

**Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da
Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região
Marinha e Costeira Adjacente**

RELATÓRIO ANUAL:

Anexo 4 – PRAIAS

RT-20 RRDM/NOV19

Coordenação Geral

Adalto Bianchini

Alex Cardoso Bastos

Edmilson Costa Teixeira

Eustáquio Vinícius de Castro

Jorge Abdala Dergam dos Santos

Vitória,

Novembro de 2019

COORDENAÇÕES

Anexo 1

Adalto Bianchini (FURG)

Anexo 3

Edmilson Costa Teixeira (UFES)

Fabian Sá (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Alessandra Delazari Barroso (FAESA)

Alex Cardoso Bastos (UFES)

Ana Cristina Teixeira Bonecker (UFRJ)

Anderson Geyson Alves de Araújo (UFES)

Björn Gucker (UFSJ)

Camilo Dias Júnior (UFES)

Daniel Rigo (UFES)

Eneida Maria Eskinazi Sant'Anna (UFOP)

Gilberto Amado Filho (IPJB) *in memoriam*

Gilberto Fonseca Barroso (UFES)

Iola Gonçalves Boechat (UFSJ)

Leila Lourdes Longo (UFRB)

Leonardo Tavares Salgado (IPJB)

Luís Fernando Loureiro (UFES)

Marco Aurélio Caiado (UFES)

Renato David Ghisolfi (UFES)

Renato Rodrigues Neto (UFES)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Valéria da Silva Quaresma (UFES)

Valéria de Oliveira Fernandes (UFES)

Vanya Marcia Duarte Pasa (UFMG)

Anexo 4

Jacqueline Albino (UFES)

Subprojetos

Karla Costa (UFES)

Maria Tereza Carneiro (UFES)

Anexo 5

Diolina Moura Silva (UFES)

Mônica Tognella (UFES)

Anexo 6

Agnaldo Silva Martins (UFES)

Subprojetos

Ana Paula Cazerta Farro (UFES)

Leandro Bugoni (FURG)

Sarah Vargas (UFES)

Anexo 7

Maurício Hostim (UFES)

Jorge Dergam (UFV)

Subprojetos

Carlos W. Hackradt (UFSB)

Fabiana Felix Hackradt (UFSB)

Jean-Christophe Joyeux (UFES)

Luis Fernando Duboc (UFV)

Anexo 8

Heitor Evangelista (UERJ)

Coordenação Técnica (CTEC)

Alex Cardoso Bastos

Lara Gabriela Magioni Santos

Laura Silveira Vieira Salles

Tarcila Franco Menandro

Coordenação Escritório de Projetos

Eustáquio Vinicius Ribeiro de Castro

Patrícia Bourguignon Soares

Paulo Roberto Filgueiras

Valdemar Lacerda Junior

Walter Luiz Alda Junior

Coordenação Núcleo de Atuação Integrada em Rede (NAIR)

Edmilson Costa Teixeira

Karla Libardi Gallina

Andressa Christiane Pereira

Anna Paula Lage Ribeiro

Caroline De Marchi Pignaton

Paulo Eduardo Marques

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS E TEMÁTICAS.....	16
1.2	ÁREA DE ESTUDO	21
2	METODOLOGIA	23
2.1	ESTAÇÕES AMOSTRAIS E SAZONALIDADE DAS COLETAS	23
2.2	MORFODINÂMICA PRAIAL	25
2.2.1	Clima de ondas	25
2.2.2	Topobatimetria	25
2.2.3	Sedimentologia	26
2.3	GEOQUÍMICA	27
2.3.1	Coleta e preparo das amostras	27
2.3.2	Extração da fração biodisponível	28
2.3.3	Decomposição pseudo total	28
2.3.4	Determinação de elementos traço nas frações biodisponível e pseudo total	29
2.4	BENTOS.....	29
2.4.1	Macrofauna	29
2.4.2	Meiofauna	30
2.4.3	Nematofauna	30
2.4.4	Coleção	30
2.4.5	Análise dos dados	30
2.5	ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS	31
3	RESULTADOS	32
3.1	MORFODINÂMICA.....	32
3.1.1	Clima de ondas	32
3.1.2	Topobatimetria	38

3.1.3	Sedimentologia das praias.....	50
3.2	GEOQUÍMICA	61
3.2.1	Geoquímica dos Compartimentos A, B e C	62
3.2.2	Distribuição espacial dos elementos ao longo das estações amostrais	66
3.2.3	Influência da sazonalidade na geoquímica da praia	74
3.2.4	Avaliação da distribuição dos elementos ao longo do perfil transversal das estações amostrais	74
3.2.5	Distribuição dos elementos ao longo dos testemunhos.....	79
3.2.6	Avaliação da biodisponibilidade dos elementos	82
3.3	BENTOS.....	84
3.3.1	Distribuição espacial e temporal durante o monitoramento	84
3.3.2	Coleção Zoológica	122
4	DISCUSSÃO INTEGRADA.....	123
4.1	CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E GEOQUÍMICA E INDICADORES DA DEPOSIÇÃO DE LAMA DE REJEITO AO LONGO DA COSTA.....	123
4.2	COMUNIDADE BENTÔNICA E ASPECTOS MORFODINÂMICOS, SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS	130
5	RESUMO DO ANEXO	139
6	REFERÊNCIAS	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Contaminantes em suspensão na zona de surfe em Regência.	16
Figura 2: Inclinação média e diâmetro médio na porção norte da desembocadura do rio Doce, de Urussuquara a Guriri.	22
Figura 3: Localização das estações amostrais. A Estação S1 Praia Mole foi incluída no monitoramento a partir da campanha de dezembro de 2018.	24
Figura 4: Histogramas direcionais de período (Tm) e altura (Hm) médias diárias entre 30 de janeiro de 2008 e 12 de fevereiro de 2019. Dados modelados com base no modelo de previsão NWW3 com resolução de cerca de 50 km.	32
Figura 5: Histograma direcional da altura média diária (Hm) entre 30 de janeiro de 2008 e 12 de fevereiro de 2019. Dados modelados com base no modelo de previsão NWW3 com resolução de cerca de 50 km.	33
Figura 6: Histograma direcional do período médio diário (Tm) entre 30 de janeiro de 2008 e 12 de fevereiro de 2019. Dados modelados com base no modelo de previsão NWW3 com resolução de cerca de 50 km.	34
Figura 7: Correlação entre os dados medidos em campo e os dados modelados. Linha cinza marca o limite das maiores alturas de ondas consideradas como eventos de alta energia, Hs maior que 1,8 m. As caixas cinzas indicam os seis eventos de alta energia considerados para o período do monitoramento, Hs > 1,8 m e duração superior a 72 horas.	35
Figura 8: Altura significativa, direção e período de pico das ondas correspondentes ao período das quatro campanhas amostrais realizadas entre setembro de 2018 e agosto de 2019.	36
Figura 9: Altura significativa, direção e período de pico das ondas correspondentes as quatro campanhas amostrais, setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, incluindo três dias antecedentes aos levantamentos de campo.	37
Figura 10: Praias Mole (S1), Formosa (S2) e de Putiri (S3), Compartimento A.	39
Figura 11: Esquema representativo da praia emersa e antepraia rasa, em planta e perfil, indicando as principais feições praias e parâmetros morfológicos médios entre as campanhas. Largura da praia: trecho entre o NMM e o início do cordão arenoso/ término da praia. Distância da berma: distância entre o NMM e o ponto mais alto da berma. Declividade da face praial: inclinação ente a maior altura da face e o NMM. Espraimento de vazante: alcance máximo do espraimento observado nos dias de amostragem. Espraimento máximo: alcance máximo do espraimento modelado para os dias de amostragem.	39

Figura 12: Perfis topográficos e descrição morfodinâmica das estações S1, S2 e S3, Compartimento A. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.....	40
Figura 13: Largura média (barras azuis) e máxima (linhas) da praia emersa e <i>run-up</i> médio (barras laranjas) e máximo (linhas) nas estações amostrais. Os destaques em tracejado indicam as estações em que o alcance horizontal do <i>run-up</i> máximo modelado transpassa o limite da praia e alcança a retropraia com potencial dispersão de prováveis contaminantes provenientes do rejeito. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri. Perfis topobatimétricos.	41
Figura 14: Perfis topobatimétrico das estações S1, S2 e S3, Compartimento A. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.....	42
Figura 15: Praias de Barra do Riacho (S4), Comboios (S5), Regência (S6) e Povoação (N1), Compartimento B.	43
Figura 16: Perfis topográficos e descrição morfodinâmica das estações S4, S5, S6 e N1, Compartimento B. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.	44
Figura 17: Ajuste linear dos perfis batimétricos entre as profundidades de 4 e 14 m. As menores declividades estão relacionadas ao alargamento da plataforma continental interna, enquanto que as de maiores declividades foram observadas nas proximidades da desembocadura do rio Doce, trecho caracterizado pelo estreitamento da plataforma.....	45
Figura 18: Perfis topobatimétricos das estações S4, S5, S6 e N1, Compartimento B. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.	46
Figura 19: Praias de Degredo (N2), Pontal do Ipiranga (N3), Barra Nova (N4) e Guriri (N5), Compartimento C.	47
Figura 20: Perfis topográficos e descrição morfodinâmica das estações N2, N3, N4 e N5, Compartimento C. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.....	48
Figura 21: Perfis topobatimétricos das estações N2, N3, N4 e N5, Compartimento C. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.	49
Figura 22: Caracterização composicional e granulométrica média das areias da praia emersa (esquerda) e submersa (direita) e distribuição dos teores de lama nas praias em estudo. Teores de lama significativos foram observados apenas na praia submersa. O teor de lama na isóbata de 5 m corresponde à média dos teores registrados entre as profundidades de 4 e 8 m, enquanto que na isóbata de 10 m refere-se a média dos teores registrados entre as isóbatas de 10 e 16 m. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	50

Figura 23: Principais componentes bioclásticos observados nas praias em estudo. A) Algas articuladas; B) Algas incrustantes; C) e D) Moluscos; E) Briozoários; F) Foraminíferos; G) Equinodermas; H) Tubos de verme; I) Crustáceos.	51
Figura 24: Principais componentes bioclásticos (A) e minerais pesados (B) identificados nas praias em estudo. Valores médios para os compartimentos identificados. Compartimento A: praias Mole, Formosa e de Putiri; Compartimento B: praias de Barra do Riacho, Comboios, Regência e Povoação; Compartimento C: praias de Degredo, Pontal do Ipiranga, Barra Nova e Guriri. Outros*: Tubo de verme, crustáceo, ostracóide e alga Halimeda. Outros**: Rutilo, epidoto, estauroлита e zircão.	52
Figura 25: Principais minerais pesados identificados nas praias em estudo. A) Minerais opacos; B) Anfibólios; C) Silimanitas; D) Cianitas; E) Turmalinas; F) Granadas.	52
Figura 26: Relação entre o teor de matéria orgânica total e o teor de lama observado na antepraia das praias em estudo.	53
Figura 27: Elevadas concentrações de minerais pesados observadas após a tempestade tropical no mês de abril de 2019. (A) e (B) berma superficial e face superior da praia de Povoação e (C) trincheira da berma da praia de Degredo.	54
Figura 28: Variação granulométrica e composicional das areias das praias ao longo da área de estudo.	56
Figura 29: Variação granulométrica média das areias ao longo das estações amostrais e das subfeições praias.	57
Figura 30: Distribuição dos teores de lama nas isóbatas de 5 m (colunas em azul) e 10 m (colunas em laranja) nas quatro campanhas amostrais. (1) setembro e (2) dezembro de 2018 e (3) abril e (4) julho de 2019. (a) Compartimento A; (b) Compartimento B; (c) Compartimento C. O aporte potencial de lama é verificado nas proximidades e ao norte da desembocadura fluvial.	58
Figura 31: Teores médios (barras) e máximos (linhas) dos principais minerais pesados identificados nas praias em estudo. Predominância de anfibólios, em sua maioria hornblendas, em relação às silimanitas indica o transporte preferencial em direção ao norte ao mesmo tempo que, devido sua instabilidade mineralógica, reflete aporte recente do rio Doce nas praias ao norte da desembocadura. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.	59
Figura 32: Descrição visual e caracterização granulométrica e composicional do testemunho coletado ao sul da desembocadura do rio Doce a 11 m de profundidade no alinhamento da estação amostral S6 Regência.	60

Figura 33: Descrição visual e caracterização granulométrica e composicional do testemunho coletado ao norte da desembocadura do rio Doce a 12 m de profundidade no alinhamento da estação amostral N1 Povoação.....	61
Figura 34: Contribuição percentual das variáveis para a variância do PCA para as amostras de sedimento da praia emersa e antepraia rasa.	63
Figura 35: Gráfico dos scores (A) e loadings (B) da PCA para as amostras de sedimento da parte emersa e antepraia rasa.	64
Figura 36: Contribuição percentual das variáveis para a variância do PCA para as amostras de sedimento das isóbatas 5 m e 10 m.....	65
Figura 37: Gráfico dos scores (A) e loadings (B) da PCA para as amostras de sedimento nas isóbatas 5 e 10 m.	65
Figura 38: Distribuição espacial dos elementos químicos na berma ao longo das estações amostrais.	67
Figura 39: Espectro de difração de raios X para amostra da berma coletada em abril/2019 na praia de Povoação (N1)	68
Figura 40: Distribuição espacial de As, Mn, e V na face superior e inferior ao longo das estações amostrais.....	69
Figura 41: Distribuição espacial de Fe e Pb na face superior e inferior ao longo das estações amostrais.	70
Figura 42: Concentração de ferro (mg kg^{-1}) em amostras de sedimento da face inferior ao longo de 12 meses do PMBA (set/2018 a jul/2019) e nas amostras de sedimento coletadas pela Aplysia em nov./2015, dez./2015 e jan./2016.	71
Figura 43: Distribuição espacial de As, Fe, Mn, Pb e V na antepraia rasa ao longo das estações amostrais.....	71
Figura 44: Distribuição espacial de Al, Cr, Fe e Mn na isóbata de 5 m e isóbata de 10 m ao longo das estações amostrais.	72
Figura 45: Distribuição espacial de Hg nas isóbatas de 5 m (A) e 10 m (B) e berma superficial ao longo das estações amostrais nas campanhas de abril e julho de 2019.	73
Figura 46: Distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil transversal da praia Formosa.	75
Figura 47: Distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil transversal da estação de Regência.	77

Figura 48: Distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil transversal da estação de Pontal do Ipiranga	78
Figura 49: Concentração de metais no testemunho de Povoação. Resultados expressos em mg/kg. Limites orientadores de qualidade de sedimentos AET (Linha rosa) e TEL (Linha vermelha).	80
Figura 50: Concentração de metais no testemunho de Regência. Resultados expressos em mg/kg. Limites orientadores de qualidade de sedimentos AET (Linha rosa) e TEL (Linha vermelha).	81
Figura 51: Porcentagem de extração dos elementos biodisponíveis ao longo das estações amostrais.	83
Figura 52: Mapa da do balanço hidrico do estado do ES em Setembro/2018 e Dezembro de 2018. ..	84
Figura 53: Registro fotográfico dos gêneros dominantes da macrofauna. A – <i>Hesionura sp.</i> (objetiva 20x). B - <i>Saccocirrus sp.</i> (objetiva 10x); C – <i>Naididae</i> (objetiva 20x); D – <i>Excirrolana braziliensis</i> (objetiva 5x); E – <i>Nemertea</i> (objetiva 10x). Fotos NUBEM – AxioCam 305 Zeiss. Escala 50µm.	85
Figura 54: Distribuição dos táxons mais abundantes da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.	86
Figura 55: Riqueza média (S) da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	88
Figura 56: Descritores ecológicos da macrofauna nas faixas das praias da malha amostral. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	88
Figura 57: Densidade média (Ind/m ²) da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.	89
Figura 58: Diversidade média (H') da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	89
Figura 59: Análise de similaridade ANOSIM e o nMDS entre os Compartimentos A, B e C da macrofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados.....	90

Figura 60: Contribuição dos principais grupos taxonômicos por compartimentos e períodos amostrados nas praias adjacentes ao rio Doce. A- Compartimento A; B- Compartimento B; C- Compartimento C.	91
Figura 61: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') entre as faixas do Compartimento A. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	92
Figura 62: Análise multivariada de ordenação nMDS da macrofauna entre as faixas das praias do Compartimento A. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	92
Figura 63: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') entre as faixas do Compartimento B. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	93
Figura 64: Infralitoral em Barra do Riacho (S4).	94
Figura 65: Análise multivariada de ordenação nMDS da macrofauna no Compartimento B. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	95
Figura 66: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') entre as faixas do Compartimento C. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	96
Figura 67: Análise multivariada de ordenação nMDS da macrofauna no Compartimento C. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	97
Figura 68: Registro fotográfico dos grupos taxonômicos dominantes da meiofauna. A – Nematoda (objetiva 100x); B – Copepoda (objetiva 20x). Fotos NUBEM – AxioCam 305 Zeiss. Escala 50µm.	98
Figura 69: Distribuição dos grupos taxonômicos mais abundantes da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.	98
Figura 70: Riqueza média da meiofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.	100
Figura 71: Descritores ecológicos da meiofauna nas faixas das praias da malha amostral. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	100

Figura 72: Densidade média da meiofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	101
Figura 73: Diversidade média da meiofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	102
Figura 74: Análise de similaridade ANOSIM e o nMDS entre os Compartimentos A, B e C da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrais.....	102
Figura 75: Contribuição dos principais grupos taxonômicos de Meiofauna por compartimento e períodos amostrados nas praias adjacentes ao rio Doce. A- Compartimento A; B- Compartimento B; C- Compartimento C.	104
Figura 76: Análise de ordenamento nMDS entre as faixas no Compartimento A da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias X praias X períodos sazonais. A estação Praia Mole não foi amostrada no período seco. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	105
Figura 77: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') da meiofauna entre as faixas do Compartimento B. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.....	106
Figura 78: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento B da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	106
Figura 79: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') da meiofauna entre as faixas do Compartimento C. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.....	107
Figura 80: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento C da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	108
Figura 81: Registro fotográfico dos gêneros dominantes da nematofauna. A- <i>Daptonema</i> ; B- <i>Microlaimus</i> ; C- <i>Metachromadora</i> ; D- <i>Paracyatholaimus</i> . Fotos NUBEM – AxioCam 305 Zeiss. Escala 50µm.....	109

Figura 82: Distribuição dos táxons mais abundantes da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.	109
Figura 83: Riqueza média da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	111
Figura 84: Densidade média da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	112
Figura 85: Diversidade média da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.....	112
Figura 86: Descritores ecológicos da nematofauna nas faixas das praias da malha amostral. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	113
Figura 87: Análise nMDS entre os Compartimentos A, B e C da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais.	113
Figura 88: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') da nematofauna entre as faixas do Compartimento A. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	114
Figura 89: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento A da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	114
Figura 90: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') da nematofauna entre as faixas do Compartimento B. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	116
Figura 91: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento B da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	116
Figura 92: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m ²) e diversidade média (H') da nematofauna entre as faixas do Compartimento C. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	117

Figura 93: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento B da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	118
Figura 94: Comparação dos dados pretéritos de riqueza média, densidade média e diversidade média da macrofauna; chuvoso/2015 e Seco/2015 referem-se aos dados pretéritos da dissertação de Teixeira (2016); chuvoso/2016 refere-se aos dados pretéritos do trabalho de conclusão de curso de Mauri (2017). Seco/2018 e Chuvoso/2018 referem-se aos dados do PMBA (set/2018 e dez/2018). A linha vermelha demarca a época do desastre.	120
Figura 95: Comparação dos dados pretéritos de riqueza média, densidade média e diversidade média da meiofauna. C=chuvoso, S=Seco; C-2015 e S-2015 referem-se aos dados pretéritos da dissertação de Teixeira, 2016; S-2018 refere-se aos dados do PMBA (set/2018). A linha vermelha demarca a época do desastre.....	121
Figura 96: Distribuição de Vanádio (mg/kg) e diversidade da macrofauna bentônica entre as praias no primeiro ano de monitoramento PMBA.	131
Figura 97: Distribuição do Arsênio (mg/kg) e Manganês (mg/kg) e riqueza da nematofauna bentônica entre as praias nos períodos seco (set/2018).	132
Figura 98: Distribuição de Manganês (mg/kg) e diversidade da nematofauna bentônica entre as praias no período seco (set/2018).....	132
Figura 99: Riqueza média da macro, meio e nematofauna nos Compartimentos A, B e C entre as praias no primeiro ano de monitoramento PMBA.	134
Figura 100: Densidade média (ind/10cm ³) da macro, meio e nematofauna nos Compartimentos A, B e C no primeiro ano de monitoramento PMBA.	135
Figura 101: Diversidade (H') média de macro, meio e nematofauna nos Compartimentos A, B e C no primeiro ano de monitoramento PMBA.	135
Figura 102: Distribuição de Mineral Pesado na diversidade média da macrofauna no período seco (set/2018).	137
Figura 103: Distribuição de Cromo (Cr) na riqueza média da macrofauna no período seco (set/2018).	137
Figura 104: Distribuição de Ferro (Fe) na riqueza média (H') da macrofauna no primeiro ano de monitoramento PMBA.	138
Figura 105: Distribuição do teor de lama na densidade média (H') da macrofauna nos períodos seco (set/2018) e chuvoso (dez/2018).	138

Figura 106: Distribuição do teor de lama na diversidade média (H') da meiofauna no período seco (set/2018)139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação das estações amostrais, em UTM Sirgas 2000.	23
Tabela 2: Síntese do regime de ondas durante o período das campanhas, Hs > 1,8 m representa os eventos de maior energia correspondentes a 25% das maiores alturas da série histórica (2008 – 2019).	36
Tabela 3: Táxons dominantes em cada faixa das praias amostradas. SL- supralitoral; MS – mesolitoral superior; MI – mesolitoral inferior; IL – infralitoral.	87
Tabela 4: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	95
Tabela 5: SIMPER entre faixas do Compartimento C. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL - Infralitoral	97
Tabela 6: Abundância relativa dos grupos taxonômicos dominantes em cada faixa das praias. SL- supralitoral; MS – mesolitoral superior; MI – mesolitoral inferior; IL – infralitoral.....	99
Tabela 7: Abundância relativa dos grupos taxonômicos dominantes em cada faixa das praias. SL- supralitoral; MS – mesolitoral superior; MI – mesolitoral inferior; IL – infralitoral.....	110
Tabela 8: Análises de Variância (ANOVA) dos descritores ecológicos da nematofauna em função das praias, faixas, compartimentos morfodinâmicos e períodos sazonais.....	110
Tabela 9: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER da nematofauna no Compartimento A. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	115
Tabela 10: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER da nematofauna no Compartimento A. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	116
Tabela 11: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER da nematofauna no Compartimento A. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.	118

ANEXO 4 – PRAIAS

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS E TEMÁTICAS

Em novembro de 2015, o volume de sedimentos de fundo e em suspensão, oriundos da barragem de Mariana, atingiu a desembocadura do rio Doce e continuou seu caminho mar adentro se deslocando de acordo com a direção das correntes. A alternância das correntes em função dos ventos resultou em um amplo arco de espraiamento, reforçado pelo contínuo aporte de novos materiais. Na zona costeira, especialmente entre a zona de arrebatção e a praia emersa, a bidirecionalidade das correntes litorâneas (*longshore currents*), induzidas pela incidência oblíqua das ondas de direções predominantes leste e sul, levou a um espalhamento dos sedimentos de fundo e em suspensão na zona de surfe e na praia ao longo da costa, a partir da desembocadura (Figura 1).

Figura 1: Contaminantes em suspensão na zona de surfe em Regência.



Fonte: <http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2015/11/surfistas-lamentam-proibicao-de-surf-em-regencia-depois-da-lama.html>. 29/11/2015. Foto: Ricardo Moraes/Reuters/Reuters.

Segundo relatório realizado por Costa et al. (2017), logo após a chegada do rejeito, a lama depositada sobre a plataforma continental adjacente à desembocadura do rio Doce se encontrava enriquecida em Fe, Al, Mn e Cr e, em menor concentração, apresentava Cu, Ni, As e Pb. O enriquecimento de ferro nas praias adjacentes foi também verificado pela empresa Aplysia Soluções Ambientais (Aplysia Soluções Ambientais, 2016). Pereira et al. (2008) ainda destacam que o incremento nos teores dos elementos Fe, Mn, Cu, Cr e Ni pode estar associado aos processos de mineração de ferro e ouro, justificando, assim, os principais metais mapeados no presente estudo.

Altas concentrações destes metais no ambiente praias podem criar impactos na qualidade do sedimento. Consequentemente, alterações podem ser observadas nas comunidades bentônicas na

condição em que estas concentrações alcançam valores superiores aos estipulados para a referência internacional: TEL (*threshold effect level*), valores abaixo dos quais efeitos biológicos adversos não são esperados e PEL (*probable effect level*), valores acima dos quais efeitos biológicos adversos são esperados. Os elementos químicos para os quais não há valores de TEL e PEL, podem ser avaliados ainda quanto ao AET (*apparent effect threshold*). A exemplo do PEL, o AET é obtido empiricamente e define a concentração a partir da qual os elementos químicos exercem um efeito adverso sobre a biota.

Os organismos podem ser afetados pelos contaminantes desde os níveis genéticos e bioquímicos até níveis de comunidades, passando por efeitos celulares, histológicos, fisiológicos, comportamentais, reprodutivos e populacionais (Moraes et al., 2011). Efeitos de contaminantes na macrofauna bentônica geralmente podem ocorrer tanto no nível do indivíduo, causando alterações morfológicas e fisiológicas, letais ou não, quanto da comunidade biológica, sendo que, nesse último caso, as alterações se refletem na mudança da composição específica e abundância da fauna (Campos, 2007; Weber e Montone, 2006). Organismos marinhos tendem a acumular metais em seus tecidos moles em diferentes ordens de magnitude, às vezes acima dos níveis ambientais (Carvalho et al., 2001; Moreno et al., 1997; Ahn et al., 1996; Ahn et al., 2001). A disponibilidade destes elementos para os organismos é influenciada tanto por fatores físico-químicos ambientais (Eh e pH) quanto pelas características fisiológicas e ecológicas do mesmo (Andrade, 1997).

De acordo com estudos sobre contaminantes em ambientes costeiros, a introdução de elementos potencialmente tóxicos em ecossistemas marinhos apresenta efeitos deletérios na comunidade de Nematoda (Nanjkar e Ingloe, 2010; Nair et al. 2003), e a concentração de metais e metaloides, como por exemplo Mn e As, influenciam diretamente na estruturação da nematofauna (Mesquita e Kaisary, 2007). Gyedu-Ababio et al. (1999) indicaram ainda que o Mn apresentou correlação negativa com a diversidade de Nematoda.

Contudo, a capacidade de recuperação de uma praia após o aporte de lamas e rejeitos provenientes do rompimento de uma barragem de mineração, como no caso em questão, depende do seu estado morfodinâmico, se refletivo, intermediário ou dissipativo, isto é, sua mobilidade e sedimentologia que atuam sobre a resiliência da praia e/ou na sua capacidade de adaptação a uma nova condição morfodinâmica.

Praias refletivas se caracterizam por areias grossas, elevada declividade da zona de espraiamento-refluxo da onda, ausência ou reduzida largura da zona de surfe e elevada permeabilidade. Esta característica se traduz em reduzida variabilidade do perfil praiial, elevada velocidade do refluxo da onda com capacidade de carrear de volta ao mar partículas de sedimentos mais finos (Short and Wright, 1984). Tem-se ainda boa oxigenação e renovação da água intersticial com remoção de contaminantes e prováveis metais, criando um ambiente favorável à meio fauna que, constituindo a base da cadeia alimentar, habita os interstícios e superfície dos grãos de areia.

Praias dissipativas se encontram no outro extremo dos estágios praiiais. São caracterizadas por areias finas a muito finas, baixíssima declividade da face praiial, refluxo da onda incompleto proporcionando

uma saturação permanente de parte da face da praia, larga zona de surfe e elevada estabilidade morfodinâmica. Existe, portanto, uma tendência de maior retenção de contaminantes neste ambiente praias.

As praias intermediárias são frequentemente compostas por areias médias e apresentam um ou mais bancos paralelos ou oblíquos à praia, que ora se juntam ora se desprendem da praia gerando vários sub estágios e, portanto, uma elevada variabilidade do perfil praias. Esta mobilidade do perfil, por sua vez, pode levar ao soterramento de contaminantes e sua manutenção no pacote sedimentar da praia.

Para melhor entender os processos morfodinâmicos praias é necessário levar em conta que esse ambiente não se limita à praia exposta/emersa, mas inclui o prisma sedimentar submerso de transição entre a zona emersa e a plataforma continental interna. Este se caracteriza por um perfil que do fundo marinho se eleva exponencialmente em direção à costa com aumento da capacidade de mobilização dos sedimentos. A mobilização expressa em variações mensuráveis da profundidade configura a base do prisma praias, que na sua porção submersa forma a chamada antepraia (Swift, 1976, Cowell et al. 1999, Short, 1999). O limite do início desta mobilização se situa, em praias expostas de alta energia, frequentemente em torno dos 10 metros de profundidade. Este limite depende da altura e período das ondas, ou seja, do clima de ondas, e se expressa frequentemente por uma mudança notável na inflexão do perfil batimétrico. Praia e antepraia formam, portanto, uma unidade, na qual a troca de sedimentos de fundo e em suspensão ocorrem de modo contínuo. Neste sentido, sedimentos de fundo e em suspensão são levados para a praia emersa por meio do espraiamento e refluxo da onda na face da praia (*swash climate*), enquanto que sedimentos da praia emersa para a antepraia são transportados por meio de movimentos oscilatórios, correntes longitudinais (*longshore current*) e de retorno (*rip currents*). Estas últimas funcionam como correias de transporte de sedimentos e contaminantes da praia para a zona submarina.

No que diz respeito ao espraiamento máximo das ondas, o alcance vertical, horizontal e a extensão de inundação da praia devem ser considerados na dispersão potencial dos contaminantes do rejeito e na ecologia da fauna bentônica, bem como no potencial alcance nos ecossistemas de restingas e dunas.

Uma vez que a onda incide sobre a praia, esta espraia sobre a face até dissipar toda a sua energia, e então a água retorna para o nível relativo do mar por percolação ou deslizando sobre a face praias novamente. Este processo de subida e descida é chamado de espraiamento da onda e sua altura máxima, medida verticalmente em relação à maré prevista, é chamada de *run-up* máximo (Sorensen, 1997).

A morfologia da praia, principalmente a altura da berma, influencia na capacidade deste ambiente em responder ao *run-up*, impedindo a transposição da onda sobre a praia e, conseqüentemente, sua total inundação em eventos de *run-ups* máximos. Concomitantemente, em função do gradiente da face da praia, o espraiamento pode percorrer toda a extensão da praia emersa e alcançar os ecossistemas adjacentes como restingas e dunas.

A tipologia da praia e, principalmente, a granulometria das areias da praia atuam sobre a diversidade e densidade da fauna bentônica (McLachlan e Brown, 2006; McLachlan e Dorvlo, 2005; McLachlan, 1990; McLachlan *et al.*, 1981). Funções como escavar e se locomover são influenciadas pelo tamanho do grão, o que interfere na densidade e na distribuição espacial destes organismos (Brown e McLachlan, 1990).

Em ambientes de alta energia, que exibem maior declividade e apresentam sedimentos compostos predominantemente por areia grossa, a sobrevivência dos organismos é comprometida pela ausência de proteções corporais e a impossibilidade de manter galerias e tubos fixos em função da menor estabilidade destes substratos (Brown e McLachlan, 1990). Hacking (1998) reportou que praias com grãos mais grossos carecem de pequenos poliquetas e anfípodos. O tamanho do sedimento e a força da corrente de água na zona de lavagem provavelmente não permitem a persistência desses animais de corpo frágil.

Diversos trabalhos confirmam a tendência da riqueza de espécies de macroinvertebrados de praias arenosas diminuir ao longo de um gradiente morfodinâmico, indo de dissipativas a refletivas (Defeo *et al.*, 1992, Jaramillo e McLachlan 1993, Brazeiro, 1999). McLachlan *et al.* (2013) em busca de padrões globais sobre a macrofauna de praias arenosas, também registraram menores valores de riqueza com o aumento exponencial do tamanho das partículas sedimentares.

Não só a riqueza, como também a densidade e a biomassa das espécies são os atributos das comunidades macrobênticas de praia arenosa que têm sido mais utilizados em estudos comparativos em macroescala. McLachlan *et al.* (1981) demonstraram que a comunidade aumenta em riqueza, densidade e abundância total de praias íngremes de areia grossa em direção a praias mais planas de areia mais fina. Essa tendência foi confirmada em trabalhos subsequentes, em uma ampla gama de tipos de praias e áreas geográficas, e relacionada ao tipo morfodinâmico de praia; demonstrado que as praias dissipativas de macromarés suportavam comunidades de maior riqueza, abundância e biomassa do que praias refletivas de micromarés (McLachlan, 1990; McLachlan, *et al.*, 1996; McLachlan *et al.*, 1993).

Quanto à meiofauna bentônica, estudos sugerem que a distribuição seja oposta à da macrofauna (Rodríguez *et al.*, 2003). Gheskiere *et al.* (2005) sugerem que a diversidade desse grupo geralmente é maior em praias intermediárias de areias médias, devido ao equilíbrio entre a entrada de matéria orgânica e a oxigenação. Assim como a macrofauna, a meiofauna bentônica apresenta reduzida mobilidade ou imobilidade em alguns grupos, não sendo capaz de deixar o local que habitam quando as condições ambientais são alteradas e quando apresentam ciclo de vida curto. Entretanto, em praias refletivas, onde a macrofauna é praticamente ausente, a meiofauna está presente (Giere, 2009).

Eventos como a chegada dos rejeitos de minério de ferro na praia podem modificar o habitat dos organismos bentônicos, provocando alteração da estrutura da comunidade, por meio da redução do número de espécies e aumento de organismos oportunistas, reduzindo assim a diversidade de táxons (Ellis e Hoover, 1990).

Gomes *et al.* (2017) observaram uma redução na densidade e diversidade de organismos, assim como a modificação da estrutura trófica para o estuário do rio Doce após o desastre. O mesmo padrão foi observado por Castilla (1983) no Chile, onde rejeitos de cobre, sem tratamento, foram despejados através do rio Salado diretamente no mar da praia da Baía de Chañaral, onde o monitoramento da fauna de praias arenosas demonstrou uma diminuição progressiva da densidade e da biomassa nas comunidades macrobentônicas afetadas pelos rejeitos.

Por fatos como esses, os organismos bentônicos são amplamente utilizados como indicadores ambientais visto que respondem de forma previsível a distúrbios naturais e antropogênicos (Amaral *et al.*, 1998; Van Loon *et al.*, 2015). Partindo deste pressuposto, o uso desses organismos se torna uma ferramenta fundamental para o diagnóstico e monitoramento ambiental.

Do ponto de vista da composição química das praias atingidas pelo rejeito e da possível contaminação do ambiente praial e da fauna associada é importante realizar uma avaliação da fração mássica (concentração) “total” de cada elemento químico presente nas diferentes unidades que compõem o sistema praial. Embora a concentração total dos elementos químicos incorporados ao sedimento não seja rapidamente disponibilizada ao ambiente aquático, mudanças nas condições físico-químicas nesses ambientes, pH, temperatura, salinidade, potencial redox e matéria orgânica podem permitir que esses elementos sejam disponibilizados. Dessa forma, a fração “total” dos elementos químicos reflete a qualidade do ambiente e os potenciais impactos a ele causado, uma vez que os elementos podem entrar na cadeia trófica e alterar a densidade e riqueza da fauna bentônica e, ainda por um processo de biomagnificação, pode chegar ao ser humano através da alimentação (Sharifuzzaman *et al.*, 2016).

Desta forma, considerando que os processos costeiros e morfodinâmicos atuam sobre a mobilização e/ou permanência dos rejeitos, mapeados pelas análises geoquímicas, que, por sua vez, afetam as condições de balneabilidade das praias e impactam os organismos vivos, particularmente a comunidade bentônica, os estudos físicos, químicos e biológicos do Anexo 4 buscam obter respostas para as seguintes questões:

Qual o alcance máximo dos contaminantes ao longo da costa?

O mapeamento de parâmetros sedimentológicos e geoquímicos, buscando as possíveis assinaturas do aporte fluvial e/ou de rejeitos da lama são analisados e discutidos como indicadores de impactos, assim como sua extensão ao longo da costa.

Quais os processos morfodinâmicos envolvidos na distribuição dos contaminantes?

Informações sobre o regime de ondas e correntes, além da inclusão de informações sobre a geomorfologia e morfodinâmica praial, são necessárias para a interpretação da caracterização sedimentológica, da distribuição de elementos químicos nos sedimentos e da abundância e riqueza da comunidade bentônica.

Existe a possibilidade de os contaminantes atingirem a berma alta da praia e a costa e, em caso afirmativo, em que condições de energia de onda?

Estimativas de espriamentos máximos em diferentes condições oceanográficas, associadas aos resultados das análises geoquímicas permitem avaliar se os processos atuantes na praia conduziram os rejeitos para região de Restinga (Anexo 5) ou mesmo se toda a faixa arenosa pode ser contaminada, prejudicando outros organismos, como as tartarugas marinhas (Anexo 7).

Qual a resiliência do sistema praia-antepraia para neutralizar a ação dos contaminantes ao longo do tempo nos sedimentos e na fauna bentônica?

A praia é um ambiente extremamente dinâmico, onde os processos morfo-sedimentares induzem a sua mobilidade. A mobilidade das praias monitoradas pode ter favorecido a remoção e transporte dos sedimentos, alterando as concentrações dos metais, possivelmente incrementadas após o acidente. Ainda, a comunidade bentônica pode apresentar anomalias quando comparadas aos dados pretéritos e/ou embasados pelo que é consenso na bibliografia.

1.2 ÁREA DE ESTUDO

O recorte geográfico dos perfis praias proposto para este monitoramento abrange dois setores morfodinâmicos distintos, conforme proposto por Albino et al. (2016): a costa de falésias e terraços de abrasão (S1, S2 e S3) e a planície arenosa do rio Doce (S4 a N5).

Nas praias associadas aos terraços de abrasão a atenuação das ondas ao longo da antepraia reduz a quantidade total de energia que chega à face da praia, favorecendo a formação de perfis praias com maiores inclinações (Muñoz-Pérez et al., 1999). Simultaneamente, os terraços de abrasão limitam o espaço de acomodação da praia, o que promove a acumulação vertical dos sedimentos junto à costa e a formação de perfis altos e estreitos (Albino et al., 2016).

Em relação ao estado morfodinâmico, essas praias apresentam características intermediárias a refletivas, na preamar, e dissipativas, na baixa-mar (Albino et al., 2016), semelhante ao estado morfodinâmico intermediário do tipo terraço de baixa-mar, proposto por Wright & Short (1984). Neste sentido, há o predomínio de arrebentação do tipo ascendente na face praias e mergulhante na antepraia inferior, durante a preamar, e deslizante ao longo dos terraços de abrasão, durante a baixa-mar (Albino et al., 2016). Características completamente dissipativas são encontradas em praias expostas com menores gradientes e compostas por sedimentos mais finos (Albino et al., 2016).

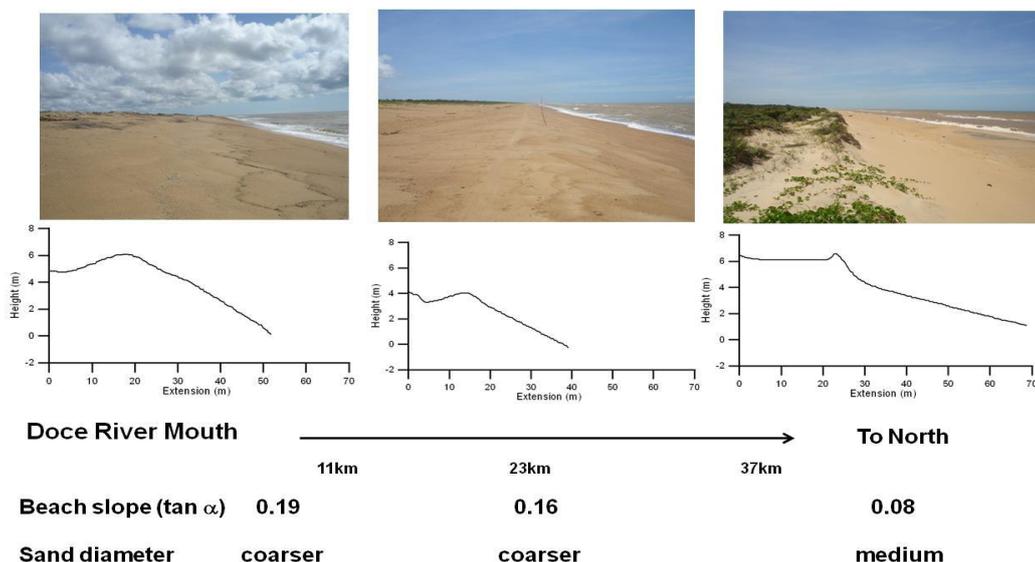
Os processos de transformação das ondas pelos terraços de abrasão ainda inibem o transporte longitudinal de sedimento nestas praias, cuja variação topográfica é controlada principalmente pelas trocas transversais entre a praia emersa e a submersa (Albino, 1999; Albino et al., 2016). A atenuação das ondas, por sua vez, limita a amplitude e a variação das alturas das ondas que chegam à praia e, conseqüentemente, reduzem a variação topográfica dos perfis praias em resposta às variações hidrodinâmicas (Ogawa et al., 2015, Albino et al., 2016).

Durante eventos de moderada à alta energia, a impermeabilidade dos terraços de abrasão reduz parte da infiltração do espraiamento, o que torna a praia mais propensa ao empilhamento das ondas junto à costa e ao transporte transversal em direção à antepraia (Jackson & Cooper, 2009). Além disso, a disposição irregular dos terraços de abrasão pode proporcionar a convergência das ortogonais de ondas, promovendo o aumento da energia praiar e a erosão de feições à retroterra da praia (Albino et al., 2001; 2006).

Ao longo da evolução do compartimento correspondente à planície deltaica do rio Doce há evidências morfoestratigráficas que destacam a atuação da deriva litorânea de sedimentos, a carga e descarga fluvial e as variações do nível do mar (Dominguez et al., 1981; Dominguez et al., 1983; Martin et al., 1993; Martin et al., 1996). Reconstituições paleográficas das cristas de praia durante a progradação holocênica sugerem discordâncias dos alinhamentos, decorrentes de episódios de inversões no sentido da deriva litorânea. As alternâncias na direção das ondas incidentes e, portanto, no sentido da deriva litorânea, ao longo da costa durante a evolução do rio Doce e nas últimas décadas foi corroborada pela modelagem numérica realizada por Bittencourt et al. (2007) e Oliveira et al. (2015). Como resultado da frequência direcional de ondas mais intensas de sul e de outros ajustes morfodinâmicos, o sentido preferencial da deriva é de sul para norte.

De maneira geral, as praias da planície deltaica do rio Doce apresentam tipologias intermediárias e refletivas, com declividade moderada e areias grossas e médias. A alta mobilidade sazonal dos perfis praias nas proximidades da desembocadura é reflexo desta tipologia praiar. A presença de bancos dissipativos próximos à foz do rio provavelmente deve-se à incorporação de areias fluviais finas que reduzem o gradiente da antepraia. As praias de Barra do Riacho e Comboios, por sua vez, apresentam areias mais grossas, alta inclinação, sem presença de bancos. Em direção ao norte, devido à atuação da deriva litorânea no transporte de sedimentos, praias intermediárias são observadas com gradientes da face menores (Figura 2).

Figura 2: Inclinação média e diâmetro médio na porção norte da desembocadura do rio Doce, de Urussuquara a Guriri.



Fonte: Albino et al., 2016.

Praias dissipativas ocupam a porção mais setentrional da planície do rio Doce e favorecem a formação de dunas. Como há abundante abastecimento de sedimentos e o vento leste é persistente e forte o suficiente para transportar a areia disponível, é possível encontrar dunas frontais ao longo desta seção, a maior atingindo 30 m de altura na aldeia turística de Itaúnas (próximo ao rio São Mateus) (Albino et al., 2016).

Resultados obtidos ao longo do PMBA permitiram subdividir o setor da planície deltaica do rio Doce proposto por Albino et al. (2016) em dois compartimentos. O primeiro compartimento abrange as estações situadas na planície sul e a primeira estação ao norte (S4, S5, S6 e N1), em função da proximidade da desembocadura e de suas particularidades morfológicas e sedimentológicas. No segundo compartimento, há deposição de sedimentos mais finos e lama, provenientes do rio Doce e transportados pela deriva litorânea, os quais são responsáveis pela morfologia mais aplainada dos perfis e alto potencial de transposição das ondas.

Desta forma, todos os resultados analisados serão apresentados agrupados em três compartimentos:

- Compartimento A: compreende as praias associadas aos terraços de abrasão (S1, S2 e S3);
- Compartimento B: compreende as praias ao sul da planície do rio Doce incluindo a praia de Povoação ao norte (S4, S5, S6 e N1);
- Compartimento C: compreende as praias ao norte da planície deltaica do rio Doce (N2, N3, N4 e N5).

2 METODOLOGIA

2.1 ESTAÇÕES AMOSTRAIS E SAZONALIDADE DAS COLETAS

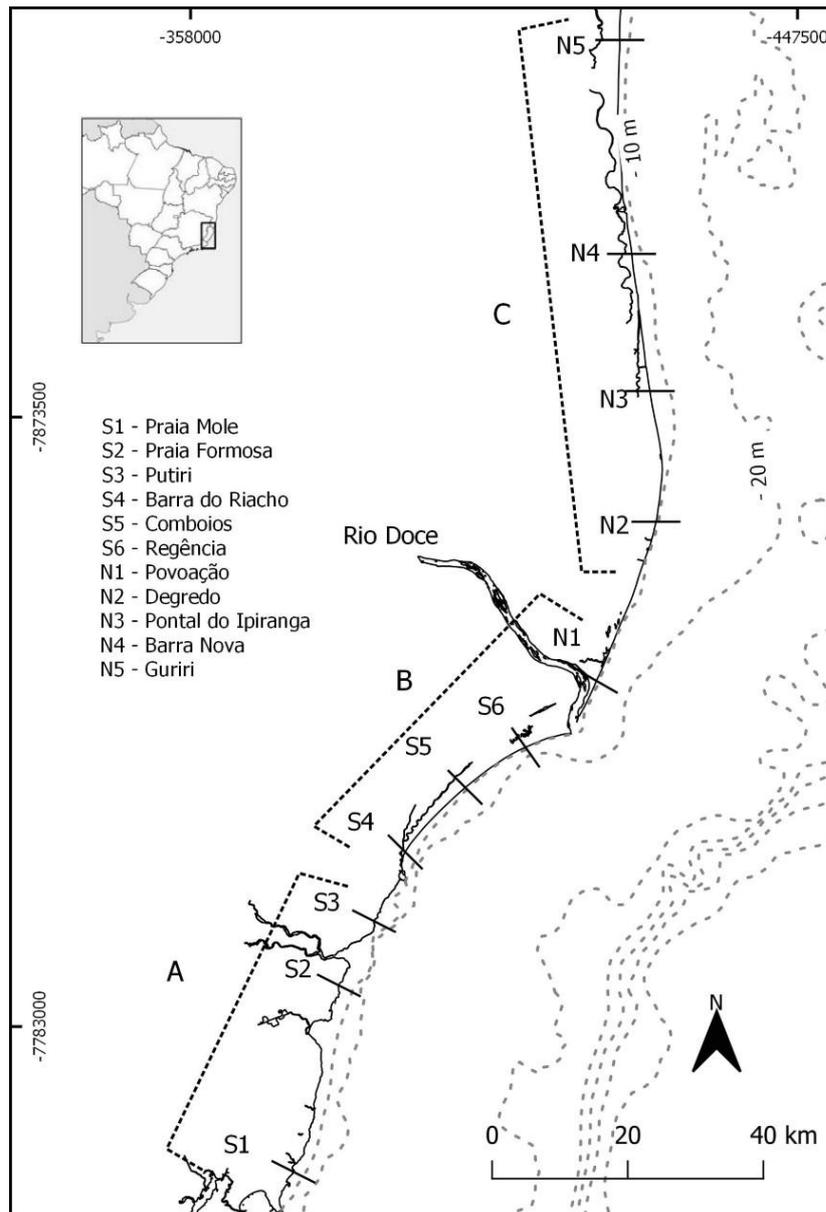
A Tabela 1 e a Figura 3 apresentam a localização das 11 estações amostrais determinadas para o monitoramento dos sistemas praias adjacentes à desembocadura do rio Doce. Vale destacar que a estação S1 Praia Mole foi incorporada ao monitoramento somente a partir da segunda campanha amostral.

Tabela 1: Relação das estações amostrais, em UTM Sirgas 2000.

Nome da estação	Código da estação amostral	Northing	Easting
Praia Mole	S1	7761497	373218
Praia Formosa	S2	7790273	380535
Praia de Putiri	S3	7798482	385021
Barra do Riacho	S4	7808956	389631
Comboios	S5	7818548	398483
Regência	S6	7824486	407365
Povoação	N1	7834368	417848

Nome da estação	Código da estação amostral	Northing	Easting
Degredo	N2	7857326	426483
Pontal do Ipiranga	N3	7879287	425449
Barra Nova	N4	7898014	423038
Guriri	N5	7929487	421281

Figura 3: Localização das estações amostrais. A Estação S1 Praia Mole foi incluída no monitoramento a partir da campanha de dezembro de 2018.



O levantamento de dados em campo para as análises morfodinâmicas, geoquímicas e biológicas, isto é, estudos sobre as comunidades bentônicas, foi concluído com sucesso, conforme o planejado. Foram

realizadas quatro campanhas para as análises morfodinâmicas e geoquímicas (setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019) e duas campanhas, nas estações seca e chuvosa, para as análises bentônicas (setembro e dezembro de 2018). Ademais, em agosto de 2019, foi realizada a coleta de dois testemunhos nas estações amostrais de Regência e Povoação. A escolha destas estações ocorreu em função de sua proximidade com a foz do rio Doce, caracterizada, por sua vez, como região de maior impacto.

Em campo foi realizado o levantamento topobatimétrico dos perfis praiais, coleta de sedimentos para as análises geoquímicas, composicionais e físicas e, coleta de sedimentos para a triagem e descrição das comunidades bentônicas. Após as coletas de campo, os dados foram processados e analisados nos diferentes laboratórios temáticos.

2.2 MORFODINÂMICA PRAIAL

2.2.1 Clima de ondas

Informações sobre os parâmetros de ondas para períodos de média e curta duração foram obtidas por modelagem numérica através do modelo Wavewatch III (WW3). Os resultados são disponibilizados livremente mediante solicitação, para uma malha regional com resolução de 15 km, pelo portal de previsões Surf guru (disponível em www.surfguru.com.br). O portal Surf guru realiza a modelagem a partir de dados de vento de superfície, gerados pelo modelo atmosférico *Global Forecasting System* (GFS) e disponibilizados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), dados de ondas gerados pela versão 4 do modelo WW3 e dados batimétricos do modelo *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO). Posteriormente os dados de onda foram reanalisados e validados por fundeios locais (Anexo 3 - Marinho), para serem integrados às análises da morfodinâmica praiial.

2.2.2 Topobatimetria

Os perfis topobatimétricos foram levantados nas onze estações amostrais, a partir de um referencial fixo materializado por um pilar de concreto instalado além do limite da praia emersa e se estenderam em direção à praia submersa até a profundidade de fechamento (equivalente a aproximadamente 10 m).

O levantamento no trecho emerso do perfil praiial foi realizado por meio de posicionamento espacial e altimétrico utilizando um GNSS com função RTK, que faz correções em tempo real entre o receptor fixo na base e o receptor móvel (*rover*). Durante o levantamento topográfico o receptor móvel acoplado a um bastão com altura fixa foi posicionado ao longo das diferentes feições do perfil praiial para a determinação de sua posição e altitude.

O levantamento do perfil praiial submerso foi realizado por meio de uma embarcação dotada de posicionamento por GNSS/GPS, empregando ecobatimetria monofeixe com frequências de operação de 210khz/33Khz (dupla frequência). Para a coleta dos dados batimétricos foi utilizada a ferramenta *Hypack Survey* do programa Hypack. A ferramenta auxilia na navegação sobre o perfil planejado e integra os dados de posição fornecidos pelo GNSS/GPS ao valor de profundidade registrado pelo ecobatímetro. Os dados brutos foram salvos na memória do computador portátil para posterior processamento.

Em campo foram coletados dados morfodinâmicos e meteoceanográficos, tais como, altura e período das ondas, sentido da corrente longitudinal, regime e alcance do espraiamento e tipo de onda na arrebenção.

2.2.3 Sedimentologia

Ao longo do perfil praiial emerso foram coletadas amostras de sedimento na berma e na face da praia (superior e inferior). Na face foram coletados apenas sedimentos superficiais através de raspagem, enquanto que na berma foram coletados sedimentos superficiais e subsuperficiais (trincheiras). Ao longo do perfil praiial submerso (antepraia) foram coletadas amostras superficiais na antepraia rasa e nas profundidades de 5 e 10 m e amostras subsuperficiais (testemunho) na antepraia adjacente à desembocadura do rio Doce, a aproximadamente 10 m de profundidade. As amostras superficiais em profundidade foram coletadas com auxílio de embarcação e amostrador de fundo do tipo Van Veen. As amostras subsuperficiais, por sua vez, foram coletadas com auxílio de embarcação e mergulhador por meio de um testemunhador a percussão.

Os sedimentos coletados foram acondicionados em potes plásticos devidamente identificados e, então, encaminhados para as análises sedimentológicas. Os testemunhos, por sua vez, foram armazenados em freezers a -20°C até o momento de separação das alíquotas para as análises. O fatiamento dos testemunhos foi realizado após sua abertura e descrição. Neste sentido, foram separadas alíquotas de 1 em 1 cm até 20 cm de profundidade, de 5 em 5 cm até 50 cm de profundidade e de 10 em 10 cm a partir de 50 cm de profundidade.

As análises sedimentológicas incluíram análises texturais (granulometria e grau de arredondamento) e composicionais (carbonatos, silicatos, minerais pesados e matéria orgânica).

A determinação da granulometria do sedimento arenoso foi realizada por meio de peneiramento a seco. A partir do peso das frações peneiradas os parâmetros estatísticos propostos por Folk & Ward (1957) foram calculados por meio do programa GRADISTAT (Blott & Pye, 2001). Para as amostras com maior percentual de lama foi realizada a separação entre as frações areia e lama, por meio de peneiramento via úmida. A granulometria da fração lamosa foi então determinada por meio de granulômetro a laser (Malvern).

O grau de arredondamento dos grãos de quartzo foi analisado para as frações granulométricas de 1,5 e 2,0 phi. Esta análise foi realizada através de observação em lupa binocular, segundo o método de Ligus (1958). Neste método, 100 grãos de quartzo são observados quanto ao grau de arredondamento e classificados de acordo com as classes muito angulosa, angulosa, sub-angulosa, sub-arredondada, arredondada e bem arredondada (Pettjonh, 1957).

Quanto à composição, a determinação do teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) foi realizada a partir de sua queima com ácido clorídrico (HCl). As amostras que apresentam teor superior a 30% foram analisadas quanto à composição deste material. A identificação da natureza bioclástica dos sedimentos foi realizada por meio de observação em lupa binocular de 200 grãos carbonáticos em cada fração resultante do peneiramento (Hubert, 1962).

A determinação do teor de minerais pesados foi realizada para as amostras arenosas pelo método gravitacional utilizando como líquido de separação o bromofórmio. A identificação dos minerais pesados foi realizada para as amostras da face praial inferior por meio de observação em lupa binocular. Neste sentido, foram observados 300 grãos de minerais pesados em cada fração resultante do peneiramento a seco da amostra obtida após a separação densimétrica (GaleHouse, 1971).

O teor de matéria orgânica total foi quantificado para as amostras lamosas por meio de sua queima em forno mufla a 450°C durante 4 horas. A partir da diferença entre o peso inicial e o peso final da amostra foi determinado o teor de matéria orgânica total.

2.3 GEOQUÍMICA

2.3.1 Coleta e preparo das amostras

A coleta de sedimento para análise geoquímica foi realizada concomitantemente à amostragem para as análises morfodinâmicas. Neste sentido, na praia emersa, foram coletadas amostras de sedimento na berma (B), face superior (FS) e face inferior (FI). Na porção submersa da praia (antepraia), as amostras foram coletadas na antepraia rasa (AR) e nas isóbatas 5 m (I5) e 10 m (I10). Ademais, foram coletados dois testemunhos nas estações amostrais de Regência e Povoação, na profundidade de 10 m.

Um coletor de plástico (colher de polipropileno) foi utilizado na coleta dos sedimentos. As amostras foram colocadas em sacos plásticos (tipo Ziplock) identificados e mantidas sob refrigeração, em caixa térmica com gelo, para a preservação até o laboratório. No laboratório as amostras de sedimento foram armazenadas em freezer a -22°C observando os prazos de validade para as análises (6 meses a partir do momento da coleta) (Cetesb, 2011)

Durante a etapa de coleta das amostras de sedimento é crucial minimizar os riscos de contaminação (Cetesb, 2011). Desta forma, para a amostragem nas isóbatas de 5 e 10 m, tomou-se o cuidado de não coletar o sedimento que entrou em contato com a parte interna do amostrador de fundo Van Veen. Foi

realizada ainda uma lavagem abundante do amostrador com água do próprio ponto de coleta evitando assim a contaminação cruzada entre as amostras coletadas nas diferentes estações amostrais.

A coleta dos testemunhos foi realizada utilizando testemunhadores específicos com tubo interno de PVC. Após a coleta, os testemunhos foram armazenados em freezers a -20°C até o momento do fracionamento. A abertura e fatiamento dos testemunhos foi realizada em ambiente livre de potenciais fontes de contaminação utilizando facas e colheres de plástico. A princípio foram retiradas fatias de 1 em 1 cm até a profundidade de 20 cm. A partir desse ponto, foram retiradas fatias a cada 5 cm até a profundidade de 50 cm e a cada 10 cm, a partir da profundidade de 50 cm.

Para o início das análises, as amostras de sedimento foram submetidas à secagem (60°C) em estufa até peso constante (aproximadamente 72 horas). Após resfriamento em dessecador, as amostras de sedimento foram peneiradas para obter a fração $< 1\text{mm}$ utilizando peneiras de nylon (10 mesh). Nessa fração, foi realizado o quarteamento da amostra para obtenção de uma fração representativa; as amostras quarteadas foram acondicionadas em sacos de plástico, previamente identificados.

2.3.2 Extração da fração biodisponível

Para obtenção da fração biodisponível dos elementos de interesse foi utilizada uma adaptação da norma ASTM D3974-09 (ASTM, 2015). Esse método baseia-se na extração ácida das amostras de sedimento com HCl 5% (v/v) obtendo-se a fração lixiviável (biodisponível). Aproximadamente 5g da amostra do sedimento fino (\emptyset partículas $< 1\text{mm}$), em peso seco, foi pesada em Erlenmeyer seguindo-se a adição de 30 mL de uma solução de HCl 5% (v/v) e agitação mecânica por 16h (overnight) à temperatura ambiente. Após esse período as amostras foram filtradas em papel de filtro quantitativo e avolumadas para 50 mL com água ultrapura.

2.3.3 Decomposição pseudo total

Para a decomposição pseudo total das amostras de sedimento foi utilizado o método normalizado U.S EPA 3051A. Uma massa de aproximadamente 250 mg da amostra de sedimento fino (\emptyset partículas $< 1\text{mm}$) e seco, foi pesada em frascos de Teflon próprios para o uso no forno micro-ondas seguindo-se a adição de 10 mL de HNO_3 concentrado destilado. As amostras foram deixadas em repouso por aproximadamente 15 minutos à temperatura ambiente dentro da capela para uma pré-decomposição. Ao final desse período, as amostras foram submetidas ao aquecimento assistido por radiação micro-ondas utilizando um programa de temperatura que consiste em aquecimento por $5,5 \pm 0,25$ min até atingir a temperatura de $175 \pm 5^{\circ}\text{C}$, com permanência nessa temperatura por 4,5 min. Em seguida, os frascos foram deixados por 30 min à temperatura ambiente para resfriamento para abertura dos tubos. As soluções obtidas foram filtradas para um tubo de polipropileno e o volume foi aferido para 25 mL (U.S. EPA 2007) com água ultrapura de resistividade $18\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$.

2.3.4 Determinação de elementos traço nas frações biodisponível e pseudo total

A determinação dos elementos traço (Al, As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V e Zn) nas soluções obtidas após as extrações foi realizada por diferentes técnicas analíticas dependendo da concentração dos analitos nas amostras de sedimento e da capacidade de detecção das técnicas. Tendo em vista as características de desempenho analítico da espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) ela foi utilizada para determinação dos elementos em níveis traço, enquanto para os elementos minoritários e majoritários a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) e a espectrometria de absorção atômica (AAS) foram empregadas. A determinação de mercúrio foi realizada diretamente nas amostras de sedimento fino (\emptyset partículas < 1mm) e seco utilizando o analisador direto de mercúrio (DMA-80).

2.4 BENTOS

As coletas foram realizadas em onze estações amostrais nas diferentes faixas de praia: antepraia (infralitoral), face praia (mesolitoral) e berma (supralitoral), sempre em maré baixa de sizígia. Em cada estação, foram realizados três transectos perpendiculares à linha d'água, com cerca de 50 m de distância, onde foram coletadas amostras nos quatro níveis: supralitoral, mesolitoral superior, mesolitoral inferior e infralitoral. Em cada um dos níveis de cada transecto foi coletada uma amostra de macrofauna e uma amostra de meiofauna, totalizando 12 amostras de cada componente bentônico por estação amostral.

Todas as amostras de sedimento para as análises da fauna bentônica (meio e macrofauna), foram encaminhadas ao Laboratório de Ecossistemas Marinhos, do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Representantes dos grupos de organismos foram enviados aos especialistas colaboradores em diferentes universidades do país para identificação visando uma análise mais precisa da diversidade dos táxons da fauna bentônica das praias e registros de ocorrência, como: Polychaeta macrofaunais (Karla Paresque – UFAL), Polychaeta intersticiais (Maikon Di Domenico – UFPR), Oligochaeta (Alessandro Prantoni – UFBA), Amphipoda, Isopoda e Tanaidacea (Jesser Fidelis – UFPE), Echinodermata (Michela Borges – UNICAMP), Insecta (Tathiana Guerra – UFES).

2.4.1 Macrofauna

As amostras foram tomadas com coletores cilíndricos de 15 cm de diâmetro e enterrados a 20 cm de profundidade. Todas as amostras da macrofauna foram lavadas em água do mar no próprio campo,

em malha de 0,5 mm de abertura. Após serem lavadas, foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, fixadas em álcool 96% e colocados em caixas para o transporte.

Em laboratório, a macrofauna foi triada manualmente e os organismos encontrados foram identificados sob microscópio estereoscópico e óptico, com auxílio de bibliografia especializada.

2.4.2 Meiofauna

Para a meiofauna, as amostras de sedimento foram retiradas com coletores cilíndricos de 2 cm de diâmetro e 10 cm de profundidade. O material foi diretamente acondicionado em frascos plásticos etiquetados, fixado em solução de formalina a 10% e corado com rosa de bengala para melhor visualização dos organismos no momento da triagem.

A meiofauna foi extraída do sedimento por elutriação em água, sendo o sobrenadante passado em peneira com malha de 0,5 e 0,063 mm de abertura. O material retido na menor abertura de malha foi triado manualmente. Posteriormente, o material foi colocado em placas de Dollfus e observado em microscópio estereoscópio para identificação e quantificação em grandes grupos.

2.4.3 Nematofauna

Para o estudo taxonômico de Nematoda, foram retirados 100 organismos de cada amostra. Para a montagem das lâminas de nematofauna, primeiramente foi efetuada a diafanização dos organismos através da técnica descrita por Grisse (1969). Após essa etapa, dez indivíduos foram destinados à montagem de cada lâmina permanente e todos foram identificados em microscópios ópticos.

2.4.4 Coleção

Os indivíduos identificados (macro, meio e nematofauna) foram registrados na Coleção Zoológica Norte Capixaba (CZNC) na divisão de bentos. Organismos da macrofauna foram colocados em frascos de vidro, fixados em álcool 96%, registrados, numerados e etiquetados. Os representantes da meiofauna foram condicionados em frascos de vidro ou eppendorfs, fixados em formol ou álcool 96%, registrados, numerados e etiquetados. Apenas os representantes do filo Nematoda foram acondicionados em lâminas permanentes para manutenção na coleção, conforme a metodologia supracitada.

2.4.5 Análise dos dados

Para as análises estatísticas referentes às variações da fauna bentônica amostrada nas quatro faixas, onze estações amostrais, três compartimentos e dois períodos (seco e chuvoso), foram estimados os

seguintes parâmetros biológicos da fauna: densidade total (inds/m² para macrofauna e inds/10 cm² para meiofauna e nematofauna), riqueza taxonômica (número de táxons), diversidade de Shannon-Wiener ($H' \log_2$) e densidade dos organismos mais abundantes de cada componente.

Para testar a significância dos parâmetros biológicos foram aplicadas análises de variância (ANOVA) através de modelos lineares generalizados (GLMs), usando-se as distribuições de erros adequadas em cada caso. Os dados de densidade foram logaritmizados e a partir dessa transformação os modelos foram construídos com distribuição de erros gaussianas (normal). Para os demais parâmetros da diversidade (abundância e riqueza) foram construídos modelos com distribuição de Poisson, recomendada para dados de contagem, e corrigido sub ou sobredispersões (Warton, 2016) quando essas ocorriam. Todos os modelos foram construídos, bem como todos os testes estatísticos foram realizados na plataforma R (R Development Core Team 2018). Todas as análises foram submetidas à análise de resíduos para verificação das distribuições de erro utilizadas, adequação dos modelos e retirada de possíveis 'outliers'.

Para as estatísticas multivariadas foram utilizadas análises de ordenação (MDS), de similaridade (ANOSIM) e de classificação (SIMPER) como proposto por Clarke & Ainsworth (1993), Clarke & Warwick (1994) e Anderson et al. (2008). Para a realização das análises multivariadas foi utilizado o pacote PRIMER 7.

2.5 ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

A partir da análise integrada dos dados morfológicos, sedimentológicos, geoquímicos e bentônicos pôde ser realizado o diagnóstico de contaminação dos sistemas de praias adjacentes à desembocadura do rio Doce e a avaliação da resiliência desses sistemas para neutralizar a ação dos contaminantes ao longo do tempo nos sedimentos e na fauna bentônica.

Ainda, de posse dos dados referentes aos atributos físico-químicos do ambiente, como a granulometria e as concentrações de químicos/metais, foram realizados testes estatísticos para verificar como os parâmetros ecológicos dos invertebrados bentônicos respondiam às concentrações de tais elementos nas distintas faixas, compartimentos e períodos. Para esses testes foram realizadas análises de covariância (ANCOVA), adequada quando existem variáveis "x" tanto categóricas quanto contínuas nos modelos.

Mais uma vez, para todas as análises relativas aos parâmetros numéricos das comunidades, foram construídos modelos lineares generalizados (GLMs), usando-se as distribuições de erros adequadas em cada caso, como descrito no item de análise de dados de bentos.

3 RESULTADOS

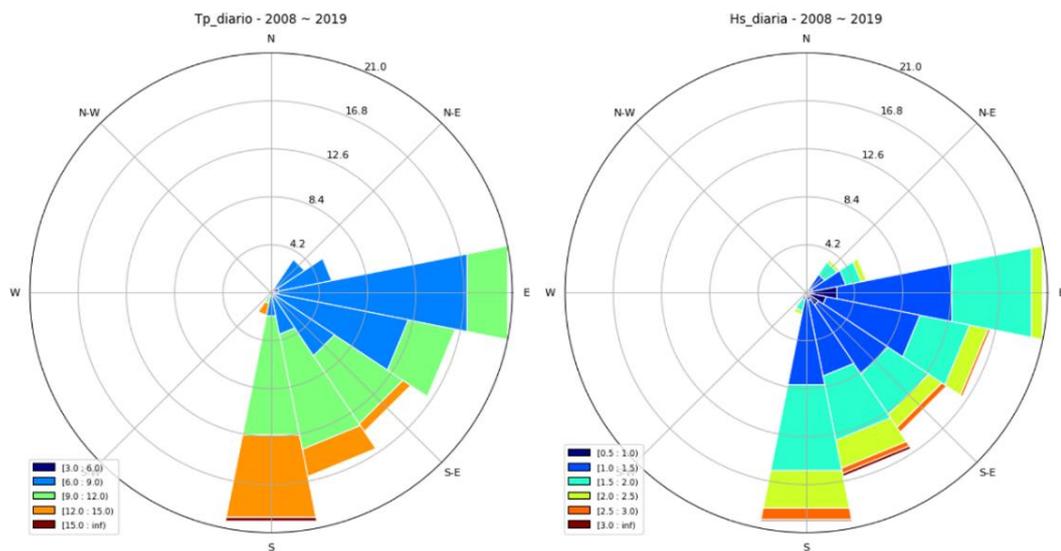
3.1 MORFODINÂMICA

3.1.1 Clima de ondas

3.1.1.1 Caracterização decadal do clima de onda

O regime de ondas para a região da foz do rio Doce é composto por dois sistemas distintos, com ondas provenientes dos quadrantes S–SE e E–ESE (Figura 4). O sistema de S–SE é o predominante e apresenta os maiores períodos de pico e as maiores alturas significativas para a série histórica de 2008 a 2019. Ondas com alturas significativas menores que 1,5 m e períodos de pico menores que 10 s prevalecem oriundos das direções E–ESE, enquanto que ondas com altura significativa maior que 1,5 m e períodos de pico maiores que 10 s são provenientes dos quadrantes S–SE. As ondas com maior energia, de regime extremo, apresentam altura significativa de 2,8 m e período de pico de 18s. O regime médio de ondas apresenta altura significativa de 1,6 m e período de pico de 9,7 s.

Figura 4: Histogramas direcionais de período (Tm) e altura (Hm) médias diárias entre 30 de janeiro de 2008 e 12 de fevereiro de 2019. Dados modelados com base no modelo de previsão NWW3 com resolução de cerca de 50 km.

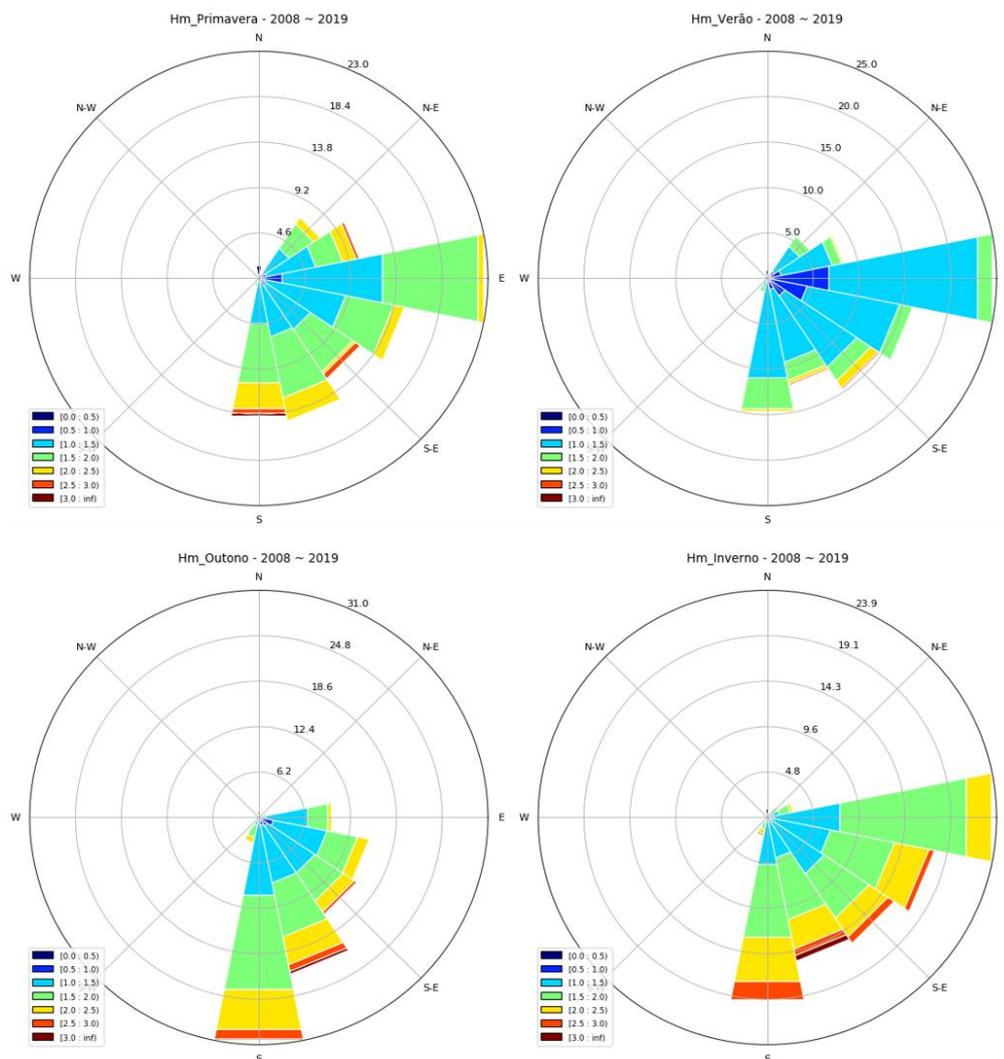


3.1.1.2 Caracterização sazonal do regime de ondas.

Sazonalmente ocorre uma alternância entre os sistemas E-ESE e S-SE. No outono e no inverno há maior incidência de ondas dos quadrantes S-SE, cerca de 70 % no outono e 50 % no inverno. Na primavera e no verão, cerca de 60% das ondas são provenientes dos quadrantes E-ESE. As médias de altura significativa e período de pico também acompanham esta variação sazonal. Na primavera e no verão as médias de altura significativa são de 1,5 m na primavera e 1,2 m no verão e o período de pico médio é de 8 s para ambas as estações (Figura 5 e Figura 6). No outono e no inverno as médias

de altura e período de ondas são maiores, 1,6 m e 10 s no outono e 1,7 m e 9 s no inverno (Figura 5 e Figura 6). As maiores ondas correspondentes a eventos extremos ocorrem principalmente no outono, quando os valores de altura significativa e período de pico máximo atingem 4,3 m e 19 s, respectivamente. As alturas significativas e períodos de pico máximos no inverno apresentam valores de 3,9 m e 19 s, na primavera de 3,4 m e 19 s e no verão não ultrapassam 2,8 m e 18 s. De modo geral, as ondas com maiores alturas e períodos, provenientes de S-SE, são observadas com mais frequência no outono e com maior intensidade no inverno.

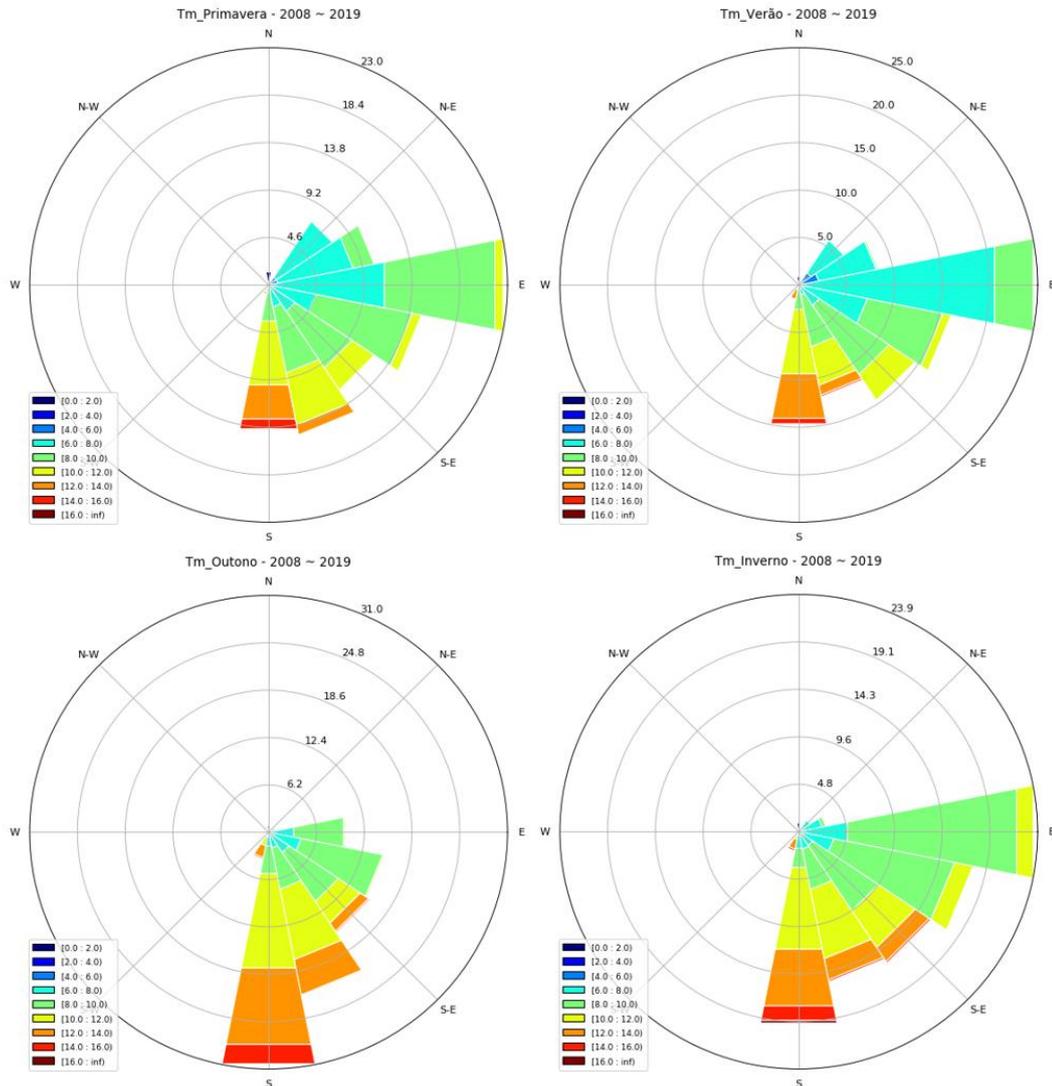
Figura 5: Histograma direcional da altura média diária (Hm) entre 30 de janeiro de 2008 e 12 de fevereiro de 2019. Dados modelados com base no modelo de previsão NWW3 com resolução de cerca de 50 km.



Observa-se ainda uma variação regional na área de estudo. As ondas que atingem a costa com alturas significativas e períodos de pico maiores foram verificadas na porção sul da foz do rio Doce entre 20°17'S e 19°50'S, onde a morfologia da plataforma continental, com cerca de 38 km de largura inibe a dissipação das ondas. Na porção norte, entre 19°30' S e 18°43' S, porção sul do Banco de Abrolhos, a plataforma continental é mais larga com cerca de 200 km de extensão. Nesta região as ondas que

chegam à costa podem apresentar alturas significativas e período de pico menores devido à propagação e à interação com o leito marinho.

Figura 6: Histograma direcional do período médio diário (Tm) entre 30 de janeiro de 2008 e 12 de fevereiro de 2019. Dados modelados com base no modelo de previsão NWW3 com resolução de cerca de 50 km.



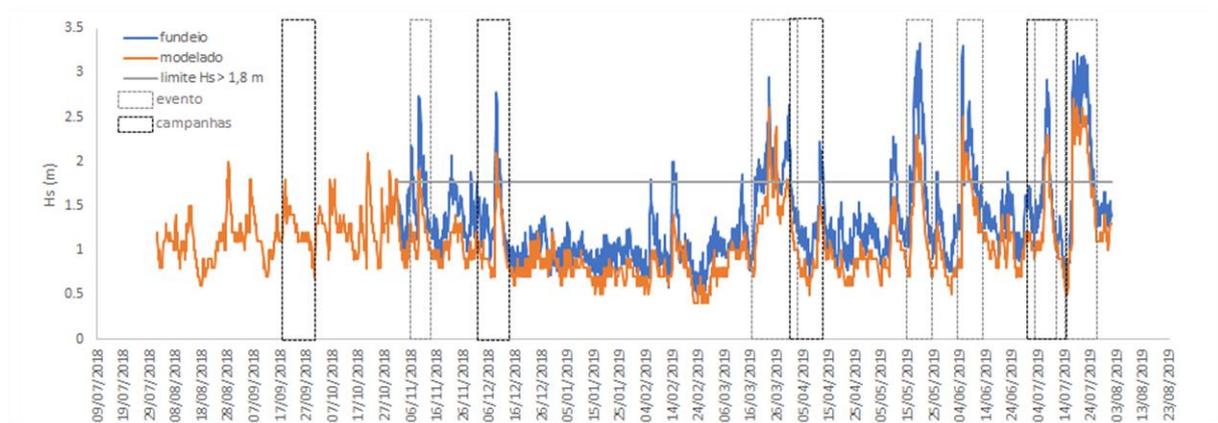
Da mesma forma, as ondas provenientes dos quadrantes, E-ESE e S-SE, interagem de maneira distinta com as praias devido à orientação da linha de costa. Na região sul próxima à foz do rio Doce (entre as estações S4 e S6), a linha de costa tem orientação para SE–SSE, entre 130° a 155°, estando mais sujeita à atuação das ondas do sistema S–SE. Desta forma, o transporte de sedimentos pela deriva litorânea, resultante da interação entre as ondas e a orientação da linha de costa, é predominantemente para norte (Oliveira et al., 2015). Ao norte da desembocadura a linha de costa está orientada para ESE–ENE, entre 110° e 90°, sujeita à atuação de ambos regimes S–SE e E–ESE intensificando, assim, o transporte líquido para norte. Imediatamente ao norte da desembocadura (Estação N1), onde a linha de costa apresenta orientação 110°, o transporte líquido de sedimentos ganha volume em direção ao

norte. Ao norte de Degredo (Estação N2), onde a linha de costa inflexiona com orientação 90°, o volume do transporte líquido para norte é ainda maior (Oliveira et al., 2015).

3.1.1.3 Caracterização das ondas no período do monitoramento

Resultados de modelagem foram usados para analisar os períodos não cobertos pelos fundeios (ver Anexo 3 - Marinho). A validação dos modelos foi realizada com alta correlação (0,92) com o fundeio F1, localizado próximo à isóbata de 40 m na altura da praia de Coqueiral de Aracruz, município de Aracruz (Figura 7).

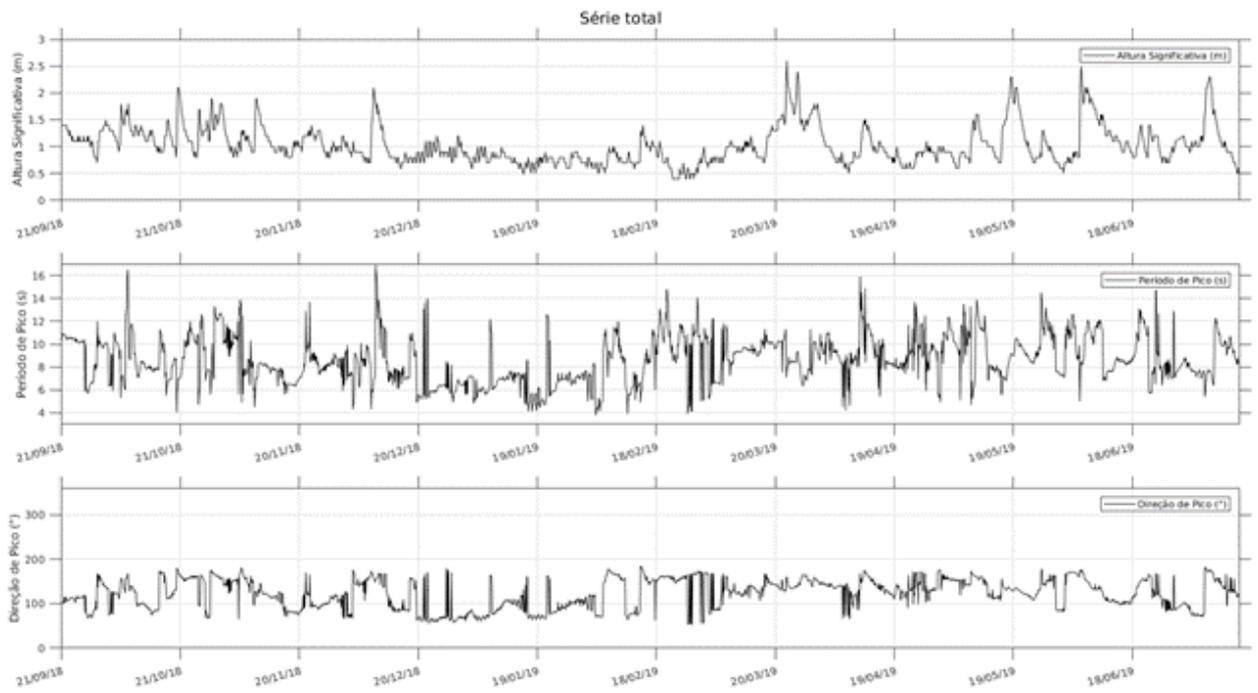
Figura 7: Correlação entre os dados medidos em campo e os dados modelados. Linha cinza marca o limite das maiores alturas de ondas consideradas como eventos de alta energia, Hs maior que 1,8 m. As caixas cinzas indicam os seis eventos de alta energia considerados para o período do monitoramento, Hs > 1,8 m e duração superior a 72 horas.



Os resultados indicam que durante o período de monitoramento, houve a predominância de ondas abaixo da média histórica, porém com eventos de alta energia significativos. Ondas de E a ESE, com alturas significativas abaixo de 1 m e período de pico abaixo de 8 s, predominaram entre o final de novembro de 2018 e início de março de 2019, enquanto que os meses de setembro a novembro de 2018 e março a julho de 2019 foram marcados por eventos de maior energia com ondas de altura significativa e período de pico acima do regime médio (1,6 m e 9,6 s) provenientes dos quadrantes S–SE (Figura 8).

As ondas de estado de mar calmo, abaixo do regime médio, predominaram por 65,7% do tempo enquanto que as ondas com altura significativa acima de 1,8 m ocorreram em 15,5% do período analisado. Os períodos das campanhas de setembro e dezembro de 2018 e de abril de 2019 podem ser considerados atípicos para os meses correspondentes na série histórica. Estas foram marcadas pela atuação de ondas de maior energia do quadrante S-SE. Em contrapartida, as condições do mar durante a campanha de julho foram bem similares ao observado para os meses de junho/julho na série histórica.

Figura 8: Altura significativa, direção e período de pico das ondas correspondentes ao período das quatro campanhas amostrais realizadas entre setembro de 2018 e agosto de 2019.



As quatro campanhas se distinguiram quanto à variação dos sistemas de ondas predominantes (E-ESE e S-SE) e quanto à intensidade e duração dos eventos de maior energia (Tabela 2). De maneira geral, períodos de menor energia das ondas foram observados nas campanhas de setembro e dezembro de 2018, enquanto que as maiores energias de onda foram registradas em abril e julho de 2019.

Ondas de E-NE predominaram durante a campanha de setembro de 2018. Os valores máximos de altura significativa e período de pico foram os menores registrados entre as quatro campanhas. A mesma condição foi observada em dezembro de 2018. Nesta campanha, a passagem de uma frente fria, de curta duração (4,5% entre os dias 8 a 10 de dezembro), gerou ondas com altura significativa máxima de 2,1 m e período de pico máximo de 16,9 s.

Tabela 2: Síntese do regime de ondas durante o período das campanhas, Hs > 1,8 m representa os eventos de maior energia correspondentes a 25% das maiores alturas da série histórica (2008 – 2019).

Campanhas	Hs máx (m)	Tp máx (s)	Hs > 1,8 m	Observações
Set/18	1.8	11.8	0.7%	Predomínio de ondas do quadrante Leste
Dez/18	2.1	16.9	4.5%	Bimodal, Leste passando para Sul no final
Abril/19	2.4	11.3	16.0%	Período precedido da tempestade tropical Iba
Jul/19	2.3	14.7	8.0%	Maior incidência de frentes frias

A campanha de abril de 2019 foi marcada pela tempestade tropical Iba, que consistiu no evento de alta energia com maior duração (14 dias) e maiores alturas significativas de onda (até 2,9 m) observadas ao longo do monitoramento. A passagem desta tempestade marca também o fim de um longo período de bom tempo, entre as campanhas de dezembro de 2018 e abril de 2019, no qual as ondas não passaram de 1,5 m de altura. Eventos de alta energia, com duração média de 6,7 dias, predominaram durante a campanha de julho de 2019 com valores máximos de altura significativa e período de pico de 2,3 m e 14,7 s, respectivamente. A maior incidência de eventos de alta energia foi verificada entre os meses de abril e julho de 2019, com três eventos registrados neste intervalo.

3.1.1.4 Condições oceanográficas durante as coletas de dados em campo

Considerando os dias de realização da campanha de setembro de 2018, as condições de ondas foram analisadas para o período de 19 a 30/09/2018. Os resultados indicam que as ondas atingiram altura significativa máxima de 2,5 m com período de até 14 s e direção variando entre S e ENE. As ondas predominantes foram as do quadrante ESE, com ocorrência de 48% durante o período de levantamento dos perfis topobatimétricos, com altura significativa de 1,5 a 2,0 m e período de pico de 9 a 12 s (Figura 9).

Figura 9: Altura significativa, direção e período de pico das ondas correspondentes as quatro campanhas amostrais, setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019, incluindo três dias antecedentes aos levantamentos de campo.



Para a campanha de dezembro de 2018 foi analisado o período de 01 a 11/12/2018. Os resultados indicam que as ondas atingiram altura significativa máxima de 2,8 m com período de até 15 s e direção variando de S-NE. Houve predomínio das ondas de S em 38% do período de levantamento dos perfis topobatimétricos com alturas significativas de 1,0 a 1,5 m e período de 6 a 9 s. As ondas tiveram um comportamento bimodal, com ondas de leste com altura significativa em torno de 1,5 m e período de pico entre 7 e 8 s no início da campanha (de 30/11 a 04/12) e ondas de sul com altura significativa de 1,8 m e período de pico entre 11 e 15 s nos dias 07 a 12/12 (Figura 9).

Já para a campanha realizada em abril de 2019 o período analisado se estendeu de 01 a 11/04/2019. Os resultados indicam que as ondas atingiram altura significativa máxima de 2,3 m com período de 9.4 s e direção variando de ESE a SSE (Figura 9). Esta campanha foi antecedida por uma tempestade tropical com duração de 14 dias que gerou ondas de ESE com alturas maiores que 1,8 m e período em torno de 12 s.

Para a campanha de julho de 2019, o período analisado foi de 29 a 14/07/2019. Os resultados indicam que as ondas atingiram altura significativa máxima de 2,8 m e período de pico de 7,6 s provenientes dos quadrantes ESE a SSE. A campanha iniciou com ondas de E a ENE com alturas significativas menores que 1 m e período de pico de 8 s. No dia 05/07/2019 uma frente fria avançou com ondas alcançando as maiores alturas significativas registradas nesta campanha provenientes do quadrante S. O período de pico aumentou de 8 para 11 s e se manteve acima de 8 s até o fim da campanha (Figura 9).

3.1.2 Topobatimetria

3.1.2.1 Aspectos morfológicos e morfodinâmicos

Os resultados obtidos a partir dos levantamentos topobatimétricos são apresentados de acordo com a subdivisão do litoral estudado nos três compartimentos já definidos, que se distinguem também quanto à morfologia e morfodinâmica das praias.

No Compartimento A, os terraços de abrasão limitam o espaço de acomodação das praias promovendo a formação de perfis comparativamente mais estreitos, com largura média de 17,1 m, e mais íngremes, com inclinação da face praial de 9,8°, condição observada em praia Mole (Figura 10 e Figura 11). Na antepraia rasa a suavização do perfil indica a adaptação morfodinâmica destas praias em função da variação da maré, isto é, as praias tendem a apresentar características intermediárias a refletivas na preamar e dissipativas na baixa-mar (Figura 12). Desta forma, há o predomínio de arrebentação do tipo ascendente na face praial e mergulhante na antepraia inferior, durante a preamar, e deslizante ao longo dos terraços de abrasão, durante a baixa-mar.

Figura 10: Praias Mole (S1), Formosa (S2) e de Putiri (S3), Compartimento A.



Figura 11: Esquema representativo da praia emersa e antepraia rasa, em planta e perfil, indicando as principais feições praias e parâmetros morfológicos médios entre as campanhas. Largura da praia: trecho entre o NMM e o início do cordão arenoso/ término da praia. Distância da berma: distância entre o NMM e o ponto mais alto da berma. Declividade da face praial: inclinação ente a maior altura da face e o NMM. Espraiamento de vazante: alcance máximo do espraiamento observado nos dias de amostragem. Espraiamento máximo: alcance máximo do espraiamento modelado para os dias de amostragem.

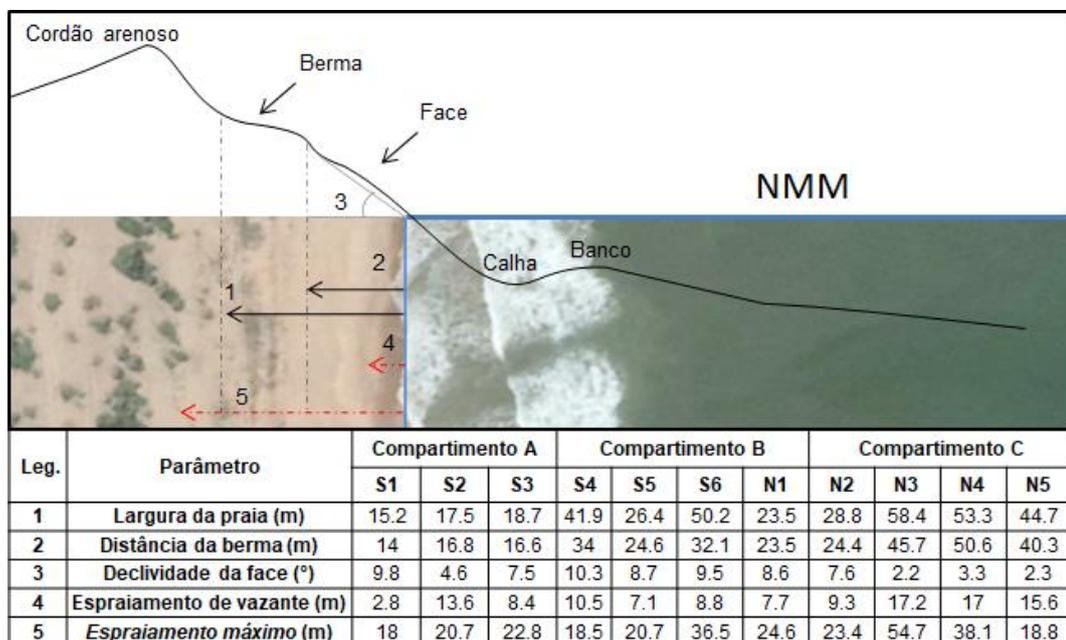
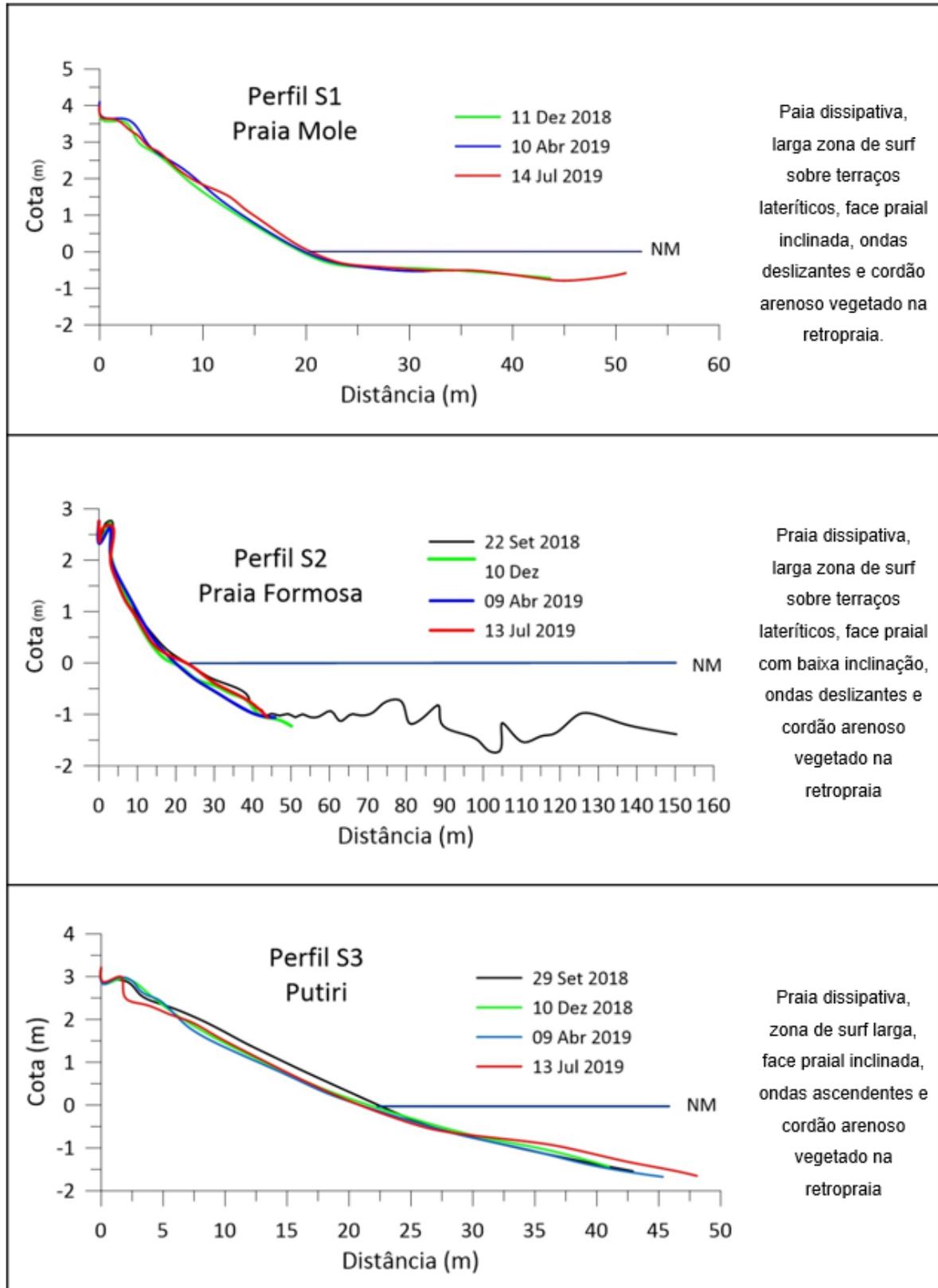


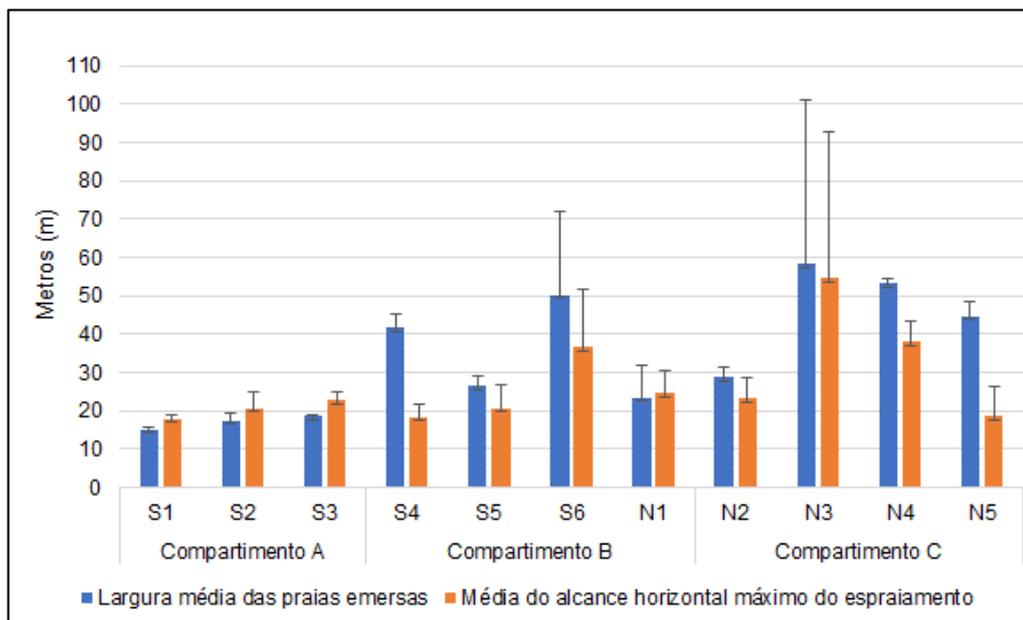
Figura 12: Perfis topográficos e descrição morfodinâmica das estações S1, S2 e S3, Compartimento A. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.



A dissipação das ondas ao longo dos terraços de abrasão limita a amplitude e variação das alturas das ondas que chegam à praia, logo o volume do transporte de sedimentos entre a praia e antepraia, apesar de existente, é pouco expressivo. Neste sentido, a avaliação temporal dos perfis permitiu verificar que as praias apresentam mobilidades distintas em função da duração e intensidade dos eventos e da distribuição dos terraços de abrasão. Após a campanha de julho de 2019, marcada pela ocorrência de três eventos de tempestades consecutivos, foi observado o solapamento da base dos cordões arenosos na praia de Putiri e a deposição de areias na face praial e antepraia rasa. Em um evento mais energético ocorrido em abril de 2019 a praia Formosa apresentou um recuo mais acentuado (Figura 12).

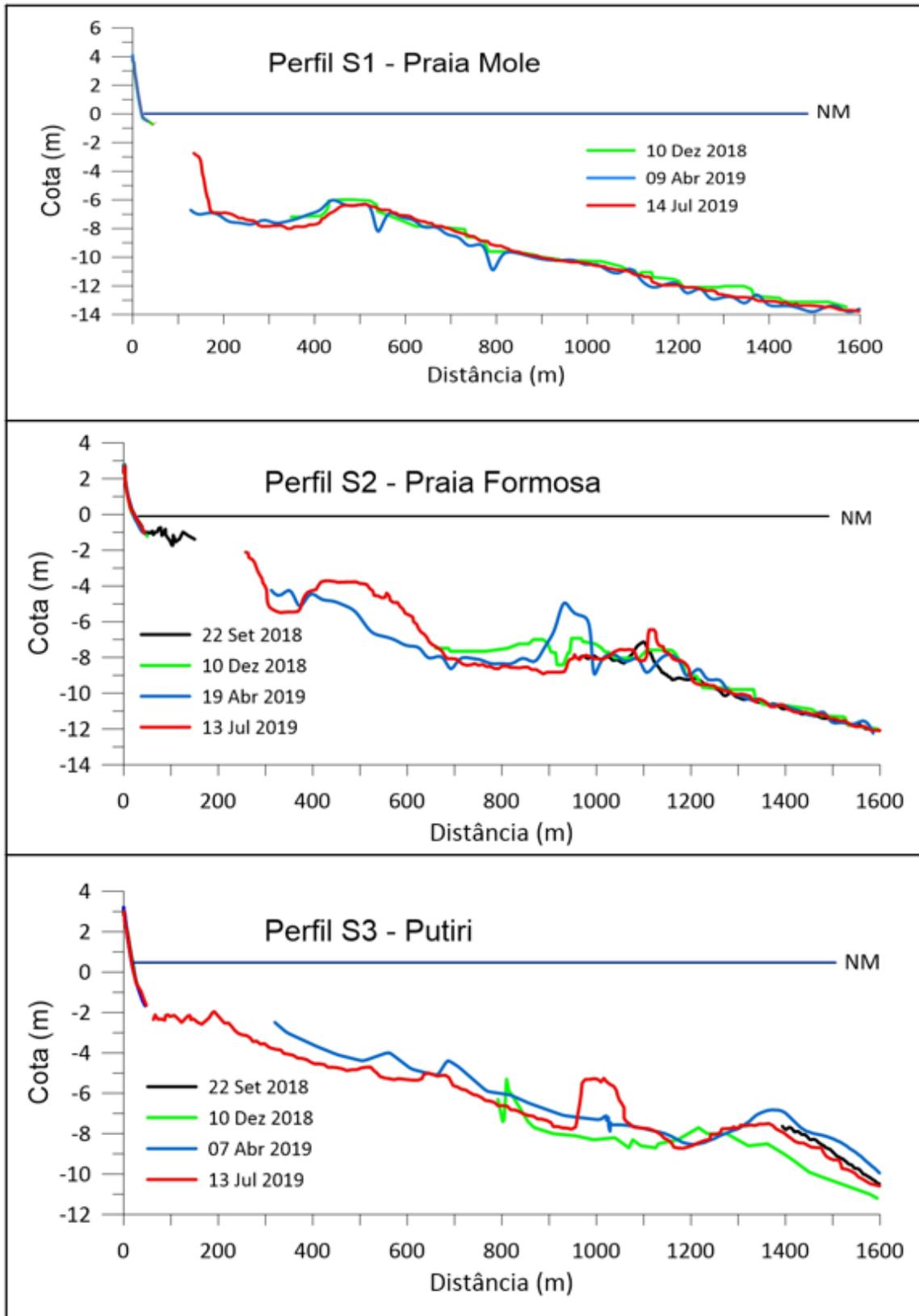
Corroborando o que foi verificado nas variações morfológicas dos perfis topográficos, a modelagem do alcance horizontal máximo do espriamento das ondas para os dias que antecederam as campanhas indica que a água do mar transpassa a praia e alcança a retropraia com potencial de dispersão de prováveis contaminantes provenientes do rejeito (Figura 13).

Figura 13: Largura média (barras azuis) e máxima (linhas) da praia emersa e *run-up* médio (barras laranjas) e máximo (linhas) nas estações amostrais. Os destaques em tracejado indicam as estações em que o alcance horizontal do *run-up* máximo modelado transpassa o limite da praia e alcança a retropraia com potencial dispersão de prováveis contaminantes provenientes do rejeito. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri. Perfis topobatimétricos.



Na antepraia do Compartimento A o sinal batimétrico gerado é ruidoso, em função da presença de afloramentos lateríticos no assoalho marinho. O levantamento batimétrico não pôde ser conduzido no mesmo alinhamento em todas campanhas, devido à dificuldade em se navegar sobre os terraços sob distintas condições de ondas, permitindo ainda verificar a alta rugosidade da morfologia na antepraia A inflexão da batimetria em torno dos 8 m de profundidade sugere que esta é a profundidade de fechamento do perfil praial (Figura 14).

Figura 14: Perfis topobatimétrico das estações S1, S2 e S3, Compartimento A. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.



No Compartimento B, a plataforma continental adjacente às praias de Comboios, Barra do Riacho, Regência e Povoação sofre considerável estreitamento chegando a 38 km de largura. A costa ainda sofre inflexão para E-SE e torna-se mais exposta à ação das ondas de maior energia provenientes deste quadrante. Desta forma, estas praias apresentaram maior inclinação quando comparadas às praias de terraços de abrasão (Figura 11 e Figura 15). Em função do maior aporte de sedimentos pelo rio Doce, estas praias apresentaram ainda maior extensão em relação às praias do Compartimento A e presença de cristas de praia vegetadas na retropraia, formadas durante posições anteriores da berma praial (Figura 11, Figura 15, Figura 16).

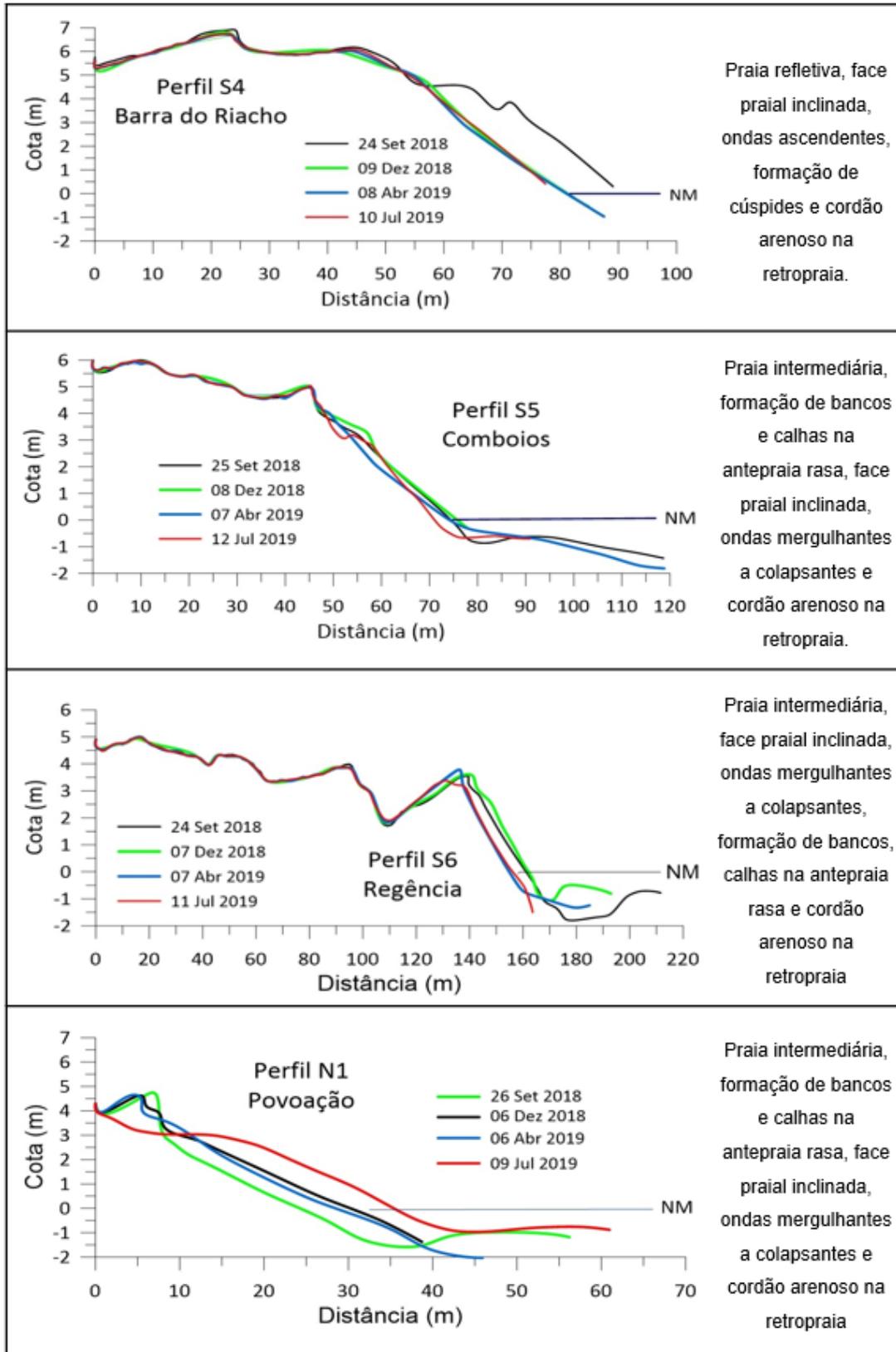
Figura 15: Praias de Barra do Riacho (S4), Comboios (S5), Regência (S6) e Povoação (N1), Compartimento B.



Essas praias apresentaram zona de surfe larga e, em geral, ondas do tipo mergulhante e colapsante. A praia de Barra do Riacho, porém, apresentou características particulares, com estado morfodinâmico refletivo, ausência de zona de surfe e ondas ascendendo sobre a face praial, impossibilitando que a sondagem do perfil topográfico alcançasse a antepraia rasa (Figura 16).

Devido ao alto grau de exposição foi possível verificar alta mobilidade transversal dos perfis praiais, principalmente nas praias de Regência e Povoação, com migração de bancos e calhas na antepraia rasa, sugerindo também a persistente troca de sedimento entre a praia emersa e antepraia rasa (Figura 16).

Figura 16: Perfis topográficos e descrição morfodinâmica das estações S4, S5, S6 e N1, Compartimento B. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.



Na praia de Povoação, entre as campanhas de setembro de 2018 e julho de 2019, observou-se a erosão e o recuo do cordão arenoso com perda da vegetação e deposição do sedimento erodido sobre a face praial. Esta condição foi mais claramente observada durante a campanha de julho de 2019, caracterizada por eventos de tempestade (Figura 16).

O alcance máximo horizontal do espraio modelado para este compartimento sugere que em situações de maior energia, o espraio transpassa a berma e alcança a vegetação de restinga na retropraia, exceto em Barra do Riacho, que mesmo em condições extremas de energia de ondas, a altura da berma impede a transposição do espraio (Figura 13).

Comparativamente nesse compartimento são observadas as maiores declividades na antepraia com a inflexão do perfil mais abrupta e mais próxima à costa relacionada à maior exposição às ondas de E-SE e ao estreitamento da plataforma continental (Figura 17). O perfil de fechamento tende a ser mais profundo que nas demais estações, entorno dos 14 m de profundidade (Figura 18). Diferenciando-se deste padrão, a praia de Povoação se aproximou das características morfológicas e deposicionais das praias do Compartimento C (Figura 17).

Figura 17: Ajuste linear dos perfis batimétricos entre as profundidades de 4 e 14 m. As menores declividades estão relacionadas ao alargamento da plataforma continental interna, enquanto que as de maiores declividades foram observadas nas proximidades da desembocadura do rio Doce, trecho caracterizado pelo estreitamento da plataforma.

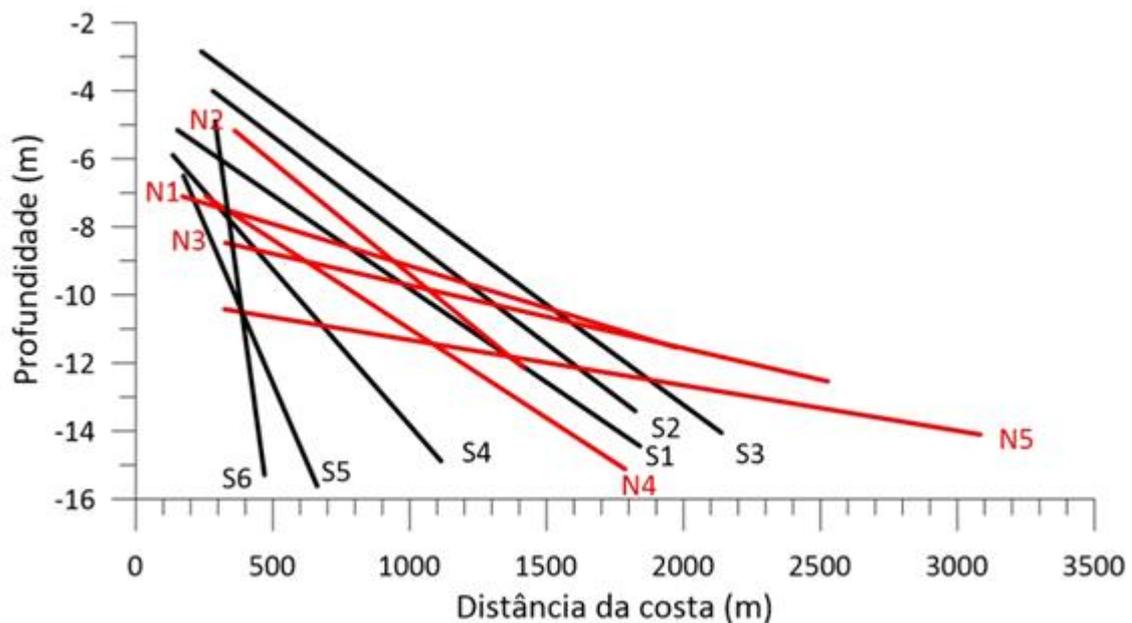
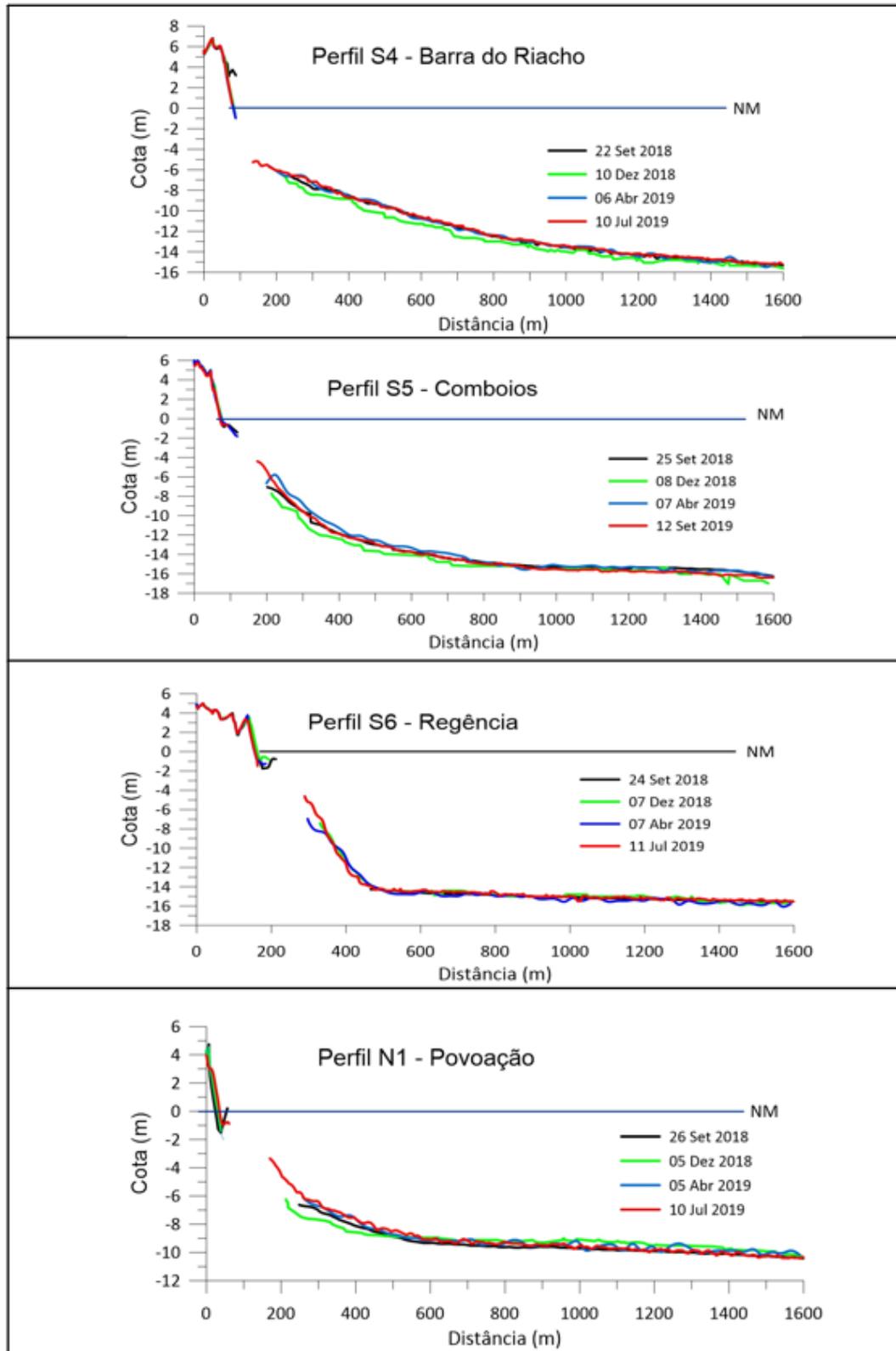


Figura 18: Perfis topobatimétricos das estações S4, S5, S6 e N1, Compartimento B. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.



Em termos morfodinâmicos, à medida que se distancia da foz, as praias do Compartimento C variam de intermediárias a dissipativas. O alargamento da plataforma e o baixo gradiente da antepraia favorece a deposição dos sedimentos finos do rio Doce transportados pela deriva litorânea. Uma vez depositados na região da praia emersa, os sedimentos favorecem o desenvolvimento de dunas na retropraia, como observado em todos os perfis (Figura 19 e Figura 20). Nesse compartimento, as praias se encontram mais bem desenvolvidas, apresentando as maiores larguras (superiores a 60 m) e as menores declividades (entre 2° e 3°) entre as praias analisadas (Figura 11).

Figura 19: Praias de Degredo (N2), Pontal do Ipiranga (N3), Barra Nova (N4) e Guriri (N5), Compartimento C.



A maior dissipação da energia das ondas nas praias deste compartimento, comparada às praias ao sul do rio Doce, proporciona menor mobilidade das feições face e berma praial, ao passo que, na antepraia rasa a mobilidade de bancos e calhas é considerável. Nos perfis submersos desse setor é possível notar menores inclinações da antepraia com elevação gradual entre as profundidades de 10 m e 14 m (perfil de fechamento) (Figura 17 e Figura 21).

O alcance horizontal do *run-up* modelado para esse compartimento indica que sob condições de maior energia das ondas as praias de Degredo e Pontal do Ipiranga são as mais suscetíveis à inundação e consequente perturbação das dunas frontais da retropraia (Figura 13). Este comportamento foi verificado durante a campanha de julho de 2019 quando se observou a erosão e o escarpamento da base das dunas (Figura 20).

Figura 20: Perfis topográficos e descrição morfodinâmica das estações N2, N3, N4 e N5, Compartimento C. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal

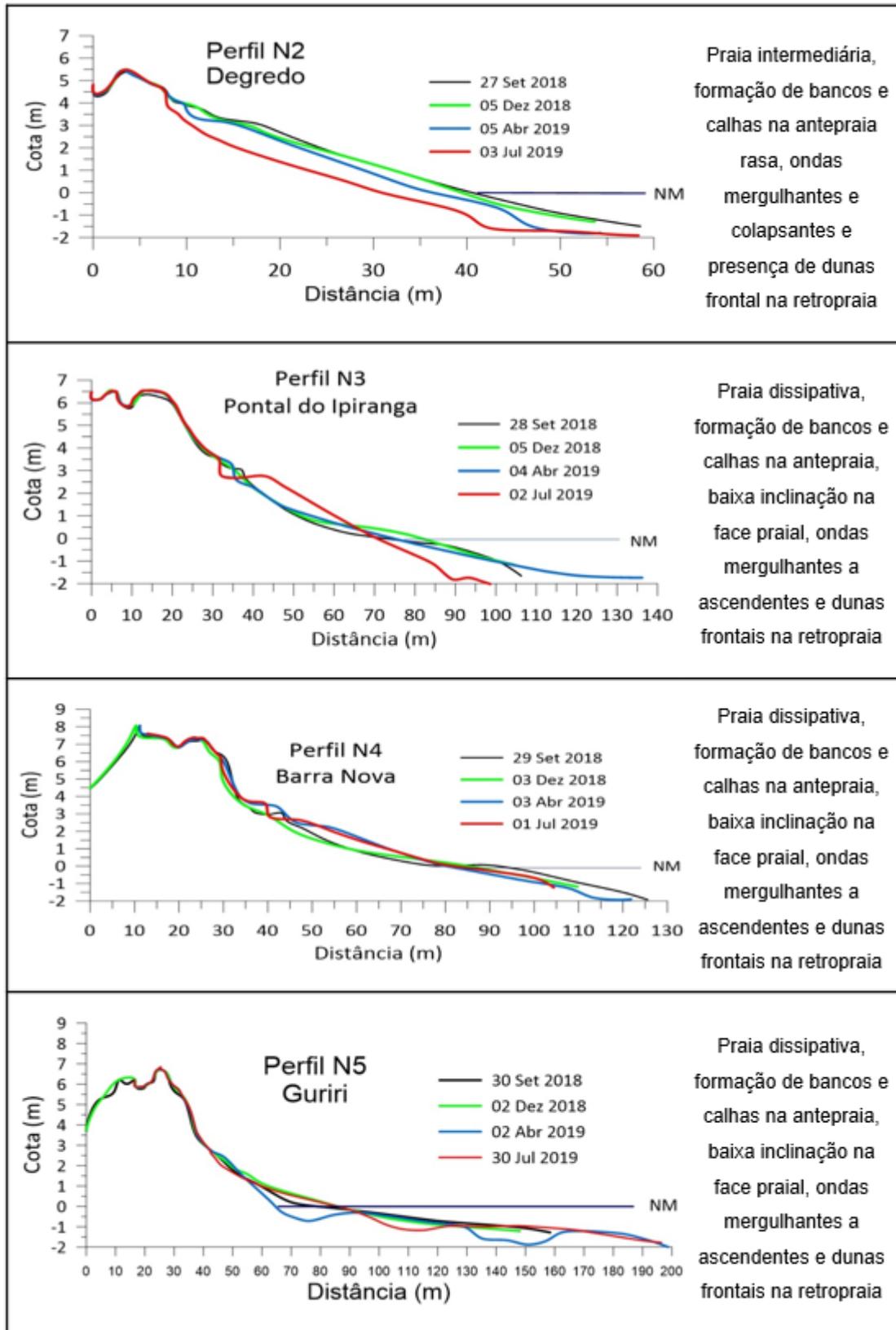
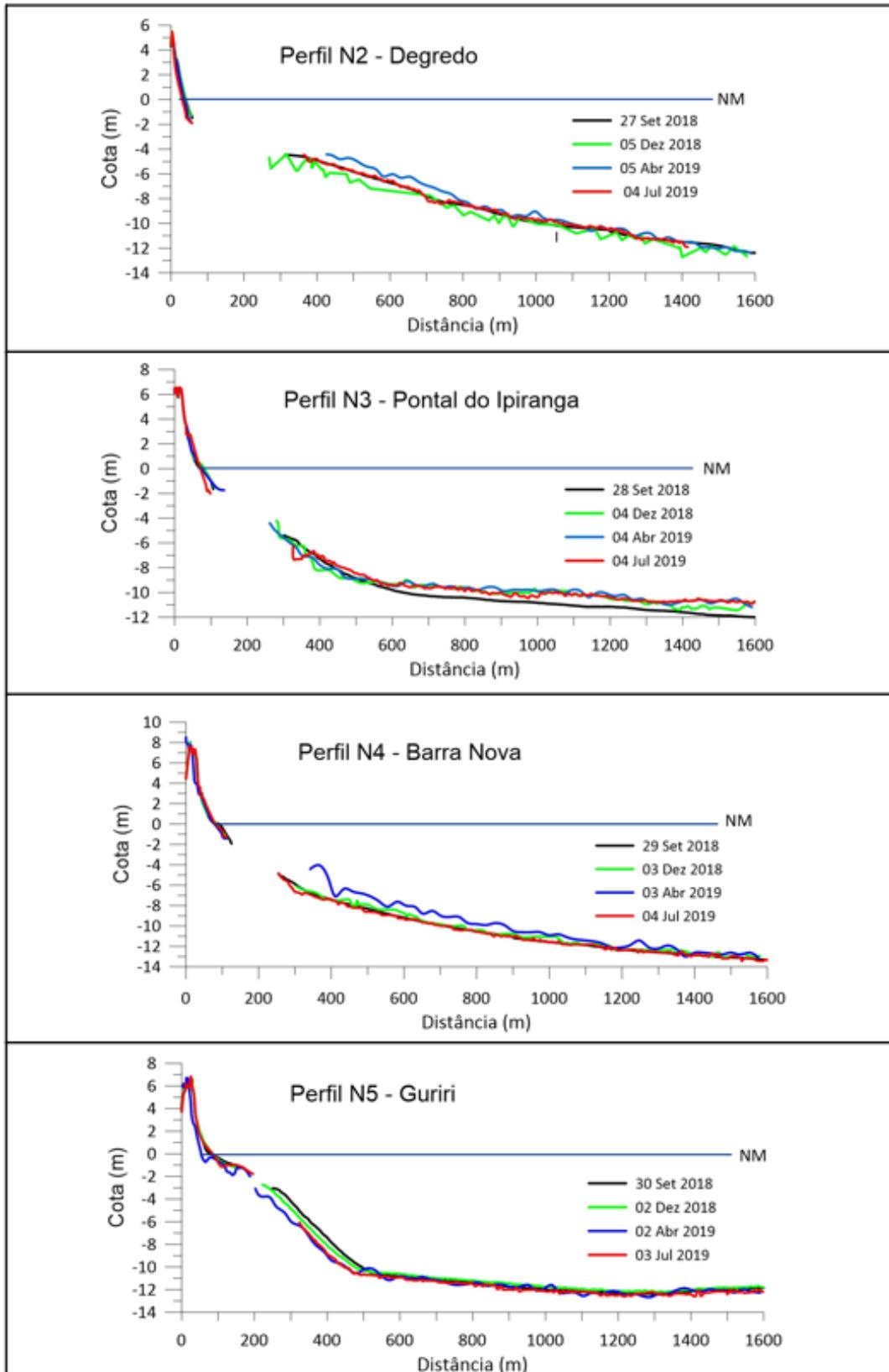


Figura 21: Perfis topobatimétricos das estações N2, N3, N4 e N5, Compartimento C. Escalas não obedecem ao mesmo exagero vertical e horizontal.

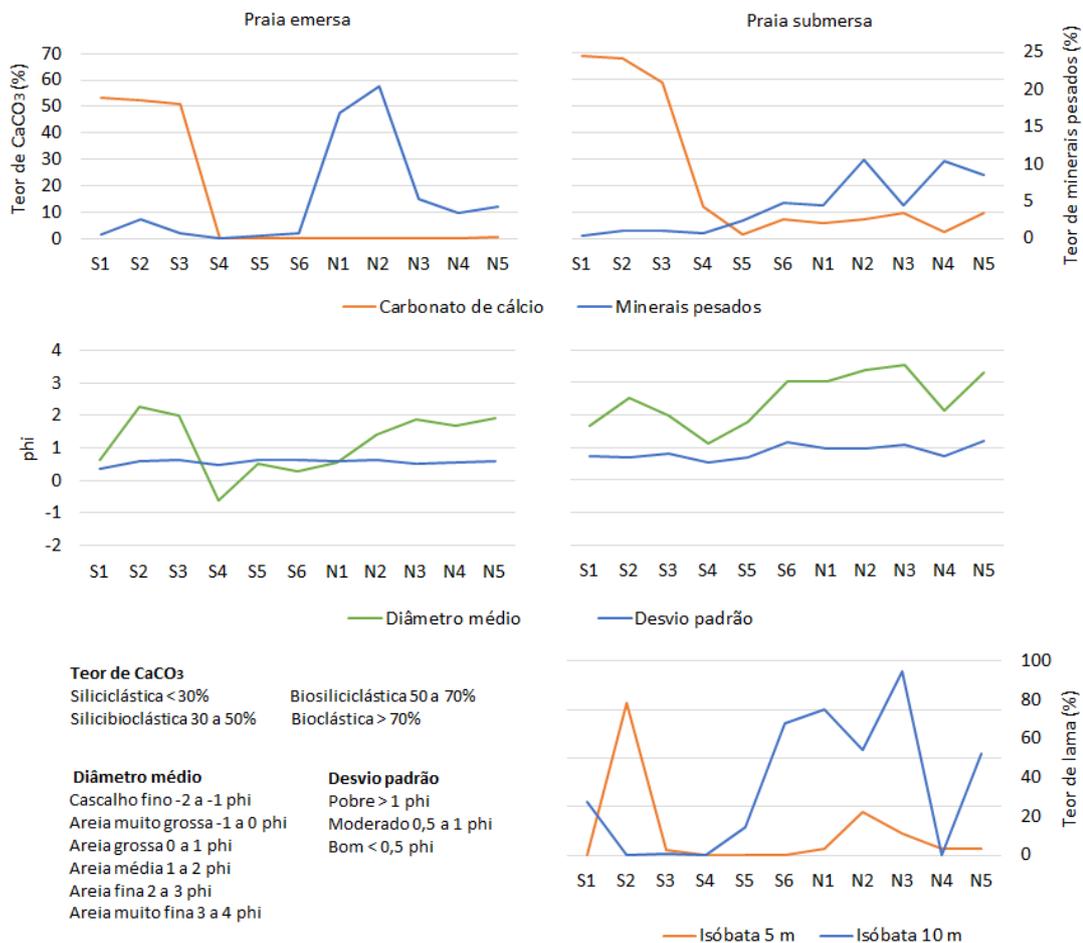


3.1.3 Sedimentologia das praias

3.1.3.1 Caracterização geral dos compartimentos

A Figura 22 apresenta a caracterização composicional e granulométrica média das areias superficiais das praias em estudo, bem como a distribuição dos teores de lama. De maneira geral, as características sedimentológicas das areias subsuperficiais da berma se assemelharam às características das areias superficiais desta feição. Eventuais diferenças são destacadas no texto. Os principais componentes bioclásticos e minerais pesados identificados durante o monitoramento são apresentados na Figura 23, Figura 24 e Figura 25. O teor de matéria orgânica também é observado na composição dos sedimentos, sempre associado aos maiores teores de lama (Figura 26).

Figura 22: Caracterização composicional e granulométrica média das areias da praia emersa (esquerda) e submersa (direita) e distribuição dos teores de lama nas praias em estudo. Teores de lama significativos foram observados apenas na praia submersa. O teor de lama na isóbata de 5 m corresponde à média dos teores registrados entre as profundidades de 4 e 8 m, enquanto que na isóbata de 10 m refere-se a média dos teores registrados entre as isóbatas de 10 e 16 m. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



Constituindo o Compartimento A, as praias Mole, Formosa e de Putiri são compostas essencialmente por areias biosiliciclásticas, com teor médio de carbonato variando entre 50,92% e 68,56% (Figura 22). Os principais componentes carbonáticos incluem algas coralinas e moluscos, que representam cerca de 90% dos grãos bioclásticos identificados (Figura 23 e Figura 24 A). Nas praias deste compartimento, observou-se teores médios de minerais pesados inferiores a 5% (Figura 22), com exceção dos valores registrados nas areias subsuperficiais da berma (trincheira) em praia Mole nos meses de dezembro de 2018 (46,34%) e abril de 2019 (36,60%). Esta condição revela possivelmente um momento de recuo do perfil praias com predomínio de minerais pesados em função da mobilização preferencial dos minerais leves sob condições hidrodinâmicas mais energéticas. Os principais minerais pesados identificados incluem os minerais opacos, anfibólios, cianitas e silimanitas (Figura 24 B e Figura 25).

Figura 23: Principais componentes bioclásticos observados nas praias em estudo. A) Algas articuladas; B) Algas incrustantes; C) e D) Moluscos; E) Briozoários; F) Foraminíferos; G) Equinodermas; H) Tubos de verme; I) Crustáceos.

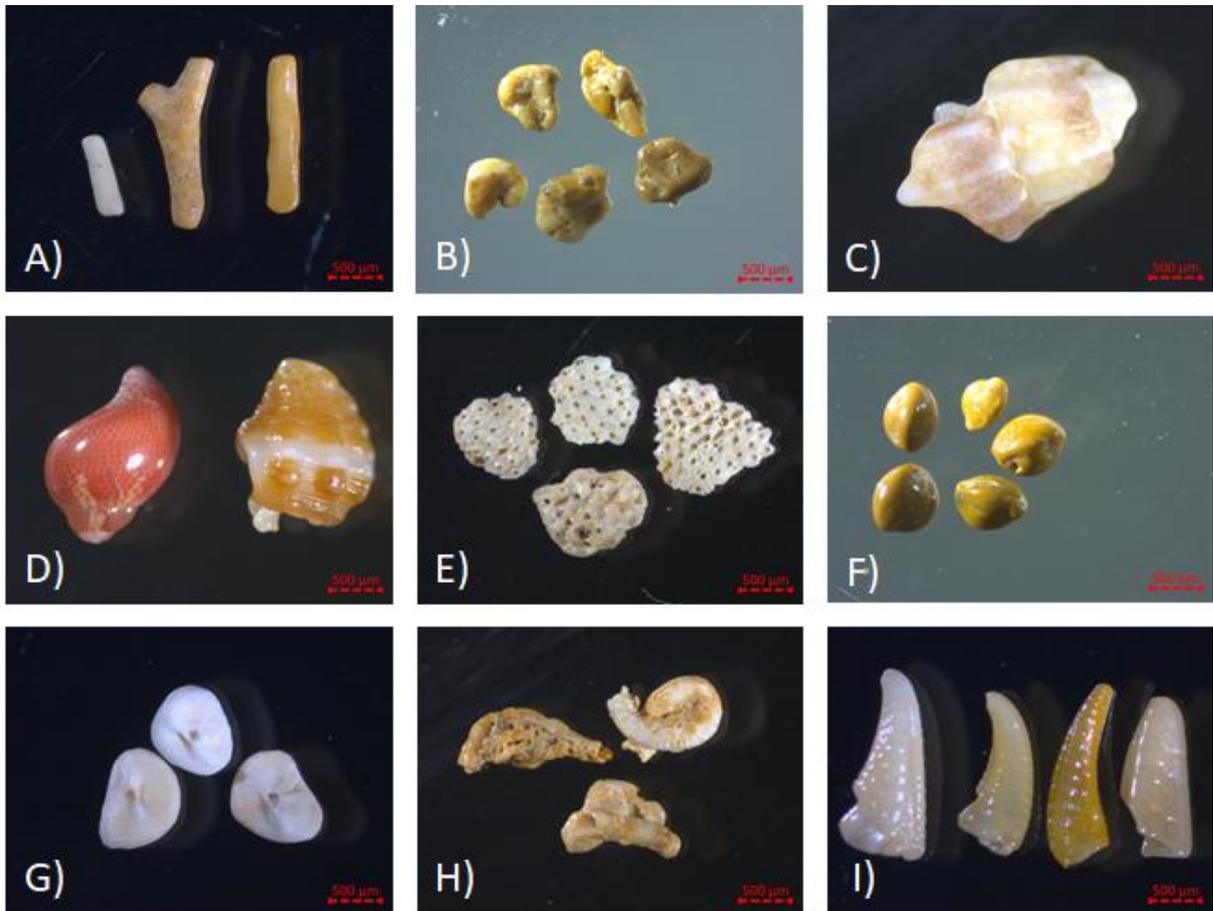


Figura 24: Principais componentes bioclásticos (A) e minerais pesados (B) identificados nas praias em estudo. Valores médios para os compartimentos identificados. Compartimento A: praias Mole, Formosa e de Putiri; Compartimento B: praias de Barra do Riacho, Comboios, Regência e Povoação; Compartimento C: praias de Degredo, Pontal do Ipiranga, Barra Nova e Guriri. Outros*: Tubo de verme, crustáceo, ostracóide e alga Halimeda. Outros**: Rutilo, epidoto, estauroлита e zircão.

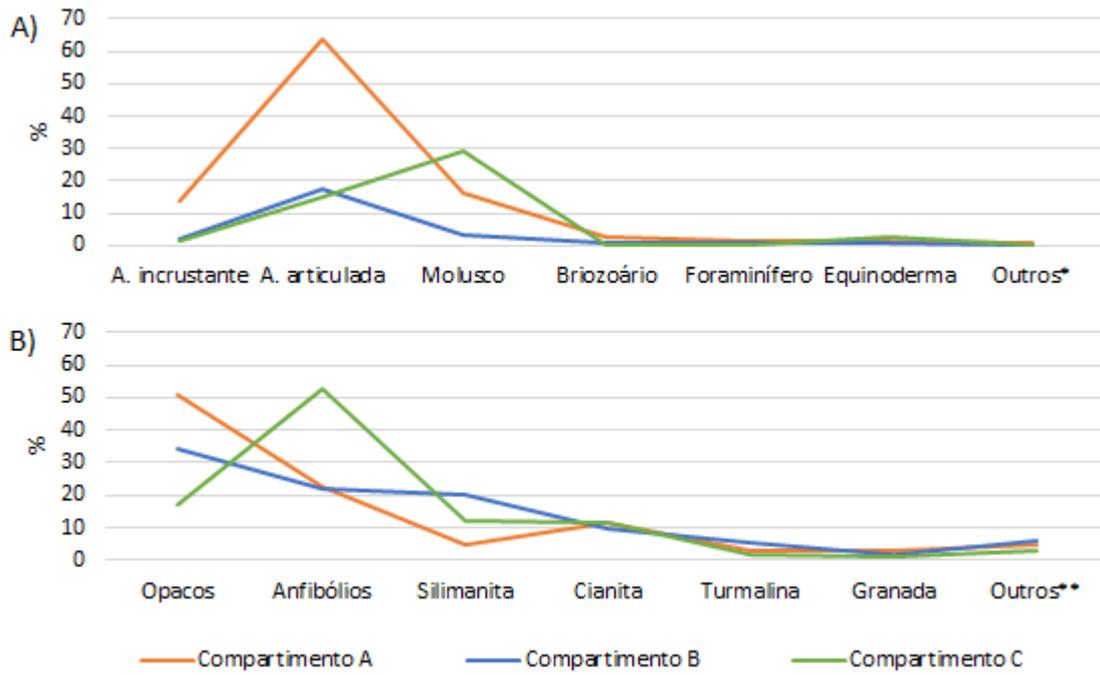
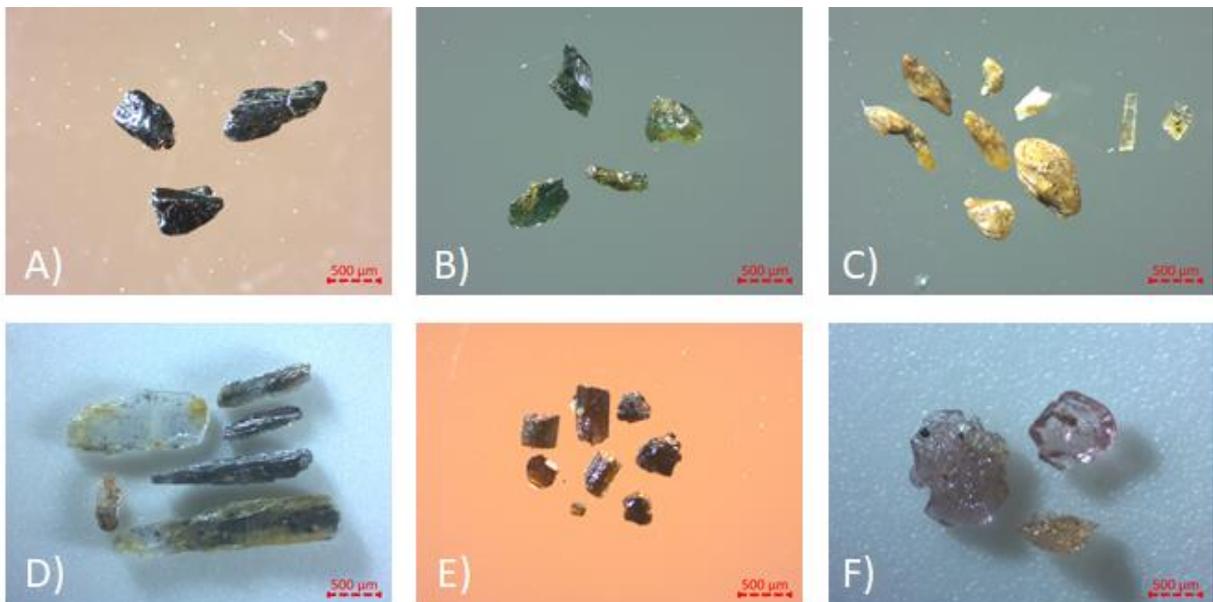
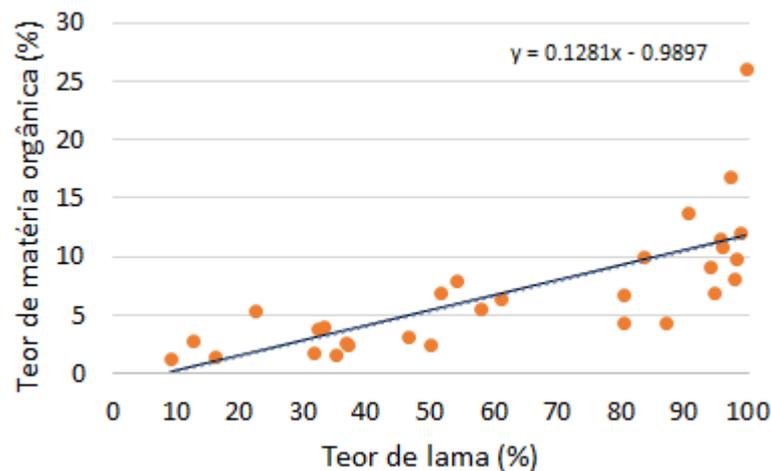


Figura 25: Principais minerais pesados identificados nas praias em estudo. A) Minerais opacos; B) Anfibólios; C) Silimanitas; D) Cianitas; E) Turmalinas; F) Granadas.



Quanto à granulometria, as areias de praia Mole foram classificadas como areias grossas na porção emersa, contudo areias mais finas foram observadas na isóbata de 10 m, durante as campanhas de abril e julho de 2019 (Figura 22), com teores de lama variando de até 46,26%. As praias Formosa e de Putiri apresentaram predominantemente areias médias a finas (Figura 22). Na praia Formosa foram observados sedimentos mais finos entre as isóbatas de 5 e 8 m, durante as campanhas de abril e julho de 2019, com teores de lama variando de 2,23% a 96,94% (Figura 22). Nesta mesma estação amostral, a isóbata de 10 m foi caracterizada por areias grossas (0,701 a 0,875 phi) associadas aos altos teores de carbonato (Figura 22). O teor de matéria orgânica total nas amostras lamosas variou de acordo com os teores de lama (Figura 26), com os maiores valores observados na praia Formosa.

Figura 26: Relação entre o teor de matéria orgânica total e o teor de lama observado na antepraia das praias em estudo.



Com relação ao grau de arredondamento dos grãos de quartzo, foi observada maior frequência de grãos angulosos e sub-angulosos (60,68% a 80,57%), seguidos de grãos arredondados e sub-arredondados (18,93% a 38,82%).

Representando o Compartimento B, as praias de Barra do Riacho, Comboios, Regência e Povoação são compostas essencialmente por areias siliciclásticas. Contudo, eventuais aumentos nos teores de carbonato foram observados na antepraia (Figura 22), provavelmente associados à contribuição marinha proveniente da plataforma (Albino, 1999; Quaresma et al., 2015). Os principais grãos bioclásticos identificados correspondem às algas coralinas, seguidos por moluscos (Figura 23 e Figura 24 A). Nestas praias, o teor de minerais pesados foi inferior a 10% (Figura 22), com exceção da praia de Povoação que em abril de 2019, após uma tempestade tropical, apresentou teores de minerais pesados de 86,08% e 90,55% na berma superficial e na face superior, respectivamente (Figura 27 A e B). Os principais minerais identificados incluem os minerais opacos, anfíbolios e silimanitas, seguidos pelas cianitas e turmalinas (Figura 24 B e Figura 25).

Neste compartimento, as areias da praia emersa foram classificadas predominantemente como areias médias a grossas (Figura 22). As areias da antepraia, por sua vez, foram classificadas como areias

médias a muito finas (Figura 22), com aumento no teor de silte e argila na isóbata de 10 m, nas praias de Comboios, Regência e Povoação (31,63% a 99,33%) (Figura 22), sugerindo a contribuição fluvial associada às condições de menor energia no ambiente deposicional. De maneira geral, observou-se o aumento do diâmetro médio dos grãos em todas as estações amostrais na campanha de julho de 2019. O teor de matéria orgânica variou de 1,72% a 26,12%, com os maiores valores observados na praia de Regência, na isóbata de 10 m, onde verifica-se a presença de lama.

Figura 27: Elevadas concentrações de minerais pesados observadas após a tempestade tropical no mês de abril de 2019. (A) e (B) berma superficial e face superior da praia de Povoação e (C) trincheira da berma da praia de Degredo.



Com relação ao grau de arredondamento dos grãos de quartzo foi observada maior frequência de grãos angulosos e sub-angulosos (66,94% a 75,52%), seguidos de grãos arredondados e sub-arredondados (23,86% a 32,89%). O aumento relativo de grãos arredondados e sub-arredondados foi observado na praia de Barra do Riacho, onde a distância da desembocadura fluvial e a tipologia da quebra das ondas, tipicamente ascendente, favorecem o maior grau de arredondamento dos grãos.

Ao norte da desembocadura do rio Doce, as praias de Degredo, Pontal do Ipiranga, Barra Nova e Guriri, que correspondem ao Compartimento C, são compostas essencialmente por areias siliciclásticas, com eventuais aumentos nos teores de carbonato nas isóbatas de 5 e 10 m (Figura 22). Os maiores valores registrados de bioclastos foram de 30,40% e 31,66% na isóbata de 10 m nas praias de Pontal do Ipiranga e Guriri na campanha de abril de 2019. Os principais grãos bioclásticos identificados foram moluscos, algas articuladas e equinodermas (Figura 23 e Figura 24 A). Este compartimento inclui as praias com os maiores teores de minerais pesados (Figura 22), observados principalmente nas areias superficiais e subsuperficiais da berma e em pontos ao longo da antepraia. O valor máximo de 94,21% foi observado na praia de Degredo em abril de 2019, na trincheira da berma, situação explicada pelo recuo da praia após a ocorrência de uma tempestade tropical, e posterior deposição dos sedimentos leves (Figura 27 C). Os principais minerais pesados identificados foram os anfibólios, minerais opacos, silimanitas e cianitas (Figura 24 B e Figura 25).

As areias da praia emersa são compostas predominante por areias médias a finas (Figura 22), no entanto eventualmente foi observado o engrossamento das areias da berma e da face inferior. Na praia de Degredo, areias grossas a muito grossas foram observadas na berma superficial e na face inferior durante a campanha de abril de 2019. De maneira geral, as areias da antepraia foram classificadas como areias finas a muito finas (Figura 22) e, com exceção da praia de Barra Nova, foram observados elevados teores de lama nas isóbatas de 10 m (26,17% a 99,52%) (Figura 22). Nas amostras lamosas, o teor de matéria orgânica total variou entre 1,22% e 12,05%, com os maiores valores observados na praia de Pontal do Ipiranga e associados aos maiores teores de lama (Figura 26).

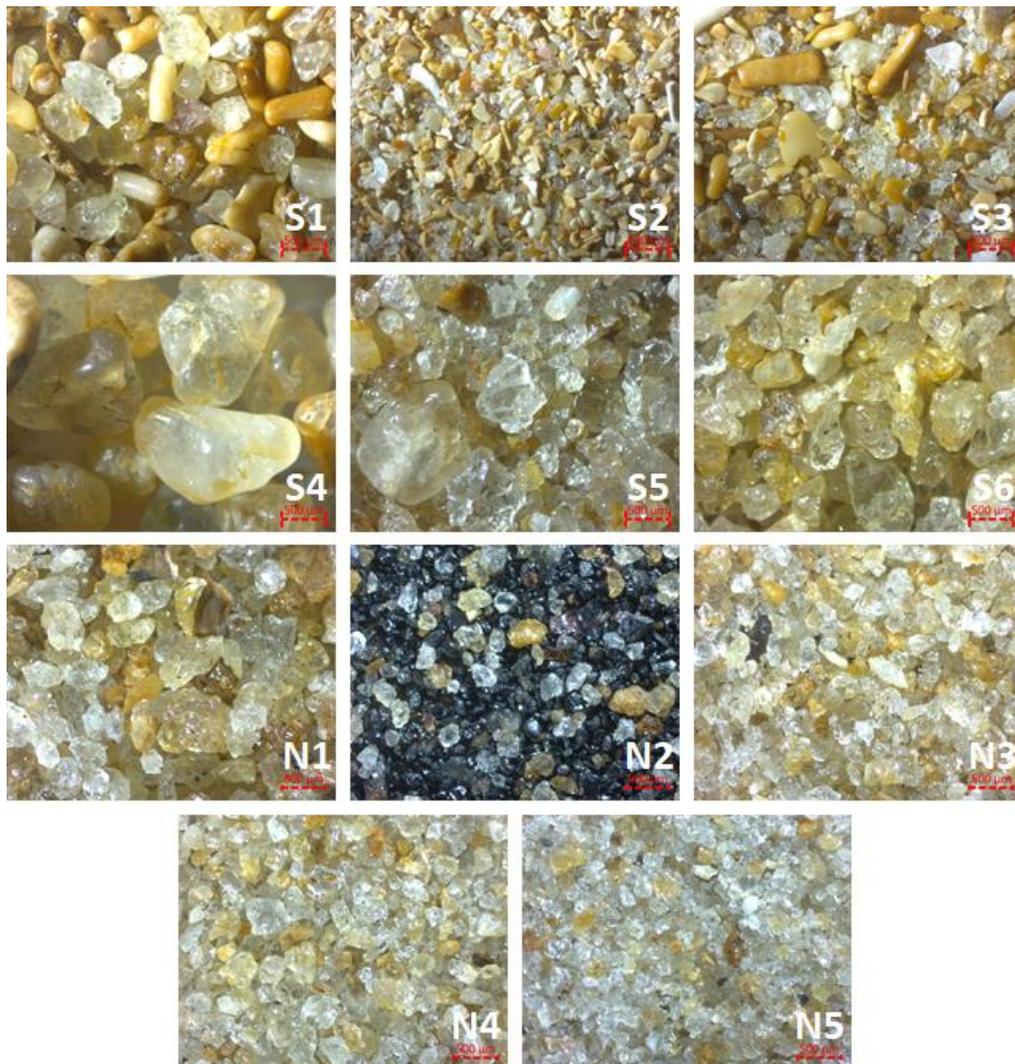
Os grãos de quartzo apresentaram grau de arredondamento anguloso e sub-anguloso (52,54% a 92,67%) e em menor ocorrência arredondado e sub-arredondado (6,33% a 44,09%).

3.1.3.2 Caracterização transversal e longitudinal da área de estudo

As características sedimentológicas ao longo da área de estudo refletem as diferentes fontes dos sedimentos, assim como as diferentes associações morfodinâmicas e/ou granulométricas. De maneira geral, as praias do Compartimento A apresentaram areias carbonáticas médias a grossas, enquanto que no Compartimento B, mais exposto, observou-se o engrossamento das areias (Figura 28). O Compartimento C, por sua vez, caracterizou-se pelo afinamento dos sedimentos, classificados como areias médias a finas com eventuais deposições de lama na antepraia (Figura 28 e Figura 29).

O aporte lamoso do rio Doce é observado na antepraia ao norte da desembocadura devido à carga fluvial e deriva litorânea que atua preferencialmente para norte neste trecho do litoral (Oliveira et al., 2015). A presença de lamas isoladas entre as rugosidades dos terraços também é observada no Compartimento A, provavelmente associada às cargas de estuários próximos (Figura 30).

Figura 28: Variação granulométrica e composicional das areias das praias ao longo da área de estudo.

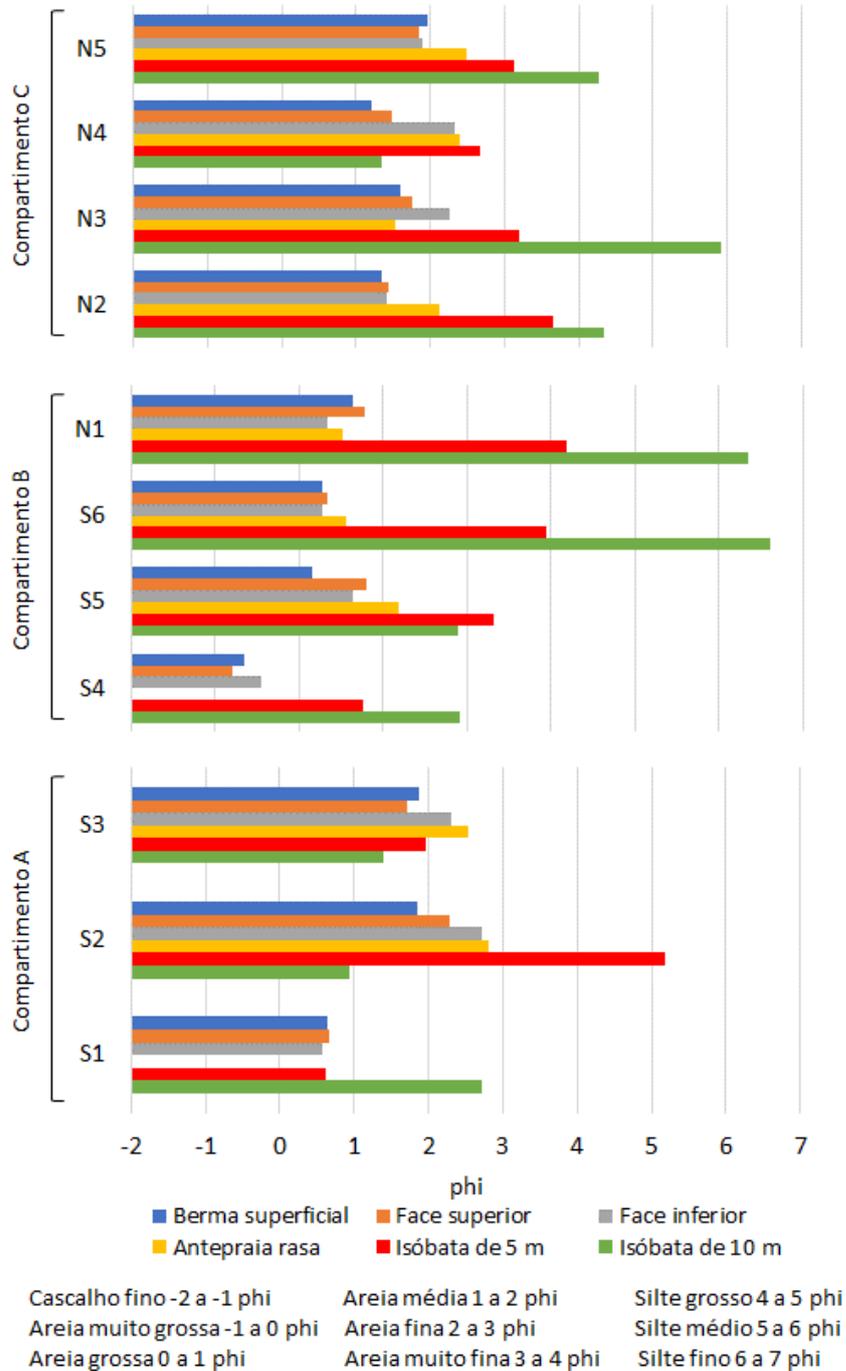


Segundo Wright (2012), a deposição e o aprisionamento de sedimentos lamosos próximos à costa dependem parcialmente de altas taxas de aporte de material em suspensão somadas às características de trajetória e mistura das plumas. Fluxos gravitacionais e componentes de transporte em direção à costa também são essenciais para a manutenção de sedimentos finos junto à costa (Wright & Nittrouer, 1995). A presença de lama na antepraia inferior dos perfis topobatimétricos segue o padrão de distribuição de lamas na região da plataforma continental adjacente à foz do rio Doce, reportado por Quaresma et al. (2015). Neste sentido, teores de lama mais elevados (>75%) ocorrem ao sul da desembocadura do rio Doce, enquanto depósitos lamosos mais distantes, ao norte da foz, apresentam teores entre 50% e 75%.

O padrão transversal ao longo dos perfis praias não obedece ao modelo dos padrões hidrodinâmicos de espreadimento. Segundo Komar (1983), ao longo de um perfil, os sedimentos mais grossos devem ser encontrados nas proximidades das subestações face interior e antepraia rasa, devido à maior

turbulência hidrodinâmica (espraiamento das ondas, desenvolvimento de degrau e refluxo das ondas). Em direção à berma e à antepraia, a dissipação energética das ondas é responsável pelo consequente afinamento das areias nos dois extremos do perfil praiial.

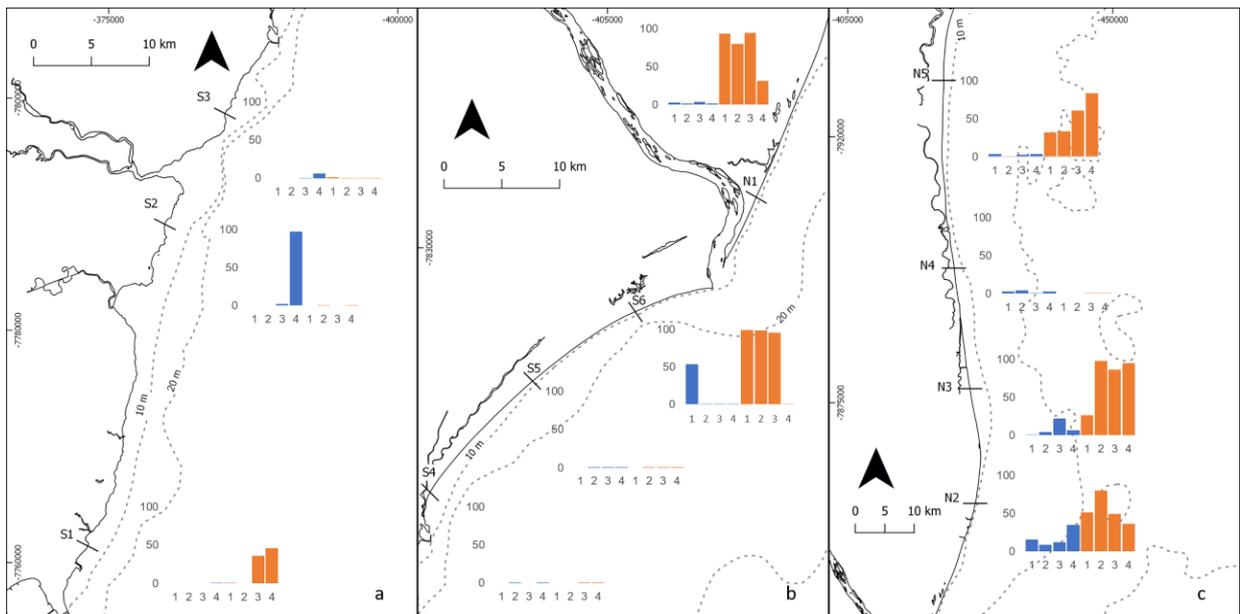
Figura 29: Variação granulométrica média das areias ao longo das estações amostrais e das subfeições praiais.



Nas praias do Compartimento A, os terraços de abrasão geram a tipologia praiial de terraço de baixa mar. Consequentemente, a berma é alcançada na preamar ou sob condições de intensificação do nível

do mar (Albino e Oliveira, 1995) proporcionando a deposição de areias mais grossas nesta feição (Figura 29). De acordo com o comportamento médio observado, verificou-se este padrão ou uma pequena zonação, provavelmente associado aos frequentes processos de inundação da praia por atuação de *run-ups* mais altos que a berma (Figura 13).

Figura 30: Distribuição dos teores de lama nas isóbatas de 5 m (colunas em azul) e 10 m (colunas em laranja) nas quatro campanhas amostrais. (1) setembro e (2) dezembro de 2018 e (3) abril e (4) julho de 2019. (a) Compartimento A; (b) Compartimento B; (c) Compartimento C. O aporte potencial de lama é verificado nas proximidades e ao norte da desembocadura fluvial.



Em contrapartida, nos perfis dos Compartimentos B e C, a ausência do padrão poderia também ser explicada pelos processos de inundação, recorrentes em algumas estações (Figura 13) Contudo, deve-se considerar ainda a troca transversal de sedimentos entre a face, bancos e antepraia, caracterizados por areias mais finas e presença de lama, depositada na antepraia pelo aporte atual do rio Doce. A presença destas frações ao longo do perfil afina os sedimentos desde a face superior (espraiamento mais frequente) até a antepraia (Figura 29). Por equilíbrio morfológico, como sugerido por Bascom (1951), este afinamento das areias é responsável pelo aplainamento da antepraia (Figura 17).

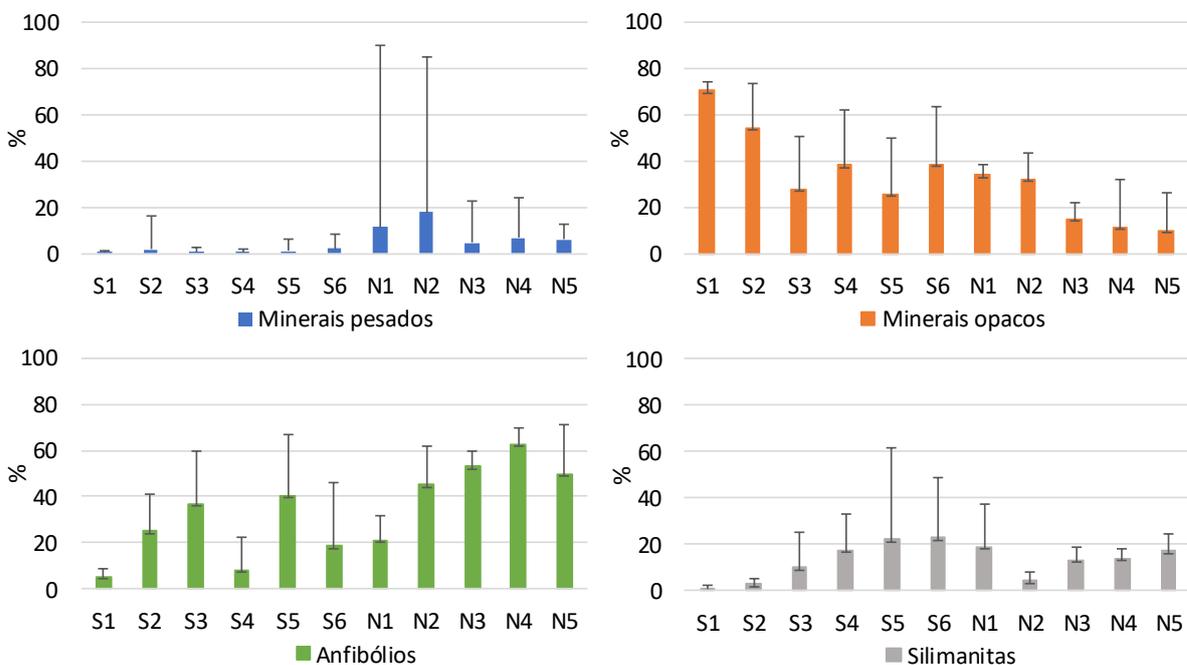
Ao longo da área de estudo, os grãos de quartzo apresentaram grau de arredondamento anguloso ou sub-anguloso e, em menor frequência, arredondado ou sub-arredondado. A praia de Barra do Riacho, contudo, apresentou um aumento relativo de grãos arredondados e sub-arredondados, representando, assim, o limite entre os compartimentos das praias associadas aos terraços de abrasão e das praias influenciadas pelo aporte do rio Doce.

As maiores concentrações de minerais pesados ao longo das praias em estudo foram observadas na berma e na face da praia após períodos de intensificação das ondas e consequente recuo do perfil praiar. Sob essas condições, os minerais leves são preferencialmente mobilizados e transportados,

justificando o predomínio dos minerais pesados. Os principais minerais pesados identificados indicam aporte do rio Doce, com maior contribuição para as praias ao norte da desembocadura em função da deriva litorânea (Figura 31). Observou-se, entre os minerais pesados, a predominância de opacos, minerais mais densos (densidade variando entre 4,1 e 5,3), nos dois compartimentos mais ao sul. Estes minerais são substituídos pelos anfibólios no compartimento ao norte, uma vez que estes apresentam potencialmente condições de transporte mais longo pelas correntes litorâneas em função de sua menor densidade (2,9 a 3,4).

Figura 31: Teores médios (barras) e máximos (linhas) dos principais minerais pesados identificados nas praias em estudo.

Predominância de anfibólios, em sua maioria hornblendas, em relação às silimanitas indica o transporte preferencial em direção ao norte ao mesmo tempo que, devido sua instabilidade mineralógica, reflete aporte recente do rio Doce nas praias ao norte da desembocadura. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



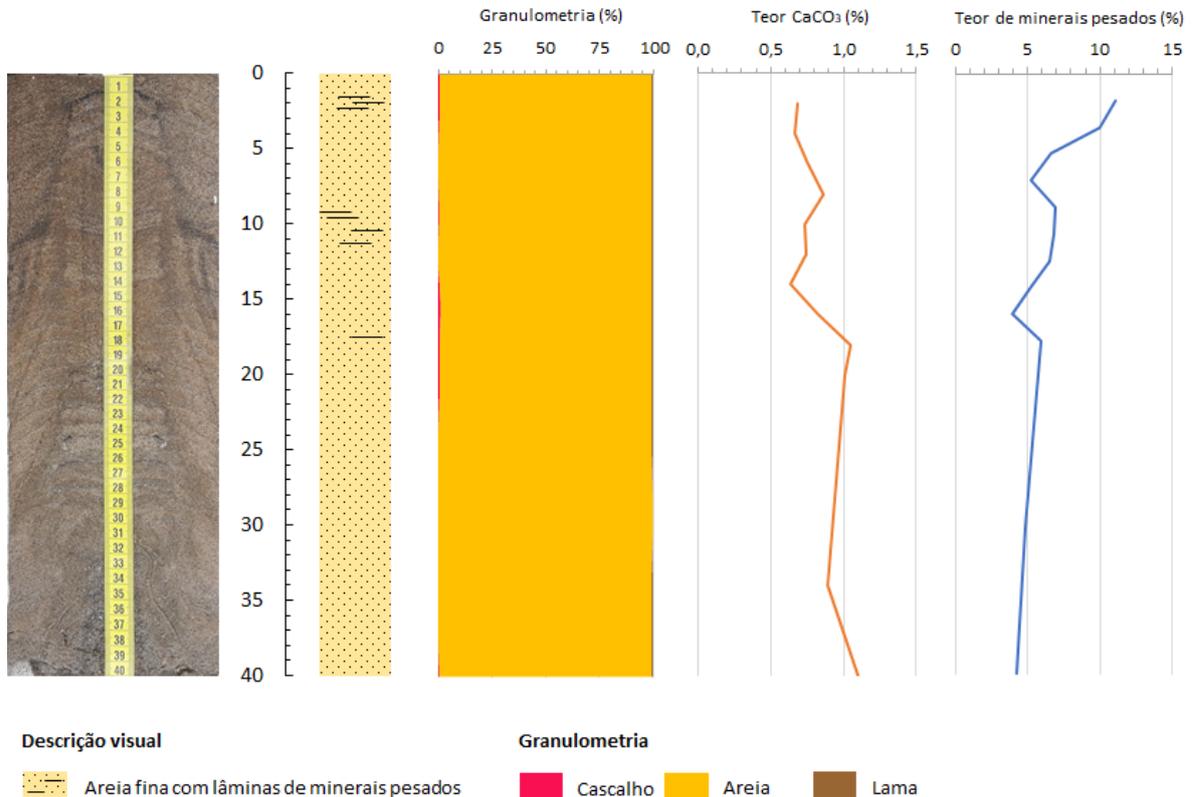
Ainda, a predominância de anfibólios verdes, em sua maioria hornblendas, em comparação à presença de silimanitas, indica o transporte preferencial pela deriva litorânea em direção ao norte, ao mesmo tempo que, devido sua instabilidade mineralógica, reflete aporte recente do rio Doce (Figura 31). Nas praias associadas aos terraços de abrasão as maiores concentrações de minerais opacos podem ser associadas às lateritas que são fontes de minerais como a hematita e a goethita (Figura 31).

3.1.3.3 Caracterização dos testemunhos

A Figura 32 apresenta a descrição visual, bem como a caracterização granulométrica e composicional do testemunho coletado ao sul da desembocadura do rio Doce, a 11 m de profundidade no alinhamento

da estação S6 Regência. O testemunho obteve 40 cm de recuperação e apresentou visualmente um perfil homogêneo composto por areias finas com lâminas de minerais pesados (Figura 32).

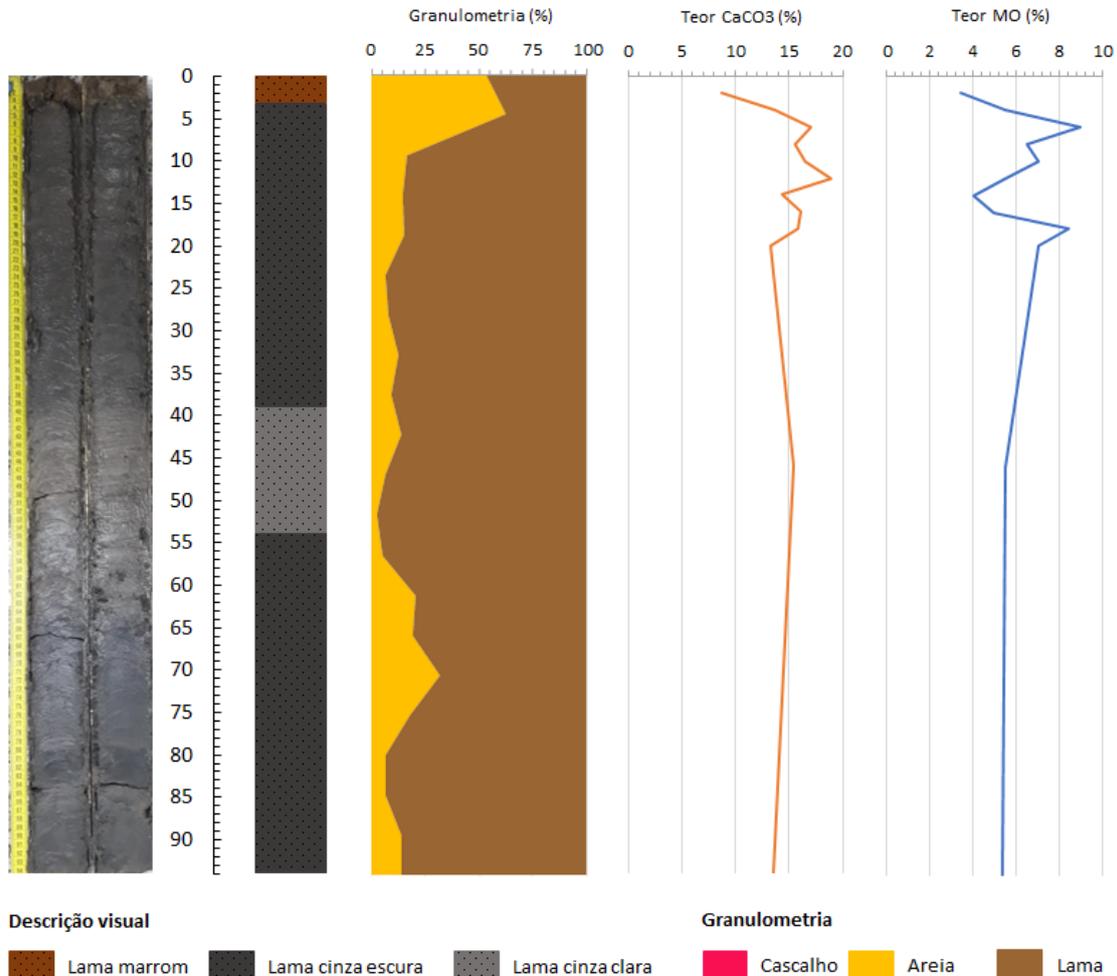
Figura 32: Descrição visual e caracterização granulométrica e composicional do testemunho coletado ao sul da desembocadura do rio Doce a 11 m de profundidade no alinhamento da estação amostral S6 Regência.



As areias apresentaram composição siliciclástica e teores de minerais pesados variando entre 3,93% e 11,08%, com os maiores valores observados em superfície (0 a 4 cm) (Figura 32). Os principais minerais pesados identificados foram os anfibólios e os minerais opacos, seguidos pelas silimanitas, turmalinas e cianitas. Com relação à granulometria, as areias foram classificadas como areias finas (2,420 a 2,701 phi), com teor de lama inferior a 1,5%.

A Figura 33 apresenta a descrição visual, bem como a caracterização granulométrica e composicional do testemunho coletado ao norte da desembocadura do rio Doce, a 12 m de profundidade na estação amostral N1 Povoação. O testemunho obteve 94 cm de recuperação e a descrição visual mostrou a presença de lama marrom com grãos de mica entre 0 e 3 cm, lama cinza escura de 3 a 39 cm, seguida por uma lama cinza clara com grãos de mica entre 39 e 54 cm e lama cinza escura de 54 a 94 cm (Figura 33).

Figura 33: Descrição visual e caracterização granulométrica e composicional do testemunho coletado ao norte da desembocadura do rio Doce a 12 m de profundidade no alinhamento da estação amostral N1 Povoação.



Os sedimentos apresentaram composição essencialmente siliciclástica, contudo teores de carbonato de 8,72% a 18,86% foram observados ao longo do testemunho, com os maiores valores no topo entre 6 e 18 cm (Figura 33). Com relação à granulometria, os sedimentos foram classificados como silte médio a muito grosso (4,196 a 6,319 phi), com teores de lama variando entre 37,66% a 98,16% e matéria orgânica entre 3,40% a 8,96% (Figura 33). Os maiores teores de lama foram observados entre 4 e 35 cm e 69 a 90 cm e os maiores valores de matéria orgânica foram observados em superfícies entre 5-6 cm e 17-18 cm (Figura 33).

3.2 GEOQUIMICA

Para melhor avaliação dos resultados, inicialmente, foi verificado, a partir da análise de variância, que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) nas concentrações dos elementos químicos nos sedimentos

subsuperficiais da berma. Desta forma, para a discussão dos resultados será considerada apenas a concentração encontrada na berma superficial (BS) para todas as estações e campanhas amostrais.

3.2.1 Geoquímica dos Compartimentos A, B e C

O estudo geoquímico foi realizado inicialmente avaliando a distribuição dos elementos químicos nos três compartimentos estudados. Esse estudo é relevante para avaliar de que forma as estações amostrais se relacionam entre si, quer seja por similaridade de composição química, quer seja pela influência do rio Doce sobre a distribuição dos elementos químicos no perfil praiial.

Considerando a grande quantidade de dados obtidos e objetivando uma melhor avaliação geoquímica, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) com as concentrações dos elementos químicos nas amostras coletadas nas diferentes estações amostrais durante o primeiro ano de monitoramento. A avaliação da composição química nos diferentes compartimentos foi realizada separadamente para as amostras da praia emersa, incluindo a antepraia rasa, e para as amostras da praia submersa (I5 e I10). Esta estratégia de avaliação fez-se necessária, uma vez que a praia emersa e a antepraia rasa são mais expostas aos processos de mobilidade e transporte, enquanto que nas isóbatas de 5 e 10 m o ambiente apresenta características mais deposicionais, com tempo de resposta mais lento.

Antes da construção do modelo PCA os dados foram auto escalonados pois as variáveis que compõem a matriz de dados possuem diferentes ordens de grandeza. Na PCA, a matriz X é decomposta em duas novas matrizes: scores (T) contendo informação sobre o modo das amostras e *loading* (P) contendo informação sobre o modo das variáveis, segundo a Equação 1:

$$X_{(n,m)} = T_{(n,h)} P^T_{(h,m)} + E_{(n,m)}$$

Equação 1

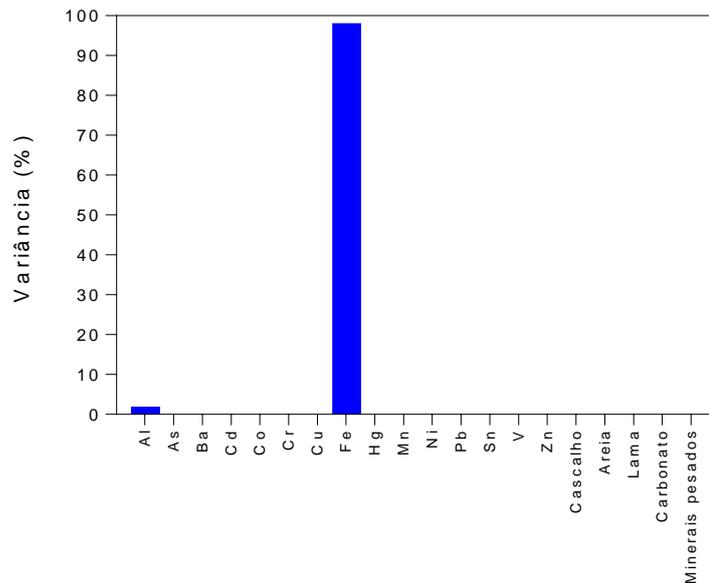
onde h corresponde ao número de componentes principais necessários para explicar a informação relevante da matriz X . Assim o produto $T_{(n,h)} P^T_{(h,m)}$ contém informação de interesse do conjunto de dados enquanto que a parte residual (informação irrelevante) está contida na matriz $E_{(n,m)}$ (Wold et al, 1987).

3.2.1.1 Avaliação quimiométrica para os dados obtidos para a praia emersa e antepraia rasa

A redução na dimensão dos dados pela PCA foi realizada pela maximização da variância da matriz de dados $X_{(n,m)}$, formada por $n=155$ amostras coletadas na berma, face superior, face inferior e antepraia rasa das estações amostrais durante o primeiro ano de monitoramento do PMBA e $m=20$ variáveis (concentração dos elementos e a composição física sedimento).

Neste estudo foram escolhidas as duas primeiras componentes principais, que representaram juntas aproximadamente 50% da variabilidade total dos dados. A Figura 34 apresenta as variáveis de maior relevância para a análise de componentes principais, e como pode ser observado Fe e Al se sobressaem em relação às outras variáveis em estudo, constituindo os principais responsáveis pela separação dos grupos.

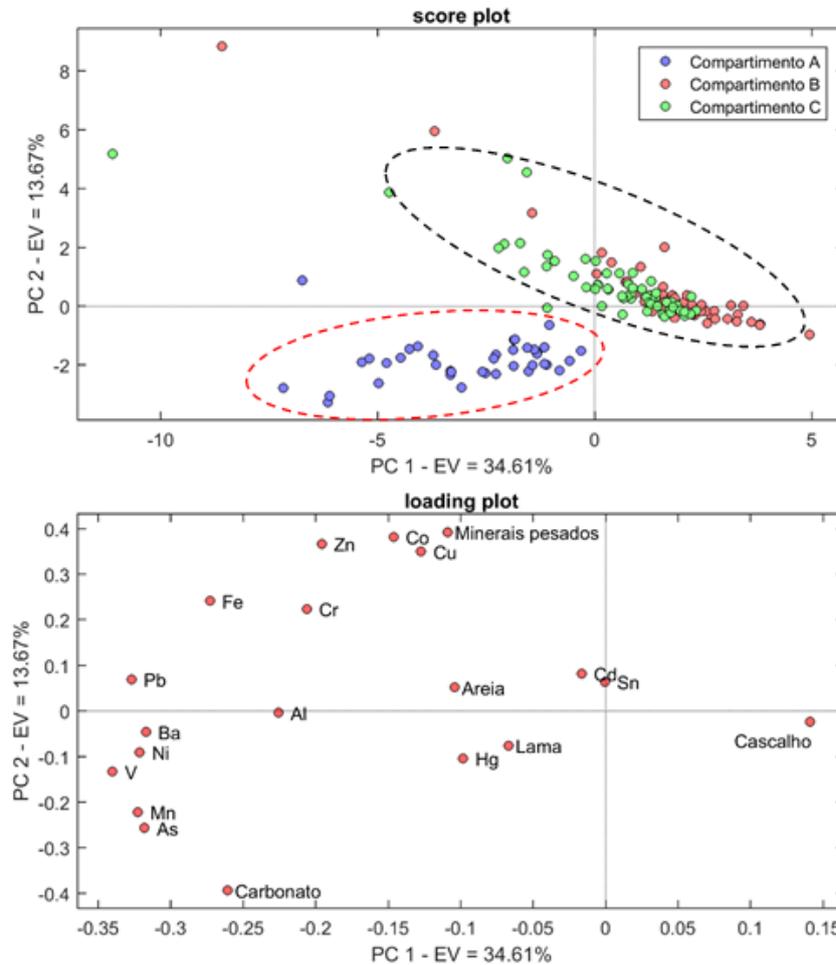
Figura 34: Contribuição percentual das variáveis para a variância do PCA para as amostras de sedimento da praia emersa e antepraia rasa.



O resultado da PCA é apresentado na Figura 35 A e pode ser verificado que as amostras coletadas no Compartimento A foram agrupadas separadamente daquelas coletadas nos Compartimentos B e C. Esse agrupamento foi influenciado, principalmente, pelas concentrações de As, Fe, Mn, Pb, V e pelo teor de carbonatos, como pode observado na Figura 35 B.

Os Compartimentos B e C, contudo, não apresentaram uma diferença significativa entre si, em relação à composição química, indicando que as estações amostrais pertencem a um mesmo grupo (planície deltaica do rio Doce). As amostras de sedimento da praia emersa e antepraia rasa dos referidos compartimentos (B e C) se caracterizaram por possuir um teor menor de As, Mn e V, principalmente. Uma diferença marcante entre o Compartimento A e os Compartimentos B e C é o teor de carbonatos que possui forte influência na geoquímica de elementos como arsênio.

Figura 35: Gráfico dos scores (A) e loadings (B) da PCA para as amostras de sedimento da parte emersa e antepraia rasa.



3.2.1.2 Avaliação quimiométrica para os dados obtidos para as isóbatas de 5 m e 10 m

Para a análise de componentes principais foi utilizado um conjunto de 83 amostras coletadas nas isóbatas de 5 m e 10 m e 19 variáveis.

Neste estudo foram escolhidas as duas primeiras componentes principais, que representaram juntas aproximadamente 73% da variabilidade total dos dados. Novamente, os elementos Fe e Al são os que apresentam as maiores contribuições para a variância total da PCA, como pode ser visto na Figura 36.

O gráfico dos *scores* indica que as praias do Compartimento A tiveram as menores concentrações dos elementos químicos na parte submersa (Figura 37), provavelmente, em função de suas características morfodinâmicas distintas em relação às praias dos demais compartimentos. No entanto, as praias dos Compartimentos B e C não foram agrupadas distintamente, indicando assim que a concentração dos elementos traço não é uma variável discriminatória para esses dois compartimentos. Ainda pode ser verificado que a concentração dos elementos varia de forma diretamente proporcional ao teor de lama encontrado na antepraia, logo, nas estações amostrais onde há um maior teor de lama, a concentração dos elementos é maior. Esse fato explica o motivo pelo qual as amostras coletadas nas isóbatas de 10

m nas estações localizadas, principalmente, ao norte da foz do rio Doce (Compartimento C) foram diferenciadas no gráfico dos scores (Figura 37).

Figura 36: Contribuição percentual das variáveis para a variância do PCA para as amostras de sedimento das isóbatas 5 m e 10 m.

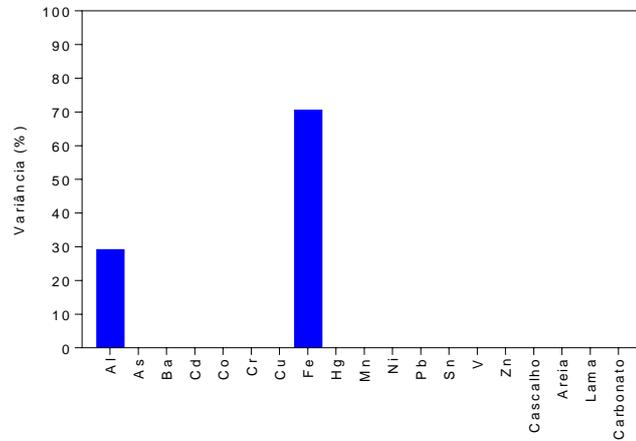
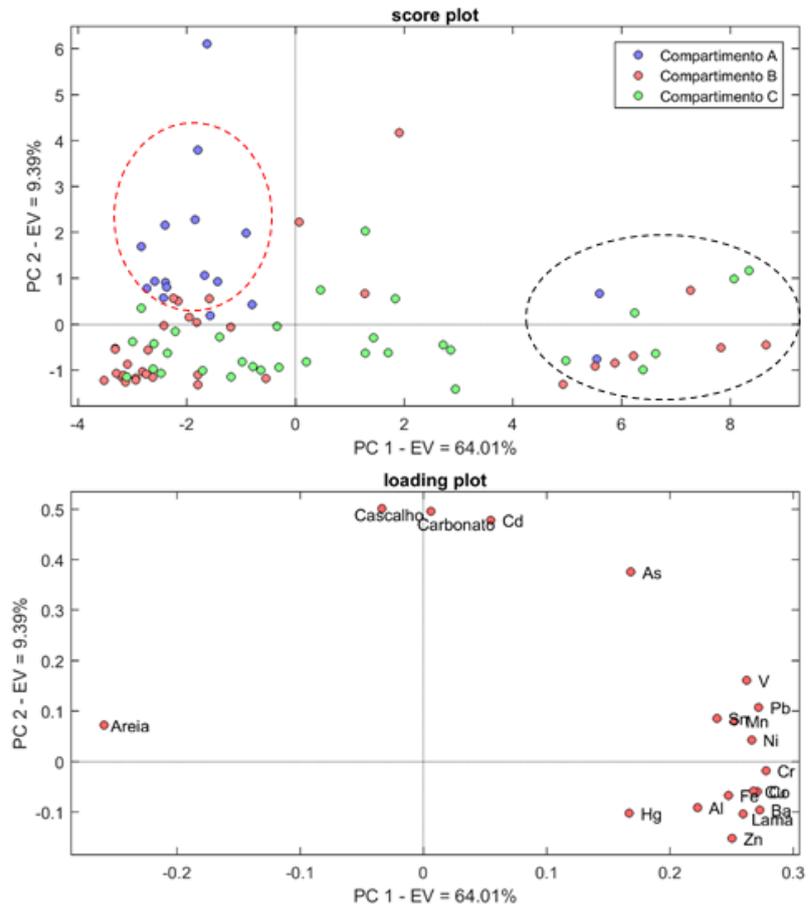


Figura 37: Gráfico dos scores (A) e loadings (B) da PCA para as amostras de sedimento nas isóbatas 5 e 10 m.



3.2.2 Distribuição espacial dos elementos ao longo das estações amostrais

A análise de componentes principais, possibilitou não apenas verificar como os compartimentos se agrupam em função das características químicas de cada estação amostral, mas também determinar quais elementos são mais representativos de cada compartimento. Dessa forma, os resultados obtidos nesse primeiro ano de monitoramento do PMBA serão discutidos no presente relatório baseando-se nas concentrações de As, Fe, Mn, Pb e V para a região emersa da praia e Al, Cr, Fe e Mn para a região submersa.

A avaliação da distribuição espacial dos elementos ao longo da costa do Espírito Santo é essencial para possibilitar inferências sobre o alcance da pluma do rejeito de minério de ferro. Por se tratar de um ambiente extremamente dinâmico, optou-se por avaliar essa distribuição espacial considerando os dois ambientes do sistema praial separadamente (praia emersa e submersa). No subtópico 3.2.2.1 serão discutidos os resultados obtidos para a porção emersa da praia e antepraia rasa, enquanto que no subtópico 3.2.2.2 serão apresentados os resultados obtidos para a porção submersa (isóbatas de 5 e 10 m).

3.2.2.1 Distribuição espacial dos elementos na parte emersa e antepraia rasa

Os resultados encontrados no primeiro ano de monitoramento e a distribuição espacial dos elementos As, Fe, Mn, Pb e V na berma das estações amostrais são apresentadas na Figura 38.

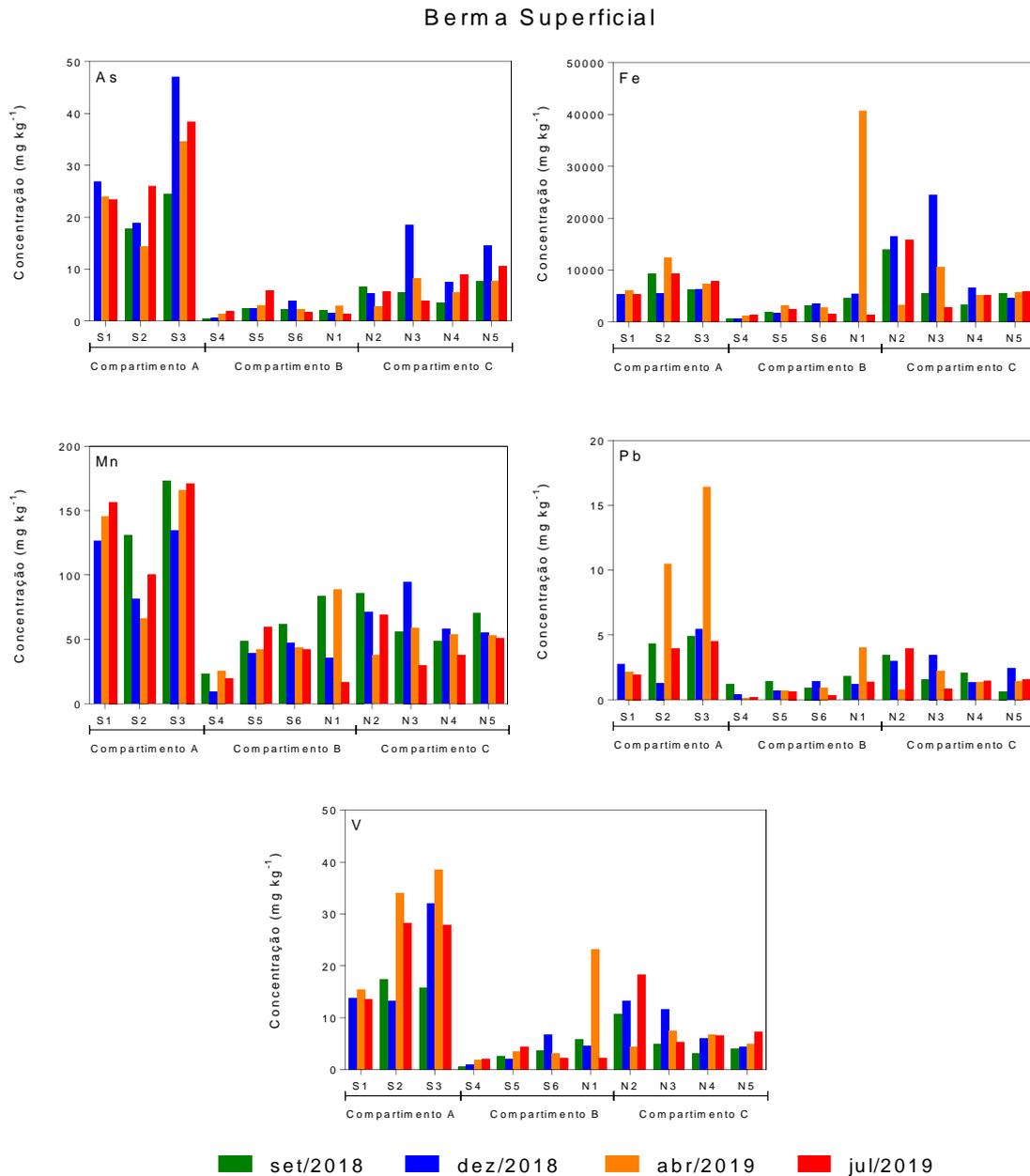
De maneira geral, as concentrações encontradas para arsênio foram significativamente maiores nas estações amostrais do Compartimento A (S1, S2 e S3). Esse comportamento, provavelmente, está relacionado à composição química do sedimento dessa estação amostral, que possui um teor de carbonatos maior do que as outras estações. De fato, há na literatura evidências de que os teores de carbonatos, Fe e Mn exercem um papel crucial na geoquímica de arsênio em praias bioclásticas (Baeyens et al., 2019; Mirlean et al., 2012). De acordo com Mirlean e colaboradores (2016), a deposição de As ocorre não somente pela adsorção desse elemento em precipitados coloidais de oxihidróxidos de ferro, mas também através da interação destes precipitados coloidais com fragmentos de algas ricas em carbonato, que aprisionam As em sua estrutura interna, principalmente por se tratar de um material poroso.

Não coincidentemente, as concentrações de Fe e Mn (Figura 38) na berma superficial apresentaram um comportamento similar ao observado para o As nas praias Mole (S1), Formosa (S2) e Putiri (S3) (Compartimento A), o que reforça a correlação positiva entre a concentração de As e as concentrações de Fe e Mn encontradas na análise de componentes principais apresentada na Figura 35

No estudo de Mirlean et al. (2012) sobre o enriquecimento de arsênio em sedimentos da costa do Espírito Santo uma das estações amostrais é geograficamente próxima à praia de Putiri. É importante ressaltar que os resultados encontrados pelos autores para amostras de sedimento coletadas na parte

emersa da praia foram de aproximadamente 31 mg kg⁻¹ para o As e 0,46% m m⁻¹ para o Fe (o que corresponde a 4600 mg kg⁻¹), resultados esses, que se encontram dentro da faixa encontrada no primeiro ano de monitoramento para As e abaixo da faixa para Fe (As: 22,8 mg kg⁻¹ a 47,1 mg kg⁻¹ e Fe 0,49% m m⁻¹ a 1,2% m m⁻¹).

Figura 38: Distribuição espacial dos elementos químicos na berma ao longo das estações amostrais.

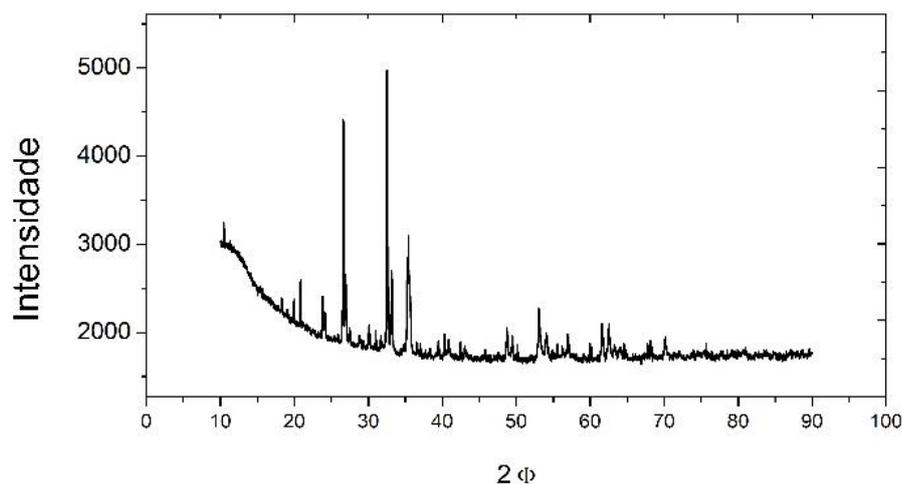


Na praia de Barra do Riacho, Estação S4, Compartimento B, observou-se uma brusca diminuição nas concentrações de todos os elementos químicos. Este fato pode ser explicado, dentre outros fatores, pelas características e propriedades físicas das areias (areia muito grossa), que muito se diferem das

areias encontradas nas praias do Compartimento A. Uma tendência de aumento acontece a partir da praia de Comboios (S5) atingindo os maiores valores nas estações amostrais próximas à desembocadura do rio Doce.

Na tentativa de obter mais informações sobre a composição das amostras de sedimento e, dessa forma, obter ferramentas para uma avaliação mais abrangente sobre a composição química do sedimento, uma amostra da berma da praia de Povoação (N1) foi analisada por difração de raios X. Os espectros obtidos são apresentados na Figura 39.

Figura 39: Espectro de difração de raios X para amostra da berma coletada em abril/2019 na praia de Povoação (N1)



Os principais minerais encontrados foram a ilmenita [FeTiO_3], a hematita [Fe_2O_3] e a magnetita [$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$]. Essa composição mineralógica encontrada explica os altos teores de Fe observados na berma. Apesar desses minerais serem frequentemente encontrados na região, a possibilidade de que exista uma contribuição antrópica, do aporte de rejeitos, não pode ser descartada.

A Figura 40 mostra a distribuição espacial de As, Mn e V, enquanto que a Figura 41 apresenta os resultados para Fe e Pb, ambas na face superior e inferior da praia.

De um modo geral, as concentrações dos elementos foram maiores para as estações S1, S2 e S3 (Compartimento A). Dentro do Compartimento B, há uma tendência no aumento dos teores dos elementos em direção ao norte. Acredita-se que o rompimento da barragem de Mariana tenha exercido significativa influência sobre a praia de Regência (S6) devido à sua proximidade com a foz do rio Doce. Os resultados obtidos para Fe nessa estação foram comparados aos resultados obtidos pela empresa Aplysia Soluções Ambientais, que realizou amostragens de água e sedimento na região da foz do rio Doce, avaliando, dentre outros parâmetros, a concentração de ferro (Aplysia Soluções Ambientais, 2016). A Aplysia realizou ao todo três campanhas, logo após a chegada da pluma do rejeito de minério de ferro na costa do Espírito Santo (nov./2015, dez./2015 e jan./2016). Os resultados encontrados por

esta empresa para ferro na face inferior da praia apresentaram valores entre 1552,8 mg kg⁻¹ e 3577,5 mg kg⁻¹.

Figura 40: Distribuição espacial de As, Mn, e V na face superior e inferior ao longo das estações amostrais.

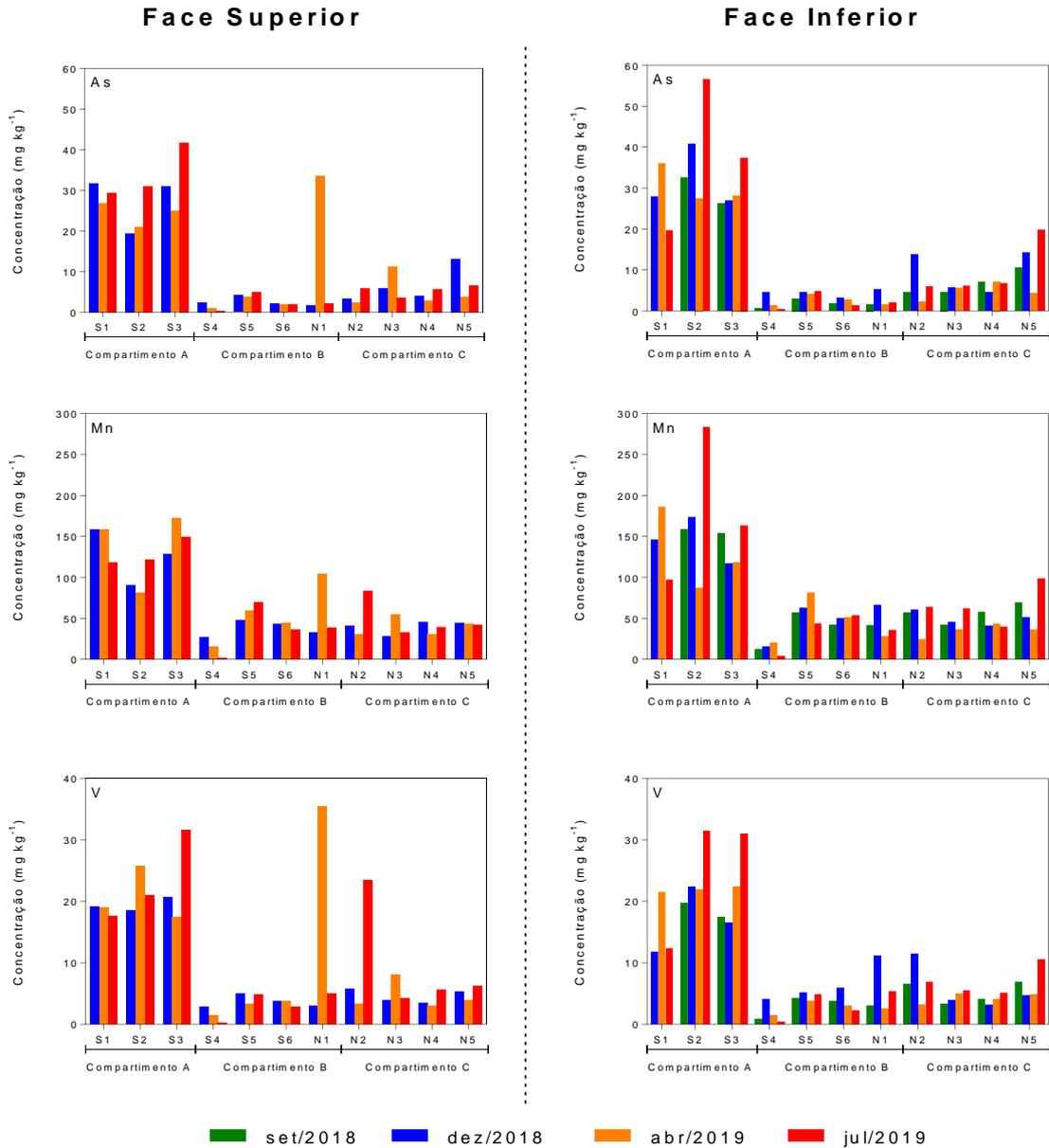
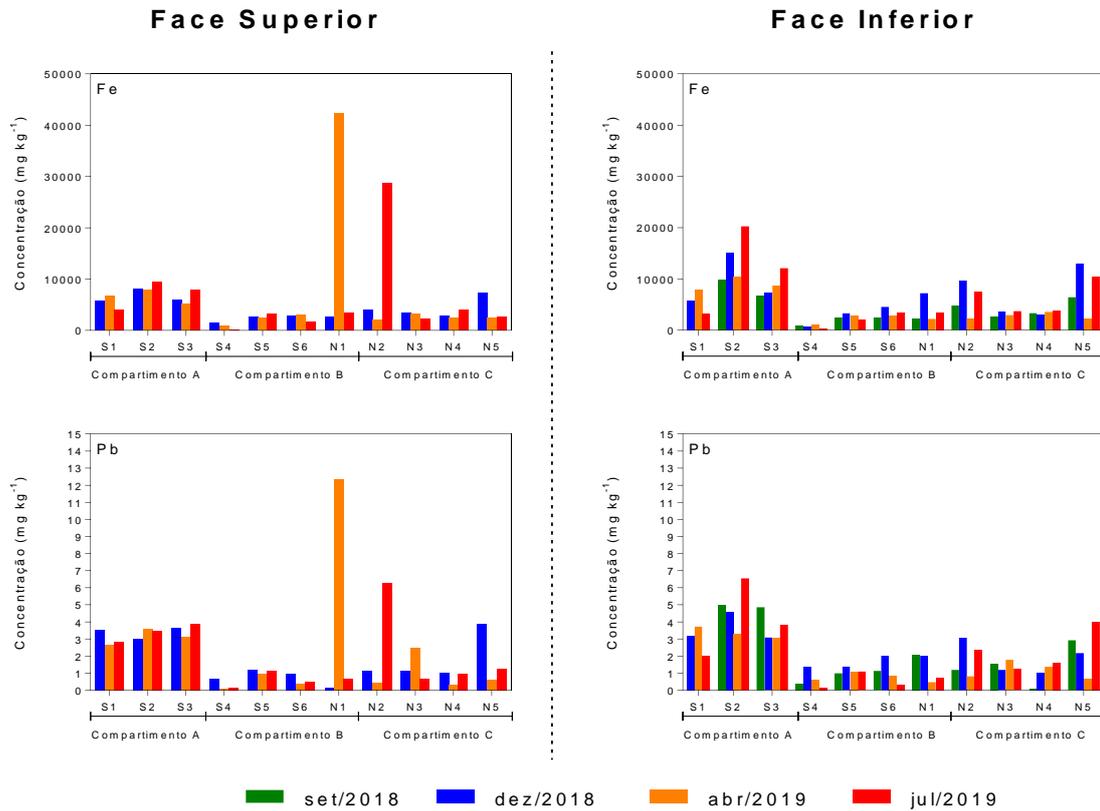


Figura 41: Distribuição espacial de Fe e Pb na face superior e inferior ao longo das estações amostrais.



A Figura 42 apresenta os resultados encontrados para Fe nas amostras coletadas na praia de Regência durante o período de monitoramento do PMBA e os resultados obtidos pela empresa Aplysia. É interessante ressaltar que a concentração de Fe em novembro de 2015 foi de aproximadamente 1553 mg kg⁻¹ aumentando para 3577,5 mg kg⁻¹ em janeiro de 2016. Decorridos aproximadamente 3 anos, a concentração de Fe chegou a 4540 mg kg⁻¹ (Figura 42). Nos meses seguintes, apesar de ser possível notar uma diminuição na concentração de ferro, os valores não se igualaram aos encontrados em novembro de 2015.

A distribuição espacial dos elementos químicos ao longo da costa do Espírito Santo na antepraia rasa é apresentada na Figura 43. Em geral, o comportamento observado para a distribuição dos elementos químicos na antepraia rasa se assemelhou ao observado para a face inferior da praia, devido à proximidade e constante troca de sedimentos entre essas duas feições.

Figura 42: Concentração de ferro (mg kg^{-1}) em amostras de sedimento da face inferior ao longo de 12 meses do PMBA (set/2018 a jul/2019) e nas amostras de sedimento coletadas pela Aplysia em nov./2015, dez./2015 e jan./2016.

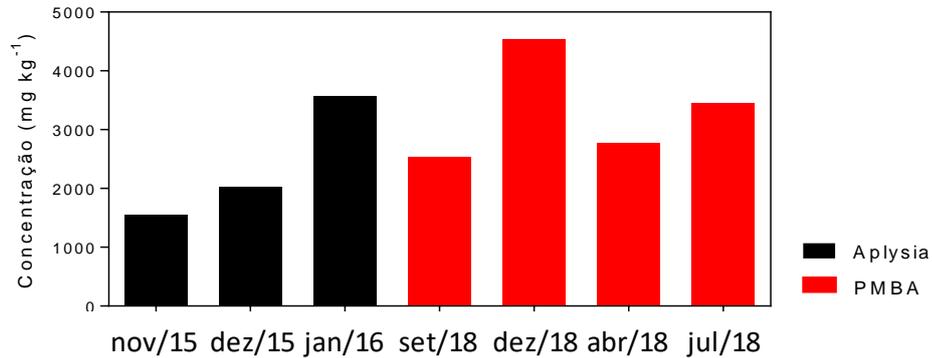
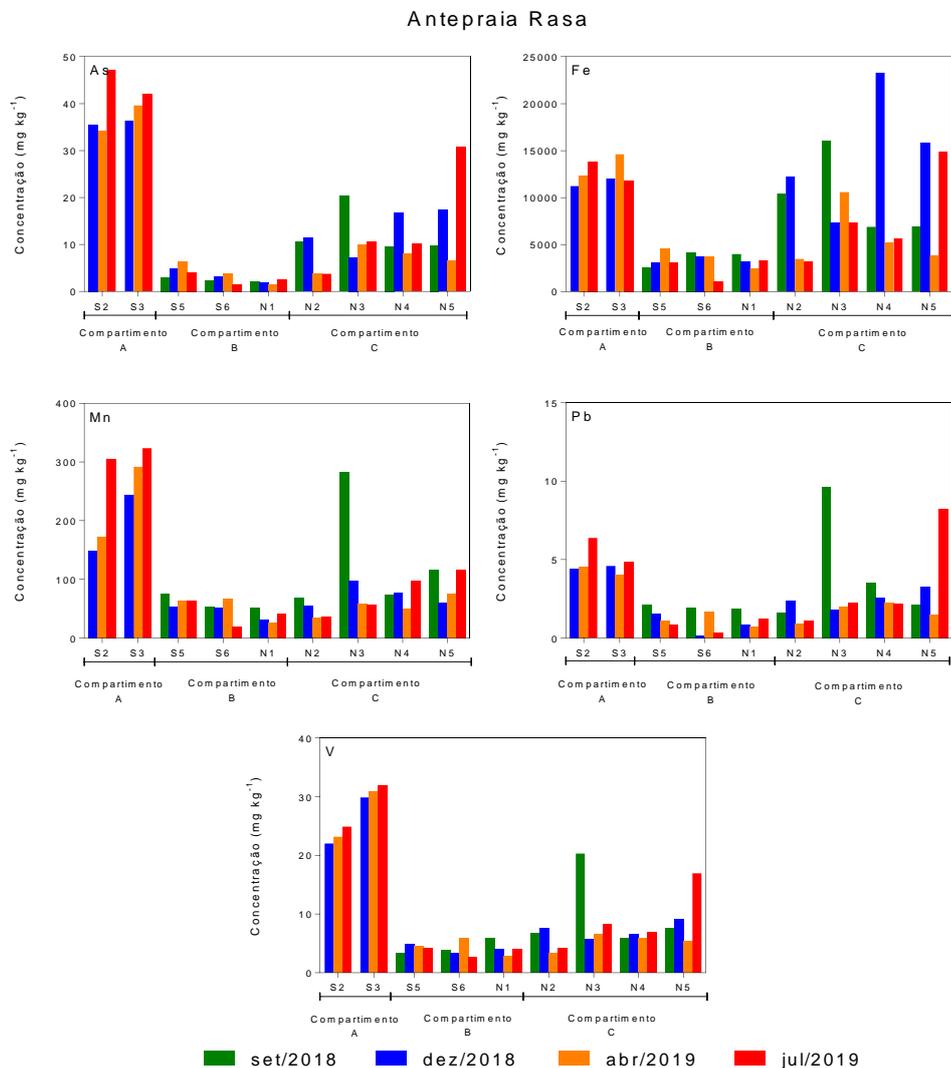


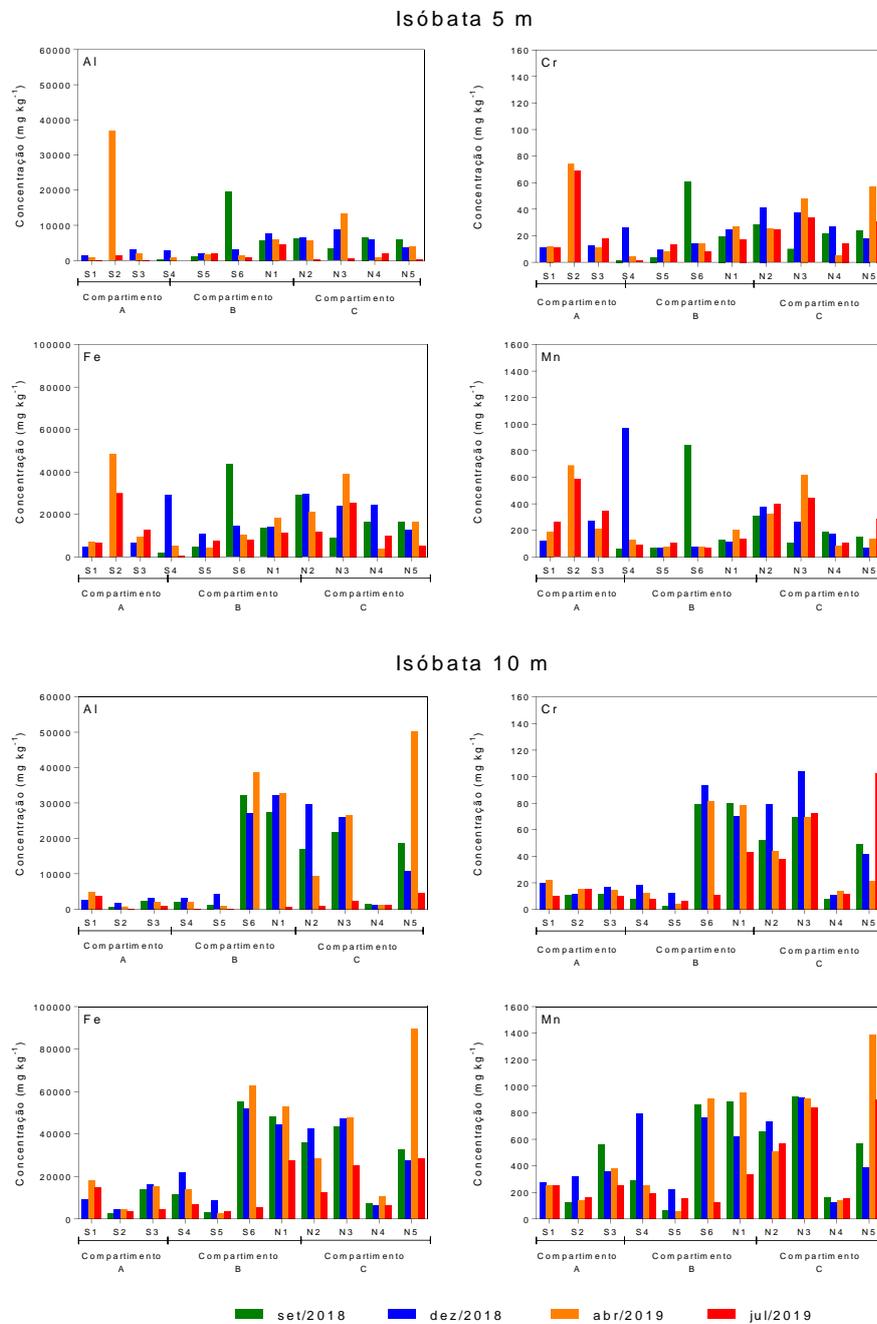
Figura 43: Distribuição espacial de As, Fe, Mn, Pb e V na antepraia rasa ao longo das estações amostrais



3.2.2.2 Distribuição espacial dos elementos nas isóbatas de 5 m e 10 m

A avaliação da distribuição espacial de Al, Cr, Fe e Mn foi realizada nas isóbatas de 5 m e 10 m (Figura 44).

Figura 44: Distribuição espacial de Al, Cr, Fe e Mn na isóбата de 5 m e isóбата de 10 m ao longo das estações amostrais.



A concentração desses elementos químicos na isóбата de 5 m não apresentou uma tendência clara de distribuição entre as estações amostrais, no entanto, vale destacar eventuais aumentos em algumas

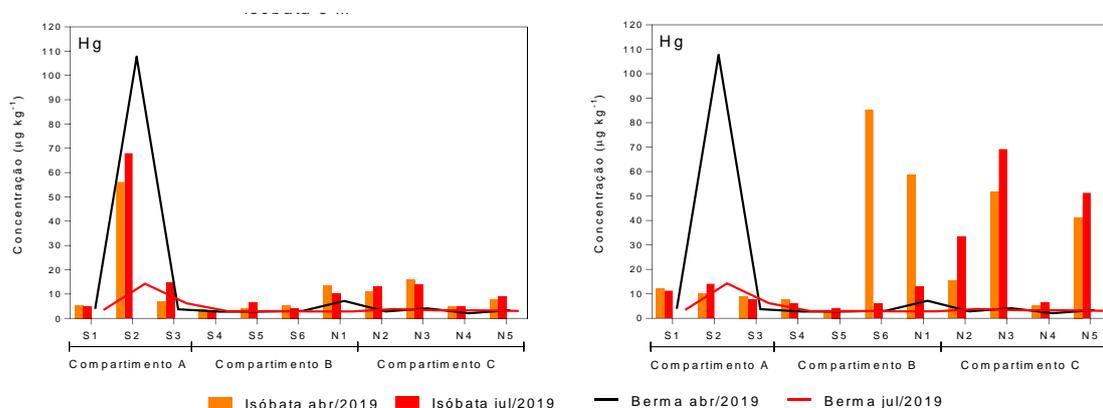
estações (S2, S4 e S6). Em 10 m de profundidade, por sua vez, o Compartimento A apresentou uma concentração significativamente menor de Al, Cr e Fe em relação aos demais compartimentos.

A concentração de Fe na isóбата de 10 m da estação amostral de Regência (S6) apresentou um valor médio de aproximadamente 56420 mg kg^{-1} , enquanto que para a estação de Comboios (S5), o teor de Fe foi de aproximadamente 4692 mg kg^{-1} . A alta concentração de ferro nas amostras de sedimento pode ser explicada por uma possível precipitação do Fe^{3+} oriundo do rio Doce na forma de oxihidróxidos de ferro ao entrar em contato com a água do mar que possui pH alcalino. O aumento na concentração desse elemento entre essas duas estações amostrais se reproduziu para praticamente todos os metais estudados. Essa tendência de aumento no teor dos metais na isóбата de 10 m, em direção ao norte a partir da praia de Regência (S6), pode estar relacionada à maior influência do aporte sedimentar do rio Doce sobre esse trecho do litoral. O material lamoso aportado pelo rio Doce é transportado de sul para norte ao longo da plataforma interna (Quaresma et al., 2015). Na antepraia, este transporte parece seguir o mesmo padrão.

Uma das principais atividades de mineração desenvolvidas em Minas Gerais, por longos anos, foi a extração e beneficiamento de ouro que utiliza mercúrio durante o processo de extração, para formação da amálgama AuHg. Desta forma, a distribuição espacial do mercúrio também foi avaliada.

De maneira geral, a concentração de Hg na isóбата de 5 m não foi superior a $10 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ (Figura 45). Contudo, na praia Formosa (S2), a concentração de Hg apresentou valores significativamente superiores aos encontrados nas demais estações amostrais, alcançando $50 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ (Figura 45). Este aumento pode estar relacionado aos maiores teores de lama observados nesta estação amostral em comparação às demais praias (Figura 22).

Figura 45: Distribuição espacial de Hg nas isóbatas de 5 m (A) e 10 m (B) e berma superficial ao longo das estações amostrais nas campanhas de abril e julho de 2019.



Na isóбата de 10 m, por sua vez, é possível observar um aumento na concentração de Hg nas estações amostrais mais próximas à foz (S6 e N1) e na margem norte do rio Doce (N2, N3, N4 e N5) (Figura 45), que caracterizam-se por uma maior influência do aporte sedimentar deste rio. Ainda é possível notar,

que a concentração de Hg na berma manteve-se praticamente constante, com picos registrados para a praia Formosa, S2 (Figura 45).

3.2.3 Influência da sazonalidade na geoquímica da praia

As características de uma praia estão sujeitas a alterações no perfil topográfico, na sedimentologia e na composição química dos sedimentos. Essas alterações podem estar relacionadas às alterações do regime de ondas, à influência da maré e/ou de condições meteorológicas adversas. Ao avaliar a concentração dos elementos durante as campanhas de setembro e dezembro de 2018, campanhas equivalentes ao período seco e chuvoso analisado por Bentos, observou-se um aumento nas concentrações de Fe na região da face praial inferior e superior. A passagem de uma tempestade tropical, no final de março de 2019, resultou em alterações significativas na composição química de algumas praias. Na campanha de abril de 2019, por exemplo, observou-se um aumento significativo da concentração de Fe na berma na praia de Povoação, N1 (Figura 38).

As estações amostrais das praias Formosa (S2) e de Putiri (S3) também apresentaram alterações significativas nas concentrações de Pb e V na berma (Figura 38) em relação às outras campanhas de amostragem. Uma explicação para as altas concentrações desses elementos na berma das praias Formosa, Putiri e Povoação é a possível inundação da praia em função das ondas mais altas do período.

3.2.4 Avaliação da distribuição dos elementos ao longo do perfil transversal das estações amostrais

Com o intuito de verificar a possibilidade de os contaminantes atingirem a berma da praia foi realizada a caracterização da distribuição transversal dos elementos químicos ao longo das feições praiais. Considerando que cada um dos três compartimentos possui características distintas, neste relatório a distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil praial será apresentada para as estações amostrais consideradas, no geral, representativas de cada compartimento.

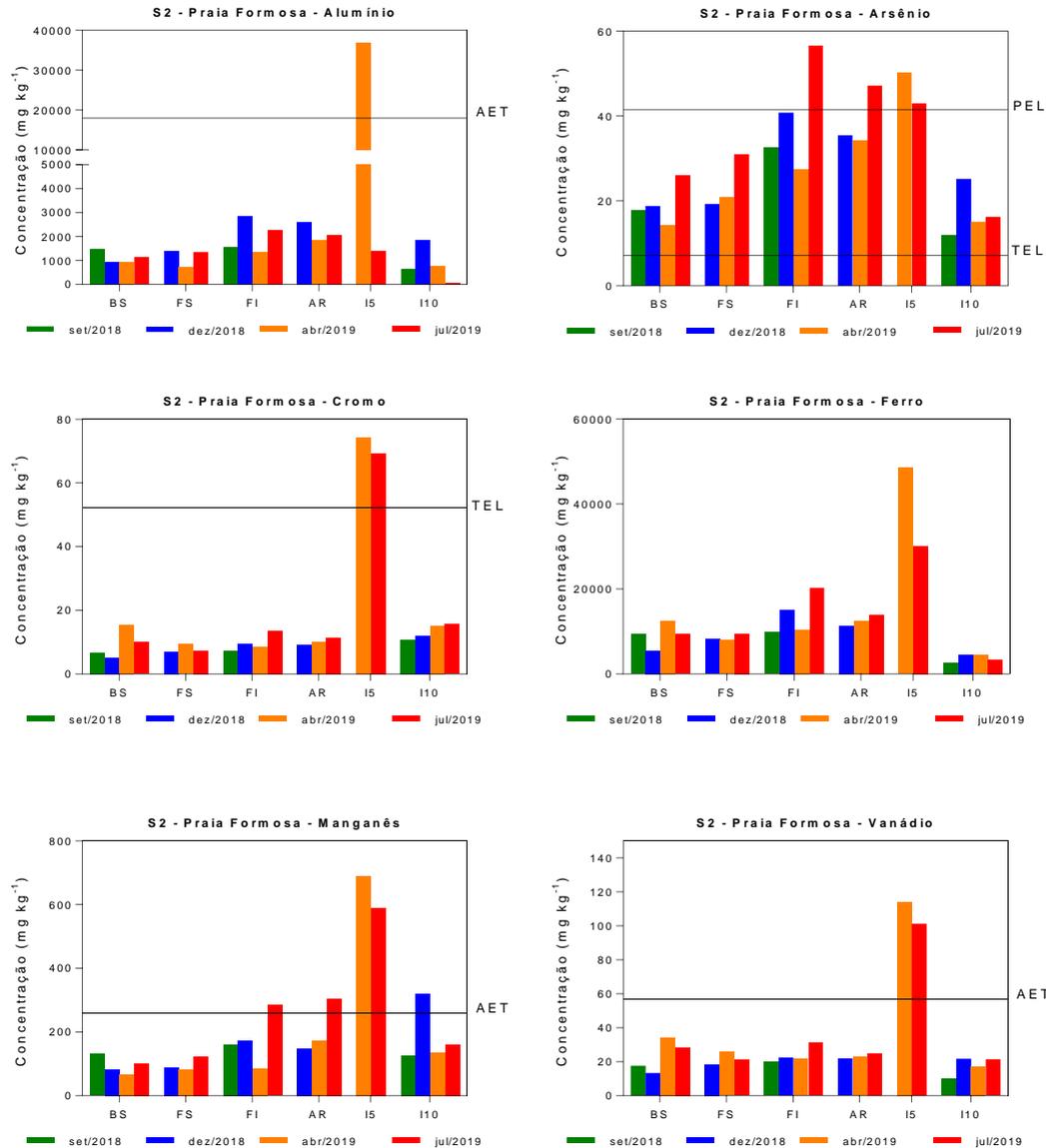
3.2.4.1 Estação amostral de Praia Formosa (S2) – Compartimento A

Os resultados obtidos para a concentração de Al, As, Fe, Mn e V ao longo do perfil transversal da praia Formosa se encontram na Figura 46.

Os maiores teores de metais foram encontrados na isóbata de 5 m, onde foi verificada alta deposição de lama, o que corrobora a associação entre os metais e a fração lamosa. Os teores encontrados para os elementos Al, Cr, Fe e Mn na isóbata de 5m são, respectivamente, 47x, 5x, 10x e 4x mais altos do que os observados na isóbata de 10 m, onde os sedimentos são arenosos e carbonáticos.

Ressalta-se ainda que, nas campanhas de setembro e dezembro de 2018, não foi possível realizar a amostragem nas isóbatas de 5 m, em função do fundo formado por terraços de abrasão sem cobertura sedimentar. Na isóбата de 10 m, por sua vez, através de inspeção visual das amostras coletadas, pôde-se constatar que o fundo era composto majoritariamente por material carbonático.

Figura 46: Distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil transversal da praia Formosa.



Em continuidade ao perfil praiar, as maiores concentrações dos diversos metais foram encontradas na face inferior e na antepraia, quando comparados aos teores observados na berma e na face superior, provavelmente devido à influência do espriamento das ondas.

As maiores concentrações dos metais na face praial foram encontradas na campanha de julho, quando se observou ainda as mais altas concentrações de lama na isóbata de 5 m, evidenciando assim a troca transversal de sedimentos entre a praia emersa e a antepraia. Contudo processos de inundação mais intensos podem justificar a alta concentração de Hg encontrada na berma durante a campanha de abril de 2018, realizada após a passagem da tempestade tropical (Figura 45).

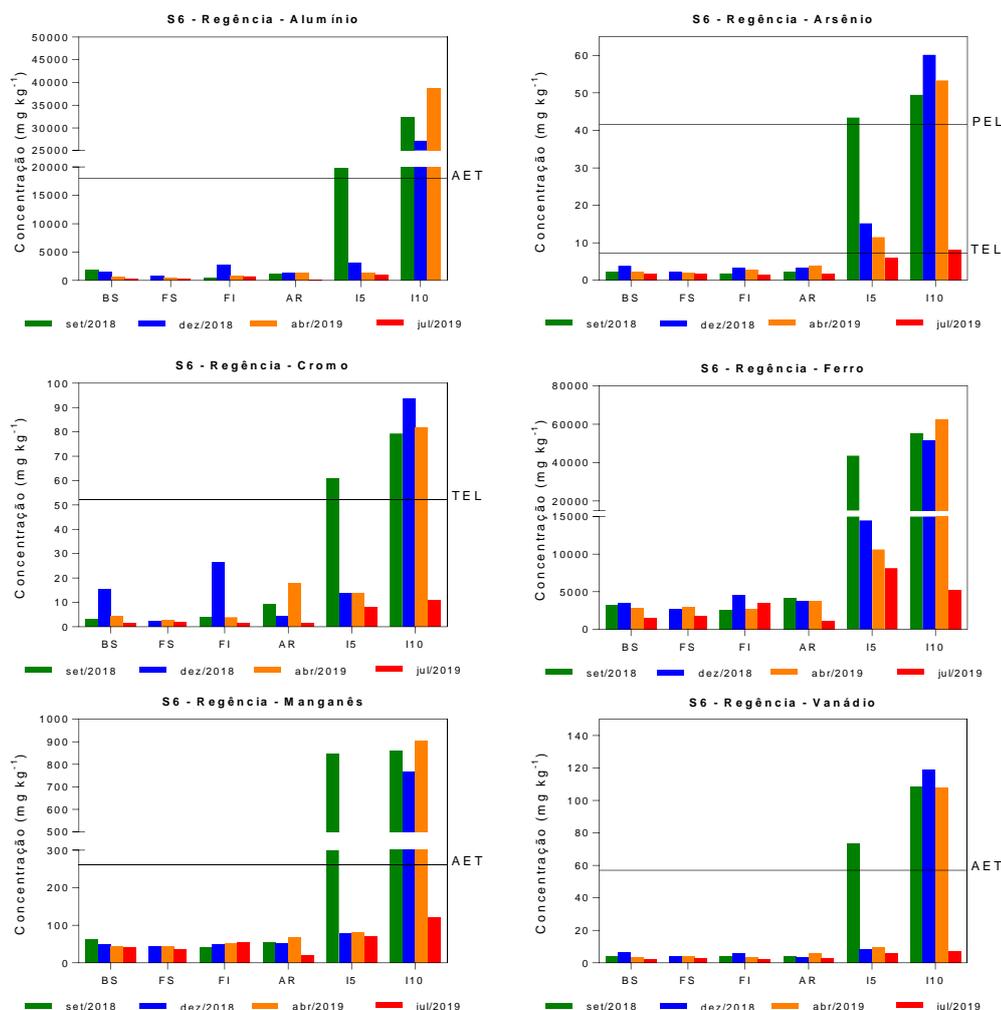
A concentração de alguns elementos químicos ultrapassou os limites de qualidade de sedimentos TEL, PEL e AET (Figura 46). Os teores de arsênio foram superiores ao valor de TEL em todos os pontos amostrais ao longo do perfil praial. Na face inferior, antepraia rasa e isóbata de 5 m este elemento apresentou concentrações maiores do que o valor de PEL. A maior contaminação foi observada na profundidade de 5 m. Nesse ponto, os elementos Al, As, Cr, Mn e V apresentaram concentrações fora dos padrões considerados seguros para a biota.

3.2.4.2 Estação amostral de Regência (S6) – Compartimento B

Os resultados obtidos para a concentração de Al, As, Cr, Fe Mn e V ao longo do perfil transversal da estação amostral de Regência, representativa do Compartimento B, se encontram na Figura 47. Essa estação, localizada próxima à foz do rio Doce, está mais sujeita ao aporte de sedimentos do rio.

Pôde-se observar que a concentração de As, Fe, Mn e V ao longo da praia emersa, incluindo a antepraia rasa, se manteve razoavelmente constante, tendo um aumento significativo nas isóbatas de 5 m e 10 m. Isso acontece, pois nesses locais há uma menor influência das ondas e, conseqüentemente, maior deposição dos sedimentos e retenção dos elementos. Os elementos Al, As, Mn e V apresentaram concentrações que ultrapassaram os valores de AET, TEL e PEL indicando que, provavelmente, o acidente de rompimento da barragem de Mariana exerceu uma influência significativa sobre essa estação amostral. Os elementos Al e Cr também tiveram um aumento de concentração nas isóbatas. Porém, na praia emersa foi observada uma variação na concentração desses elementos de acordo com a campanha de amostragem. Na campanha de dezembro de 2018, esses elementos apresentaram uma concentração superior na face inferior o que pode evidenciar uma troca transversal entre a antepraia e a praia emersa, bem como uma influência do período de maior vazão do rio Doce observado neste período (ver Anexo 3 / Dulcícola) característico do período chuvoso.

Figura 47: Distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil transversal da estação de Regência.



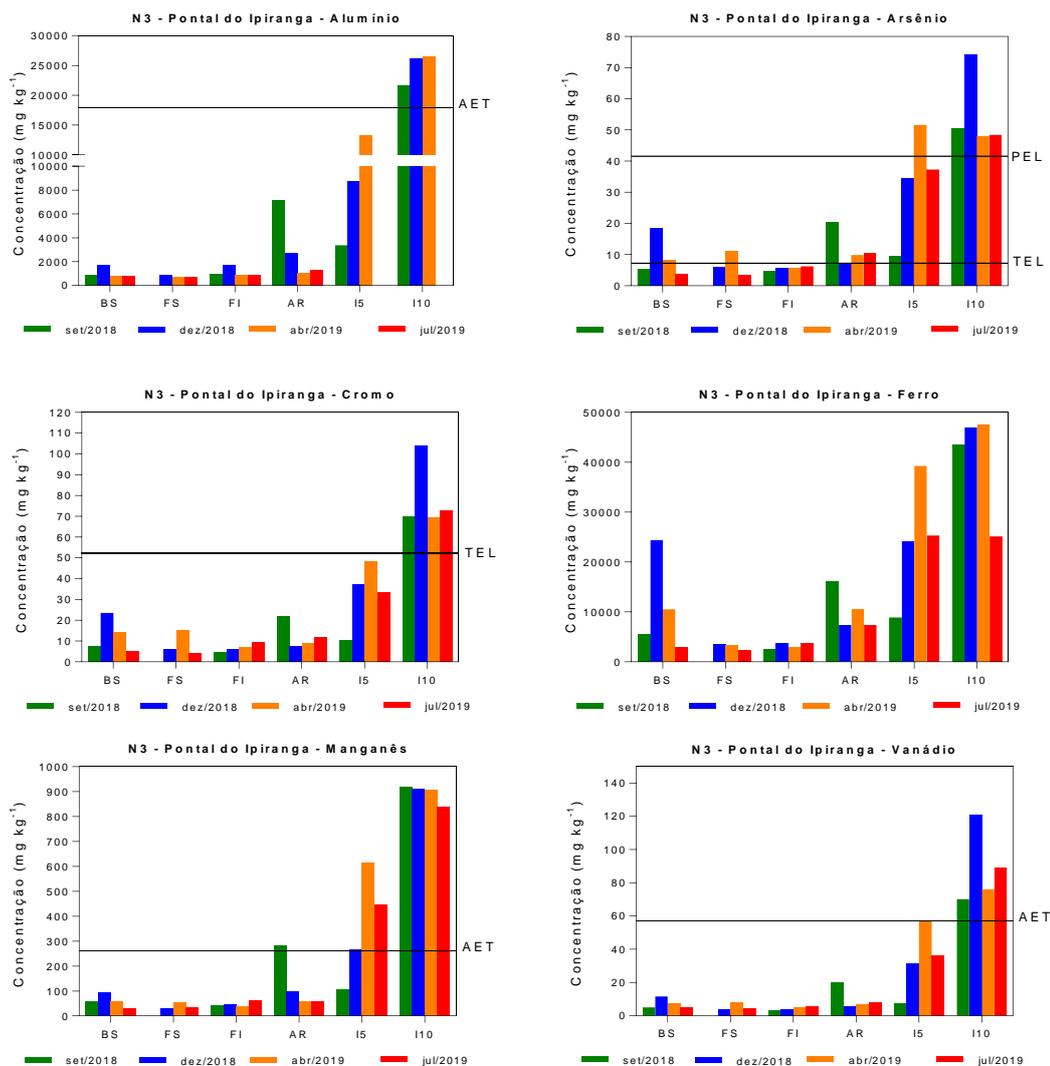
3.2.4.3 Estação amostral de Pontal do Ipiranga (N3) – Compartimento C

O perfil de distribuição dos elementos químicos na praia de Pontal do Ipiranga, representativa do Compartimento C (Figura 48), mostra, como esperado, menores concentrações dos elementos na parte emersa da praia.

Em geral, as areias da berma apresentaram uma maior concentração dos elementos em relação às areias da face da praia, uma vez que a berma está numa região mais protegida da ação frequente das ondas e da maré, resultando no acúmulo dos elementos. Em relação à antepraia, a isóbata de 10 m foi o ponto onde a concentração dos elementos foi maior, semelhante ao observado em Regência (S6). Novamente, as concentrações dos elementos químicos ultrapassaram os limites utilizados para avaliar a qualidade de sedimentos. Os elementos Al, As, Cr, Mn e V ultrapassaram os valores de AET, TEL e PEL em alguns pontos de amostragem ao longo do perfil praiar da estação de Pontal do Ipiranga.

A berma apresentou, por sua vez, uma concentração de As, Cr, Fe, Mn e V maior em relação às outras feições da praia emersa na campanha de dezembro de 2018. Uma das prováveis explicações talvez seja o fato de que o *run-up* dessa estação amostral seja similar ao comprimento da praia (Figura 13) favorecendo a inundação da berma. O processo de inundação da praia pode favorecer a deposição de sedimentos da antepraia na fração emersa da praia o que, por sua vez, explica as altas concentrações encontradas no sedimento da berma na segunda campanha amostral. Além disso, durante o período monitorado, verificou-se em dezembro o pico de vazão para o rio Doce (ver Anexo 3 - Dulcícola).

Figura 48: Distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil transversal da estação de Pontal do Ipiranga



Como já mencionado anteriormente, a passagem de uma tempestade tropical, após um período de três meses no qual não houve eventos com ondas de altura significativa superior a 1,5 m, que precedeu a campanha amostral de abril de 2019, exerceu uma influência sobre a composição química das estações amostrais. Essa influência se torna visível ao se observar os resultados encontrados para as

concentrações dos elementos químicos nas isóbatas de 5 m que foram maiores em relação às outras campanhas amostrais.

3.2.5 Distribuição dos elementos ao longo dos testemunhos

Os resultados de caracterização química dos testemunhos são apresentados na Figura 49 e na Figura 50

Na Figura 49 possível observar que as concentrações dos elementos químicos na superfície do testemunho coletado em Povoação apresentaram uma variação significativa. Acredita-se que esse comportamento esteja relacionado a alguns fatores como a hidrodinâmica entre a coluna d'água e o sedimento superficial, a presença de micro-organismos bentônicos, que podem promover a biotransformação desses elementos químicos, e até mesmo a baixa estabilidade desses elementos químicos adsorvidos na camada mais superficial dos sedimentos.

A partir de 20 cm de profundidade as alterações foram menos expressivas, muito provavelmente devido à perda da resolução espacial do testemunho, cujo fatiamento foi realizado em maior espaçamento. De maneira geral, a concentração dos elementos químicos apresentou correlação positiva com o teor de lama, o que destaca que a distribuição dos elementos químicos ao longo do testemunho sofre influência da distribuição granulométrica. A concentração dos elementos químicos ao longo do testemunho foi da mesma ordem de grandeza das concentrações encontradas nas amostras de sedimento superficial, o que sugere terem de uma mesma fonte.

Um fato importante que ainda pode ser observado na distribuição de elementos químicos ao longo do testemunho é que os valores orientadores de qualidade para sedimentos marinhos (TEL e AET) foram excedidos para alguns elementos. Alumínio, arsênio, cobalto, cromo, manganês, níquel e vanádio apresentaram valores de concentração superiores aos valores orientativos em praticamente todo o testemunho. Cobre por sua vez, apresentou um resultado não conforme apenas na profundidade de 80 cm.

O testemunho coletado em Regência apresentou sedimentos arenosos ao longo de todo testemunho (Figura 50). Conseqüentemente, a concentração dos elementos químicos apresentou menor variação na distribuição espacial ao longo do testemunho em comparação ao testemunho coletado em Povoação (Figura 49 e Figura 50). Com relação aos valores orientadores de qualidade do sedimento marinho, pôde-se observar que nenhum dos elementos apresentaram valores acima do permitido, fato associado à granulometria, que não favorece a incorporação dos elementos químicos. As concentrações dos diversos metais estiveram na mesma ordem de grandeza dos valores encontrados na praia emersa e na isóbata de 5 m, onde os sedimentos também são arenosos.

Figura 49: Concentração de metais no testemunho de Povoação. Resultados expressos em mg/kg. Limites orientadores de qualidade de sedimentos AET (Linha rosa) e TEL (Linha vermelha).

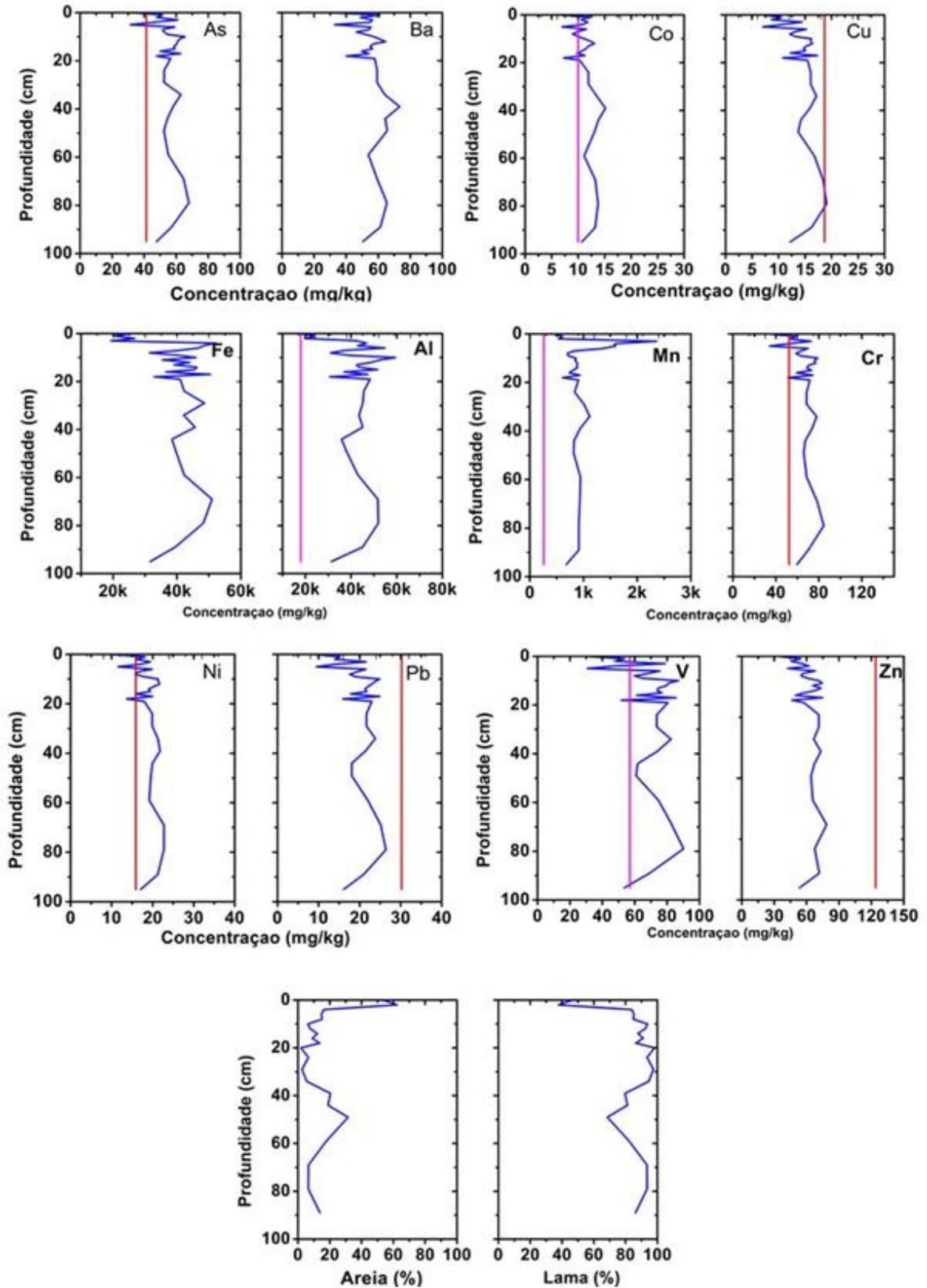
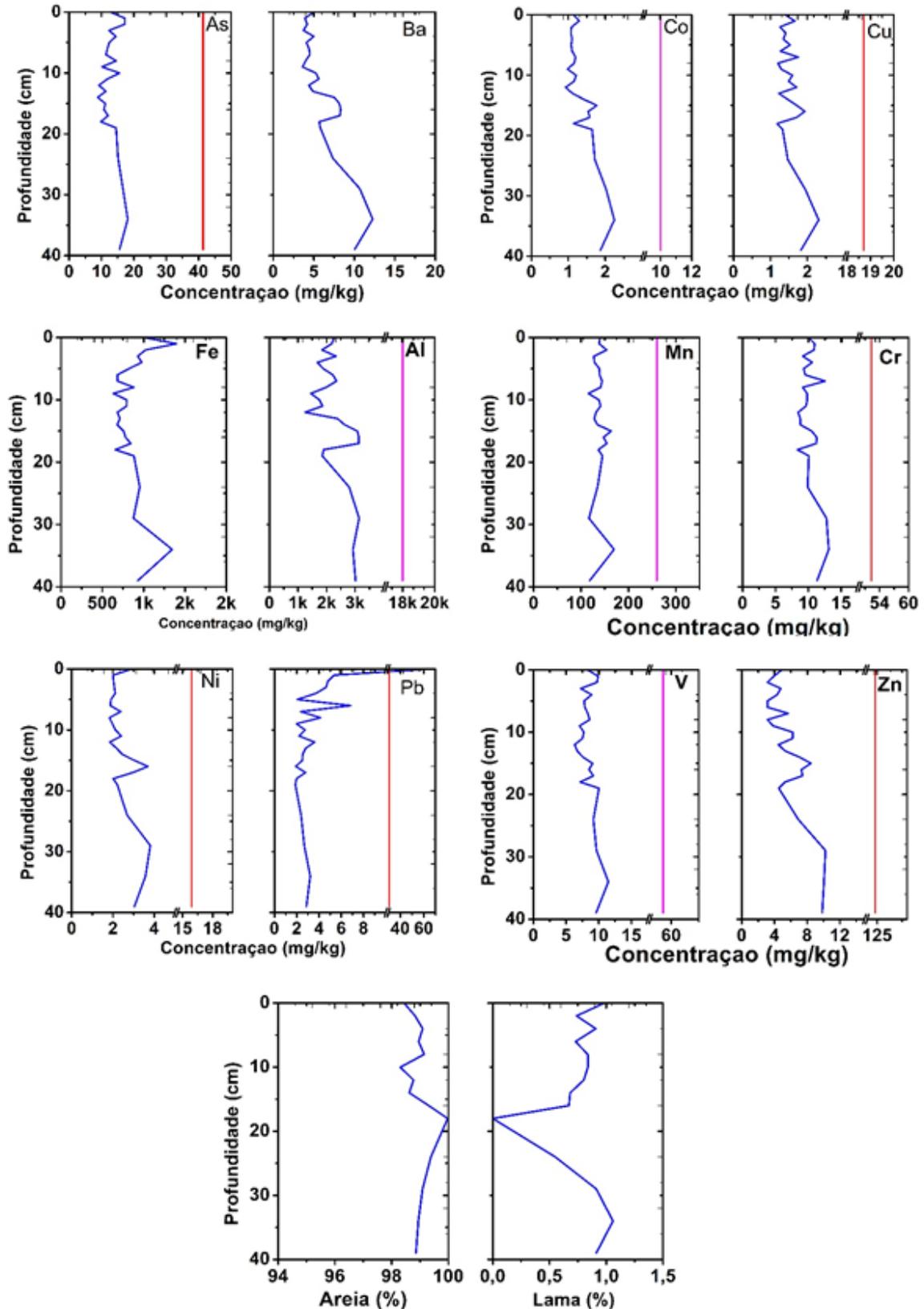


Figura 50: Concentração de metais no testemunho de Regênciã. Resultados expressos em mg/kg. Limites orientadores de qualidade de sedimentos AET (Linha rosa) e TEL (Linha vermelha).



De maneira geral, como já observado para os valores de metais em sedimentos superficiais, as maiores concentrações estão associadas aos depósitos de sedimentos lamosos. A similaridades entre os teores dos metais nos sedimentos superficiais e ao longo dos testemunhos subsuperficiais sugerem o mesmo aporte sedimentar, distribuídos conforme a atuação dos processos oceanográficos.

3.2.6 Avaliação da biodisponibilidade dos elementos

A avaliação da biodisponibilidade dos elementos nas amostras de sedimento foi estabelecida em porcentagem de extração em relação à fração pseudo total. (Figura 51).

Considerando o valor médio de extração de todas as estações amostrais no período de monitoramento, observa-se que o percentual de extração dos elementos variou na seguinte ordem: Mn > Pb, > Fe > Al. O conhecimento da fração biodisponível torna-se interessante do ponto de vista ambiental por indicar quais elementos possuem maior mobilidade no meio, e conseqüentemente, maior potencial de serem lixiviados. Essa mobilidade depende de características como presença de matéria orgânica, variações de pH e potencial redox (Coringa et al., 2016). Os resultados indicam que Mn e Pb são os elementos com maior potencial de lixiviação ao longo das estações amostrais como pode ser observado na Figura 51.

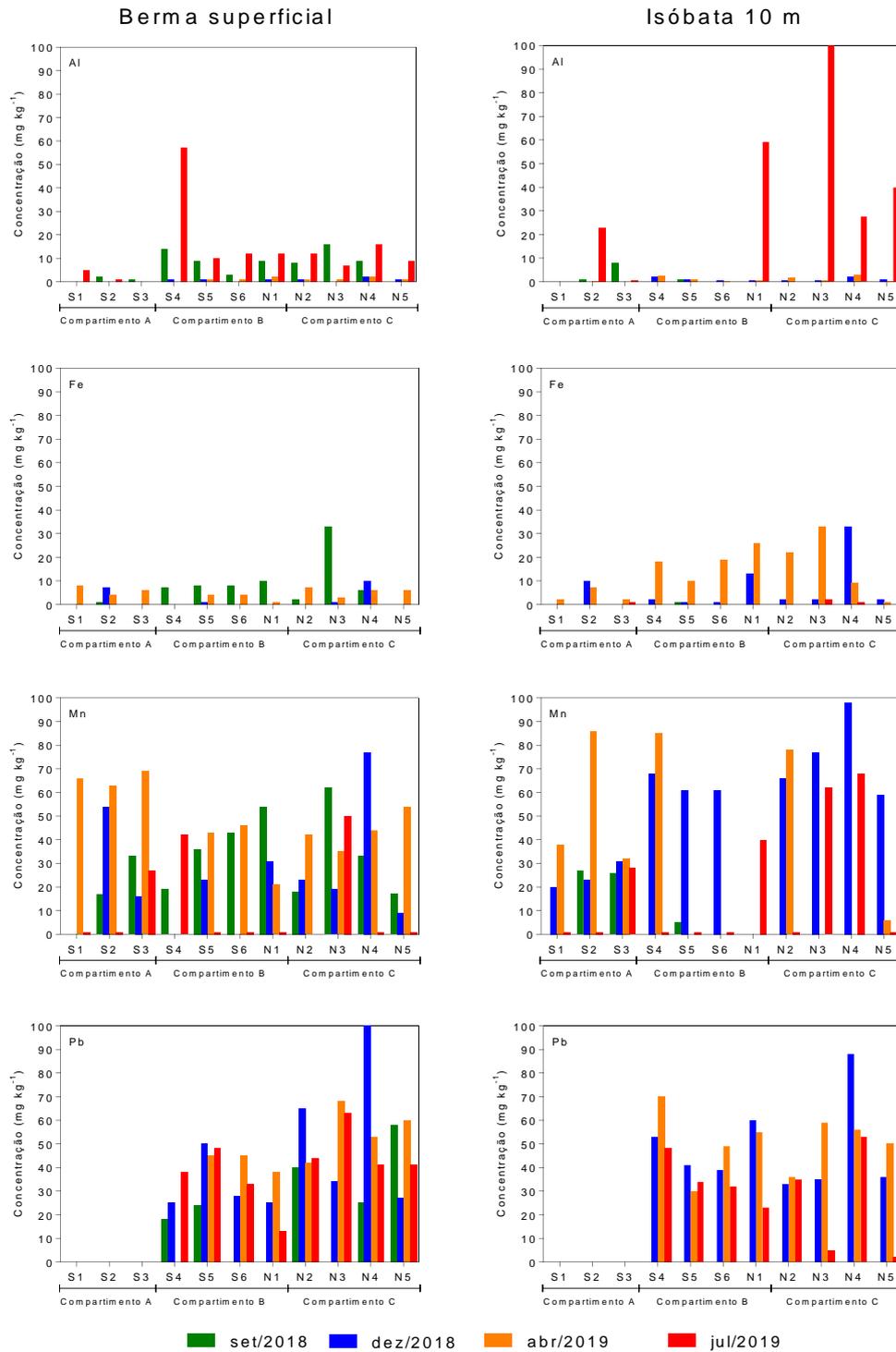
Comparando os resultados obtidos para a berma superficial e para a isóbata de 10 m, observou-se que a eficiência de extração e, conseqüentemente, a biodisponibilidade do Fe aumenta consistentemente a partir da estação amostral de Regência (S6). Esse comportamento pode ser um indicativo de que o Fe presente na isóbata de 10 m nas estações amostrais ao norte da desembocadura do rio Doce esteja disponível em uma forma mais lábil em relação às outras estações. Uma vez que a labilidade de um elemento químico em sua matriz pode estar associada à sua origem, o Fe presente nos sedimentos da porção submersa da praia de Regência, provavelmente incorporado ao sedimento por adsorção (física ou química), poderia caracterizar um aporte recente desse elemento ao sedimento.

O elemento alumínio, por sua vez, apresentou uma biodisponibilidade baixa na antepraia, sendo os valores de extração de aproximadamente 1% ao longo da malha amostral. Entretanto, na campanha de julho de 2019, valores de extração mais elevados foram observados. Na estação amostral de praia Formosa (S2) a biodisponibilidade de Al, mensurada pela eficiência de extração, foi de aproximadamente 20% enquanto maiores valores foram encontrados em Pontal do Ipiranga (N3), no qual foram encontrados aproximadamente 100% de extração em comparação com a concentração total de Al. Esse resultado “anômalo” pode ser conseqüência da entrada de sucessivas frentes frias que acometeram a costa do Espírito Santo no período que antecedeu a campanha de julho de 2019.

Os resultados encontrados para o elemento Pb indicam claramente que esse elemento se encontra pouco biodisponível nas estações amostrais localizadas no Compartimento A, tanto na berma quanto na isóbata de 10 m. Os resultados encontrados para Pb foram relativamente constantes ao longo do período de monitoramento do PMBA, o que pode ser um indício de que a biodisponibilidade desse elemento não esteja sujeita a mudanças das condições energéticas do sistema praiar. Por outro lado,

o mesmo comportamento não ocorre com o Mn que, por sua vez, apresentou variação considerável de sua biodisponibilidade ao longo do período de monitoramento.

Figura 51: Porcentagem de extração dos elementos biodisponíveis ao longo das estações amostrais.

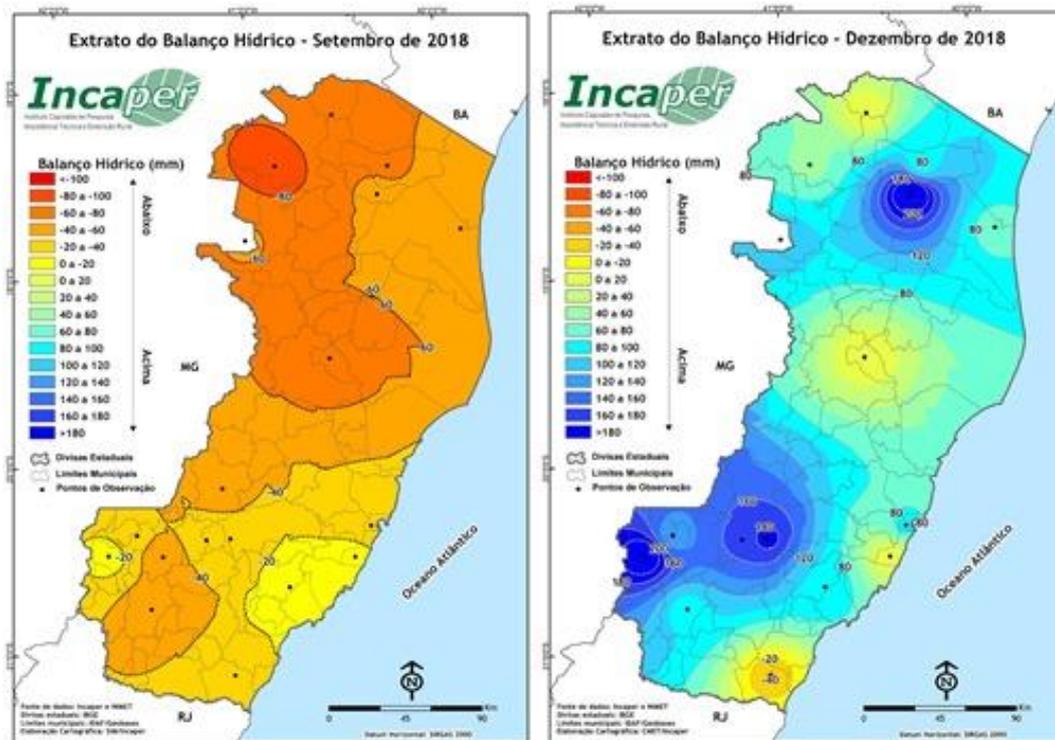


3.3 BENTOS

3.3.1 Distribuição espacial e temporal durante o monitoramento

O clima do Estado do Espírito Santo é caracterizado como tropical úmido, com uma estação seca no inverno e outra chuvosa no verão. Sabendo disso, assim que se iniciou o PMBA, em setembro de 2018, foi realizada a primeira coleta, aqui chamada de período seco e, devido às condições e horários da maré, a coleta do período chuvoso foi realizada em dezembro/2018 (Figura 52).

Figura 52: Mapa da do balanço hidrico do estado do ES em Setembro/2018 e Dezembro de 2018.



Fonte: incaper.es.gov.br.

Segundo Abílio et al. (2006) fatores ambientais, como precipitação pluviométrica, contribuem para as flutuações, tanto na riqueza de grupos quanto na densidade populacional dos macroinvertebrados bentônicos. Aliado a isso, com o aumento da temperatura, é esperado que ocorra aumento dos valores de riqueza, densidade e diversidade dos organismos, que por sua vez estão relacionados com processos de recrutamento (Bemvenuti, 1987; 1997). É esperado, portanto, que com o aumento da temperatura no final da primavera e início do verão (dez/18), a atividade reprodutiva das espécies da macrofauna aumente. Por outro lado, baixos valores registrados na estação seca podem ocorrer devido à pressão de predação que ocorreu durante a estação quente e a ausência de recrutamento dos táxons durante os meses frios (Bemvenuti, 1987; 1997; 2006; Kapusta e Bemvenuti, 1998). Além disso, as perturbações climáticas, como o deslocamento de frentes frias, também podem contribuir para baixas densidades da macrofauna (Grant 1983, Posey et al. 1996). No entanto, em um ano de amostragem não foi possível observar variações significativas dos parâmetros ecológicos da macrofauna entre os

períodos amostrados. Para isso, é recomendável um maior período amostral a fim de se ter mais réplicas temporais.

Diferente da macrofauna, não é esperado um padrão de variação temporal da meiofauna, visto que possuem reprodução contínua, alta fertilidade e nenhum estágio larval, o que permite uma melhor estabilidade para estes organismos ao longo do tempo (Coull, 1988). Tais características também apontam a meiofauna como indicadora biológica, além disso os Nematoda são mais sensíveis à qualquer alteração no sedimento do que a macrofauna (Heip *et al.* 1985; La Rosa *et al.* 2001).

3.3.1.1 Macrofauna

No ano 1 do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) foram identificados 92 táxons da macrofauna e contabilizados 3.329 indivíduos para as 11 praias da malha amostral adjacentes ao rio Doce. Nenhuma espécie de invertebrado encontrada no monitoramento está incluída no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBio/MMA, 2018).

Entre os táxons de maior abundância, os poliquetas *Hesionura cf. variodentata* (17,5%) e *Saccocirrus* sp. (15,8%) contribuíram juntos com 33,3%, seguidos de oligoqueta da família Naididae, com organismos imaturos (12,4%), isópode cirolanídeo *Excirolana braziliensis* (12,1%) e Nemertea (10,2%), considerando todas as praias estudadas. O registro fotográfico e distribuição dos táxons mais abundantes, nesse ano de amostragem, são apresentados nas Figura 53 e Figura 54.

Figura 53: Registro fotográfico dos gêneros dominantes da macrofauna. A – *Hesionura* sp. (objetiva 20x). B - *Saccocirrus* sp. (objetiva 10x); C – *Naididae* (objetiva 20x); D – *Excirolana braziliensis* (objetiva 5x); E – *Nemertea* (objetiva 10x). Fotos NUBEM – AxioCam 305 Zeiss. Escala 50µm.

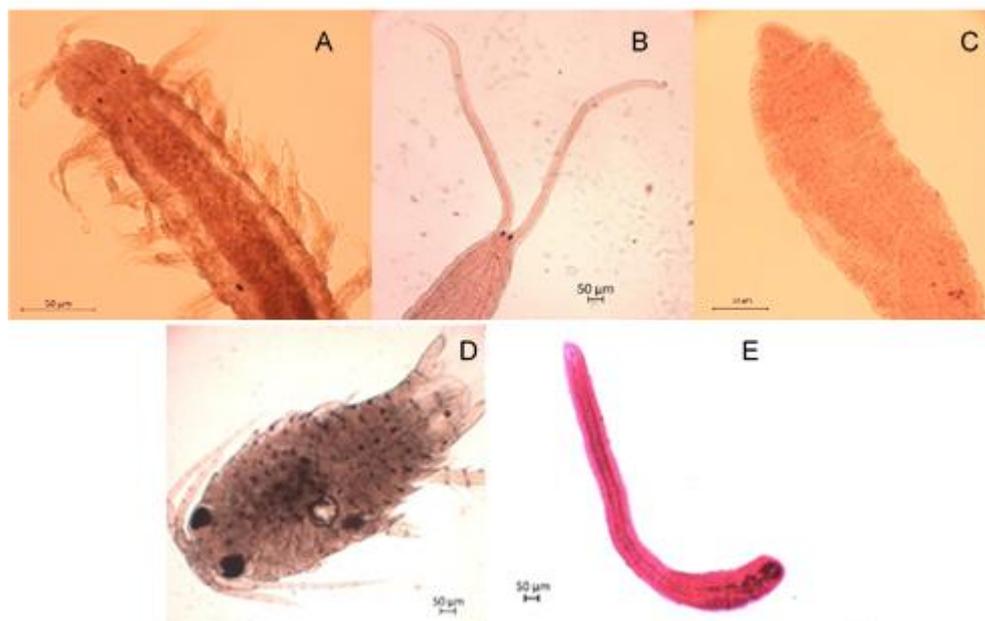
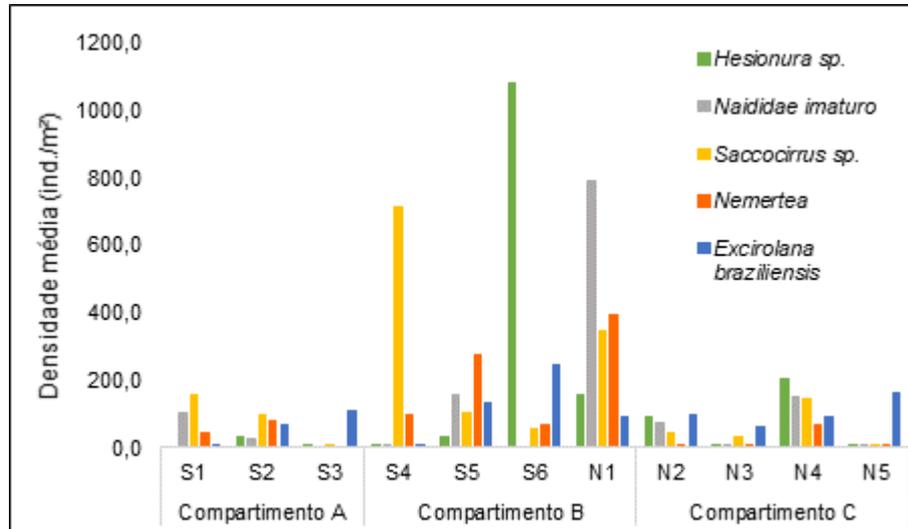


Figura 54: Distribuição dos táxons mais abundantes da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



A dominância de poliquetas nas praias amostradas já era esperada, visto que são considerados um dos organismos mais abundantes entre as espécies do macrobentos, estando presente em quase todos os ecossistemas bentônicos (Gray, 1974; Amaral et al., 2004). Devido à grande diversidade de hábitos alimentares, os poliquetas podem ocupar diversos nichos (Giangrande et al., 2005).

Dominância numérica de poliquetas também é conhecida em diversas praias do litoral do Brasil (Borzzone & Souza, 1997; Omena & Amaral, 1997, 2003; Barros, 2001; Sola & Paiva, 2001; Martin, 2007). O poliqueta *Saccocirrus sp.* foi a espécie mais abundante em Praia Mole, Putiri e Barra do Riacho. Esses poliquetas são comuns em ambientes praias desde o entremarés até a zona de surfe, habitando espaços intersticiais de sedimentos médios e grossos. A presença de sedimentos grossos e fragmentos de conchas são indispensáveis para a manutenção da atividade reprodutiva dessas espécies, principalmente em ambientes de alta hidrodinâmica (Di Domenico, 2012). Quanto à alta densidade de *Hesionura* registrada na praia de Povoação, possivelmente ocorreu devido às condições favoráveis que esse poliqueta encontrou no local. A presença desses animais é relacionada principalmente a areias grossas, maior altura de onda e maior declividade (Domenico et al., 2009).

Quanto aos picos de densidade de oligoquetas *Naididae*, possivelmente podem ser devido ao período do ano que ocorreram as amostragens. Quase todas as espécies marinhas da família *Naididae* atingem picos populacionais por reprodução assexuada que ocorrem na primavera (Koene, 1981) ou no outono (Kendall, 1979), estações do ano em que a temperatura é moderada e com farto suprimento alimentar (Prantoni, 2016). Conseqüentemente, as densidades populacionais dos naidídeos podem sofrer amplas variações sazonais (Giere & Pfannkuche, 1982).

Os isópodes *Cirolanidae* são os organismos intermareais mais amplamente distribuídos em ecossistemas de praias arenosas no mundo (Brown & McLachlan, 1990). Possuem reprodução

contínua e crescimento rápido sem dispersão larval, uma vez que os jovens eclodem como pré-juvenis, ocupando diretamente o habitat parental (Klapow, 1970). Esses animais ocorrem na faixa mediana e superior de região entremarés, onde ficam protegidos da dessecação (Weinberg & Starczak, 1988), o que corrobora com a dominância no MS.

Já os Nemertea são mais comuns em praias de baixas latitudes. No entanto, costumam ser dominantes em areias mais finas que 300 μm (Defeo e Mclachlan, 2005; Mclachlan e Brown, 2006) o que foi diferente do encontrado no presente trabalho.

Houve distinção da dominância taxonômica entre as faixas da praia (Tabela 3). No supralitoral, Naididae imaturos foram os mais abundantes, com 30,9% dos invertebrados bentônicos da faixa. No MS, *E. braziliensis* representou quase metade da macrofauna (48,9%), enquanto que *Saccocirrus* sp. e *Hesionura variodentata* foram os mais abundantes no MI e IL, com 25,4% e 48,7%, respectivamente.

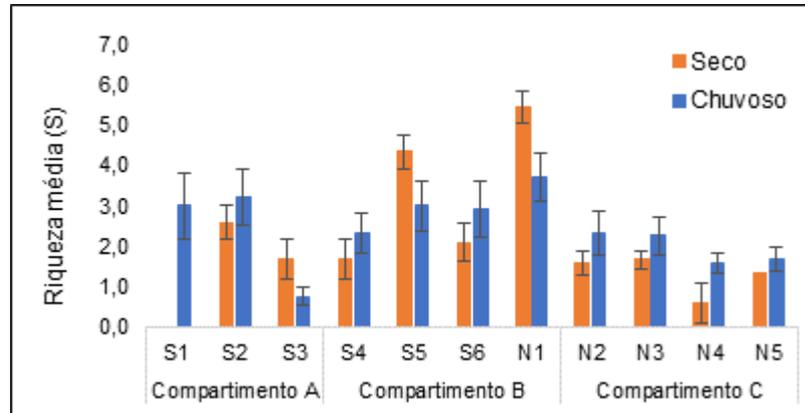
Tabela 3: Táxons dominantes em cada faixa das praias amostradas. SL- supralitoral; MS – mesolitoral superior; MI – mesolitoral inferior; IL – infralitoral.

SL		MS		MI		IL	
Naididae	30,9%	Excirolana braziliensis	48,9%	Saccocirrus sp.	25,4%	Hesionura cf. variodentata	48,7%
Poliqueta intersticial n.i	12,9%	Naididae	9,2%	Naididae	21,2%	Saccocirrus sp.	15,2%
Nemertea	9,8%	Hemipodia simplex	8,0%	Nemertea	15,8%	Nemertea	8,0%
Atlantorchestoidea brasiliensis	7,2%	Poliqueta intersticial n.i	7,1%	Marionina cf. nevisensis	12,1%	Puelche sp.1	6,0%
Saccocirrus sp.	6,7%	c.f Tectidrilus	3,8%	Scolecipis spp.	5,5%	Scolecipis spp.	4,3%

Em relação ao número de táxons encontrados, o maior valor médio foi atribuído a Povoação (N1), com 5,4 táxons, enquanto que a menor riqueza foi observada em Barra Nova (N4), com 0,6 táxons (Figura 55).

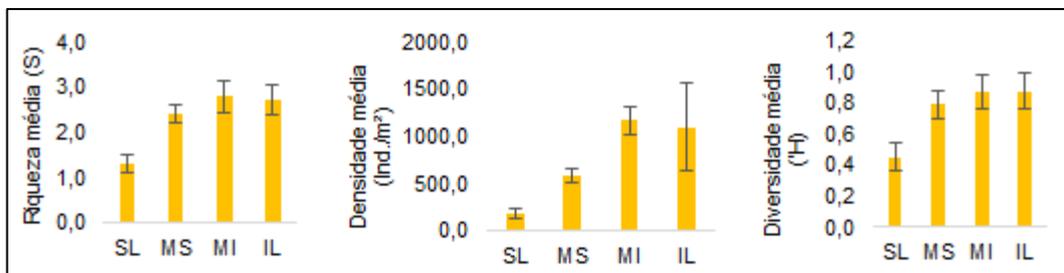
Durante o primeiro ano do PMBA, os descritores ecológicos da fauna bentônica apresentaram variações estatisticamente significativas entre as praias da malha amostral. Algumas praias em particular, apresentaram mudanças significativas no número médio de táxons entre os períodos amostrados ($F=2,052$, $p<0,05$). As praias de Putiri (S3), Comboios (S5) e Povoação (N1) apresentaram maiores riquezas no período seco. As demais praias não tiveram variações significativas do número de táxons entre os períodos seco e chuvoso (Figura 55).

Figura 55: Riqueza média (S) da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



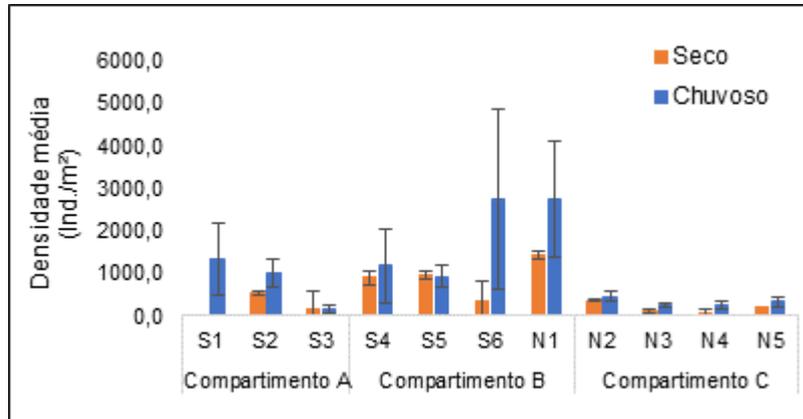
Quando comparados os três compartimentos morfodinâmicos, o Compartimento B apresentou os maiores valores significativos de riqueza, diferindo das praias ao norte do rio Doce (Compartimento C), que apresentaram os menores valores do monitoramento ($F=18,733$; $p<0,00001$). As praias associadas aos terraços de abrasão (Compartimento A) tiveram valores de riqueza intermediários em relação aos demais compartimentos. A riqueza diferiu também em relação às faixas das praias, sendo significativamente menores no SL, intermediárias no MS e maiores no MI e IL ($F=9,8370$; $p<0,00001$) (Figura 56).

Figura 56: Descritores ecológicos da macrofauna nas faixas das praias da malha amostral. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



A densidade da macrofauna também diferiu entre as praias amostradas no primeiro ano do monitoramento (ANOVA: $F=4,6299$, $p<0,0001$). Assim como ocorreu com a riqueza de espécies, a maior densidade significativa da macrofauna foi registrada em Povoação, com 2.742,4 ind./m², enquanto que em Barra Nova foi registrado o menor número de indivíduos, com 83,3 ind./m². Avaliando a densidade entre os compartimentos, foram notadas variações significativas. Os valores registrados no Compartimento B foram significativamente maiores do que nos Compartimentos A e C ($F=9,519$; $p=0,008$) (Figura 57).

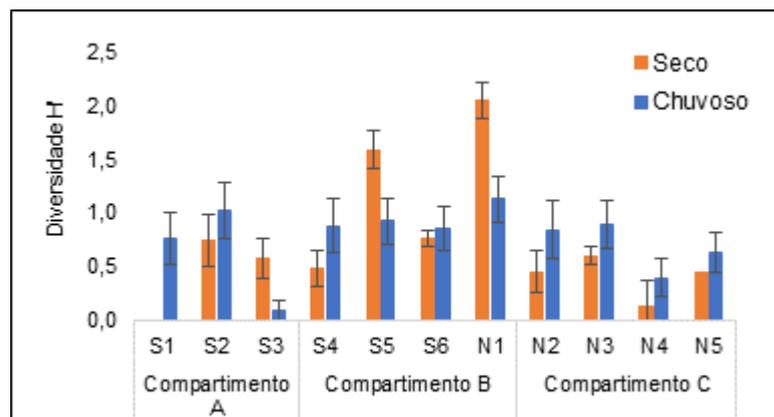
Figura 57: Densidade média (Ind/m²) da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



Verificou-se também diferenças significativas nas densidades de indivíduos entre as faixas das praias, sendo significativamente menor no SL do que nas demais faixas ($F=28,8719$; $p<0,00001$) (Figura 56). A densidade de organismos não apresentou diferenças significativas entre os períodos amostrados ($p>0,05$).

A diversidade da macrofauna também diferiu entre as praias da malha amostral (ANOVA: $F=5,5731$, $p<0,0001$). Novamente, em Povoação foram registrados os maiores valores significativos de diversidade, enquanto que Barra Nova obteve os menores valores de H' , seguida de Putiri. Apesar da diversidade não ter sido significativamente diferente entre os períodos seco e chuvoso ($p>0,05$), algumas praias em particular, como Putiri, Comboios e Povoação, tiveram maiores valores de diversidade no período seco, enquanto que nas demais praias da malha amostral foram observados maiores valores no período chuvoso ($F=2,3529$, $p=0,0149$) (Figura 58).

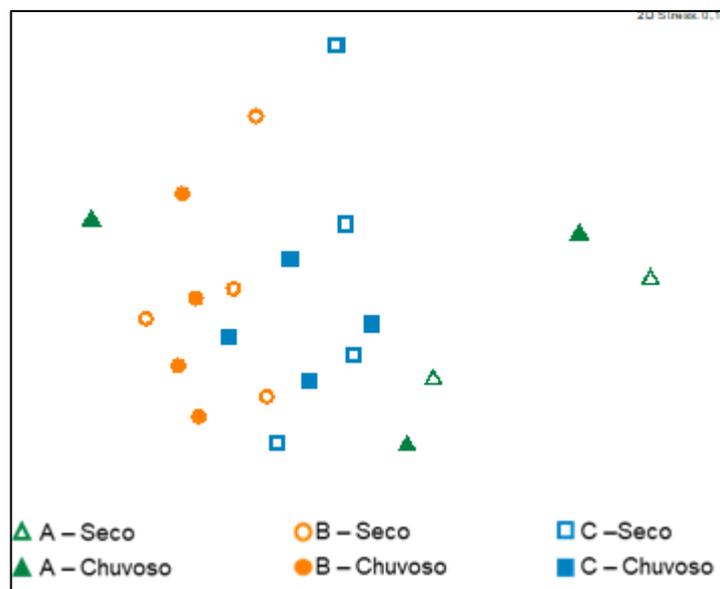
Figura 58: Diversidade média (H') da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



Em relação aos compartimentos com características morfodinâmicas semelhantes, o Compartimento B apresentou maior diversidade que os demais ($F=18,421$; $p<0,00001$). Já em relação às faixas, o IL e MI registraram os maiores valores significativos do que em SL e MS ($F=9,818$; $p=0,020$) (Figura 56).

A análise de similaridade ANOSIM e o nMDS mostraram uma diferença na composição e abundância da macrofauna entre os compartimentos morfodinâmicos da área amostral ($R_{Global}=0,17$; $p=0,001$) (Figura 59). O teste de pares *a posteriori* indicou que todos os compartimentos diferiram entre si. Contudo, essas mesmas análises não conseguiram detectar variações significativas na estrutura (composição e abundância) da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce entre os períodos seco e chuvoso do ano de 2018.

Figura 59: Análise de similaridade ANOSIM e o nMDS entre os Compartimentos A, B e C da macrofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados.

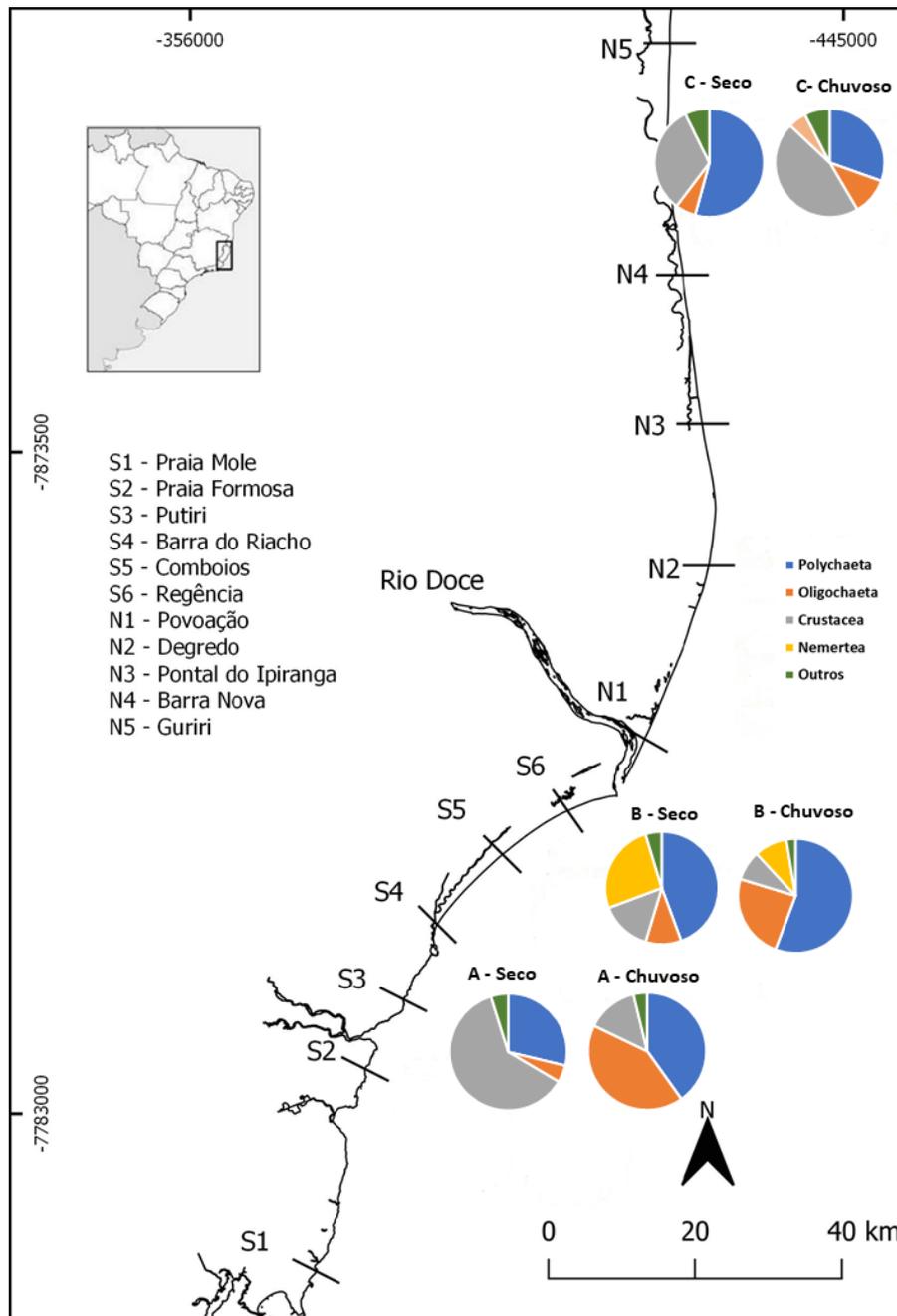


Compartimento A

Foram encontrados 629 organismos distribuídos em 47 táxons. O oligoqueta *Marionina cf. nevisensis* foi o organismo com maior densidade média com 191,8 ind/m², seguido pelo poliqueta *Scolecopsis* spp, com 130 ind/m².

Crustacea foi o grupo dominante no período seco, sendo responsável por 61% do total de organismos registrados, representado pelo anfípode *Puelche sp.1*. No entanto, no período chuvoso, os Oligochaeta passaram a ser os dominantes, com 41% (no período seco, era 5%). Crustacea teve sua dominância reduzida para 14%. O acréscimo de Oligochaeta no período chuvoso foi devido à grande quantidade de *Marionina cf. nevisensis*. Já Polychaeta foi o segundo grupo dominante, tanto no período seco (29%) quanto no período chuvoso (40%) (Figura 60). Cabe ressaltar que a maior contribuição de oligoquetos no período chuvoso (65%) foi proveniente da Praia Mole (S1), não amostrada na primeira campanha.

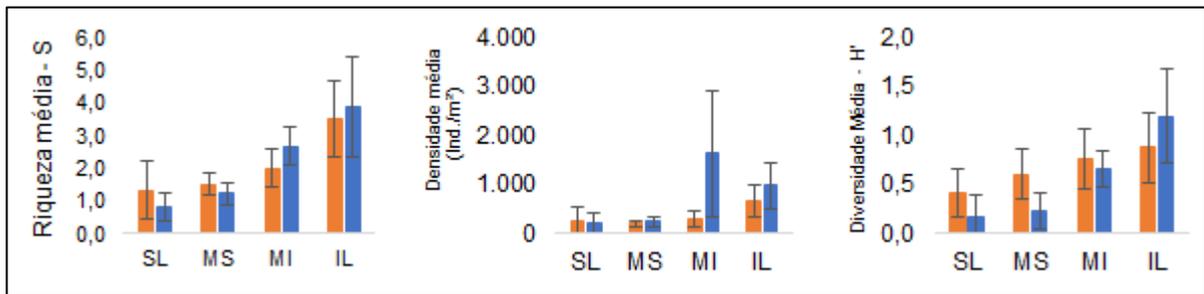
Figura 60: Contribuição dos principais grupos taxonômicos por compartimentos e períodos amostrados nas praias adjacentes ao rio Doce. A- Compartimento A; B- Compartimento B; C- Compartimento C.



A riqueza média para as praias deste compartimento foi maior na estação amostral Formosa (S2) no período chuvoso ($S=3,2$) e menor em Putiri, nesse mesmo período ($S=0,71$), porém essa variação não é estatisticamente significativa. A densidade registrou seu maior valor médio em Praia Mole ($1.343,4$ ind./m²) e menor em Putiri ($N=166,6$ ind./m²), ambos no período chuvoso. Já a diversidade também apresentou seu maior valor médio para a praia Formosa ($H'=1,0$) e o menor valor médio para Putiri ($H'=0,1$), ambas no período chuvoso. A única variação significativa, foi o menor valor de diversidade em Putiri no período chuvoso ($p<0,05$) (Figura 58).

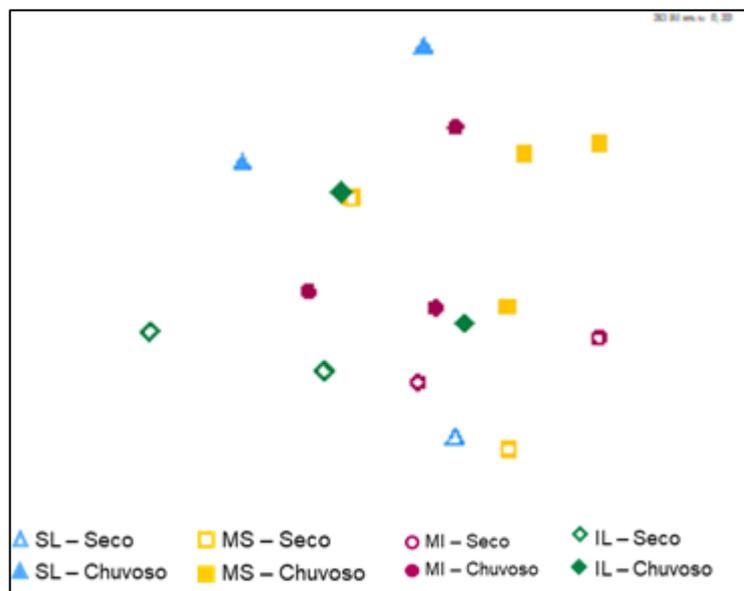
Durante o primeiro ano do monitoramento, a riqueza e diversidade da macrofauna na faixa IL das praias do Compartimento A, foi maior do que a observada em SL e MS ($p < 0,0001$) (Figura 61). Não houve variação significativa entre número de indivíduos entre as faixas nem entre os períodos de amostragem ($p > 0,005$).

Figura 61: Riqueza média (S), densidade média (Ind./m²) e diversidade média (H') entre as faixas do Compartimento A. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



Apesar da alteração na dominância dos grandes grupos taxonômicos entre os períodos, as análises multivariadas de ordenação (nMDS) e similaridade (ANOSIM) não indicaram variações significativas na estrutura da macrofauna entre os períodos amostrados ($p > 0,05$). Contudo, a macrofauna diferiu entre as faixas das praias (ANOSIM: R global=0,119, $p=0,008$), com o MS dissimilar de todas as outras (Figura 62). O SIMPER indicou que a alta abundância de *Excirolana braziliensis* registrada no MS foi a principal responsável pela dissimilaridade entre as faixas.

Figura 62: Análise multivariada de ordenação nMDS da macrofauna entre as faixas das praias do Compartimento A. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



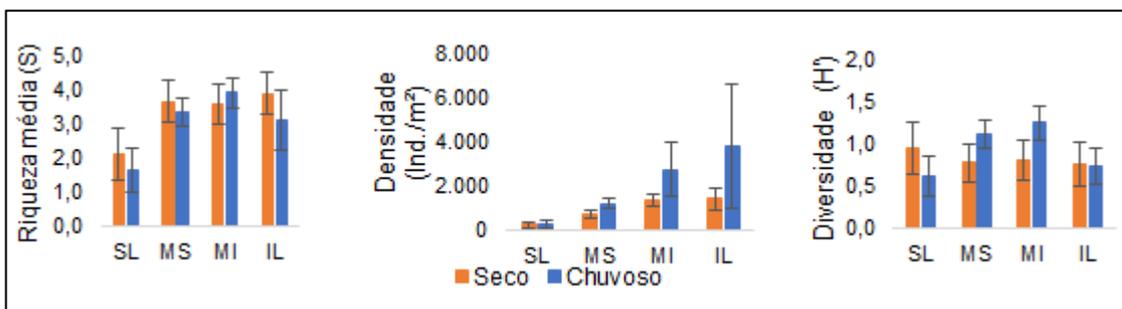
Compartimento B

Foram encontrados 2.255 organismos distribuídos em 47 táxons. Os poliquetas *Hesionura cf. variodentata* e *Saccocirrus* sp. foram os organismos com as maiores densidades médias com 347,5 ind/m² e 274,5 ind/m², respectivamente. O oligoqueto Naididae foi o terceiro grupo mais representativo, com densidade média de 229,3 ind/m².

A riqueza média para as praias deste compartimento foi maior na estação amostral Povoação (N1) (S=5,4), seguido por Comboios (S5) e menor para Barra do Riacho (S4) (S=1,7), ambos valores registrados no período seco. Os altos valores de riqueza registrados em N1 e S5 foram significativamente diferentes dos valores do período chuvoso dessas mesmas praias (p<0,05). A maior densidade também foi registrada em Povoação (2742,4 inds/m²), porém no período chuvoso, e a menor em Regência (S6) (361,1 inds/m²), no período seco. A diversidade seguiu padrão semelhante da riqueza, apresentando o maior valor médio em Povoação (H'=2,1) e o menor valor em Barra do Riacho (H'=0,5), no período seco. Em Comboios, as diferenças entre a diversidade registradas nos períodos seco e chuvoso foram significativas (p<0,05), com maiores valores registrados no período seco (Figura 58).

Em relação às faixas das praias que compõem esse compartimento, houve uma menor riqueza na faixa SL (p=0,0014) do que a observada nas demais faixas (Figura 63). Não foram observadas diferenças para os outros parâmetros ecológicos testados. Em Barra do Riacho, não foram realizadas coletas no IL devido à grande energia e tamanho das ondas (Figura 64).

Figura 63: Riqueza média (S), densidade média (Ind./m²) e diversidade média (H') entre as faixas do Compartimento B. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



Polychaeta foi o grupo dominante tanto no período seco quanto no chuvoso. Para o período seco, este grupo foi responsável por 44% do total de organismos registrados, aumentando para 56% no período chuvoso. O filo Nemertea foi o segundo grupo mais abundante no período seco, com 26%, tendo sua abundância reduzida para 9% no período chuvoso. Oligochaeta foi o segundo grupo mais abundante no período chuvoso, passando de 10% no período seco para 24% no chuvoso, sendo representados, principalmente, pelos oligoquetas da família Naididae. Assim como no Compartimento A, Crustacea também apresentou uma redução no período chuvoso, reduzindo de 15% no período seco, para 8% no chuvoso (Figura 60).

Figura 64: Infralitoral em Barra do Riacho (S4).



Mudanças temporais na morfodinâmica das praias, disponibilidade de alimentos e estressores climáticos também são importantes para as comunidades bentônicas macrofaunais (Defeo & McLachlan, 2005) e podem ter interferido nas variações de densidades dos táxons encontrados. Estresses físicos, incluindo eventos físicos estocásticos (por exemplo, clima das ondas), aumento da temperatura e uma combinação de variáveis químicas e biológicas em escala local podem alterar rapidamente a dinâmica populacional de organismos da macrofauna em praias arenosas (Defeo; Mclachlan, 2005; Cisneros et al. 2011). Essas modificações podem ter interferido no aumento da densidade e contribuição de anelídeos (Polychaeta e Oligochaeta) no período chuvoso.

Não ocorreram mudanças significativas na estrutura macrobentônica das praias desse compartimento (S4, S5, S6 e N1) entre as campanhas de setembro e dezembro/2018 (ANOSIM: R Global = - 0,011; $p=0,741$). Porém, foi evidente a diferença na distribuição dos organismos nas faixas das praias (ANOSIM: R Global=0,289; $p=0,001$) (Figura 65). Os testes de pares demonstraram que apenas o MI foi semelhante ao IL ($p>0,05$). O resultado do SIMPER, que indica quais espécies são responsáveis pela dissimilaridade na zonação está descrito na Tabela 4

Figura 65: Análise multivariada de ordenação nMDS da macrofauna no Compartimento B. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

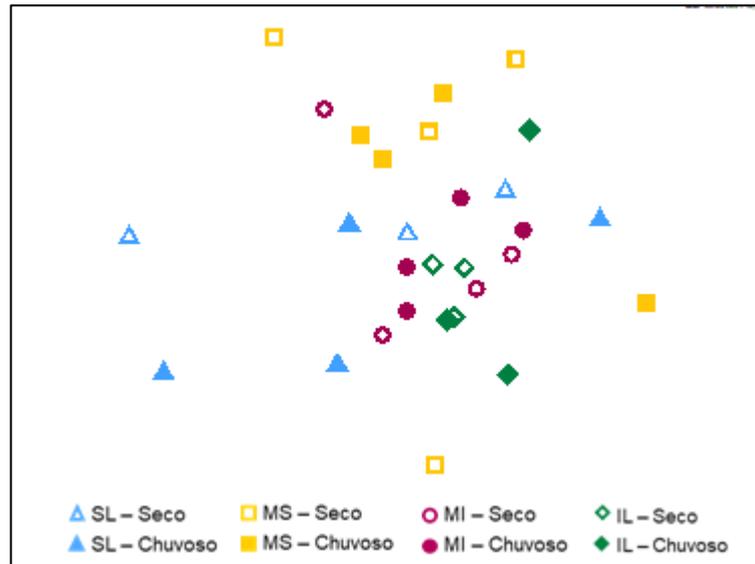


Tabela 4: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

Faixas	ANOSIM (p)	Média de dissimilaridade	Táxon	% Acumulativo
SL x MS	0,002	92,5	<i>Excirolana braziliensis</i>	23,0
			Naididae	32,8
			<i>Hemipodia simplex</i>	40,3
SL x MI	0,001	88,8	Nemertea	24,6
			<i>Saccocirrus</i> sp.	43,6
			<i>Excirolana brasiliensis</i>	54,8
MS x MI	0,001	85,87	Nemertea	17,97
			<i>Excirolana braziliensis</i>	32,83
			<i>Saccocirrus</i> sp.	47,09
SL x IL	0,001	89,52	<i>Saccocirrus</i> sp.	21,7
			Nemertea	40,2
			<i>Hesionura cf. variodentata</i>	58,8
MS x IL	0,001	91,0	<i>Excirolana braziliensis</i>	16,73
			<i>Saccocirrus</i> sp.	31,14
			<i>Hesionura cf. variodentata</i>	44,14

Compartimento C

Nesse compartimento, formado pelas estações N2, N3, N4 e N5, com características morfodinâmicas de intermediárias a dissipativas, foram encontrados 445 organismos distribuídos em 43 táxons. O

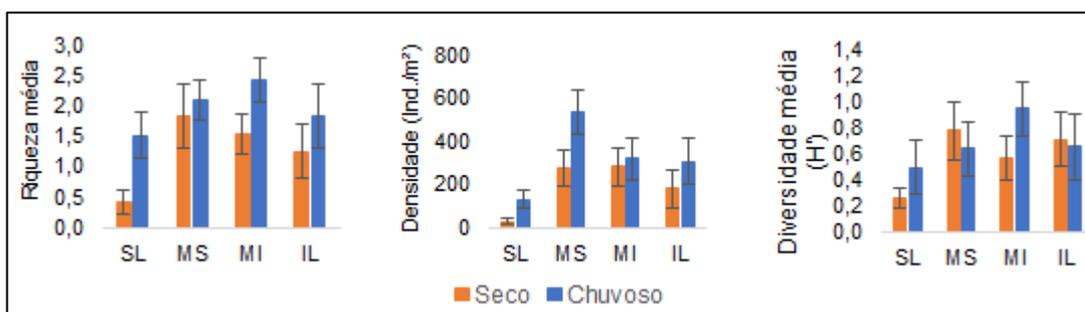
crustáceo *Excirolana braziliensis* foi o organismo com maior densidade média (174,1 ind/m²). O poliqueta *Saccocirrus* sp. foi o segundo mais representativo, com densidade média de 75,6 ind/m².

A riqueza média para as praias deste compartimento foi maior na estação amostral Degredo (N2) (S=2,3), no período chuvoso, e menor para Barra Nova (N4) (S=0,5), no período seco. A densidade também foi maior em Degredo (463 inds/m²) no período chuvoso e menor em Barra Nova (83,3 inds/m²) no período seco. Já a diversidade apresentou seu maior valor médio em Pontal do Ipiranga (N3) (H'=0,9), no período chuvoso, enquanto que o menor valor foi registrado em Barra Nova (H'=0,1) no período seco. O detalhamento dos descritores ecológicos de cada praia estão na Figura 55, na Figura 57 e na Figura 58.

Polychaeta foi o grupo dominante no período seco, sendo responsável por 54% do total de organismos registrados, representado, principalmente, por *Hesionura cf. variodentata* e *Saccocirrus* sp. No entanto, no período chuvoso, Polychaeta teve sua dominância reduzida para 30%, enquanto que Crustacea passou a dominar, aumentando de 33%, no período seco, para 46% no período chuvoso. Nos dois períodos amostrados, Crustacea foi dominado por *Excirolana braziliensis*. Oligochaeta também apresentou um sutil incremento no período chuvoso, passando de 6%, no período seco, para 11% (Figura 60).

A riqueza, densidade e diversidade da macrofauna nas praias ao norte do rio Doce foram significativamente superiores durante a amostragem do período chuvoso ($p > 0,005$). Em relação à zonação dos organismos, a menor riqueza foi observada no SL ($F = 3,40$, $p = 0,002$), enquanto que a densidade do MS e MI foram maior que as demais faixas ($F = 9,077$; $p < 0,0001$) (Figura 66).

Figura 66: Riqueza média (S), densidade média (Ind./m²) e diversidade média (H') entre as faixas do Compartimento C. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



O ANOSIM apontou mudança na composição e abundância da macrofauna nas praias ao norte do rio Doce entre os períodos amostrados (ANOSIM: R Global=0,069; $p=0,001$), apesar do MDS não mostrar essa diferença de forma clara (Figura 65). De acordo com o SIMPER, o aumento nas densidades de *Excirolana braziliensis*, *Saccocirrus* sp., *Chaetognata* e *Pisionidens indica*, no período chuvoso, foram responsáveis por mais de 50% da dissimilaridade entre os períodos amostrados.

Também houve distinção da estrutura da macrofauna entre as faixas das praias (ANOSIM: R Global=0,184; p=0,001) (Figura 67), com o MS se diferenciando das demais e o SL se diferenciando do MI. O resultado do SIMPER, com os táxons que mais contribuíram para a dissimilaridade entre as faixas está descrito na Tabela 5. Além do mais, o ANOSIM indicou que ocorreu mudança da fauna no SL e MS entre o período seco e período chuvoso (p=0,013 e p=0,008, respectivamente).

Figura 67: Análise multivariada de ordenação nMDS da macrofauna no Compartimento C. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

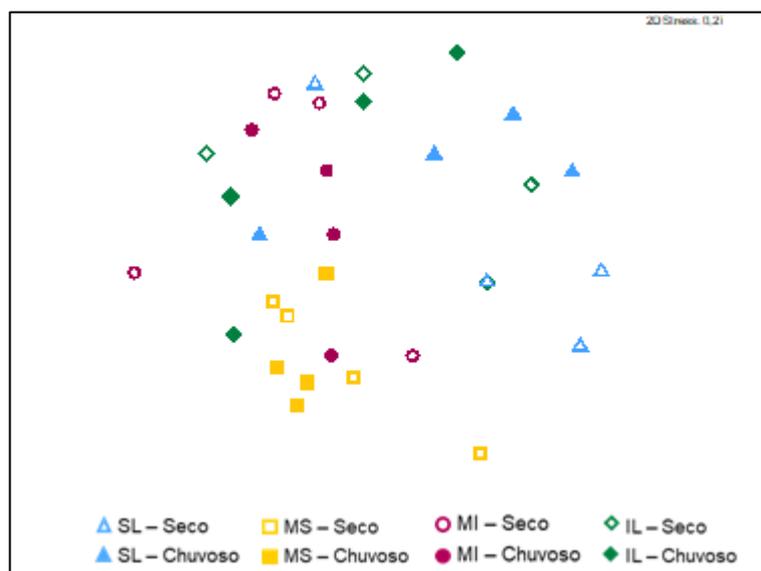


Tabela 5: SIMPER entre faixas do Compartimento C. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL - Infralitoral

Faixas	Média de dissimilarida	Táxon	% Acumulativo
SL x MS	97,16	<i>Excirolana braziliensis</i>	46,7
		<i>Scolecopsis</i> sp.	53,7
		<i>Saccocirrus</i> sp.	59,3
SL x MI	94,9	<i>Saccocirrus</i> sp.	19,42
		<i>Hemipodia simplex</i>	28,8
		Chaetognata	38,2
MS x MI	91,8	<i>Excirolana braziliensis</i>	32,7
		<i>Saccocirrus</i> sp.	44,7
		<i>Hemipodia simplex</i>	51,7
MS x IL	96,64	<i>Excirolana braziliensis</i>	40,1
		<i>Saccocirrus</i> sp.	47,5
		<i>Hesionura cf. variodentata</i>	54,5

3.3.1.2 Meiofauna

No ano 1 do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA), foram identificados 24 táxons da meiofauna e contabilizados 16.275 indivíduos, para as 11 praias da malha amostral adjacentes ao rio Doce.

Entre os grupos de maior abundância, Nematoda apresentou dominância de 63% do total de organismos registrados para a meiofauna, seguido por Copepoda, com 18%. As demais contribuições estão distribuídas em 22 táxons. O registro fotográfico e distribuição dos táxons mais abundantes são mostradas nas Figura 68 e Figura 69. Entre as faixas, Nematoda também apresentou dominância em todas as faixas amostradas. Copepoda foi o segundo grupo mais abundante em quase todas as faixas, exceto para o SL, onde Oligochaeta foi o segundo grupo com maior participação (Tabela 6).

Figura 68: Registro fotográfico dos grupos taxonômicos dominantes da meiofauna. A – Nematoda (objetiva 100x); B – Copepoda (objetiva 20x). Fotos NUBEM – AxioCam 305 Zeiss. Escala 50µm.



Figura 69: Distribuição dos grupos taxonômicos mais abundantes da macrofauna nas praias adjacentes ao rio Doce. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.

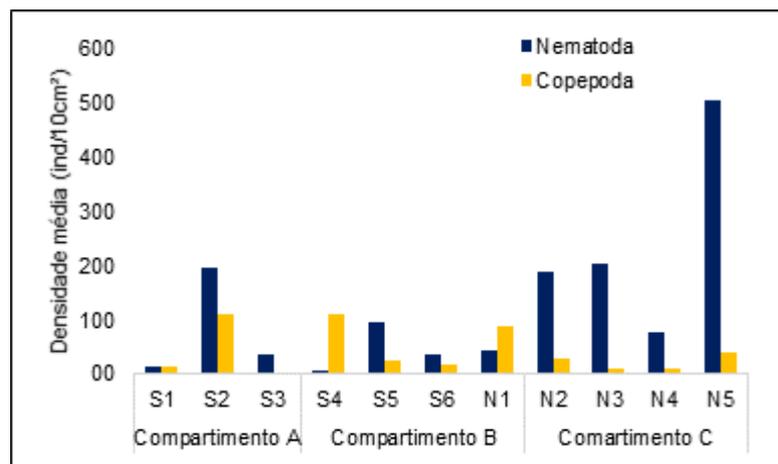


Tabela 6: Abundância relativa dos grupos taxonômicos dominantes em cada faixa das praias. SL- supralitoral; MS – mesolitoral superior; MI – mesolitoral inferior; IL – infralitoral.

SL		MS		MI		IL	
Nematoda	63%	Nematoda	66%	Nematoda	47%	Nematoda	77%
Oligochaeta	14%	Copepoda	18%	Copepoda	26%	Copepoda	9%
Copepoda	6%	Oligochaeta	5%	Oligochaeta	7%	Nemertea	4%
Acari	5%	Nemertea	4%	Nauplius	4%	Polychaeta	3%
Nauplius	3%	Ostracoda	2%	Platyhelminthes	4%	Platyhelminthes	2%

A maior densidade de Nematoda pode ser atribuída à sua grande diversidade e tolerância às mais diversas condições ambientais, como teor de umidade, matéria orgânica e granulometria, dentre outros. Essa alta abundância dos Nematoda na comunidade de meiofauna marinha é registrada em diversos trabalhos, independente do ecossistema, seja estuarino, litorâneo ou oceânico (Heip et al., 1985; Sajan et al., 2010). Este filo da meiofauna exerce importantes funções nos ecossistemas aquáticos, como fonte de alimento para diversas espécies, estímulo ao metabolismo bacteriano e facilitador da remineralização da matéria orgânica, aumentando a regeneração dos nutrientes nos sedimentos (Giere, 1993).

Em termos de abundância de meiofauna, os Copepoda foram o segundo grupo mais abundante no sedimento, atrás apenas dos Nematoda. Os Copepoda ocorrem na maioria dos habitats aquáticos. No sedimento eles são restritos às regiões oxigenadas e tendem a ser encontrados na ou justamente abaixo da superfície, mas estendem-se profundamente nas areias e cascalhos (Higgins & Thiel, 1988). Os Nematoda são geralmente o táxon dominante na meiofauna marinha (McIntyre 1969), embora a proporção de Copepoda aumente em areias grossas nas praias expostas (Rao, 1970; Gray & Rieger, 1971; Mclachlan, 1977).

Durante o primeiro ano do PMBA, os descritores ecológicos da meiofauna bentônica apresentaram variações significativas entre as praias da malha amostral, assim como entre os períodos amostrados. A riqueza da meiofauna diferiu entre as praias ($F=206.23$, $p=0.0139$). Comboios (S5) e Povoação (N1) tiveram significativamente maiores riquezas da meiofauna que nas demais praias estudadas (Figura 70).

Modificações entre os períodos também foram verificadas para o número médio de táxons, onde no período chuvoso foram registrados valores significativamente maiores do que no período seco ($F=182.25$, $p<0,0001$). Não houve diferenças significativas entre os três compartimentos morfodinâmicos ($p>0,05$). Entretanto, entre as faixas, no SL foram registrados os menores valores significativos de riqueza em relação às três demais ($F=30.5809$; $p<0,00001$) (Figura 71).

Figura 70: Riqueza média da meiofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri

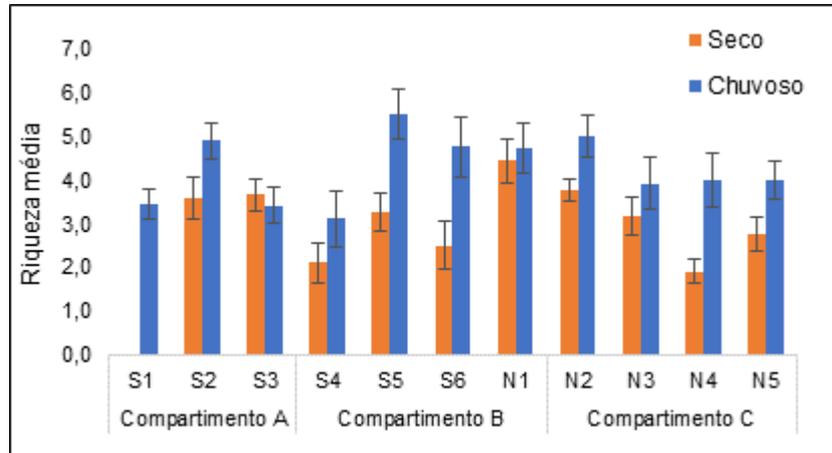
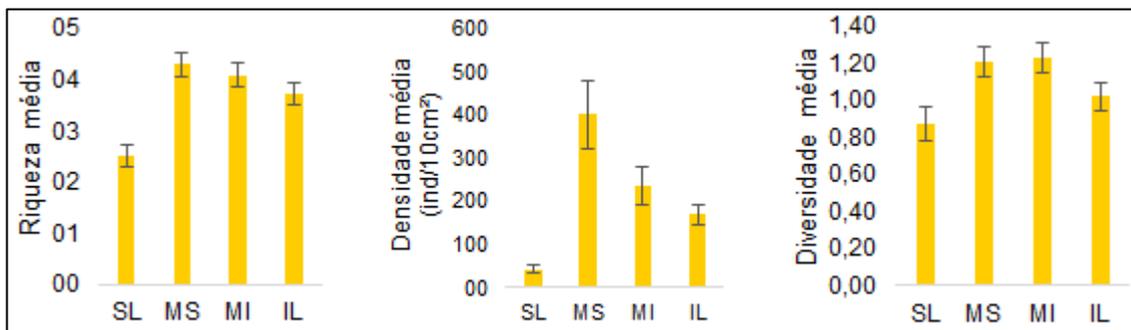


Figura 71: Descritores ecológicos da meiofauna nas faixas das praias da malha amostral. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



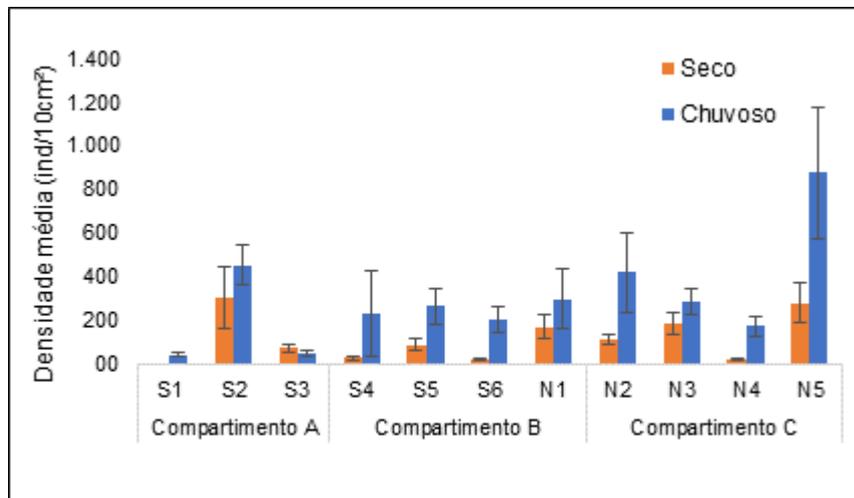
A densidade da meiofauna também diferiu entre as praias amostradas no primeiro ano do monitoramento ($F(10,224)=7,2915$, $p<0.0001$). As praias Mole (S1), Barra do Riacho (S4), Regência (S6) e Barra Nova (N4) obtiveram os menores valores de densidade, e nas demais praias estudadas foram registrados os maiores valores significativos de densidade de organismos (Figura 72).

Também foram registradas diferenças significativas na densidade entre os compartimentos ($F=8,1390$; $p=0,0003$). A densidade de organismos foi significativamente menor no Compartimento B, intermediária em A e maior no Compartimento C (Figura 72). Verificou-se também diferenças significativas na densidade entre as faixas, sendo significativamente menor no SL do que nas demais faixas analisadas ($F=26,5032$ $p=0,00001$) (Figura 71).

Variações significativas entre os períodos também foram registradas para este parâmetro. O período chuvoso apresentou uma maior densidade de organismos do que o período seco ($F=25,399$, $p<0,0001$). Também foram notadas variações ente os períodos amostrais em algumas praias em particular

($F=2,801$, $p=0,032$), com redução da densidade no período chuvoso em Putiri, enquanto o inverso, ou seja, aumento significativo na densidade no período chuvoso foi detectado em Regência e Barra Nova.

Figura 72: Densidade média da meiofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



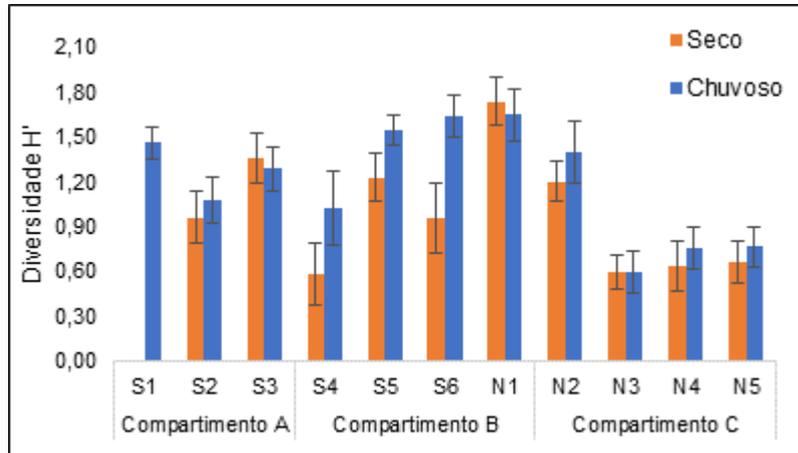
A diversidade da meiofauna também difere entre as praias ($F=8,5153$; $p<0,0001$). A análise de contraste detecta a formação de dois grupos: Praia Mole (S1), Putiri (S3), Comboios (S5), Regência (S6), Povoação (N1) e Degredo (N2) diferem das demais por apresentar maior diversidade significativa. Já entre as faixas das praias, a diversidade não apresentou diferenças significativas ($p>0,05$).

Modificações entre os períodos também foram registradas para a diversidade de organismos ($F=5,6886$; $p=0,01795$), com maiores valores ocorrendo no período chuvoso. Embora as estações amostrais Putiri (S3) e Povoação (N1) apresentassem valores discretamente maiores de diversidade na estação seca, esses resultados não foram significativos ($p>0,05$) (Figura 73).

Em relação aos compartimentos das praias com características morfodinâmicas semelhantes, o Compartimento B apresentou de forma significativa uma maior diversidade quando comparado com os demais compartimentos. Valores intermediários de diversidade foram registrados no Compartimento A e os menores no Compartimento C ($F=2,6025$; $p=0,006$).

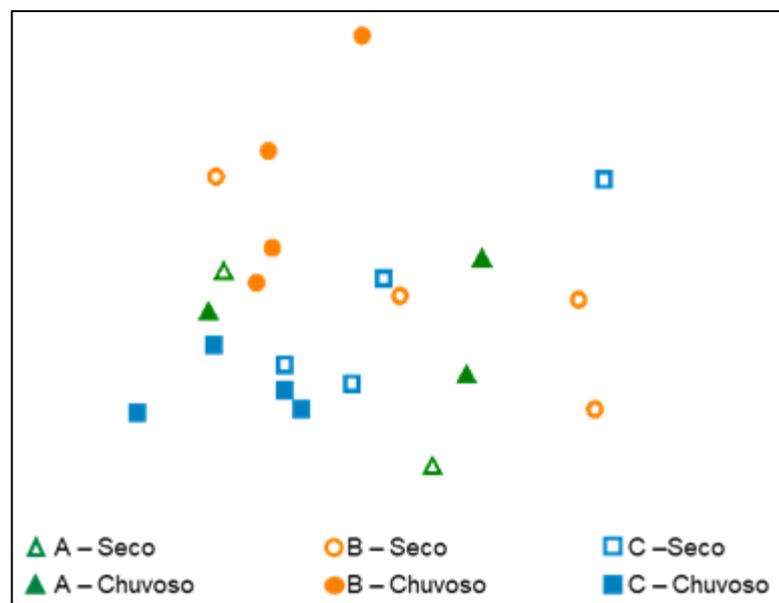
A ANOSIM e o nMDS indicaram que existem diferenças na estrutura da meiofauna entre os compartimentos morfodinâmicos da área amostral ($R_{Global}=0,074$; $p=0,001$) (Figura 74). O teste de pares *a posteriori* indicou que o Compartimento C diferiu tanto do Compartimento A quanto do B. O SIMPER indicou que a densidade de Nematoda foi o que mais contribuiu para a dissimilaridade entre os compartimentos. Os maiores valores de abundância de Nematoda foram registrados no Compartimento C.

Figura 73: Diversidade média da meiofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



Através do nMDS não foi possível observar diferenças na meiofauna entre os períodos seco e chuvoso. No entanto, a ANOSIM registrou mudança na estrutura da meiofauna entre os períodos amostrados no ano 2018 ($R_{Global}=0,087$; $p=0,001$) (Figura 74). Novamente a densidade de Nematoda foi a principal responsável por essa dissimilaridade, sendo que no período chuvoso este táxon teve um incremento na sua abundância.

Figura 74: Análise de similaridade ANOSIM e o nMDS entre os Compartimentos A, B e C da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrais.



Compartimento A

Foram encontrados 2.989 organismos distribuídos em 17 táxons. Nematoda foi o organismo com maior densidade média com 95 ind/10cm², seguido por Copepoda, com 47,4 ind/10cm².

A riqueza média para as praias deste compartimento foi maior na estação amostral Formosa (S2) no período chuvoso (S=4,89) e menor para Putiri nesse mesmo período (S=3,42) (Figura 70). A densidade registrou seu maior valor médio também na praia Formosa (453,6 ind/10cm²) no período chuvoso, no entanto, foi menor na estação amostral de praia Mole (S1) (166,6 ind/10cm²) no mesmo período. Já a diversidade se comportou de forma contrária, apresentando seu maior valor médio em praia Mole (H'=1,4) e o menor valor médio em praia Formosa (H'=0,9).

A análise de variância ANOVA não detectou diferenças significativas dos descritores ecológicos entres as faixas das praias e os períodos amostrais para a Meiofauna do Compartimento A.

A dominância dos grupos da meiofauna foi semelhante entre os períodos. Nematoda foi o grupo dominante tanto no período seco (51%) como no chuvoso (55%). Já Copepoda apresentou uma pequena redução da contribuição no período chuvoso, reduzindo de 30% no período seco para 24% no período chuvoso. Os demais táxons tiveram suas contribuições semelhantes entre os períodos (Figura 75).

As análises multivariadas de ordenação nMDS e de similaridade ANOSIM não indicaram variações significativas na estrutura da meiofauna entre os períodos amostrados neste compartimento ($p > 0,05$) (Figura 76). Contudo, a meiofauna diferiu entre as faixas das praias (ANOSIM: R global=0,087; $p = 0,012$), sendo a faixa SL significativamente diferente das faixas MI e IL, da mesma forma que o MI difere da faixa IL. O SIMPER indicou que a densidade de Nematoda foi a que mais contribuiu para a dissimilaridade entre as faixas, sendo que a faixa IL apresentou o maior valor, seguido de MI, MS e SL.

Figura 75: Contribuição dos principais grupos taxonômicos de Meiofauna por compartimento e períodos amostrados nas praias adjacentes ao rio Doce. A- Compartimento A; B- Compartimento B; C- Compartimento C.

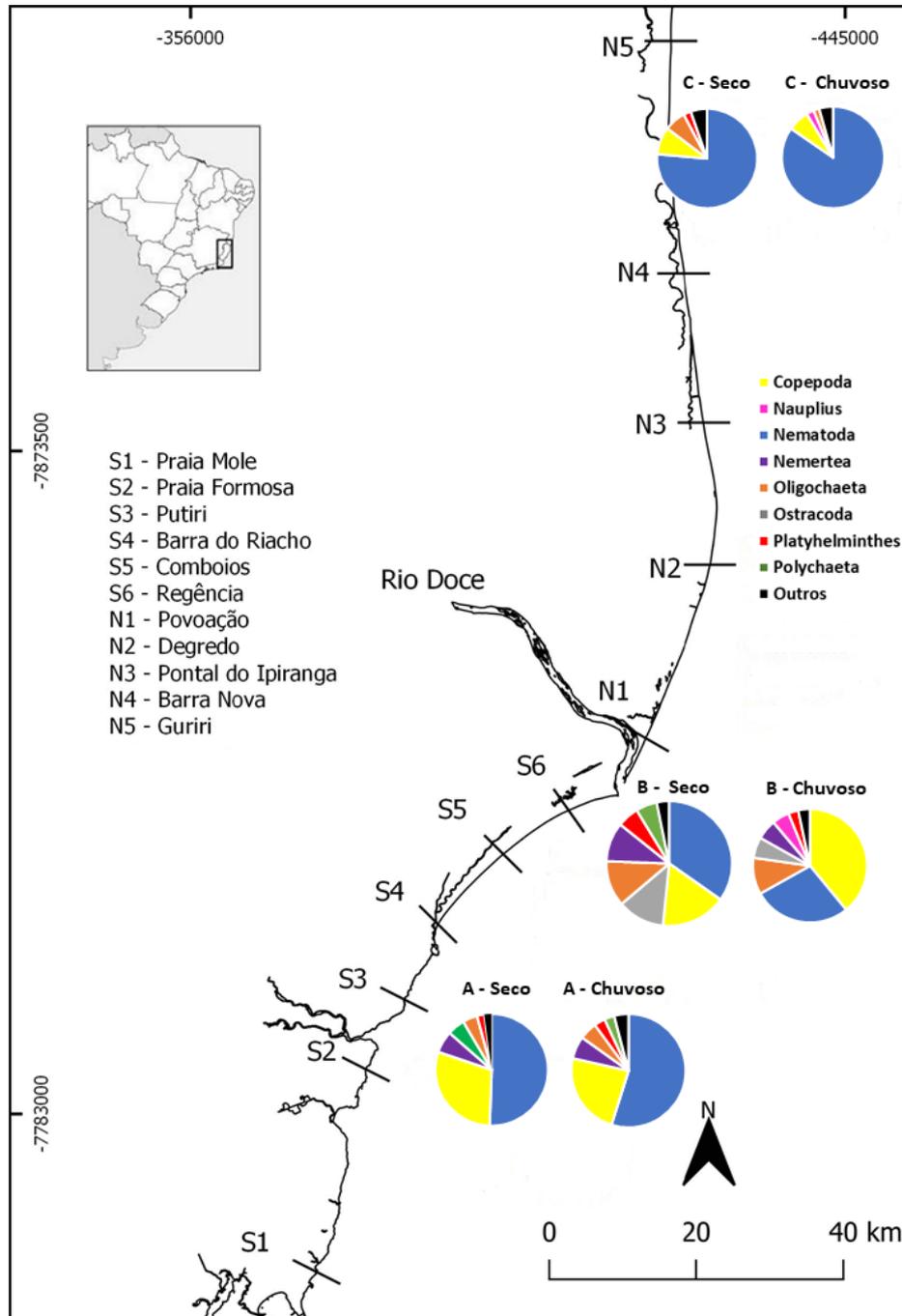
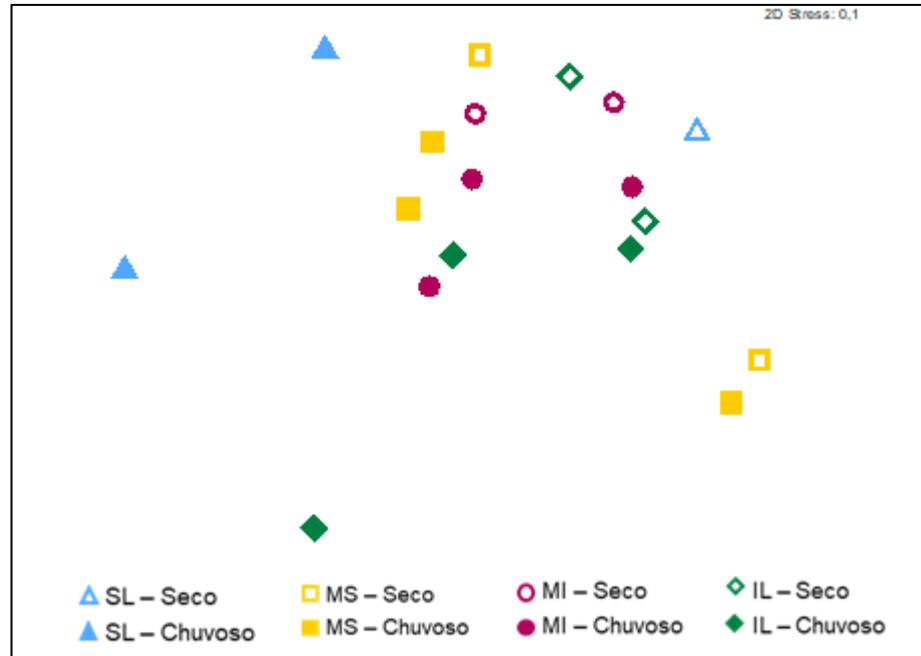


Figura 76: Análise de ordenamento nMDS entre as faixas no Compartimento A da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias X praias X períodos sazonais. A estação Praia Mole não foi amostrada no período seco. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos amostrados. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



Compartimento B

Foram encontrados 4.415 organismos distribuídos em 19 táxons. Nesse compartimento, Copepoda foi o organismo com maior densidade média, com 55,9 ind/10cm², seguido por Nematoda, com 47,9 ind/10cm².

A riqueza média para as praias deste compartimento foi significativamente maior na estação amostral de Comboios, no período chuvoso (S=5,5) e menor para Barra do Riacho, no período seco (S=2,1) (ANOVA; F = 206,23, p <0,001) (Figura 70). A riqueza também apresentou zonização, com SL e IL com número de grupos taxonômicos menores que as demais faixas (Figura 77).

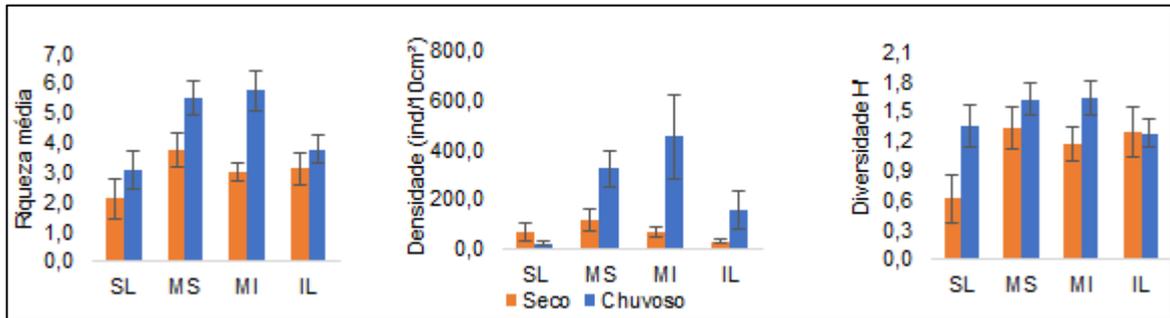
A densidade obteve o maior valor médio em Povoação (298,2 ind/10cm²), no período chuvoso, e menores Regência e Barra do Riacho (ANOVA: F = 7,291, p <0,0001) (Figura 72). A densidade do SL difere das demais, sendo significativamente inferior que o MS, MI e IL. A diversidade variou de 1,7 em Povoação no período seco e menor em Barra do Riacho, também no período seco (H'¹=0,6) (ANOVA: F=8,51; p = 0,001) (Figura 73). Não houve variações de H' entre as faixas das praias ao sul do rio Doce.

No período chuvoso foi observado um aumento dos descritores ecológicos em comparação ao período seco do mesmo ano (p>0,05).

A dominância dos grupos da meiofauna se alternou entre os períodos. Nematoda foi o táxon dominante no período seco, contribuindo com 35% do total, seguido por Copepoda, com apenas 17%. Contudo,

no período chuvoso Nematoda teve sua participação reduzida para 28%, enquanto que Copepoda teve um acréscimo, contribuindo com 39%. Os demais táxons tiveram suas contribuições semelhantes entre os períodos (Figura 75).

Figura 77: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m²) e diversidade média (H') da meiofauna entre as faixas do Compartimento B. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



As análises multivariadas de ordenação (nMDS) e de similaridade (ANOSIM) indicaram variações significativas na estrutura da meiofauna entre os períodos amostrados para este compartimento (ANOSIM: R global=0,142; p=0,001) (Figura 78). O SIMPER indicou que os incrementos nas densidades de Nematoda e Copepoda no período chuvoso foram responsáveis por essa dissimilaridade. Variações significativas também foram observadas entre as faixas deste compartimento (ANOSIM: R global=0,134; p=0,001), com o SL se diferenciando das demais faixas. O SIMPER detectou que a baixa densidade de Nematoda na faixa SL foi responsável por essa dissimilaridade.

Figura 78: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento B da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



Compartimento C

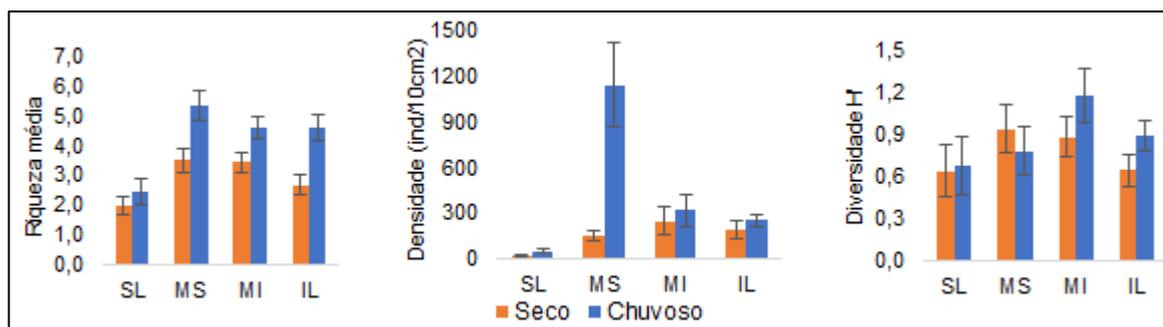
Nesse compartimento foram encontrados 8.871 organismos, distribuídos em 18 táxons. Nematoda foi o organismo com maior densidade média, com 242,9 ind/10cm², seguido por Copepoda, com 21,5 ind/10cm².

A riqueza média para as praias deste compartimento foi maior na estação amostral Degredo (N2), no período chuvoso (S=5,0), e menor para Barra Nova (N4), no período seco (S=1,92). Foram detectadas diferenças na riqueza entre os períodos, uma vez que a campanha do período chuvoso teve um acréscimo significativo no número de grandes grupos (F = 22,086, p = 0,0001).

A densidade foi maior em Guriri (S5) (876,1 ind/10cm²), no período chuvoso, e menor em Barra Nova, no período seco (22,3 ind/10cm²), sendo essa variação estatisticamente significava (ANOVA: F = 7,291, p < 0,0001). Não foram verificadas variações da diversidade no Compartimento C.

De maneira geral, o período chuvoso apresentou aumento do número de táxons e número de indivíduos p>0,05). Em relação às faixas, SL teve menor riqueza (F = 11,424, p < 0,0001) e densidade (F = 21,712, p < 0,0001) que as outras (Figura 79).

Figura 79: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m²) e diversidade média (H') da meiofauna entre as faixas do Compartimento C. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



Quanto à contribuição dos principais grupos da meiofauna, Nematoda foi o mais abundante, com 77% no período seco e aumentando para 85% no chuvoso. Copepoda contribuiu no período seco com 9%, apresentando uma pequena redução, para 7%, no período chuvoso. Os demais táxons tiveram suas contribuições semelhantes entre os períodos (Figura 75).

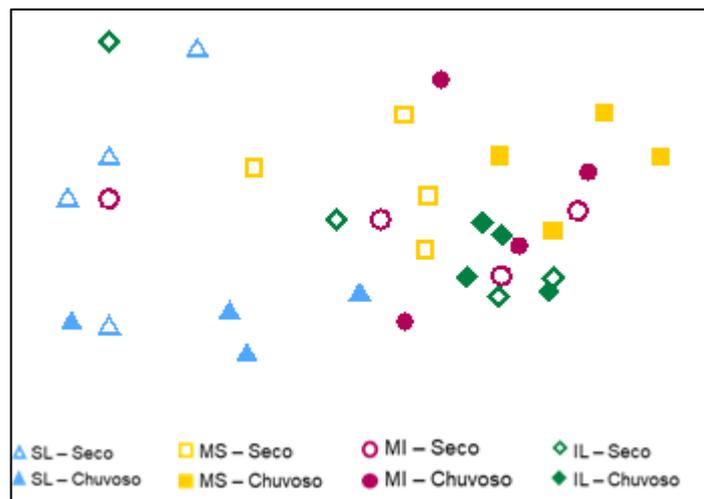
No Compartimento C, a densidade da meiofauna na faixa MS foi maior do que nas demais (p=0,043).

A meiofauna é horizontal e verticalmente variável; o tamanho médio dos grãos e o grau de classificação dos grãos de areia determina a disponibilidade de espaço para a meiofauna intersticial (Coull & Bell, 1979). A distribuição nas faixas mostra flutuações sazonais marcadas pela instabilidade das condições físicas e químicas, acentuadas pelos ritmos imersão e emersão (Coull & Bell, 1979) e é determinada pelo grau de drenagem e oxigenação de sedimentos. Movimentos verticais de meiofauna também foram correlacionados com distúrbios por ondas e chuva (Brown & McLachlan, 1990).

Em praias dissipativas, as mudanças sazonais na disponibilidade orgânica dos sedimentos, nutrientes e salinidade são altamente importantes para a abundância e diversidade da fauna bentônica, com aumentos na abundância e riqueza em períodos de maior disponibilidade orgânica (Cisneros et al., 2011). Portanto, mudanças temporais e espaciais na produtividade, temperatura e morfodinâmica das praias têm potencial para causar fortes impactos na fauna bentônica associada.

As análises multivariadas nMDS e ANOSIM indicaram variações significativas na abundância entre os períodos amostrados para este compartimento (ANOSIM: R global=0,122; p=0,001) (Figura 80). O SIMPER indicou que o incremento nas densidades de Nematoda e Copepoda no período chuvoso foi responsável pela dissimilaridade entre os períodos amostrados. O ANOSIM também detectou variações significativas entre as faixas deste compartimento (ANOSIM: R global=0,259; p=0,001) (Figura 80). Testes pareados revelaram que o SL foi a faixa diferente das demais. O SIMPER detectou que a baixa densidade de Nematoda na faixa SL foi responsável pela dissimilaridade entre as demais faixas.

Figura 80: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento C da meiofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



3.3.1.3 Nematofauna

A nematofauna das praias adjacentes ao rio Doce, no primeiro ano do PMBA, foi composta por 10.129 indivíduos, sendo identificados 114 gêneros de Nematoda, nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 2018, que correspondem aos períodos seco e chuvoso, respectivamente.

Quatro gêneros de Nematoda se destacaram entre os de maior abundância: *Daptonema* (16%), *Microloaimus* (11,7%), *Metachromadora* (9,9%) e *Paracyatholaimus* (7,8%). A Figura 81 traz o registro fotográfico dos táxons supracitados. Os demais 110 táxons contribuíram com menos de 7% cada um. De maneira geral, grande parte dos gêneros registrados tiveram baixa frequência de ocorrência, aparecendo ocasionalmente em somente uma praia ou faixa, em baixas densidades. A

distribuição dos gêneros mais abundantes em ambos os períodos amostrais, em relação aos diferentes setores morfodinâmicos e faixas das praias, está apresentada na Figura 82.

Figura 81: Registro fotográfico dos gêneros dominantes da nematofauna. A- *Daptonema*; B- *Microlaimus*; C- *Metachromadora*; D- *Paracyatholaimus*. Fotos NUBEM – AxioCam 305 Zeiss. Escala 50µm.

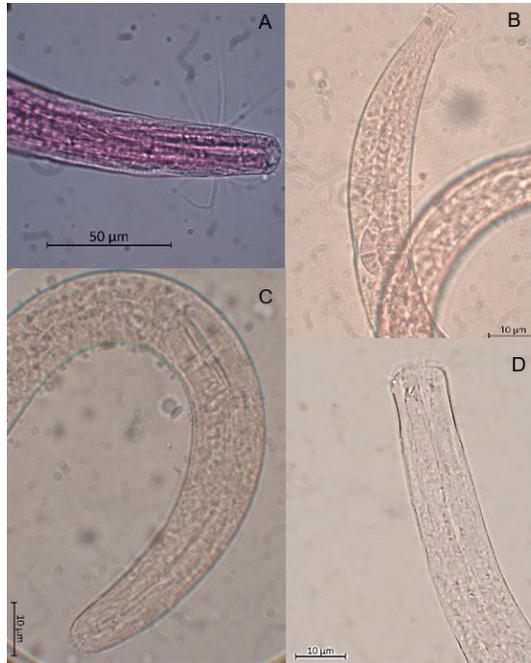
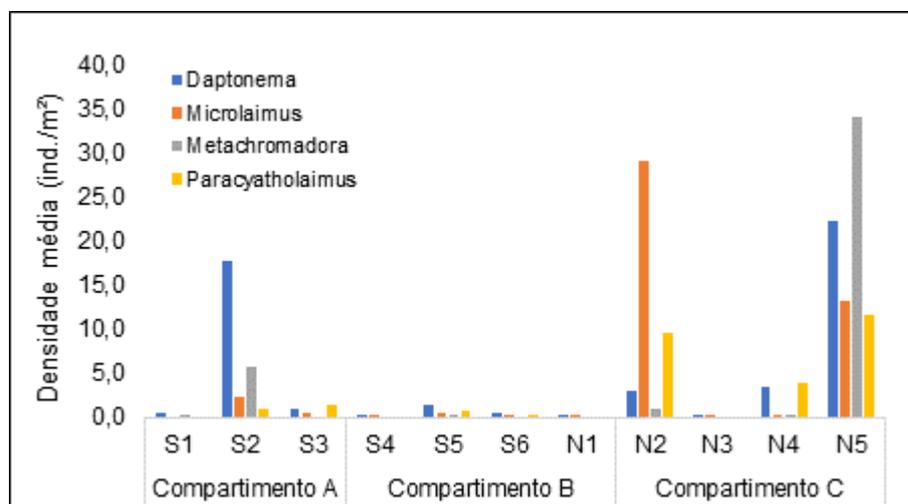


Figura 82: Distribuição dos táxons mais abundantes da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce. S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



As faixas das praias apresentaram diferenças nos táxons dominantes (Tabela 7). No supralitoral, o gênero mais abundante foi *Paracanthonus*, com 15,5% dos organismos contabilizados na faixa. No MS, *Metachromadora* foi responsável por 17,7%, seguido por *Paracyatholaimus* (14%). Já no MI e IL,

Daptonema foi o dominante (26% e 26,2%, respectivamente). Cabe ressaltar que esse padrão de dominância foi observado principalmente nos Compartimentos A e C.

Tabela 7: Abundância relativa dos grupos taxonômicos dominantes em cada faixa das praias. SL- supralitoral; MS – mesolitoral superior; MI – mesolitoral inferior; IL – infralitoral.

SL		MS		MI		IL	
<i>Paracanthochus</i>	15,5 %	<i>Metachromadora</i>	17,7%	<i>Daptonema</i>	26,0%	<i>Daptonema</i>	26,2%
<i>Paracyatholaimus</i>	12,6%	<i>Paracyatholaimus</i>	14,0%	<i>Microilaimus</i>	20,5%	<i>Omicronema</i>	11,4%
<i>Theristus</i>	8,4%	<i>Desmodora</i>	11,8%	<i>Enoplolaimus</i>	8,4%	<i>Axonolaimus</i>	8,8%
<i>Omicronema</i>	7,1%	<i>Latronema</i>	11,3%	<i>Metachromadora</i>	6,9%	<i>Enoplolaimus</i>	6,1%
<i>Conilia</i>	6,9%	<i>Microilaimus</i>	11,2%	<i>Latronema</i>	5,8%	<i>Pseudosteineria</i>	5,3%

O gênero *Daptonema* pertence à família Xyalidae, que é comumente citada como o táxon frequentemente encontrado em praias arenosas ao redor do mundo (Heip *et al.*, 1985; Nicholas & Hodda, 1999, Lee & Riveros, 2012). Diversos estudos citam esse gênero como dominante em ambientes de areia fina e média (Gourbault & Warwick, 1994, Nicholas & Hodda, 1999, Gheskiere *et al.*, 2004, Hourston *et al.*, 2005, Moreno *et al.*, 2006, Mundo-Ocampo *et al.*, 2007, Ataide, 2012), o que corrobora com a classificação da granulometria para o Compartimento A.

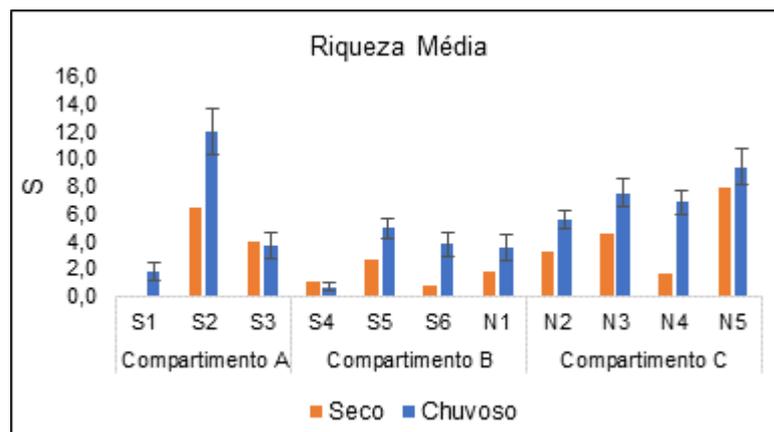
Foram observadas alterações nos descritores ecológicos da nematofauna entre as praias da malha amostral, faixas das praias, períodos sazonais e entre os compartimentos morfodinâmicos (Tabela 8).

Tabela 8: Análises de Variância (ANOVA) dos descritores ecológicos da nematofauna em função das praias, faixas, compartimentos morfodinâmicos e períodos sazonais.

	Riqueza	F	p
Praias		15,289	<0,0001
Faixa		15,677	<0,0001
Compartimento		26,400	<0,0001
Período		19,652	<0,0001
Densidade			
Praias		14,386	<0,0001
Faixa		14,602	0,002
Compartimento		19,458	<0,0001
Período		3,605	0,057
Diversidade			
Praias		23,656	<0,0001
Faixa		26,48	<0,0001
Compartimento		10,646	0,001
Período		29,786	0,027

As maiores riquezas taxonômicas foram atribuídas às praias Formosa (S=12) e Guriri (S=9,4), enquanto que Barra do Riacho (S=0,7) e Praia Mole (S=1,7) obtiveram os menores valores. As demais praias tiveram valores de riqueza intermediários e foram estatisticamente diferentes das demais (Figura 83). Em relação aos Compartimentos, A e C apresentaram maior riqueza quando comparadas ao Compartimento B.

Figura 83: Riqueza média da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



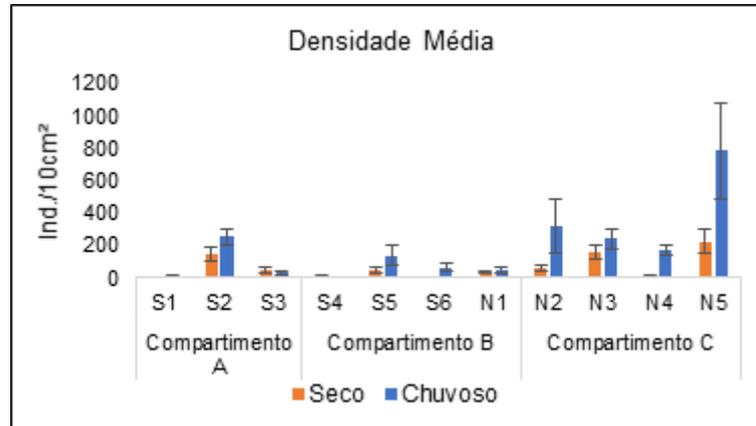
Houve variação significativa da riqueza da nematofauna entre os períodos amostrais. De modo geral a maior riqueza ocorreu no período chuvoso ($p < 0,05$).

A densidade média da nematofauna também apresentou variações estatísticas significativas entre as praias ($p < 0,05$). As praias Guriri, Degredo e Pontal do Ipiranga, ambas do Compartimento C, e Formosa, do Compartimento A, tiveram as maiores densidades do monitoramento, vide Figura 84. O menor número de indivíduos foi observado em Barra do Riacho. Tal variação corrobora o resultado da análise de variância entre compartimentos, que demonstrou que o Compartimento C teve densidade significativamente maior que os demais ($p < 0,05$).

De maneira geral, houve um incremento na densidade da nematofauna no período chuvoso, contudo essa diferença foi discretamente significativa ($p = 0,057$).

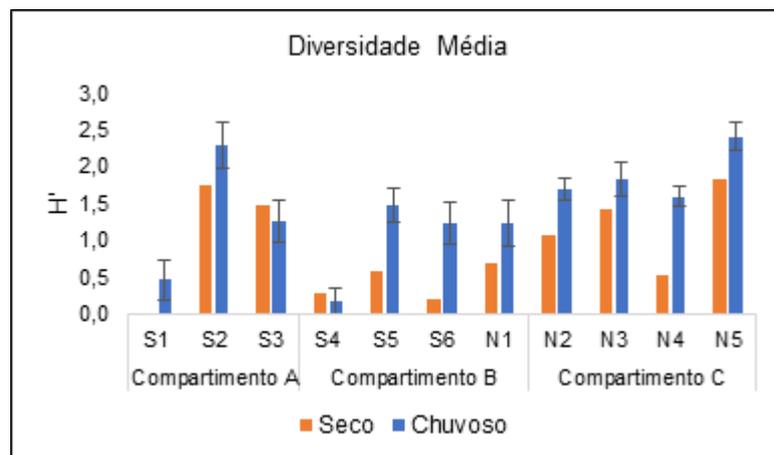
Quanto à diversidade, Praia Mole e Barra do Riacho tiveram diversidade significativamente inferior que as demais praias, enquanto que Pontal do Ipiranga, Guriri e Formosa, todas com características dissipativas a intermediárias, apresentaram as maiores diversidades ($p < 0,0001$).

Figura 84: Densidade média da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



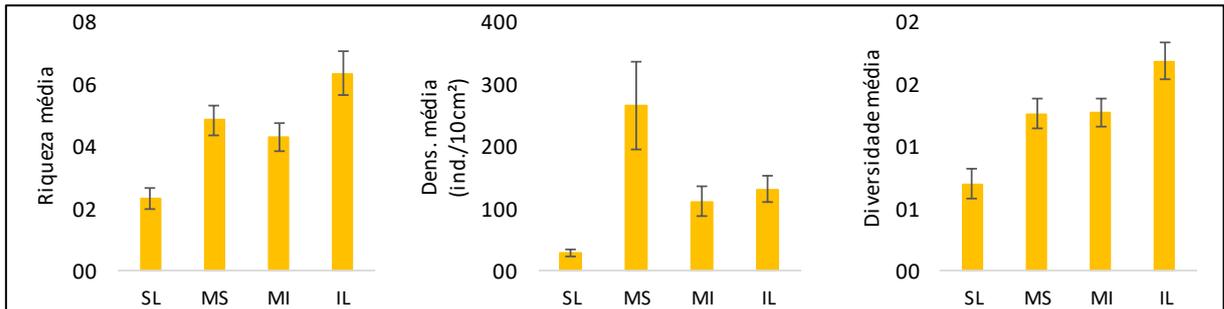
Foram verificadas alterações significativas também entre os períodos sazonais, no qual a amostragem do período chuvoso obteve a maior diversidade ($p < 0,0001$). Em relação aos compartimentos morfodinâmicos das praias adjacentes à desembocadura do rio Doce, o Compartimento B apresentou valores significativamente menores que os demais compartimentos (Figura 85).

Figura 85: Diversidade média da nematofauna nas praias adjacentes ao rio Doce nos períodos seco (Set/2018) e chuvoso (Dez/2018). S1: Praia Mole; S2: Praia Formosa; S3: Praia de Putiri; S4: Barra do Riacho; S5: Comboios; S6: Regência; N1: Povoação; N2: Degredo; N3: Pontal do Ipiranga; N4: Barra Nova; N5: Guriri.



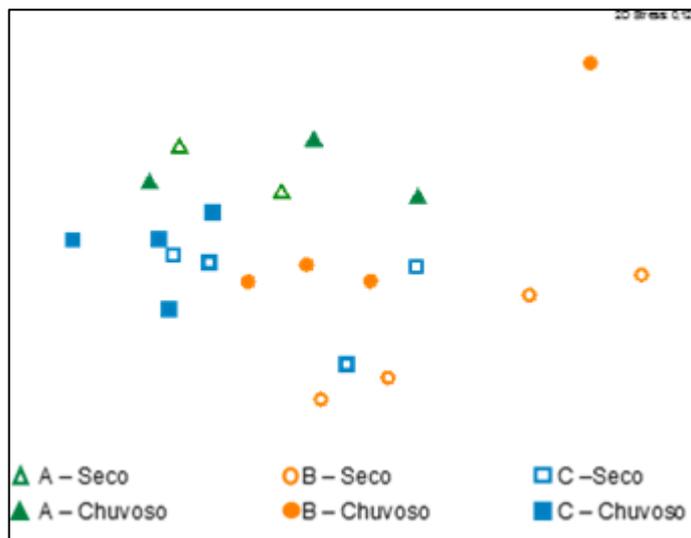
Quando analisadas as faixas das praias, os descritores ecológicos Riqueza, Densidade e Diversidade foram significativamente inferiores no SL em relação às demais ($p < 0,005$) (Figura 86).

Figura 86: Descritores ecológicos da nematofauna nas faixas das praias da malha amostral. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



A estrutura da nematofauna foi diferente entre os compartimentos morfodinâmicos (ANOSIM: R global: 0,107, $p=0,001$) (Figura 87). Também foram verificadas diferenças na composição e densidade entre os períodos amostrais seco e chuvoso (ANOSIM: R global =0,078; $p=0,001$). O SIMPER indicou que as mudanças nas densidades de *Daptonema* e *Axonolaimus* sp. foram responsáveis pela dissimilaridade entre as amostragens.

Figura 87: Análise nMDS entre os Compartimentos A, B e C da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais.



Compartimento A

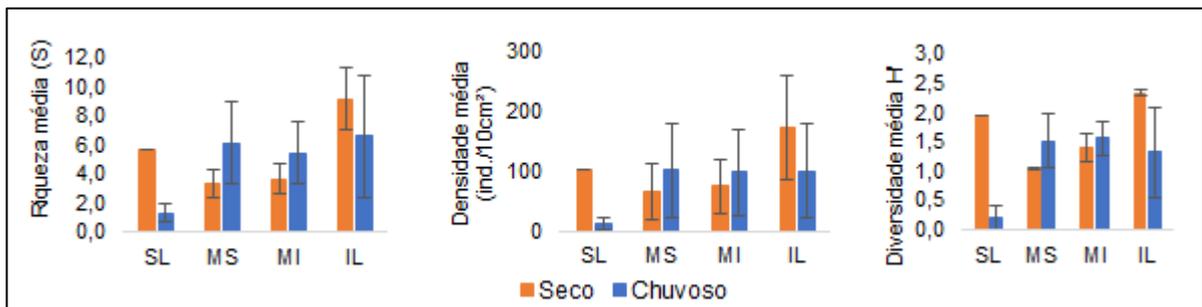
Foram encontrados 1.554 organismos distribuídos em 71 táxons. O gênero *Daptonema* foi o organismo com maior densidade média, com 23,76 ind/10cm², seguido por *Theristus*, com 8,42 ind/10cm².

A análise de variância indicou diferenças dos descritores ecológicos entre as praias do Compartimento A ($p<0,05$). Os maiores valores médios dos parâmetros riqueza, densidade e diversidade foram registrados na estação amostral praia Formosa atribuídos à amostragem do período chuvoso (S=12,

N=251,2 ind./10cm² e H'=2,3), enquanto que o menor foi registrado em praia Mole (S=1,7, n=13,9 ind./10cm² e H'=0,5), durante o mesmo período (Figura 83, Figura 84, Figura 85).

De maneira geral, não houve mudança significativa dos descritores ecológicos em relação aos períodos de amostragens (p>0,05). Contudo, entre as faixas, foi possível observar que houve diminuição significativa de riqueza, densidade e diversidade no SL, no período chuvoso (ANOVA: F= 3,348, p = 0,02) (Figura 88).

Figura 88: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m²) e diversidade média (H') da nematofauna entre as faixas do Compartimento A. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



Verificou-se alteração na composição das faixas das praias do compartimento dos terraços de abrasão, sendo a fauna do SL e MS diferente do MI e IL (ANOSIM: p < 0,005) (Figura 89). Os táxons responsáveis pela dissimilaridade entre as faixas e a contribuição de cada um está descrito na Tabela 9. Não foi observada alteração na estrutura da nematofauna entre as amostragens de setembro e dezembro/2018 (ANOSIM: p = 0,229).

Figura 89: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento A da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

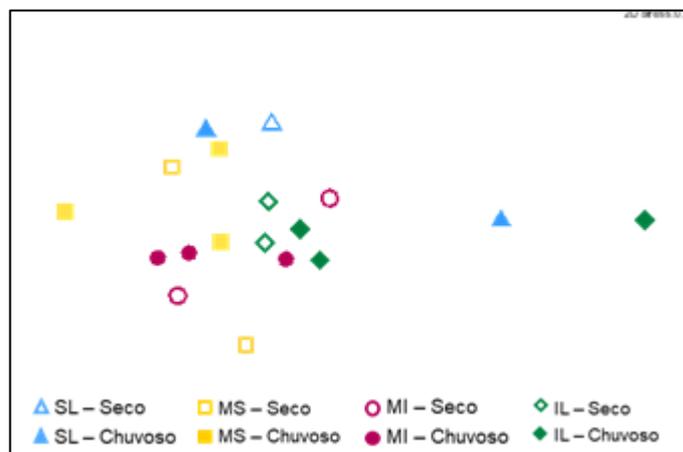


Tabela 9: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER da nematofauna no Compartimento A. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

Faixas	ANOSIM (p)	Média de dissimilaridade	Táxon	% Acumulativo
SL x MI	0,004	95,12%	<i>Theristus</i>	15,3%
			<i>Paracyatholaimus</i>	27,6%
			<i>Daptonema</i>	38,8%
SL x IL	0,004	93,9%	<i>Paracyatholaimus</i>	12,5%
			<i>Nematoda spp.</i>	22,6%
			<i>Daptonema</i>	32,4%
MS x MI	0,009	91,4%	<i>Theristus</i>	14,8%
			<i>Daptonema</i>	25,3%
			<i>Paracyatholaimus</i>	31,7%
MS x IL	0,009	93,0%	<i>Daptonema</i>	9,33%
			<i>Pseudosteineria</i>	17,02%
			<i>Nematoda spp.</i>	23,83%

Compartimento B

Nas praias da planície do rio Doce foram contabilizados 1.278 organismos, sendo identificados 54 gêneros de Nematoda. Os gêneros *Axonolaimus* e *Desmodora* foram os dominantes neste compartimento, com densidades médias iguais a 3,4 ind/10cm² e 2,8 ind/10cm², respectivamente.

Houve diferenças entre os descritores univariados da fauna entre as praias do Compartimento B ($p < 0,005$). A praia de Comboios obteve os maiores de valores de densidade média, riqueza e diversidade do compartimento. Cabe ressaltar que esse resultado possivelmente ocorreu devido aos maiores valores verificados na campanha de dezembro/2018 (período chuvoso). Em contrapartida, na mesma campanha, Barra do Riacho foi a praia com menor números de gêneros, densidade e diversidade (Figura 83, Figura 84, Figura 85).

No período chuvoso foram registrados os maiores valores de riqueza e densidade ($p > 0,05$) e as faixas MS e IL tiveram aumentos significativos desses descritores na amostragem de dezembro/2018. A diversidade também aumentou no período chuvoso, uma vez que as faixas MS, MI e IL tiveram um incremento significativo para esse descritor (Figura 90).

As análises de ordenação (Figura 91) entre as faixas (ANOSIM: R Global = 0,047, $p = 0,07$) e entre os períodos seco e chuvoso (ANOSIM: R Global = 0,061, $p = 0,001$) apontaram diferenças da estrutura da nematofauna no Compartimento B. A análise de classificação indicou que o aumento na densidade de *Axonolaimus* no período chuvoso foi o principal responsável pela dissimilaridade entre os períodos. O teste de pares e o SIMPER entre as faixas estão apresentados na Tabela 10.

Figura 90: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m²) e diversidade média (H') da nematofauna entre as faixas do Compartimento B. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

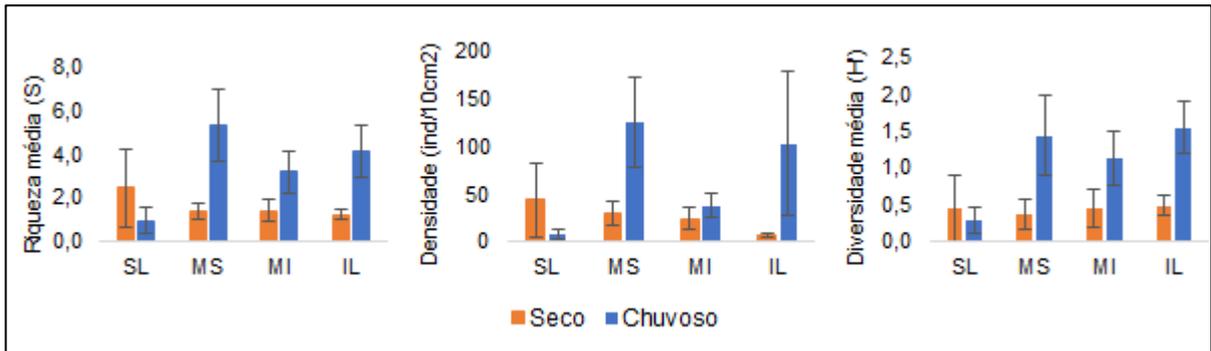


Figura 91: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento B da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

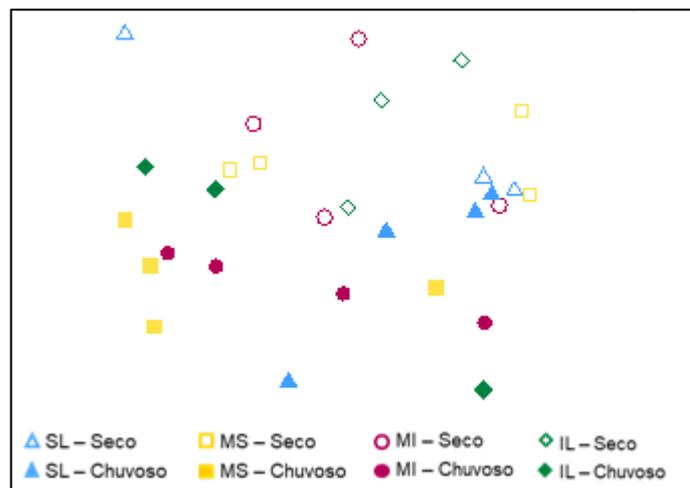


Tabela 10: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER da nematofauna no Compartimento A. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

Faixas	ANOSIM (p)	Média de dissimilaridade	Táxon	% Acumulativo
SL x MS	0,03	97,47%	<i>Desmodora</i>	8,6
			<i>Axonolaimus</i>	17,2
			<i>Nematoda spp.</i>	25,2
SL x MI	0,012	96,9%	<i>Axonolaimus</i>	17,2
			<i>Enoplolaimus</i>	30,0
			<i>Nematoda spp.</i>	41,2
SL x IL	0,013	98,0%	<i>Axonolaimus</i>	15,1
			<i>Enoplolaimus</i>	24,8
			<i>Perepsilonema</i>	33,5

Faixas	ANOSIM (p)	Média de dissimilaridade	Táxon	% Acumulativo
MS x IL	0,034	94,3%	<i>Axonolaimus</i>	13,3
			<i>Enoplolaimus</i>	23,4
			<i>Desmodora</i>	31,4

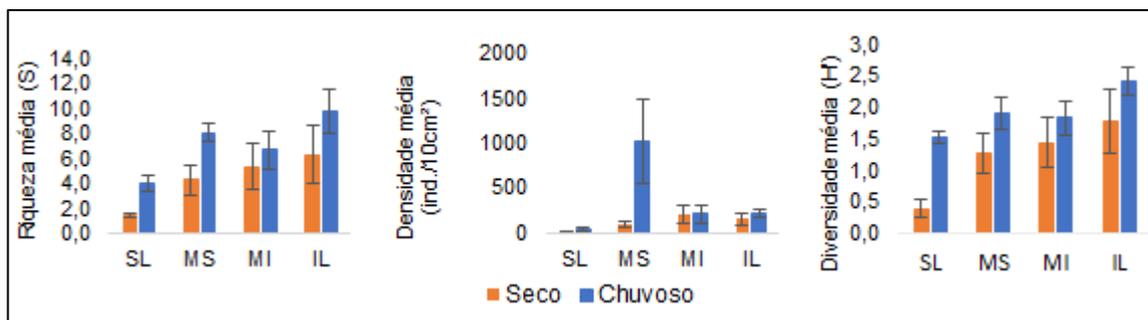
Compartimento C

Nas praias ao norte do rio Doce foram contabilizados 7.297 Nematoda, sendo identificados 70 gêneros. Os gêneros *Daptonema* e *Microlaimus* foram os dominantes neste compartimento, com densidades médias iguais a 12,18 ind/10cm² e 11,4 ind/10cm², respectivamente.

Nessas praias, a riqueza e diversidade da faixa IL foram significativamente superiores às demais, enquanto que o SL teve o menor número de gêneros (p<0,005). Houve um incremento significativo na riqueza do período chuvoso quando comparado ao período seco (p <0,005) (Figura 92).

A análise de variância também indicou mudança significativa da densidade média entre os períodos amostrais, com a densidade no chuvoso maior que no seco, e entre as faixas das praias, com o SL inferior às demais (ambos com p<0,05). No MS e IL houve aumento da densidade no período chuvoso (p<0,005), o que refletiu nos maiores valores médios desse período para esse compartimento.

Figura 92: Riqueza média (S), densidade média (Ind/m²) e diversidade média (H') da nematofauna entre as faixas do Compartimento C. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.



As análises multivariadas corroboraram as univariadas e indicaram alterações na estrutura da fauna entre os períodos e entre todas as faixas (ANOSIM: R Global = 0,186, p = 0,001) (Figura 93). De acordo com o SIMPER, a diferença na composição de Nematoda entre as amostragens de setembro e dezembro/2018 ocorreu devido ao aumento na densidade de *Daptonema*, *Paracyatholaimus* e *Enoplolaimus* no período chuvoso. A Tabela 11 traz os resultados das análises de similaridade e classificação, que indicam quais os principais táxons foram responsáveis pelas dissimilaridades entre as faixas.

Figura 93: Análise de ordenação nMDS entre as faixas no Compartimento B da nematofauna nos períodos seco e chuvoso/2018. Pontos no gráfico indicam médias das praias nos períodos sazonais. SL- Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI - Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

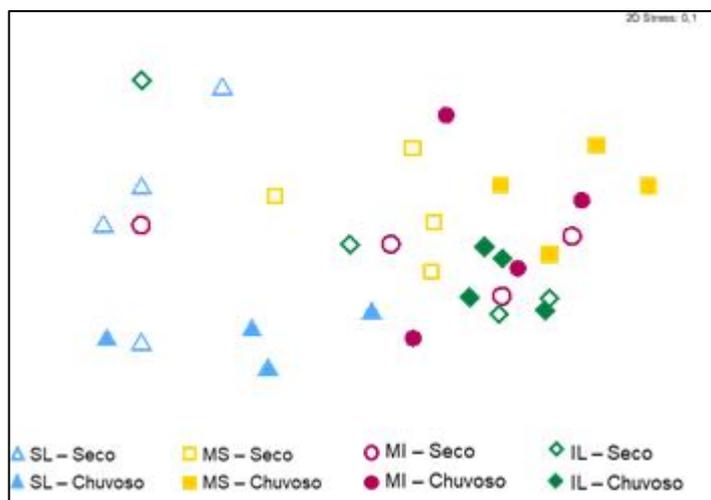


Tabela 11: Análise de similaridade ANOSIM e análise de classificação SIMPER da nematofauna no Compartimento A. SL – Supralitoral; MS – Mesolitoral Superior; MI – Mesolitoral Inferior; IL – Infralitoral.

Faixas	ANOSIM (p)	Média de dissimilaridade	Táxon	% Acumulativo
SL x MS	0,001	89,24%	Paracyatholaimus	11,30
			Nematoda spp.	20,94
			Axonolaimus	28,59
SL x MI	0,001	89,88%	Daptonema	14,49
			Nematoda spp.	24,01
			Paracyatholaimus	32,93
SL x IL	0,001	81,79%	Daptonema	14,09
			Paracyatholaimus	23,60
			Axonolaimus	31,81
MS x MI	0,001	90,78%	Omicronema	10,55
			Daptonema	20,84
			Nematoda spp.	29,92
MS x IL	0,001	83,30	Daptonema	10,31
			Omicronema	19,98
			Paracyatholaimus	28,03
MI x IL	0,026	72,03	Daptonema	13,43
			Omicronema	23,95
			Axonolaimus	31,61

Alongi (1990) justifica o aumento de Nematoda durante a amostragem do período chuvoso, em que ocorrem temperaturas mais altas, devido ao aumento do número de bactérias, protozoários e microfotobentos nos sedimentos, o que possibilita a predominância de comedores de epístrados.

3.3.1.4 Alterações ocorridas após a chegada do rejeito do sistema praiial ao norte

Aqui são apresentados os dados pretéritos de macrofauna e meiofauna para a praia de Degredo (N2), de acordo com os resultados da dissertação de mestrado Teixeira (2016) e uma breve comparação em relação ao trabalho de conclusão de curso de Mauri (2017), ambos desenvolvidos no Laboratório de Ecossistemas Marinho CEUNES/UFES.

Na Figura 94, é possível verificar que logo após a chegada da lama de rejeitos (chuvoso/2016) houve uma drástica redução nos índices biológicos da macrofauna (todos com $p < 0,01$). Com os dados obtidos no PMBA foi possível observar que tanto no período seco/2018 quanto no período chuvoso/2018 houve um acréscimo na riqueza e, conseqüentemente, na diversidade. No entanto, a densidade de organismos se manteve reduzida em ambos os períodos.

Em comparações da riqueza da macrofauna realizadas entre os mesmos períodos antes e depois do desastre, foi observado que o período chuvoso de 2016 apresentou menor riqueza significativa do que o período chuvoso 2015 e 2018 ($F=34,932$; $p=0,028$). Quanto à riqueza do período seco, foi possível verificar que na condição de pré-desastre a riqueza foi significativamente maior do que na condição de pós desastre ($F=6.6634$; $P=0.009$).

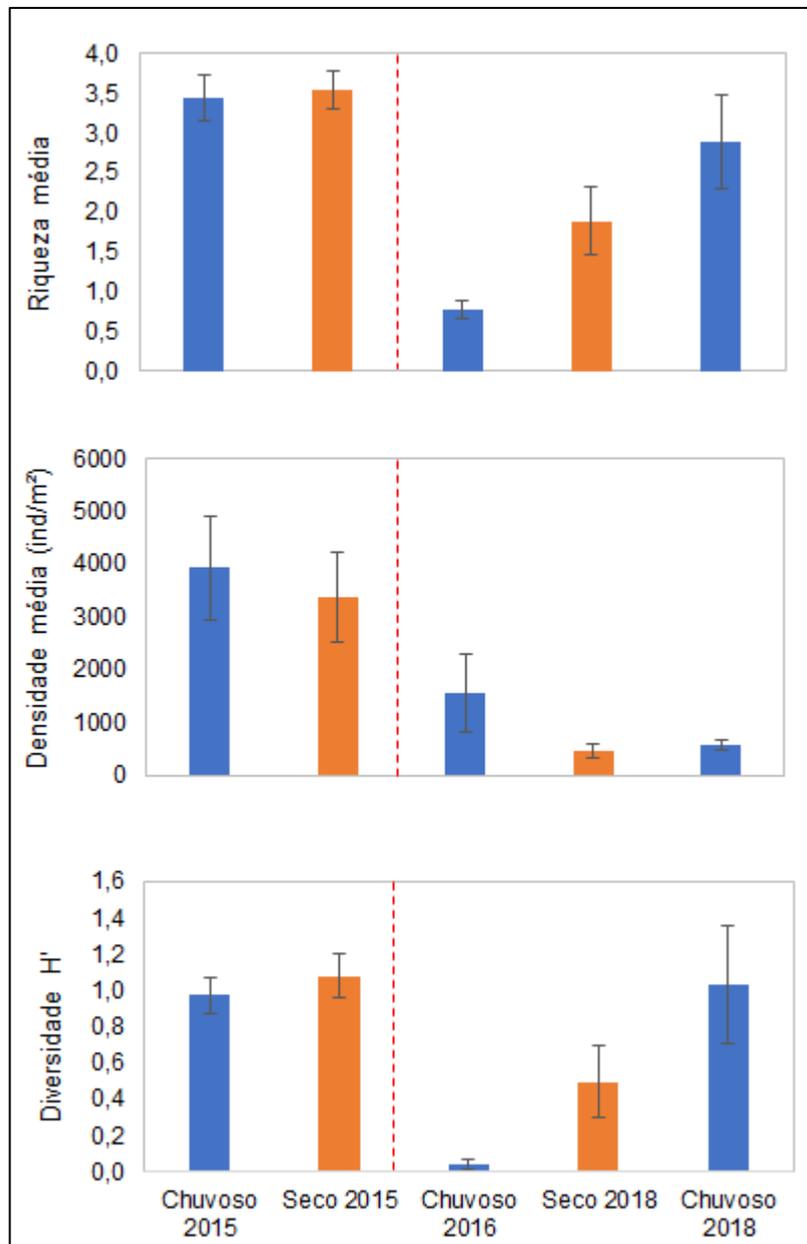
Quanto à densidade média de organismos, no período seco de 2018 houve uma redução de 86,5% quando comparado à densidade de 2015 ($F=25.0304$; $P<0.0001$). A densidade média no período chuvoso de 2018 continuou reduzindo ($F=11,8324$; $p=0,0001$). Na condição pré-desastre (chuvoso 2015) foi registrado 3.934 ind/m², reduzindo para 1.562 ind/m² para a condição de pós-desastre (chuvoso 2016). Com os dados do PMBA (chuvoso 2018) foi registrado apenas 568 ind/m².

A diversidade de organismos do período chuvoso se comportou de forma semelhante à riqueza, sendo significativamente menor para o período chuvoso de 2016 do que 2015 e 2018. No período seco também houve diferença entre os anos, sendo significativamente maior em 2015 do que em 2018 ($F=8.6409$; $p=0.006$).

Ellis e Hoover (1990) já citaram que eventos como esses modificam o habitat dos organismos bentônicos, provocando alteração da estrutura da comunidade, por meio da redução do número de espécies, aumento de organismos oportunistas, reduzindo assim a diversidade de táxons.

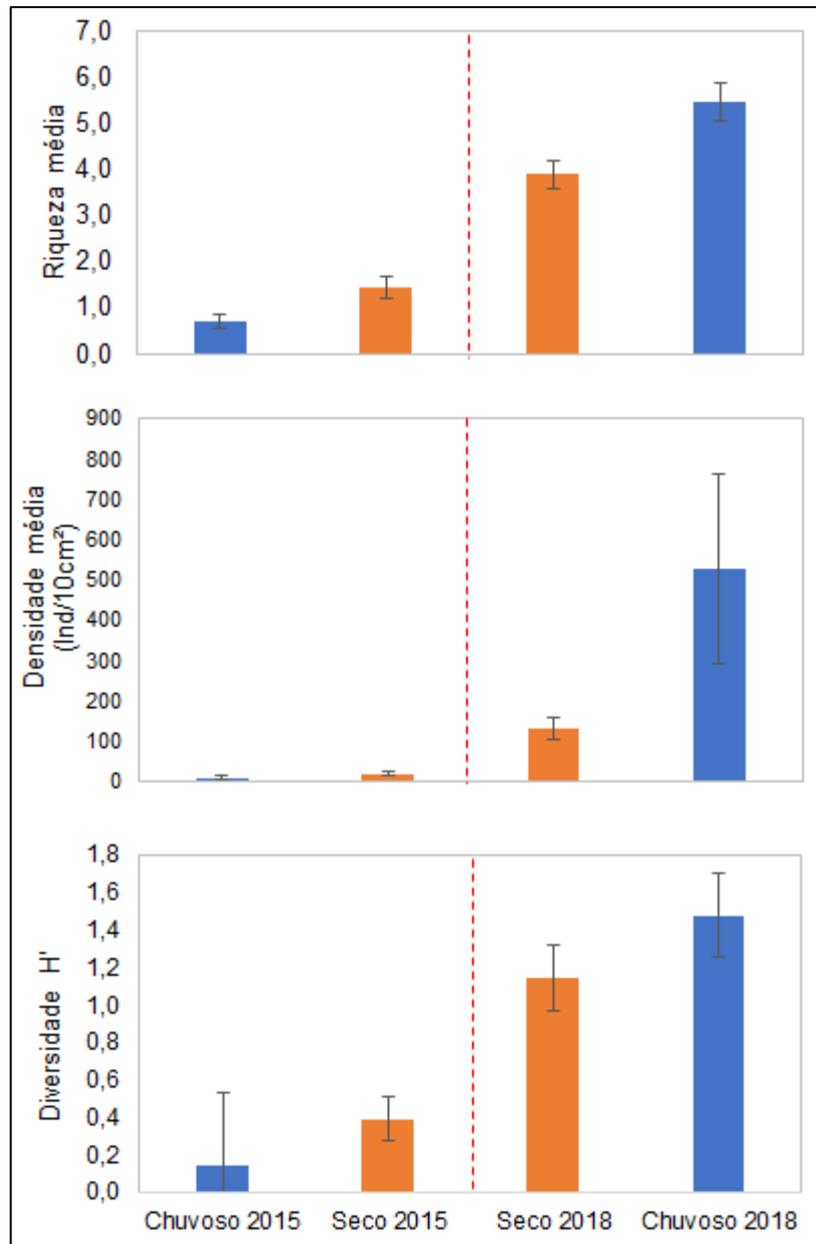
Para a meiofauna também ocorreram claras modificações entre os períodos pré-desastre e pós-desastre em Degredo (N2), no entanto, ao contrário do que ocorreu para macrofauna. Foi verificado um acréscimo significativo nos valores de riqueza, densidade e diversidade ($p < 0,001$ para todos os índices) na condição de pós desastre (Figura 95).

Figura 94: Comparação dos dados pretéritos de riqueza média, densidade média e diversidade média da macrofauna; chuvoso/2015 e Seco/2015 referem-se aos dados pretéritos da dissertação de Teixeira (2016); chuvoso/2016 refere-se aos dados pretéritos do trabalho de conclusão de curso de Mauri (2017). Seco/2018 e Chuvoso/2018 referem-se aos dados do PMBA (set/2018 e dez/2018). A linha vermelha demarca a época do desastre.



O resultado da ANOVA para riqueza da meiofauna do período chuvoso entre os anos 2015 e 2018 detectou que em 2018 houve uma maior riqueza da meiofauna do que 2015 ($F=240.7249$; $p<0.0001$). O mesmo padrão foi observado tanto para densidade quanto para a diversidade. No período seco, os parâmetros riqueza e densidade se comportaram de forma similar ao período chuvoso, exceto para a diversidade que não apresentou diferenças significativas entre os anos ($p>0,05$).

Figura 95: Comparação dos dados pretéritos de riqueza média, densidade média e diversidade média da meiofauna. C=chuvoso, S=Seco; C-2015 e S-2015 referem-se aos dados pretéritos da dissertação de Teixeira, 2016; S-2018 refere-se aos dados do PMBA (set/2018). A linha vermelha demarca a época do desastre.



A redução brusca nos parâmetros analisados pode ser considerada uma evidência de que a comunidade macrobentônica da praia de Degredo foi impactada. Gomes *et al.* (2017) observou uma redução na densidade e diversidade de organismos, assim como a modificação da estrutura trófica para o estuário do rio Doce após o desastre. O mesmo padrão foi observado por Castilla (1983) no Chile, onde rejeitos de cobre, sem tratamento, foram despejados através do rio Salado diretamente no mar da praia da Baía de Chañaral, onde o monitoramento da fauna de praias arenosas demonstrou uma diminuição progressiva da densidade e da biomassa nas comunidades macrobentônicas afetadas

pelos rejeitos. Já para meiofauna, na ausência da macrofauna (possível predador) são registrados maiores valores de riqueza, densidade e diversidade. A meiofauna também possui tempos de geração tipicamente mais rápidos, com isso uma maior resiliência, que a macrofauna e ocorrem em densidades bentônicas significativamente maiores (Reiss e Schmid-Araya, 2008).

3.3.2 Coleção Zoológica

A importância das coleções científicas, mantidas especialmente nos museus de história natural, é inegável. Algumas dessas coleções são de abrangência mundial, abrigam dezenas de milhões de exemplares e têm um fluxo de visitação ininterrupto de biólogos, ambientalistas e outros pesquisadores que necessitam consultar o seu acervo. As coleções científicas constituem, de fato, uma fonte crucial de informação para todos os que, por sua atividade, têm contato com seres vivos. Isto envolve áreas estratégicas de atuação governamental, como a gestão do meio ambiente, a pesquisa agrônoma, médica ou farmacêutica que, por sua vez, tem implicações sérias em todos os níveis da sociedade.

Em 2014, a instituição UFES-CEUNES, recebeu a aprovação do credenciamento como fiel depositária de amostras de componentes do patrimônio genético para a Coleção Zoológica Norte Capixaba – CZNC (Credenciamento nº 114/2014/SECEX/CGEN, publicado no D.O.U nº 200, de 16 de outubro de 2014, Seção 3, página 143.), sendo, portanto, todo produto deste monitoramento tombado na referida coleção.

Neste sentido, as coleções constituem uma base de dados essencial para os estudos de caracterização e impacto ambiental. Por fim, as coleções são empregadas efetivamente na formação de diversos profissionais cada vez mais qualificados a enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável.

Para alguns grupos de invertebrados, o número de espécies conhecidas no território nacional pode ser apenas inferido devido à falta de estudos taxonômicos abrangentes que incluam listagens e catálogos de espécies. Este é o caso dos platelmintos, Nematoda e insetos.

Os grupos de invertebrados abrangem uma grande variedade de formas, incluindo linhagens bem diversificadas, como a dos insetos e moluscos ou pouco conhecidas como a dos Nematoda. Da mesma forma, a representatividade desses grupos nas coleções zoológicas brasileiras é extremamente desigual. Por exemplo, no Brasil existem apenas 3 coleções implementadas para os Nematoda: UFRJ, no Museu Nacional, na Fiocruz/RJ, incluída na coleção de Helminologia e no Museu Emilio Goeldi no Pará. A coleção da UNICAMP, no Museu de Zoologia, ainda está em fase de implementação. Portanto, a coleção de Nematoda da CZNC pode ser utilizada como referência para depósito e comparação com os demais táxons depositados no Brasil e no mundo.

Até o momento, os seguintes táxons coletados pelo PMBA foram registrados na CZNC: 378 moluscos, 375 crustáceos, 309 anelídeos (entre poliquetas e oligoquetas) e 402 registros entre insetos, Nematoda,

sipunculos, nemertíneos, entre outros invertebrados. Ainda, foram registradas 696 lâminas permanentes de Nematoda, totalizando, 2160 lotes registrados.

4 DISCUSSÃO INTEGRADA

O monitoramento do Anexo 4 - Praias foi realizado em quatro campanhas trimestrais para os subprojetos “Morfodinâmica” e “Geoquímica” (setembro e dezembro de 2018 e abril e julho de 2019) e em duas campanhas, considerando o período seco e chuvoso, para o subprojeto “Bentos”, (setembro e dezembro de 2018). Desta forma, a discussão a seguir será subdividida em duas seções: (4.1) Integração Morfodinâmica e Geoquímica e (4.2) Análise integrada do tema praia com Morfodinâmica, Geoquímica e Comunidades Bentônicas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTOLÓGICA E GEOQUÍMICA E INDICADORES DA DEPOSIÇÃO DE LAMA DE REJEITO AO LONGO DA COSTA

Esta seção apresenta as interpretações e a integração dos dados sedimentológicos e geoquímicos, com destaque para o aporte e processos de sedimentação e transporte de sedimentos provenientes do rio Doce.

Inicialmente, parte-se da hipótese que o teor de lama, o incremento das concentrações de minerais pesados, principalmente opacos, e de elementos químicos sejam os principais indicadores a serem destacados nas análises realizadas. A discussão sobre a presença e abundância destes indicadores é embasada no entendimento das alterações morfodinâmicas ao longo do monitoramento, em processos costeiros locais, bibliografias referenciais sobre o tema e, quando existentes, em comparação com informações pretéritas.

Os elementos químicos destacados para discutir a assinatura da contaminação dos sedimentos e associá-los à carga produzida por processos de mineração incluem: Fe, Al, Mn e Cr, elementos estes que nas bibliografias são comumente associados aos rejeitos de mineração de ferro (Pereira et al., 2008). Estes elementos foram ainda identificados em maiores concentrações na plataforma continental adjacente à desembocadura do rio Doce após a chegada no rejeito ao litoral de Regência (Costa et al., 2017). Inclui-se ainda a avaliação do Hg, associado à mineração de ouro (Pereira et al., 2008), que ocorre ao longo da bacia do rio Doce.

Ao longo do monitoramento ficou claro que os metais destacados se encontram predominantemente depositados com os sedimentos lamosos (Figura 37). Neste sentido, as maiores concentrações desses metais foram encontradas na antepraia, onde foram observadas as maiores concentrações de lama.

Os teores de lama observados na isóbata de 5 m foram menores muito provavelmente devido à profundidade estar sob atuação das ondas mais frequentes, aquém da profundidade de fechamento

interno do perfil (Figura 30). Vale definir que o perfil de fechamento corresponde ao limite offshore de uma praia, onde há troca efetiva da praia emersa com a praia submersa sob diferentes condições de ondas. Já nas profundidades em torno de 10 m, os teores de lama apresentaram valores maiores, visto que a mobilização do fundo e o transporte transversal da praia pelas ondas incidentes mais frequentes é menor. Contudo, ambos pontos amostrais são considerados área ativa do perfil praiial sob condições mais energéticas de ondas que se caracterizam pela maior capacidade de ressuspensão e transporte de sedimentos. Ademais, areias são a granulometria típica dos sedimentos de praias oceânicas, logo a presença de lama não é esperada (Komar, 1983).

O depósito de lama ao sul da desembocadura está relacionado diretamente ao alto aporte de material proveniente do rio Doce, enquanto que os depósitos ao norte resultam da remobilização do fundo por ondas durante eventos de tempestades e do transporte longitudinal por correntes costeiras. A lama observada em superfície também foi observada em subsuperfície, com depósito de no mínimo 1 m de espessura. Durante a passagem de frentes frias, as ondas provenientes dos quadrantes S e SSE são capazes de remobilizar o fundo e os sedimentos depositados em subsuperfície resultando na mobilização e transporte dos sedimentos mais finos em direção ao norte por deriva litorânea (Bittencourt et al., 2007) e, potencialmente, para a praia emersa por processos oscilatórios.

A presença de lama na região próxima à costa pode amortecer a ação das ondas e, então, interferir na distribuição dos sedimentos (Calliari et al. 2001, Sheremet et al. 2005). Contudo, durante eventos de tempestade sedimentos lamosos podem atingir a zona de surfe após serem remobilizados pela ação das ondas (Calliari et al. 2007). Na área de estudo, a fração lama alcançou teores de até 100% nas estações da antepraia, mas somente valores em torno de 1% foram observados ao longo dos perfis praiiais emersos. Esses menores teores foram observados inclusive na berma de algumas praias, logo após a passagem da tempestade tropical Iba, entre 24 e 26 de março de 2019, que configurou o evento de maior energia registrado durante o período de monitoramento.

As ondas no período da tempestade foram responsáveis por um perfil com profundidade de fechamento entre 5 e 10 m de profundidade, delimitando o transporte ativo ao longo do perfil praiial (profundidades estimadas pela aplicação da equação de Komar (1976), $d=L/20$, utilizando as ondas médias e máximas do período). A ação das ondas pode causar a fluidificação de lamas coesivas (Chou et al. 1991) e esta fração pode atingir a porção emersa de praias ao longo da planície deltaica do rio Doce. Como há uma correlação positiva entre os teores de lama e as concentrações de metais, a deposição das mais altas concentrações de metais observada nas campanhas de abril e julho de 2019, entre a berma e a antepraia rasa, sugerem o transporte de lama pelos processos de ondas. Os teores de metais ainda diminuíram na antepraia, na profundidade de 10 m, durante este período indicando a mobilização e transporte destes elementos, após a atuação de uma tempestade tropical e de eventos subsequentes de ondas mais energéticas.

Os teores de lama e dos principais metais já destacados alternaram espacialmente ao longo da costa. Neste sentido, foi constatado que a lama e os metais apresentaram altos teores entre as estações mais

próximas e ao norte da desembocadura do rio Doce. Este trecho do litoral é conhecido pela atuação da carga e descarga do rio Doce na morfodinâmica praial (Albino e Suguio, 2010) e deposição potencial de sedimentos pela deriva litorânea predominante, conforme indicado por Oliveira et al. (2015).

No Compartimento A, mais ao sul da desembocadura, identificou-se uma segunda associação de metais, presentes principalmente nas areias da praia emersa, uma vez que na antepraia deste compartimento a lama é escassa. As, Fe, Mn, Pb e V apresentaram correlação positiva com sedimentos carbonáticos (Figura 35), o que permite inferir esta segunda fonte de metais associados aos sedimentos carbonáticos presentes no compartimento sul e na plataforma continental. O enriquecimento de arsênio ao longo da costa do Espírito Santo foi estudado por Mirlean et al. (2012; 2016) que concluíram que a presença de arsênio está relacionada ao teor de carbonato. Desta forma, o As retido nos fragmentos carbonáticos associados aos terraços de abrasão da Formação Barreiras, presentes na porção sul da área de estudo e na plataforma continental interna de todo o litoral, pode justificar os altos teores ao longo de toda a área de estudo.

Destacam-se ainda os processos de laterização responsáveis pela litificação dos terraços de abrasão, nos quais Fe e Al são os elementos mais comuns. Os principais minerais formadores de crostas e solos lateríticos são argilominerais, óxi-hidroxidos de ferro (hematita, maghemita e goethita), de alumínio (gibbsita, boehmita), de titânio e manganês e fosfatos de alumínio (Costa, 2007). A composição química de lateritas mostra uma forte litodependência com a rocha mãe, tanto em termos de elementos maiores como de elementos-traço. Entre os minerais herdados da rocha-mãe destacam-se o quartzo, zircão, turmalina, ilmenita, cassiterita, topázio e rutilo. No processo de laterização alguns elementos herdados podem ser lixiviados (As, Cd, Cu, Co) ou retidos (As, Cu, Ni, Pb) em minerais formadores (Costa, 2007).

A variação nas concentrações de minerais pesados é utilizada como traçador do sentido do transporte longitudinal (Komar e Clemens, 1986). Desta forma, a distribuição, com tendência de aumento rumo ao norte da planície deltaica do rio Doce, valida o sentido S-N aqui considerado. As variações sazonais nos teores estão associadas às alterações na direção de incidência das ondas. Ondas mais energéticas transportam os sedimentos leves e deixam como sedimento residual os de maior densidade e dimensão (Rao, 1957; Albino et al., 2016). Na campanha realizada após a tempestade tropical, as concentrações de minerais pesados na praia emersa atingiram valores em torno de 95% da composição total dos sedimentos. Entre os minerais pesados mais frequentes destacaram-se os opacos, em sua maioria ilmenita (FeTiO_3), hematita (Fe_2O_3) e goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), seguidos por anfibólios e silimanitas (Figura 31 e Figura 39). A predominância de anfibólios, menos densos e mais instáveis mineralogicamente, em relação aos opacos no compartimento mais ao norte do rio Doce sugerem a contribuição recente e em grande volume da carga do rio Doce. Os minerais opacos identificados, por sua vez, podem estar associados ao material correspondente ao encontrado na bacia hidrográfica e incrementados pelas atividades mineradoras.

Ao longo da costa, considerando a distribuição dos indicadores mais destacados, os teores de lama e minerais pesados e a concentração de elementos químicos, foram reconhecidos três compartimentos

costeiros distintos. Os compartimentos propostos refletem ainda os processos costeiros e a influência da geomorfologia e da geologia regional. Essa compartimentalização possibilitou, então, determinar a exposição da área de estudo à potencial contaminação, os processos morfodinâmicos responsáveis pela distribuição dos contaminantes, o alcance potencial de ambientes de dunas e restingas e discutir o atual estado do ambiente praial.

Compartimento A

Associadas ao litoral de falésias e terraços de abrasão, as praias Mole (S1), Formosa (S2) e de Putiri (S3) apresentaram como principal fonte de sedimentos os organismos biogênicos de composição carbonática, que se fixam sobre os terraços e após sua morte e fragmentação representam cerca de 60% da composição das areias. A composição mineralógica dos sedimentos reflete na associação dos metais encontrados, destacando As, Fe, Al e Mn. O aporte dos rios próximos é outra potencial fonte de sedimentos e metais. Neste sentido, destaca-se a geologia e o uso e ocupação da terra nas adjacências do rio Piraquê-Açu (Rodrigues, 2017). Areias quartzosas angulosas e sub-angulosas permitem inferir a proximidade da área fonte.

Geomorfologicamente, os terraços de abrasão limitam a ocorrência de correntes longitudinais e sobre-elevam o nível do mar. A sobre-elevação ocasiona altos espraiamentos das ondas durante momentos de maré alta e passagem de tempestades (Jackson and Cooper, 2009). Conseqüentemente, observou-se a presença de metais desde a berma alta até a antepraia. As maiores concentrações de metais foram observadas sobre os terraços, visto que a rugosidade deste substrato cria armadilhas e facilita a deposição de sedimentos finos. Após eventos de maior energia das ondas, as maiores concentrações de metais ao longo do perfil praial emerso foram então observadas onde o contato com o mar é mais frequente.

O perfil praial associado aos terraços de abrasão é morfologicamente mais estável (Ogawa et al., 2015; Albino et al., 2016) e a inundação da praia com o alcance dos espraiamentos máximos na base dos cordões litorâneos é recorrente. Este comportamento não apenas gerou um recuo do perfil topográfico durante o monitoramento, mas evidenciou que, caso haja o aporte do rejeito nessa região, o ecossistema de dunas/restinga estará suscetível a ser alcançado por este.

Devido à limitação do transporte longitudinal pela rugosidade dos terraços de abrasão, a sedimentologia e a associação dos metais sugerem que os sedimentos depositados próximos à linha de costa são essencialmente provenientes de fontes próximas, não apresentando contribuição que mereça destaque da carga do rio Doce. Em contrapartida, não se descarta a contribuição de sedimentos provenientes de depósitos ao norte nas porções mais distantes e profundas do litoral, como verificado na Estação S2 – Praia Formosa. Neste sentido, destaca-se que a presença de Cr na lama da antepraia pode ser um indicador de contribuição de material transportado de norte para sul que mereça a continuidade do monitoramento.

Compartimento B

O trecho que inclui as praias de Barra do Riacho (S4), Comboios (S5), Regência (S6) e Povoação (N1) é assim agrupado em função das areias siliciclásticas médias a muito grossas e do alto grau de exposição às ondas incidentes, o que confere a essas praias uma alta mobilidade dos perfis topobatimétricos.

Ao longo da evolução geomorfológica, este compartimento demonstra, seja na sedimentologia, seja na morfodinâmica das praias, uma relação direta com as alternâncias da deriva litorânea e a carga e descarga do rio Doce (Albino e Suguio, 2010). Embora a deriva atue predominantemente para norte, a componente do transporte no sentido sul é maior ao sul do rio Doce e representa em torno de 30% do transporte total anual de sedimentos (Oliveira et al, 2015). Este fato proporciona a deposição dos sedimentos do rio na porção sul da planície deltaica, com concentrações de lama, metais e minerais pesados menores do que as observadas no Compartimento C. Predominaram como associações de metais Fe e Al. Concentrações de Hg também foram encontradas, possivelmente associadas aos processos de mineração que ocorrem ao longo da bacia hidrográfica.

As praias mais próximas da desembocadura do rio Doce (Estações S6 e N1) apresentaram indicadores, sedimentológicos e químicos, que refletem o aporte fluvial mais recente. Estas estações apresentaram as maiores concentrações de minerais pesados observadas no compartimento, que tendem a aumentar no sentido norte da deriva litorânea.

Devido ao alto grau de exposição às ondas, as condições que favorecem a deposição da lama se acentuam nas maiores profundidades. Desta forma, a antepraia alcançou teores de lama de até 100%. Este padrão se refletiu na concentração dos metais.

Ao longo dos perfis topobatimétricos foi verificado que as praias deste compartimento apresentaram as menores concentrações de metais na porção emersa (Figura 38, Figura 40 e Figura 41), quando comparado aos dois outros compartimentos. Este comportamento pode ser explicado pelas características morfodinâmicas e pela variabilidade morfológica dos perfis resultante do alto grau de exposição às ondas. A mobilidade topográfica dos perfis ainda é influenciada pela granulometria das areias. Estas praias, compostas por areias mais grossas, possuem alta porosidade e permeabilidade e, conseqüentemente, maior facilidade de mobilização. A elevada velocidade do refluxo da onda é capaz então de carrear de volta ao mar as partículas de sedimentos mais finos (Short and Wright, 1984).

Neste compartimento são identificadas ainda nos processos costeiros a atuação da corrente de deriva litorânea e de processos oscilatórios (troca de sedimentos entre a porção emersa e submersa). Somada a estes processos é verificado o desenvolvimento de correntes de retorno em função da refletividade da praia (Figura 11). Estas correntes transversais apresentam alta velocidade, tipicamente de 0,5 a 1 m/s (Masselink e Hughes 2003), e são muitas vezes responsáveis pela retirada de sedimentos finos do

sistema praial. Desta forma, dentre todos os compartimentos este é o mais resiliente para recuperação e expulsão dos rejeitos, quando incorporados à praia, o que justifica os baixos teores de metais.

Contudo, o transporte de lamas e metais até a berma alta pode ocorrer em função da maior mobilização dos sedimentos lamosos na antepraia e propagação das ondas em direção à praia emersa. Este fato foi observado na praia de Povoação, onde altos teores de Fe, Mn, V e Pb foram registrados na berma e na face da praia, logo após a passagem de uma frente fria, geralmente marcada pela inundação recorrente das praias. Observou-se ainda que, logo após a campanha de abril de 2019, consecutivos eventos mais energéticos de ondas desencadearam um processo erosivo nesta praia, culminando na destruição das dunas frontais e retirada de areais da praia (Figura 16), o que refletiu nos baixos teores dos metais, na campanha de julho de 2019. O alcance dos espriamentos máximos sobre os cordões pode ainda potencializar a contaminação dos ambientes de restinga e dunas.

Admitindo que as estações adjacentes à desembocadura do rio Doce (S6 e N1) apresentam aspectos morfodinâmicos semelhantes, esperava-se observar altas concentrações de metais na praia emersa da estação S6, durante a campanha de abril de 2019, em função do processo de inundação, ao qual esta estação também é submetida. Muito ainda deve ser investigado, no entanto, acredita-se que a alta declividade da antepraia (Figura 17) tenha sido responsável pelo deslocamento, em direção à praia emersa, do local de ação das ondas sob maiores alturas do nível relativo do mar. Conseqüentemente, o sedimento depositado em profundidades menores, compostos essencialmente por areias e pobres em metais, foi preferencialmente mobilizado durante o período de atuação da tempestade. Acredita-se ainda que a alta declividade do perfil submarino possa ter direcionado o potencial transporte de sedimento para outras porções da antepraia no sentido plataforma.

Compartimento C

Em direção ao norte da desembocadura do rio Doce, o compartimento que compreende as praias de Degredo (N2), Pontal do Ipiranga (N3), Barra Nova (N4) e Guriri (N5) é caracterizado pelo aporte e deposição dos sedimentos provenientes do rio Doce transportados pela deriva litorânea. A saliência da linha de costa e as taxas de transporte longitudinais ainda endossam este padrão (Oliveira et al., 2015). Constituindo uma região de deposição do rio Doce, lamas são observadas na antepraia, representando frequentemente 100% da fração dos sedimentos na isóbata de 10 m. Altos teores de minerais pesados e de metais também são observados em comparação ao compartimento anterior.

No sentido norte da deriva litorânea foi observado o afinamento das areias siliciclásticas, conforme descrito por Albino et al. (2016). O predomínio de areais finas e as características deposicionais deste compartimento se refletem nas tipologias dissipativa a intermediária das praias e na baixa declividade da antepraia. Considerando a relação descrita por Bascom (1951), praias de baixo gradiente possuem granulometria média mais fina e a infiltração da água do espriamento é insignificante.

Em praias de baixo gradiente as ondas quebram mais afastadas da praia emersa e o espraçamento percorre uma longa distância com baixa velocidade. Desta forma, é possível haver espraçamentos com diferentes extensões, para ondas de diferentes características, ocorrendo ao mesmo tempo ao longo da zona de espraçamento. Esta característica de praias dissipativas a intermediárias pode ocasionar diferenças no tempo de permanência das águas na praia e, conseqüentemente, na concentração de metais na água do mar. Observou-se, por exemplo, que o Fe e, de maneira geral, os demais metais, apresentaram valores superiores na face inferior e na antepraia rasa, quando comparados aos teores na face superior

Somando-se a isto, tem-se a capacidade da praia de responder ao espraçamento da onda (*run-up*), não permitindo sua transposição e conseqüente inundação em eventos de espraçamentos máximos. Neste sentido, o topo da berma geralmente exerce o papel de barreira, onde o potencial da inundação pode ser determinado por uma simples equação: *Potencial de inundação = Altura da berma – run-up*. Em função do baixo gradiente da face praial, o espraçamento das ondas pode percorrer toda a extensão da faixa arenosa da praia e alcançar ecossistemas adjacentes como restingas e dunas, como observado na praia de Pontal de Ipiranga. Os processos de espraçamento das ondas em função do baixo gradiente das praias explicam os maiores teores de metais ao longo das diversas feições dos perfis topográficos desse compartimento, principalmente ao longo da estação N3, após a atuação de eventos com maiores alturas de ondas.

A mobilidade dos sedimentos da antepraia pelas ondas também passa a ser maior após eventos de tempestade. Neste sentido, observou-se o incremento de metais nos sedimentos na profundidade de 5 m, possivelmente provenientes de profundidades maiores, onde foram observados altos teores de lama e metais relacionados aos processos preferencialmente deposicionais deste compartimento. Durante a campanha de abril de 2019, isto se refletiu no incremento de metais observado na antepraia rasa, em função das trocas transversais.

A distribuição dos minerais pesados reforça a tendência de deposição de sedimentos potencialmente provenientes do rio Doce ao longo do compartimento, com os maiores teores observados na área de estudo e relativo incremento de minerais mais instáveis, como os anfíbios verdes, representados principalmente por hornblendas. Os teores de minerais pesados se elevam sob condições mais energéticas de ondas, conforme observado por Rao (1957), chegando a representar aproximadamente 95% da amostra em períodos de recuo do perfil praial (Figura 27).

Em resumo, os processos costeiros induzem a deposição dos sedimentos fluviais ao longo do Compartimento C, assim como já verificado por trabalhos anteriores (Bittencourt et al., 2007; Martin et al., 1993; Martin et al., 1996; Albino e Suguio, 2010; Oliveira et al., 2015). Este padrão deposicional é evidenciado nos teores de lama, metais e minerais pesados, o que indica ser este o compartimento praial mais potencialmente contaminado pela chegada do rejeito. A contaminação de restingas e dunas é ainda potencializada pela pequena extensão e baixo gradiente de alguns perfis.

4.2 COMUNIDADE BENTÔNICA E ASPECTOS MORFODINÂMICOS, SEDIMENTOLÓGICOS E GEOQUÍMICOS

As comunidades biológicas de praias arenosas são dominadas por organismos pequenos e estruturada principalmente por características físico-químicas do ambiente, como energia das ondas, regime de marés, topografia e tamanho dos grãos (McLachlan & Brown, 2006). Os organismos bentônicos de praias arenosas possuem muitas adaptações que resultam da instabilidade do substrato juntamente com a ação das ondas. A distribuição e a diversidade desta comunidade estão, em geral, associada a um conjunto de aspectos, dependendo das interações dos fatores bióticos, como disponibilidade de alimentos, reprodução e relação intra e interespecífica (Knox, 2001), e fatores abióticos, como a salinidade, temperatura e hidrodinâmica, mas o principal é o tamanho das partículas de sedimentos e ação das ondas (Alongi, 1987; Sarma & Wilsanand, 1996; Otegui et. al., 2012).

Entretanto, eventos como a chegada dos rejeitos de minério de ferro na praia podem modificar o habitat dos organismos bentônicos, provocando alteração da estrutura da comunidade, por meio da redução do número de espécies e aumento de organismos oportunistas, reduzindo assim a diversidade de táxons (Ellis e Hoover, 1990). A capacidade de recuperação de uma praia após o aporte de lamas e rejeitos provenientes do acidente em questão depende do seu estado morfodinâmico, se refletivo, intermediário ou dissipativo, isto é, sua mobilidade e sedimentologia que atuam sobre a resiliência da praia e/ou sua capacidade de adaptação a uma nova condição morfodinâmica.

A tipologia da praia e, principalmente, a granulometria das areias da praia atuam sobre a diversidade e densidade da fauna bentônica (McLachlan e Brown, 2006; McLachlan e Dorvlo, 2005; McLachlan, 1990; McLachlan et al., 1981). Funções como escavar e se locomover são influenciadas pelo tamanho do grão, o que interfere na densidade e na distribuição espacial destes organismos (Brown e McLachlan, 1990).

Abaixo, será analisada a integração dos dados de bentos com os aspectos morfológicos e geoquímicos dos três compartimentos identificados ao longo do primeiro ano de monitoramento do PMBA. Para isso, o enfoque será dado nas coletas realizadas em setembro/2018 (período seco) e dezembro/2018 (período chuvoso).

Compartimento A

As praias desse compartimento são do tipo intermediárias, com características dissipativas na maré baixa durante as coletas, porém apresentaram areias carbonáticas mal selecionadas, com predominância de tamanhos médios a grossos, o que confere uma maior heterogeneidade local, permitindo a presença de uma fauna mais diversa. A pobre seleção dos grãos e a presença de matéria orgânica são favoráveis a uma maior diversidade de poliquetas na macrofauna (Villora-Moreno et al. 1991; Villora-Moreno 1997) e Nematoda na meiofauna. De acordo com a literatura, praias morfológicamente mais heterogêneas, com sedimento bioclástico, afloramentos rochosos, algas e

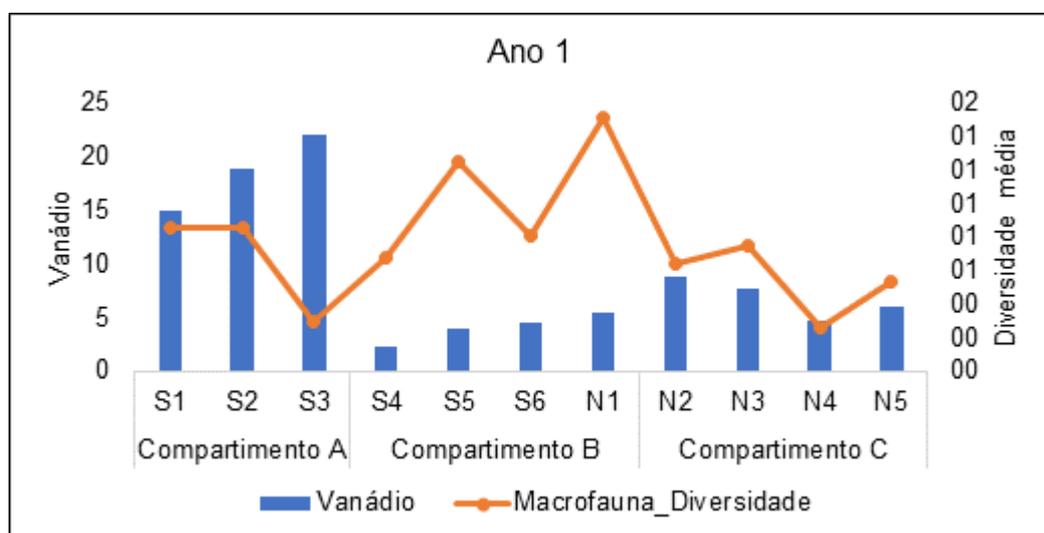
vegetação, abrigam uma fauna de Nematoda mais diversa do que uma praia estruturalmente menos complexa (O'Dea, 2006; Gingold et al., 2010).

Nesse compartimento, a fauna de todos os componentes bentônicos (macrofauna, meiofauna e nematofauna) foram típicos de praias de sedimentos bioclásticos, com a presença de terraços de abrasão e comum presença de algas arribadas na face da praia. A presença de CaCO_3 apresentou uma relação positiva com a riqueza da macrofauna ($p=0,004$). A macrofauna das praias apresentou espécies típicas de praias dissipativas a intermediárias, com clara distinção na distribuição dos organismos entre as faixas, tal como descrita na literatura (e.g., Wieser, 1953, Cardoso e Defeo, 2004, Neves e Bemvenuti, 2006; Ferrando *et al.*, 2010; Coutinho e Bernardino, 2017). Apesar disso, é importante ressaltar que os valores de riqueza da macrofauna desse compartimento se mantem abaixo do que apresenta a literatura (Coutinho e Bernardino, 2017; Neves, 2015).

As características sedimentológicas também podem justificar a composição da nematofauna, com maior contribuição de *Desmodora*, *Daptonema*, *Theristus*, *Paracyatholaimus* e *Comesoma* (todos comedores não seletivos de depósitos) (Wieser, 1953, Yeates, 1993).

No Compartimento A também foi muito abundante a presença de As e V e ambos apresentaram relações negativas com os parâmetros da fauna bentônica. A presença do Arsênio reduz a riqueza e a diversidade da macrofauna ($p<0,05$), enquanto que o Vanádio afetou a diversidade da macrofauna ($p<0,05$) (Figura 96). Ishii et al. (1994) e Fattorini et al. (2010) perceberam que algumas espécies de poliquetas são hiperacumuladores de V. Alguns dados são encontrados na literatura sobre a função desse metal em organismos hiperacumuladores, como portador de oxigênio, fonte de energia, defesa antimicrobiana e anti-predação (Ciereszko et al., 1962; 1963). No entanto, o resultado encontrado no PMBA mostra uma relação negativa para a macrofauna.

Figura 96: Distribuição de Vanádio (mg/kg) e diversidade da macrofauna bentônica entre as praias no primeiro ano de monitoramento PMBA.



A riqueza da meiofauna também se relacionou negativamente com o As ($p < 0,05$). No entanto, no período seco, alguns parâmetros ecológicos da nematofauna se relacionaram positivamente com a presença do As e Mn ($p < 0,05$) (Figura 97), indicando afinidade desses organismos com tais elementos disponíveis no sedimento das praias Formosa e Putiri, visto que Praia Mole não foi amostrada nesse período. De acordo com estudos sobre contaminantes em ambientes costeiros, a introdução de elementos potencialmente tóxicos em ecossistemas marinhos deveria apresentar efeitos deletérios na comunidade de Nematoda (Nanajkar e Ingloe, 2010; Nair *et al.* 2003) e a concentração de alguns elementos, como por exemplo Mn e As, influenciam diretamente na estruturação da nematofauna (Mesquita e Kaisary, 2007). Gyedu-Ababio *et al.* (1999) indicaram que Mn apresenta correlação negativa com a diversidade de Nematoda. Contudo, na campanha realizada em setembro/2018 a comunidade da nematofauna obteve comportamento contrário ao esperado e sugerido pela literatura, uma situação que não retornou no período chuvoso (Figura 98).

Figura 97: Distribuição do Arsênio (mg/kg) e Manganês (mg/kg) e riqueza da nematofauna bentônica entre as praias nos períodos seco (set/2018).

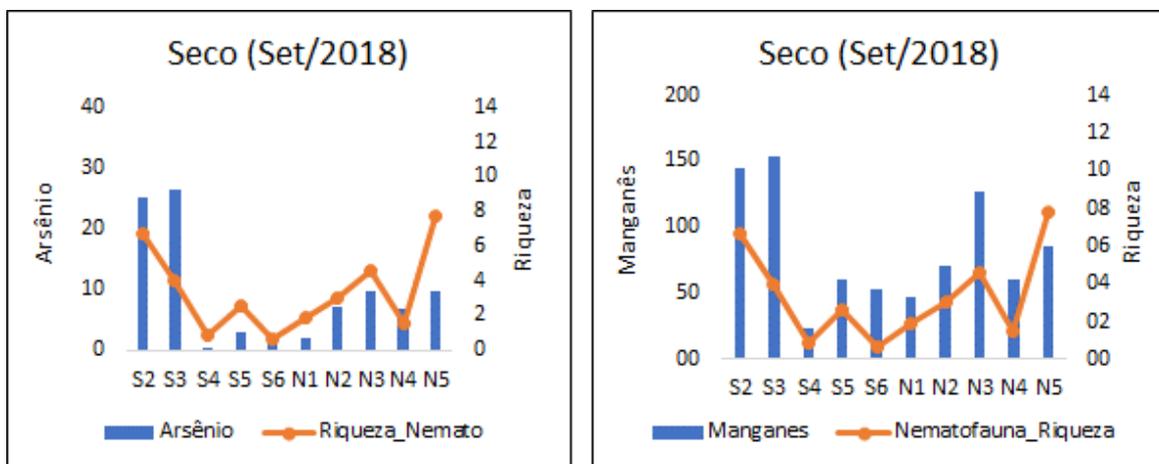
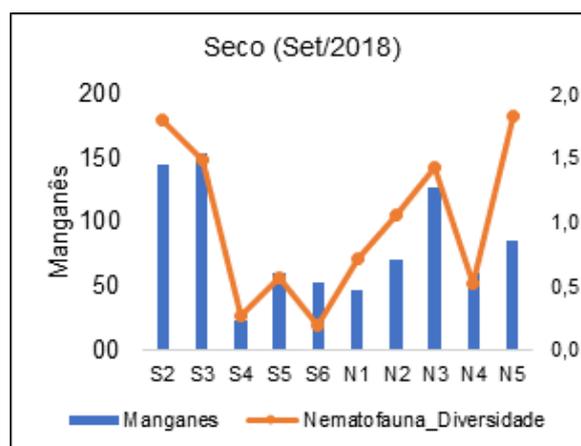


Figura 98: Distribuição de Manganês (mg/kg) e diversidade da nematofauna bentônica entre as praias no período seco (set/2018).



Compartimento B

Esse compartimento é formado por praias que apresentam maior inclinação quando comparadas às praias dos demais compartimentos. Enquanto, as praias S5, S6 e N1 foram caracterizadas como intermediárias, a praia de Barra do Riacho (S4) apresentou características de estado morfodinâmico refletivo, ausência de zona de surfe e ondas ascendendo sobre a face praial, impossibilitando também a amostragem de fauna no infralitoral (antepraia rasa). Neste compartimento, as areias da praia emersa foram classificadas predominantemente como areias grossas a muito grossas nos períodos seco e chuvoso.

McArdle & McLachlan (1992) afirmam que o perfil topográfico da praia é o fator que mais influencia a distribuição da macrofauna em praias refletivas e intermediárias. Nesse tipo de praia, a sobrevivência dos organismos é comprometida pela ausência de proteções corporais e a impossibilidade de manter galerias e tubos fixos em função da menor estabilidade destes substratos (Brown e McLachlan, 1990). Dessa forma, é esperado encontrar menos organismos, porém de grande porte (Gheskiere et al., 2005). Com o aumento do tamanho do grão também é esperado uma redução na densidade de meiofauna e de Nematoda, ocorrendo geralmente uma inversão da abundância de Nematoda por outros grupos tais como Copepoda Harpacticoida, Tardigrada e Turbellaria (Bezerra et al., 1997). Nematoda é altamente dominante na areia mais fina que 300 μm (mais finas que areias médias), enquanto os copépodos se tornam mais importantes em sedimentos mais grossos do que 350 μm (McLachlan e Brown 2006). Dessa forma, é esperado que a fauna bentônica se comporte de acordo com a Hipótese de Exclusão (*Swash Exclusion Hypothesis*), que dita que as espécies que não toleram estresse hidrodinâmico podem ser excluídas pelas condições árduas em praias refletivas (Incera et al., 2006).

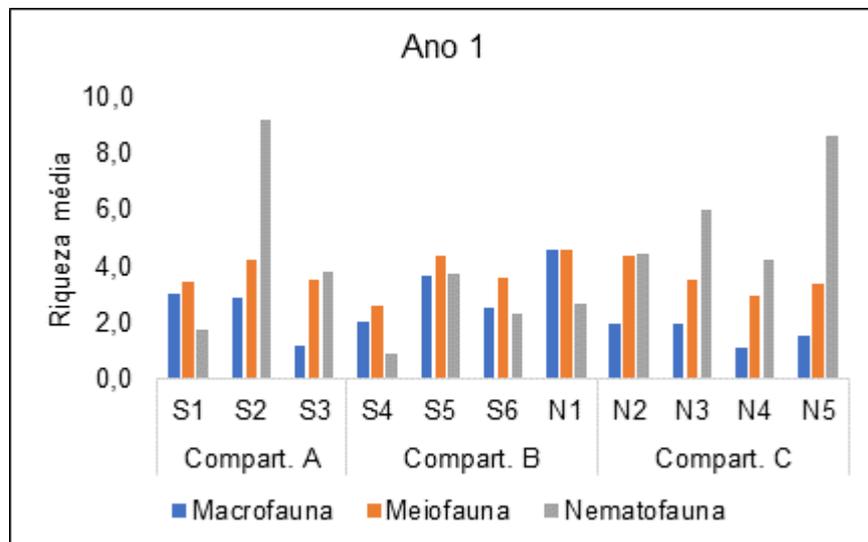
A macrofauna de modo geral respondeu à tipologia das praias, sendo a fauna encontrada típica do ambiente. Dentro deste compartimento, a estação amostral S4 é a praia mais refletiva e a macrofauna foi dominada pelo poliqueta *Saccocirrus* sp e por Nemertea. Quanto à estação amostral S6, a dominância foi do poliqueta *Hesionura* sp. (predador) e do crustáceo *Excirologa braziliensis* (necrófago) e as estações amostrais S5 e N1 foram dominadas pelo filo Nemertea. Esse padrão de dominância na macrofauna bentônica, onde os poliquetas são mais representativos, é também observado em estudos das comunidades em regiões costeiras em todo o mundo (Diener et al., 1995; Tselepides et al., 2000; Probert et al., 2001; Ellingsen, 2002, Zalmon et al., 2013). Vanosmael (1982) diz ainda que a densidade de indivíduos e a riqueza de espécies podem ser altas na areia grossa, devido ao grande número de poliquetas intersticiais.

Di Domenico *et al.* (2014) observaram que a ocorrência e a abundância de *Saccocirrus pussicus* foram positivamente correlacionadas com a presença de declive acentuado, grandes ondas e areia grossa, características das praias refletivas, como ocorre para a estação amostral em questão. Já os nemertíneos contrariaram o esperado, pois costumam ser dominantes em areias mais finas (cerca de 300 μm) (Defeo e McLachlan, 2005; McLachlan e Brown, 2006).

A meiofauna neste compartimento apresentou dominância de dois diferentes grupos: Copepoda e Nematoda. Entre a meiofauna, copépodos foram mais dominantes nas praias S4 e N1 e Nematoda mais dominantes em S5 e S6. No entanto todas essas praias são caracterizadas por areias grossas a muito grossa e, por isso, o esperado era que fossem dominadas por copépodos. Vários estudos demonstraram a importância do tamanho médio dos grãos, do teor de silte e da classificação na estruturação da composição e diversidade de Nematoda de vida livre (Wieser 1959, Heip e Decraemer 1974, Ward 1973, Vincx et al. 1990, Vanaverbeke et al. 2002). Wieser (1959) mostrou que a distribuição das espécies de Nematoda nos sedimentos de praias arenosas é melhor explicada por mudanças granulométricas do que pelos níveis das marés.

Um padrão que foi observado nesse primeiro ano de monitoramento, foi que o Compartimento B apresentou os maiores valores significativos de riqueza para a macrofauna, se comportando de maneira oposta à literatura como já citado anteriormente (Figura 99).

Figura 99: Riqueza média da macro, meio e nematofauna nos Compartimentos A, B e C entre as praias no primeiro ano de monitoramento PMBA.



Para a meiofauna, o Compartimento B obteve os menores valores de densidade e os maiores de diversidade, enquanto que a riqueza foi similar aos demais compartimentos (Figura 99, Figura 100, Figura 101). Novamente não condiz com a literatura, visto que o esperado era que fossem registrados os menores valores de diversidade e riqueza da meiofauna. No entanto, apenas a densidade da meiofauna foi menor nesse compartimento. Por outro lado, a nematofauna apresentou padrões semelhantes à sugerida pela literatura para praias refletivas, visto que os valores para esse compartimento foram menores que para os demais.

Nesse compartimento foram registradas baixas concentrações de metais na porção emersa e no infralitoral raso das praias (antepraia rasa), o que pode ter favorecido o recrutamento e permanência dos organismos da macrofauna. Devido ao alto grau de exposição às ondas dessas praias, a

concentração dos elementos químicos registrados na parte emersa foi relativamente baixa, tendo sido, provavelmente, transportados em direção ao norte desse compartimento.

Figura 100: Densidade média (ind./10cm³) da macro, meio e nematofauna nos Compartimentos A, B e C no primeiro ano de monitoramento PMBA.

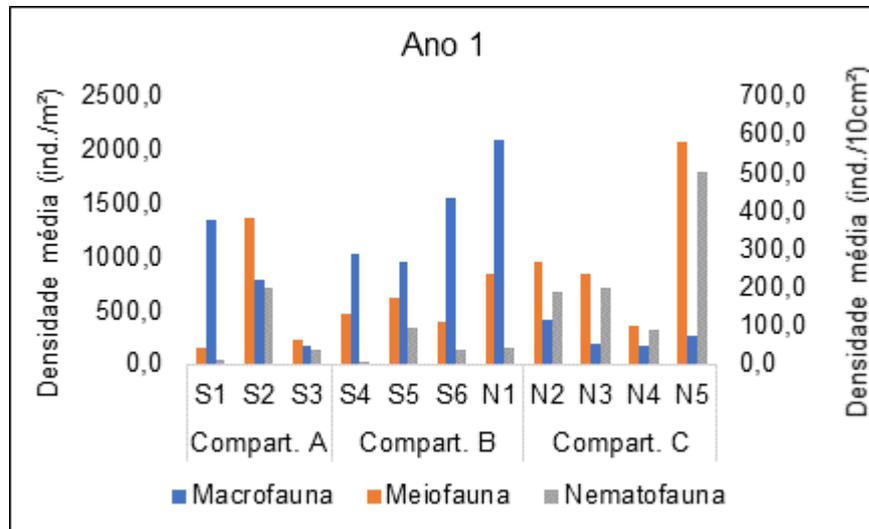
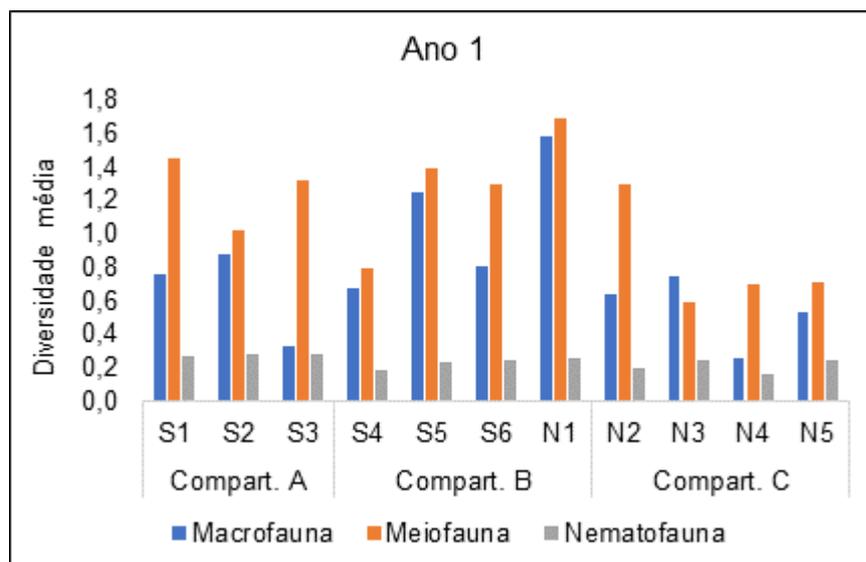


Figura 101: Diversidade (H') média de macro, meio e nematofauna nos Compartimentos A, B e C no primeiro ano de monitoramento PMBA.



Compartimento C

Este compartimento inclui as praias compostas predominante por areias médias a finas, com características intermediárias (N2) a dissipativas (N3, N4 e N5) e onde foram registrados os maiores teores de mineral pesado, lama, Fe e Cr na parte emersa e infralitoral (antepraia rasa).

Diversos trabalhos confirmam a tendência de aumento da densidade e riqueza de espécies da fauna bentônica em direção a praias arenosas dissipativas (Defeo et al., 1992, Jaramillo e McLachlan 1993, Brazeiro, 1999). Incera et al. (2006) mostraram que a disponibilidade de alimento, densidade, número de espécies e biomassa são significativamente relacionadas à inclinação da praia, sendo maior nesse tipo de praia. Altas densidades de meiofauna e nematofauna também estão associadas ao menor tamanho de grão do sedimento. Quanto mais fino o grão, maior a densidade de meiofauna e maior a dominância do filo Nematoda (Bezerra et al., 1997; Wandeness et al., 1997; Pinto e Santos, 2006). Por outro lado, os autores McLachlan e Turner (1994) citam que condições ótimas para o desenvolvimento de meiofauna diversa e abundante provavelmente ocorrem em praias intermediárias (Wright & Short, 1983). Essa citação é baseada no fato de que as praias intermediárias apresentam um estado de equilíbrio entre insumos orgânicos (que aumentam em direção ao estado de praia dissipativo, de acordo com Wright & Short, 1983) e condições intersticiais aeróbias (que aumentam em direção ao estado de praia refletivo).

A fauna bentônica presente nessas praias é típica de praias de sedimento fino. De modo geral, crustáceos isópodes e poliquetas dominaram a macrofauna. Na meiofauna, os mais abundantes foram Nematoda, com gêneros detritívoros não-seletivos, e Copepoda. Devido à abundante presença dos gêneros não-seletivos de Nematoda, é possível inferir que essas praias, com sedimentos de frações mais finas, possuam quantidades expressivas de matéria orgânica (Giere, 1993).

Nesse compartimento, as praias apresentaram os menores valores de densidade, riqueza e diversidade de organismos da macrofauna bentônica, contrariando a literatura, enquanto que os valores dos parâmetros da meiofauna e nematofauna foram maiores (Figura 99, Figura 100, Figura 101). McLachlan et al. (1996) citam que a abundância da macrofauna em praias arenosas do tipo dissipativas é acima de 10.000 ind/m².

Os maiores teores de minerais pesados, Cr, Fe e lama registrados nesse compartimento foram relacionados significativamente com os parâmetros ecológicos da fauna bentônica. No entanto, algumas relações só ocorreram no período seco, como as relações do teor de mineral pesado e Cr com a macrofauna. Nesse período, houve uma redução significativa da diversidade da macrofauna com o aumento de minerais pesados nas praias ($p < 0,05$; Figura 102) e uma redução da riqueza com o aumento de Cr ($p < 0,05$) (Figura 103). Quanto ao Fe, este afetou negativamente a riqueza da macrofauna durante ambas as amostragens do primeiro ano do monitoramento ($p < 0,05$) (Figura 104).

Figura 102: Distribuição de Mineral Pesado na diversidade média da macrofauna no período seco (set/2018).

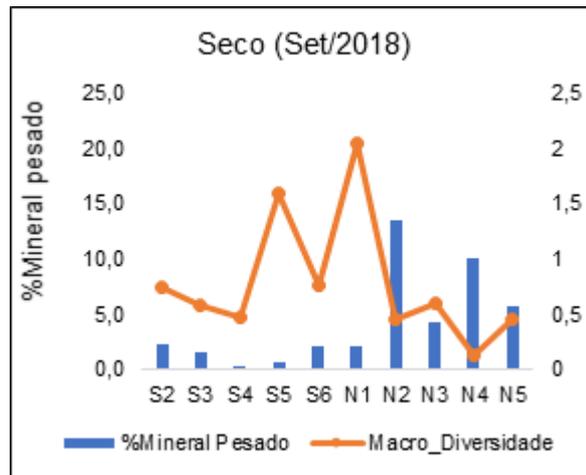
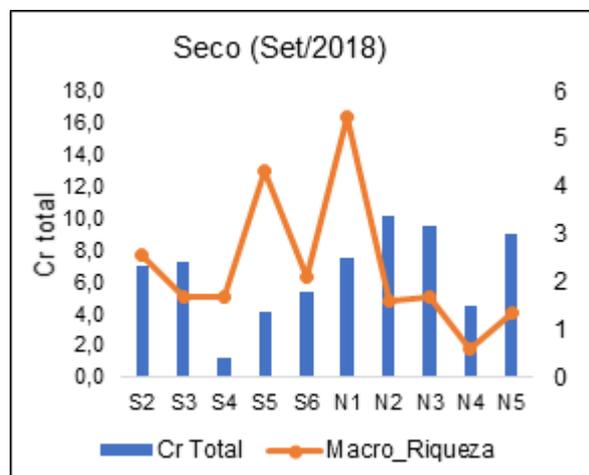


Figura 103: Distribuição de Cromo (Cr) na riqueza média da macrofauna no período seco (set/2018).



No período seco, Al também foi representativo nas praias desse compartimento e teve relações significativas positivas com as densidades de meiofauna e nematofauna ($p < 0,05$). Co teve altos valores registrados na praia de Degredo, assim como Mn, que também apresentou uma alta concentração nos sedimentos das praias do Compartimento A. Somente nesse período estes elementos tiveram relações positivas com os índices ecológicos da nematofauna.

Quanto às porcentagens de lama, os maiores valores foram registrados na porção norte nas isóbatas de 5 m e 10 m. Na parte emersa e infralitoral (antepraia), onde a fauna foi amostrada, os valores não chegaram a 1% durante essas duas amostragens. No entanto, mesmo em baixas porcentagens, a lama só esteve presente nas praias da porção norte e em quantidades suficientes para os testes de covariância mostrarem relações significativas ($p < 0,05$), com a redução da densidade (ind/m^2) da macrofauna para o primeiro ano de monitoramento e da diversidade (H') da meiofauna apenas para o período seco (Figura 105 e Figura 106). No entanto, por esses valores da fração de lama serem tão

baixos, essas correlações podem ser indiretas, relacionadas provavelmente a outros elementos que podem ter sido trazidos pela lama e permanecido no sedimento, como o Fe, Cr, Al e Mn. Esses elementos podem ser incorporados às partículas inorgânicas presentes no ambiente e os animais marinhos bentônicos têm o potencial de absorvê-los (Blackmore, 2000; 2001).

Figura 104: Distribuição de Ferro (Fe) na riqueza média (H') da macrofauna no primeiro ano de monitoramento PMBA.

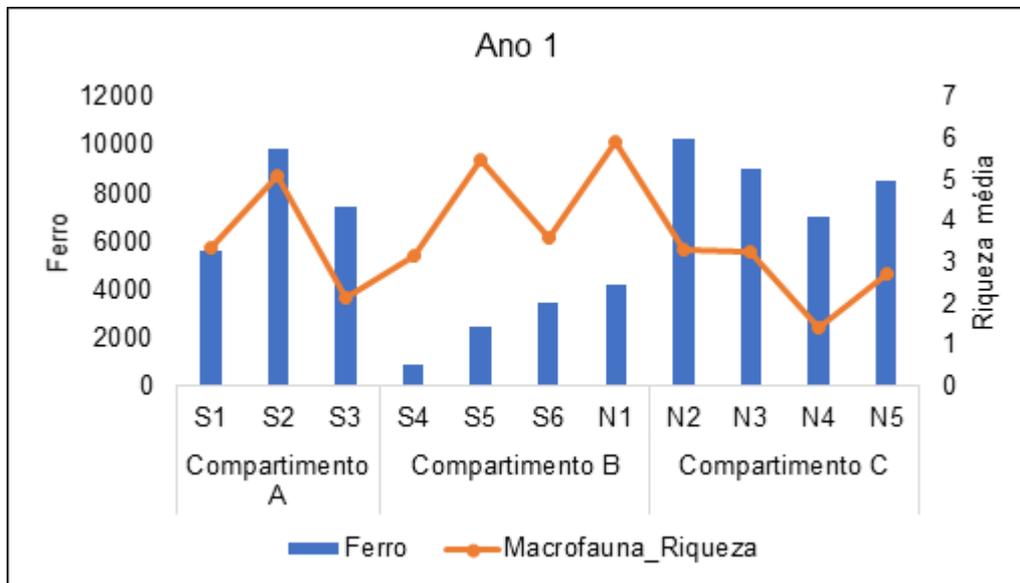


Figura 105: Distribuição do teor de lama na densidade média (H') da macrofauna nos períodos seco (set/2018) e chuvoso (dez/2018).

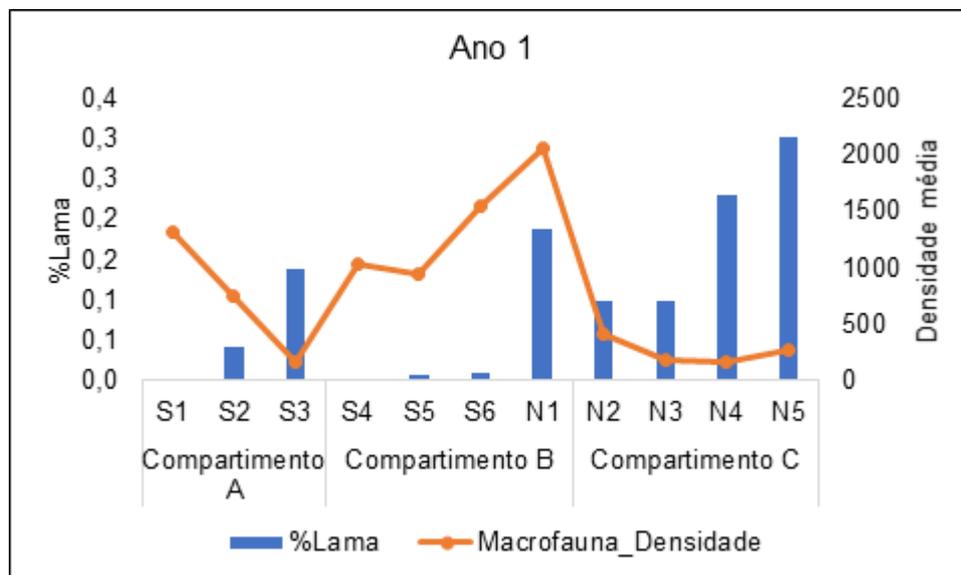
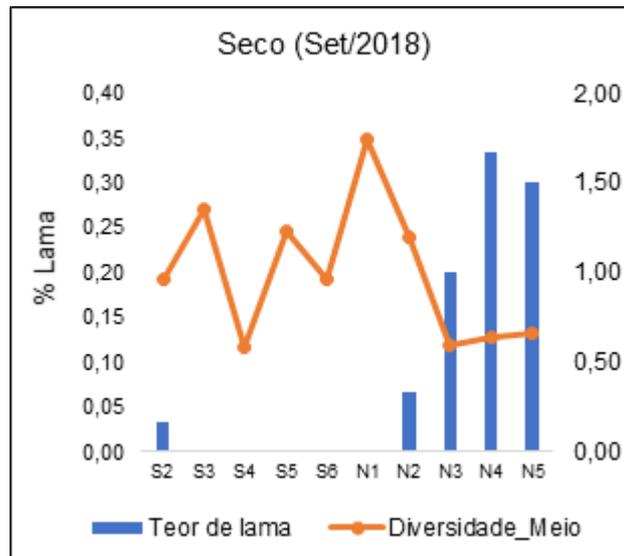


Figura 106: Distribuição do teor de lama na diversidade média (H') da meiofauna no período seco (set/2018).



De maneira geral, pôde-se observar que os padrões ecológicos da comunidade bentônica apresentaram anomalias quando comparados aos padrões descritos na literatura, seja por desacordo com a tipologia da praia, seja pela presença excessiva de alguns metais. Nos Compartimentos A e C, os altos teores de metais foram provavelmente os responsáveis pelos resultados encontrados, destacando principalmente o declínio nas taxas de densidade da macrofauna no Compartimento C, após a deposição de metais. Já no Compartimento B, com menores concentrações de metais, não houve pertinência entre os descritores ecológicos da fauna e a tipologia da praia, o que pode indicar alterações morfodinâmicas nas praias adjacentes à desembocadura em função da deposição de lama na antepraia, que altera os processos de propagação e arrebentação das ondas e, conseqüentemente, a mobilização e transporte dos sedimentos.

5 RESUMO DO ANEXO

O Anexo 4 - Praias integra três diferentes temas: a morfodinâmica e sedimentologia das praias, a geoquímica dos sedimentos e os padrões ecológicos da fauna bentônica. As campanhas de campo da morfodinâmica e geoquímica foram realizadas trimestralmente, abarcando as variações sazonais no padrão das ondas, enquanto que os levantamentos da fauna obedeceram ao período seco e chuvoso, contudo realizados concomitantemente aos levantamentos abióticos. Foram monitoradas 11 estações amostrais desde praia Mole, Serra, até Guriri, São Mateus. Os resultados permitiram setorizar a área em três compartimentos. O Compartimento A encontra-se associado aos terraços de abrasão e falésias da Formação Barreiras entre Serra e Aracruz. Os perfis de praia são frequentemente inundados pelas ondas incidentes, em função da morfodinâmica praial, e os sedimentos são predominantemente carbonáticos, com altos teores de arsênio. Ferro, manganês, alumínio e vanádio são também encontrados em altas concentrações nos sedimentos na porção emersa. Os bentos são típicos de

areias carbonáticas e as alterações nos padrões ecológicos estão associadas aos teores de metais. A concentração de As no sedimento reduziu a riqueza da macrofauna e meiofauna e aumentou riqueza da nematofauna durante o período seco. Acredita-se que a porção emersa deste setor seja sedimentologicamente isolada pelos terraços, enquanto que, na antepraia, a presença de lama e metais pode indicar a contaminação do rejeito proveniente do rio Doce. O Compartimento B é representado pela porção sul da planície deltaica do rio Doce e a porção mais próxima ao norte, com aporte da lama do rio Doce depositada na antepraia, onde a concentração de Fe, Mn, Al e Cr são altas. As praias são expostas à ação de ondas, compostas por areias grossas e médias e apresentam alta mobilidade, o que representa alta resiliência à contaminação, o que fica evidenciado também nos padrões ecológicos. Não foram verificadas relações negativas entre a fauna e os teores de metais, contudo houve desacordo em relação à tipologia e granulometria da praia. O Compartimento C, na porção norte da desembocadura do rio Doce, é o setor onde fica evidente a deposição dos sedimentos provenientes do rio Doce devido à atuação da deriva litorânea de sentido sul-norte. Altos teores de lama, de metais e de minerais pesados são registrados neste compartimento, tanto na praia emersa como na praia submersa. O baixo gradiente do perfil praiial permite trocas de lama entre a praia emersa e a antepraia, provoca a inundação da praia e o alcance do espraiamento nas dunas e restinga localmente, evidenciando processos erosivos. A fauna bentônica é impactada pelas altas concentrações de metais. Houve redução na riqueza e diversidade da macrofauna com as altas concentrações de Fe e minerais pesados. A comparação entre a densidade da macrofauna antes e após o acidente indica que houve uma drástica redução, sem sua recuperação até o momento do monitoramento. O ambiente praiial responde às alterações sazonais nos padrões oceanográficos, onde a lama preferencialmente depositada na antepraia é mobilizada e transportada para a praia emersa, incrementando os teores de metais nos sedimentos da faixa costeira e conseqüentemente impactando a biota da praia e restinga associada.

6 REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, F. J. P. et al. Gastrópodes e outros invertebrados do sedimento e associados à macrófita *Eichhornia crassipes* de um açude hipertrófico do semiárido paraibano. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, n. 1, p. 165-178, 2006.
- ALBINO, J.; OLIVEIRA, R. Influência das couraças lateríticas da formação Barreiras na topografia e distribuição granulométricas dos perfis praiiais de Bicanga e Manguinhos–ES. **Anais I Simpósio Processos Sedimentares e Problemas Ambientais da Zona Costeira do NE do Brasil**, 1995.
- ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES**. 1999. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- ALBINO, J; PAIVA, D. S.; MACHADO, G. M. Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. **Geografares**, n. 2, p. 63-69, 2001.

ALBINO, J.; CONTTI NETO, N.; OLIVEIRA, T. C. A. The beaches of Espírito Santo. In: SHORT, A. D., KLEIN, A. H. F. (Eds). **Brazilian beach systems**. Sydney: Springer, 2016, p. 333-361.

ALBINO, J.; SUGUIO, K. Sedimentation processes and beach morphodynamics active at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 4, p. 1031-1044, 2010.

AHN, I.Y.; CHUNG, H.; CHOI, K.S. Some ecological and physiological features of the Antarctic clam, *Laternula elliptica* (King and Broderip) in a nearshore habitat on King George Island. **Ocean and Polar Research**, v. 23, n. 4, p. 419-424, 2001.

ALONGI, D. M. et al. Inter-estuary variation and intertidal zonation of free-living nematode communities in tropical mangrove systems. **Marine ecology progress series. Oldendorf**, v. 40, n. 1, p. 103-114, 1987.

ALONGI, D. M. et al. Abundances of benthic microfauna in relation to outwelling of mangrove detritus in a tropical coastal region. **Marine ecology progress series. Oldendorf**, v. 63, n. 1, p. 53-63, 1990.

AMARAL, A. C. Z. et al. Classe Polychaeta. In: AMARAL, A. C. Z., ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. (Org.). **Biodiversidade bentônica das regiões sudeste e sul do Brasil - Plataforma externa e Talude superior**. Série documentos Revizee: Score Sul. São Paulo: Instituto Oceanográfico – USP, 2004, p. 114-125 p.

AMARAL, A. C. Z.; MORGADO, E. H. **Diagnósticos de praias arenosas, São Paulo, Brasil**. Departamento de Zoologia, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, 1998.

AMARAL, A. C. Z. et al. Biodiversidade bêmica da região sul-sudeste da costa brasileira. **Sao Paulo: REVIZEE Score Sul–Bentos. EDUSP**, v. 156, 2003.

ANDRADE, E. J. **Distribuição dos foraminíferos recentes na transição carbonatos/siliciclásticos. na região de Praia do Forte, Litoral Norte do Estado da Bahia. Bahia**. 1997. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1997.

Aplysia Soluções Ambientais. **Monitoramento Ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (REBIO COMBOIOS)**. Relatório técnico nº 1763/2016, rev.1, 2016

ASTM (American Society for Testing and Materials). **Standard Practices for extraction of trace elements from sediments**. D3974-09, 2015.

ATAIDE, M. B. **Efeitos estruturadores de recifes arenosos do Polychaeta Sabellaria wilsoni na comunidade de meiofauna e na associação de Nematoda**. 2012.73 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

BAEYENS, W. et al. Arsenic enrichment in sediments and beaches of Brazilian coastal waters: A review. **Science of The Total Environment**, v. 681, p. 143-154, 2019.

- BARROS, F. Ghost crabs as a tool for rapid assessment of human impacts on exposed sandy beaches. **Biological conservation**, v. 97, n. 3, p. 399-404, 2001.
- BASCOM, W. N. The relationship between sand size and beach-face slope. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 32, n. 6, p. 866-874, 1951.
- BEMVENUTI, C. E. **Predation effects on a benthic community in estuarine soft sediments**. Atlântica, v.9, p.33-63, 1987.
- BEMVENUTI, C. E. Benthic Invertebrates. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J.P. (Eds) Subtropical convergence environments: **The coast and sea in the southwestern Atlantic**. Springer Verlag, 1997, p. 43-46.
- BEMVENUTI, C. E. Invertebrados bentônicos. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J.P. (Eds). Os ecossistemas costeiro e marinho do Rio Grande do Sul. Rio Grande, **Ecossocientia**, 1998, p. 46-51.
- BEZERRA, T. N. C.; GENEVOIS, B.; FONSECA-GENEVOIS, V. G. D. Influência da granulometria na distribuição e adaptação da meiofauna na praia arenosa do Istmo de Olinda-PE. **Oecologia Brasiliensis**, v. 3, n. 1, 1997.
- BITTENCOURT, A. C. S. P. et al. Past and current sediment dispersion pattern estimates through numerical modeling of wave climate: an example of the Holocene delta of the Doce River, Espírito Santo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 2, p. 333-341, 2007.
- BLACKMORE, G. Field evidence of metal transfer from invertebrate prey to an intertidal predator, *Thais clavigera* (Gastropoda: Muricidae). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 51, n. 2, p. 127-139, 2000.
- BLACKMORE, G. Interspecific variation in heavy metal body concentrations in Hong Kong marine invertebrates. **Environmental Pollution**, v. 114, n. 3, p. 303-311, 2001.
- BLOTT, S. J.; PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth surface processes and Landforms**, v. 26, n. 11, p. 1237-1248, 2001.
- BORZONE, C. A.; SOUZA, J. R. B. Estrutura da macrofauna bentônica no supra, meso e infralitoral de uma praia arenosa do sul do Brasil. **Oecologia Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p. 197-212, 1997.
- BRAZEIRO, A. Community patterns in sandy beaches of Chile: richness, composition, distribution and abundance of species. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 72, n. 1, p. 93-105, 1999.
- BROWN, A.C.; MCLACHLAN, A. **Ecology of Sandy Shores**. Amsterdam: Elsevier, 327 p. 1990.
- CAMPOS, L.S. **Implantação de estratégia de monitoramento de impacto na fauna bentônica da zona costeira rasa da Baía do Almirantado (Ilha Rei George, Antártica)**. (Relatório único final de atividades) Projeto GEAMB/ UFRJ – PROANTAR – REDE 2, 120 p., 2007.

- CARDOSO, R. S.; DEFEO, O. Biogeographic patterns in life history traits of the Pan-American sandy beach isopod *Excirolana braziliensis*. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, n. 3, p. 559-568, 2004.
- CARVALHO, C. E. V. et al. Distribuição de metais pesados em mexilhões (*Perna perna*, L.) da Ilha de Santana, Macaé, SE, Brasil. **Ecotoxicology and environmental Restoration**, v. 4, n. 1, p. 1-5, 2001.
- CASTILLA, J. C. Environmental impact in sandy beaches of copper mine tailings at Chañaral, Chile. **Marine pollution bulletin**, v. 14, n. 12, p. 459-464, 1983.
- CIERESZKO, L. S. et al. Vanadium content of some tunicates. **Comparative biochemistry and physiology**, v. 8, n. 2, p. 137-140, 1963.
- CIERESZKO, L. S. et al. On the occurrence of vanadium in holothurians. **Comparative biochemistry and physiology**, v. 7, n. 1-2, p. 127-129, 1962.
- CISNEROS, K. O. et al. Complex, dynamic combination of physical, chemical and nutritional variables controls spatio-temporal variation of sandy beach community structure. **PLoS One**, v. 6, n. 8, p. e23724, 2011.
- CLARKE, K. R.; AINSWORTH, M. A. method of linking multivariate community structure to environmental variables. **Marine Ecology-Progress Series**, v. 92, p. 205-205, 1993.
- CLARKE, K. R. et al. **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**. Primer-E Ltd, 2014.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras - Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 326 p., 2011.
- COSTA, E. S.; SÁ, F.; SILVA, C. A.; LERHBACK, B. D.; NETO, R. R. Monitoramento hidrogeoquímico da foz do rio doce: metais: total, dissolvido, material particulado em suspensão e sedimentos superficiais. In: BASTOS, A. C. (Co). **Monitoramento da Influência da Pluma do rio Doce após o rompimento da Barragem de Rejeitos em Mariana/MG – novembro de 2015**: Processamento, Interpretação e Consolidação de Dados. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, Brasil, 2017, p.121-163.
- COSTA, M.L. Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização. In: LICHT, O.A. B.; MELLO, C.S.B.; SILVA, C.R. (Eds). **Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás**. São Paulo: SBGq, 2007, 788 p.
- CORINGA, J. D. E. S. et al. Geochemical distribution and bioavailability of trace metals in sediments of the Bento Gomes River, Poconé-MT, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 2, p. 161-174, 2016.
- COULL, B. C.; BELL, S. S. Perspectives of marine meiofaunal ecology. In: **Ecological processes in coastal and marine systems**. Springer, Boston, MA, 1979. p. 189-216.

- COULL, B. C. The ecology of the marine meiofauna. In: HIGGINS, R. P.; THIEL, H. (Eds). **Introduction to the Study of Meiofauna**. Washington, Smithsonian Institute, 1988 p.18-38.
- COUTINHO, M. S.; BERNARDINO, A. F. Spatial and seasonal changes in benthic macrofauna from two dissipative sandy beaches in eastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 4, p. 666-677, 2017.
- COWELL, P. J., HANSLOW, D. J., MELEO, J. F. The shoreface. In: SHORT, A. D. (Ed). **Handbook of beach and shoreface dynamics**. New York: John Wiley and Sons, 1999, p. 39-71.
- DEFEO, O.; MCLACHLAN, A. Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: a multi-scale analysis. **Marine Ecology Progress Series**, v. 295, p. 1-20, 2005.
- DEFEOF, O.; JARAMILLO, E.; LYONNET, A. Community structure and intertidal zonation of the macroinfauna on the Atlantic coast of Uruguay. **Journal of Coastal Research**, p. 830-839, 1992.
- DI DOMENICO, M. Poliquetas intersticiais da costa sul e sudeste do Brasil. Tese (Doutorado em Zoologia) – Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Paraná, 226 p., 2012.
- DI DOMENICO, M. et al. Saccocirridae (Annelida) from the southern and southeastern Brazilian coasts. **Marine Biodiversity**, v. 44, n. 3, p. 313-325, 2014.
- DIENER, D. R. et al. Spatial and temporal patterns of the infaunal community near a major ocean outfall in Southern California. **Marine Pollution Bulletin**, v. 30, n. 12, p. 861-878, 1995.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 4, p. 227-237, 1981.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. O Papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas as desembocaduras dos Rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 13, n. 2, p. 98-105, 1983.
- ELLINGSEN, K. E. Soft-sediment benthic biodiversity on the continental shelf in relation to environmental variability. **Marine ecology progress series**, v. 232, p. 15-27, 2002.
- ELLIS, D. V.; HOOVER, P. M. Benthos on tailings beds from an abandoned coastal mine. **Marine Pollution Bulletin**, v. 21, n. 10, p. 477-480, 1990.
- FATTORINI, D. et al. Hyperaccumulation of vanadium in the Antarctic polychaete *Perkinsiana littoralis* as a natural chemical defense against predation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 17, n. 1, p. 220-228, 2010.

FERRANDO, A. et al. Intertidal macrozoobenthos in sandy beaches of Bahía Nueva (Patagonia, Argentina) and their use as bioindicators of environmental impact. **Scientia Marina**, v. 74, n. 2, p. 345-352, 2010.

FOLK, R.L.; WARD, W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

GALEHOUSE, J. S. Sedimentation analysis. In: Caver, R. E (Ed). **Procedures in sedimentary petrology**, p. 69-94, 1971.

GHESKIERE, T. et al. Horizontal zonation patterns and feeding structure of marine nematode assemblages on a macrotidal, ultra-dissipative sandy beach (De Panne, Belgium). **Journal of Sea Research**, v. 52, n. 3, p. 211-226, 2004.

GHESKIERE, T. et al. Meiofauna as descriptor of tourism-induced changes at sandy beaches. **Marine environmental research**, v. 60, n. 2, p. 245-265, 2005.

GIANGRANDE, A.; LICCIANO, M.; MUSCO, L. Polychaetes as environmental indicators revisited. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, n. 11, p. 1153-1162, 2005.

GIERE, O.; PFANNKUCHE, O. Biology and ecology of marine Oligochaeta, a review. **Oceanography and marine biology**, v. 20, p. 173-309, 1982.

GIERE, O. **Meiobenthology: The microscopic fauna in aquatic sediments**. Berlin: Springer Verlag. 327 p., 1993.

GIERE, O. **Meiobenthology: The Microscopic Fauna in Aquatic Sediments**. 2ª ed. Berlin: Springer Verlag, 527 p., 2009.

GINGOLD, R. et al. The role of habitat heterogeneity in structuring the community of intertidal free-living marine nematodes. **Marine biology**, v. 157, n. 8, p. 1741-1753, 2010.

GOMES, L. E. D. O et al. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 120, n. 1-2, p. 28-36, 2017

GOURBAULT, N.; WARWICK, R. M. Is the determination of meiobenthic diversity affected by the sampling method in sandy beaches? **Marine Ecology**, v. 15, n. 3-4, p. 267-279, 1994.

GRANT, J. The relative magnitude of biological and physical sediment reworking in an intertidal community. **Journal of Marine Research**, v. 41, n. 4, p. 673-689, 1983.

GRAY, J. S.; RIEGER, R. M. A quantitative study of the meiofauna of an exposed sandy beach, at Robin Hood's Bay, Yorkshire. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 51, n. 1, p. 1-19, 1971.

GRAY, J. S. Animal-sediment relationships. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**, v.12, p. 223-261., 1974.

- GRISSE, A. T. D. Redescription ou modification de quelques techniques utilisées dans l'étude des nematodes phytoparasitaires. **Mededelingen Rijksfaculteti der Landbouveten Gent**, p. 351–369, 1969
- GYEDU-ABABIO, T. K. et al. Nematodes as indicators of pollution: a case study from the Swartkops River system, South Africa. **Hydrobiologia**, v. 397, p. 155-169, 1999.
- HACKING, N. Macrofaunal community structure of beaches in northern New South Wales, Australia. **Marine and Freshwater Research**, v. 49, n. 1, p. 47-53, 1998.
- HEIP, C.; DECRAEMER, W. The diversity of nematode communities in the southern North Sea. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 54, n. 1, p. 251-255, 1974.
- HEIP, C. et al. **The ecology of marine nematodes**. Aberdeen University Press, 1985.
- HIGGINS, R.P.; THIEL, H. **Introduction to the study of meiofauna**. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press, 488 p., 1988.
- HOURSTON, M. et al. To what extent are the characteristics of nematode assemblages in nearshore sediments on the west Australian coast related to habitat type, season and zone? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 64, n. 4, p. 601-612, 2005.
- HUBERT, J. F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. **Journal of Sedimentary Research**, v. 32, n. 3, p. 440-450, 1962.
- ICMBio/MMA (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/Ministério do Meio Ambiente). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília, DF: ICMBio/MMA, v. 1, 492 p., 2018.
- INCERA, M.; LASTRA, M.; LÓPEZ, J. Effect of swash climate and food availability on sandy beach macrofauna along the NW coast of the Iberian Peninsula. **Marine Ecology Progress Series**, v. 314, p. 25-33, 2006.
- ISHII, T. et al. Intracellular localization of vanadium in the fan worm *Pseudopotamilla ocellata*. **Marine Biology**, v. 121, n. 1, p. 143-151, 1994.
- JACKSON, D. W. T.; COOPER, J. A. G. Geological control on beach form: accommodation space and contemporary dynamics. **Journal of Coastal Research**, p. 69-72, 2009.
- JARAMILLO, E.; MCLACHLAN, A. Community and population responses of the macroinfauna to physical factors over a range of exposed sandy beaches in south-central Chile. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 37, n. 6, p. 615-624, 1993.

- KAPUSTA, S. C.; BEMVENUTI, C. E. Atividade nictemeral de alimentação de juvenis de *Callinectes sapidus* Rathbun, 1895 (Decapoda: Portunidae) numa pradaria de *Ruppia maritima* L. e num plano não vegetado, numa enseada estuarina da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. **Nauplius**, v. 6, n. 1, p. 41-52, 1998.
- KENDALL, M. A. The stability of the deposit feeding community of a mud flat in the River Tees. **Estuarine and Coastal Marine Science**, v. 8, n. 1, p. 15-22, 1979.
- KLAPOW, L. A. Ovoviviparity in the genus *Excirrolana* (Crustacea: Isopoda). **Journal of Zoology**, v. 162, n. 3, p. 359-369, 1970.
- KNOX, G. A. *The Ecology of Seashores*. CRC Press, Boca Raton, 557 p., 2001.
- KOENE, H. **Reproduktie en eetgedrag van Amphichaeta sannio (Oligochaeta)**. Biologisch Onderzoek Eems-Dollard Estuarium, 1981.
- KOMAR, P. D. Beach processes and erosion—an introduction. In: KOMAR, P. D. **Handbook of coastal processes and erosion**. CRC Press, 1983, p. 1-20.
- KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. New York: Prentice Hall, 1976.
- KOMAR, P. D.; CLEMENS, K. E. The relationship between a grain's settling velocity and threshold of motion under unidirectional currents. **Journal of Sedimentary Research**, v. 56, n. 2, p. 258-266, 1986.
- LA ROSA, T. et al. Differential responses of benthic microbes and meiofauna to fish-farm disturbance in coastal sediments. **Environmental Pollution**, v. 112, n. 3, p. 427-434, 2001.
- LEE, M. R.; RIVEROS, M. Latitudinal trends in the species richness of free-living marine nematode assemblages from exposed sandy beaches along the coast of Chile (18–42° S). **Marine Ecology**, v. 33, n. 3, p. 317-325, 2012.
- LIGUS (Laboratoire de l'Institut de Géographie de l'Université de Strasbourg). Methodé améliorée pour l'étude des sables. **Rev. Géom. Dyn**, p. 43-53., 1958.
- MARTIN, L.; SUGULO, K.; FLEXOR, J. M. As flutuações de nível do mar durante o Quaternário Superior e a evolução geológica de "deltas" brasileiros. 1993.
- MARTIN, L. et al. Coastal Quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3, p. 389-404, 1996.
- MARTIN, P. et al. Global diversity of oligochaetous clitellates ("Oligochaeta"; Clitellata) in freshwater. In: **Freshwater animal diversity assessment**. Springer, Dordrecht, 2007, p. 117-127.
- MAURI, G. Macrofauna bentônica da praia de Degredo (Linhares, Es) após a chegada da lama com rejeitos de mineração. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Programa de Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2017.

- MCINTYRE, A. D. Ecology of marine meiobenthos. **Biological Reviews**, v. 44, n. 2, p. 245-288, 1969.
- MCARDLE, S. B.; MCLACHLAN, A. Sand beach ecology: swash features relevant to the macrofauna. **Journal of coastal research**, p. 398-407, 1992.
- MCLACHLAN, A.; BROWN, A. C. The ecology of sandy shores. 2. ed. New York: Academic Press, 2006.
- MCLACHLAN, A.; DORVLO, A. Global patterns in sandy beach macrobenthic communities. **Journal of Coastal Research**, p. 674-687, 2005.
- MCLACHLAN, A. et al. Sandy beach conservation and recreation: guidelines for optimising management strategies for multi-purpose use. **Ocean & coastal management**, v. 71, p. 256-268, 2013.
- MCLACHLAN, A.; HESP, P. Faunal response to morphology and water circulation of a sandy beach with cusps. **Marine ecology progress series. Oldendorf**, v. 19, n. 1, p. 133-144, 1984.
- MCLACHLAN, A. Dissipative beaches and macrofauna communities on exposed intertidal sands. **Journal of coastal research**, p. 57-71, 1990.
- MCLACHLAN, A. et al. Sandy beach macrofauna communities and their control by the physical environment: a geographical comparison. **Journal of Coastal Research**, p. 27-38, 1993.
- MCLACHLAN, A.; TURNER, I. The interstitial environment of sandy beaches. **Marine Ecology**, v. 15, n. 3-4, p. 177-212, 1994.
- MCLACHLAN, A. Physical factors in benthic ecology: effects of changing sand particle size on beach fauna. **Marine Ecology Progress Series**, v. 131, p. 205-217, 1996.
- MCLACHLAN, A.; WOOLDRIDGE, T.; DYE, ANDA H. The ecology of sandy beaches in southern Africa. **African Zoology**, v. 16, n. 4, p. 219-231, 1981.
- MCLACHLAN, A. Composition, distribution, abundance and biomass of the macrofauna and meiofauna of four sandy beaches. **African Zoology**, v. 12, n. 2, p. 279-306, 1977.
- MESQUITA, A. M.; KAISARY, S. Distribution of iron and manganese. **The Mandovi and Zuari estuaries**, p. 99-104, 2007.
- MIRLEAN, N. et al. Arsenic enrichment in shelf and coastal sediment of the Brazilian subtropics. **Continental Shelf Research**, v. 35, p. 129-136, 2012.
- MIRLEAN, N. et al. Coralline algae and arsenic fixation in near shore sediments. **Regional Studies in Marine Science**, v. 3, p. 83-88, 2016.
- MORAES, R. Estudos sobre Poluição Marinha: Importância e Perspectivas. In: MORAES, R et al. **Efeitos de Poluentes em Organismos Marinhos**. Rio de Janeiro, 2011.

- MORENO, J. E. A. D. et al. Heavy metals in Antarctic organisms. **Polar Biology**, v. 17, n. 2, p. 131-140, 1997.
- MORENO, M. et al. Across shore variability and trophodynamic features of meiofauna in a microtidal beach of the NW Mediterranean. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 66, n. 3-4, p. 357-367, 2006.
- MUNDO-OCAMPO, M. et al. Biodiversity of littoral nematodes from two sites in the Gulf of California. **Hydrobiologia**, v. 586, n. 1, p. 179-189, 2007.
- MUÑOZ-PÉREZ, J. J.; TEJEDOR, L.; MEDINA, R. Equilibrium beach profile model for reef-protected beaches. **Journal of Coastal Research**, p. 950-957, 1999.
- NAIR, S. et al. A selective sweep driven by pyrimethamine treatment in southeast asian malaria parasites. **Molecular biology and evolution**, v. 20, n. 9, p. 1526-1536, 2003.
- NANAJKAR, M.; INGOLE, B. Comparison of tropical nematode communities from three harbours, west coast of India. **Cahiers de Biologie Marine**, v. 51, n. 1, p. 9, 2010.
- NEVES, S.B. **Estrutura da Fauna Bentônica de Rodolitos e Sedimentos Depositados nos Recifes Lateríticos na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas, Aracruz, ES**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015.
- NEVES, F. M.; BEMVENUTI, C. E. Spatial distribution of macrobenthic fauna on three sandy beaches from northern Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 54, n. 2-3, p. 135-145, 2006.
- NICHOLAS, W. L.; HODDA, Mike. The free-living nematodes of a temperate, high energy, sandy beach: faunal composition and variation over space and time. **Hydrobiologia**, v. 394, p. 113-127, 1999.
- OGAWA, H.; DICKSON, M. E.; KENCH, P. S. Hydrodynamic constraints and storm wave characteristics on a sub-horizontal shore platform. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 1, p. 65-77, 2015.
- OLIVEIRA, T.C.A, ALBINO, J., VENANCIO, I.D. Littoral longshore sediment transport along the deltaic plain of Rio Doce. **Quaternary Environmental Geosciences**, v. 6, n. 1, p. 20–25, 2015.
- OMENA, E. P.; AMARAL, A. C. Z. Sandy beach morphodynamic and the polychaete fauna in Southeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 431-439, 2003.
- OMENA, E. P.; AMARAL, A. C. Z. Distribuição espacial de Polychaeta (Annelida) em diferentes ambientes entremarés de praias de São Sebastião (SP). **Oecologia Brasiliensis**, v. 3, n. 1, 1997.

- OTEGUI, M. B. P.; BLANKENSTEYN, A.; PAGLIOSA, P. R. Population structure, growth and production of *Thoracophelia furcifera* (Polychaeta: Opheliidae) on a sandy beach in Southern Brazil. **Helgoland marine research**, v. 66, n. 4, p. 479, 2012.
- PEREIRA, A. A. et al. Effects of iron-ore mining and processing on metal bioavailability in a tropical coastal lagoon. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8, n. 4, p. 239-252, 2008.
- PETTJONH, F.J. **Sedimentary rocks**. New York: Harper e Bros, 718 p., 1957.
- PINTO, T. K. D. O.; SANTOS, P. J. P. D. Meiofauna community structure variability in a Brazilian tropical sandy beach. 2006.
- POSEY, M. et al. Influence of storm disturbance on an offshore benthic community. **Bulletin of Marine Science**, v. 59, n. 3, p. 523-529, 1996.
- PRANTONI, A. L. **Oligoquetas marinhos: novos registros globais com ênfase no Atlântico Sul**. Tese (Doutorado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Universidade Federal do Paraná, 2016.
- PROBERT, P. K. et al. Macrobenthic polychaete assemblages of the continental shelf and upper slope off the west coast of the South Island, New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 35, n. 5, p. 971-984, 2001.
- QUARESMA, V D. S. et al. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 4, p. 635-644, 2015.
- RAO, G. C. et al. On the occurrence of interstitial fauna in the intertidal sands of some Andaman and Nicobar group of islands. **Current Science**, v. 39, n. 11, p. 251-252, 1970.
- RAO, C. B. Beach erosion and concentration of heavy mineral sands. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, n. 2, 1957.
- RODRIGUES, D. R. P. **Metais Dissolvidos no Sistema Estuarino Piraquê-açu e Piraquê-mirim e a Composição Geoquímica De rochas e Solos da Bacia Hidrográfica Adjacente, Aracruz-ES**. 2017. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental). – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.
- RODRÍGUEZ, J. G.; LASTRA, M.; LÓPEZ, J. Meiofauna distribution along a gradient of sandy beaches in northern Spain. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 58, p. 63-69, 2003.
- SAJAN, S.; JOYDAS, T. V.; DAMODARAN, R. Meiofauna of the western continental shelf of India, Arabian Sea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 86, n. 4, p. 665-674, 2010.
- SHARIFUZZAMAN, S. M. et al. Heavy metals accumulation in coastal sediments. In: HASEGAWA, H., RAHMAN, I., RAHMAN, M. (Eds). **Environmental remediation technologies for metal-contaminated soils**. Tokyo: Springer, 2016, p. 21-42.

SHORT, A. D.; WRIGHT, L. D. Morphodynamics of high energy beaches: an Australian perspective. **Coastal geomorphology in Australia**, p. 43-68, 1984.

SHORT, A. D. **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Chichester: Wiley & Sons Ltd, 1999.

SOLA, M. C. R., PAIVA, P. C. Variação temporal da macrofauna bentônica sublitoral da praia da Urca (RJ) após a ocorrência de ressacas. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 49, n. 1, p. 137-142, 2001.

SORENSEN, R.M. **Basic Coastal Engineering**. New York: Chapman and Hall, 1997.

SWIFT, D. J. P. Continental shelf sedimentation. In: STANLEY, D. J., SWIFT, D. J. P. (Eds). **Marine sediment transport and environmental management**. New York: John Wiley and Sons, 1976, p. 311-350.

TEAM, R. C. R. A language and environment for statistical computing, 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: ago. 2018.

TEIXEIRA, B. A. C. **Estrutura da fauna bentônica de duas praias do norte do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2016.

TSELEPIDES, A. et al. Macrobenthic community structure over the continental margin of Crete (South Aegean Sea, NE Mediterranean). **Progress in Oceanography**, v. 46, n. 2-4, p. 401-428, 2000.

U.S. EPA. **Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils**. Revision 1. Washington, DC, 2007.

VAN LOON, W. M. G. M. et al. Application of the Benthic Ecosystem Quality Index 2 to benthos in Dutch transitional and coastal waters. **Journal of sea research**, v. 103, p. 1-13, 2015.

VANAVERBEKE, J. et al. Nematode assemblages from subtidal sandbanks in the Southern Bight of the North Sea: effect of small sedimentological differences. **Journal of Sea Research**, v. 48, n. 3, p. 197-207, 2002.

VANOSMAEL, C., et al. Macrobenthos of a sublittoral sandbank in the Southern Bight of the North Sea. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 62, p. 521-534, 1982.

VINCX, M. et al. The distribution of nematodes communities in the Southern Bight of the North Sea. **Cahiers de biologie marine**, v. 31, n. 1, p. 107-129, 1990.

VILLORA-MORENO, S.; CAPACCIONI-AZZATI, R.; GARCIA-CARRASCOSA, A. M. Meiobenthos of sandy beaches from the Gulf of Valencia (Western Mediterranean): ecology of interstitial polychaetes. **Bulletin of Marine Science**, v. 48, n. 2, p. 376-385, 1991.

VILLORA-MORENO, S. Environmental heterogeneity and the biodiversity of interstitial polychaeta. **Bulletin of Marine Science**, v. 60, n. 2, p. 494-501, 1997.

WANDENESS, A. W. et al. Meiofauna da zona entre-marés da Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. **Oecologia Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p. 93-106, 1997.

WARD, A. R. Studies on the sublittoral free-living nematodes of Liverpool Bay. I. The structure and distribution of the nematode populations. **Marine Biology**, v. 22, n. 1, p. 53-66, 1973.

WARTON, D. I. et al. Three points to consider when choosing a LM or GLM test for count data. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 7, n. 8, p. 882-890, 2016.

WEBER, R. R., MONTONE, R. C. Rede-2: Gerenciamento ambiental na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. Relatório final. Ministério do Meio Ambiente/ CNPq/SeCIRM/Proantar, Brasil. 255 p., 2006.

WEINBERG, J. R.; STARCZAK, V. R. Morphological differences and low dispersal between local populations of the tropical beach isopod, *Excirrolana braziliensis*. **Bulletin of Marine Science**, v. 42, n. 2, p. 296-309, 1988.

WIESER, W. et al. Free-living nematodes and other small invertebrates of Puget Sound beaches. **University of Washington Publications in biology**, v. 19, 1959.

WIESER, W. D. Beziehung zwischen Mundhohlengestalt, Ernährungsweise und vorkommen bei freilebenden marine Nematoden. **Archives fur Zoologie**, v. 4, n. 26, p. 436-484, 1953.

WIESER, W. et al. Free-living nematodes and other small invertebrates of Puget Sound beaches. **University of Washington Publications in biology**, v. 19, p. 1-179, 1959.

WRIGHT, L. D. Recent advances in understanding continental shelf sediment transport. In: LI M., KING E.L., PRESCOTT R.H. (Eds). **Sediments, Morphology and Sedimentary Processes on Continental Shelves: Advances in Technologies, Research and Applications**. International Association of Sedimentologists, Special Publication, v. 44, 2012, p. 159-172.

WRIGHT, L. D.; NITTROUER, C. A. Dispersal of river sediments in coastal seas: six contrasting cases. **Estuaries**, v. 18, n. 3, p. 494-508, 1995.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine geology**, v. 56, n. 1-4, p. 93-118, 1984.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: P.D. Komar (Ed). **Handbook of coastal processes and erosion**. Boca Raton: CRC press, 2018. p. 35-64.

WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal component analysis. **Chemometrics and intelligent laboratory systems**, v. 2, n. 1-3, p. 37-52, 1987.

YEATES, G. W. et al. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. **Journal of nematology**, v. 25, n. 3, p. 315, 1993.

ZALMON, I. R. et al. The distribution of macrofauna on the inner continental shelf of southeastern Brazil: the major influence of an estuarine system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 130, p. 169-178, 2013.