4	41839,2	11063,6	4498,7	5834,9	0,2	167,5	1097,6
		14	9107,7	69,6	44810,7	11845,3	4655,5	5630,9	0,3	179,9	1151,2
		16	1648,6	73,2	39293,6	9865,1	4493,2	2460,3	0,2	203,9	1128,8
		18	4097,5	88,0	38437,7	11734,6	5714,6	3413,0	0,2	214,9	1349,5
		20	3013,0	86,0	30251,6	10053,1	5416,7	2564,3	0,1	171,3	1287,3
		22	16768,8	85,3	55775,3	10582,3	5263,5	6057,9	1,6	223,5	1247,2
		24	1617,2	93,1	26918,8	10351,6	6858,3	1869,2	0,1	165,3	1631,5
256	Substrato	Topo	31363,6	98,4	75505,5	18856,5	11841,9	6786,8	3,2	288,5	2107,3
257	Pockmark	Topo	41143,6	156,8	50399,0	23168,1	15743,8	11092,2	7,7	156,0	3108,0
258	Substrato	0	30099,3	115,5	70604,5	20832,8	12224,0	6381,1	3,3	241,5	2469,1
		1	31875,8	97,9	67785,1	16419,2	6662,1	9801,9	4,5	373,2	1566,8
		2	24974,7	81,8	56799,7	12469,0	5308,0	7258,9	3,4	276,8	1291,9
		4	29215,5	94,6	64687,7	14215,3	6286,5	8477,4	3,9	311,5	1510,4
		6	29438,4	100,8	63459,6	14149,5	6646,6	8213,1	3,9	342,0	1577,1
		8	30374,4	99,3	67789,1	14812,2	6649,4	8517,9	4,0	392,9	1620,0
		10	26755,0	91,6	68414,4	12831,4	5945,3	7818,9	3,5	406,7	1440,8
		12	26000,1	92,5	61793,4	12320,6	5953,0	7043,6	3,4	300,0	1435,1
		14	28428,5	111,1	59650,8	16469,2	7512,1	9163,2	3,1	323,2	1817,1
		16	32820,2	114,8	71554,2	17067,9	7996,0	9252,1	4,1	566,4	1885,4
		18	34766,3	122,1	59567,9	16986,9	8385,4	9639,5	4,4	349,4	1991,6
		20	25443,6	92,4	52643,7	12066,6	5923,9	7011,2	3,3	337,3	1455,2
		22	8734,9	83,6	33976,7	13121,5	5686,0	5958,1	0,2	243,8	1491,8
		24	18243,6	83,4	52255,6	10906,6	5254,4	6384,9	1,4	426,3	1310,9
		26	17732,8	87,7	41011,5	12384,4	5668,1	6562,3	0,8	270,3	1451,6

		28	9536,5	94,5	40181,3	13431,7	6071,6	6096,6	0,2	276,6	1555,0
		1	39984,5	112,4	87254,9	20394,2	12021,9	7656,5	4,7	309,1	2229,7
		2	8835,5	54,2	50859,5	7938,5	2916,0	4090,6	0,7	308,0	720,3
		4	17343,3	65,9	75420,2	11014,6	4282,3	5935,0	2,0	424,0	1009,3
		6	3817,8	81,2	71961,0	13600,5	5602,8	5286,4	0,4	479,6	1275,7
		8	1078,2	23,0	23587,0	3044,5	1136,9	1299,0	0,1	169,4	276,4
		10	6475,8	63,2	75516,7	10881,6	4761,2	6206,6	0,2	405,3	1047,1
259	Diápiro	12	11263,1	55,3	63124,3	7375,6	3154,9	4164,8	1,2	374,0	724,8
		14	3977,0	82,5	74774,6	9801,0	5842,3	4662,6	0,3	565,0	1352,9
		16	4617,2	79,1	78700,3	11854,2	6029,8	5178,3	0,6	604,2	1311,6
		18	25315,1	89,5	69234,3	11920,5	6449,6	7266,5	3,4	453,5	1411,1
		20	21860,6	89,6	78255,8	12930,3	6631,3	8591,5	2,5	460,1	1522,8
		22	8795,4	99,5	36014,4	14182,4	7779,1	4663,0	0,8	304,7	1851,1
		24	2535,6	66,1	64859,2	9964,2	4919,5	4336,5	0,7	514,9	1054,2
		0	22666,2	70,4	82093,7	18305,6	7988,3	5768,5	2,7	328,4	1423,0
		1	20996,7	79,4	91716,9	14056,3	3853,7	7248,9	2,8	833,7	1108,4
		2	31854,0	109,1	75146,3	16095,9	5761,1	9626,7	4,5	614,2	1654,3
		4	26692,3	96,0	81842,0	13597,7	4811,9	7932,2	3,8	847,8	1402,0
		6	3910,3	90,3	61716,0	12077,8	4388,2	4802,6	0,6	643,9	1321,3
		8	14853,3	108,7	69756,5	15302,2	5923,9	8250,0	0,5	520,3	1838,7
		10	28077,3	106,4	69209,4	13746,6	5541,7	7517,1	4,0	662,9	1626,7
		12	26075,9	100,8	65100,5	13045,5	5412,1	7132,4	2,8	764,9	1603,5
260	Diápiro	14	13174,3	41,4	24371,7	3721,0	1392,5	2424,7	2,0	344,5	438,2
		16	19274,3	108,7	48160,4	14481,9	5978,7	7251,5	1,6	456,7	1819,5
		18	24443,8	115,7	51789,0	15662,7	6668,2	8192,2	1,4	538,1	1940,3
		20	39061,8	140,3	54562,9	17906,4	8060,1	9970,9	5,5	559,7	2315,2
		22	6325,0	124,0	24531,4	15145,9	6472,7	2588,0	0,1	399,3	2040,7
		24	28552,9	123,2	44119,2	18464,9	7331,3	7564,7	3,1	510,8	2236,6
		26	49255,7	192,6	51758,7	27764,0	12195,7	7928,1	5,2	546,8	3463,6
		28	30499,3	103,5	52643,2	14810,6	6279,4	8396,6	4,5	539,7	1788,9
		0	39228,4	102,5	83374,1	24628,3	12778,5	9920,1	4,6	229,7	2568,0
		1	13068,4	63,2	31359,2	8296,3	2453,0	4605,0	1,9	163,5	887,9
262	Diápiro	3	11489,5	112,9	62175,1	16017,4	5045,1	7926,4	1,0	359,2	1701,6
		5	19744,7	121,8	51360,6	11147,3	3752,2	6566,7	4,4	376,5	1168,7
263	Pockmark	Topo	41665,7	142,8	52960,1	20694,5	13322,7	7142,7	4,8	160,2	2462,6
264	Diápiro	Topo	39473,8	114,6	81762,6	21543,8	12844,9	7454,9	4,5	200,5	2262,7

Tabela 5: Resultados obtidos da Análise Granulométrica.

Estações	Grupo	Prof. (cm)	% Areia	% Silte	% Silte	%Silte	%Silte	% Silte	%Argila
				Muito Grosso	Grosso	Médio	Fino	Muito Fino	
249	Substrato	0	0,30	0,27	0,20	0,13	0,09	0,05	0,03
		1	0,24	0,25	0,21	0,16	0,11	0,06	0,03
		3	0,22	0,28	0,23	0,16	0,11	0,06	0,03
		5	0,33	0,25	0,20	0,14	0,11	0,06	0,03
		7	0,21	0,25	0,21	0,17	0,12	0,06	0,03
		9	0,36	0,28	0,17	0,12	0,09	0,05	0,02
		11	0,27	0,27	0,20	0,15	0,11	0,06	0,03
		13	0,36	0,28	0,17	0,12	0,09	0,05	0,02
		15	0,32	0,25	0,18	0,15	0,11	0,06	0,03
		17	0,28	0,28	0,17	0,12	0,10	0,06	0,03
		19	0,28	0,25	0,17	0,14	0,13	0,07	0,03
		21	0,30	0,25	0,15	0,14	0,13	0,07	0,04
250	Diápiro	0	0,54	0,27	0,17	0,10	0,06	0,04	0,02
		1	0,48	0,26	0,17	0,10	0,06	0,04	0,02
		3	0,34	0,27	0,19	0,12	0,08	0,05	0,03
		5	0,32	0,26	0,21	0,15	0,11	0,06	0,03
		7	0,33	0,30	0,20	0,12	0,08	0,05	0,03
		9	0,45	0,28	0,17	0,10	0,06	0,03	0,02
		11	0,45	0,29	0,16	0,10	0,07	0,04	0,02
		13	0,58	0,28	0,12	0,06	0,04	0,03	0,02
		15	0,40	0,25	0,15	0,12	0,11	0,08	0,03
		17	0,46	0,30	0,15	0,09	0,07	0,04	0,02
		19	0,35	0,29	0,17	0,12	0,10	0,06	0,03
253	Pockmark	0	0,16	0,23	0,20	0,18	0,16	0,08	0,03
		1	0,15	0,27	0,23	0,17	0,13	0,07	0,03
		3	0,18	0,25	0,20	0,17	0,14	0,07	0,03
		5	0,21	0,29	0,22	0,15	0,12	0,06	0,03
		7	0,15	0,25	0,22	0,17	0,14	0,07	0,03
		9	0,15	0,19	0,18	0,21	0,19	0,09	0,03
		11	0,15	0,25	0,18	0,16	0,13	0,07	0,04
		13	0,28	0,19	0,18	0,20	0,19	0,10	0,04
		15	0,15	0,20	0,19	0,20	0,18	0,09	0,04

		17	0,15	0,18	0,18	0,21	0,19	0,10	0,05
		19	0,17	0,20	0,18	0,20	0,18	0,09	0,05
		21	0,19	0,21	0,18	0,20	0,17	0,09	0,05
		23	0,22	0,21	0,18	0,19	0,16	0,08	0,07
		25	0,20	0,22	0,18	0,19	0,16	0,08	0,03
		27	0,20	0,23	0,19	0,19	0,15	0,07	0,03
		29	0,16	0,23	0,20	0,18	0,16	0,08	0,03
		31	0,15	0,27	0,23	0,17	0,13	0,07	0,03
		Camada Óxica	-	-	-	-	-	-	-
		Camada Anóxica	-	-	-	-	-	-	-
		0	0,08	0,19	0,21	0,20	0,18	0,11	0,05
		1	0,06	0,26	0,27	0,18	0,14	0,08	0,04
		3	0,04	0,16	0,27	0,24	0,18	0,09	0,04
		5	0,07	0,24	0,25	0,19	0,15	0,08	0,04
		7	0,11	0,25	0,22	0,18	0,15	0,08	0,04
		9	0,11	0,22	0,21	0,19	0,16	0,09	0,04
		11	0,10	0,20	0,20	0,20	0,18	0,10	0,05
		13	0,10	0,19	0,19	0,20	0,19	0,11	0,05
		15	0,09	0,18	0,20	0,21	0,19	0,10	0,04
254	Pockmark	17	0,11	0,19	0,19	0,20	0,18	0,10	0,04
		19	0,09	0,19	0,19	0,21	0,19	0,11	0,05
		21	0,10	0,18	0,20	0,22	0,19	0,10	0,04
		23	0,10	0,17	0,18	0,22	0,20	0,11	0,04
		25	0,08	0,18	0,20	0,22	0,19	0,11	0,05
		27	0,09	0,16	0,18	0,22	0,21	0,11	0,05
		29	0,11	0,18	0,19	0,21	0,20	0,11	0,05
		31	0,10	0,19	0,19	0,21	0,19	0,10	0,04
		33	0,10	0,19	0,20	0,21	0,19	0,09	0,04
		35	0,10	0,18	0,21	0,22	0,19	0,10	0,04
		37	0,11	0,18	0,20	0,21	0,19	0,10	0,04
		39	0,10	0,17	0,19	0,22	0,20	0,11	0,05
		0	0,14	0,24	0,27	0,19	0,13	0,07	0,03
		1	0,13	0,22	0,28	0,20	0,14	0,08	0,04
255	Substrato	3	0,14	0,25	0,27	0,18	0,13	0,07	0,03
		5	0,15	0,24	0,25	0,18	0,14	0,08	0,04

		7	0,16	0,22	0,23	0,18	0,15	0,09	0,05
		9	0,20	0,23	0,20	0,18	0,16	0,08	0,03
		11	0,13	0,17	0,20	0,21	0,20	0,11	0,05
		13	0,15	0,19	0,19	0,20	0,19	0,10	0,04
		15	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,10	0,04
		17	0,18	0,17	0,19	0,21	0,19	0,11	0,04
		19	0,16	0,18	0,20	0,20	0,18	0,11	0,05
		21	0,14	0,20	0,21	0,19	0,18	0,10	0,04
		23	0,14	0,24	0,27	0,19	0,13	0,07	0,06
		0	0,13	0,23	0,23	0,16	0,14	0,09	0,06
		1	0,16	0,25	0,22	0,15	0,12	0,08	0,05
		3	-	0,22	0,21	0,16	0,14	0,10	
		5	0,17	0,25	0,21	0,15	0,12	0,09	0,05
		7	0,18	0,26	0,21	0,15	0,12	0,09	0,05
		9	0,16	0,27	0,24	0,15	0,11	0,07	0,04
		11	0,16	0,25	0,21	0,16	0,13	0,09	0,05
		13	0,19	0,23	0,19	0,16	0,14	0,10	0,06
256	Substrato	15	0,18	0,25	0,20	0,15	0,13	0,09	0,06
		17	0,20	0,26	0,21	0,15	0,13	0,08	0,05
		19	0,19	0,25	0,21	0,16	0,13	0,09	0,05
		21	0,22	0,25	0,19	0,15	0,13	0,09	0,02
		23	0,19	0,26	0,20	0,15	0,13	0,08	0,05
		25	0,20	0,26	0,20	0,15	0,12	0,08	0,06
		27	0,19	0,27	0,20	0,14	0,12	0,08	0,05
		29	0,19	0,26	0,20	0,15	0,13	0,08	0,05
		31	0,25	0,28	0,18	0,13	0,10	0,07	0,05
		1	0,18	0,33	0,24	0,12	0,07	0,04	0,03
		3	0,25	0,30	0,22	0,12	0,07	0,04	0,02
		5	0,32	0,29	0,19	0,11	0,07	0,04	0,02
		7	0,24	0,30	0,22	0,13	0,10	0,06	0,03
257	Pockmark	9	0,18	0,28	0,26	0,16	0,11	0,06	0,03
		11	0,16	0,30	0,26	0,15	0,10	0,05	0,03
		13	0,14	0,31	0,26	0,14	0,10	0,05	0,03
		15	0,14	0,31	0,26	0,14	0,09	0,05	0,03
		17	0,15	0,29	0,24	0,15	0,10	0,05	0,03

		19	0,15	0,29	0,25	0,14	0,10	0,06	0,03
		21	0,13	0,29	0,26	0,15	0,11	0,05	0,03
		23	0,11	0,21	0,20	0,17	0,16	0,11	0,06
		25	0,15	0,18	0,18	0,17	0,14	0,10	0,03
		27	0,22	0,29	0,26	0,15	0,11	0,06	0,06
258	Substrato	0	0,19	0,33	0,23	0,13	0,07	0,04	0,03
		1	0,26	0,33	0,21	0,11	0,06	0,03	0,02
		3	0,13	0,31	0,26	0,15	0,09	0,05	0,03
		5	0,32	0,30	0,18	0,10	0,07	0,03	0,02
		7	0,32	0,31	0,17	0,09	0,07	0,04	0,02
		9	0,13	0,24	0,24	0,18	0,12	0,07	0,04
		11	0,28	0,25	0,21	0,13	0,08	0,04	0,03
		13	0,31	0,29	0,19	0,11	0,07	0,04	0,02
		15	0,29	0,24	0,20	0,14	0,09	0,05	0,03
		17	0,22	0,30	0,22	0,14	0,09	0,05	0,03
		19	0,26	0,28	0,21	0,13	0,09	0,05	0,03
		21	0,40	0,24	0,17	0,11	0,07	0,04	0,02
		23	0,24	0,24	0,21	0,16	0,11	0,05	0,03
		25	0,28	0,27	0,21	0,12	0,08	0,04	0,03
		27	0,20	0,29	0,23	0,15	0,10	0,05	0,03
		29	0,18	0,24	0,22	0,18	0,12	0,06	0,02
259	Diápiro	1	0,25	0,35	0,22	0,10	0,07	0,03	0,02
		3	0,31	0,31	0,18	0,12	0,07	0,03	0,02
		5	0,28	0,32	0,21	0,11	0,07	0,04	0,03
		7	0,51	0,29	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01
		9	0,40	0,30	0,16	0,09	0,05	0,02	0,02
		11	0,30	0,31	0,19	0,10	0,07	0,04	0,02
		13	0,32	0,31	0,18	0,10	0,07	0,04	0,02
		15	0,29	0,29	0,20	0,12	0,09	0,05	0,03
		17	0,23	0,22	0,22	0,19	0,12	0,06	0,02
		19	0,24	0,31	0,22	0,13	0,09	0,05	0,02
		21	0,28	0,32	0,20	0,12	0,08	0,04	0,03
		23	0,25	0,30	0,22	0,13	0,09	0,05	0,02
		25	0,51	0,18	0,15	0,10	0,07	0,03	0,02
		1	0,07	0,21	0,29	0,22	0,13	0,07	0,03

260	Diápiro	3	0,08	0,19	0,28	0,22	0,14	0,08	0,04
		5	0,19	0,22	0,22	0,17	0,12	0,06	0,03
		7	0,05	0,15	0,27	0,24	0,17	0,09	0,05
		9	0,09	0,17	0,24	0,22	0,16	0,09	0,04
		11	0,07	0,20	0,25	0,21	0,15	0,09	0,05
		13	0,17	0,22	0,23	0,17	0,12	0,08	0,04
		15	0,07	0,17	0,24	0,22	0,17	0,10	0,05
		17	0,14	0,20	0,22	0,19	0,15	0,09	0,04
		19	0,16	0,21	0,23	0,17	0,12	0,08	0,04
		21	0,25	0,19	0,22	0,18	0,12	0,07	0,03
		23	0,17	0,17	0,21	0,20	0,14	0,08	0,04
		25	0,28	0,21	0,20	0,15	0,10	0,05	0,03
		27	0,27	0,17	0,21	0,21	0,15	0,08	0,03
		29	0,15	0,21	0,21	0,17	0,12	0,07	0,04
262	Diápiro	0	0,39	0,15	0,18	0,20	0,17	0,09	0,03
		1	0,35	0,18	0,20	0,19	0,15	0,07	0,03
		3	0,39	0,20	0,18	0,17	0,14	0,07	0,02
		5	0,34	0,23	0,16	0,16	0,14	0,07	0,03
263	<i>Pockmark</i>	0	0,27	0,30	0,19	0,12	0,08	0,06	0,04
		1	0,33	0,23	0,17	0,14	0,11	0,07	0,03
		3	0,27	0,16	0,16	0,17	0,16	0,10	0,04
		5	0,26	0,24	0,20	0,14	0,11	0,07	0,04
		7	0,25	0,19	0,17	0,17	0,15	0,09	0,04
		9	0,27	0,28	0,19	0,13	0,10	0,06	0,03
		11	0,21	0,24	0,20	0,15	0,13	0,08	0,04
		13	0,27	0,22	0,15	0,14	0,14	0,09	0,04
		15	0,40	0,30	0,15	0,09	0,06	0,04	0,02
		17	0,22	0,21	0,18	0,17	0,15	0,09	0,05
		19	0,25	0,22	0,19	0,16	0,13	0,07	0,04
264	Diápiro	0	0,32	0,28	0,20	0,14	0,10	0,05	0,03
		1	0,30	0,26	0,18	0,14	0,11	0,07	0,03
		3	0,34	0,29	0,18	0,11	0,08	0,05	0,03
		5	0,23	0,22	0,20	0,18	0,14	0,08	0,03
		7	0,39	0,24	0,15	0,13	0,10	0,06	0,03
		9	0,27	0,21	0,17	0,17	0,16	0,09	0,04

11	0,23	0,23	0,19	0,15	0,14	0,09	0,04
13	0,29	0,21	0,17	0,15	0,13	0,09	0,04
15	0,21	0,21	0,19	0,16	0,14	0,09	0,05
17	0,21	0,18	0,18	0,16	0,15	0,10	0,05
19	0,24	0,19	0,17	0,15	0,14	0,09	0,05
21	0,12	0,13	0,17	0,20	0,20	0,14	0,07