



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

INÁCIO OCINAÍ DE LIMA NETO

**ANÁLISE TEXTURAL E GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DO TALUDE
CONTINENTAL DO OESTE DO CEARÁ**

FORTALEZA

2017

INÁCIO OCINAÍ DE LIMA NETO

ANÁLISE TEXTURAL E GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DO TALUDE
CONTINENTAL DO OESTE DO CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de Concentração: Geologia Marinha e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. George Satander Sá Freire

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L698a Lima Neto, Inacio Ocinaí de.
Análise textural e geoquímica dos sedimentos do talude continental do oeste do Ceará, frente ao município de Acaraú/ Inácio Ocinaí de Lima Neto. – 2017.
87 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. George Satander Sá Freire.
1. Talude Continental. 2. Testemunho. 3. Ceará. I. Título.

CDD 551

INÁCIO OCINAÍ DE LIMA NETO

ANÁLISE TEXTURAL E GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DO TALUDE
CONTINENTAL DO OESTE DO CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de Concentração: Geologia Marinha e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. George Satander Sá Freire

Aprovada em 24/07/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. George Satander Sá Freire (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Carlos Fernando de Andrade Soares Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFPE)

Dr. Idembergue Barroso Macedo de Moura
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)

A Deus

A meus pais, Raimunda Edna
Bezerra de Lima e Inácio
Ocinaí de Lima Júnior

Ao meu filho Bernardo
Cavalcante de Lima

A minha esposa Vlândia
Cavalcante da Silva

E aos meus amigos

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conduzir até o final, em mais uma etapa da minha vida profissional.

Aos meus Pais Edna e Inácio pelo incentivo incondicional dos meus estudos, pela base familiar, pelo amor e sacrifícios... por tudo que seus corações se propuseram a transmitir.

Ao meu filho Bernardo, que com sua inteligência me ensinou enxergar o mundo de uma maneira que nunca tinha visto.

A minha esposa Vlândia, por me ajudar a enfrentar os momentos difíceis da caminhada acadêmica.

Ao meu coordenador Prof. Dr Satander, por haver acreditado no meu trabalho, ter me incentivado e me dado confiança nesses longos anos que estamos juntos.

A todos os meus amigos que me estimularam na pesquisa científica.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que eu realizasse essa produção.

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada no talude continental da região de Acaraú, a 80 km da costa, com profundidades entre 60 e 2550 m. Seu objetivo principal foi à caracterização sedimentar e geoquímica do talude através dos Testemunhos SIS100, SIS103, SIS105, SIS 400 e SIS108, quanto a textura, cor, composição química e mineralógica, na busca de auxiliar na classificação dos sedimentos das zonas submersas. Os estudos foram baseados em referencial bibliográfico e utilizadas metodologias de descrição de amostras de fundo marinho, através de análise granulométrica, geoquímica por Espectroscopia de Energia Dispersiva, Fluorescência e Difração de Raio X. A geologia do talude continental faz parte da margem passiva, tendo sua evolução ocorrida no período de rifteamento da bacia oceânica, sendo modelado pela atuação do tectonismo, das variações do nível médio do mar, da deposição fluvial, das marés correntes oceânicas, ondas, entre outros. Considerando-se a variedade de colorações, temos uniformidade entre os três primeiros testemunhos (nos primeiros 8cm) apresentando cor cinza amarelada mesmo distantes e com diferentes profundidades pode-se inferir num único evento de sedimentação para estes três, em relação à segunda porção do testemunho SIS 105, e nos SIS 460 e SIS 108, por apresentarem cores diferentes tanto no mesmo testemunho como nos demais, assim, considera-se eventos distintos característicos para cada uma das cores encontradas pelo fato de não ter outra continuação nos demais testemunhos. Com relação ao diagrama triangular os testemunhos SIS 100, SIS 103 e SIS 460, apresentaram semelhança quanto à classificação de Lama arenosa e baixos valores de cascalho, e classificou-se como Silte argiloso tanto níveis da amostra SIS 105 como a SIS 108 no todo. Após o estudo no teor de CaCO_3 destes, os quatro primeiros apresentaram valores acima de 91%, sendo o SIS 108 o mais distinto desses, apresentando teor máximo de 10%. A mineralogia encontrada, com o auxílio da Difractometria de Raio X, foi: wollastonita, aragonita, calcita, quartzo, goethita, illita-montmorilonita, muscovita, margarita e rutilo. A partir dos dados obtidos no Microscópio Eletrônico de Varredura foram notados diferentes minerais na superfície da gipsita, sendo eles o Cobre nativo de ambiente redutor, a monazita detrítica, a pirita formada em ambiente marinho redutor e o rutilo detrítico. Os resultados geraram uma maior base nos estudos sobre o mar profundo e sua dinâmica.

Palavras-chave: Talude Continental. Testemunho. Ceará.

ABSTRACT

This research was carried out on the continental slope of the Acaraú region, 80 km from the coast, with depths between 60 and 2550 m. Its main objective was the sedimentary and geochemical characterization of the slope through the SIS100, SIS103, SIS105, SIS 400 and SIS108, as well as the texture, color, chemical and mineralogical composition, in order to assist in sediment classification of submerged zones. The studies were based on bibliographic references and methodologies were used for the description of seabed samples, by means of granulometric analysis, geochemistry by Dispersive Energy Spectroscopy, Fluorescence and X-Ray Diffraction. The geology of the continental slope is part of the passive margin, its evolution occurred in the period of rift of the ocean basin, being modeled by the tectonic action, the variations of the average level of the sea, the fluvial deposition, ocean currents, waves, between others. Considering the variety of colorations, we have uniformity between the first three samples (in the first 8 cm) showing yellowish gray color even distant and with different depths can be inferred in a single sedimentation event for these three, in relation to the second portion of the testimony SIS 105, and in SIS 460 and SIS 108, because they present different colors both in the same testimony and in the others, thus, it is considered distinct events characteristic for each of the colors found by the fact that there is no continuation in the other testimonies. With respect to the triangular diagram, the SIS 100, SIS 103 and SIS 460, presented similarity to the classification of sandy mud and low values of gravel, and classified as silt clay both levels of the SIS 105 sample and SIS 108 in the whole. After the study on the CaCO₃ content of these, the first four presented values above 91%, the SIS 108 being the most distinct of these, presenting a maximum content of 10%. The mineralogy found with the aid of X-ray diffraction was: wollastonite, aragonite, calcite, quartz, goethite, illite-montmorillonite, muscovite, margarite and rutile. From the data obtained in the Scanning Electron Microscope, different minerals were observed on the surface of the gypsum, being the native copper of reducing environment, the detrital monazite, the pyrite formed in a reducing marine environment, and the detrital rutile. The results generated a greater base in the studies on the deep sea and its dynamics.

Keywords: Continental Slope. Testimony. Ceará.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perspectiva do talude.....	1
Figura 2 – Localização da Bacia do Ceará.....	6
Figura 3 – Localização, limites e arcabouço da Bacia do Ceará.....	7
Figura 4 – Modelo de evolução tectônica proposto para a abertura do Oceano Atlântico equatorial durante a transição Aptiano/Albiano.....	8
Figura 5 – Carta estratigráfica composta da Bacia do Ceará.....	9
Figura 6 – Testemunhador a pistão.....	12
Figura 7 – Etapa de serragem do tubo de PVC.....	13
Figura 8 – Etapa do peneiramento úmido.....	15
Figura 9 – Peneiras utilizadas na análise granulométrica.....	15
Figura 10 – Diagrama triangular (cascalho, areia e lama) para classificação de sedimentos clásticos segundo a granulometria.....	16
Figura 11 – Amostras no início da etapa de pipetagem.....	17
Figura 12 – Diagrama triangular (areia, silte e argila) para classificação de sedimentos clásticos segundo a granulometria.....	18
Figura 13 – Calcímetro de Bernard modificado.....	19
Figura 14 – Destilador de nitrogênio (da marca TECNAL) similar ao utilizado.....	22
Figura 15 – A) Equipamento utilizado na fluorescência de Raios-X. B) Difratômetro de Raios-X.....	24
Figura 16 – Microscópio Eletrônico de Varredura (da marca HITACHI) similar ao utilizado com Espectrômetro de Energia Dispersiva (da marca Oxford) acoplado ao mesmo.....	26
Figura 17 – Representação e descrição do testemunho SIS-100.....	30
Figura 18 – Pontos vermelhos plotados no diagrama cascalho x areia x lama, representando as alíquotas do testemunho SIS-100.....	32
Figura 19 – A) Briozoários e concha de bivalve. B) Detalhe de espícula de	

equinodermo. C) Briozoário da espécie <i>Cupuladria cavernosa</i> . D) Carapaça de gastrópode.....	38
Figura 20 – Integração dos dados do testemunho SIS-100.....	39
Figura 21 – Representação e descrição do testemunho SIS-103.....	41
Figura 22 – Pontos vermelhos plotados no diagrama cascalho x areia x lama, representando as alíquotas do testemunho SIS-103.....	43
Figura 23 – Carapaça de gastrópode do Gênero <i>Calliostoma</i>	47
Figura 24 – Integração dos dados do testemunho SIS-103.....	48
Figura 25 – Representação e descrição do testemunho SIS-105.....	50
Figura 26 – Pontos vermelhos plotados no diagrama areia x silte x argila, representando as alíquotas do testemunho SIS-105.....	52
Figura 27 – Visões frontal e posterior de carapaça de pterópode da espécie <i>Diacriatrispinosa</i>	58
Figura 28 – Integração dos dados do testemunho SIS-105.....	59
Figura 29 – Representação e descrição do testemunho SIS-460.....	61
Figura 30 – Pontos vermelhos plotados no diagrama cascalho x areia x lama, representando as alíquotas do testemunho SIS-460.....	63
Figura 31 – Integração dos dados do testemunho SIS-460.....	71
Figura 32 – Representação e descrição do testemunho SIS-108.....	73
Figura 33 – Pontos vermelhos plotados no diagrama areia x silte x argila, representando as alíquotas do testemunho SIS-108.....	75
Figura 34 – Gipsita com aumento de 30X e respectivo difratograma.....	80
Figura 35 – A) Cobre metálico sobre gipsita com aumento de 3.000X e respectivo difratograma. B) Monazita sobre gipsita com aumento de 1.500X e respectivo difratograma. C) Pirita framboidal sobre gipsita com aumento de 3.000X e respectivo difratograma. D) Rutilo sobre gipsita com aumento de 1.000X e respectivo difratograma.....	81
Figura 36 – Integração dos dados do testemunho SIS-108.....	83

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da área a ser estudada	3
Mapa 2 – Localização dos cinco testemunhos estudados	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação textural no testemunho SIS-100.....	31
Gráfico 2 – Teores de CaCO ₃ do testemunho SIS-100.....	33
Gráfico 3 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-100.....	34
Gráfico 4 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-100.....	34
Gráfico 5 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-100.....	35
Gráfico 6 – Composição química do topo do testemunho SIS-100.....	36
Gráfico 7 – Composição química da base do testemunho SIS-100.....	36
Gráfico 8 – Composição mineral do topo do testemunho SIS-100.....	37
Gráfico 9 – Composição mineral da base do testemunho SIS-100.....	37
Gráfico 10 – Variação textural no testemunho SIS-103.....	42
Gráfico 11 – Teores de CaCO ₃ do testemunho SIS-103.....	44
Gráfico 12 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-103.....	45
Gráfico 13 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-103.....	45
Gráfico 14 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-103.....	46
Gráfico 15 – Composição química do testemunho SIS-103.....	46
Gráfico 16 – Composição mineral do testemunho SIS-103.....	47
Gráfico 17 – Variação textural no testemunho SIS-105.....	51
Gráfico 18 – Teores de CaCO ₃ do testemunho SIS-105.....	53
Gráfico 19 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-105.....	54
Gráfico 20 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-105.....	54
Gráfico 21 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-105.....	55
Gráfico 22 – Composição química do topo do testemunho SIS-105.....	56

Gráfico 23 – Composição química da base do testemunho SIS-105.....	56
Gráfico 24 – Composição mineral do topo do testemunho SIS-105.....	57
Gráfico 25 – Composição mineral da base do testemunho SIS-105.....	57
Gráfico 26 – Variação textural no testemunho SIS-460.....	62
Gráfico 27 – Teores de CaCO ₃ do testemunho SIS-460.....	64
Gráfico 28 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-460.....	65
Gráfico 29 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-460.....	66
Gráfico 30 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-460.....	66
Gráfico 31 – Composição química do topo do testemunho SIS-460.....	67
Gráfico 32 – Composição química do meio do testemunho SIS-460.....	68
Gráfico 33 – Composição química da base do testemunho SIS-460.....	68
Gráfico 34 – Composição mineral do topo do testemunho SIS-460.....	69
Gráfico 35 – Composição mineral do meio do testemunho SIS-460.....	70
Gráfico 36 – Composição mineral da base do testemunho SIS-460.....	70
Gráfico 37 – Variação textural no testemunho SIS-108.....	74
Gráfico 38 – Teores de CaCO ₃ do testemunho SIS-108.....	76
Gráfico 39 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-108.....	77
Gráfico 40 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-108.....	77
Gráfico 41 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-108.....	78
Gráfico 42 – Composição química do testemunho SIS-108.....	78
Gráfico 43 – Composição mineral do testemunho SIS-108.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de coleta de amostra para cada frasco de uma mesma amostra..	17
Tabela 2 – Cálculo dos pesos das frações inferiores a 0,062mm de uma mesma amostra.....	18
Tabela 3 – Classificação de sedimentos marinhos	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Apresentação	1
1.2	Objetivos gerais	2
1.3	Objetivos específicos	2
1.4	Localização e acesso a Acaraú-CE	2
1.5	Justificativa	4
2	GEOLOGIA REGIONAL	5
2.1	Margem continental	5
2.2	Talude continental	5
2.3	A Bacia do Ceará	6
2.3.1	<i>Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Ceará</i>	8
2.3.1.1	<i>Fase rifte</i>	10
2.3.1.2	<i>Fase transicional (ou pós-rifte)</i>	10
2.3.1.3	<i>Fase drifte</i>	10
3	MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1	Etapa inicial	12
3.2	Etapa de campo	12
3.3	Etapa de laboratório	13
3.3.1	<i>Serragem e divisão do testemunho</i>	13
3.3.2	<i>Fotografia do testemunho</i>	13
3.3.3	<i>Descrição macroscópica</i>	14
3.3.4	<i>Determinação de intervalos e separação das amostras</i>	14
3.3.5	<i>Análise granulométrica</i>	14
3.3.5.1	<i>Peneiramento úmido</i>	14
3.3.5.2	<i>Peneiramento seco</i>	15
3.3.5.3	<i>Sedimentos finos</i>	16
3.3.6	<i>Carbonato de cálcio</i>	19
3.3.7	<i>Matéria orgânica e carbono orgânico</i>	21
3.3.8	<i>Nitrogênio total</i>	22
3.3.9	<i>Razão carbono e nitrogênio (C/N)</i>	23
3.3.10	<i>Fluorescência e difração de raios-X</i>	23
3.3.11	<i>Sedimentos biogênicos</i>	24

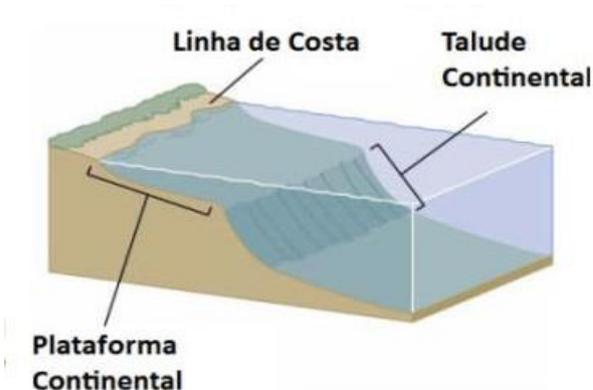
3.3.12	<i>Microscópio eletrônico de varredura (MEV) e espectrômetro de energia dispersiva (EDS)</i>	25
3.4	Etapa de gabinete	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1	Testemunho SIS-100	29
4.2	Testemunho SIS-103	40
4.3	Testemunho SIS-105	49
4.4	Testemunho SIS-460	60
4.5	Testemunho SIS-108	72
5.	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Cerca de 70% da superfície da terra encontra-se abaixo do nível do mar, e ainda é relativamente pouco conhecida. Entre esses ambientes marinhos existe a margem continental que separa os domínios continentais dos oceânicos, representado por uma zona de transição entre a crosta continental e a oceânica. A mesma é constituída pela plataforma continental, talude continental, elevação continental, sopé continental e fossas ativas, além das planícies costeiras (Vital *et al.*, 2005).

O talude continental (Figura 1) é definido por Campos (1992) como uma encosta estreita que se inclina da borda da plataforma continental até profundidades que variam regionalmente, condicionadas por diferenças no regime de sedimentação e por feições estruturais específicas, tal como o *guyot* do Ceará.



Este também é conhecido como a porção dos fundos marinhos com declive muito pronunciado que fica entre a plataforma continental e a planície abissal, caracterizado por um gradiente topográfico acentuado.

Figura 1 – Perspectivado talude
(Fonte: Batista Neto *et. al.*, 2004).

No talude continental, são encontrados, sedimentos finos originários de fatores gravitacionais, no qual os principais processos de transporte são: correntes de turbidez, corridas de lama, fluxo de sedimentos liquefeitos, fluxos granulares e deslizamentos. Esses processos classificam-se como fluxos gravitacionais. Assim, são encontrados na área, em sua maioria, sedimentos muito finos como silte e argila.

O termo argila de acordo com Santos (1989) se refere às partículas minerais com tamanho menor que 0,004 mm, constituintes de sedimentos (não consolidados) e rochas sedimentares (consolidados). As argilas possuem diversas aplicações industriais, de grande importância econômica e social, relacionada à construção civil.

Logo, esta pesquisa tem sua importância de transformar as zonas submersas do planeta em áreas de importantes estudos voltados para mineração, através da identificação do potencial mineral destas a fim de suprir a escassez dos recursos continentais brasileiros.

A finalidade principal deste trabalho é caracterizar o talude continental, de acordo com sua cobertura sedimentar, com a descrição quanto à textura, cor, composição, matéria orgânica, mineralogia básica e componentes bióticos.

1.2 Objetivos gerais

Caracterização sedimentar e geoquímica do talude situado na costa oeste do Ceará.

1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar os sedimentos quanto a sua textura e seu teor de carbonato de cálcio;
- Caracterizar a feição superficial dos grãos através do Microscópio Eletrônico de Varredura;
- Identificar os principais minerais e elementos maiores por Difractometria e Fluorescência de Raios-X na fração argila dos testemunhos;
- Determinar a concentração de Carbono orgânico e Nitrogênio total;
- Identificar os componentes bióticos.

1.4 Localização e acesso a Acaraú-CE

A área de estudo está localizada na porção Oeste do talude continental do estado do Ceará, em frente ao litoral de Acaraú (Mapa 1), distando aproximadamente 80 km da costa, com profundidades entre 60 e 2550 m, e limites nas coordenadas 369000E/9779000N, 387000E/9779000N, 369000E/9758000N e 387000E/9758000N.

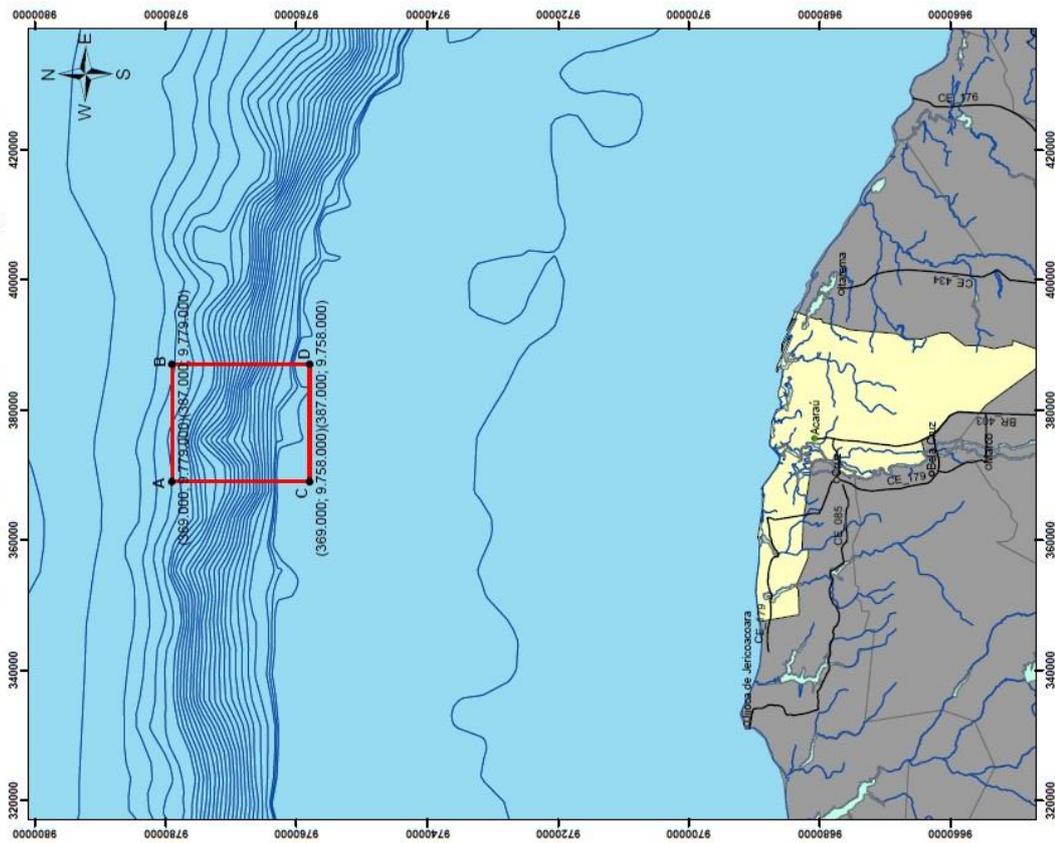
A distância entre Fortaleza e Acaraú é aproximadamente 230 km, saindo de Fortaleza o acesso se dá pela BR-222, segue-se por 3km até a bifurcação com a CE-085 em Caucaia, e prossegue-se nessa rodovia até Acaraú ao longo de 227km.

Mapa de Localização no Litoral Oeste do Ceará



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
Relatório de Graduação
Alunos: Daniel de Ponti e Inacio Neto
Julho de 2014

Projeção UTM
(Universal Transversa de Mercator)
Datum Horizontal: WGS-84 Zona: 24M
Declinação Magnética: 21° 31,7' W
Variação Anual: 1" E

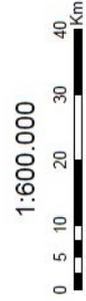


Legenda

- Vértices da área
- Sedes Municipais
- Sede de Acaraú
- Sistema Viário
- Corpos D'água
- Drenagens
- Área de estudo
- Isóbatas
- Outros Municípios
- Acaraú



Localização da Área de Estudo no Ceará



Mapa 1 – Localização da área a ser estudada

(Fonte: autor).

1.5 Justificativa

O estudo sedimentológico no Talude Continental e na bacia do Ceará é justificado pela deficiência em trabalhos referentes à composição química e mineralógica dos sedimentos e pelo grande interesse exploratório em depósitos de águas rasas, profundas e ultra profundas. Nessa área são encontrados sedimentos muito finos, como silte e argila, originários de fatores gravitacionais favorecendo a acumulação de hidrocarbonetos (petróleo e gás natural), tendo como principais processos de transporte: correntes de turbidez, corridas de lama, fluxo de sedimentos liquefeitos, fluxos granulares e deslizamentos. Com exceção do último citado, esses processos classificam-se como fluxos gravitacionais.

O estudo das argilas ganha enorme importância tanto do ponto de vista geológico, como econômico. Primeiro porque são de grande importância para reconstrução de mudanças sedimentológicas no período do Quaternário e segundo porque as argilas possuem diversas aplicações industriais.

2 GEOLOGIA REGIONAL

2.1 Margem continental

Devido à área de estudo localizar-se no talude continental, se torna clara a necessidade da compreensão da caracterização morfológica e geológica da zona continental submersa, isto é, da margem continental.

As margens continentais constituem-se em unidades de transição entre os continentes e as bacias oceânicas e são consideradas, do ponto de vista geológico, prolongamentos das plataformas continentais que se localizam abaixo do nível dos oceanos (Tessler; Mahiques, 2003; Batista Neto; Silva, 2004).

As margens continentais representam 20% do total da área ocupada pelos oceanos (Kennett, 1982) e podem ser agrupadas em dois tipos principais, de acordo com sua morfologia e evolução tectônica: as margens do “tipo Atlântico” (Passivas ou divergentes – são mais extensas e estáveis, que é caracterizada pelo considerável acúmulo de sedimentos) e do “tipo Pacífico” (Ativas ou convergentes – são mais estreitas e com intensa atividade tectônica de vulcanismo e terremotos, dobramentos, falhamentos e outros processos geológicos).

De acordo com Batista Neto *et al.* (2004) a margem continental brasileira é do “tipo Atlântico”, ela é caracterizada por ter grande extensão, apresentar estabilidade tectônica e possuir espessas camadas sedimentares. Martins et al. (1972) situa a margem continental do Ceará na borda oeste do oceano Atlântico Equatorial, abrange uma faixa de extensão de aproximadamente 324 mn (milhas náuticas), com largura de 230 a 320 mn (milhas náuticas).

Batista Neto *et al.* (2004) ainda afirmam que a margem continental apresenta três províncias fisiográficas distintas, definidas principalmente por variações do gradiente batimétrico: a plataforma continental, o talude continental, objeto de estudo dessa pesquisa, e a elevação ou sopé continental.

2.2 Talude continental

Pode-se entender o talude continental como a parte final do continente, onde há o encontro da crosta continental com a crosta oceânica, que forma desníveis de profundidade variável, que chegam a atingir 3.000 m.

No entanto, Fairbridge (1966) considerou que o talude continental delimita a borda estrutural do continente, situado sobre a zona de transição entre a espessa crosta continental e a delgada crosta oceânica.

Já para Tessler&Mahiques (2000), o talude continental constitui uma unidade de relevo, de constituição sedimentar, que se inclina de forma acentuada até profundidades da ordem de 3.000 m, a qual já retorna a um relevo mais homogêneo. Vale ressaltar que o relevo do talude continental não é homogêneo, ocorre quebras de declividade e também frequentemente cânions e vales submersos.

Suguio (1998) asseverou que o talude continental é a parte da margem continental com gradiente superior a 1:40, delimitada entre a parte externa da plataforma continental e a parte que exhibe rápido decréscimo na declividade, situada entre 1373 e 3050 m, onde se inicia o sopé continental.

2.3 A Bacia do Ceará

Localizada na plataforma continental da margem equatorial brasileira (Figura 2), abrangendo uma área de aproximadamente 34.000 km². Está separada da bacia Potiguar pelo Alto de Fortaleza, a sudeste, e limita-se a oeste com a bacia de Barreirinhas pelo Alto de Tutóia. O seu limite sul é dado pela faixa de afloramento do embasamento cristalino, junto à linha de costa no estado do Ceará. Ao norte limita-se pelo ramo sul da Zona de Fratura Romanche.

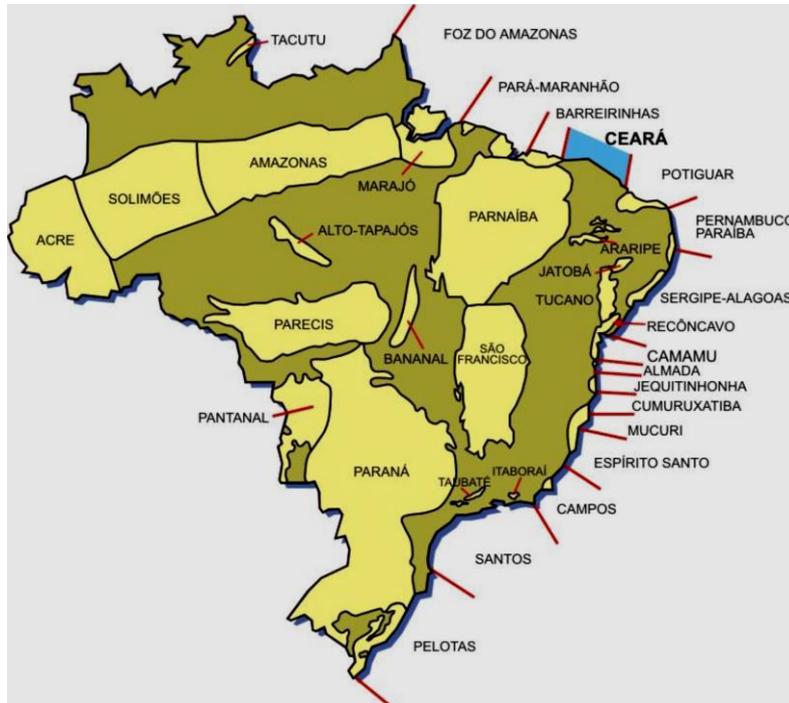


Figura 2 – Localização da Bacia do Ceará no Brasil

(Fonte: Morais Neto *et al.*, 2003).

Devido a características tectônicas distintas, a bacia do Ceará é compartimentada em quatro sub-bacias: Piauí-Camocim, Acaraú, Icarai e Mundaú, de oeste para leste (Figura 3), as quais apresentam histórias deposicionais e deformacionais ligeiramente distintas. As sub-bacias de Icarai e Acaraú estão separadas pelo prolongamento norte do Lineamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano), sendo que a última está separada da sub-bacia de Piauí-Camocim pelo Alto do Ceará, feição positiva de provável origem magmática. A sub-bacia de Mundaú, por sua vez, limita-se com a sub-bacia de Icarai por uma importante inflexão da falha de borda, no prolongamento nordeste da falha de Forquilha.

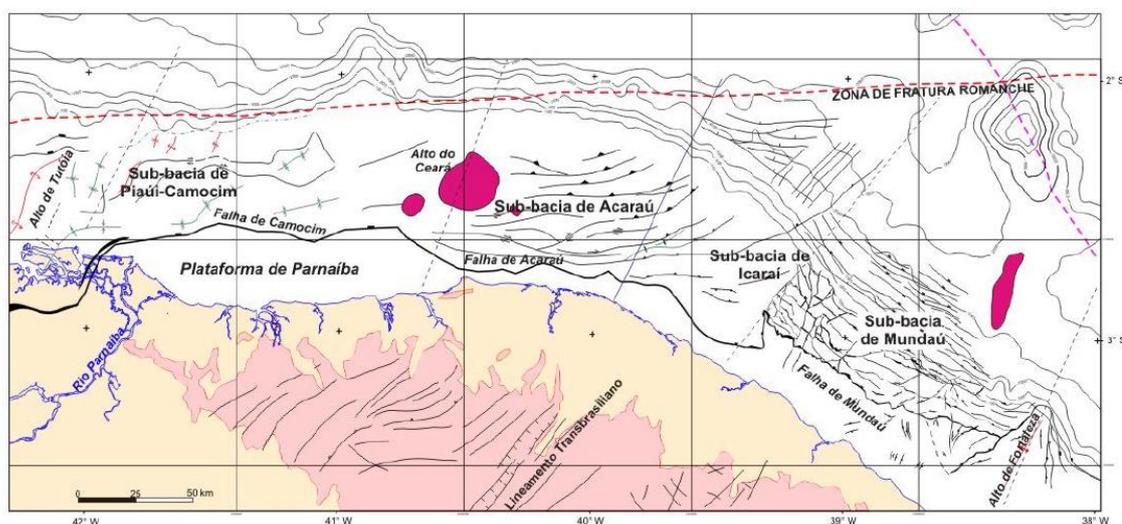


Figura 3 – Localização, limites e arcabouço da Bacia do Ceará

(Fonte: Morais Neto *et al.*, 2003).

Nas sub-bacias de Icarai, Acaraú e Piauí-Camocim, por sua vez situadas no domínio transpressivo, os principais traços estruturais alinham-se na direção Leste-Oeste e Nordeste-Sudoeste, claramente influenciados pela movimentação direcional associada à tectônica transcorrente ao longo daquele megacorreidor de cisalhamento dextral. Tal deformação foi responsável pela geração de estruturas, como: falhas de cavalgamento, falhas reversas, falhas normais e oblíquas, estruturas-em-flor positivas e negativas, enxames de falhas direcionais e dobras gigantes.

2.3.1 Evolução tectono-sedimentar da Bacia do Ceará

A Bacia do Ceará tem sua origem relacionada ao rompimento do supercontinente Gondwana (Figura 4) e, provavelmente, iniciou sua evolução no Eoaptiano (Costa *et al.*, 1990; Beltrami *et al.*, 1994; Condéet *et al.*, 2007).

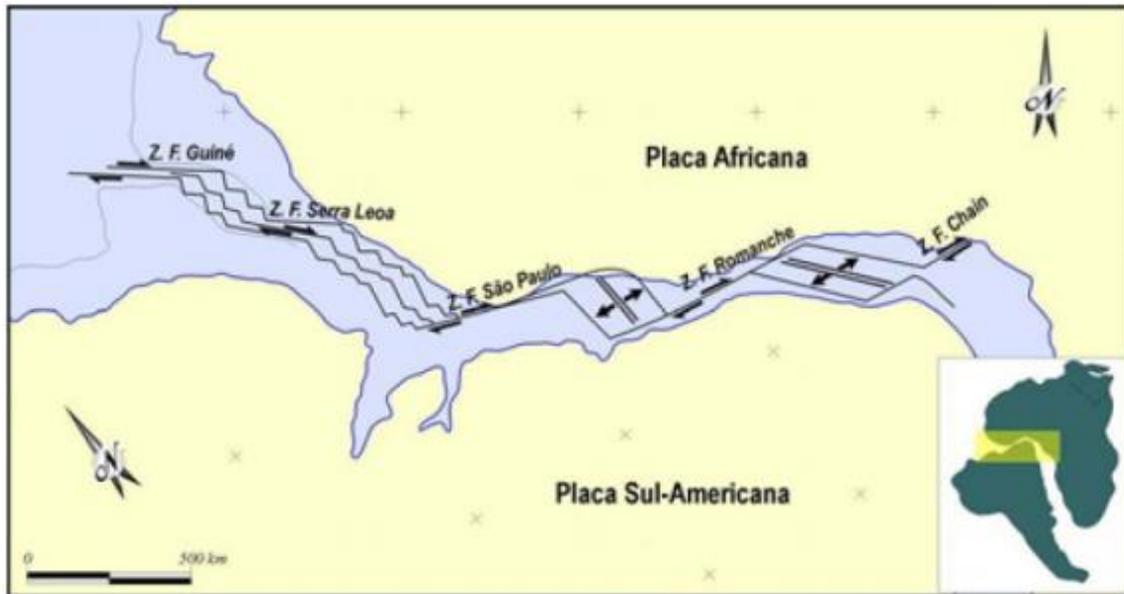


Figura 4 – Modelo de evolução tectônica proposto para a abertura do Oceano Atlântico equatorial durante a transição Aptiano/Albiano.

(Fonte: Pindell 1985 *apud* Antunes 2004).

Costa *et al.* (1990), Beltrami *et al.* (1994) e Condéet *et al.* (2007) reconhecem três estágios tectono-sedimentares apresentados na carta estratigráfica da bacia (Figura 5) e serão descritos posteriormente:

- 1) Fase rifte;
- 2) Fase transicional (ou Pós-rifte);
- 3) Fase drifte.

2.3.1.1 Fase rifte

De acordo com Costa *et al.* (1990) o modelo mais aceito para explicar o início do rifte propõe que sua formação seja uma resposta ao processo de estiramento litosférico que atuou durante a fragmentação do paleocontinente Gondwana, que neste segmento da margem brasileira se deu no Eoaptiano..

O preenchimento desta fase inicia-se no andar Alagoas com a deposição de sedimentos continentais, provenientes de leques aluviais, rios entrelaçados e lagos, que compõem a Formação Mundaú.

2.3.1.2 Fase transicional (ou pós-rifte)

Sucedendo a fase rifte, foi instalado um ciclo deposicional em ambiente transicional, que representa as primeiras incursões marinhas na bacia (Costa *et al.* 1990; Beltrami *et al.* 1994).

Inicialmente foram depositados sedimentos fluviais, deltaicos e lacustres, que constituem a Formação Paracuru. Este ciclo deposicional prossegue com a deposição de carbonatos do Membro Trairí e ocorrências localizadas de evaporitos (Della Fávera *et al.*, 1984 apud Costa *et al.*, 1990). A fase transicional tem seu término no Neo-Alagoas, em ambiente marinho, com deposição predominante de sedimentos pelíticos

2.3.1.3 Fase drifte

A fase final de evolução tectono-sedimentar da Bacia do Ceará inicia-se no Albiano como consequência da deriva continental, do resfriamento crustal e da subsidência generalizada (Costa *et al.*, 1990; Morais Neto *et al.*, 2003).

Em seu estágio inicial de ambiente marinho franco, com transgressão, depositaram-se na bacia os folhelhos do Membro Uruburetama da Formação Ubarana.

Ao final do Santoniano, algumas áreas da sub-bacia de Mundaú apresentam erosão resultante da variação do nível do mar, assinalando o final do ciclo transgressivo. Segundo Costa *et al.* (1990), o ciclo regressivo teve início no Campaniano-Maastrichtiano com deposição de folhelhos e arenitos turbidíticos do Membro Itapagé da Formação Ubarana.

No Terciário, ocorreram derrames de rochas basálticas que constituem a Formação Macau (34 Milhões de anos) (Beltrami *et al.*, 1994) ou Magmatismo Mecejana de Condé *et al.* (2007).

Nesse mesmo período, depositaram-se os carbonatos da Formação Guamaré e aos arenitos da Formação Tibau.

Nas porções mais proximais da bacia, ocorreu a deposição dos arenitos da Formação Barreiras, que na maior parte da sua área de ocorrência repousam diretamente sobre o embasamento cristalino pré-cambriano (Costa *et al.*, 1990).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Etapa inicial

Esta etapa consiste do levantamento bibliográfico de artigos nacionais e internacionais, relatórios, dissertações e teses desenvolvidos na região ou que empregam a mesma base de estudos, e elaboração de mapa preliminar a partir da carta SA.24-Y-B-IV (Acará-CE) e outros arquivos digitais adquiridos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), dentre outros.

Para a geração do mapa integraram-se dados como sistema viário e localização do município de Acará no Ceará, dentre outros, através do programa *ArcGIS9.3*, e gerado o mapa preliminar a fim de identificar e de limitar a área na qual foi realizada a coleta dos testemunhos.

3.2 Etapa de campo

Nesta etapa é realizada a coleta dos testemunhos na área localizada na carta SA.24-Y-B-IV (Acará-CE), entre as coordenadas 369000E/9779000N, 387000E/9779000N, 369000E/9758000N, 387000E/9758000N, com aproximadamente 378 km² de área.

As amostras foram coletadas através de testemunhador a pistão (Figura 6) que utiliza o processo de “queda livre” para entrada no fundo marinho. Ele constitui-se de um tubo com um peso na parte superior onde se prende o cabo de sustentação e uma ponta cortante que penetra no sedimento.

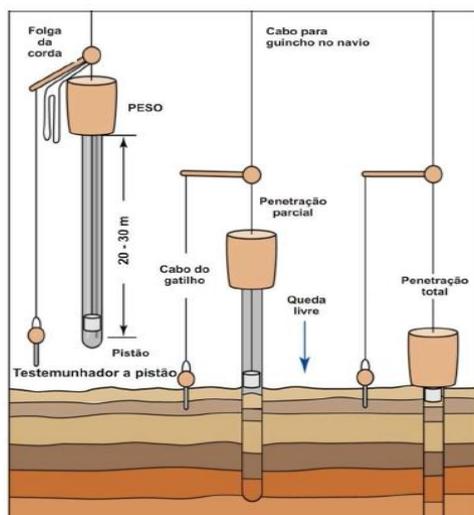


Figura 6 – Testemunhador a pistão

(Fonte: Adaptado de Pinet, 2006).

3.3 Etapa de laboratório

3.3.1 Serragem e divisão do testemunho

Posiciona-se o testemunho de modo que este fique nivelado horizontalmente e, começando do topo em direção à base, serra-se apenas o tubo de PVC - Policloreto de vinil (*liner*) a fim de deixar uma abertura de aproximadamente 0,5 cm, mas sem alcançar a amostra no seu interior (Figura 7).

Após a serragem, utiliza-se um fio de nylon fino e resistente e, através da abertura feita na etapa de serragem do *liner*, divide-se a amostra úmida, ao longo de seu comprimento do topo em direção à base, em duas metades aproximadamente simétricas.



Figura 7 – Etapa de serragem do tubo de PVC (Fonte: autor).

3.3.2 Fotografia do testemunho

Deve-se realizar a fotografia assim que se serra o testemunho para que assim não haja perda de umidade do mesmo.

Logo após a divisão, uma das metades do testemunho é fotografada a cada 30 cm, posicionando-se a câmera fotográfica a uma altura fixa em relação ao testemunho e de modo que haja recobrimento de 20% em cada fotografia, além da indicação de topo e base do testemunho e de uma fita métrica ao lado do testemunho no momento da fotografia onde o zero deve estar no topo, servindo assim como escala gráfica.

Depois disso a outra metade é etiquetada e acondicionada em saco plástico para gerar uma duplicata, e se houver a necessidade de refazer alguma análise.

3.3.3 Descrição macroscópica

Depois de arquivadas as fotografias, prossegue-se com a descrição macroscópica, levando em conta aspectos como variações de estrutura (por exemplo: homogênea, laminada, cruzada ou mosqueada), de contatos (por exemplo: brusco, gradacional ou mosqueado), e das cores dominante, além dos biodetritos presentes, sempre deve-se anotar o nível centimétrico em que se encontram esses parâmetros no testemunho para posteriores discussões e conclusões.

Para a descrição da cor do testemunho ainda úmido, utiliza-se a *Rock-Color Chart*, oriunda da Carta de Munsell (Carta de cores para descrição de solos), baseada na gradação de cor (tonalidade), seguido pela luminosidade e por fim, o grau de saturação da cor (croma). As cores são indicadas por um código (por exemplo, 5R 4/6) e/ou por um nome descritivo (por exemplo, cinza esverdeada). Segundo Pantin (1969) determinados grupos de cores indicam a presença de componentes adsorvidos, como os óxidos ou hidróxidos de ferro (cor amarela 5Y com saturação moderada a alta).

3.3.4 Determinação de intervalos e separação das amostras

Com o auxílio de uma espátula de plástico resistente, dividiu-se a metade do testemunho em alíquotas a cada 10 cm (nos testemunhos homogêneos) ou a cada 7-8 cm (nos testemunhos heterogêneos).

Após a definição dos intervalos e separação das amostras, elas são colocadas em recipientes de vidro etiquetados e levadas à estufa a 60°C.

Após secas, as alíquotas são pesadas e separados 100 g para a análise granulométrica e 3g para a análise de carbonato de cálcio.

3.3.5 Análise granulométrica

3.3.5.1 Peneiramento úmido

Levam-se os 100g separados de cada alíquota para a etapa do peneiramento úmido no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada - LGMA, onde neste processo a amostra é lavada sobre uma peneira com uma malha de abertura de 0,062mm onde a fração menor a esta peneira (silte e argila) passa e decanta num balde (Figura 8), que após a retirada do excesso de água por um sifão (se este material mais fino possuir um peso inferior a 75% dos 100g inicialmente pesados, este é levado novamente à estufa a 60°C, caso contrário deverá ser feita a pipetagem antes), enquanto que o material retido na mesma peneira é secado na mesma temperatura e segue-se para o próximo passo.



Figura 8 – Etapa do peneiramento úmido (Fonte: autor).

3.3.5.2 Peneiramento seco

Utiliza-se a amostra que fica retida na peneira durante a etapa anterior, que após seca é levada ao *rotupsieveshaker* (agitador mecânico), onde durante 10 minutos a amostra é separada segundo o diâmetro dos grãos e estes ficam retidos num conjunto de 14 peneiras com malhas variando desde 5,660mm até 0,062mm (Figura 9).

Cada peneira é limpa e pesa-se a amostra logo a seguir, e seu peso é anotado para o cálculo do percentual de cascalho (grãos com diâmetro acima de 2,00mm), o de areia (grãos com diâmetro entre 2,00mm e 0,062mm), e o de lama (sedimentos finos com diâmetro inferior a 0,062mm) através do programa ANASED 5.0 – Análise Sedimentológica (LIMA *et al.* 2001).



Figura 9 – Peneiras utilizadas na análise granulométrica (Fonte:autor).

Para classificar texturalmente o sedimento usa-se o diagrama triangular que utiliza os percentuais de cascalho, areia e lama (Figura 10).

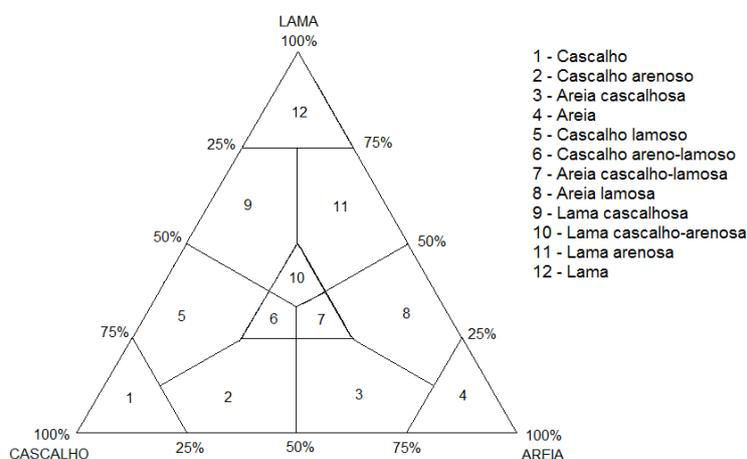


Figura 10 – Diagrama triangular (cascalho, areia e lama) para classificação de sedimentos clásticos segundo a granulometria (Fonte: SHEPARD,1954).

3.3.5.3 Sedimentos finos

Utiliza-se o método da pipeta para as amostras que possuem teores acima de 75% de sedimento lamoso (silte e argila) a fim de obter os pesos e percentuais das frações de 0,032, 0,016, 0,008, 0,004 e 0,002 mm. Baseado na Lei de Stokes, as partículas maiores possuem uma velocidade maior de decantação em relação às partículas menores.

Pesam-se cinco frascos vazios para cada amostra, anota-se o peso e etiqueta-se com a numeração de 1 até 5, após isso, retira-se o excesso de água na qual o sedimento decantou-se e transfere-se o material para uma proveta de 1000mL e completa-se o volume(Figura 11), após isso adiciona-se 0,67g do antifloculante oxalato de sódio – $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$. Mistura-se com um bastão de vidro até a completa dissolução, e no momento em que cessa o movimento é iniciado o cronômetro.



Figura 11 – Amostras no início da etapa de pipetagem (Fonte: autor).

A ordem das coletas está na tabela 1, somente na primeira coleta é coletado no nível de 20cm abaixo da marcação de 1000mL, nas demais é feita a coleta no nível de 10cm. Com uma pipeta é retirado 20mL da proveta de acordo com o tempo estabelecido, e após as cinco coletas, os frascos com amostras são levados à estufa a 60°C e após secos são pesados.

Tabela 1 – Tempo de coleta de amostra para cada frasco de uma mesma amostra
(Fonte: SUGUIO, 1973).

Frasco	Diâmetro (mm)	Profundidade (cm)	Tempo (h:min:s)
1	0,031	20	00:00:58
2	0,016	10	00:03:52
3	0,008	10	00:07:44
4	0,004	10	00:31:00
5	0,002	10	02:03:00

Para o cálculo dos finos primeiro calcula-se a diferença entre o frasco seco e o frasco com amostra e oxalato de sódio, subtrai-se por 0,013 (oxalato de sódio num volume de 20mL) e multiplica-se por 50 (a pipeta de 20mL equivale a 1/50 do volume total). Após isso se subtrai o peso total retido nas peneiras por 100g para obter o peso total de finos e prosseguir para o cálculo mostrado na tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo dos pesos das frações inferiores a 0,062mm de uma mesma amostra
(Fonte: SUGUIO, 1973).

Frasco	Conteúdo do frasco (Hn)	Fórmula de cálculo	Diâmetro (mm)
Peso total de finos - H1			
1	H1	H1 - H2	0,031
2	H2	H2 - H3	0,016
3	H3	H3 - H4	0,008
4	H4	H4 - H5	0,004
5	H5	H5	0,002

Com os resultados obtêm-se o percentual de silte, a partir da soma dos pesos finais relativos aos diâmetros entre 0,031mm e 0,004mm e o percentual de argila equivale ao peso final do material com diâmetro inferior a 0,002mm.

Para classificar texturalmente este sedimento com teor acima de 75,00% de finos, usa-se o diagrama triangular, este utiliza os percentuais de areia, silte e argila (Figura 12)

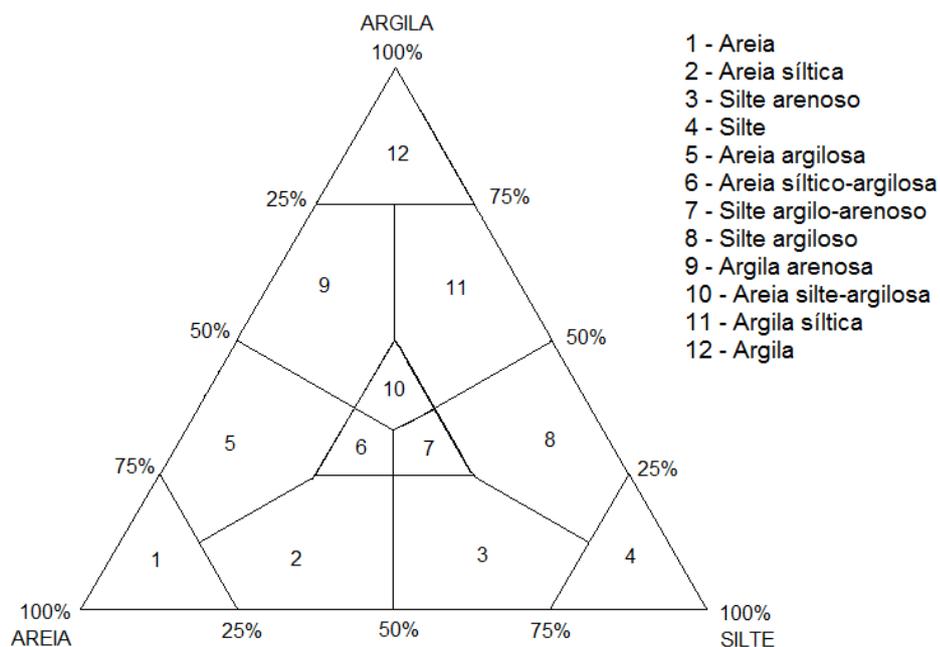


Figura 12 – Diagrama triangular (areia, silte e argila) para classificação de sedimentos clásticos segundo a granulometria (Fonte: SHEPARD, 1954).

3.3.6 Carbonato de cálcio

Através do método do calcímetro de Bernard modificado (Figura 13), é medido indiretamente o teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) a partir da reação entre ácido clorídrico a 10% (HCl) com a amostra.



Figura 13 – Calcímetro de Bernard modificado (Fonte: autor).

Inicialmente triturou-se e pesou-se 0,50g dos 3g da amostra previamente separada e 0,50g de CaCO_3 puro, transferir este peso para um *erlenmeyer* com tubo lateral acoplado, em seguida adicionar a este tubo 3mL de HCl a 10% sem que o mesmo reaja com a amostra anteriormente colocada.

Primeiro deve-se proceder a reação entre o HCl a 10% com o CaCO_3 puro, com o *erlenmeyer* fechado e vedado, anota-se o nível inicial no tubo graduado do calcímetro em seguida inclina-se o *erlenmeyer* para que o ácido entre em contato com o CaCO_3 e produza CO_2 , este gás é liberado no interior do calcímetro e desloca assim a solução salina (50mL de solução saturada onde 35,00g de NaCl estão dissolvidos em 100mL de H_2O), quando a liberação de gás cessar anota-se o nível final e com a diferença dos níveis inicial e final obtém-se o volume de CO_2 produzido na reação. Depois de ter feito isso, faz-se a duplicata do CaCO_3 puro e logo após repete-se este processo para cada amostra.

Para o cálculo do teor de CaCO_3 , divide-se o volume de CO_2 liberado a partir da amostra pela média aritmética entre o volume liberado a partir do padrão e sua duplicata (carbonato puro), em seguida multiplica-se por 100 e obtém-se, de forma indireta, o teor (em %) de CaCO_3 que a amostra possui e posteriormente classificá-lo (Tabela 3).

Tabela 3.3 – Classificação de sedimentos marinhos (Larsonneur, 1977 modificada por Dias, 1996).
Md = mediana ; **L** = lama ; **c** = coquina (>20 mm); **s** = seixos (4 a 65 mm); **g** = grânulos (2 a 4mm); **r** = rodolitos (nódulos de algas calcáreas).
 O sedimento pode ser ainda qualificado como ficogênico (**f**) ou zoogênico(**z**)

SUBDIVISÕES PRINCIPAIS	SEIXOS, COQUINAS OU RODOLITOS		GRANULOS		AREIAS		SEDIMENTOS LAMOSOS	
	L < 15%; s+c+r > 50%	L < 15%; s+c+r < 50%	L < 15%; s+c+r > 15%	L < 15%; s+c+r < 15%	L < 15%; areia + lama > 50%	L > 15%	L < 25%	L > 25%
	SEIXOS LITOCLÁSTICOS	SEIXOS LITOCLÁSTICOS	GRANULOS LITOCLÁSTICOS	GRANULOS LITOCLÁSTICOS	AREIAS LITOCLÁSTICAS	AREIAS LITOCLÁSTICAS	LAMA TERRÍGENA	
SEDIMENTO LITOCLÁSTICO carbonatos < 30%	s+c+r > 70%	s+c+r < 70%	s+c+r > 15%	s+c+r < 15%	15% < superior a 2 mm < 50%	0.5 a 2mm. AL1c	L < 25%	L > 75%
	SL1a cascalho litoclástico	SL1b cascalho litoclástico	GL1a grânulos litoclásticos c/cascalho	GL1b grânulos litoclásticos	areia litoclástica c/ grânulos	areia litoclástica grossa a muito grossa	LL1a lama terrígena arenosa	LL1c Lama terrígena arenosa
SEDIMENTO LITOBIOLITOCLÁSTICO carbonatos 30 a 50%	s+c+r > 70%	s+c+r < 70%	s+c+r > 15%	s+c+r < 15%	15% < superior a 2 mm < 50%	0.5 a 2mm. AL2c	L < 25%	L > 75%
	SL2a cascalho litobioclástico	SL2b cascalho litobioclástico	GL2a grânulos lito bioclásticos c/cascalho	GL2b grânulos litobioclásticos	areia lito bioclástica c/ grânulos	areia lito bioclástica grossa a muito grossa	LL2a marga arenosa	LL2c marga arenosa
SEDIMENTO BIOLITOCLÁSTICO carbonatos 50 a 70%	c+r+s > 70%	c+r+s < 70%	c+r+s > 15%	c+r+s < 15%	15% < superior a 2 mm < 50%	0.5 a 2mm. AB1c	L < 25%	L > 75%
	CB1a coquina/rodolitos c/ litoclásticos	CB1b cascalho biolitoclástico	GB1a grânulo biolitoclástico	GB1b grânulo biolitoclástico	areia bio litoclástica c/ grânulos	areia bio litoclástica grossa a muito grossa	LB1a marga calcárea arenosa	LB1c marga calcárea
SEDIMENTO BIOLITOCLÁSTICO carbonatos > 70%	c+r+s > 70%	c+r+s < 70%	c+r+s > 15%	c+r+s < 15%	15% < superior a 2 mm < 50%	0.5 a 2mm. AB2c	L < 25%	L > 75%
	CB2a coquinas ou rodolitos	CB2b cascalho bioclástico	GB2a grânulo biocl. conchífero ou c/ rodolitos	GB2b grânulo bioclástico	areia bioclástica c/ grânulos	areia bioclástica grossa a muito grossa	LB2a areia bioclástica lamosa	LB2c vasa calcárea

3.3.7 *Matéria orgânica e carbono orgânico*

Determinar o teor de matéria orgânica em sedimentos é fundamental para diagnosticar geoquimicamente o ambiente sedimentar. Segundo Licht (2001), a matéria orgânica apresenta propriedades como a complexação ou adsorção de íons traços, resultando na imobilização e redução de seus estados de valência, que alteram suas propriedades químicas. Segundo Lemes (2005), sedimentos com maiores teores de matéria orgânica apresentam menor disponibilidade de metais.

Análise realizada no Laboratório de Geoquímica Ambiental – LGA, onde se utiliza o método de Walkley-Black modificado, descrito a seguir: Colocou-se em um *erlenmeyer* de 250 mL 0,50 g de amostra de diâmetro inferior a 2,0 mm (após peneirada) e adiciona-se 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ N. Em seguida, adicionou-se 20 mL de H_2SO_4 concentrado e agita-se o *erlenmeyer* durante um minuto. Deixar em repouso por 30 minutos. Fazer a prova em branco (sem adição de amostra). Titular com sulfato ferroso amoniacal $[Fe (NH_4)_2(SO_4)_2]$. Adicionar 200 mL de H_2O destilada, 10 mL de H_3PO_4 , 0,2 g NaF e dez gotas de difenilamina. Titular com sulfato ferroso amoniacal 0,4 N (pode ser usado o $FeSO_4$).

O final da titulação é atingido, quando a solução antes com uma cor escura agora possui uma coloração verde.

Para se calcular a concentração de carbono orgânico (g/kg) das amostras é utilizada a seguinte equação:

$$\text{g de carbono/kg de TFSE} = 0,06 \times V [40 - V_a \times (40 / V_b)] \times f$$

Onde:

TFSE = terra fina seca em estufa

V = volume de bicromato de potássio utilizado

V_a = volume de sulfato ferroso amoniacal usado na titulação da amostra

V_b = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da prova em branco

0,06 = fator de correção, a partir das alíquotas tomadas

f = fator de correção para TFSE

A quantidade de matéria orgânica presente na amostra é calculada pela equação a seguir:

$$\text{g de matéria orgânica/kg} = \text{g de carbono/kg} \times 1,724$$

3.3.8 Nitrogênio total

A determinação do teor de Nitrogênio total foi dada através do Método de Kjeldahl por via úmida. O Nitrogênio converte-se em sulfato de amônio através da oxidação com a solução extratora (CuSO_4 , H_2SO_4 e Na_2SO_4), depois é alcalinizado com NaOH , transformado em amônio complexado com ácido bórico e indicador misto e depois titulado com H_2SO_4 .

Análise realizada no LGA, e seu procedimento é descrito a seguir: primeiro pesa-se 0,7g de amostra posteriormente peneirada com diâmetro inferior a 2,000mm e coloca-se num balão kjedahl de 100mL, depois é adicionado 15mL da solução extratora e leva-se ao bloco digestor, onde este aquece a mistura numa temperatura de 350°C durante 1:30h até destruição completa da matéria orgânica, e após esfriar o tubo adiciona-se água destilada para a homogeneização.

No destilador de nitrogênio (Figura 14) é encaixado tubo e adicionado NaOH 40% (com 0,5g de fenolftaleína) até a solução alcalinizar (exibir uma cor rósea), coloca-se no final do destilador um erlenmeyer com 15mL de H_3BO_3 4% com indicador misto (Vermelho de metila 0,1% e Verde de bromocresol 0,1%) que exibe uma coloração alaranjada em meio ácido, inicia-se a destilação da amônia durante 5 minutos, onde no erlenmeyer a amônia presente da amostra forma um complexo com o ácido bórico e mostra uma coloração cinza-esverdeada a azul.



Figura 14 – Destilador de nitrogênio (da marca TECNAL) similar ao utilizado no LGA
(Fonte: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul).

Finalmente foi feita a titulação desta amônia complexada com o H_3BO_3 , utilizando H_2SO_4 0,01N que altera a amostra para cor que este estava antes de complexar com a amônia (ou seja, alaranjada). Depois se realiza a prova em branco contendo apenas a solução digestora e realizadas as etapas anteriores para a prova padrão.

Para o cálculo temos o volume corrigido como a diferença do volume de ácido sulfúrico usado na titulação da amostra menos o usado na titulação da prova em branco, depois se multiplica o volume corrigido pela concentração do ácido sulfúrico, pelo fator 10 (solução reagente) e por 1,40, a partir deste resultado divide-se pela massa usada e obtém-se a porcentagem de Nitrogênio total.

3.3.9 Razão carbono e nitrogênio (C/N)

A razão C/N representa o que foi preservado no sedimento em relação à composição orgânica global da biota que vivia sob determinadas condições físico-químicas no momento da deposição do material inconsolidado (Lima, 2007).

Hu *et. al.* (2006) constata que os pelitos tipicamente marinhos geralmente apresentam razão $\text{C/N} \leq 10$. Andrews *et. al.* (1998) estabelece que quando a razão $\text{C/N} = 15$ este valor é típico de estuários. Lerman (1979) considera a razão $\text{C/N} > 30$ para ambientes com aporte sedimentar de águas doces.

Quando a matéria orgânica mostra uma boa evolução em sua decomposição, os valores da razão C/N serão baixos. Assim para uma matéria orgânica pouco decomposta o valor de C/N será alto.

3.3.10 Fluorescência e difração de raios-X

Utiliza-se a amostra com diâmetro inferior a 0,062mm nas análises realizadas no espectrômetro de fluorescência de Raios-X *ZSX Mini II*, instalado no Laboratório de Raios-X do Departamento de Física – UFC (Figura 15A), através de pastilhas fundidas da amostra moída com mistura de tetra e metaborato de lítio. A análise da fluorescência de Raios-X fornece como resultado a relação dos elementos constituintes da fração fina com a sua proporção na forma de óxidos.



Figura 15 – A) Equipamento utilizado na fluorescência de Raios-X. B) Difratorômetro de Raios-X. (Fonte: Laboratório de Raios-X – UFC).

A partir da síntese dos dados das análises química, tanto qualitativa quanto quantitativa, onde os elementos estão na forma de óxidos (vale salientar que o teor de ferro dado é relativo ao ferro total da amostra), têm-se informações suficientes para determinar a composição mineralógica.

As análises de difração de raios-X foram realizadas em um difratômetro para amostras policristalinas modelo *X'Pert Pro MPD – Panalytical* (Figura 15B).

Pesa-se 2,0 g da fração inferior a 0,062mm e prepara-se uma solução argila-água com uma concentração de 60,0mg de argila para 1 cm³ de água destilada, retira-se com uma pipeta 3,0 mL da suspensão preparada e depositada sobre uma lâmina de vidro, e deixa-se secar em estufa à 100°C.

Após isso, realiza-se o ensaio de difração de raios-x, varrendo-se de 2 a 15° (escala 20). Para a interpretação dos difratogramas foi utilizado o programa *X'PertHighScore Plus*.

Após o ensaio de difração de raios-X, as distâncias interplanares (d) referentes aos picos apresentados no difratograma deverão ser confrontadas com as distâncias interplanares de cada fase. Consideram-se somente os minerais simples presentes.

3.3.11 Sedimentos biogênicos

A fração areia (<2,00m e >0,062mm) de cada amostra é visualizada com o auxílio de uma lupa binocular para determinação qualitativa dos sedimentos biogênicos presentes na amostra.

3.3.12 Microscópio eletrônico de varredura (MEV) e espectrômetro de energia dispersiva (EDS)

A principal função de qualquer microscópio é tornar visível ao olho humano o que for muito pequeno para tal. A forma mais antiga e usual é a lupa seguida do microscópio óptico, que ilumina o objeto com luz visível. O limite máximo de resolução dos microscópios ópticos é estabelecido pelos efeitos de difração devido ao comprimento de onda da radiação incidente. Os microscópios ópticos convencionais ficam, então, limitados a um aumento máximo de 2000 vezes, porque acima deste valor, detalhes menores são imperceptíveis. Um microscópio eletrônico de varredura utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é geralmente utilizado para observações de amostras espessas, ou seja, basicamente não transparentes a elétrons. A razão principal de sua utilização está associada à alta resolução que pode ser atingida, tipicamente da ordem de 10 μm , e a grande profundidade de foco, da ordem de centenas de vezes melhor que a do microscópio ótico, resultando em imagens com aparência tridimensional.

O MEV consiste basicamente de uma coluna ótico eletrônica, da câmara para a amostra, sistema de vácuo, controle eletrônico e sistema de imagem. As imagens no MEV são construídas ponto a ponto, de modo similar à formação de uma imagem de televisão. Um feixe de elétrons de alta energia é focalizado num ponto da amostra, o que causa emissão de elétrons com grande espalhamento de energia, que são coletados e amplificados para fornecer um sinal elétrico. Este sinal é utilizado para modular a intensidade de um feixe de elétrons num tubo de raios catódicos (TRC).

Para construir a imagem completa, o feixe de elétrons é varrido sobre uma área da superfície da amostra enquanto que um feixe no TRC é varrido sincronicamente sobre um rastro geometricamente similar. A Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS, EDX, ou XEDS) é uma técnica analítica utilizada para a análise elementar ou caracterização química de uma amostra. Baseia-se na investigação da interação de uma fonte de excitação de Raios-X e uma amostra.

As suas capacidades de caracterização são devidas, em grande parte, ao princípio fundamental de que cada elemento tem uma estrutura atômica única, permitindo um único conjunto de picos no seu espectro de Raios-X. Para estimular a emissão de Raios-X característicos a partir de uma amostra, um feixe de alta energia de partículas carregadas (elétrons, prótons ou um feixe de Raios-X) é focado na amostra a ser estudada.

O EDS é um acessório essencial no estudo de caracterização microscópica de materiais, pois o diâmetro reduzido do feixe permite a determinação da composição mineral em amostras de tamanhos muito reduzidos ($< 5 \mu\text{m}$), permitindo uma análise quase que pontual. O uso em conjunto do EDS com o MEV (Figura 16) é de grande importância na caracterização petrográfica e estudo petrológico nas geociências.



Figura 16 – Microscópio Eletrônico de Varredura (da marca HITACHI) similar ao utilizado na Universidade Federal do Ceará com Espectrômetro de Energia Dispersiva (da marca Oxford) acoplado ao mesmo (situado à esquerda do monitor da imagem) (Fonte: Grupo de Eletroquímica e Química Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM).

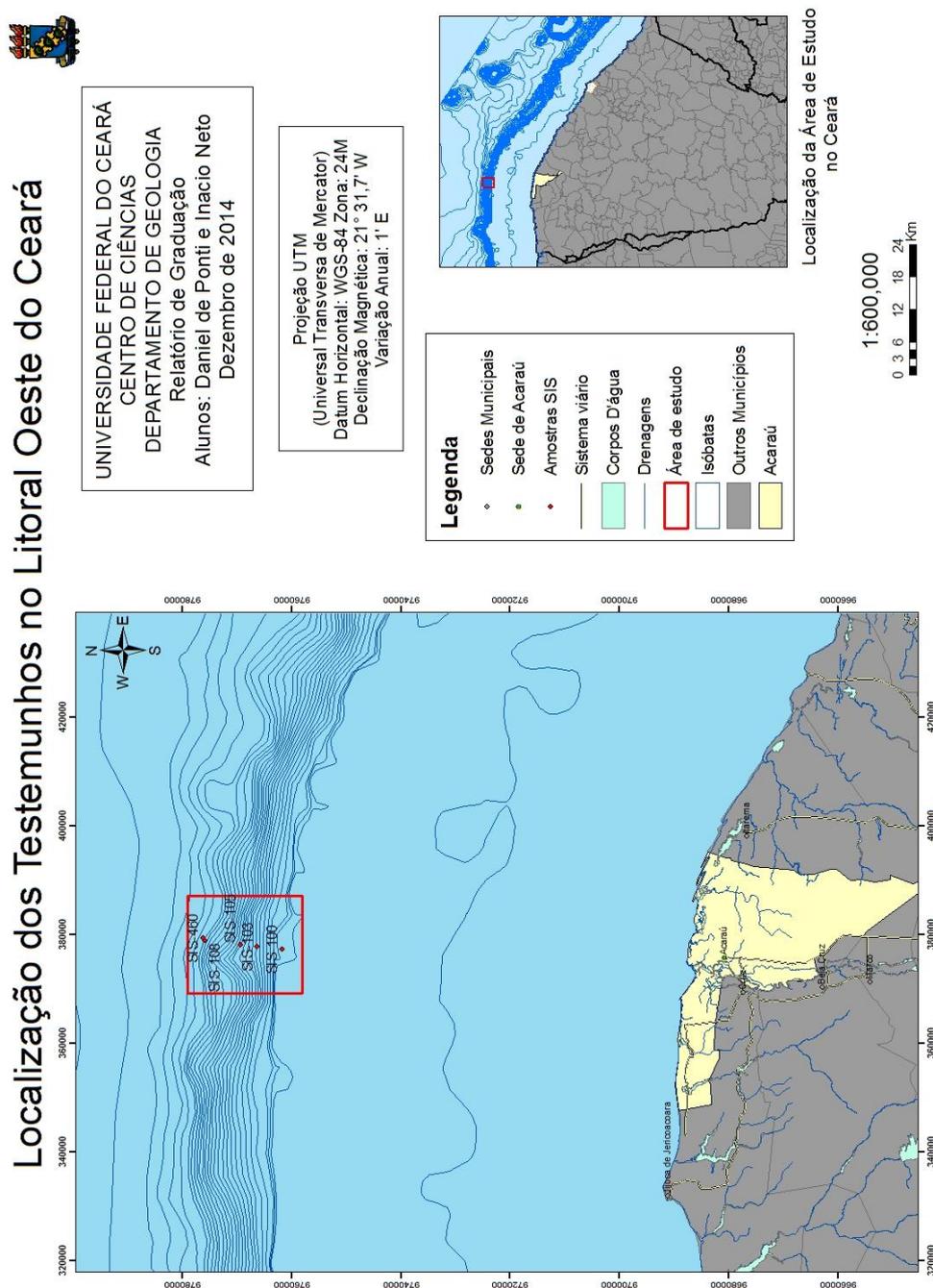
Enquanto o MEV proporciona nítidas imagens (ainda que virtuais, pois o que se vê no monitor do computador é a transcodificação da energia emitida pelas partículas, ao invés da radiação emitida pela luz, ao qual estamos habitualmente acostumados), o EDS permite sua imediata identificação.

3.4 Etapa de gabinete

Análise e integração dos resultados das análises citadas anteriormente, na qual se utiliza de softwares como ANASED 5.0, *ArcGIS 9.3e* e *Corel Draw X3*, seguido da execução do Relatório Final e apresentação do mesmo, além de trabalhos para publicação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os cinco testemunhos estudados – SIS 100, 103, 105, 460 e 108 (Mapa 2) foram coletados nas profundidades de 60m, 480m, 950m, 2300m e 2350m, respectivamente, no qual os mesmos representam a parte superficial do ponto de coleta (com exceção do testemunho SIS-108, no qual este representa a porção desde o meio até a base, devido a problemas logísticos, perdeu-se 2,3m deste testemunho, do topo ao meio) e comprimentos destes testemunhos variam desde 30,0cm a 74,0cm e largura de 7,0cm.



Mapa 2 – Localização dos cinco testemunhos estudados (Fonte:autor).

4.1 Testemunho SIS-100

Testemunhagem executada na latitude 377283,694 Leste e longitude 9761681,000 Norte (Zona UTM - *Universal Transversa de Mercator*: 24M) a uma profundidade de 60m e distando cerca de 75km da foz do Rio Acaraú, com tubo de 48,0cm e recuperação de 46,5cm. A amostra foi dividida em alíquotas a cada 10,0cm com exceção do topo (7,0cm) e da base (3,5cm), num total de 6 amostras.

4.1.1 Descrição macroscópica

A figura 17 representa o testemunho SIS-100. A predominância de sedimentos biogênicos é devido ao fato de que a coleta deste testemunho foi em uma profundidade rasa (60m) e assim é favorável a presença destes.

SIS - 100 (Profundidade: - 60m)

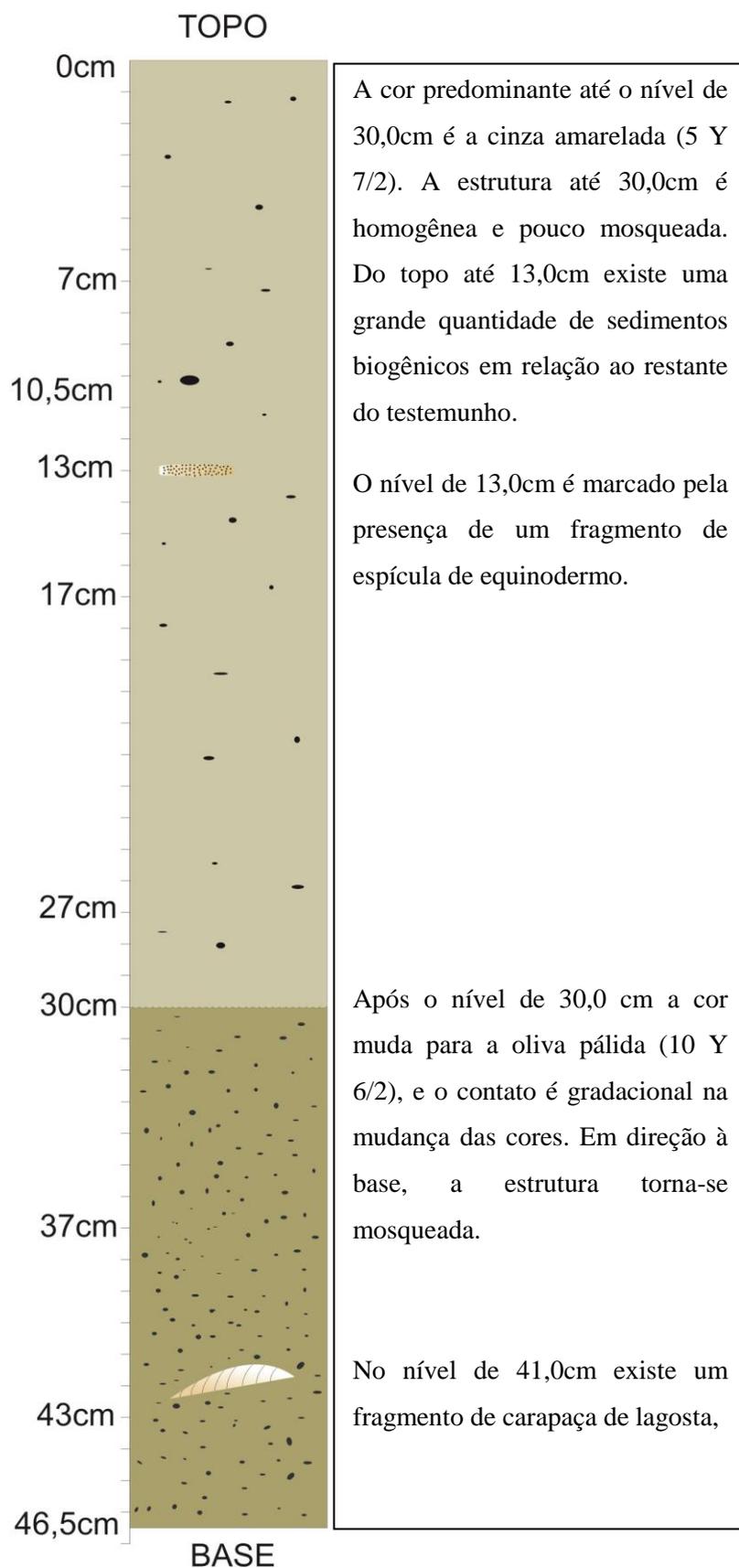


Figura 17 – Representação e descrição do testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

4.1.2 Análise granulométrica

O gráfico 1 mostra os percentuais de cascalho, areia e lama para o testemunho SIS-100.

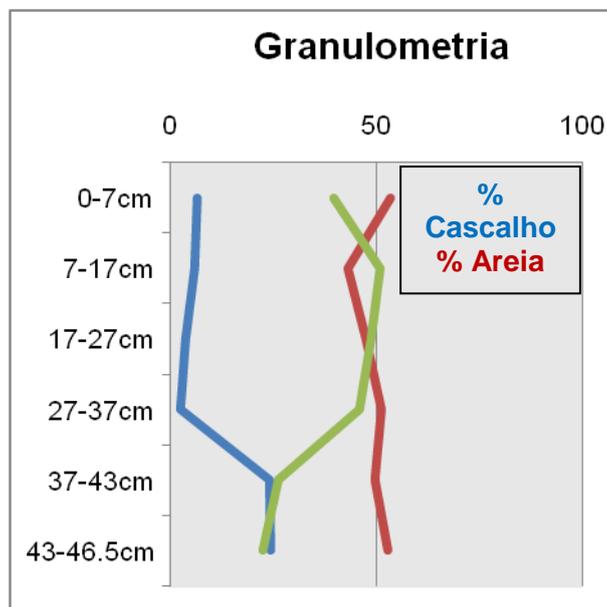


Gráfico 1 – Variação textural no testemunho SIS-100(Fonte: autor).

A média dos teores de cascalho do testemunho é de 11,22%, no qual os valores variam entre 2,69% e 24,40%, onde o maior valor encontra-se no nível de 43,0cm. Onde é possível notar o aumento neste teor a partir do nível de 37,0cm e indo em direção à base.

A média dos teores de areia é de 49,68%, com variações ao longo do testemunho de 43,06% a 53,58%, na qual o maior valor encontra-se no nível de 0cm. Estes valores mostram assim uma uniformidade nos teores de areia ao longo deste testemunho.

A média dos teores de lama (silte e argila) é de 39,10%, e os valores variam entre 22,62% e 51,08%, e o maior teor encontra-se no nível de 7,0cm. Onde há um aumento do topo até o nível de 7,0cm e após este nível os valores de lama decrescem à medida que vai em direção à base do testemunho, onde este nível possui o valor mínimo de 22,62% de lama.

O diagrama triangular com os teores de cascalho, areia e lama encontra-se na figura 18.

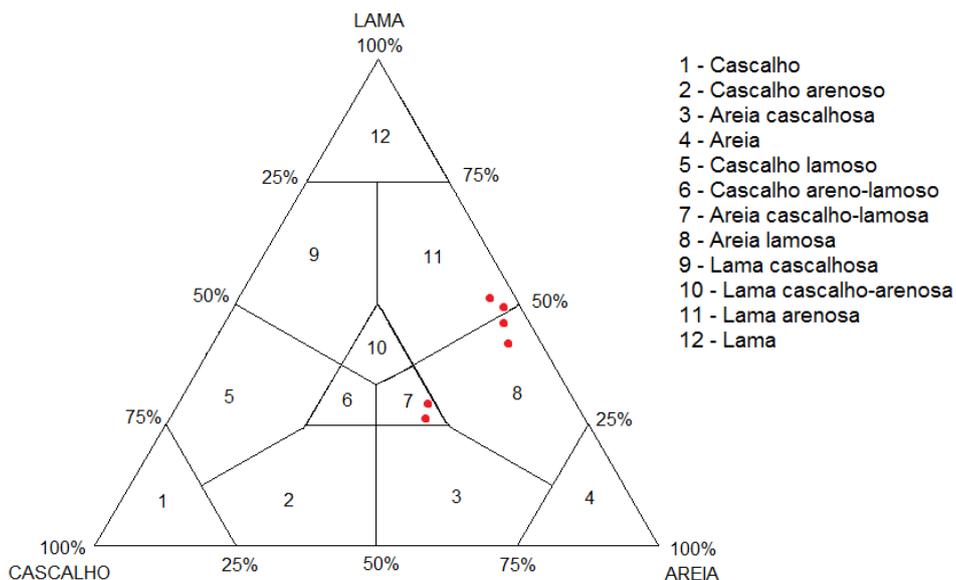


Figura 18 – Pontos vermelhos plotados no diagrama cascalho x areia x lama, representando as alíquotas do testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

Nos níveis 0cm e 27,0cm temos uma Areia lamosa, onde a fração areia é superior a 50,00% e aos demais teores de lama (menores que 50,00%) e cascalho (inferiores a 7,00%);

No nível 7,0cm e 17,0cm temos uma Lama arenosa, com um teor de lama variando de 48,75% a 51,08%, bem próximo ao de areia com variação de 43,06% a 47,07% e pouco cascalho que varia de 3,78% a 5,86%;

No nível 37,0cm e 43,0cm temos uma Areia cascalho-lamosa, onde o teor de areia é igual ou superior a 50,00%, e os teores de cascalho e lama estão próximos entre si e inferiores a 30,00%.

O testemunho mostra assim uma variação na classificação segundo o diagrama triangular, onde desde o topo até o nível 27,0cm os seus respectivos pontos plotados estão próximos entre si, enquanto que nos demais ocorre uma mudança bem definida.

4.1.3 Carbonato de cálcio

Todas as alíquotas do testemunho SIS-100 apresentaram teor de 100,0% de CaCO_3 (Gráfico 2).

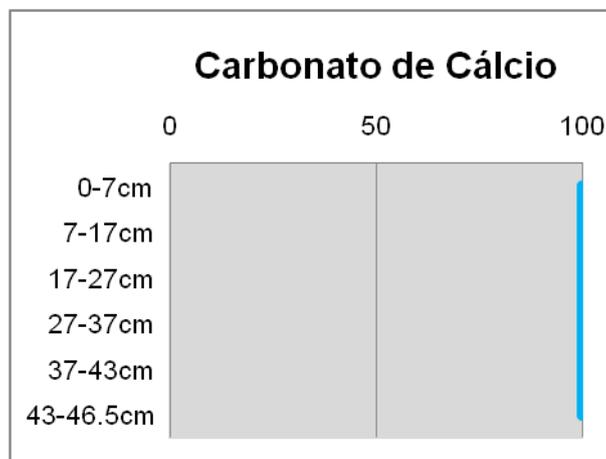


Gráfico 2 – Teores de CaCO_3 do testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

Alíquotas classificadas como Vasa calcárea arenosa com exceção do nível 43,0cm (onde este resulta numa Areia bioclástica lamosa), possuem teor de CaCO_3 acima de 75,00% (sedimento bioclástico), são sedimentos lamosos, pois seus teores de lama estão acima de 15,00%, e esse mesmo valor está compreendido entre 25,00% e 75,00%.

Assim o testemunho mostra uma uniformidade na classificação segundo os teores de CaCO_3 , com exceção apenas da base do testemunho devido ao seu teor de lama ser inferior a 25,00%, e ambas as classificações (Vasa calcárea arenosa e Areia bioclástica lamosa) estão agrupadas como Lamas calcárias.

4.1.4 Matéria orgânica e carbono orgânico

A média dos teores de matéria orgânica no testemunho SIS-100 é de 0,20% com uma variação de 0,17% a 0,26% onde o maior valor situa-se no nível de 7,0cm.

A média dos valores de carbono orgânico é de 0,12% no qual os teores variam desde 0,10% a 0,15% e situado no nível de 7,0cm ocorre o maior teor, sendo que a análise não conseguiu detectar os teores de matéria orgânica e carbono orgânico presente nas últimas três alíquotas do testemunho (Gráfico 3). Mostram assim o pouco teor, tanto de matéria orgânica quanto de carbono orgânico, que o testemunho SIS-100 apresenta.

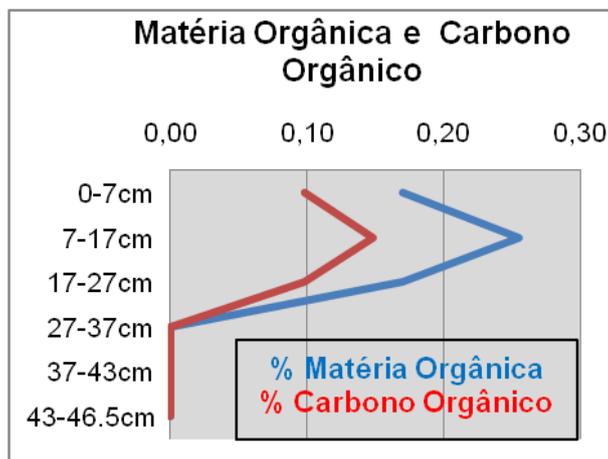


Gráfico 3 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

4.1.5 Nitrogênio total

O teor médio das alíquotas é de 0,09%, com uma variação entre 0,03% e 0,13%, onde o maior valor está registrado no nível de 37,0cm (Gráfico 4). Os teores de N total mostram um acréscimo a partir do nível de 27,0cm de acordo com a profundidade no testemunho.

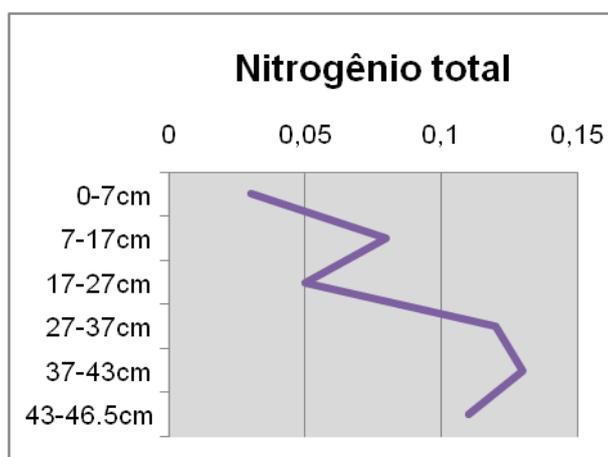


Gráfico 4 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

4.1.6 Carbono/nitrogênio

A média da razão de C/N do testemunho SIS-100 foi de 1,19 no qual os valores variam desde 0 até 3,29, onde no nível de 0cm registra-se o maior valor do testemunho SIS-100 enquanto que nos demais níveis permanece uniforme (Gráfico 5). Resultando em valores inferiores a 10, pois são sedimentos finos tipicamente marinhos.

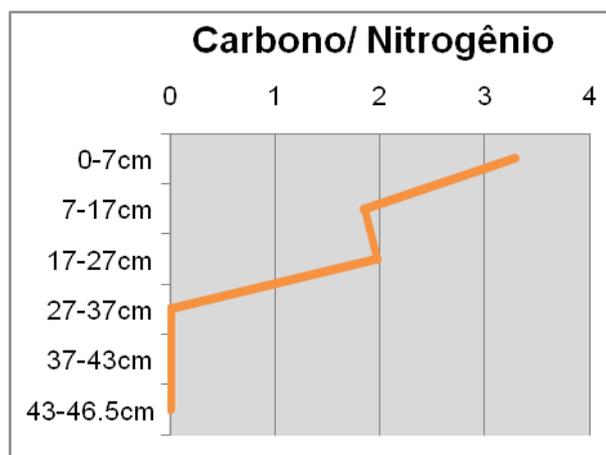


Gráfico 5 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

4.1.7 Fluorescência e difração de raios-X

Neste testemunho utilizaram-se duas amostras devido à heterogeneidade apresentada nele. No topo do testemunho o elemento predominante é o cálcio (94,36%) seguido de silício (1,71%) e estrôncio (1,32%), enquanto que os elementos com teor inferior a 1,00% são: ferro, enxofre, alumínio, cloro, fósforo e potássio (Gráfico 6). Confirma assim de forma mais precisa os valores apresentados pelas alíquotas na análise de carbonato de cálcio.

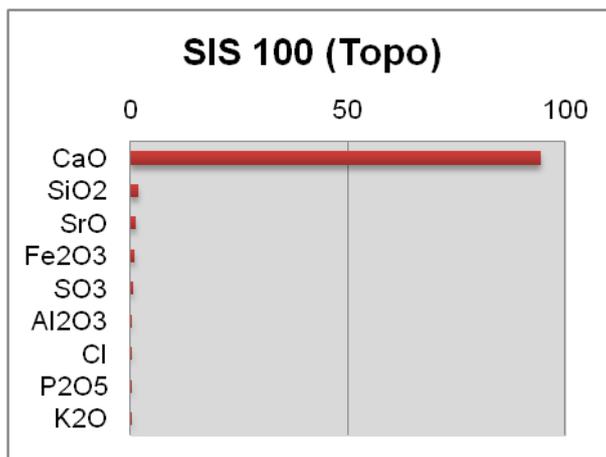


Gráfico 6 – Composição química do topo do testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

Na base do testemunho o elemento predominante ainda é o cálcio (96,50%) seguido do silício (1,03%), os demais elementos com valores abaixo de 1,00% são: estrôncio, ferro, enxofre, fósforo, cloro e potássio (Gráfico 7). Não mostrando diferença expressiva nos resultados de topo e base do testemunho.

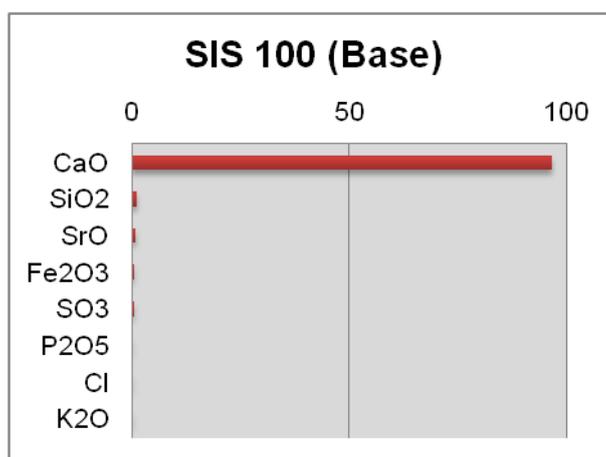


Gráfico 7 – Composição química da base do testemunho SIS-100 (Fonte:autor).

No topo do testemunho os seguintes minerais foram detectados: Wollastonita (CaSiO_3), Aragonita (CaCO_3), Calcita (CaCO_3) e Quartzo (SiO_2). E respectivos teores de 63%, 24%, 11% e 2% (Gráfico 8).

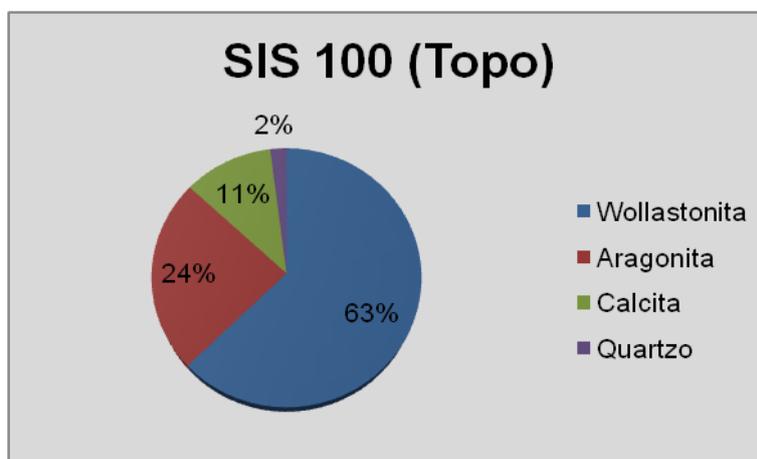


Gráfico 8 – Composição mineral do topo do testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

Na base do testemunho os seguintes minerais foram detectados: Wollastonita (CaSiO_3), Aragonita (CaCO_3), Quartzo (SiO_2) e Calcita (CaCO_3). E respectivos teores de 60%, 25%, 8% e 7% (Gráfico 9). As mudanças significativas foram o aumento no teor de quartzo e redução no de calcita.

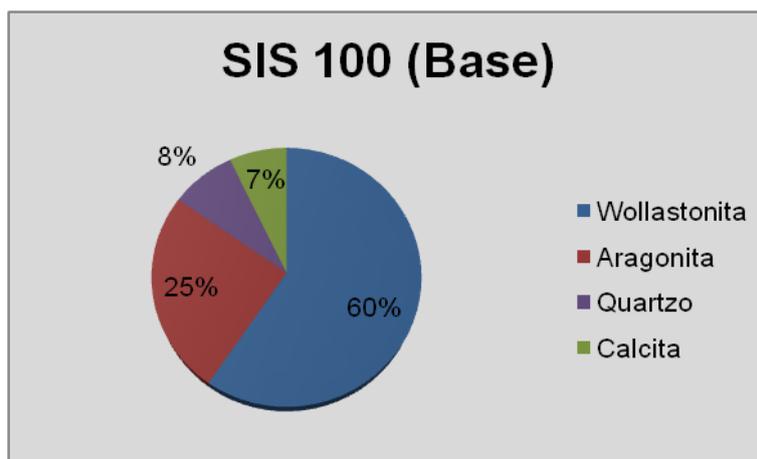


Gráfico 9 – Composição mineral da base do testemunho SIS-100 (Fonte: autor).

A wollastonita é formada em ambientes de metamorfismo de contato nos mármore e encontra-se na forma detrítica no testemunho. Tanto a aragonita e calcita possuem a mesma composição química elas formam-se a partir da deposição química em águas carbonatadas frias e quentes, respectivamente, e geralmente a calcita é mais comum do que a aragonita. O quartzo é um mineral comum em grande parte das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, e está na forma detrítica.

4.1.8 Sedimentos biogênicos

Como foi anteriormente citado, encontrou-se em grande quantidade desde o topo do testemunho até o nível de 37,0cm dentre eles, estão em ordem de profundidade: briozoários e bivalves no nível de 0cm (Figura 19A); espícula de equinodermo no nível de 17,0cm (Figura 19B); briozoário e gastrópode no nível de 27,0cm (Figura 19C e D).

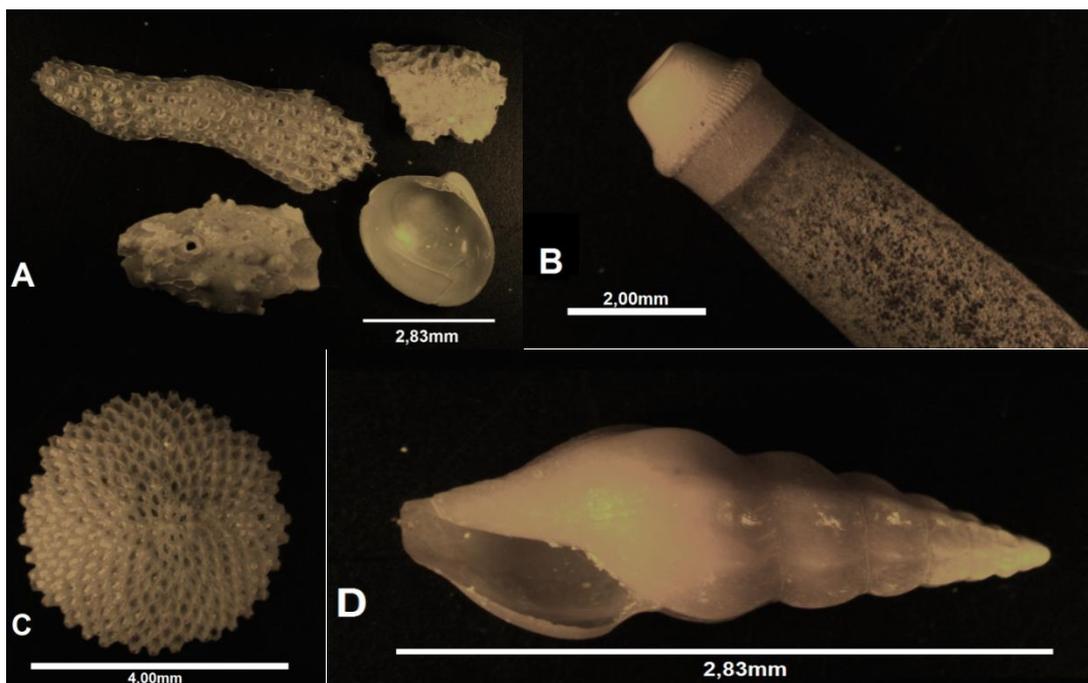


Figura 19 – A) Briozoários e concha de bivalve (situado no canto inferior direito da imagem). B) Detalhe de espícula de equinodermo. C) Briozoário da espécie *Cupuladria cavernosa*. D) Carapaça de gastrópode. (Fonte: autor).

Podemos observar na figura 20 a integração dos parâmetros analisados no testemunho SIS-100.

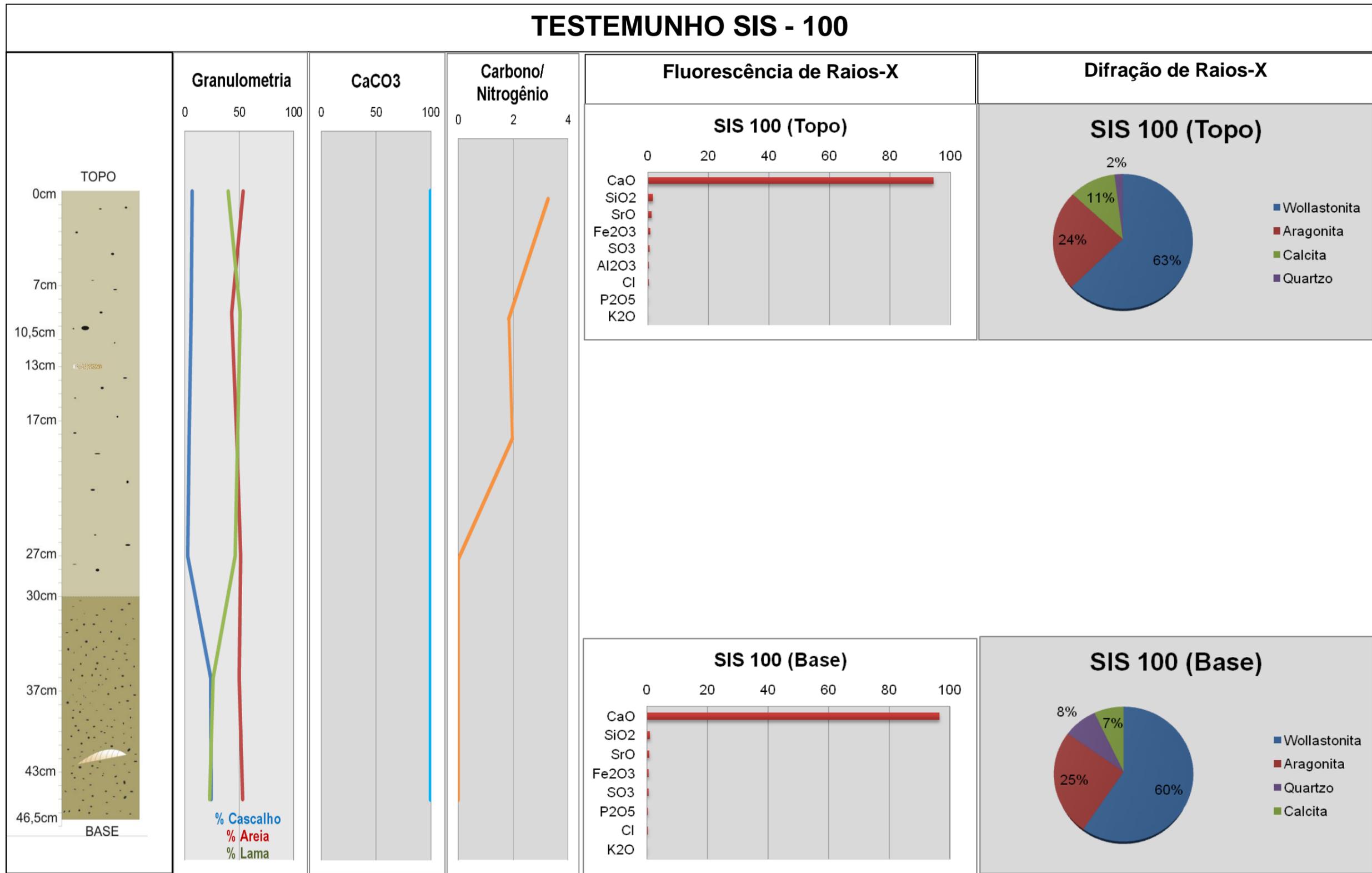


Figura 20 – Integração dos dados do testemunho SIS-100 (Fonte:autor).

4.2 Testemunho SIS-103

Testemunhagem executada na latitude 37783,143 Leste e longitude 9766226,538 Norte (Zona UTM: 24M) a uma profundidade de 480,0m e distando cerca de 80km da foz do Rio Acaraú, com tubo de 33,0cm e recuperação de 30,0cm. A amostra foi dividida em alíquotas a cada 10,0cm, num total de 3 amostras.

4.2.1 Descrição Macroscópica

A figura 21 representa o testemunho SIS-103. O testemunho apresenta-se uniforme desde o topo até a base, na qual a mesma possui algumas manchas escuras ao longo do seu comprimento, sem nenhuma outra característica marcante nele.

SIS - 103 (Profundidade: - 480m)

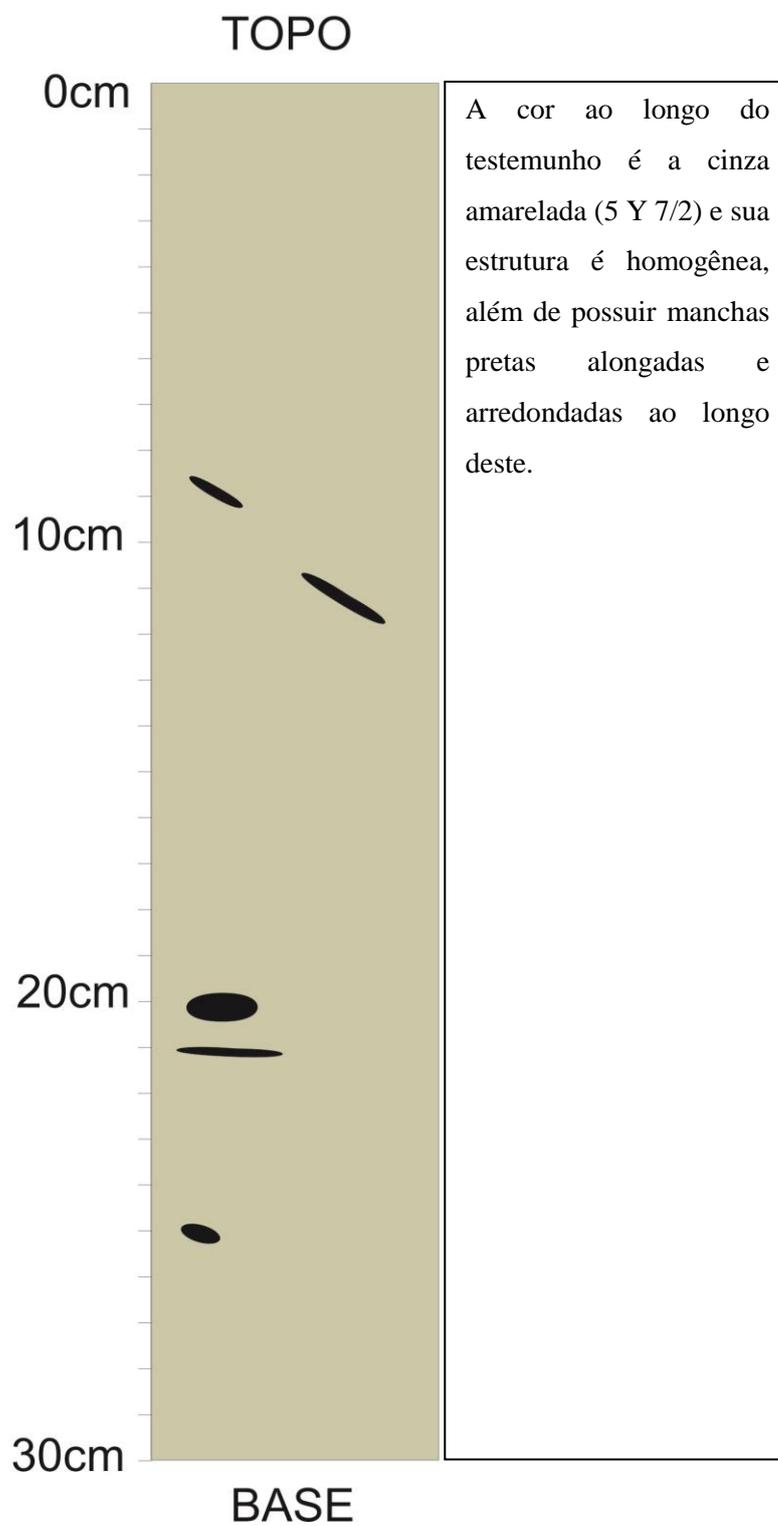


Figura 21 – Representação e descrição do testemunho SIS-103 (Fonte: autor).

4.2.2 Análise Granulométrica

O gráfico 10 mostra os percentuais de cascalho, areia e lama para o testemunho SIS-103.

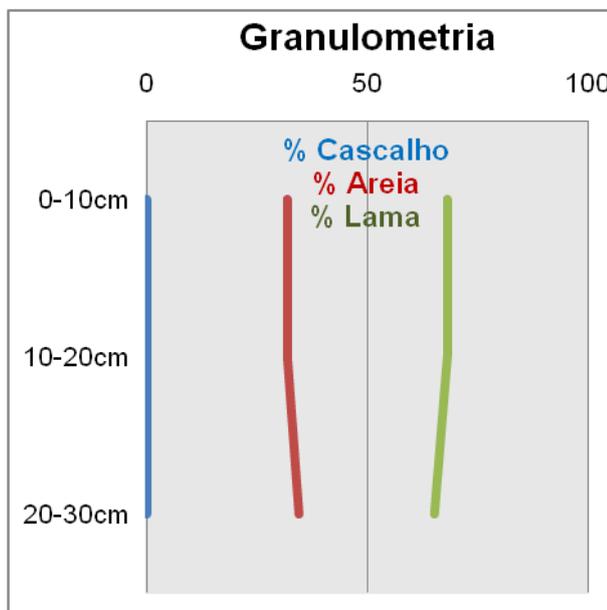


Gráfico 10 – Variação textural no testemunho SIS-103 (Fonte:autor).

A média dos teores de cascalho do testemunho é de 0,09%, onde a sua variação está compreendida entre 0,08% e 0,10%, e no nível de 20,0cm está situado o maior teor. As alíquotas do testemunho apresentam valores próximos entre si e menores que 1%.

A média dos teores de areia é de 32,79%, no qual os seus valores variam entre 31,84% a 34,66%, sendo encontrado no nível de 20,0cm o maior teor. O teor de areia mostra-se quase constante ao longo do testemunho sem uma forte variação.

A média dos teores de lama (silte e argila) é 67,13%, com variação desde 65,24% até 68,08%, no qual no nível de 0cm situa-se o maior valor. Os teores de lama apresentam-se uniforme desde o topo até a base do testemunho.

O diagrama triangular com os teores de cascalho, areia e lama encontra-se na figura 22.

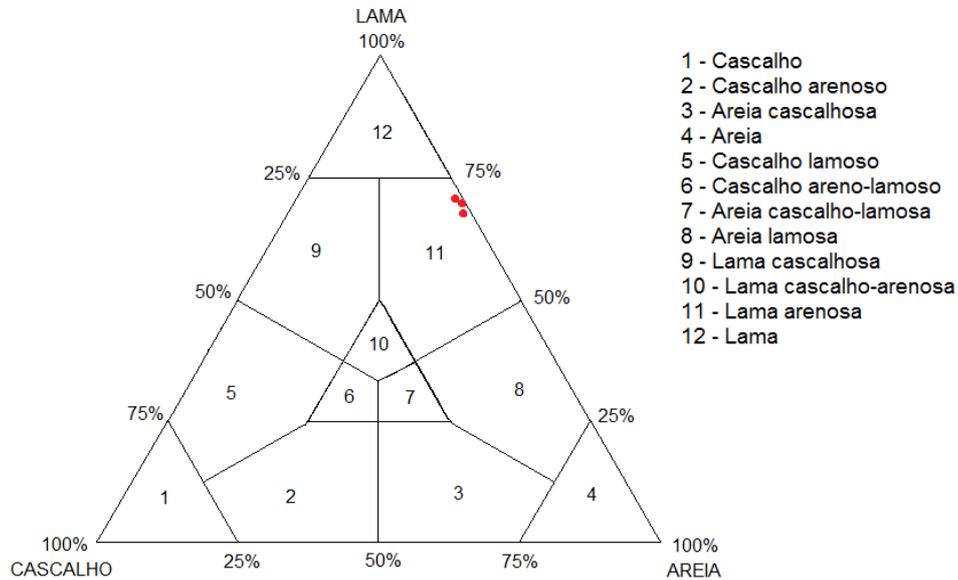


Figura 22 – Pontos vermelhos plotados no diagrama cascalho x areia x lama, representando as alíquotas do testemunho SIS-103 (Fonte: autor).

Em todo o testemunho temos uma Lama arenosa, onde no testemunho a fração lama (silte e argila) é superior a 65,00% enquanto que os teores de areia são inferiores a 35,00% e pouca presença de cascalho (menor que 1,00%). Assim o testemunho é considerado em sua totalidade como Lama arenosa.

4.2.3 Carbonato de Cálcio

Todas as alíquotas do testemunho SIS-103 apresentam teor de 100,00% de CaCO_3 com exceção do nível de 10,0cm, com 99,59% (Gráfico 11).

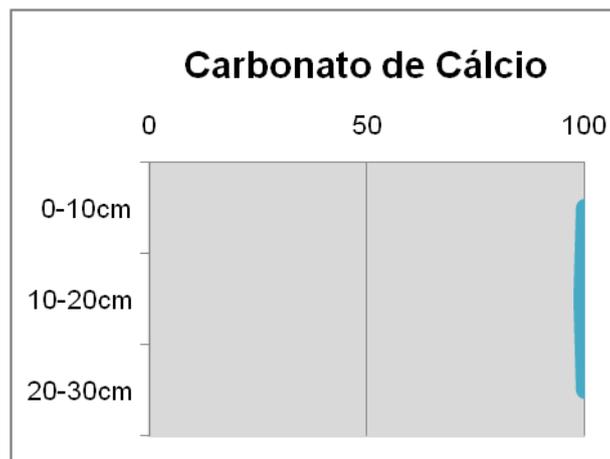


Gráfico 11 – Teores de CaCO₃ do testemunho SIS-103 (Fonte: autor).

Assim classificam-se as alíquotas como Vasa calcárea arenosa, onde possui teor de CaCO₃ acima de 75,00% (sedimento bioclástico), é um sedimento lamoso, pois seu teor de lama está acima de 15,00%, e esse mesmo valor está compreendido entre 25,00% e 75,00%. Onde o testemunho SIS-103 em sua totalidade é considerado como Vasa calcárea arenosa sem uma diferença significativa em seus teores de CaCO₃.

4.2.4 *Matéria Orgânica e Carbono Orgânico*

A média dos valores de matéria orgânica é de 0,68%, com variação desde 0,26% até 0,94%, onde o maior teor encontra-se no nível de 0cm. Onde a diferença maior entre os valores encontra-se no meio do testemunho.

A média dos teores de carbono orgânico é de 0,40%, onde estes valores variam dentre 0,15% até 0,54%, sendo situado no nível de 0cm o maior desses valores encontrados no testemunho SIS-103 (Gráfico 12). Comportando-se similarmente aos teores de matéria orgânica.

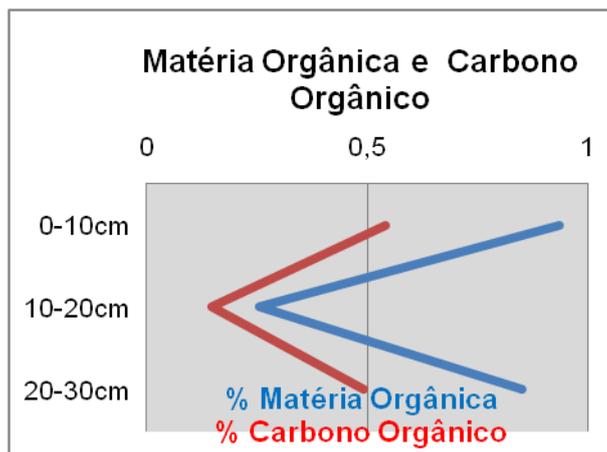


Gráfico 12 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-103 (Fonte: autor).

4.2.5 Nitrogênio Total

O teor médio das alíquotas é de 0,06%, onde os teores de nitrogênio total das alíquotas variam de 0,03% até 0,09%, onde o maior valor está registrado no nível de 0cm (Gráfico 13). Com um decréscimo do teor de N total apenas no meio do testemunho.

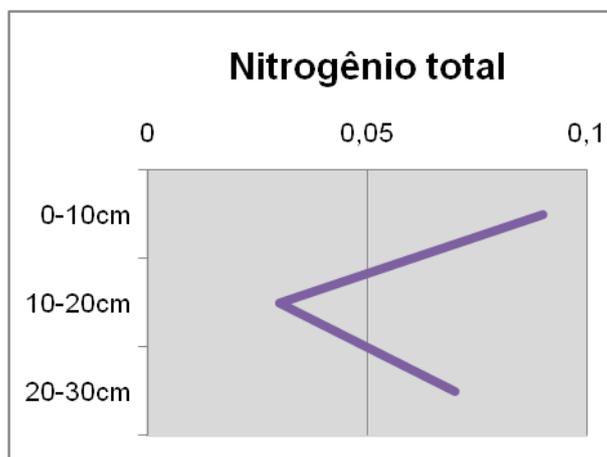


Gráfico 13 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-103 (Fonte:autor).

4.2.6 Carbono/Nitrogênio

A média da razão C/N é de 6,01, com valores desde 4,94 até 7,05 onde o maior desses valores situa-se no nível 20,0cm do testemunho SIS-103 (Gráfico 14).

A razão C/N demonstra uniformidade no testemunho com pequena variação entre as alíquotas. E apresentam valores inferiores a 10, que confirmado pelo fato de serem sedimentos finos e marinhos.

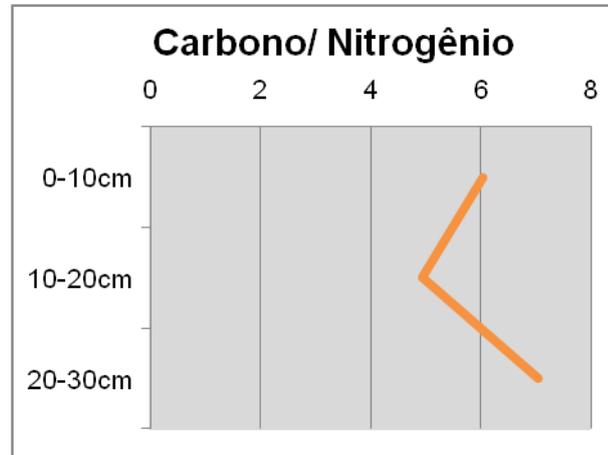


Gráfico 14 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-103 (Fonte: autor).

4.2.7 Fluorescência e Difração de Raios-X

Neste testemunho utilizou-se uma amostra devido à homogeneidade apresentada nele. No testemunho SIS-103 o elemento predominante é o cálcio (94,01%) seguido do silício (2,66%), enquanto que os demais elementos possuem teores abaixo de 1,00% e são eles: estrôncio, ferro, alumínio, enxofre, potássio, fósforo e cloro (Gráfico 15). E confirma de forma mais precisa o resultado da análise de CaCO_3 realizada.

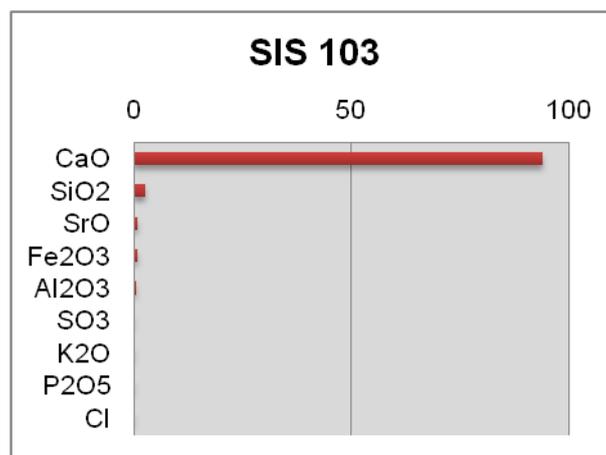


Gráfico 15 – Composição química do testemunho SIS-103 (Fonte: autor).

No testemunho os seguintes minerais foram detectados: Wollastonita (CaSiO_3), Aragonita (CaCO_3), Calcita (CaCO_3) e Quartzo (SiO_2). E respectivos teores de 59%, 28%, 12% e 1% (Gráfico 16). Com composição mineral similar ao topo do testemunho SIS-100.

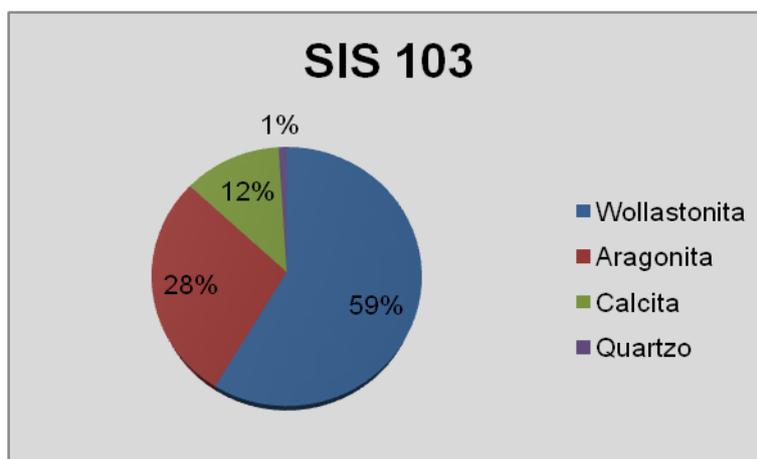


Gráfico 16 – Composição mineral do testemunho SIS-103 (Fonte: autor).

4.2.8 Sedimentos Biogênicos

Na fração acima de 2,00mm encontrou-se pouca quantidade de carapaças de gastrópodes (conchas espiraladas constituídas de CaCO_3) no nível de 10,0cm (Figura 23).

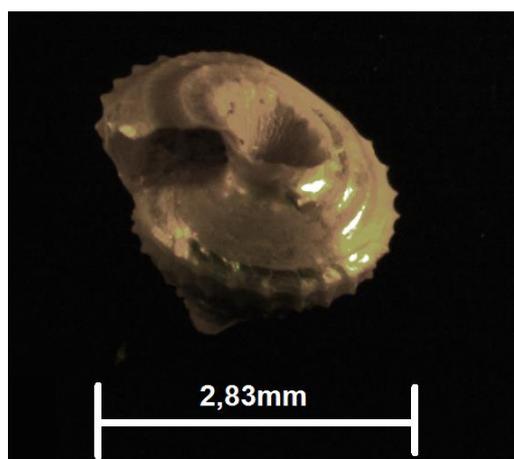


Figura 23 – Carapaça de gastrópode do Gênero *Calliostoma* (Fonte: autor).

Podemos observar na figura 24 a integração dos parâmetros analisados no testemunho SIS-103.

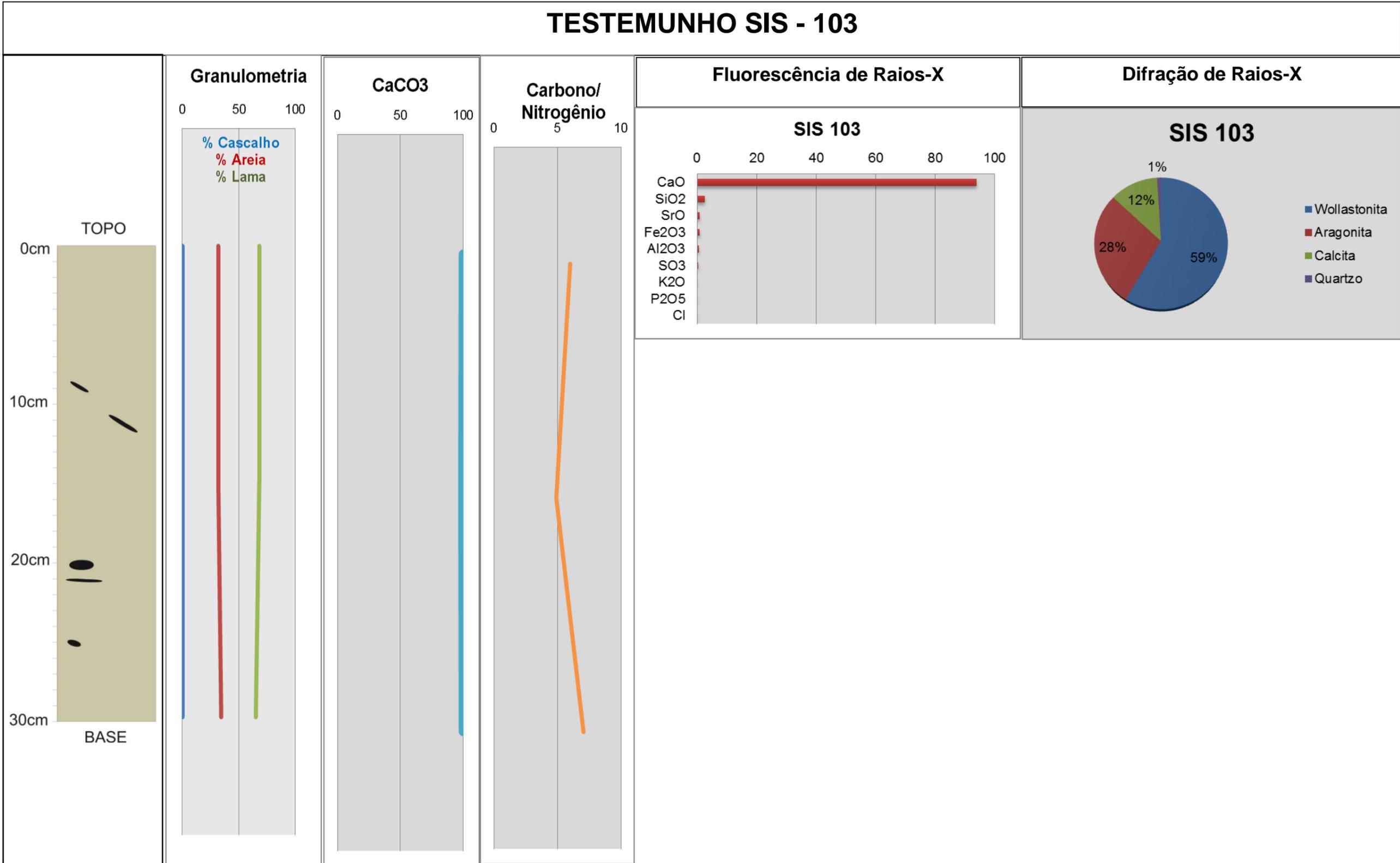


Figura 24 – Integração dos dados do testemunho SIS-103 (Fonte:autor).

4.3 Testemunho SIS-105

Testemunhagem executada na latitude 378132,386 Leste e longitude 9769342,748 Norte (Zona UTM: 24M) a uma profundidade de 950m e distando cerca de 83km da foz do Rio Acaraú, com tubo de 38,0cm e recuperação de 33,0cm. A amostra foi dividida em alíquotas a cada 8,0cm, com exceção da última (com 9,0cm), num total de 4 amostras.

4.3.1 Descrição Macroscópica

A figura 25 representa o testemunho SIS-105. A mudança nas cores ao longo do testemunho sugere mudança no ambiente de deposição dos sedimentos, ou seja, do topo até 8,0cm o ambiente formador era oxidante e isto muda completamente a partir deste nível e indo em direção à base do testemunho, na qual o meio onde foram depositados estes sedimentos era redutor

SIS - 105 (Profundidade: - 950m)

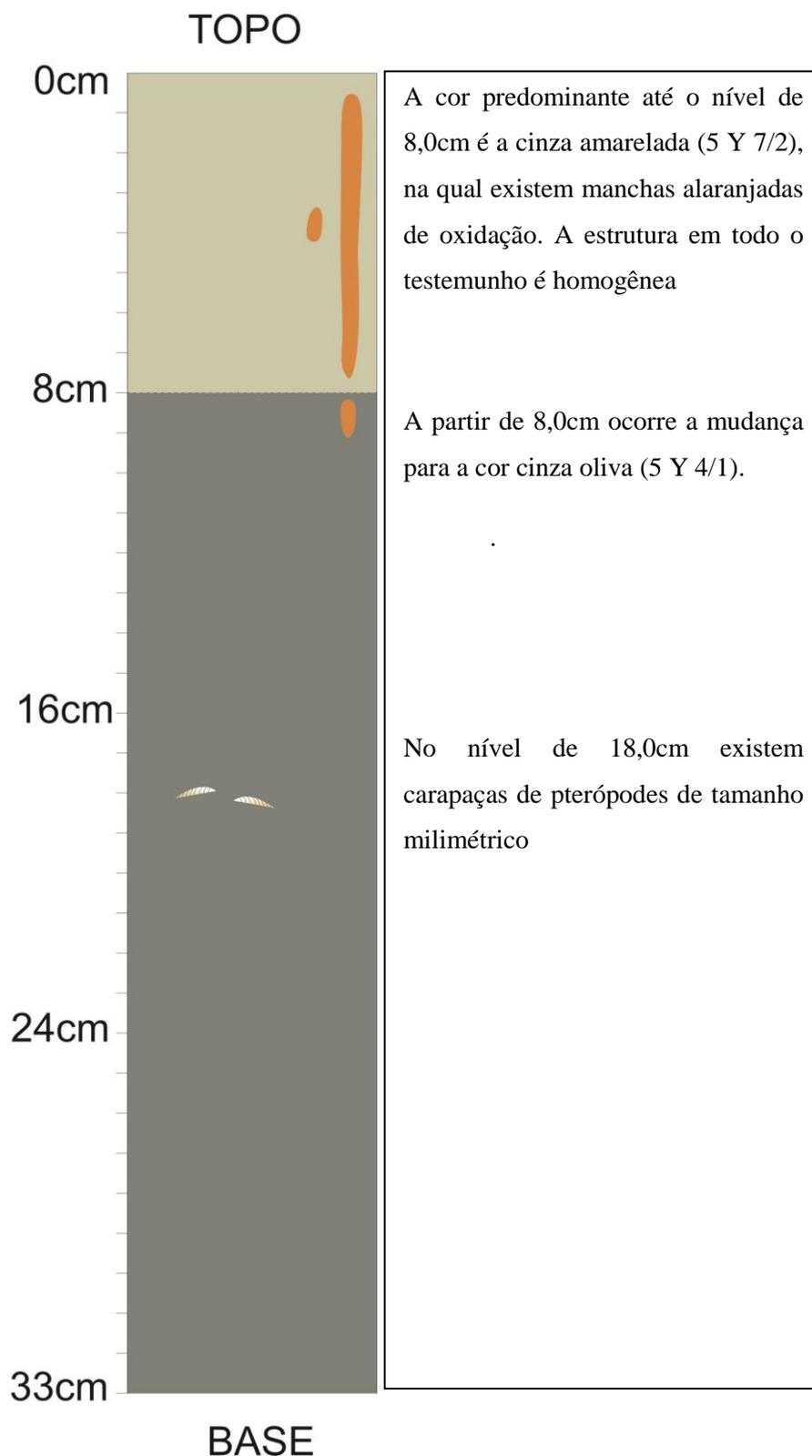


Figura 25 – Representação e descrição do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

4.3.2 Análise Granulométrica

O Gráfico 17 mostra os percentuais de cascalho, areia e lama para o testemunho SIS-105.

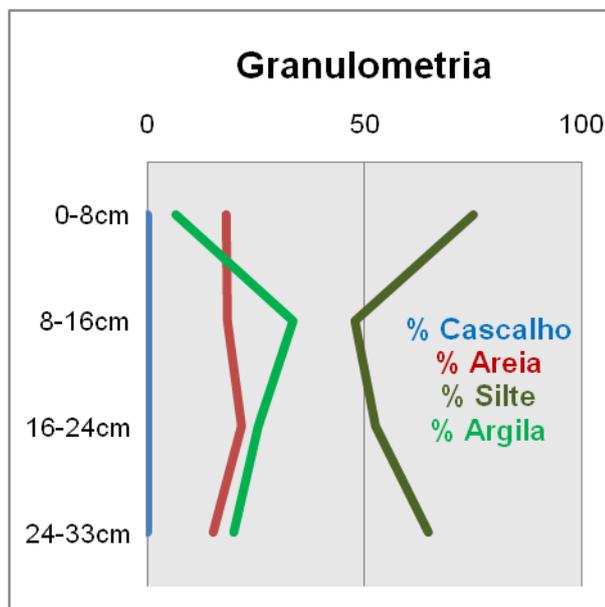


Gráfico 17 – Variação textural no testemunho SIS-105 (Fonte:autor).

A média dos teores de cascalho do testemunho é de 0,07%, este teor varia desde 0,02% até 0,11%, no qual no nível de 24,0cm registra-se o seu maior valor. Representando assim menos de 1,00% do total.

A média dos teores de areia é de 18,44%, onde estes teores variam entre 15,23% a 21,68%, com o maior valor registrado no nível de 16,0cm.

A média dos teores de silte é de 60,07%, com uma variação desde 47,73% até 75,02%, e o maior valor situa-se no nível de 0cm. Há uma redução no nível de 8,0cm, porém a partir deste e indo em direção à base os teores aumentam com a profundidade.

A média dos percentuais de argila é de 21,43%, e seus valores exibem uma variação entre 6,70% a 33,65%, sendo o nível de 8,0cm aquele com o maior desses teores. Com aumento no nível de 8,0cm e decréscimo nos demais níveis em direção à base.

O diagrama triangular com os teores de cascalho, areia e lama encontra-se na figura 26.

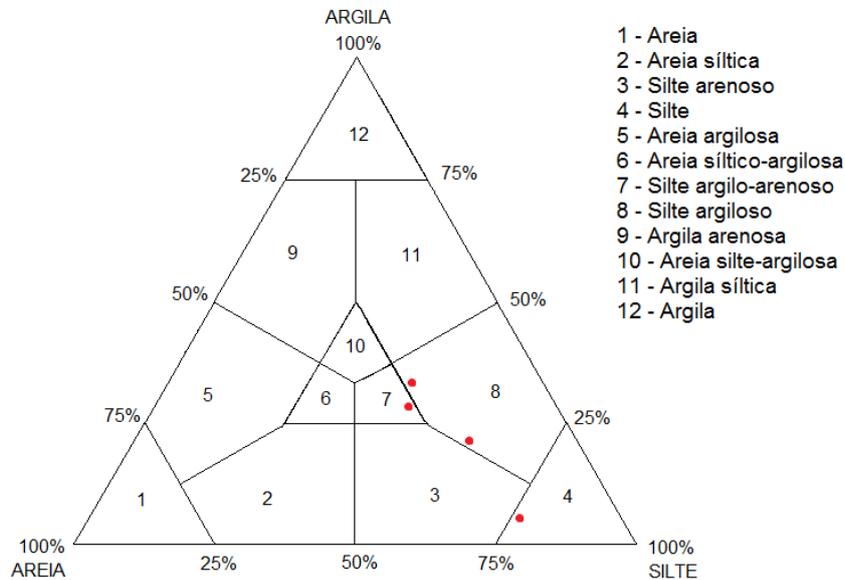


Figura 26 – Pontos vermelhos plotados no diagrama areia x silte x argila, representando as alíquotas do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

No nível de 0cm temos um material classificado como Silte, onde o teor de silte é 75,02%, o percentual de areia é 18,26% e a argila com um teor de 6,70%;

Nos níveis de 8,0cm e 24,0cm temos um Silte argiloso, no qual o teor de silte varia entre 47,73% a 64,84%, o percentual de argila está entre 19,81% e 33,65%, e o teor de areia é inferior a 19,00%;

E no nível de 16,0cm temos um Silte argilo-arenoso, onde o teor de silte é de 52,68%, o percentual de argila é de 25,54%, enquanto que o teor de areia é 21,68%.

A partir dos pontos plotados no diagrama triangular, apesar das diferenças nas classificações das alíquotas, é possível observar uma variação linear do centro do triângulo indo em direção ao campo 4 (Silte).

4.3.3 Carbonato de Cálcio

Todas as alíquotas do testemunho SIS-105 apresentam uma média de 97,89% de CaCO_3 , onde as alíquotas possuem o valor máximo de 100,00%, com exceção do nível de 24,0cm, com 91,56% (Gráfico 18).

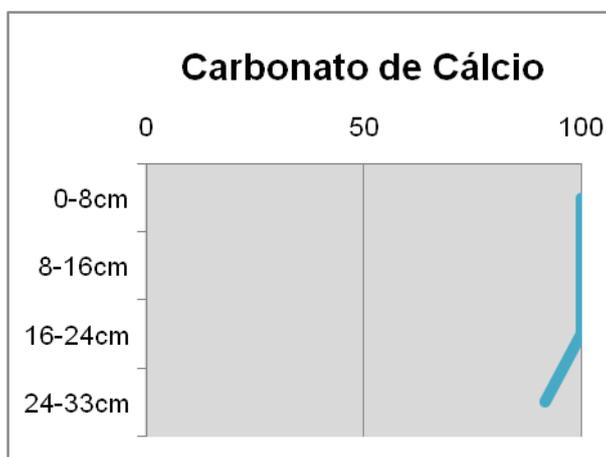


Gráfico 18 – Teores de CaCO_3 do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

Assim as alíquotas são classificadas como Vasa calcárea, onde possui um teor de CaCO_3 acima de 75,00% (sedimento bioclástico), é um sedimento lamoso, pois seu teor de lama está acima de 15,00%, e esse mesmo valor é superior a 75,00%. Onde o testemunho em sua totalidade é classificado de Vasa calcárea com uma diferença mínima de teores CaCO_3 entre as alíquotas analisada.

4.3.4 Matéria Orgânica e Carbono Orgânico

A média dos valores de matéria orgânica é de 0,26%, no qual estes valores variam desde 0,09% até 0,51%, onde o maior teor encontra-se no nível de 24,0cm.

E a média dos teores de carbono orgânico é de 0,15%, sendo a variação destes valores entre 0,05% a 0,30%, sendo o maior valor situado no nível de 24,0cm. Apenas no nível de 0cm não detectou-se os teores de matéria orgânica e carbono orgânico no testemunho SIS-105 (Gráfico 19), e os teores crescem gradativamente com o aumento da profundidade.

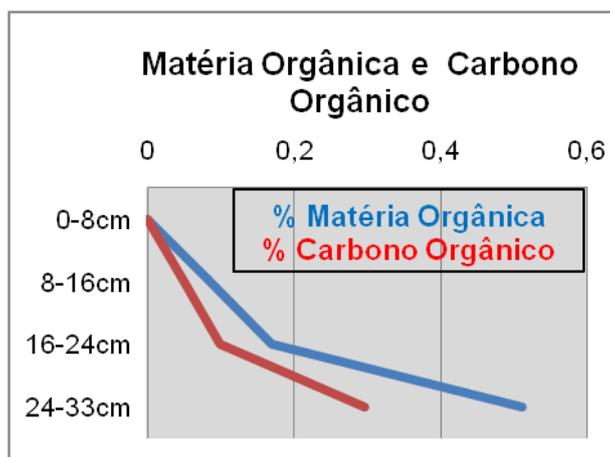


Gráfico 19 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-105. (Fonte: autor).

4.3.5 Nitrogênio Total

O teor médio das alíquotas é de 0,08%, sendo a variação desses valores compreendida entre 0,07% até 0,10% e apresenta-se bem uniforme ao longo do testemunho e no nível de 8,0cm encontra-se o maior desses teores (Gráfico 20). Mostrando valores iguais ou menores que 0,10%, e uma pequena diferença entre os valores à medida que aumenta a profundidade no testemunho.

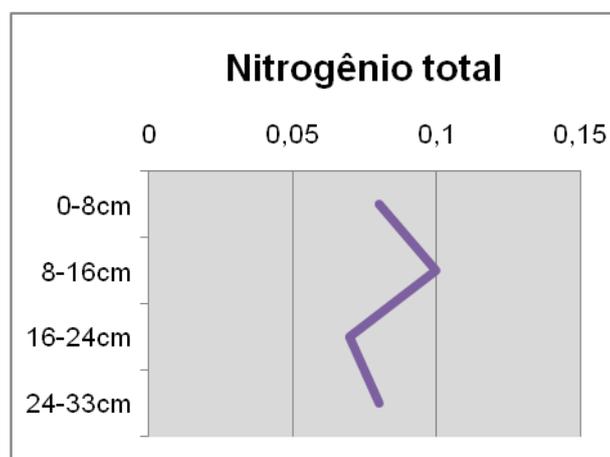


Gráfico 20 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

4.3.6 Carbono/Nitrogênio

A média da razão C/N encontrada foi de 1,40, exibindo uma variação desde 0 até 3,70, onde o maior destes valores está situado no nível de 24,0cm (Gráfico 21). Assim a razão C/N eleva-se de acordo com o aumenta da profundidade no testemunho. Então, com valores inferiores a 10, confirmam o fato de serem sedimentos finos tipicamente marinhos.

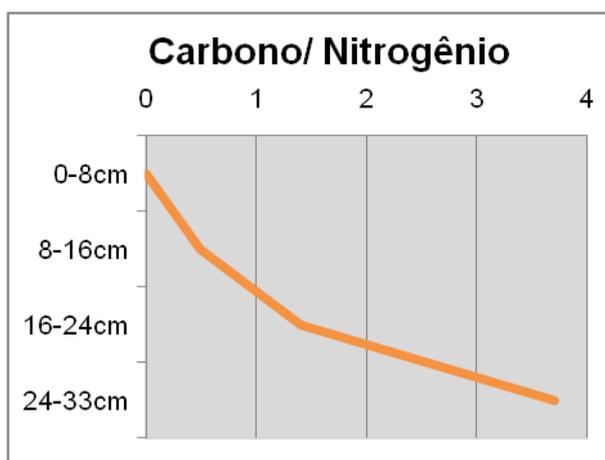


Gráfico 21 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

4.3.7 Fluorescência e Difração de Raios-X

Neste testemunho utilizaram-se duas amostras devido à heterogeneidade apresentada nele. O elemento predominante do topo do testemunho SIS-105 é o cálcio (87,87%), seguido pelo silício (5,52%), ferro (3,13%), estrôncio (1,32%) e alumínio (1,01%), enquanto que os demais elementos possuem valores inferiores a 1,00% e são eles: potássio, enxofre e cloro (Gráfico 22). Mostrando assim de forma mais precisa o teor de cálcio presente no topo do testemunho SIS-105.

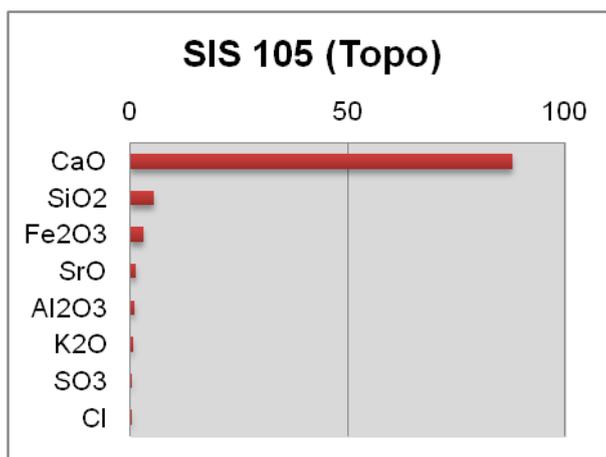


Gráfico 22 – Composição química do topo do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

O cálcio (48,51%) predomina na base desse testemunho também, seguido pelo silício (21,40%), ferro (15,84%), alumínio (5,98%), potássio (3,05%) e titânio (2,50%), e os outros elementos com teores abaixo de 1,00% são: magnésio, estrôncio, enxofre, cloro, manganês e rubídio (Gráfico 23). Os teores mudam consideravelmente na base do testemunho SIS-105, principalmente o cálcio, silício, ferro e alumínio, onde este primeiro elemento reduz seu valor quase que pela metade, enquanto que os outros três elementos citados aumentam consideravelmente os seus teores respectivos encontrados no topo do testemunho.

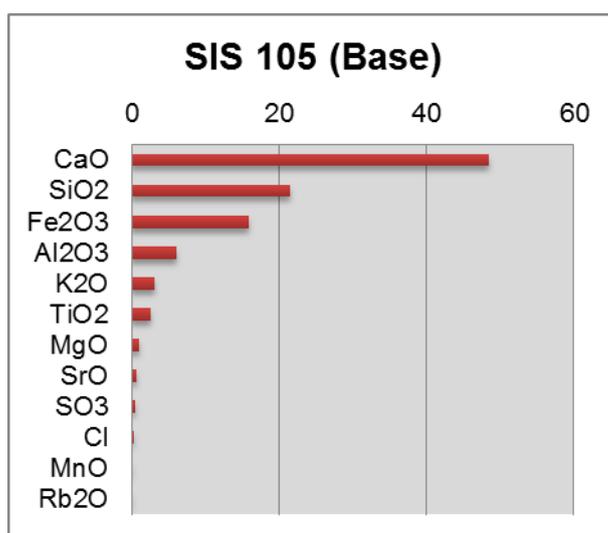


Gráfico 23 – Composição química da base do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

No topo do testemunho os seguintes minerais foram detectados: Wollastonita (CaSiO_3), Aragonita (CaCO_3), Calcita (CaCO_3), Quartzo (SiO_2) e Goethita ($\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$). E respectivos teores de 63%, 19%, 7%, 7% e 4% (Gráfico 24). Composição mineral similar ao topo do testemunho SIS-100, com exceção da goethita, comum como produto de alteração em depósitos minerais de ferro.

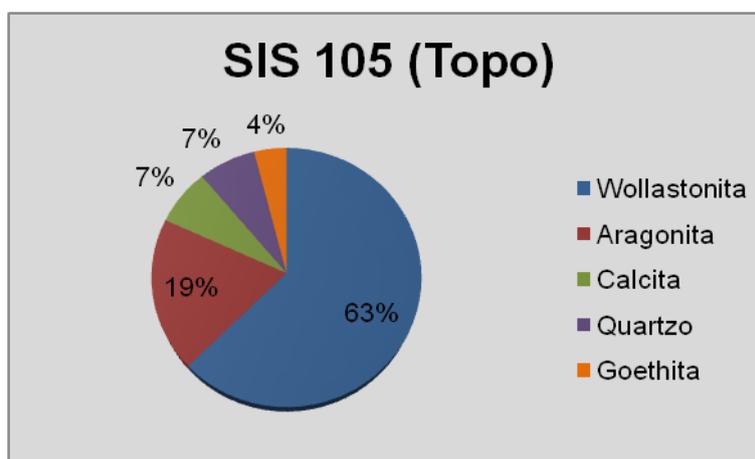


Gráfico 24 – Composição mineral do topo do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

Na base do testemunho os seguintes minerais foram detectados: Ilita-Montmorilonita ($(\text{Mg,Ca})\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_5\text{O}_{10}.n\text{H}_2\text{O}$), Wollastonita (CaSiO_3), Calcita (CaCO_3), Quartzo (SiO_2) e Goethita ($\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$). E respectivos teores de 42%, 38%, 15%, 3% e 2% (Gráfico 25).

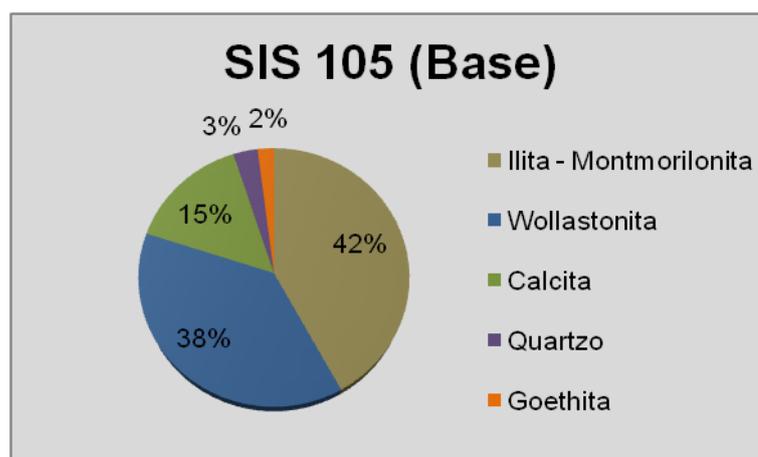


Gráfico 25 – Composição mineral da base do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

A composição mineral variou em relação ao topo deste testemunho com a detecção do mineral mais abundante, a Ilita-Montmorilonita, onde ambos são argilominerais de distintos grupos (a Ilita pertence ao grupo de mesmo nome e a Montmorilonita, ao grupo das Esmectitas), onde estes dois minerais alternam-se na estrutura cristalina, devido à remoção ou substituição de cátions (K^+), este processo é provocado pelo intemperismo.

4.3.8 Sedimentos Biogênicos

Ocorre a presença no nível de 16,0cm de carapaças de pterópodes (Figura 27), que são espécies de caracóis nadadores.

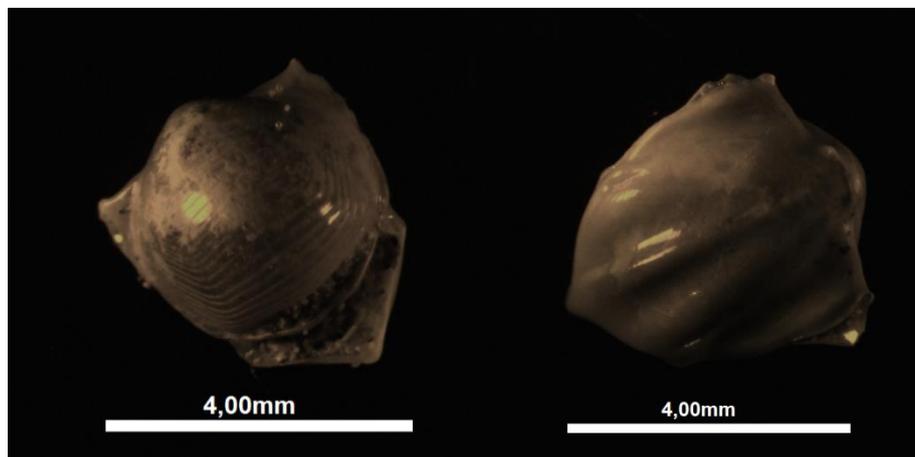


Figura 27 – Visões frontal e posterior de carapaça de pterópode da espécie *Diacriatrispinosa*

(Fonte: autor).

Podemos observar na figura 28 a integração dos parâmetros analisados no testemunho SIS-105.

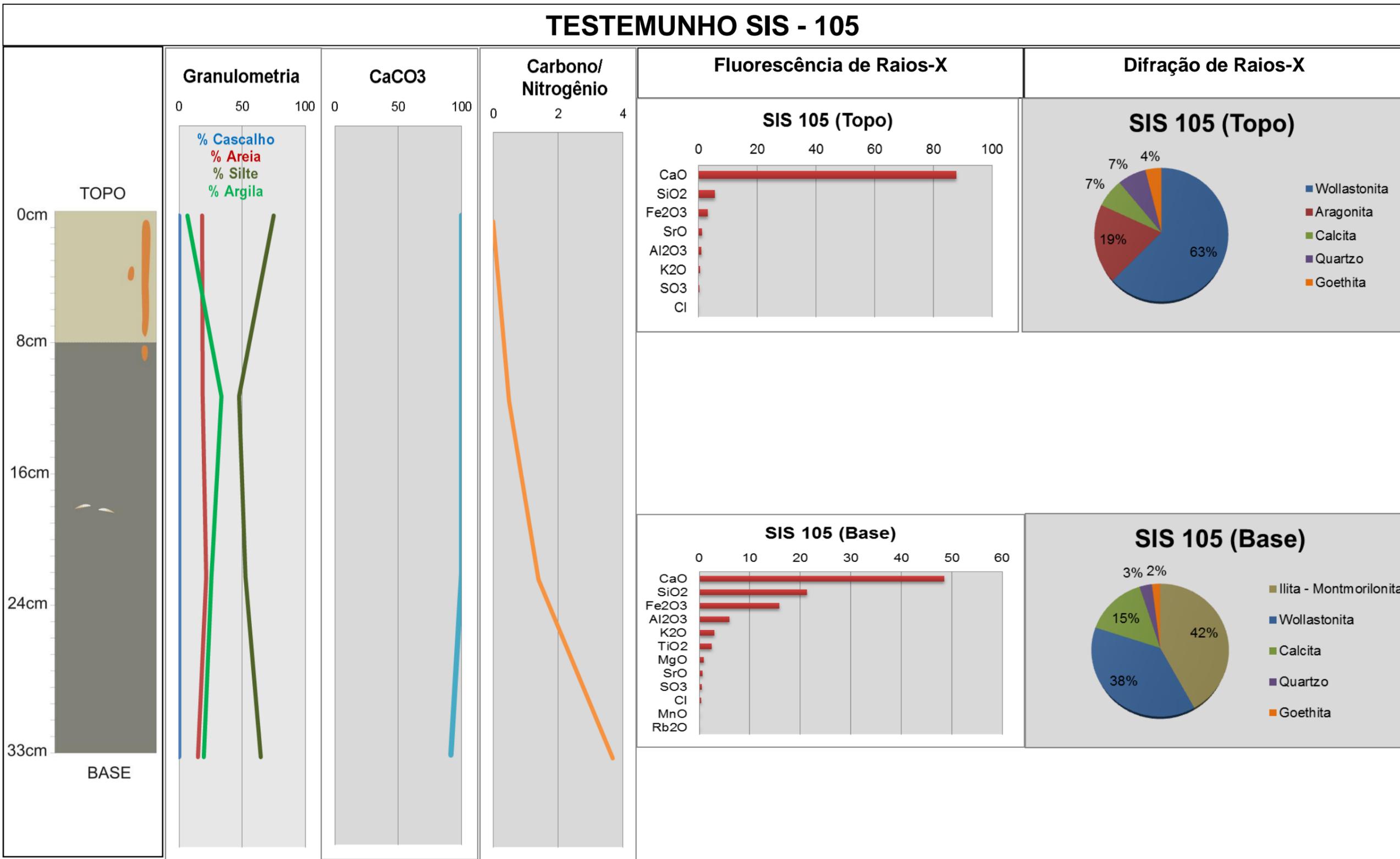


Figura 28 – Integração dos dados do testemunho SIS-105 (Fonte: autor).

4.4 Testemunho SIS-460

Testemunhagem executada na latitude 379326,42 Leste e longitude 9776136,572 Norte (Zona UTM: 24M) a uma profundidade de 2300m e distando cerca de 90km da foz do Rio Acaraú, com tubo de 73,0cm e recuperação de 69,0cm. A amostra foi dividida em alíquotas a cada 10,0cm, com exceção da última (com 9,0cm), num total de 7 amostras.

4.4.1 Descrição Macroscópica

A figura 29 representa o testemunho SIS-460. Onde do topo até o nível de 30,0cm o ambiente de sedimentação era oxidante e a partir deste nível até 40,0cm ocorre uma transição gradativa para um meio redutor, e por fim nos últimos 29cm o ambiente torna-se totalmente redutor.

SIS - 460 (Profundidade: - 2300m)

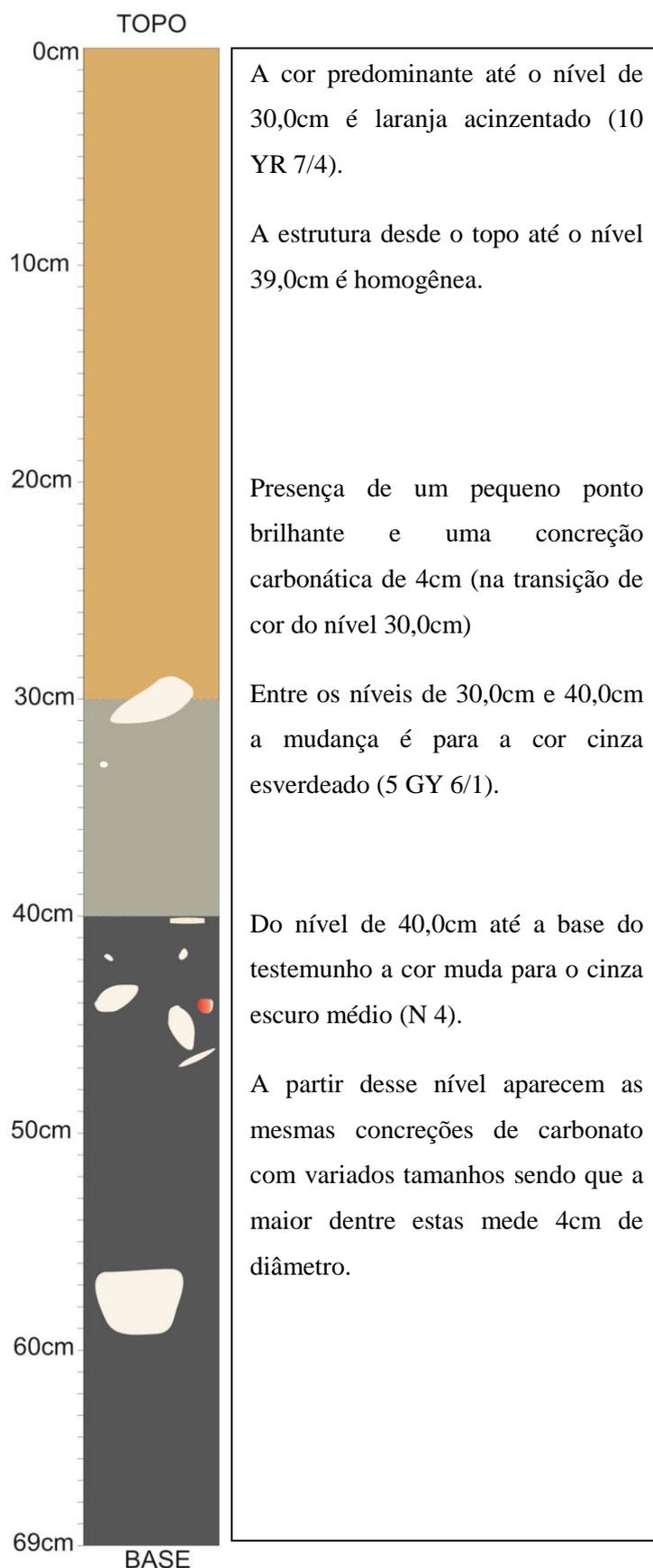


Figura 29 – Representação e descrição do testemunho SIS-460 (Fonte:autor).

4.4.2 Análise Granulométrica

O Gráfico 26 mostra os percentuais de cascalho, areia e lama para o testemunho SIS-460.

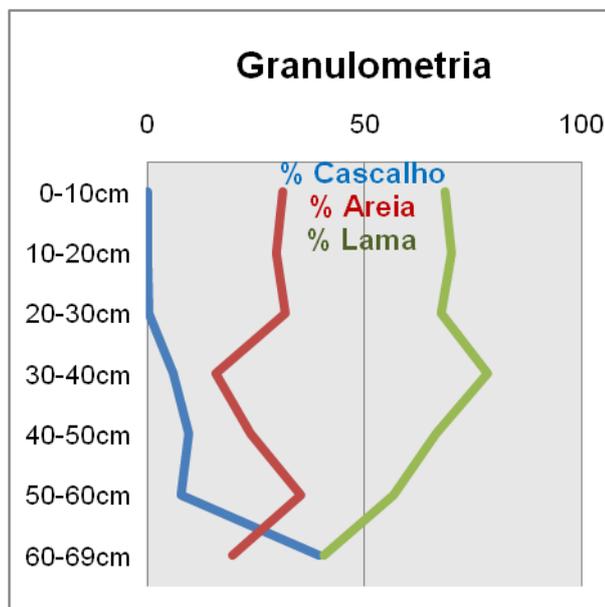


Gráfico 26 – Variação textural no testemunho SIS-460
(Fonte:autor).

A média dos teores de cascalho do testemunho é de 9,09 %, na qual estes valores estão compreendidos entre 0,16% a 39,56, sendo situado no nível de 60,0cm o maior teor de cascalho no testemunho, com um amento de acordo com a profundidade deste.

A média dos teores de areia é de 26,79%, onde esses teores variam desde 15,69% até 35,41%, sendo que no nível de 50,0cm localiza-se o maior valor. Mostrando assim uma ampla variação ao longo do testemunho.

A média dos teores de lama (silte e argila) é de 64,12%, com variação dos teores situada entre 40,84% e 78,39%, no qual o maior destes teores de lama está localizado no nível de 30,0cm. Onde do topo até o nível de 30,0cm o teor aumenta, após este nível ele diminui de acordo com a profundidade no testemunho.

No nível de 30,0cm o teor de lama é de 78,39% então ele passou pelo processo de pipetagem e mostra teores de silte, areia e argila de 73,09%, 15,69% e 5,29%, respectivamente.

O diagrama triangular com os teores de cascalho, areia e lama encontra-se na figura 30.

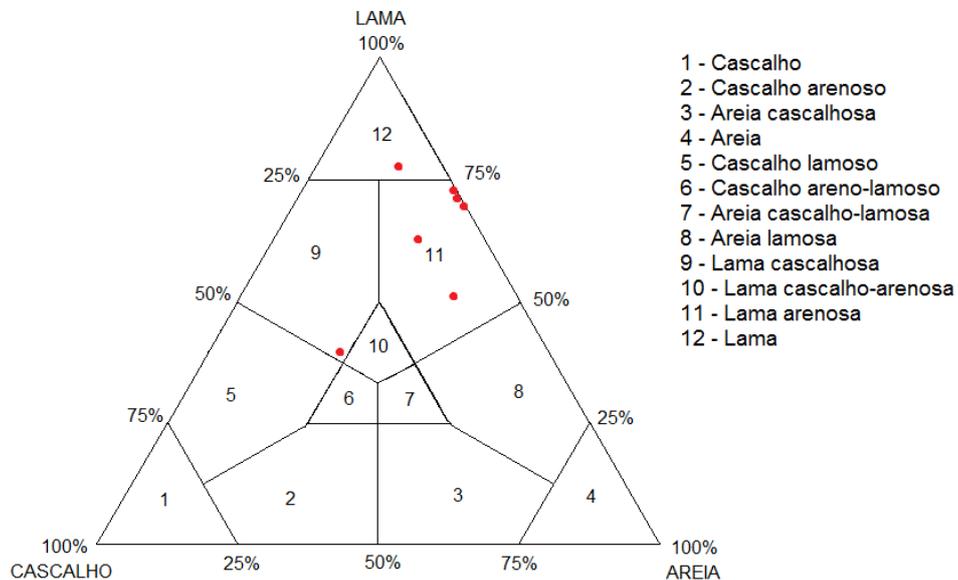


Figura 30 – Pontos vermelhos plotados no diagrama cascalho x areia x lama, representando as alíquotas do testemunho SIS-460 (Fonte:autor).

Nos níveis de 0cm, 10,0cm, 20,0cm, 40,0cm e 50,0cm temos um material classificado como Lama arenosa, onde o teor de lama está entre 56,84% e 70,06%, o percentual de areia está entre 23,74% e 35,41% e o cascalho com um teor inferior a 10,00%;

No nível de 60,0cm temos uma Lama cascalhosa, no qual o teor de lama é 40,84%, o percentual de cascalho é 39,56%, e o teor de areia é 19,60%;

E no nível de 30,0cm temos um Silte, onde o teor de silte é de 73,09%, o teor de areia é 15,69%, enquanto que o percentual de argila é de 5,29%.

Assim o testemunho SIS-460 quase em sua totalidade possui uma predominância de sedimentos classificado como Lama arenosa, com exceção dos níveis de 30,0cm e 60,0cm.

4.4.3 Carbonato de Cálcio

Todas as alíquotas do testemunho SIS-460 apresentam uma média de 99,60% de CaCO_3 , onde as alíquotas possuem o valor máximo de 100%, com exceção do nível de 10,0cm, com 97,18% (Gráfico 27).

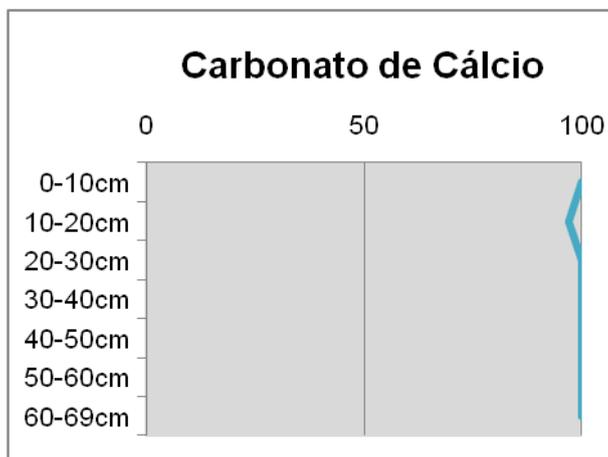


Gráfico 27 – Teores de CaCO_3 do testemunho SIS-460 (Fonte:autor).

Assim classificadas as alíquotas como Vasa Calcárea, onde possui teor de CaCO_3 acima de 75,00% (sedimento bioclástico), é um sedimento lamoso, pois seu teor de lama está acima de 15%, e esse mesmo valor está entre 25,00% e 75,00%, enquanto que no nível de 30,0cm a classificação do mesmo é de Vasa calcárea com a única diferença que este possui teor de lama acima de 75,00%.

Pode-se classificar o testemunho em sua totalidade como Vasa calcária arenosa, com exceção do nível de 30,0cm cuja única diferença é devido ao seu teor de lama ser 78,39%.

O termo vasa refere-se, principalmente, a depósito pelágico amplamente inconsolidado (lama). Pode ser dominada por organismos planctônicos calcários, por diatomáceas, etc. (CPRM, 2015 – Glossário Geológico On-line)

4.4.4 *Matéria Orgânica e Carbono Orgânico*

A média dos teores de matéria orgânica é 0,30%, com valores entre 0,09% a 0,51%, onde no nível de 0cm encontra-se o maior dentre estes.

A média dos valores de carbono orgânico é de 0,17%, onde seus valores variam entre 0,05% a 0,30%, sendo situado no nível de 0cm o maior destes.

Nas demais cinco alíquotas restantes a análise realizada não detectou matéria orgânica e carbono orgânico (Gráfico 28). Não é possível assim fazer uma relação dos teores de matéria orgânica e carbono orgânico com o aumento da profundidade devido a este fator.

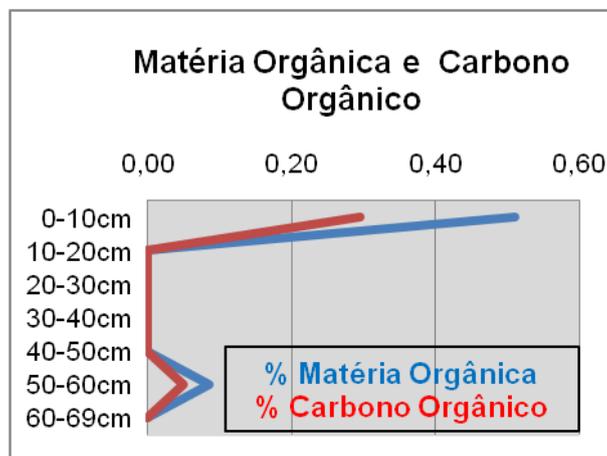


Gráfico 28 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-460

(Fonte: autor).

4.4.5 *Nitrogênio Total*

O teor médio das alíquotas é de 0,04%, onde no testemunho ocorre uma variação entre 0% até 0,07%, sendo este maior teor encontrado no nível de 30,0cm(Gráfico 29). O testemunho mostra uma uniformidade ao longo do testemunho, com exceção do nível 10,0cm que possui 0% de N total. Nota-se o decréscimo nos valores entre os níveis 0cm e 10,0cm, a partir desse o teor de nitrogênio aumenta consideravelmente até o nível de 30,0cm e logo após este nível os teores decrescem e permanecem uniformes.

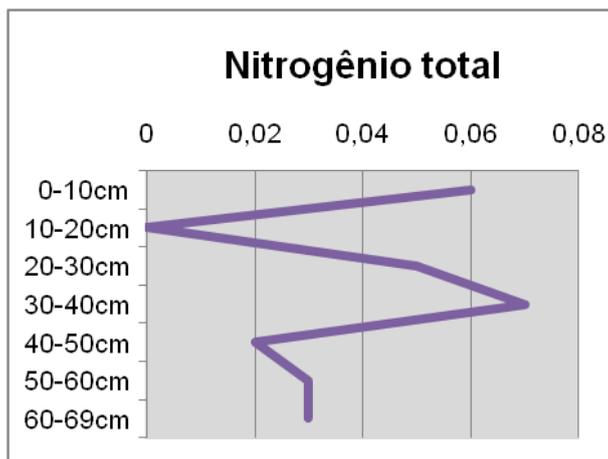


Gráfico 29 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

4.4.6 Carbono/Nitrogênio

A média da razão C/N das alíquotas dos testemunhos é de 0,94, onde estes valores exibem uma variação desde 0 até 4,94, sendo registrado no nível de 0cm o maior valor dentre estes (Gráfico 30). Devido aos valores não detectados na análise de matéria orgânica cinco alíquotas apresentam razão C/N igual à zero, mas com os dois valores obtidos, é possível notar que ocorre o decréscimo nos valores de acordo com o aumento da profundidade, e como estes são menores que 10, evidenciam que tais alíquotas são sedimentos finos e marinhos

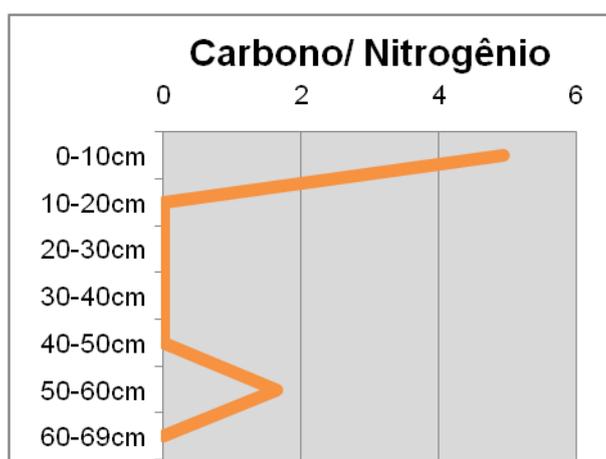


Gráfico 30 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

4.4.7 Fluorescência e Difração de Raios-X

Neste testemunho utilizaram-se três amostras devido à heterogeneidade apresentada nele. O topo do testemunho SIS-460 apresenta predominância dos elementos cálcio (81,35%), silício (8,03%), ferro (4,86%), alumínio (2,08%) e titânio (1,24%), enquanto que os demais elementos possuem valores abaixo de 1,00% e são: potássio, estrôncio, enxofre, fósforo, manganês e cloro (Gráfico 31). O cálcio apresenta-se como mais elemento abundante em relação aos demais, com uma diferença expressiva para o segundo mais abundante, o silício.

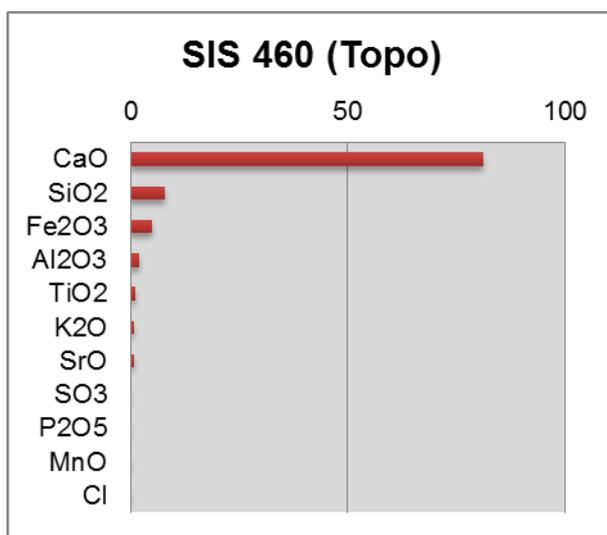


Gráfico 31 – Composição química do topo do testemunho SIS-460 (Fonte:autor).

O meio do testemunho SIS-460 o cálcio continua como o mais abundante (55,10%), seguido do silício (23,10%), ferro (10,89%), alumínio (4,07%), potássio (3,19%) e titânio (2,39%), o restante dos elementos que estão abaixo de 1,00% são: estrôncio, enxofre, manganês e cloro (Gráfico 32). O teor de cálcio diminui em relação ao topo deste testemunho e os teores de silício e ferro aumentam consideravelmente.

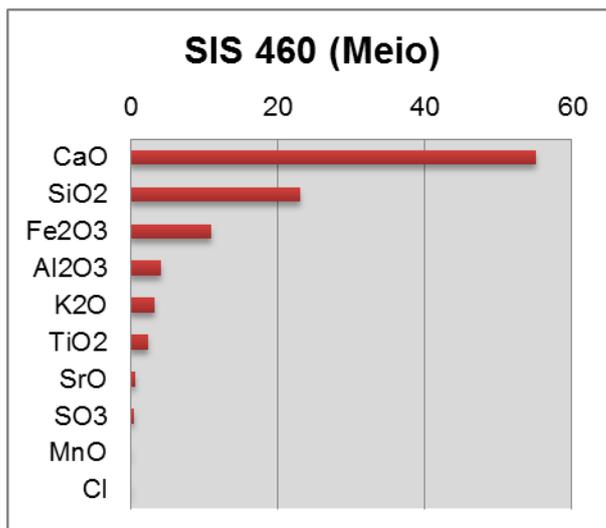


Gráfico 32– Composição química do meio do testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

Na base do mesmo testemunho, o cálcio ainda é o elemento mais abundante (61,30%) seguido do silício (16,30%), ferro (12,84%), alumínio (3,74%), potássio (2,20%) e titânio (1,87%), enquanto que estrôncio, enxofre e cloro possuem teores inferiores a 1,00% (Gráfico 33). O valor de cálcio aumenta um pouco do que aquele encontrado no meio do testemunho, enquanto que o valor de silício diminui e o ferro tem um pequeno aumento em seu teor.

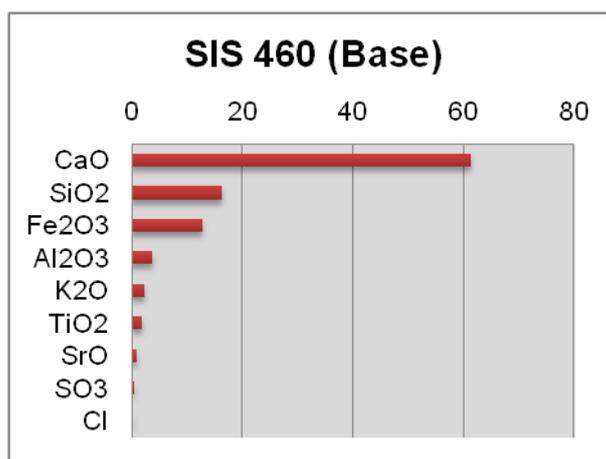


Gráfico 33 – Composição química da base do testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

No topo do testemunho os seguintes minerais foram detectados: Wollastonita (CaSiO_3), Aragonita (CaCO_3), Calcita (CaCO_3) e Quartzo (SiO_2). E respectivos teores de 38%, 36%, 22% e 4% (Gráfico 34).

Composição mineral similar ao topo do testemunho SIS-100, diferindo nos teores próximos de wollastonita e aragonita, e um aumento no teor de calcita.

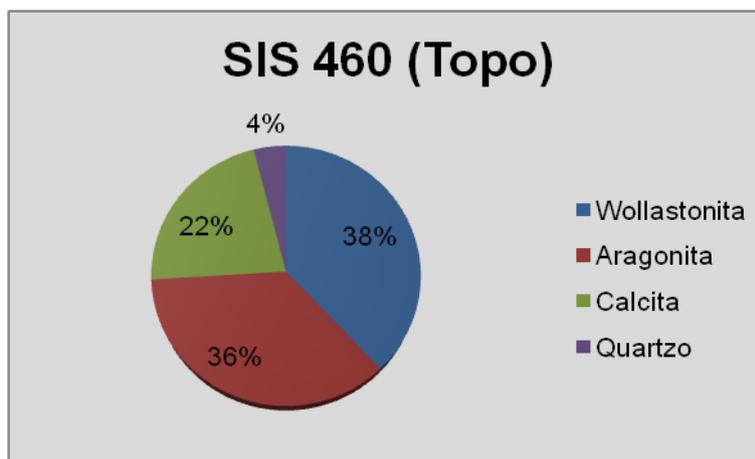


Gráfico 34 – Composição mineral do topo do testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

No meio do testemunho os seguintes minerais foram detectados: Muscovita ($\text{KA}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$), Quartzo (SiO_2), Anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), Calcita (CaCO_3) e Rutilo (TiO_2). E respectivos teores de 40%, 21%, 20%, 17% e 2% (Gráfico 35). Com o aparecimento da muscovita (formada em granitos e pegmatitos), anortita (típicas de rochas magmáticas básicas e rochas metabásicas) e rutilo (mineral acessório de alta pressão e temperatura em rochas ígneas, sendo comum detrítico) além do aumento no teor do teor de quartzo em relação ao topo deste testemunho.

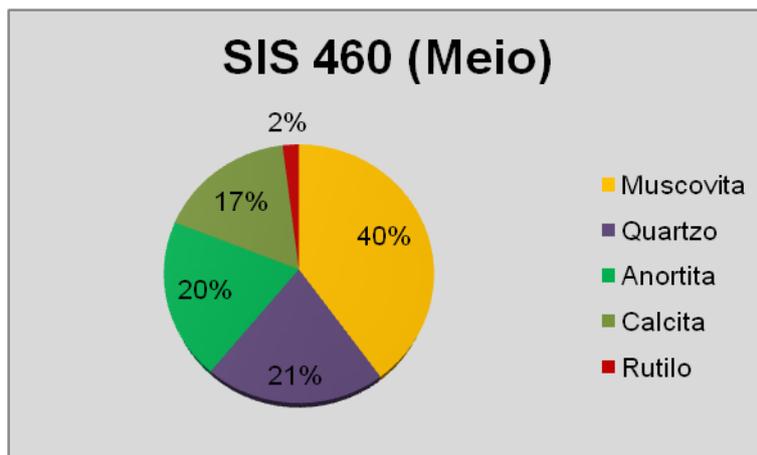


Gráfico 35 – Composição mineral do meio do testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

Na base do testemunho os seguintes minerais foram detectados: Calcita (CaCO_3), Margarita ($\text{Ca}_2\text{Al}_4(\text{Si}_2\text{Al}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$), Aragonita (CaCO_3), e Quartzo (SiO_2). E respectivos teores de 51%, 29%, 11% e 9% (Gráfico 36).

Nesta seção do testemunho o teor de calcita é maior do que o encontrado no topo e meio deste, enquanto que é detectado a margarita, mineral originado a partir da alteração do coríndon (Al_2O_3).

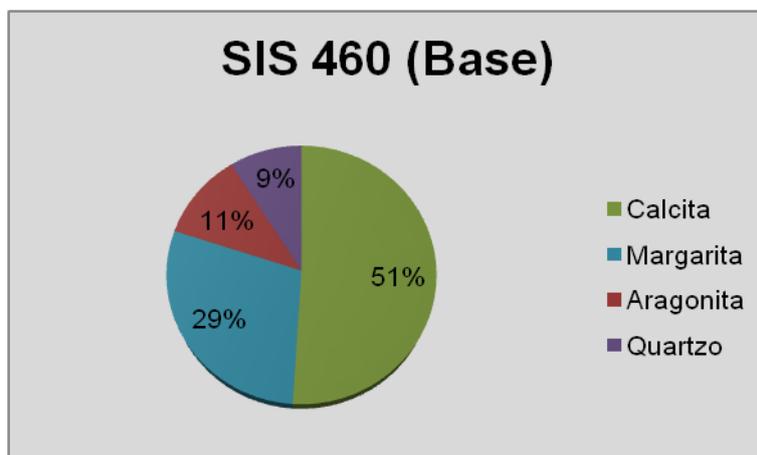


Gráfico 36 – Composição mineral da base do testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

Podemos observar na figura 31 a integração dos parâmetros analisados no testemunho SIS-460.

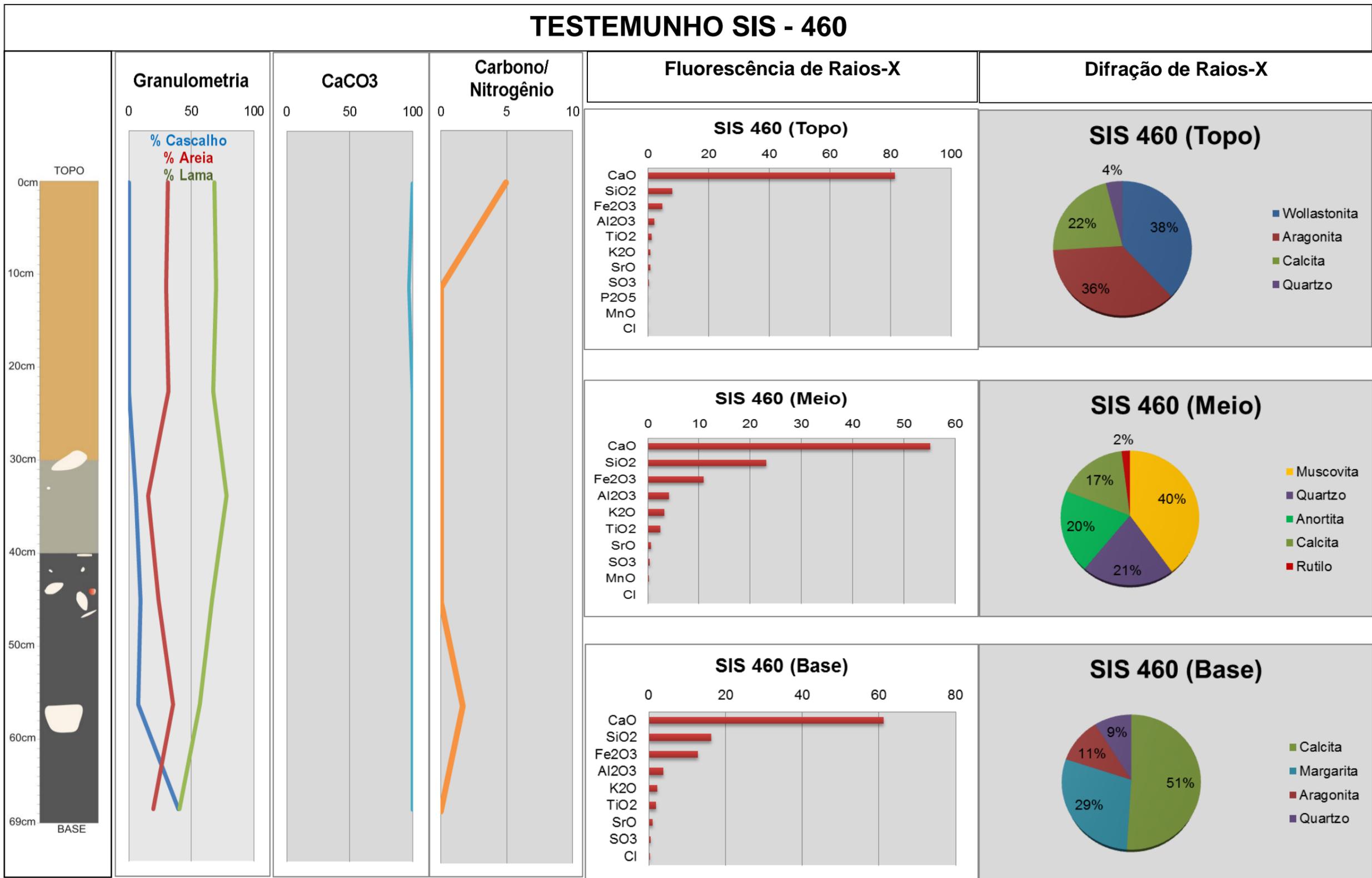


Figura 31 – Integração dos dados do testemunho SIS-460 (Fonte: autor).

4.5 Testemunho SIS-108

Testemunhagem executada na latitude 378899,56 Leste e longitude 9775823,675 Norte (Zona UTM: 24M) a uma profundidade de 2350m e distando cerca de 90km da foz do Rio Acaraú, com tubo de 80,0cm e recuperação de 74,0cm. A amostra foi dividida em alíquotas a cada 10,0cm, com exceção da última (com 14,0cm), num total de 7 amostras.

4.5.1 Descrição Macroscópica

A figura 32 representa o testemunho SIS-108. Uma semana depois da análise da cor no testemunho aberto, a cor das manchas internas ao testemunho alterou gradativamente para a cor externa, o que sugere que à medida que o sedimento perdia a umidade e com exposição à iluminação externa a cor alterava.

SIS - 108 (Profundidade: - 2350m)

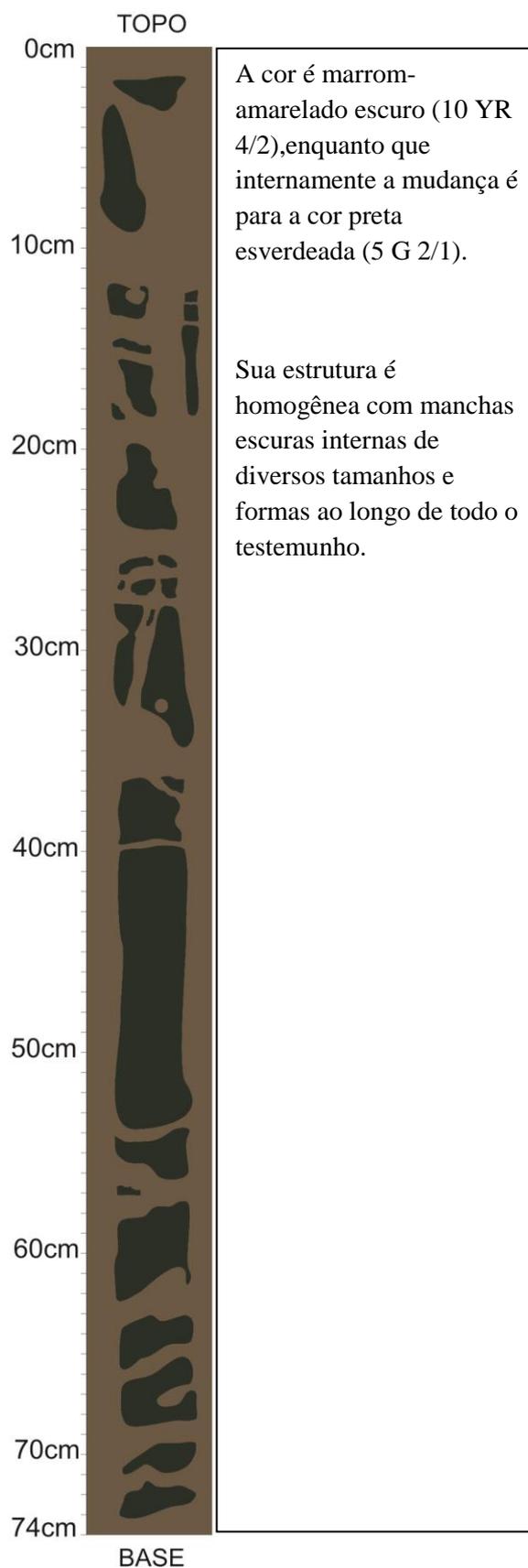


Figura 32 – Representação e descrição do testemunho SIS-108 (Fonte:autor).

4.5.2 Análise Granulométrica

O gráfico 37 mostra os percentuais de cascalho, areia e lama para o testemunho SIS-108.

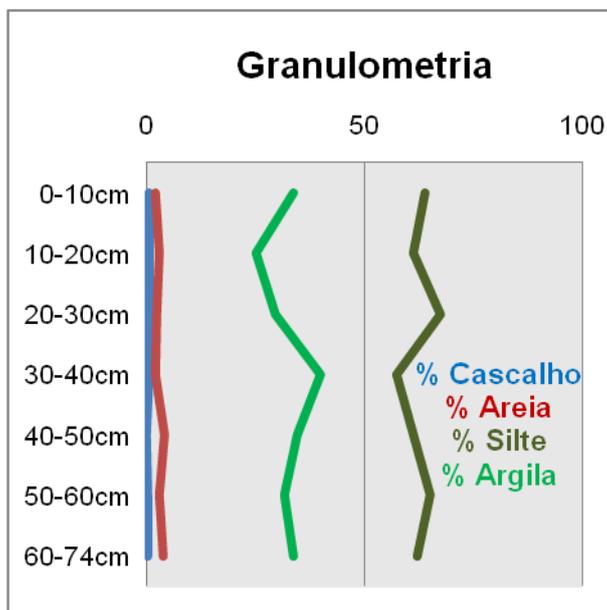


Gráfico 37 – Variação textural no testemunho SIS-108 (Fonte: autor).

A média dos teores de cascalho é de 0,37%, com variação de 0,12% a 0,54%, onde o maior dentre estes valores está situado no nível de 10,0cm. Representando menos de 1,00% dos percentuais encontrados no testemunho.

A média dos teores de areia é de 2,88%, onde seus valores então compreendidos entre 1,94% até 4,08%, no qual o maior teor está localizado no nível de 40,0cm. Onde seus teores estão abaixo de 5,00% e com pouca variação entre eles.

A média dos teores de silte é de 62,68%, com seus teores exibindo uma variação desde 57,35% até 67,53%, sendo o nível de 20,0cm aquele com o maior dentre estes teores. No qual estes teores apresentam-se com pequena variação ao longo do testemunho.

A média dos teores de argila é de 32,64%, no qual a variação destes está compreendida entre 25,28% e 40,03%, e no nível de 30,0cm está situado o valor máximo de argila. Estes valores aumentam até o nível de 30,0cm e após este decresce.

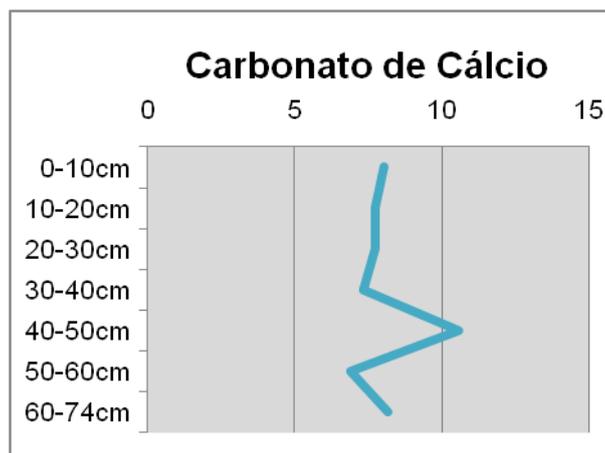


Gráfico 38 – Teores de CaCO₃ do testemunho SIS-108 (Fonte: autor).

As alíquotas são classificadas como Lama terrígena, pois possui teor de CaCO₃ abaixo de 30,00% (sedimento litoclástico), é um sedimento lamoso, pois seu teor de lama está acima de 15,00%, e esse mesmo valor está acima de 75,00%.

Isto pode ser devido ao fato de que este testemunho é aquele com a maior profundidade de coleta (2350m) e esta se aproxima da Profundidade de Compensação de Carbonato de Cálcio – PCCC (profundidades superiores a 3500m no Atlântico, em média), onde à medida que aumenta a profundidade maior a será a taxa de dissolução de CaCO₃.

4.5.4 Matéria Orgânica e Carbono Orgânico

A média dos valores de matéria orgânica é de 1,72%, com variação desde 1,02% até 3,15%, no qual no nível de 20,0cm registra-se o maior dentre estes.

A média dos teores de carbono orgânico neste testemunho é de 1,00%, onde os teores estão situados entre 0,59% e 1,83%, e no nível de 20,0cm situa-se o valor máximo dentre estes teores (Gráfico 39). Apenas o teor do nível de 0cm não foi detectado pela análise. Após o maior valor no nível de 20,0cm, os teores de matéria orgânica e carbono orgânico decrescem de acordo com a profundidade no testemunho.

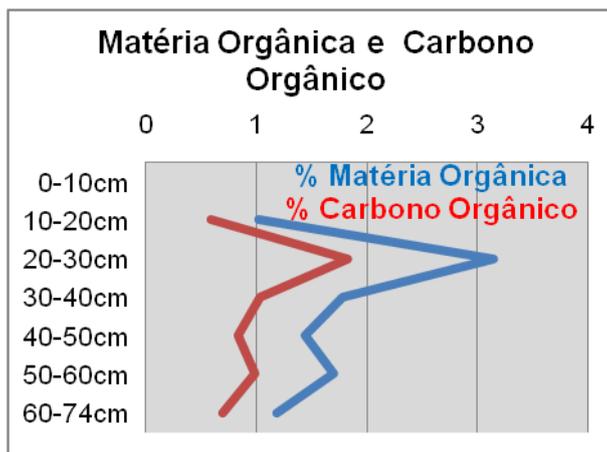


Gráfico 39 – Teores de matéria orgânica e carbono orgânico para o testemunho SIS-108 (Fonte: autor).

4.5.5 Nitrogênio Total

O teor médio das alíquotas é de 0,36%, sendo a variação compreendida entre 0,19% e 0,49%, no nível de 20,0cm está situado o maior dentre estes valores(Gráfico 40). Mostrando assim uma ampla variação no teor de N total de acordo com a profundidade.

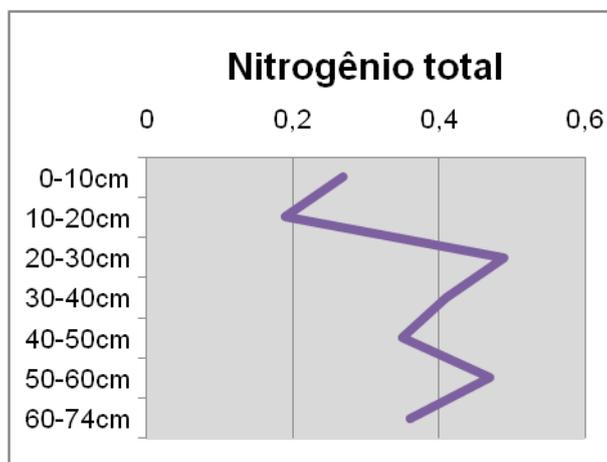


Gráfico 40 – Teores de nitrogênio total para o testemunho SIS-108 (Fonte:autor).

4.5.6 Carbono/Nitrogênio

A média da razão de C/N das alíquotas varia desde 0 até 3,73, no qual situado no nível de 20,0cm encontra-se o maior dentre estes valores.

Ocorre um decréscimo na razão C/N de acordo com o aumento da profundidade no testemunho SIS-108 a partir do nível de 20,0cm (Gráfico 41).

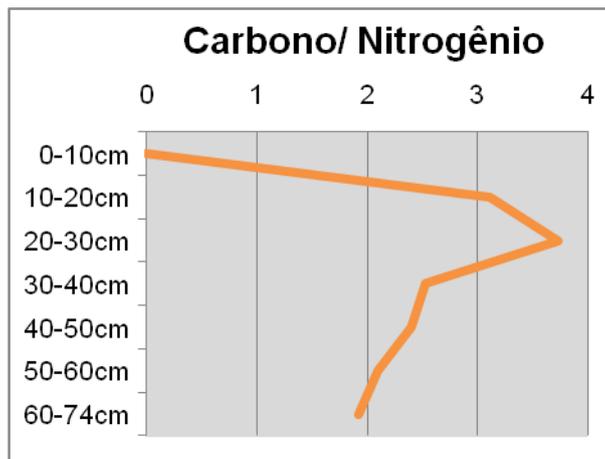


Gráfico 41 – Teores de carbono/nitrogênio para o testemunho SIS-108 (Fonte:autor).

4.5.7 Fluorescência e Difração de Raios-X

Neste testemunho utilizou-se uma amostra devido à homogeneidade apresentada nele. No testemunho SIS-108 o elemento predominante é o silício (42,14%) seguido do ferro (31,54%), alumínio (10,24%), potássio (7,83%), cálcio (3,67%) e titânio (3,57%), enquanto que os demais elementos possuem valores inferiores a 1,00% e são: enxofre, cloro, rubídio e estrôncio (Gráfico 42).

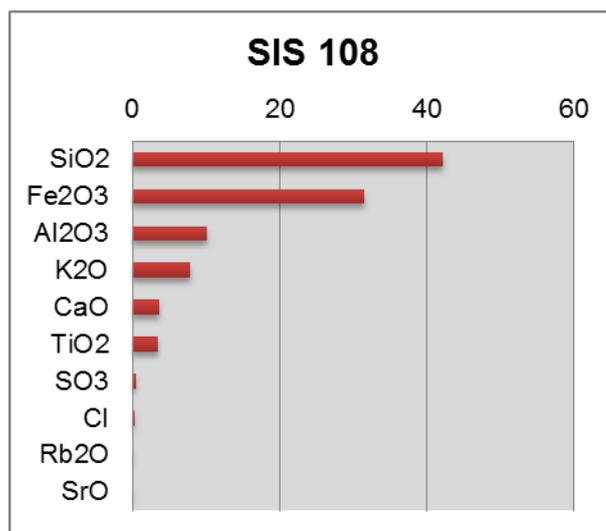


Gráfico 42 – Composição química do testemunho SIS-108 (Fonte: autor).

No testemunho os seguintes minerais foram detectados: Wollastonita (CaSiO_3), Aragonita (CaCO_3), Calcita (CaCO_3) e Quartzo (SiO_2). E respectivos teores de 59%, 28%, 12% e 1% (Gráfico 43). Apresentando composição mineral similar ao topo do testemunho SIS-100 e SIS-103

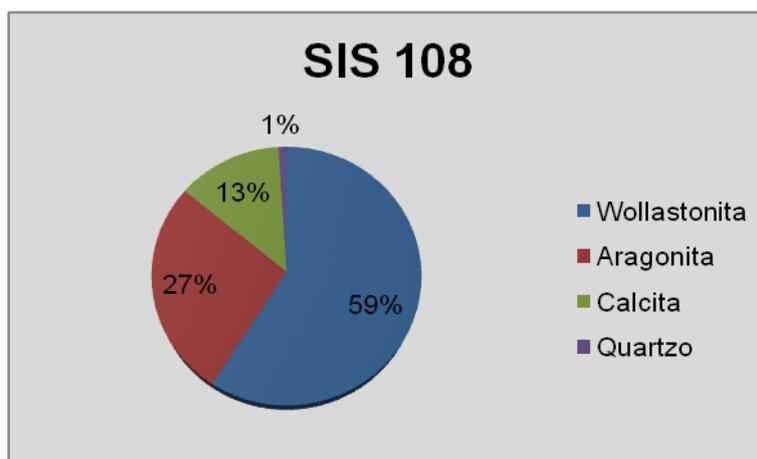


Gráfico 43 – Composição mineral do testemunho SIS-108 (Fonte: autor).

Na fração fina analisada o silício domina em relação aos demais elementos com teor próximo ao ferro total e seguido pelo alumínio diferindo dos demais testemunhos analisados anteriormente, devido a isso foi analisada a fração grossa (acima de 2,00mm) através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS).

4.5.8 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS)

Foram encontrados cristais incolores a amarelados de gipsita (ou gesso) de 2,00mm de diâmetro com clivagem evidente (Figura 34) e de variadas formas no testemunho SIS-108. O EDS detectou na gipsita o enxofre (SO₃) com 58,40%, seguido de 37,30% de cálcio (CaO) e silício (SiO₂) com 2,50%.

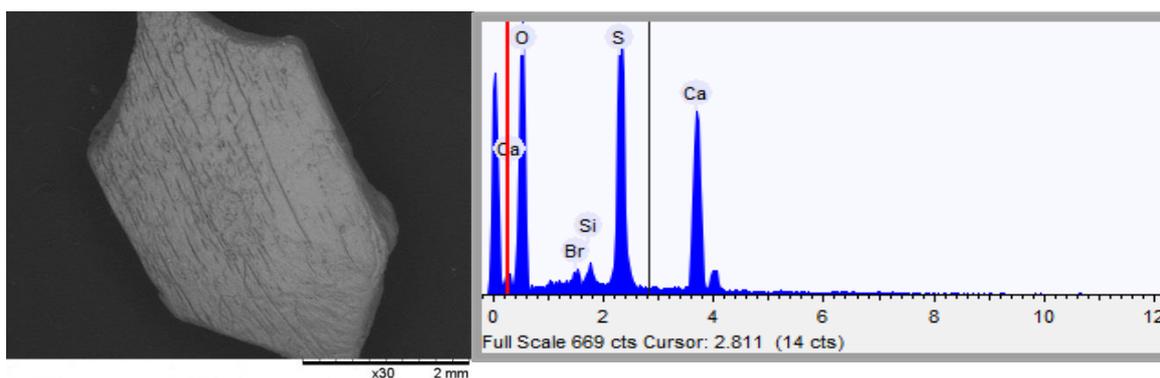


Figura 34 – Gipsita com aumento de 30X e respectivo difratograma (Fonte:autor).

Observou-se na superfície da gipsita:

- Cobre nativo (Figura 35A) com 88,28% de cobre (CuO), 6,54% de enxofre (SO₃), 3,69% de cálcio (CaO) e 1,47% de silício (SiO₂);
- Monazita (Figura 35B) com 21,60% de cério (Ce₂O₃), 15,60 de enxofre (SO₃), 13,59% de cálcio (CaO), 12,47% de fósforo (P₂O₅), 11,52% de lantânio (La₂O₃), 7,44% de silício (SiO₂), 6,63% de neodímio (Nd₂O₃), 4,68% de alumínio, 3,51% de magnésio (MgO) e 2,93% de prata (Ag₂O);
- Piritaframboidal (Figura 35C) com 48,70% de enxofre (SO₃), 32,19% de ferro (FeO), 8,97% de silício (SiO₂), 6,26% de cálcio (CaO), e 3,86% de alumínio (Al₂O₃);
- Rutilo (Figura 35D) com 52,61% de titânio (TiO₂), 18,09% de ferro (FeO), 9,87% de enxofre (SO₃), 6,58% de silício (SiO₂), 5,93% de cálcio (CaO), 3,84% de alumínio (Al₂O₃) e 3,05% de manganês (MnO).

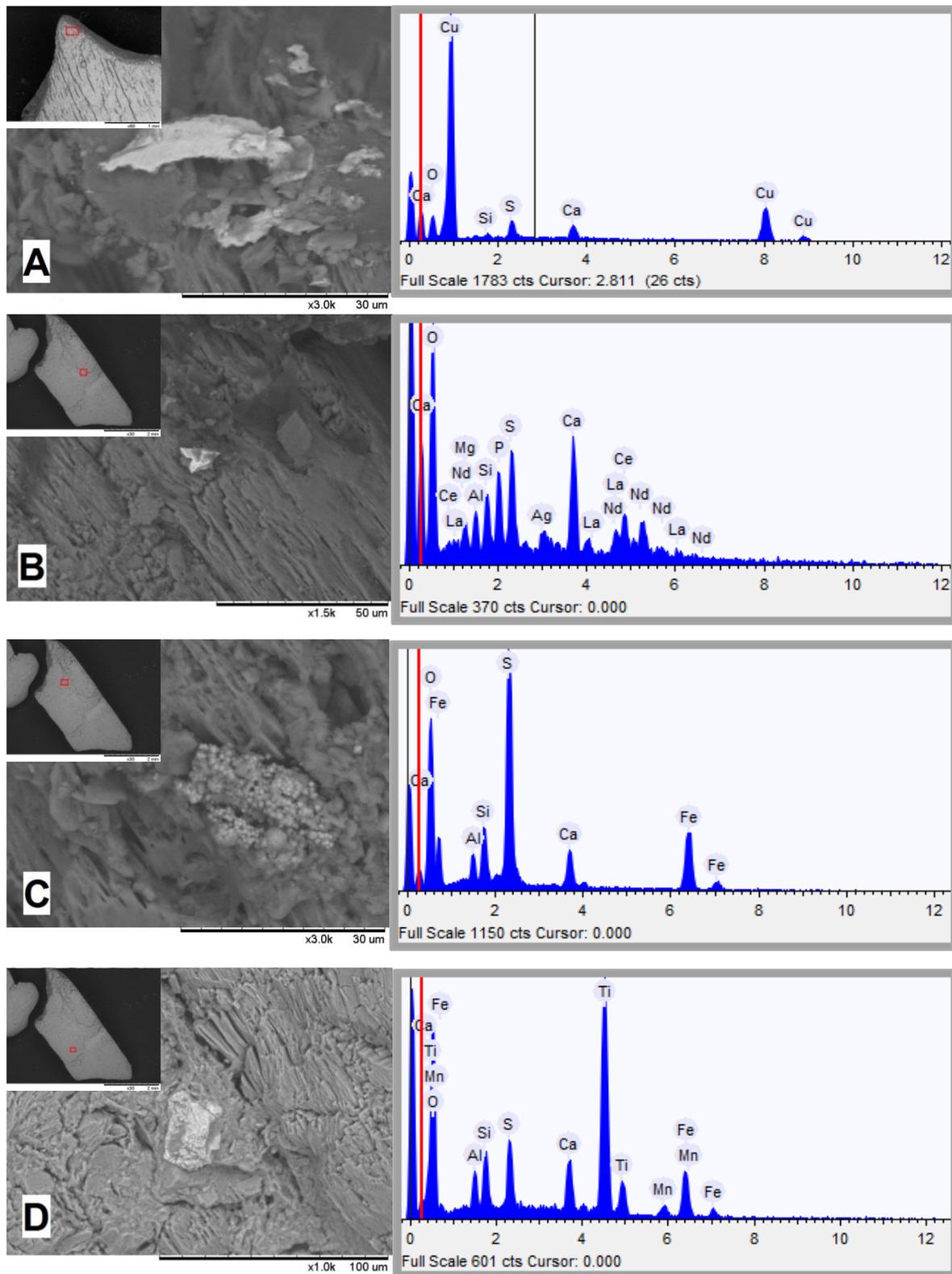


Figura 35 – A) Cobre nativo sobre gipsita com aumento de 3.000X e respectivo difratograma. B) Monazita sobre gipsita com aumento de 1.500X e respectivo difratograma. C) Pirita framboidal sobre gipsita com aumento de 3.000X e respectivo difratograma. D) Rutilo sobre gipsita com aumento de 1.000X e respectivo difratograma. (Fonte: autor).

Apesar do imperceptível tamanho desses minerais encontrados na gipsita, é possível inferir que no local no qual se coletou este testemunho tenham nas suas adjacências, as possíveis áreas-fontes destes.

Os cristais de gipsita (ou gesso) são oriundos de rochas evaporíticas. Evaporitos são minerais ou rochas formados principalmente de sais que se depositam pela evaporação da água.

Os evaporitos em maior parte resultam da restrição dos mares, que quando isolada do sistema de oceanos expõem à evaporação grandes quantidades de água.

A precipitação dos evaporitos segue uma sequência bem definida, de acordo com as leis químicas, com diferentes minerais se formando em função das diferentes solubilidades.

A ordem da deposição dos sais depende de dois fatores, a solubilidade e a quantidade de cada composto disponível na água do mar, quando a água do mar é evaporada, uma suíte de minerais é precipitada em ordem previsível:

- O primeiro mineral é um carbonato, comumente calcita (CaCO_3) ou aragonita (polimorfo da calcita) quando a solução alcança a concentração equivalente a duas vezes à da água do mar;
- A seguir ocorre a precipitação de sulfato, geralmente na forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou anidrita (CaSO_4), quando a salmoura se encontra em uma concentração equivalente a cinco vezes àquela da água do mar;
- Em concentrações de onze a doze vezes, a halita (NaCl) precipita;
- Após essa precipitação, sais complexos de potássio e magnésio (exemplo, silvita - KCl), entre outros, podem precipitar em concentrações superiores a sessenta vezes à original.

Os tipos de sais complexos e as respectivas salinidades da salmoura variam de acordo com a temperatura ou com os níveis de matéria orgânica presentes na salmoura (SANTOS, 2000).

Podemos observar na figura 36 a integração dos parâmetros analisados no testemunho SIS-108.

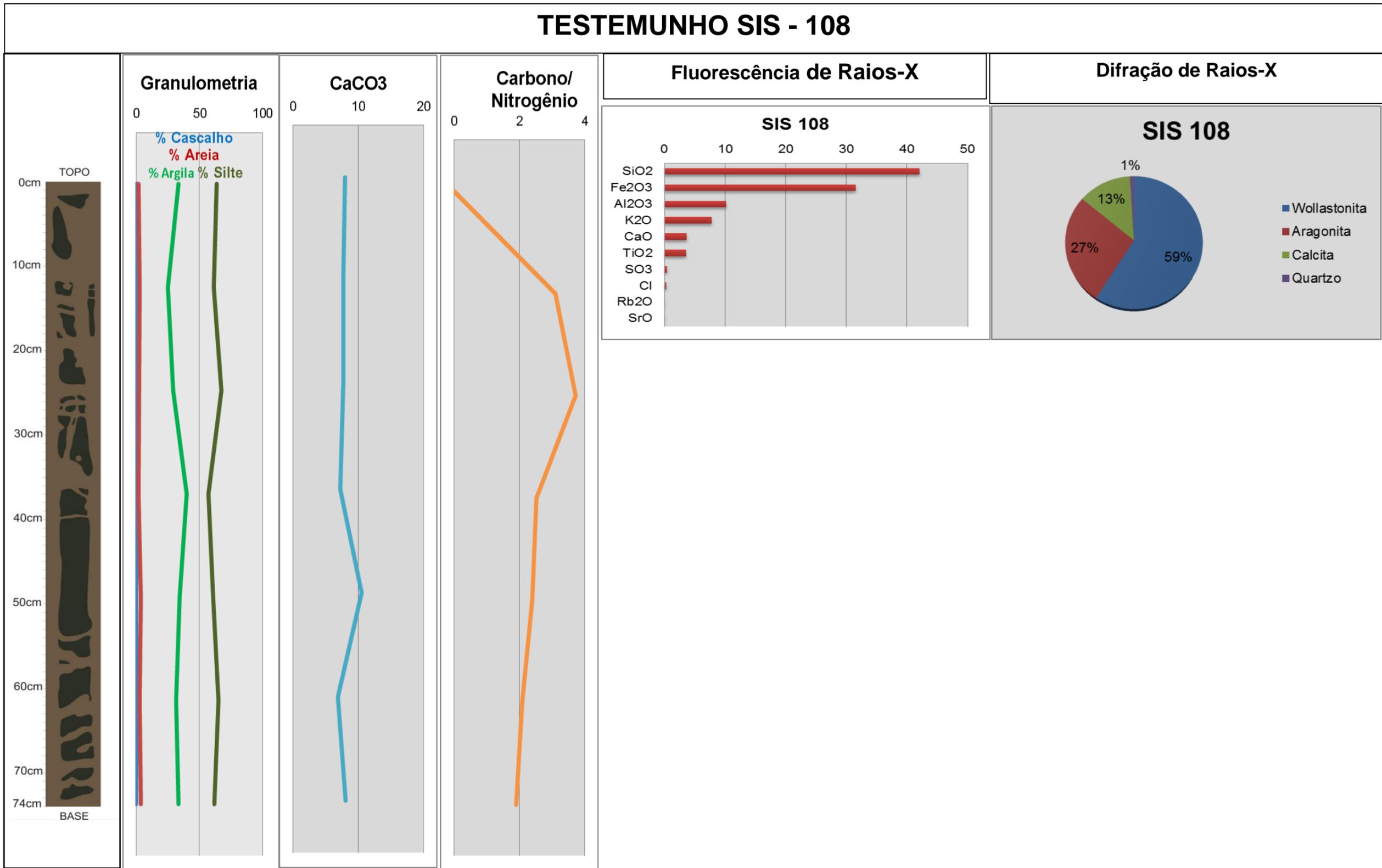


Figura 36 – Integração dos dados do testemunho SIS-108 (Fonte:autor).

5 CONCLUSÃO

Considerando-se a variedade de colorações, teve-se uniformidade entre os três primeiros testemunhos (SIS 100, 103 e 105 nos primeiros 8cm) apresentando cor cinza amarelada mesmo distantes e com diferentes profundidades pode-se inferir num único evento de sedimentação para estes três, em relação à segunda porção do testemunho SIS 105, e nos demais SIS 460 e SIS 108, por apresentarem cores distintas tanto no mesmo testemunho como nos demais, assim, considera-se eventos distintos característicos para cada uma das distintas cores encontradas pelo fato de não ter outra continuação nos demais testemunhos.

A respeito da granulometria, os teores de cascalho nos cinco testemunhos foram constantes e abaixo de 10% exceto nos SIS 100 e 460 no qual ocorreu um aumento destes teores na base destes para 24% e 39%, respectivamente. Os teores de areia apresentaram-se constantes do topo à base dos testemunhos, no qual o primeiro e mais raso testemunho apresentou os maiores teores chegando até 53% e quanto mais distante estiver o testemunho da costa menor será o seu teor chegando aos menores valores de 2% no testemunho SIS 108. Os teores de lama foram os maiores em relação a estes outros dois, sendo os menores teores registrados (22%) na amostra coletada em rasa profundidade (SIS 100 à 60m) e aquela amostra mais profunda (SIS 108 à 2350m) registrando no máximo 97% de lama.

Com relação ao diagrama triangular os testemunhos SIS 100, SIS 103 e SIS 460 apresentaram semelhança quanto à classificação de Lama arenosa com teores semelhantes de areia e lama e baixos valores de cascalho, e classificou-se como Silte argiloso tanto níveis da amostra SIS 105 como a SIS 108 no todo. Assim define-se estes dois conjuntos de testemunhos como classificação semelhantes, o grupo da Lama arenosa naqueles testemunhos mais rasos, com exceção do último, e o grupo do Silte argiloso naqueles pertencentes a uma maior profundidade.

Após o estudo no teor de CaCO_3 destes, os quatro primeiros apresentaram valores acima de 91% agrupados assim como Lamas calcárias, sendo o SIS 108 o mais distinto desses, apresentando teor máximo de 10% de carbonato de cálcio, este é considerado como lama terrígena, podendo inferir um ambiente marinho totalmente distinto dos demais.

Devido aos baixos teores de Matéria Orgânica (abaixo de 3,1%), Carbono Orgânico (abaixo de 1,8%), Nitrogênio Total (abaixo de 0,5%) e razão Carbono/Nitrogênio (abaixo de 7,0%) não é possível definir um padrão nestas amostras.

A partir dos valores encontrados na Fluorescência de Raios-X, nota-se a predominância do CaO nos quatro primeiros testemunhos com teores superiores a 80% completamente nos dois primeiros e apenas no topo dos dois restantes reduzindo na base destes, já na amostra SIS 108 encontra-se 42% de SiO₂ e 31% de Fe₂O₃, elementos estes que apresentavam baixos valores nos dois testemunhos mais rasos sendo a redução drástica do CaO para 3% no SIS 108. Nos testemunhos mais rasos o cálcio é mais comum de encontrar na composição química em relação ao silício, sendo o efeito contrário encontrado naqueles testemunhos de maior profundidade e parte disto encontra-se na base do SIS 105.

A mineralogia encontrada com o auxílio da Difractometria de Raios-X, foi: wollastonita, aragonita, calcita, quartzo, goethita, illita-montmorilonita, muscovita, margarita e rutilo. Sendo a calcita e aragonita formadas em ambiente marinho e são minerais essenciais em calcários. O quartzo, a muscovita e o rutilo são encontrados na forma detríticas e oriundos de granitos. A wollastonita e a anortita tem origem em mármores e rochas magmáticas básicas, respectivamente. A illita-montmorilonita oriunda da alteração de rochas contendo alumínio indica ação fluvial que influenciou a sedimentação no ambiente representado pela base do testemunho SIS 105. Os demais minerais, com exceção da calcita e aragonita que foram formadas no local, são detríticos e assim através do Rio Acaraú foram transportados a partir do continente até o local onde os testemunhos foram retirados.

A respeito dos sedimentos biogênicos, foram encontrados briozoários, fragmentos de bivalves, equinodermos, gastrópodes, pterópodes e carapaças de lagosta, sendo estes bioclastos encontrados somente nos testemunhos mais rasos SIS 100, 103 e 105 (até 950m de profundidade), sendo ausentes nas amostras SIS 460 e SIS 108 pois estão em grande profundidade (entre 2300m e 2350m).

A partir dos dados obtidos no Microscópio Eletrônico de Varredura notaram-se diferentes minerais na superfície da gipsita formada no local ou adjacências, sendo eles o Cobre nativo de ambiente redutor, a monazita detrítica (Ce,La,Nd,Th)PO₄, a pirita na forma framboidal formada em ambiente marinho redutor e o rutilo detrítico. Diferentes

minerais que foram incrementados a gipsita durante a gênese da mesma em ambiente confinado e redutor com contribuição da água marinha e do Rio Acaraú trazendo os minerais detríticos.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Orgs.) *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.
- CAMPOS, L. G. *Delineamento do pé do talude em um perfil da margem continental do Ceará através da integração de dados geológicos e geofísicos*. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Dissertação de Mestrado em Geofísica. Belém, 1992.
- COUTINHO, C. A. M. *O sistema petrolífero Mundaú-Paracuru no campo de Xaréu, Bacia do Ceará: Revisão e interpretação do estilo estrutural*. Universidade Federal Fluminense. Departamento de Geologia de Geofísica, Monografia em Geofísica. Niterói, 2014.
- FAIRBRIDGE, R. W. (Editor) *Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold Book, New York, 1966.
- FREIRE, G. S. S. *Contribuição ao estudo da Geologia Marinha de plataforma continental do estado do Maranhão, Brasil*. Universidade de Fortaleza. Curso de Geologia, Monografia em Geologia. Fortaleza, 1977.
- KENNETT, J. P. *Marine Geology*. Prentice Hall Inc. New Jersey, 1982.
- MARTINS, L. R.; URIEN, C. M.; BUTLER, L. W. *Províncias fisiográficas e sedimentos da margem continental atlântica da América do Sul*. In: ANAIS DO VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA – SBGv. 2, Belém, 1972.
- MORAIS NETO, J. M.; NETO, O. C. P.; LANA, C. C.; ZALÁN, P. V. *Bacias sedimentares brasileiras – Bacia do Ceará*. Fundação Paleontológica Phoenix, Revista N° 57. Aracaju, 2003.
- NETO, A. B. A. *Diagnóstico geoquímico em sedimentos de manguezais de Mataripe, Norte da Baía de Todos os Santos – BA*. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Dissertação de Mestrado em Geologia. Fortaleza, 2009.

PALMA, J. J. C. *Fisiografia da área oceânica*. In: SCHOBENHAUS, C. (Coord.) Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000. Brasília, 1984.

PANTIN, H. M. *The appearance and origin of colours in muddy marine sediments around New Zealand*, Journal of Geology and Geophysics, 12:1, 51-66, New Zealand, 1969.

SANTOS, C. L.; SCHREIBER, B. C.; SILVA, M. A. M. Evaporitos como recursos minerais. Revista Brasileira de Geofísica vol.18 no.3. São Paulo, 2000.

SANTOS, P. S. *Ciência e tecnologia de argilas*. v. 1. ed. Edgard. BlücherLtd., 1989.

SANTOS, P. S. *Ciência e tecnologia de argilas*. v. 2. ed. Edgard. BlücherLtd., 1989.

SILVA FILHO, W. F. *Domínios Morfoestruturais da Plataforma Continental do Estado do Ceará*. Tese de Doutorado. Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil. 2004

SUGUIO, K. *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins*. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1998.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. Editora Blücher, São Paulo, 1973.

TESSLER, M. G. & MAHIQUES, M. M. *Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos*. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Org.). Decifrando a Terra. São Paulo: O. Textos, 2000.

VITAL, H.; ESTEVES, L. S.; ARAÚJO, T. C. M. de; PATCHINEELAM, S.; M. *Oceanografia geológica e geofísica da Plataforma Continental Brasileira*. In: Quaternário do Brasil. SOUZA, C. R.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Org.). Ribeirão Preto: Ed. Holos, 382 p., 2005.