

Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

**ANÁLISE TAFONÔMICA DE ALTA RESOLUÇÃO DE CONCENTRAÇÕES  
FOSSÍLIFERAS (*SHELL BEDS*) DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES  
HOLOCENICOS DA REGIÃO ENTRE JAGUARUNA E LAGUNA, SANTA  
CATARINA**

Luiz Gustavo Pereira

Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Moraes Leme Basso

Coorientadora: Profa. Dra. Milene Fornari

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2016/32)

São Paulo 2016



Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

**ANÁLISE TAFONÔMICA DE ALTA RESOLUÇÃO DE CONCENTRAÇÕES  
FOSSÍLIFERAS (*SHELL BEDS*) DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES  
HOLOCENICOS DA REGIÃO ENTRE JAGUARUNA E LAGUNA, SANTA  
CATARINA**

Luiz Gustavo Pereira



Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Moraes Leme Basso

Coorientadora: Profa. Dra. Milene Fornari

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA**

(TF-2016/32)

São Paulo 2016

IGc-Instituto de Geociências



Análise tafonômica de alta resolução de concentrações  
fossilíferas (shell beds) dos depósitos

M27115

TF  
p436  
L6a

Universidade de São Paulo  
Faculdade de Letras

ANÁLISE TIPOLÓGICA DE ALTA RESOLUÇÃO DE COMPLEXIDADE  
FONÉTICAS (SHELLS) DOS SÍMBOLOS REPRESENTATIVOS  
HOLÓTIPOS DA REGIÃO ENTRE LARANJEIRA E LARANJEIRA, SÃO  
CATARINA



Prof. Dr. Roberto de Almeida

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Almeida  
Coorientador: Prof. Dr. Roberto de Almeida

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMACÃO

(11-2019)

São Paulo 2019

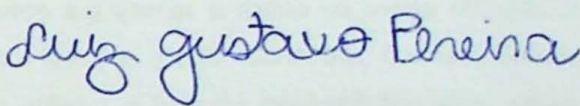


Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

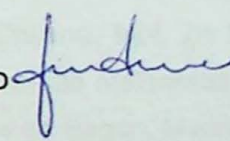
**ANÁLISE TAFONÔMICA DE ALTA RESOLUÇÃO DE CONCENTRAÇÕES  
FOSSÍLIFERAS (*SHELL BEDS*) DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES HOLOCENICOS  
DA REGIÃO ENTRE JAGUARUNA E LAGUNA, SANTA CATARINA**

Luiz Gustavo Pereira



Orientadora: Profa. Dra. Juliana de Moraes Leme Basso

Coorientadora: Profa. Dra. Milene Fornari



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF-2016/32)

São Paulo 2016



## Agradecimentos

Realmente não fazemos nada sozinhos, não somos produtos espontâneos de nós mesmos em termos de pensamento e interação, mas sim influências cumulativas de pessoas que passaram e interagiram com você em determinado momento da vida. Muitas pessoas influenciaram nesse trabalho, desde com apenas um sorriso e até com aulas de campo, viagens, correções pacientes e conselhos fundamentais. Eu dedico esse projeto a todos que me ajudaram direta ou indiretamente nessa jornada. Em especial, agradeço as minhas orientadoras Milene e Juliana pela paciência, disponibilidade e pelas oportunidades que elas me propiciaram. Mas, como disse antes, existem muito mais pessoas, o Chico que é uma pessoa incrível e foi o responsável por me influenciar para o mundo da fotografia (embora ele não saiba disso, talvez). Quero agradecer também o Fernando Erthal e o Mathias Ritter, pois sem eles, esse projeto definitivamente não iria adiante. Eles transformaram a minha frustração pelo *software R* em resultados concretos expostos aqui nesse projeto. Tem também a Cibele, Zefinha e Ivone e todos os outros professores do IGc-USP. Agradeço também os funcionários, o pessoal da manutenção e portaria, o pessoal da faxina e os técnicos do instituto e o pessoal da seção de graduação também, além de TODOS os professores que passaram pela minha vida. Quero agradecer a todos os meus colegas e amigos do IGc USP, o pessoal da Astenos (Morma, Loquinho, Manjáh, Pepe, Bundinha, Cabrita, Smeg, Titchón (otariano), Mike, Despacho, Hugão, Monstrão entre outros) e fora da geologia também, pelas bebedeiras e os rolê incríveis que tivemos e noite viradas em relatórios e provas, infelizmente não dá pra citar todo mundo. Quero agradecer o pessoal que encontrei na Austrália, inclusive o Harold, Nick e Patrick, a todos do edital CSF 167 em especial (Felipe, Loris, JB, KK, Gui, Adam, Gabinho, Tiagão, Jon, Ren, Cachoeira, Renan, Ju, Biscoito, Gary, Mazinho, Gugão(vovô), Vitinho, Chileno, Mol, Ze Papinha, Ralo, Girino, Arthur e os Neys) e pelo mundo afora, o que eu sou hoje é uma versão melhorada do meu eu passado e cada um de vocês foi responsável por isso. Agradeço aos monges de Bagan, Myanmar que me mostraram a verdadeira essência da aceitação e humanidade existentes dentro de nós mesmos. Agradeço aos meus colegas indianos que são pessoas extremamente atenciosas e que me mostraram o seu jeito mágico de viver e suas perspectivas para com a vida, quero agradecer em especial Sushil Mishra, Er Nitish Bagga, Pradeep, Rajveer, Rawat, Sidharth, Aayush Srivastava e os nômades dos Camelos que me mostram a relação mais superficialmente profunda entre homens e animais. E por último, quero agradecer ao meu pai, que me conheceu quando eu tinha 2 anos, e me mostrou que o amor não se correlaciona com o genótipo e a vovó que me transborda de amor toda a vez que encontro ela. Existem milhares de pessoas que gostaria de agradecer pessoalmente, vocês vivem dentro do meu coração e minha mente. Tudo o que sou hoje, me tornei graças a todas essas influências que se derramaram sobre mim. GRATIDÃO a todos, um por um. Amo a cada um de vocês, e a minha felicidade consiste em saber que vocês voam livres e felizes por aí, assim como os pássaros ou dinossauros, assim como preferirem.



## Sumário

Resumo.....	1
<i>Abstract</i> .....	2
1. Introdução.....	3
1.1. Fundamentação Bibliográfica.....	3
1.2. Tema de Abordagem .....	3
2. Objetivos .....	4
3. Aspectos Geomorfológicos Regionais .....	5
3.1. Nível Relativo do Mar (NRM) .....	6
3.1.1. Curva do NRM conforme o modelo de Martin et al. (1996) .....	6
3.1.2. Curva de NRM conforme o modelo de Angulo <i>et al.</i> (2006).....	7
3.2. Deriva Litorânea, Ventos, Ondas e Maré .....	8
3.3. Clima.....	9
4. Análise Estratigráfica .....	9
4.1. Garopaba do Sul .....	9
4.2. Setor Camacho .....	10
4.3. Setor Rio do Meio.....	10
5. Materiais e Métodos .....	11
5.1. Atividade de Campo .....	11
5.2. Atividades de Laboratório .....	12
5.2.1. Abertura dos Testemunhos.....	12
5.2.2. Análise Granulométrica .....	13
5.2.3. Análise Tafonômica .....	13
5.2.4. Análise Estatística .....	17
6. Resultados .....	19
6.1. Associações de Fácies.....	19
6.2. Análise Estatística.....	24
6.2.1. Análise de Agrupamentos ( <i>Cluster Analysis</i> ).....	24
6.2.2. NMDS ( <i>Non-metric multidimensional scaling</i> ) .....	27
6.2.3. <i>Box Plot</i> .....	38
7. Discussão.....	44



7.1. Correlação das Assinaturas Tafonômicas com as Classes Granulométricas .....	44
7.2. Correlação das Assinaturas Tafonômicas com Fácies Sedimentares .....	47
8. Conclusões.....	48
Referências Bibliográficas .....	49
Anexos.....	51
Anexo 1.....	52
Anexo 2.....	52
Anexo 3.....	53
Anexo 4.....	53



## Resumo

Esse projeto consiste em analisar tafonomicamente as assembleias mortas de conchas de moluscos bivalves e gastrópodes em depósitos holocênicos da região entre Jaguaruna e Laguna, na costa centro sul do estado de Santa Catarina. Esses depósitos são ricos em acumulações que permitem estudar e interpretar sistemas deposicionais e seus processos específicos (taxa de sedimentação e energia do meio) através do tipo de dano contido e registrado em cada concha (assinaturas tafonômicas). No caso desse estudo, o tipo de dano é de natureza bioestratinômica na qual está compreendida na interface água e poucos centímetros abaixo da camada sedimentar não consolidada. Os tipos de danos são agrupados em um protocolo tafonômico. As assinaturas tafonômicas analisadas nesse trabalho de formatura são: articulação, modificação da margem, brilho, alteração de cor, perióstraco, abrasão, corrosão, bioerosão, incrustação e predação. A sucessão sedimentar holocênica da região entre Laguna e Jaguaruna registra a mudança de um sistema deposicional baía (Paleobaía de Jaguaruna) para o atual ambiente lagunar devido à subida e estabilização do nível relativo do mar (NRM) na região. A oscilação do NRM é dividida em três fases. Na Fase 1, entre 8000-5700 anos cal AP onde o NRM era mais alto que o atual em  $3.1 \pm 1\text{m}$  e foi caracterizado pela inundação de zonas baixas na área costeira, resultando na baía preenchida com lençóis de areia transgressivos. A Fase 2, entre 5700-2500 anos cal AP é marcada pela mudança no sistema deposicional de baía para lagunar devido a formação da barreira arenosa que confinou o corpo lagunar da baía em mar aberto. A Fase 3, entre 2500 anos cal AP até o presente é marcada por taxas decrescentes de subida do NRM e progradação da retrobarreira através da instalação de marismas e do avanço do campo de dunas eólicas. As acumulações de conchas foram preservadas apenas nas Fases 1 e 2, sistema baía e lagunar, respectivamente. Neste contexto de mudança do NRM e sistema deposicional, o estudo tafonômico de alto detalhe, seguindo o protocolo tafonômico estabelecido nesse estudo e com abordagem estatística multivariada e vieses tafonômicos (*bias*) é uma oportunidade para fortalecer e discutir melhor a relação entre danos contidos nas conchas (assinaturas tafonômicas) e a transição de ambientes deposicionais entre a fase baía e lagunar em depósitos sedimentares do Holoceno na região costeira centro sul da costa de Santa Catarina. Os resultados obtidos que o *time averaging* é um viés tafonômico que não pode ser negligenciado no estudo de acumulações de conchas. Além disso, investigou-se a influência da granulometria na frequência proporcional de danos contidos nas conchas, concluindo-se que eles não variam de maneira linear, ou seja, a tafonomia de acumulações de conchas não tem variação linear ao longo do tempo.



## ***Abstract***

The project taphonomically analyzes the death assemblages of bivalve and gastropod molluscs in Holocene deposits in the region between Jaguaruna and Laguna, southern coast of Santa Catarina State, Brazil. These deposits are enriched in shell accumulations that allow the study and interpretation of depositional systems and their specific processes (sedimentation rate and energy) through the specific type of damage produced and recorded in mollusc shells (as taphonomic signatures). In this case study, the type of damage is attributed to biostratigraphic origin which occurs on water-sediment interface and a few centimeters below the unconsolidated sedimentary layer. The types of damage contained on shells are studied following the taphonomic protocol outlined in Rodrigues (2006). The taphonomic signatures analyzed on this graduation project are: articulation, margin modification, bright, color alteration, periostracum, abrasion, corrosion, bioerosion, encrustation and predation. The Holocene sedimentary succession in the study area records the change from a bay depositional system to the actual lagoonal environment caused by sea level rises and posterior stabilization of relative sea level in the region. There were 3 main phases of sea level variations: phase 1: (8000-5700 years BP) when the sea level was  $3.1 \pm 1\text{m}$  higher than nowadays and was characterized by flooding in the coastal area that resulted in a bay filled by transgressive sandsheets. The phase 2 (5700-2500 years BP) was characterized by the change from a bay depositional system to a semi closed lagoon due to the formation of a transgressive sandy barrier that confined the lagoon from the bay. The phase 3 (2500 years to the present) was characterized by decreasing rates of relative sea level rising and progradation of the back-barrier because of the creation of marshes and also by the progradation of sand dunes. Shell accumulations were preserved only during phases 1 and 2, depositional system bay and lagoon, respectively. In this context of sea level variations, depositional systems changes followed by the application of: high detailed taphonomic study aligned with the taphonomic protocol adopted, the usage of multivariate statistics and the consideration of taphonomic biases involved are an opportunity to discuss the transition between two different depositional systems (bay and lagoon) in Holocene sedimentary deposits in the region. The results obtained suggest that time averaging cannot be neglected on taphonomic studies about of shell accumulations. Furthermore, grain size variations were investigated in terms of correlation to taphonomic signatures in shells, concluding that this correlation between grainsize and taphonomic signatures does not vary linearly, thus taphonomy in shell death assemblages does not vary constantly and linearly through time.

Key words: Molluscs, taphonomic signatures, depositional systems, Holocene



## **1. Introdução**

### **1.1. Fundamentação Bibliográfica**

Os trabalhos sobre os vieses tafonômicos discutem possíveis distorções no registro fóssil baseados na resolução espacial (*spatial resolution*) e na mistura espacial de conchas encontradas em uma mesma assembleia morta ou fóssil (Kidwell e Holland 1991), (Kidwell e Flessa 1995), (Kidwell 2001), (Kidwell e Tomasovysch 2013), (Erthal 2012) e (Erthal e Ritter 2016). A fidelidade de composição de espécies (*fidelity of species composition*, em tradução livre), que leva em consideração o parâmetro de dano diferencial encontrado nas conchas, pode resultar na obliteração de variedades não preservadas e, deste modo, gerar uma análise paleoecológica desvirtuada da realidade. Outro fato que deve ser considerado é a resolução temporal das acumulações de conchas (*time averaging*) nos depósitos, no qual influencia na mistura temporal da assembleia fóssil e/ou morta (Erthal e Ritter 2016). Consequentemente, esses vieses são extremamente necessários para que se possa fazer uma análise tafonômica adequada no refinamento dos estudos sobre a evolução e desenvolvimento dos sistemas deposicionais costeiros.

No aspecto estratigráfico, a análise estratigráfica, obtida a partir de estudos prévios realizados na costa centro-sul catarinense por (Fornari 2012), permitem reconhecer a partir de amplo conjunto de dados cronológicos e sedimentares a formação do atual sistema lagunar na região. No enfoque restrito à taxonomia contribuem significativamente para este Trabalho de Formatura os estudos realizados previamente por (Pittoni 1993), (Mendes 1993) e (Rios 1994), uma vez que estes se preocupam em diferenciar as espécies de moluscos bivalves em relação ao ambiente de vida.

### **1.2. Tema de Abordagem**

O sistema baía-laguna, localizado entre os Municípios de Laguna e Jaguaruna na porção centro sul do estado de Santa Catarina, é resultante da evolução da paleobaía de Jaguaruna em função de oscilações do nível relativo do mar (NRM) na região. Essa evolução é evidenciada por depósitos de lençóis de areia transgressivos formados durante o estágio inicial da subida do NRM, Fornari *et al.* (2012). A composição sedimentológica desse lençol é



caracterizada por areia média, bem selecionada com intensa bioturbação associada à ocorrência de fragmentos de conchas de moluscos bivalves, gastrópodes e restos de equinodermos. Estudos prévios, a partir de interpretações sedimentológicas, paleontológicas (tafonômicas e taxonômicas) e datações  $C^{14}$  possibilitaram sugerir que esse lençol de areia materializa a fase inicial da sucessão de fácies baía para laguna formada entre 8000-5700 anos cal AP (Fornari *et al.* 2012). Estima-se que para essa época, o NRM tenha alcançado cerca de 2m mais alto que o atual Angulo *et al.* (1999) e favoreceu o desenvolvimento do sistema baía, sem o completo desenvolvimento de uma barreira holocênica Fornari *et al.* (2012).

Entretanto, no estudo de acumulações de conchas da região, nenhum protocolo tafonômico foi empregado. A utilização de um protocolo tafonômico adequado no estudo de moluscos bivalves possibilita uma melhor compreensão na reconstrução dos sistemas deposicionais no tempo e no espaço. A partir da análise tafonômica das conchas é possível testar e melhorar o modelo de evolução paleogeográfica da baía de Jaguaruna. Uma vez que aplicação de um protocolo de análise tafonômica de alta resolução permite quantificar assinaturas (por exemplo: abrasão, corrosão, modificação da margem, alteração de cor, perióstraco, incrustação, predação, articulação, alteração de cor e brilho) e associa-las com processos sedimentares específicos, como onda e correntes, atuantes nos depósitos durante a sua formação. Estes processos são responsáveis por produzir danos e condições tafonômicas diferenciais em cada bioclasto. Por isso, o estudo tafonômico dessas acumulações de conchas pode reforçar e esclarecer a discussão dos processos associados à gênese de assinaturas tafonômicas em depósitos sedimentares costeiros. Em vista dessas particularidades, a proposta deste trabalho é discutir a relação entre assinaturas tafonômicas de moluscos bivalves e os depósitos sedimentares com a dinâmica costeira.

## 2. Objetivos

O objetivo desse Trabalho de Formatura consiste em estabelecer a relação entre as assinaturas tafonômicas dos bioclastos com os depósitos sedimentares costeiros (associação de fácies). Para alcançar este objetivo, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

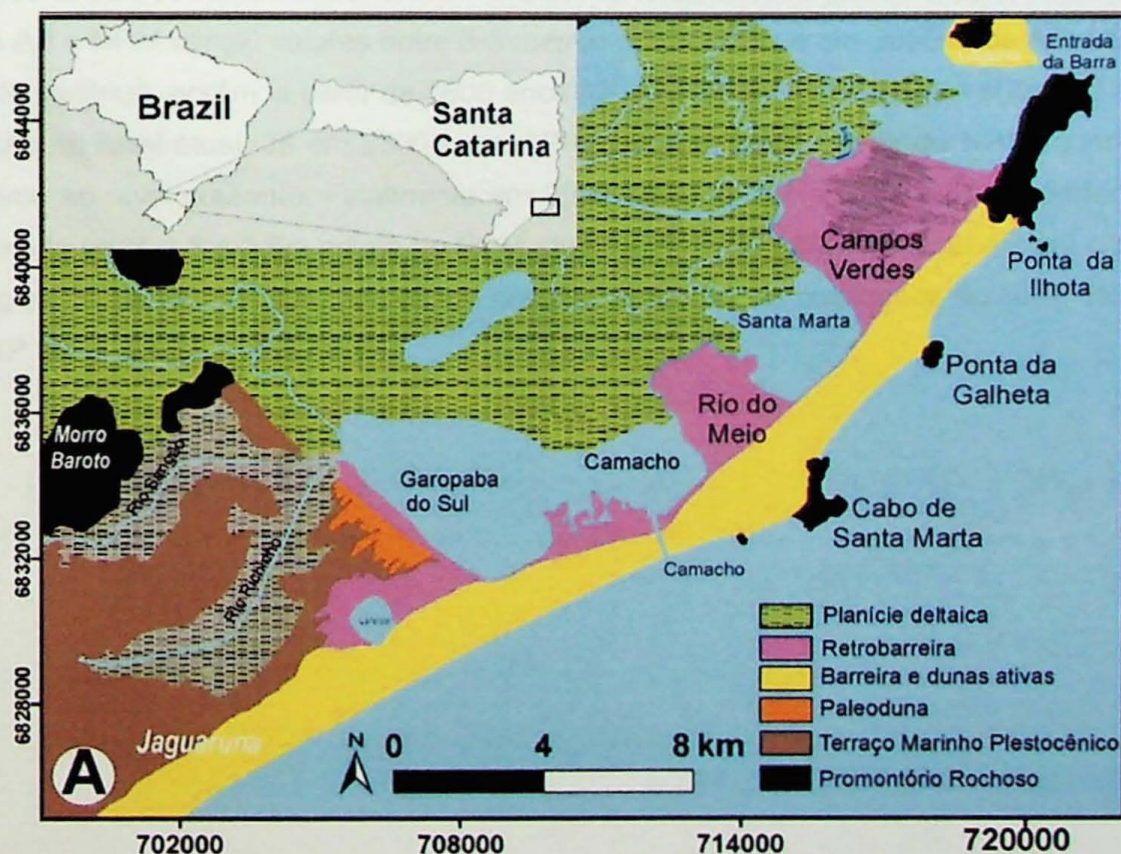
Os objetivos específicos desse trabalho consistem empregar estatística descritiva (*Box plot*) e multivariada (NMDS e *cluster analysis*) para a correlação entre as variáveis granulométricas (componente do tipo de sistema deposicional) com a geração dos diferentes tipos de danos encontrados em bioclastos (assinaturas tafonômicas) juntamente com suas



relações de significância em escala local (quantificação da influência de determinada classe granulométrica na geração das assinaturas tafonômicas em conchas de moluscos).

### 3. Aspectos Geomorfológicos Regionais

A área de estudo (Figura 1) caracteriza-se por lagunas holocênicas que foram em parte colmatadas e assoreadas pelo desenvolvimento da barreira e posterior retrobarreira, ambas de idade holocênica. Esse sistema lagunar é formado pelas lagunas Garopaba do Sul, Camacho e Santa Marta. Além disso, no limite SW dessa área de estudo localizam-se vales incisos de idade pleistocênica formados durante a fase de regressão forçada na região durante último máximo glacial, e que, posteriormente foram preenchidos com sedimentos holocênicos Amaral *et al.* (2010).



**Figura 1.** Localização da área de estudo e síntese dos principais sistemas deposicionais (adaptado de Fornari 2010).



### 3.1. Nível Relativo do Mar (NRM)

Há dois principais estudos realizados para as variações do nível relativo do mar (NRM) na costa brasileira. A primeira proposta foi apresentada por Martin *et al.* (1996) enquanto que a segunda proposta por Angulo *et al.* (2006) parte de uma revisão de um conjunto de dados com adição de datações e nivelamento a partir de indicadores biológicos confiáveis, os vermetídeos.

#### 3.1.1. Curva do NRM conforme o modelo de Martin *et al.* (1996)

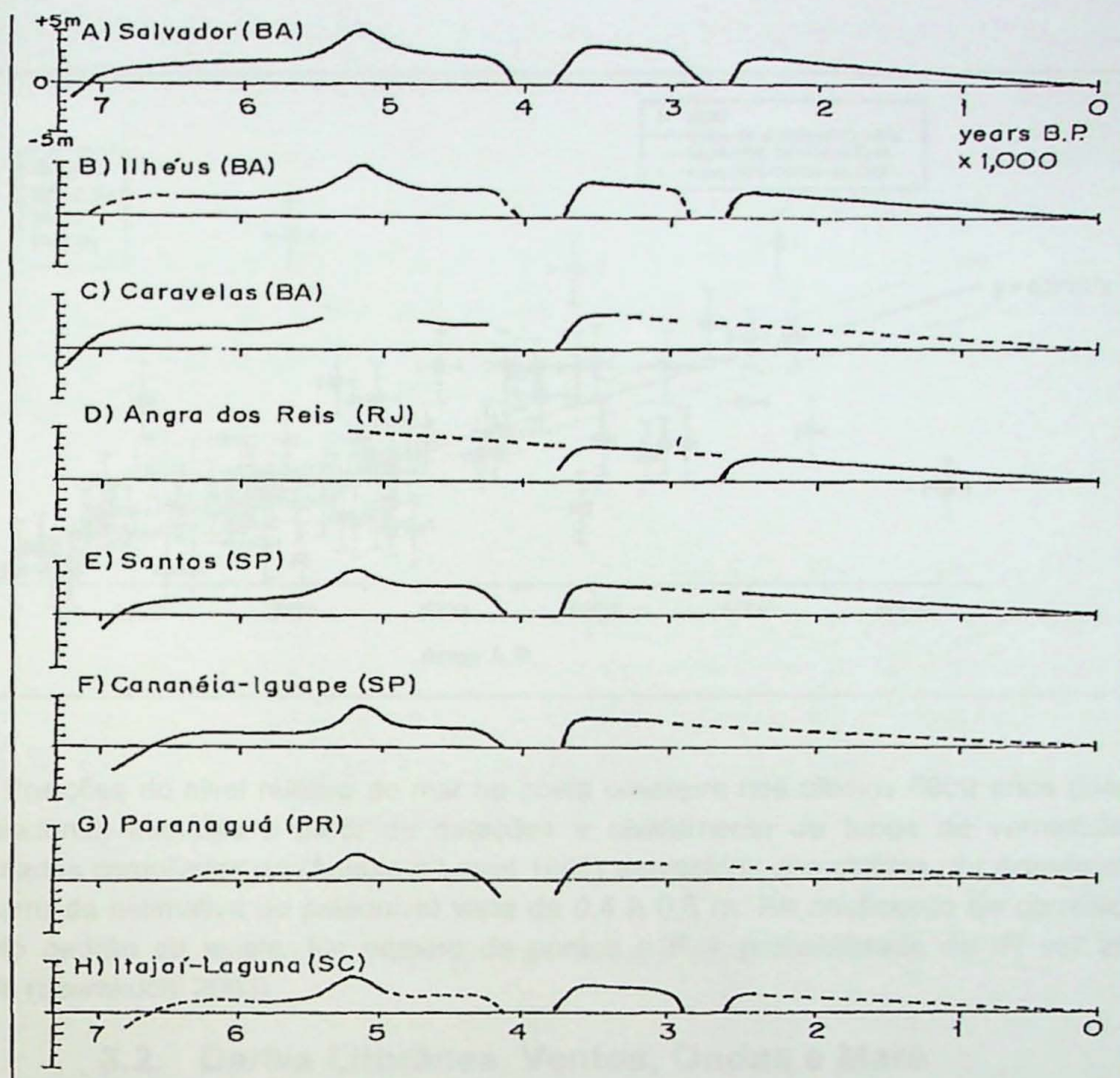
Na proposta elaborada por Martin *et al.* (1996) as variações do NRM foram obtidas por datações radiocarbônicas de conchas em posição de vida e tubos de vermetídeos, feições geomorfológicas dos terraços marinhos e sambaquis. De acordo com os mesmos autores é possível registrar uma variação  $4.8 \pm 0.5$  m nos últimos 5100 anos cal AP. Enquanto que para os 7000 anos AP, houve seis oscilações principais do nível relativo do mar. A primeira delas ocorreu entre 7000-6500 anos AP com subida do NRM em relação ao presente nível. Em 5100 anos AP o NRM atingiu valores entre 3-5 metros enquanto que em 3900 anos AP o NRM sofreu queda continua, porém, a partir de 3600 anos AP o NRM sobe novamente entre 2,0 e 3,5 m em relação ao nível atual. Já em 2500 anos AP registra-se outra queda do NRM, quando chegou próximo ao nível presente. Finalmente em 2500 anos cal AP o NRM tem um período de nova ascensão entre 1,5 e 2,5m acima do NRM atual; a partir de 2500 anos cal AP até o presente, a datação  $^{14}\text{C}$  perde precisão, não sendo possível computar as oscilações do NRM de 2500 anos cal AP até o presente (Figura 2).

Figura 2: Variação do NRM nos últimos 7000 anos cal AP na região litorânea da Paraíba (Martin *et al.*, 1996).

#### 3.1.2. Curva do NRM conforme o modelo de Angulo *et al.* (2006)

Angulo *et al.* (2006) apresentam uma curva de variação do nível relativo do mar para a costa da Paraíba, com base em dados de datação por radiocarbono e nívelamento a partir de vermetídeos e conchas de moluscos. O método  $^{14}\text{C}$  de datação de conchas de moluscos é considerado confiável, pois os vermetídeos são organismos que vivem em posição de vida e sua datação é feita com base na datação de amostras de conchas de vermetídeos. A curva de variação do NRM para a Paraíba, segundo Angulo *et al.* (2006), mostra uma subida do NRM entre 7000 e 6500 anos cal AP, seguida por uma queda entre 6500 e 5100 anos cal AP, uma subida entre 5100 e 3900 anos cal AP, uma queda entre 3900 e 3600 anos cal AP, uma subida entre 3600 e 2500 anos cal AP, uma queda entre 2500 e 2000 anos cal AP, e uma subida entre 2000 e 1500 anos cal AP. A partir de 1500 anos cal AP, a datação  $^{14}\text{C}$  perde precisão, não sendo possível computar as oscilações do NRM de 1500 anos cal AP até o presente (Figura 3).



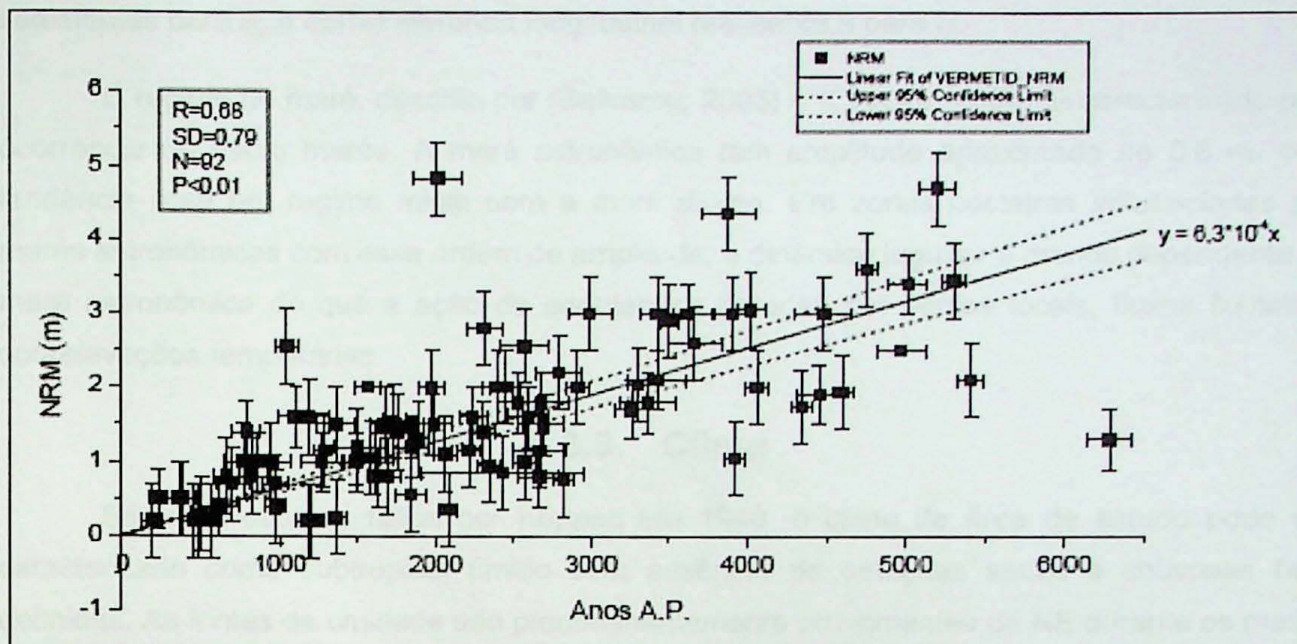


**Figura 2:** Variação do NRM nos últimos 7000 anos cal AP na região de Itajaí-Laguna (H) segundo Martin *et. al.*, (1996).

### 3.1.2. Curva de NRM conforme o modelo de Angulo *et al.* (2006)

Angulo *et al.* (2006) apresentam uma curva de variação do nível relativo do mar para a costa de Santa Catarina entre Laguna e Imbituba a partir do nivelamento e datação através do método  $C^{14}$  de tubos de vermitídeos que são gastrópodes coloniais que vivem incrustados em cordões rochosos na base da zona intermaré. Este conjunto de dados foi calibrado e tratado estatisticamente pelos mesmos autores, os quais sugerem um nível de mar mais alto que o atual de  $2.1 \pm 1$  m entre 5900-5500 anos cal AP com declínio gradual e ausência de oscilações significativas nos últimos 5000 anos cal AP (Figura 3)





**Figura 3.** Posições do nível relativo do mar na costa brasileira nos últimos 6000 anos (idades  $^{14}\text{C}$  convencional) inferidas a partir de datações e nivelamento de tubos de vermetídeos, conforme dados compilados de (Angulo e Lessa 1997) acrescidos dos obtidos por Angulo *et al.* (2006). O erro da estimativa do paleonível varia de 0,4 a 0,5 m. R= coeficiente de correlação, SD= desvio padrão do ajuste, N= número de pontos e P = probabilidade de rR ser zero. Extraído de (Sawakuchi 2003).

### 3.2. Deriva Litorânea, Ventos, Ondas e Maré

No litoral centro sul de Santa Catarina, há duas direções preferenciais de ventos, uma proveniente de NE (maior influência e efetividade); e outra de direção SW (Gianinni, 1993), Bonetti *et al.* (2001). Esses ventos são o mecanismo primário de dinâmica nas lagunas e pelo retrabalhamento de sedimentos no interior desses corpos. A comunicação com o ambiente marinho entre as lagunas e o mar aberto é feita através da desembocadura do Camacho onde predomina um ambiente mixohalino. A alternância de ventos tanto oriundos de NE como SW são responsáveis pela formação das barras de maré enchente além do represamento do fluxo fluvial localizado em regiões próximas em direção a montante. A caracterização das ondas na região reflete o regime de ventos do Atlântico Sul durante a passagem de sistemas frontais, o que resulta a produção de ventos no quadrante sul Araújo *et al.* (2003). As ondas provenientes de S e E são de alta energia e longo período e controlam o transporte longitudinal de sedimentos para N. Já as ondas de NE, que têm curto período e baixa energia, são mais



frequentes, porém menos importantes, e embora gere transporte resultante parcial de sedimentos para S, a deriva litorânea longitudinal resultante é para N.

O regime de maré, descrito por (Beltrame, 2003) e (Oliveira, 2004), é caracterizado pela ocorrência de micro marés. A maré astronômica tem amplitude aproximada de 0.6 m, com tendência para um regime misto com a maré diurna. Em zonas costeiras influenciadas por marés astronômicas com essa ordem de amplitude, a dinâmica lagunar é menos dependente da maré astronômica do que a ação de ondulações geradas por ventos locais, fluxos fluviais e sobrelevações temporárias.

### **3.3. Clima**

Segundo estudos feitos por Koppen em 1948, o clima da área de estudo pode ser caracterizado como subtropical úmido com ausência de estações secas e chuvosas bem definidas. As fontes de umidade são predominantemente provenientes de NE durante os meses mais quentes e de SW nos meses mais frios. A fonte de umidade NE é referente à Zona de Convergência Tropical e Monções Sul Americanas de Verão nas quais resultam em precipitação na maior parte do sul e sudeste do Brasil. A fonte SW é resultante da influência da Massa Polar Atlântica mais atuante durante primavera e verão (Orselli 1986) e (Monteiro 1995).

## **4. Análise Estratigráfica**

A análise estratigráfica baseou-se nos estudos da sucessão sedimentar de fácies e respectivas associações de fácies descritas em trincheiras, testemunhos e sondagens por (Fornari 2010) e Fornari *et al.* (2012). Este tipo de amostragem foi realizado em três setores geomorfológicos da área de estudo: Garopaba do Sul, Camacho e Rio do Meio.

### **4.1. Garopaba do Sul**

Nesse setor, é possível reconhecer quatro tipos de fácies: baía, laguna, retrobarreira e eólica. A associação de fácies baía é composta por areia fina-média com coloração amarela, bem selecionada e com densa concentração de conchas e evidências de bioturbação. As espécies mais representativas nesse setor são *Tellina sp.*, *Anomalocardia brasiliiana*, *Olivella sp.* e *Cerithium eburneum*. Segundo Rios (1994) todas essas espécies são de ambiente marinho e vivem preferencialmente entre a ante-praia até baías, sendo susceptíveis a retrabalhamento por ondas e correntes. A espessura média dessa fácies é de 1 m e há redução da porcentagem relativa de bioclastos em direção ao topo.



A fácies lagunar é descrita por ser constituída de areia fina a muito fina, espessura menor que 1 metro. Os fósseis são referentes a indivíduos juvenis de *Tellina sp.*, além de adultos de *A. brasiliiana* (espécie dominante) e *Crassostrea sp.* Há predominância de conchas inteiras e articuladas fechadas, incluindo alguns espécimes em posição de vida. Sobreposto aos depósitos lagunares, em contato abrupto, encontra-se a fácies retrobarreira, caracteriza por areia maciça fina de coloração preta, com detritos vegetais, caracterizada pela ausência de bioclastos tanto inteiros como fragmentados. Os depósitos de retrobarreira ocorrem recobertos pela associação de fácies eólica composta de areia fina maciça, bem selecionada com coloração entre cinza e amarelo claros.

## **4.2. Setor Camacho**

No setor Camacho é onde ocorre a desembocadura lagunar, permitindo a comunicação da laguna com o oceano. Nesse Setor foram identificadas quatro associações de fácies: desembocadura lagunar, delta de maré enchente, retrobarreira e eólica. A associação de fácies desembocadura lagunar tem espessura aproximada de 2,5m e estende-se por 5 km, sua composição é areia fina com densa acumulação de conchas (50% do pacote), e tendência de afinamento ascendente (*fining up*) rumo ao topo dos depósitos. Na porção basal dessa associação ocorre à fácies baía em contato brusco com ocorrência de conchas fragmentadas Fornari *et al.* (2012). A associação delta de maré enchente é caracterizada por depósitos de areia fina, de coloração cinza escuro e bioclastos inteiros, além disso, a fração pelítica tem concentração em torno de 5-10%. A concentração das conchas nessa associação é composta por valvas inteiras, convexidade para baixo, empacotadas e aninhadas. Sobreposta a associação delta de maré enchente, em contato abrupto, encontra-se depósitos da associação retrobarreira, tipicamente definido por areia média e detritos vegetais. Existe uma diferença na associação da fácies retrobarreira do setor Camacho em relação ao setor Garopaba do Sul na qual consiste na emersão do delta de maré enchente e oclusão dos canais (tributários) de ligação. Na porção superior, recobrindo a fácies retrobarreira, encontra-se associação eólica, formada por areia fina maciça, coloração amarelada, espessura de 2 metros, associação de raízes *in situ* além de assimetria positiva.

## **4.3. Setor Rio do Meio**

Para esse setor, foram identificadas quatro associações de fácies: tombolo, baía, lagunar e retrobarreira (Fornari, 2012). O depósito basal é referente à fácies tombolo caracterizada por areia maciça, moderadamente selecionada de coloração cinza claro. Esses depósitos têm espessura de pelo menos 3 metros e continuidade lateral em toda a extensão da retrobarreira



Rio do Meio. Essa fácies tem origem na formação de um tombolo alongado na direção NW devido à proteção do promontório rochoso do cabo de Santa Marta, responsável pela sua preservação. Sobreposto à fácies tombolo e em contato brusco encontra-se a fácies baía caracterizada por depósitos de areia média misturada com bioclastos inteiros e fragmentados, sendo as espécies mais comuns de *Anomalocardia brasiliiana*, *Bulla striata*, *Divaricella quadrisulcata* e *Telina sp.* (Mendes 1993; Pittoni 1993; Rios 1994; Boehs *et. al.*, 2004). Em direção ao topo da sucessão, encontra-se a fácies laguna em contato gradual com a fácies baía associada ao aumento da bioturbação. Além disso, a fácies laguna é caracterizada por areia fina com conchas fragmentadas e inteiras (50% depósito), estando articuladas, fechadas e bem preservadas com o domínio de *A. brasiliiana* e ocorrência de *B. striata* e *D. quadrisulcata*. Nos 15 cm finais da camada ocorrem exclusivamente conchas de *A. brasiliiana* aumentando a proporção de valvas inteiras e empacotadas. Sobreposto à fácies laguna encontra-se depósitos referentes à fácies retrobarreira composta de areia fina e detritos vegetais de coloração preta e espessura até 1 metro. Esta associação caracteriza-se por contato inferior abrupto com os depósitos lagunares e reflete o estágio avançado de segmentação, e consequente restrição, do sistema lagunar, quando se separaram as lagunas Santa Marta e Camacho Fornari *et al.* (2012).

## **5. Materiais e Métodos**

### **5.1. Atividade de Campo**

Na atividade de campo, realizada em fevereiro de 2013, foram coletados quatro testemunhos (Figura 4), com 1.5 m a 3.8 m de comprimento. Estes testemunhos foram coletados com vibro-testemunhador do Laboratório de Sedimentologia (LabSed) do IGc-USP. A coleta foi feita com tubos de alumínio de 7,0 cm de diâmetro e 3 m de comprimento, através da vibração produzida por motovibrador marca Branco, modelo 4T. Com o auxílio de talha e tripé, o tubo preenchido foi retirado sem perda da estratigrafia. Os testemunhos foram vedados com tampas de PVC e transportados para o laboratório.





**Figura 4:** Localização dos testemunhos na área de estudo entre Laguna e Jaguaruna

## **5.2. Atividades de Laboratório**

### **5.2.1. Abertura dos Testemunhos**

Os quatro testemunhos coletados em tubos de alumínio foram abertos em laboratório, com uso de serra circular elétrica e cavalete de apoio. Uma vez serrado o testemunho em corte meridiano longitudinal, seguiram-se três etapas. A primeira foi a delimitação de fácies com base nas características descritivas: mudanças sedimentológicas e de cor, estruturas sedimentares (sindeposicionais e penecontemporâneas), presença de fragmentos conchas e/ou vegetais e bioturbações (incluindo fitoturbação, por raízes). Adicionalmente nas fácies com ocorrência de conchas deu-se especial atenção para a descrição das características tafonômicas conforme a proposta de Kidwell *et al.* (2001). Desta forma as acumulações de conchas nas fácies foram descritas quanto: desarticulação; orientação dos bioclastos na matriz; grau de empacotamento; grau de fragmentação, grau de corrosão e incrustação dos restos esqueléticos e o grau de complexidade interna das concentrações fossilíferas (conchas empilhadas, aninhadas e etc.). A



segunda etapa compreendeu o registro fotográfico digital da sucessão sedimentar de fácies. Enquanto que a terceira etapa voltou-se a sub amostragem, na coluna sedimentar descrita, de alíquotas para análise granulométrica em intervalo de 5cm e separação do material bioclastico para a análise tafonômica.

### **5.2.2. Análise Granulométrica**

A análise granulométrica de 129 amostras foi feita em equipamento de difração de laser *Malvern Mastersizer 2000* no acessório *Hydro* disponíveis no laboratório de sedimentologia Armando Coimbra IGc-USP, coordenado pelo Prof. Dr. Paulo Gianinni. O granulômetro utilizado calcula matematicamente o tamanho das partículas a partir da difração que elas provocam num feixe de raios laser. O modelo físico-matemático adotado considera partículas dispersas em movimento aleatório, das quais se infere, portanto um eixo geométrico médio. Durante a análise das amostras, utilizou-se como dispersante químico, o pirofostato de sódio. As condições de operação do aparelho foram: desagregação em ultrassom à rotação de 1300 RPM por dois minutos; velocidade da bomba 2750 RPM; e "obscuração" (parâmetro de concentração de sólidos) entre 10 e 20%. Para o refinamento da análise de fácies sedimentares foram coletados ao longo dos testemunhos em intervalo de 5 cm uma amostra de sedimento para a análise granulométrica.

### **5.2.3. Análise Tafonômica**

Efremov (1940) definiu tafonomia como o estudo referente à transição de restos orgânicos e os processos que os conduzem até a litosfera, incluindo processos bioestratinômicos e diagenéticos. No campo da paleontologia, define-se tafonomia como o estudo da formação dos fósseis desde a morte do organismo, seu posterior soterramento e os processos de fossilização envolvidos. De acordo com (Kidwell 1985) o termo tafonomia refere-se às transformações sofridas pelos fósseis por ação física, química e biológica e como elas alteram a informação contida no registro fossilífero.

No presente Trabalho de Formatura, a análise tafonômica foi aplicada conforme os estudos elaborados por (Rodrigues 2006), Rodrigues *et al.* (2009), Simões *et al.* (2009) e (Azevedo 2010) e discriminados na Tabela 1. Assim, inicialmente as 129 amostras de granulometria, coletadas em intervalos de 10 cm, ao longo dos testemunhos foram peneiradas via úmido em peneiras granulométricas em malhas de 2 mm. Depois de peneiradas, as amostras foram secas ao ar livre. As conchas retidas nas peneiras foram pesadas em balança analítica e manualmente as conchas inteiras articuladas ou desarticuladas foram separadas das fragmentadas. O atributo concha fragmentada foi determinado através do reconhecimento de



quebras independentemente de sua origem, que pode ser devido a processo físico, químico e/ou biológico (Rodrigues 2006).

As conchas inteiras foram avaliadas quanto a assinaturas tafonômicas (Tabela. 1), sob estereomicroscópio *ZEISS Stemi 2000* no laboratório de Estudos Paleobiológicos IGc-USP (Coordenado pela Profa. Dra. Juliana Leme). Assim, no presente trabalho foram utilizadas 10 assinaturas tafonômicas para descrever os moluscos bivalves e nove assinaturas para moluscos gastrópodes, uma vez que não foi computada a articulação para esse grupo. As assinaturas escolhidas e suas respectivas condições tafonômicas são ilustradas nas Figuras 5 e 6. A seguir será dada uma breve definição de cada assinatura tafonômica segundo (Rodrigues 2006) e (Erthal 2012).

**Abrasão:** indicativo de energia do ambiente, sugerindo transporte prolongado e maior atrito das conchas com o sedimento transportado, o que pode gerar polimento pelo desgaste superficial da concha.

**Modificação da Margem:** é a quebra e/ou arredondamento das margens das conchas durante o transporte em meio ao sedimento.

**Cor:** indica o estado de oxirredução do sedimento no depósito onde a concha foi depositada.

**Corrosão:** sugere o grau de instauração em carbonato na  $H_2O$ , bem como flutuações de temperatura e pH da água.

**Bioerosão:** indica a abundância de organismos raspadores principalmente sobre a forma de microperfurações (algas, briozoários, anelídeos etc..)

**Incrustação:** indica exposição acima da interface sedimento-água. É um bom indicador de ambiente numa vez que os organismos incrustantes ocupam ambientes específicos.

**Predação:** marcas afuniladas e pontuais na superfície das conchas, principalmente encontrada na região do umbo e indicam relações paleoecológicas.

**Articulação:** podem ser articuladas fechadas ou abertas. Essa assinatura relaciona-se com a dinâmica do ambiente e também a ação de organismos bioerosivos e episódios de sedimentação rápida.

**Brilho:** representa o brilho natural das conchas e a ornamentação das conchas, quando não perdido por processos de origem físico-químicos.

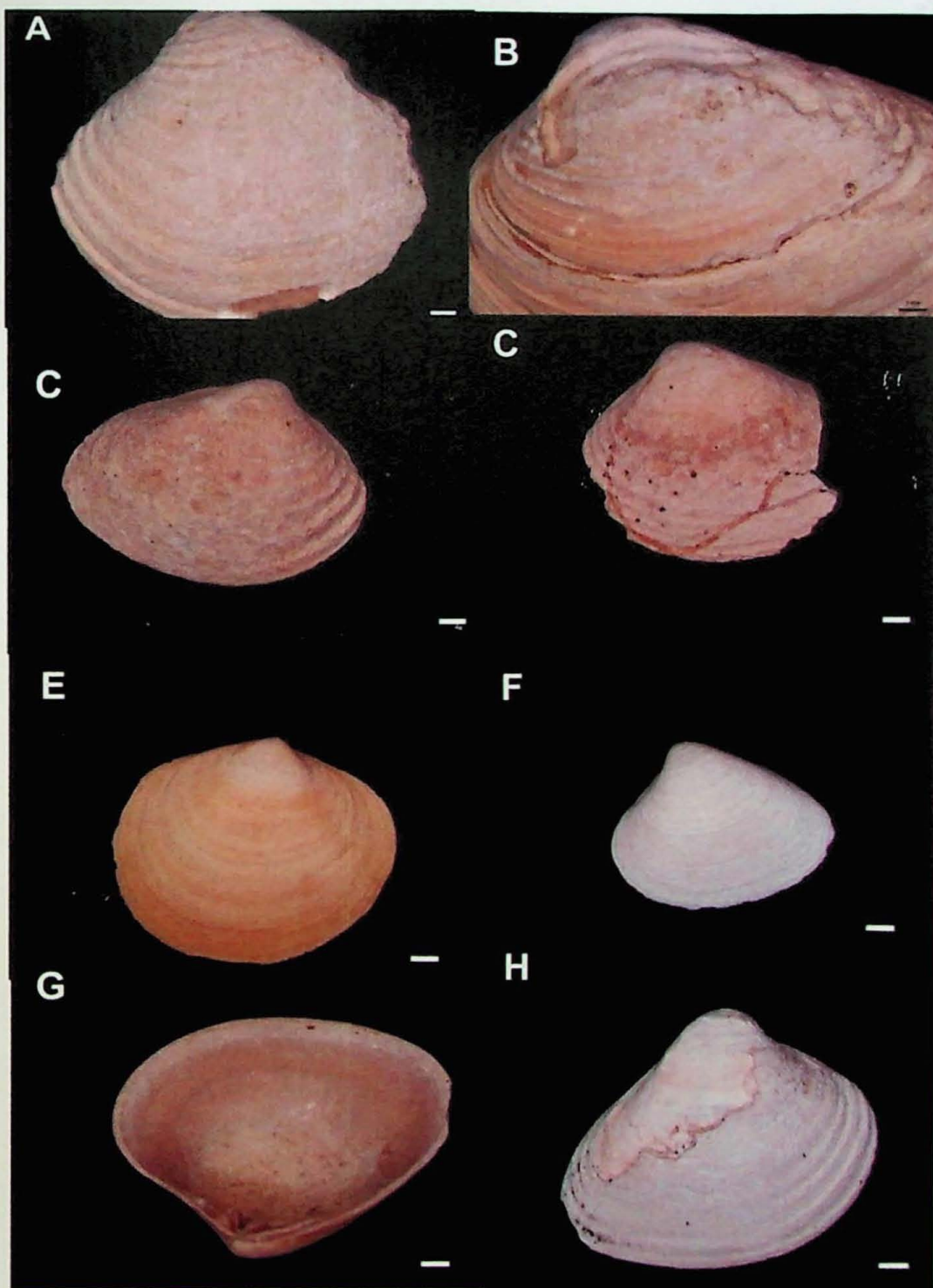


**Perióstraco:** camada orgânica natural composta principalmente por quitina na qual recobre a superfície das conchas de moluscos bivalves e gastrópodes. Quando preservado indica ambiente redutor e/ou baixa taxa de transporte e/ou ausência de fauna epibionte significativa.

Tabela 1: Assinaturas tafonômicas e sua respectiva condição tafonômica encontradas em conchas de moluscos bivalves e gastrópodes

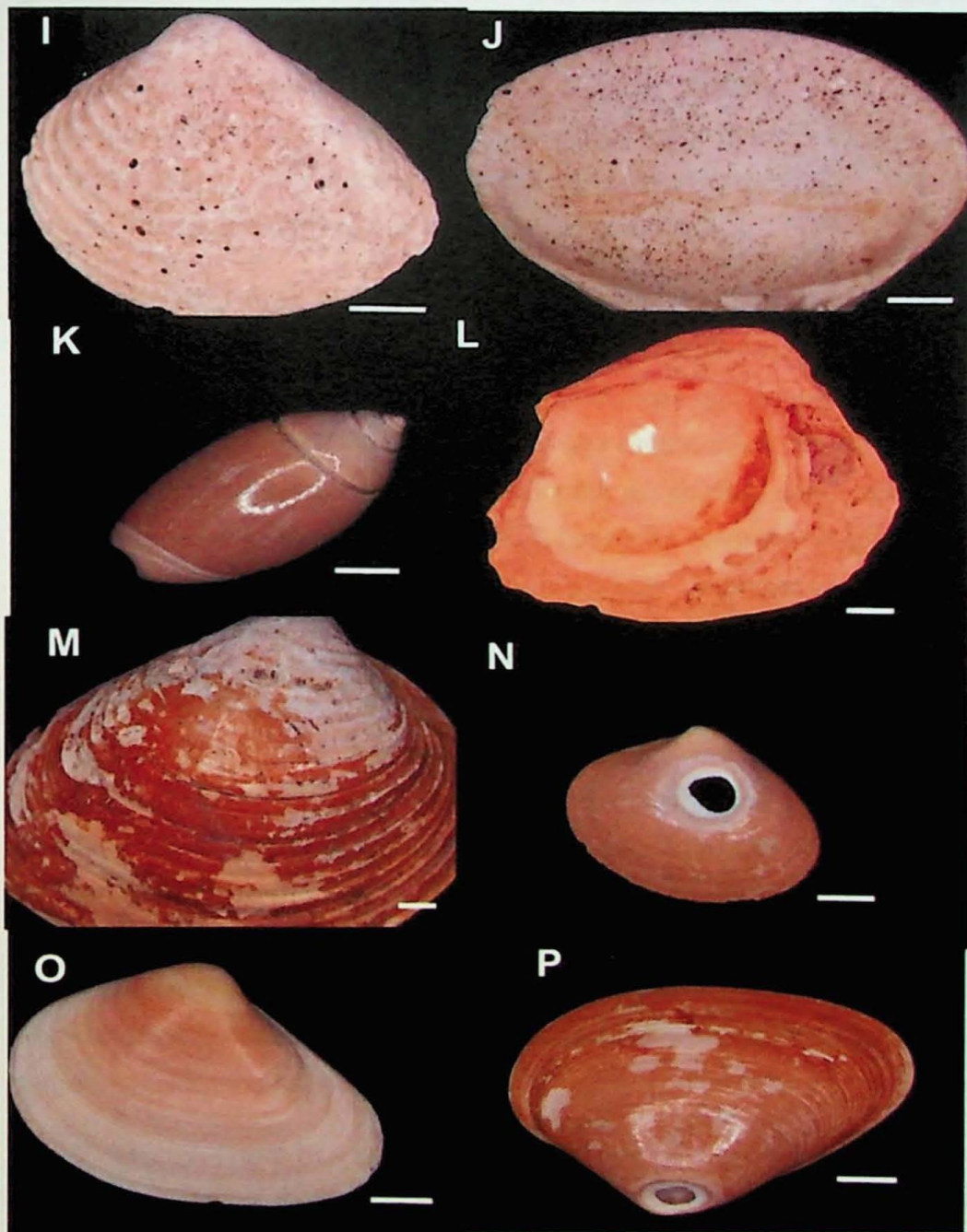
<b>Assinatura Tafonômica</b>	<b>Condição Tafonômica</b>
	0=desarticulada
<b>Articulação</b>	1=articulada fechada
	2=articulada aberta
	0= natural
<b>Modificação da margem</b>	1=irregular
	2= arredondada
	0= natural
<b>Perióstraco</b>	1= parcialmente perdido
	2=perdido
	0= natural
<b>Brilho</b>	1= perdido
	2= secundário
	0= natural
<b>Alteração da cor</b>	1= alterada para branco
	2= alterada para marrom ou preto
	0= natural
<b>Abrasão</b>	1= parcial
	2= total
	0= natural
<b>Corrosão</b>	1= parcial
	2= total
<b>Bioerosão</b>	0= ausente
	1= presente
<b>Incrustação</b>	0= ausente
	1= presente
<b>Predação</b>	0= ausente
	1= presente





**Figura 5.** Assinaturas tafonômicas: A: abrasão, B: bioerosão + corrosão, C: corrosão+ abrasão, D: Bioerosão por anelídeo + microperfurações indeterminadas, E: Alteração de cor para amarelo, F: alteração de cor para branco, G: margem arredondada, H: corrosão, escala: 1mm.





**Figura 6:** Assinaturas tafonômicas: I: corrosão+bioerosão, J: Margem arredondada + bioerosão, K: brilho natural, L: incrustação por bivalve, M: perióstraco parcialmente preservado, N: Predação, O: cor natural, P: predação + perióstraco parcial, escala: 1mm.

#### 5.2.4. Análise Estatística

Os métodos estatísticos multivariados podem ser ordenados e não ordenados (análise de agrupamentos). A ordenação cria novas variáveis (chamadas eixos principais) onde as amostras são classificadas em scores (Erthal, 2012). Portanto, a ordenação representa uma



simplificação útil, pois para um conjunto exibindo  $n$  variáveis, é possível reduzi-las e mesmo assim, obter resultados fiéis para as amostras estudadas. Os tipos mais comuns de ordenação são Análise de Componentes Principais (PCA), Análise de Coordenadas Principais (PCoA), Escalonamento Multidimensional não Métrico (NMDS, sigla em inglês), Análise de Correspondência (CA) e Análise de Correspondência Destendenciada (DCA). No caso do presente estudo, será adotado um método ordenado (NMDS) e um método não ordenado (análise de agrupamentos) que serão definidos a seguir.

O NMDS (*Non-Metric Multidimensional Scaling*) é um método que posiciona os pontos (unidades amostrais) semelhantes próximos um dos outros, e por sua vez, mais distantes um dos outros em um espaço 2D ou 3D arbitrário, mas que conserva a distância real entre esses pontos. No gráfico tipo NMDS é mantida uma ordem (*rank*) de classificação das distâncias ou dissimilaridades. Dois eixos são normalmente escolhidos, mas mais eixos podem ser usados quando necessário. Além disso, o NMDS possibilita mensurar o ajuste das unidades amostrais em relação as suas distâncias por ordem e/ou por distâncias reais. Este ajuste é denominado *Stress* (*Standardized Residual Sum of Squares*) que corresponde a um índice de significância e tem variação de 0 a 1.

A Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*) é aplicada na procura por discontinuidades entre as amostras que são delimitadas com base na sua similaridade ou dissimilaridade. Neste estudo, o tipo de agrupamento escolhido será o agrupamento hierárquico (*Hierarchical cluster*) que é baseado na distância geométrica entre os grupos. Essa distância geométrica requer uma medida de similaridade e um critério para o agrupamento que pode ser definido como ligação simples (define grupo pelos elementos mais próximos) ou ligação completa (grupos definidos pelos elementos mais distantes) ou ligação média (distância média entre os elementos do grupo).

Um total de 2.013 bioclastos foi analisado pelo aluno durante a realização do projeto de iniciação científica finalizado no ano de 2014. No presente Trabalho de Formatura, essas análises foram combinadas aos dados de assinaturas tafonômicas posicionados em um perfil de testemunhos paralelo e obtidos por Azevedo (2012). Assim no presente estudo pretende-se discutir as concentrações fossilíferas com base na análise de 8.306 bioclastos. Este  $n$  amostral exigiu a aplicação de métodos estatísticos mais rebuscados, uma vez que os procedimentos padrões (histogramas de assinaturas tafonômicas, gráficos de dispersão etc) não se mostraram satisfatórios para a discussão dos resultados. Portanto, para o desenvolvimento e aplicação das análises estatísticas foi necessário realizar um estágio de curta duração no mês de junho, entre os dias 20 e 26, sob orientação do professor doutor Fernando Erthal, do Instituto de



Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, especialista em estatística aplicada à análise de dados tafonômicos. Para o processamento dos dados estatísticos foi utilizado o *software* RStudio versão 3.2.5.

A estatística multivariada é uma excelente ferramenta em situações onde há muitas variáveis a serem tratadas em uma única amostra. No caso deste estudo, cada amostra é dividida em intervalos de 10 cm ao longo de um testemunho. Assim a unidade amostral é definida por intervalos de 10 cm ao longo da coluna sedimentar que contém variáveis tafonômicas (% de cada assinatura tafonômica) e granulométricas (% em volume das classes granulométricas). Ou seja, a unidade amostral são pontos no espaço nos quais serão medidas as suas distâncias entre si. A correlação entre esses pontos no espaço permitirá estabelecer uma relação entre o tipo de dano tafonômico e a granulometria no qual ele foi gerado, e por sua vez será associado com a descrição de fácies sedimentares obtidas tanto por interpretação da própria análise da granulometria como a descrição de fácies realizada após a abertura dos testemunhos.

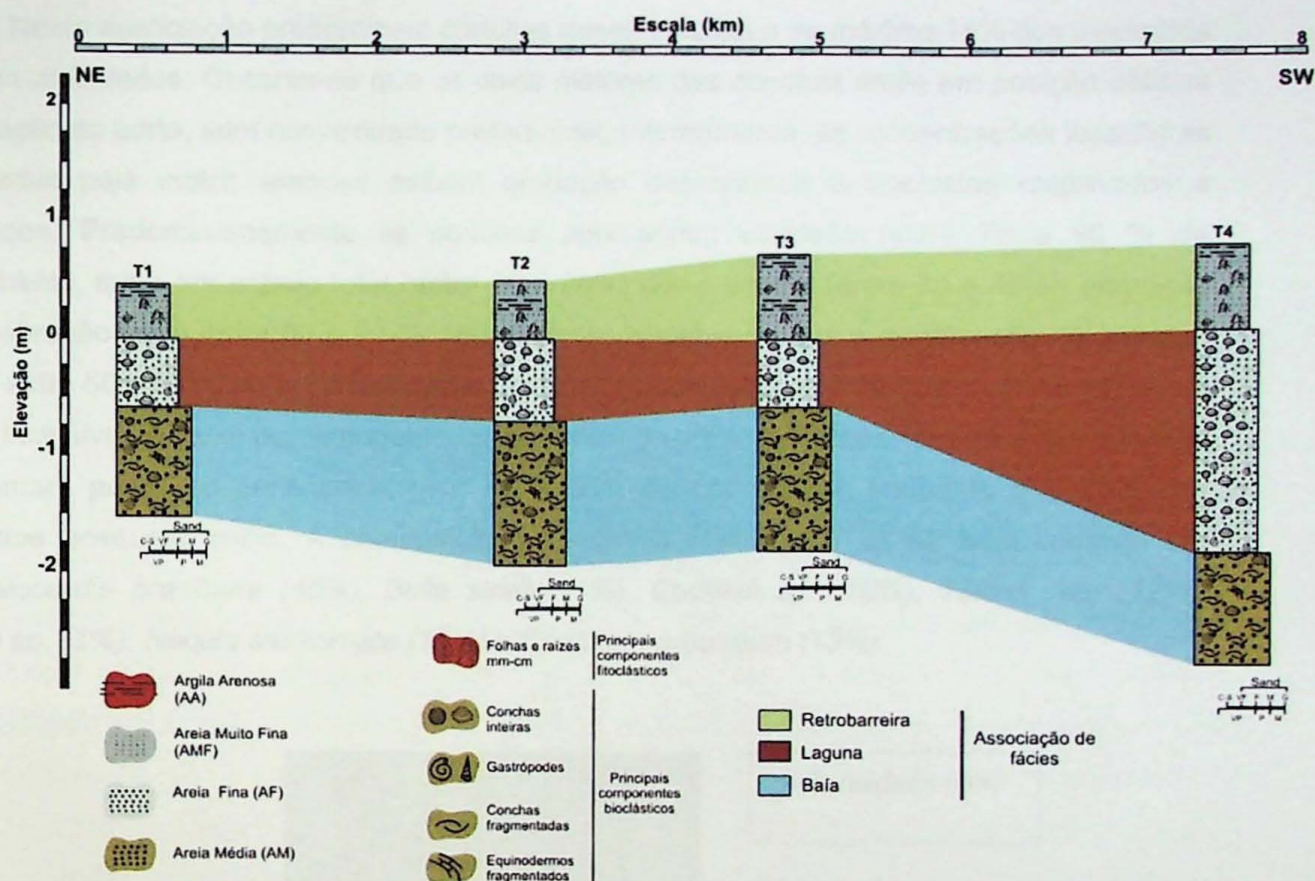
Além disso, uma pequena abordagem no campo da estatística descritiva foi aplicada através de gráficos do tipo *Box plot* ou *Box whiskers* para padronizar e apresentar melhor a distribuição dos dados (em termos de frequências proporcionais das assinaturas tafonômicas) e propriedades gráficas como quartis, mediana e valores máximos e mínimos.

## **6. Resultados**

### **6.1. Associações de Fácies**

Através da descrição e divisão de fácies de cada testemunho coletado (T1, T2, T3 e T4) agrupou-se as fácies sedimentares em associação de fácies descritas com base no seu conteúdo sedimentar e tafonômico. Segue abaixo, a descrição das associações (AF) de fácies sedimentares, da base para o topo: AF baía, AF laguna e AF retrobarreira (Figura 7).





**Figura 7:** Correlação estratigráfica para as associações de fácies (AF) baía, laguna e retrobarreira

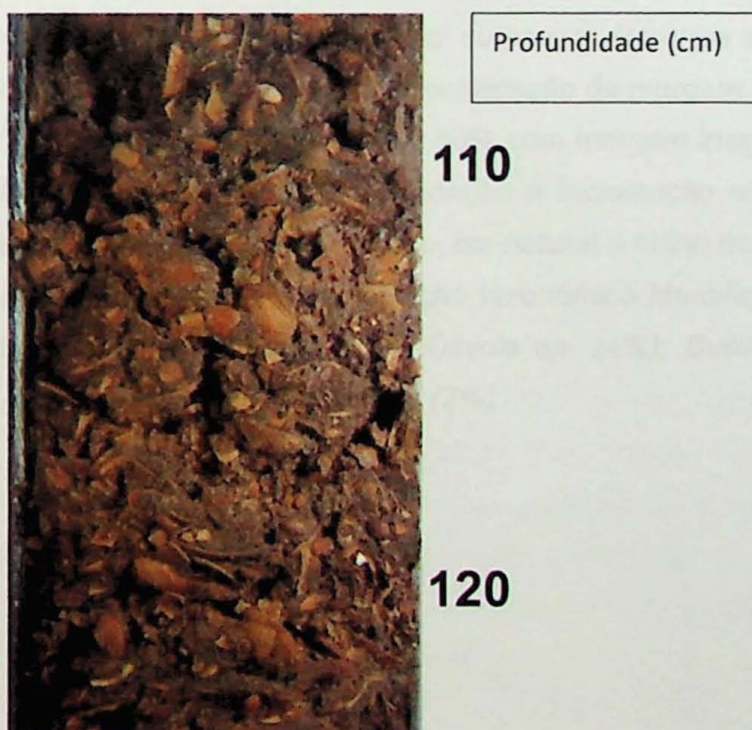
#### a) Associação de Fácies Baía

**Descrição sedimentar:** A associação de fácies baía consiste em depósitos de areia média (25%) e de areia fina (60%). Pode conter ainda areia grossa (10%) e sedimentos pelíticos (5%). Os grãos de areia são angulosos a subangulosos e bem selecionados. O contato superior é gradual e caracteriza-se pelo aumento na porcentagem de conchas inteiras. Esta associação apresenta-se em camadas de no mínimo 110 cm de espessura, geometria lenticular a irregular, padrão de granodecrescência ascendente, sendo texturalmente maciça. Datações  $C^{14}$  obtidas na base da associação de fácies mostram idades de 8070-7855 anos cal AP, enquanto a porção intermediária a idades é 5840-5600 anos cal AP e no intervalo superior os depósitos possuem idade de 3035-2775 anos cal AP.

**Tafonomia:** esta associação inclui concentrações fossilíferas formadas por conchas inteiras (entre 10 e 30 %) e fragmentadas (entre 70 e 90%), representadas predominantemente por moluscos bivalves (85 %) e em menor porcentagem (15%) por gastrópodes. As conchas ocorrem densamente empacotadas (Figura 8), com raros (<5%) exemplares dispersos na



matriz. Nesta associação predominam conchas desarticuladas e no máximo 14% dos bioclastos ocorrem articulados. Observa-se que os eixos maiores das conchas estão em posição oblíqua em relação ao corte, sem convexidade preferencial. Internamente, as concentrações fossilíferas suportadas pela matriz arenosa exibem gradação descontínua e bioclastos empilhados e aninhados. Predominantemente as conchas apresentam corrosão (entre 70 e 90 % da assembleia), tanto em estado total (entre 10 e 20%) como parcial (entre 30 e 40%), enquanto que a abrasão varia entre 80 e 90 %. Nas conchas observa-se que a modificação da margem ocorre entre 50 e 90%, porém a bioerosão foi registrada em apenas 20% dos exemplares, o que reflete inclusive na baixa porcentagem (cerca de 6%) de predação. Entre 40 e 90% das conchas apresentam perda de perióstraco, com 40 a 60% de cor natural, enquanto que 70% dos bioclastos possuem brilho. A composição taxômica identificada na AF baía consiste em *Anomalocardia brasiliiana* (45%), *Bulla striata* (1%), *Codakia sp.* (16%), *Tellina sp.* (12%), *Olivella sp.* (1%), *Nucula semiornata* (12%) e *Cerithium erbuneum* (13%).



**Figura 8.** Denso empacotamento de conchas na associação de fácies baía (T2).

#### **b) Associação de fácies laguna**

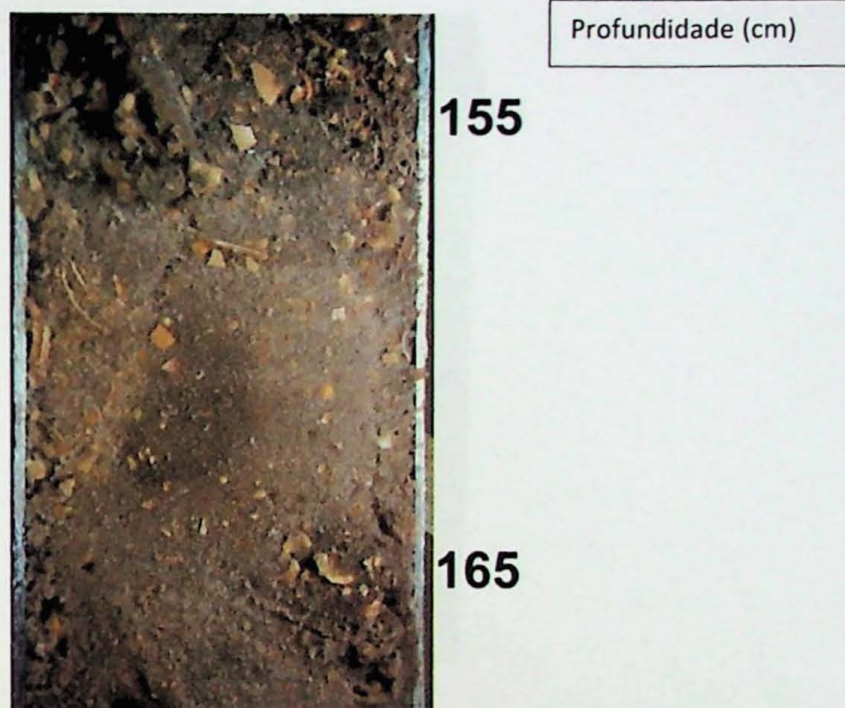
**Descrição Sedimentar:** compreende depósitos de areia fina (60%) a muito fina (20%) com contato superior abrupto com a fácies retrobarreira e o basal gradual com a fácies baía. Para o topo da associação há aumento na concentração de sedimentos pelíticos na fração silte (10%)



e argila (10%) o que caracteriza o padrão de granodescrescência ascendente. Texturalmente os sedimentos são moderadamente a bem selecionados e de assimetria positiva. Lateralmente estes depósitos estendem-se por centenas de metros, com geometria em cunha, estrutura maciça e no máximo 2m de espessura. Datações  $C^{14}$  indicam que a associação apresenta idade entre 5560-5320 anos cal AP e 2340-2700 anos cal AP, Angulo *et al.* (2006).

**Tafonomia:** nesta associação os bioclastos correspondem a 75% de conchas inteiras enquanto que 25% dos exemplares são conchas fragmentadas e são representadas predominantemente por moluscos bivalves (85%) e gastrópodes (15%), (Figura 9). Entre as conchas inteiras predominam exemplares desarticulados, porém em média 14% das conchas ocorrem articuladas fechadas. As conchas estão frouxamente empacotadas ou dispersas (*sensu*, Kidwell & Holland 1991) na matriz (Figura 11). Mas localmente podem ocorrer densamente empacotadas, empilhadas e aninhadas. Em planta os bioclastos não apresentam posição preferencial. Observam-se conchas em posição paralela e oblíqua ao acamamento e convexidade voltada para cima ou para baixo. As análises das assinaturas tafonômicas indicam que cerca de 80% dos bivalves apresentam corrosão total ou parcial. Porém a abrasão total foi registrada em 40% dos bivalves e a parcial em 90%. A modificação da margem ocorre em 85% da assembleia, sendo 30% com margem arredondada e 50% com margem irregular. Em geral, 30% das conchas apresentam bioerosão, porém a predação e incrustação não ultrapassam valores de 2%. As assinaturas como perda de perióstraco, cor natural e brilho ocorrem entre 30-100%, 30-40% e 30-40%, respectivamente. A composição taxonômica identificada para a AF laguna consiste em *Anomalocardia brasiliiana* (53%), *Olivella sp.* (4%), *Bulla striata* (10%), *Codakia sp.* (4%), *Tellina sp.* (27%) e *Nucula semiornata* (2%).





**Figura 9.** Empacotamento disperso na associação de fácies laguna (T2)

**c) Associação de fácies retrobarreira**

**Descrição sedimentar:** mostra-se completamente mosqueada (Figura 10) provavelmente devido à ocorrência de bioturbação por raízes que misturam os sedimentos ao longo da fácies. Os sedimentos são formados pelas classes de areia fina (62%), areia muito fina (18%) e silte (20%). Nesta associação não ocorrem conchas e os detritos vegetais correspondem a vestígio de raízes, fragmentos de folhas e caule. A espessura varia de 50 a 80 cm e os sedimentos arenosos são de coloração amarelada a cinza escuro. Na porção central da fácies observa-se a ocorrência de manchas de coloração preta associadas a migração de matéria orgânica durante a escavação das raízes e/ou a ocorrência de lama. O contato inferior é litologicamente abrupto, com a associação de fácies lagunar.





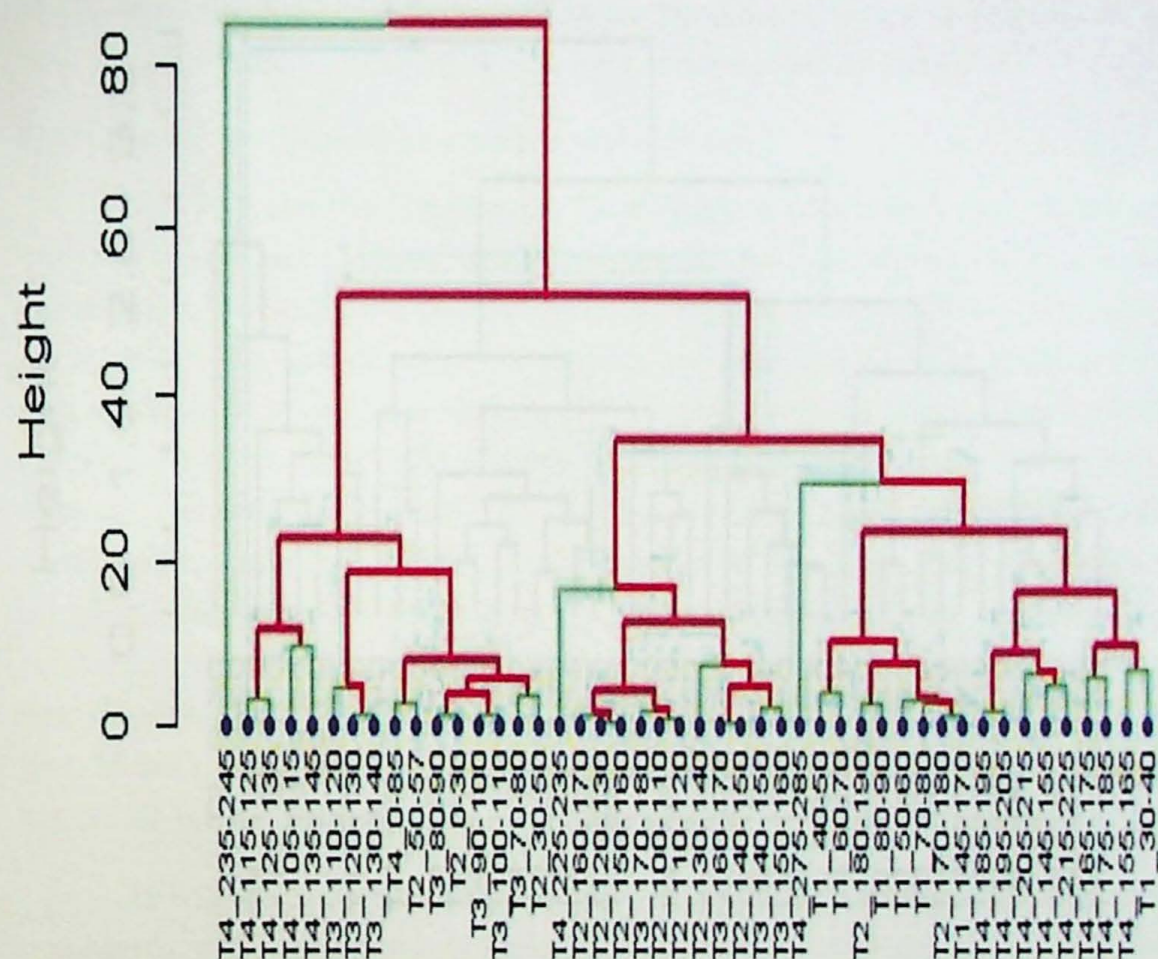
**Figura 10.** Depósitos da associação de fácies retrobareira, com a ocorrência de concentração densa de fragmentos de raízes.

## **6.2. Análise Estatística**

### **6.2.1. Análise de Agrupamentos (*Cluster Analysis*)**

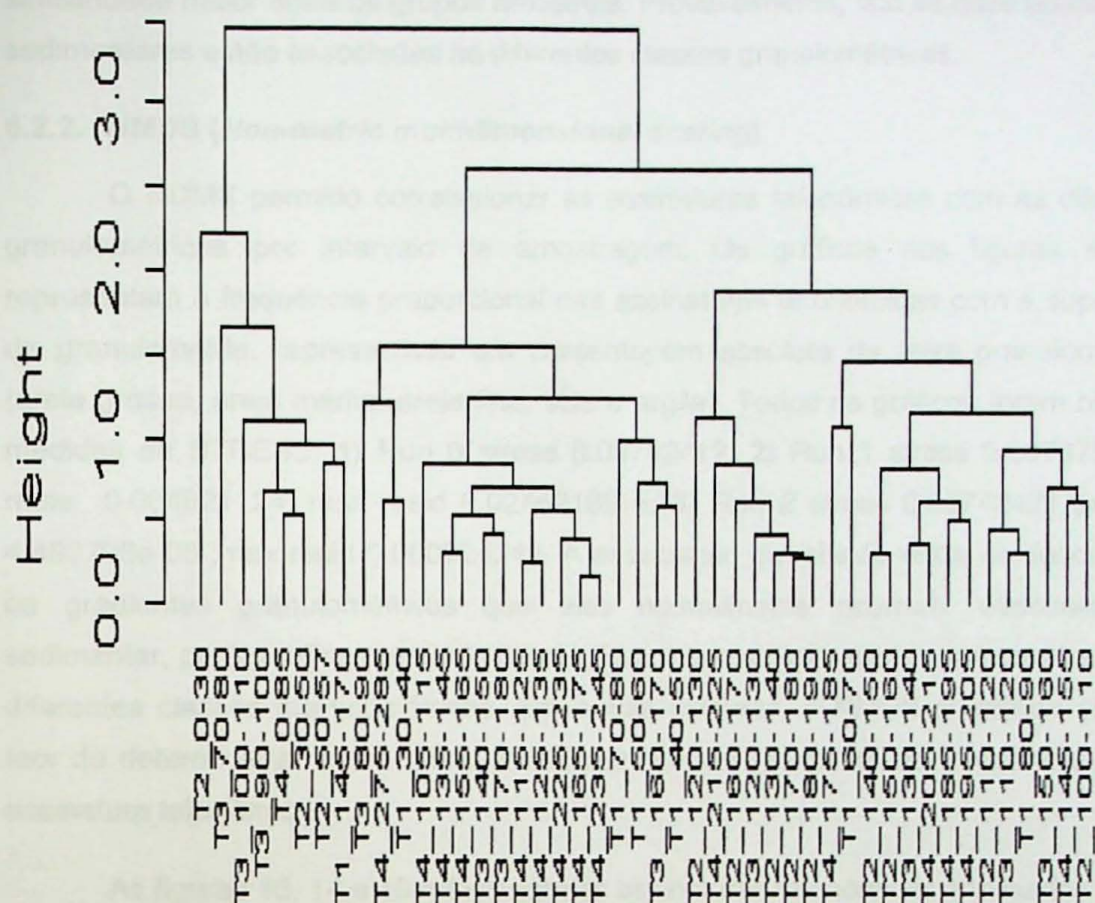
A análise de agrupamentos foi realizada para os resultados granulométricos (% em volume de todos os sedimentos psamíticos e pelíticos, Figura 11) e tafonômicos (frequência proporcional de assinaturas, Figura 12). Os dendogramas produzidos abaixo refletem o grau de similaridade entre as amostras (clusters mais próximos) que foram analisadas em intervalos regulares de 10 cm. Assim, é possível observar a correlação espacial entre as amostras de acordo com as suas características específicas que são reflexo do conjunto de dados obtidos de frequência proporcional para a granulometria e tafonomia em um dado intervalo de profundidade.





**Figura 11:** Dendrograma para as classes granulométricas coletadas a cada 10 cm ao longo dos testemunhos





**Figura 12:** Dendrograma das assinaturas tafonômicas nas conchas contidas em intervalos de 10 cm ao longo dos testemunhos.

O dendrograma da figura 11 mostra o grau de similaridade entre os grupos através de um conjunto de características próprias no intervalo dado (% de sedimentos arenosos, % de sedimentos pelíticos, assimetria, moda, e desvio padrão). Nos dois extremos do dendrograma é possível observar que os testemunhos T1 e T4 são correlacionáveis em relação aos depósitos lagunares. Porém na porção intermediária, nota-se que os testemunhos T2 e T3 estão mais próximos no intervalo correspondente à associação de fácies baía.

No dendrograma para o conjunto de características tafonômicas (figura 12) observa-se que as amostras não se relacionam de acordo com as suas fácies sedimentares nos intervalos de profundidade, como no caso dos dendrogramas para amostras de granulometria. Esta tendência sugere que a tafonomia das assembleias mortas de moluscos não estão necessariamente alinhadas com o tipo de fácies sedimentar onde essas conchas são encontradas, ocorrendo similaridade menor (maior dissimilaridade) por fácies (*clusters* não próximos) por danos tafonômicos enquanto que no dendrograma de granulometria ocorre uma



similaridade maior entre os grupos amostrais. Provavelmente, isto se deve ao fato que as fácies sedimentares estão associadas as diferentes classes granulométricas.

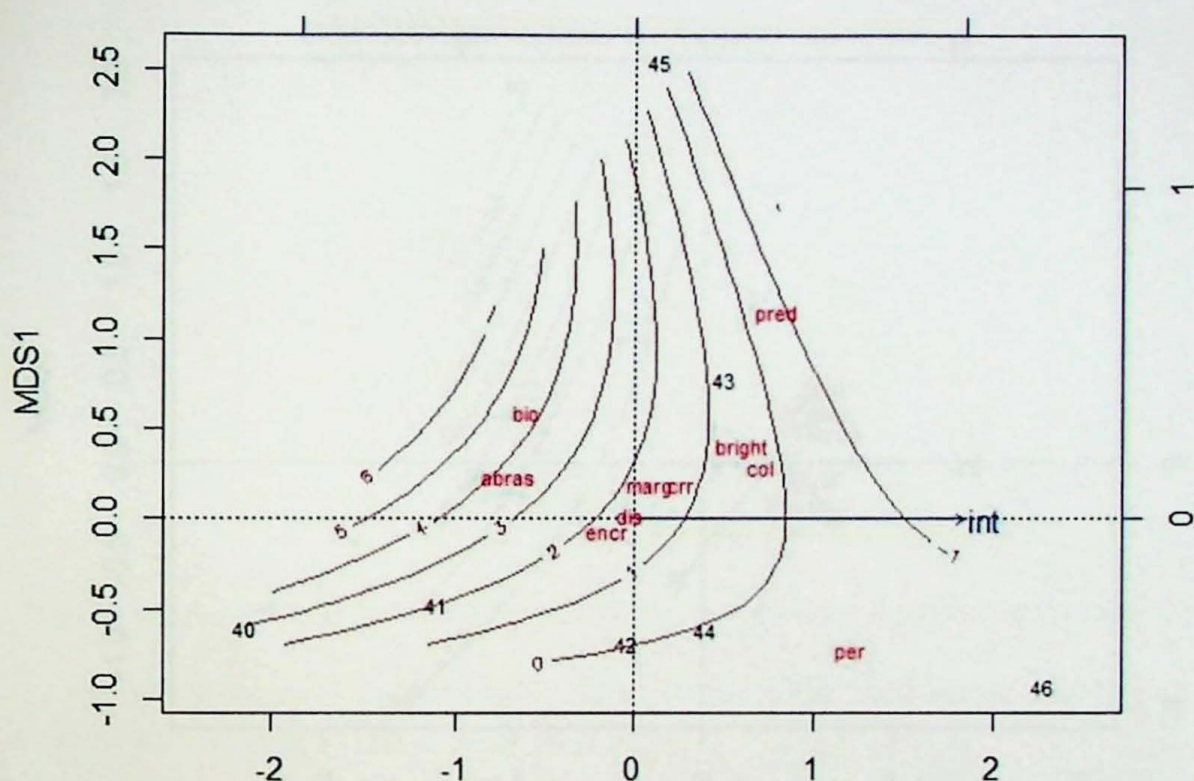
#### **6.2.2. NMDS (*Non-metric multidimensional scaling*)**

O NDMS permite correlacionar as assinaturas tafonômicas com as diferentes classes granulométricas por intervalo de amostragem. Os gráficos nas figuras entre 13 e 25 representam a frequência proporcional das assinaturas tafonômicas com a superfície ordinária de granulometria, representada em porcentagem absoluta da faixa granulométrica avaliada (areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila). Todos os gráficos foram obtidos com três medidas de STRESS: 1) Run 0 stress 0.09742412; 2) Run 1 stress 0.09787588 procrustes: rmse 0.004821124, max resid 0.02462189 e; 3) Run 2 stress 0.09742421 procrustes: rmse 4.483796e-05 ;max resid 0.000224242. A associação da relação entre os danos tafonômicos e os gradientes granulométricos que eles normalmente ocorrem, desconsidera a fácies sedimentar, porém refina e em alta resolução a resposta tafonômica das conchas em relação as diferentes classes granulométricas. Em outras palavras, o NMDS quantifica até quanto cada teor de determinada classe granulométrica influencia realmente na frequência proporcional da assinatura tafonômica.

As figuras 13, 14 e 15 relacionam as assinaturas tafonômicas analisadas com gradientes de granulometria para a classe argila em diferentes testemunhos. Os números exibidos nas curvas representam porcentagens absolutas do sedimento encontrado no testemunho.

Na figura 13, pode-se observar que danos de abrasão (abras) e bioerosão (bio) estão associados com porcentagens de sedimento argiloso em torno de 4% enquanto que a predação (pred) e a perda de perióstraco (per) foram registrados em depósitos com 0 e 1 % de argila. Já encrustação (encr), modificação da margem (marg), corossão (crr), brilho (bright), articulação (des) e alteração de cor (col) tiveram maior frequência proporcional do dano nos sedimentos com intervalos entre 0 e 2 % de argila.

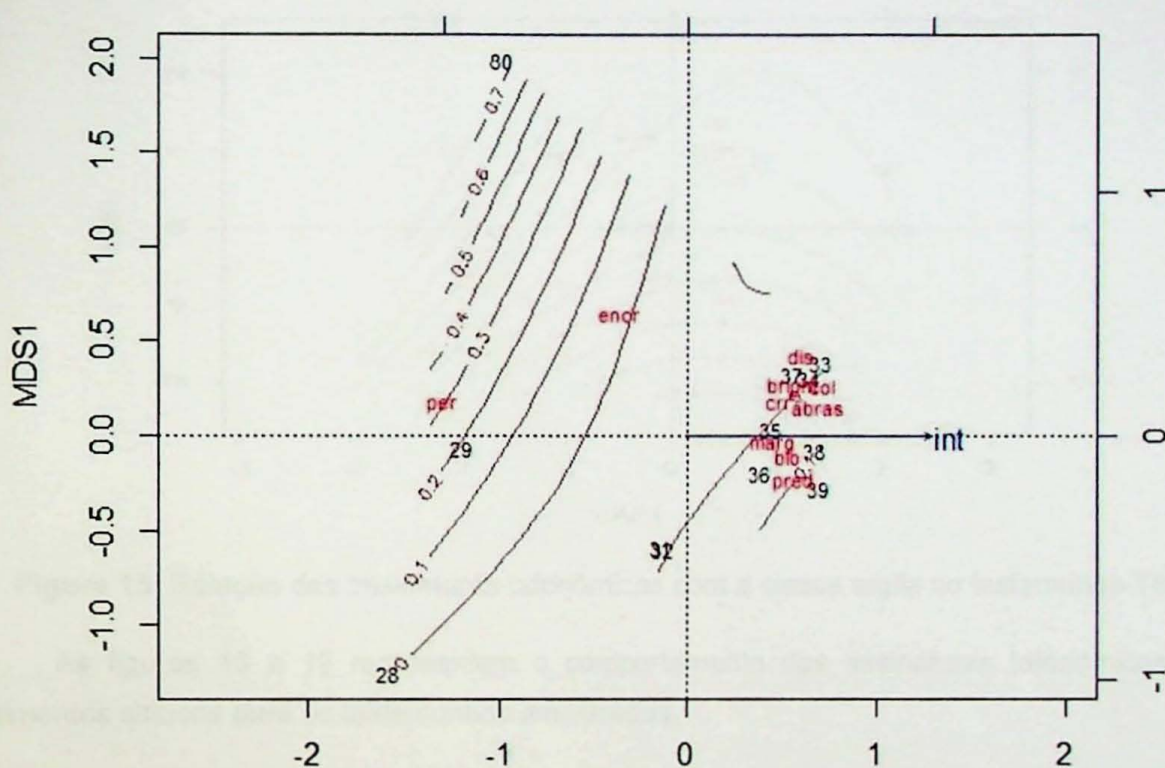




**Figura 13:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe argila no testemunho T1

A figura de 14 reflete as sensibilidades das assinaturas tafonômicas de acordo com as faixas granulométricas utilizadas para argila no testemunho T2. A incrustação não tem relação com argila, indicando que os organismos incrustantes têm preferência por um substrato não argiloso para se instalarem. Porém o perióstraco dá-se em depósitos com cerca de 0.3 % de argila. As demais assinaturas tafonômicas estão relacionadas com depósitos com valores entre 0.1 e 0.2% de argila, o que sugere que a argila tem pouca influência na geração desses tipos de danos taxonômicos nas conchas.

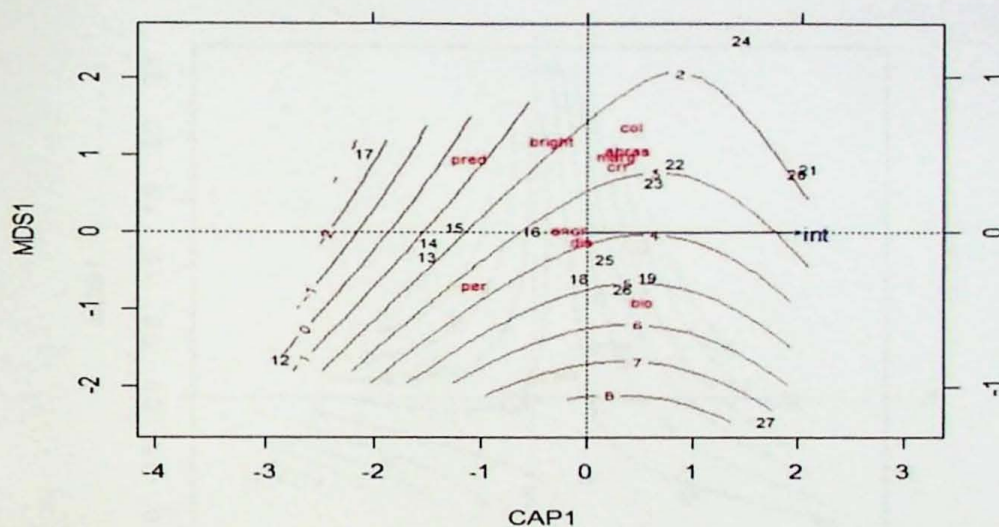




**Figura 14.** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe argila no testemunho T2.

A figura 15 mostra a relação da argila nas frequências proporcionais de danos da tafonômicos no testemunho T4. A predação está relacionada aos sedimentos com 0 e 1 % de argila, enquanto que a bioerosão é registrada em depósitos com maior porcentagem de argila entre 5 e 6%. Nos depósitos com porcentagem de 2 e 4% de argila ocorrem as demais assinaturas tafonômicas . Assim como na figura 15, a bioerosão tem valores relativamente mais altos nas classes de sedimentos finos.



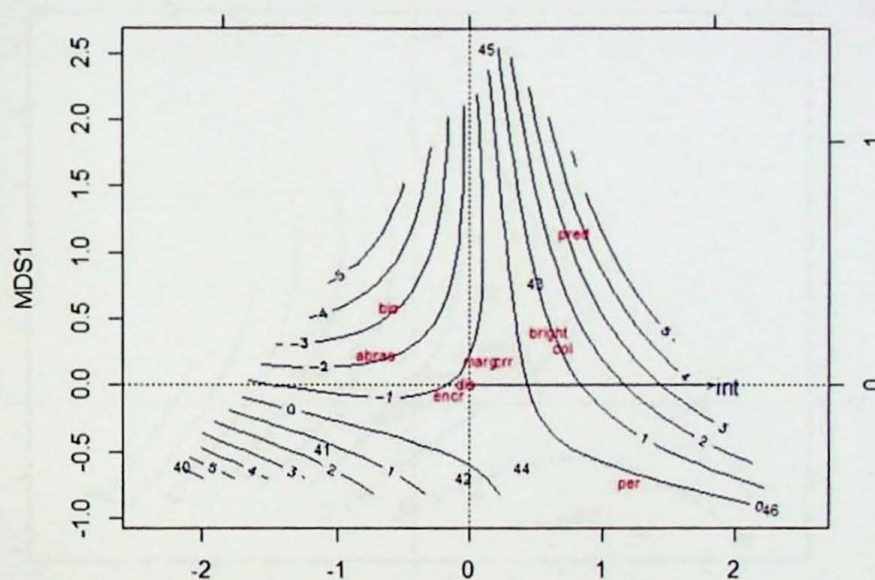


**Figura 15:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe argila no testemunho T4

As figuras 16 a 19 representam o comportamento das assinaturas tafonômicas em sedimentos siltosos para os testemunhos amostrados.

A figura 16 relaciona os sedimentos da fração silte grosso no testemunho T1 com as assinaturas tafonômicas. Os danos de abrasão das conchas foram registrados em depósitos com porcentagem de 2 % de silte. Enquanto que o perióstraco, brilho e alteração de cor estão contidos nos sedimentos com 0 e 1 % silte. Essas relações sugerem que o silte que apresenta baixa concentração (< 5%) nos depósitos, não tem propriedade abrasiva significativa para as assinaturas tafonômicas consideradas. A predação foi a assinatura que se associou aos depósitos com maior porcentagem de silte, valores de 4 %. Esta tendência pode indicar que organismos predadores já ocorrem em relativa abundância nos depósitos com até 4% de silte.

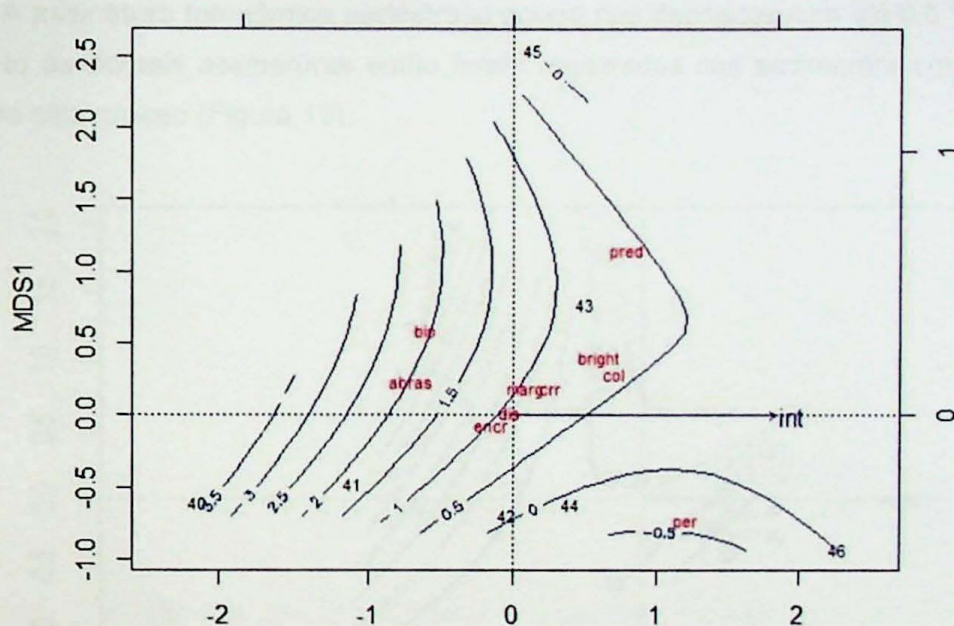




**Figura 16:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe granulométrica silte grosso no testemunho T1.

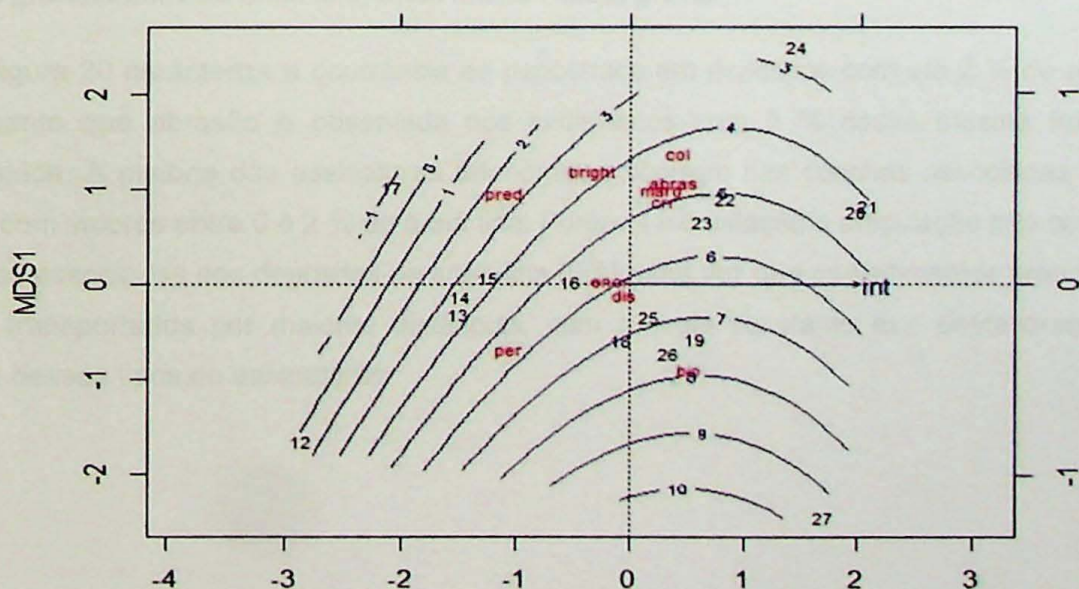
A figura 17 correlaciona gradientes de silte médio no testemunho T1 com as assinaturas tafonômicas e nota-se que a maioria das assinaturas tafonômicas está correlacionada com os sedimentos com valores entre 0,5 e 1% de silte médio. Isto indica que mesmo pequena variação na fração granulométrica pode gerar diferentes sensibilidades nas assinaturas tafonômicas para o mesmo testemunho (T1).





**Figura 17:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe granulométrica silte médio no testemunho T1.

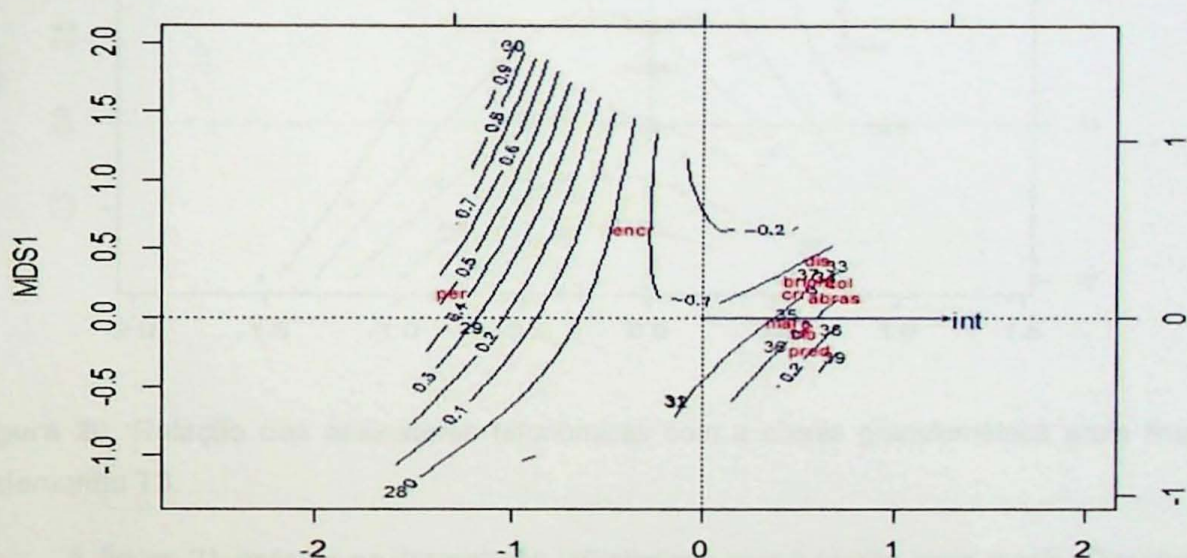
A figura 18 indica que as assinaturas tafonômicas relacionam-se concentrações mais elevadas em relação ao silte fino. A predação é registrada nos sedimentos com até 2 % de silte fino, porém a bioerosão ocorre nos depósitos com até 8 % da mesma classe granulométrica. As demais assinaturas forma observadas nos depósitos com valores entre 4 e 6 % de silte fino.



**Figura 18:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe granulométrica silte fino no testemunho T4



A assinatura tafonômica perióstraco ocorre nos depósitos com até 0.5 % de silte grosso enquanto as demais assinaturas estão foram registradas nos sedimentos com cerca de 0.1 e 0.2 % de silte grosso (Figura 19).

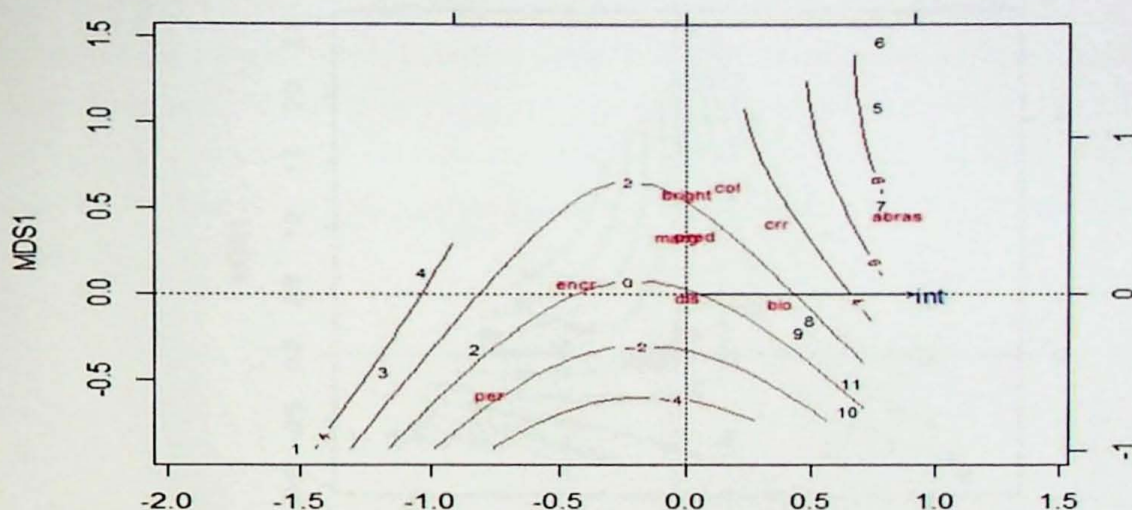


**Figura 19:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe granulométrica silte médio no testemunho T2.

Nas figuras entre 20 e 25 estão representadas as assinaturas tafonômicas em relação as classes granulométricas areia fina, areia média e areia grossa.

A figura 20 caracteriza a ocorrência de perióstraco em depósitos com até 2 % de areia fina, enquanto que abrasão é observada nos sedimentos com 8 % dessa mesma fração granulométrica. A maioria das assinaturas tafonômicas ocorrem nas conchas associadas aos depósitos com valores entre 0 e 2 % de areia fina. Porém a incrustação e articulação não ocorre em conchas associadas aos depósitos de areia fina (0%), uma vez que os sedimentos arenosos finos são transportados por maiores distâncias, com energia constante que desfavorece a ocorrência desses tipos de assinaturas.

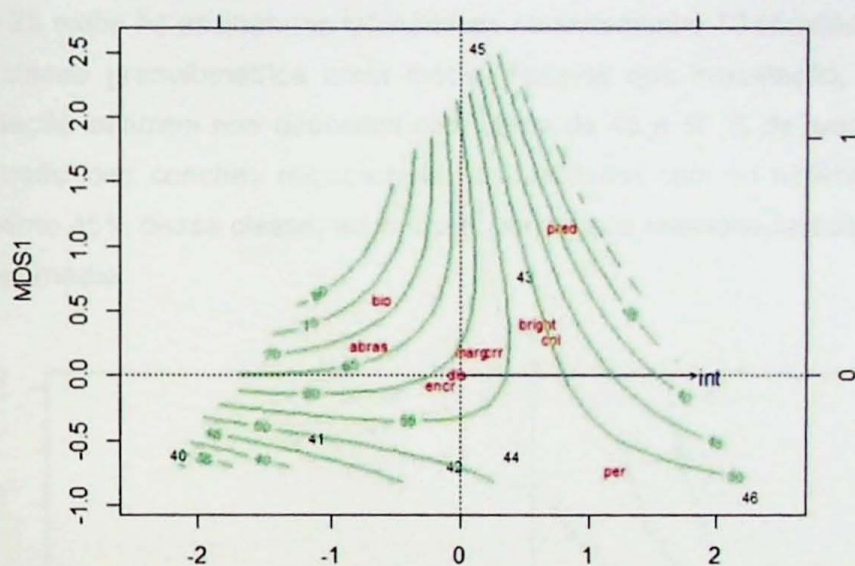




**Figura 20:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe granulométrica areia fina no testemunho T3.

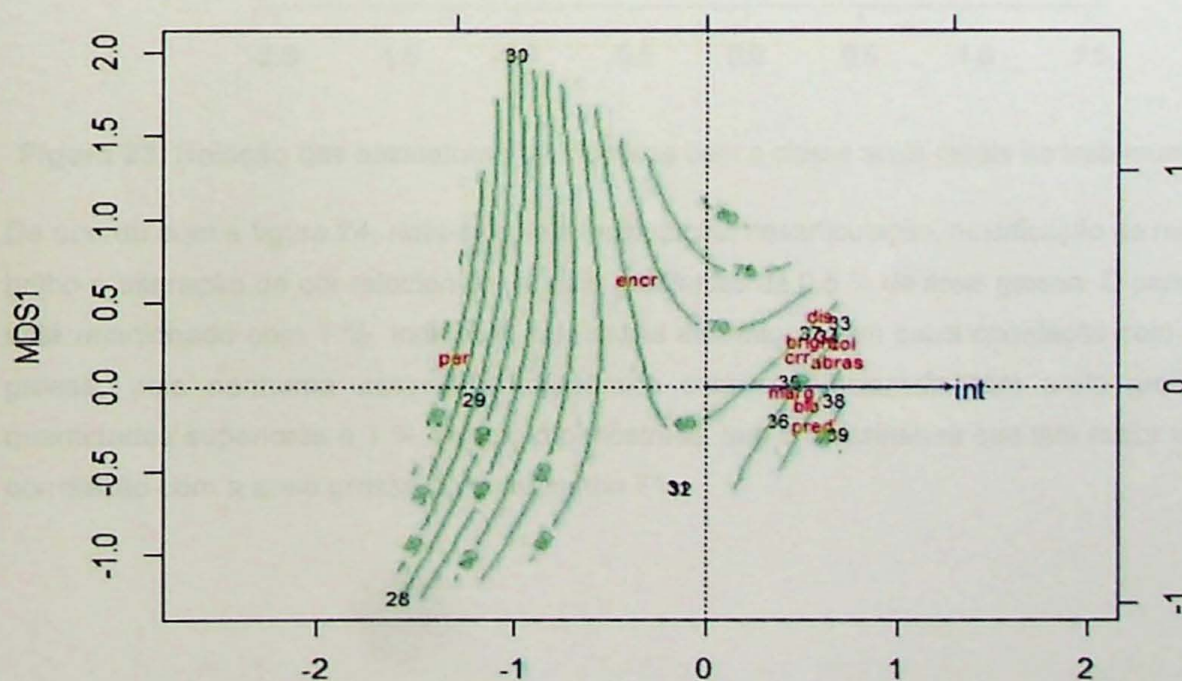
A figura 21 associa as assinaturas tafonômicas com a fração areia média. Observa-se que a abrasão e bioerosão ocorrem nas conchas dos depósitos com 65 e 75 % areia média. Enquanto que as demais assinaturas tafonômicas estão contidas nos sedimentos com 35 a 60 % de areia média. A correlação da bioerosão com altos (65-75%) teores de areia média indica um ambiente com grande quantidade de oxigênio, o que favorece a colonização por organismos bioerosivos. Adicionalmente a assinatura alteração de cor, também associada as conchas dos depósitos com alta concentração de areia média, sustenta esta interpretação. Pois a alteração da cor das conchas reflete o Eh do meio, assim a alteração de cor para branco (maior frequência proporcional encontrada nas conchas) sugere um meio óxico enquanto alteração para amarelo indica ambiente mais redutor.





**Figura 21:** Relação das assinaturas tafonômicas com areia média no testemunho T1

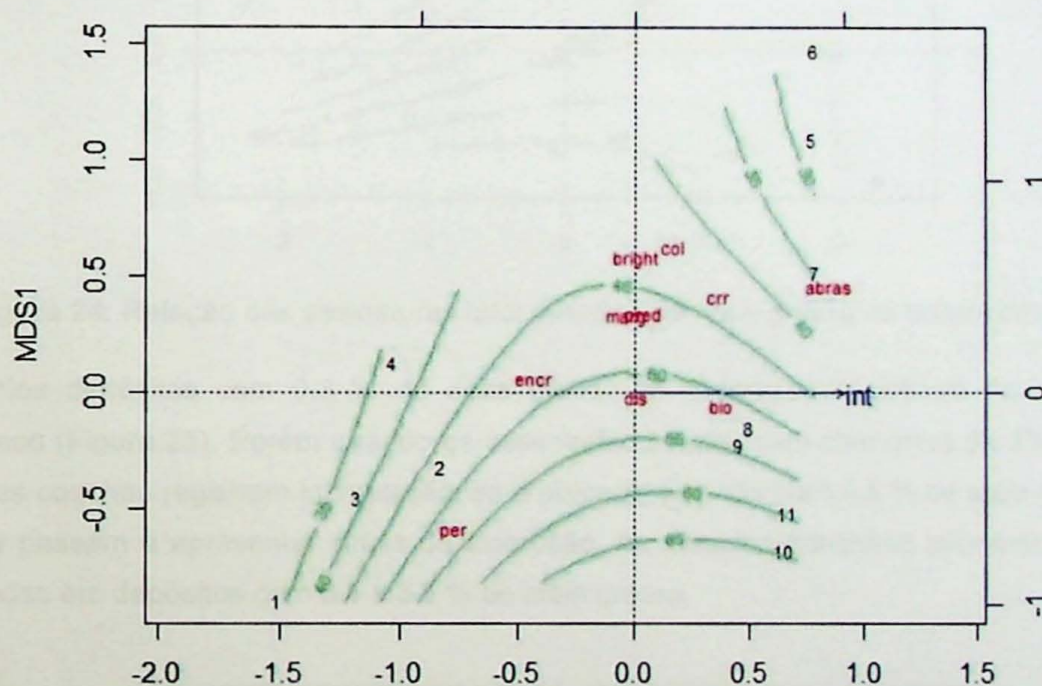
A figura 22 mostra que o perióstraco ocorre nas conchas associadas aos depósitos com 25 % de areia média enquanto que a ausência de incrustação é observada nos sedimentos com valores de até 65% dessa faixa granulométrica. Porém a abrasão e corrosão estão na superfície ordinária de 60 % de areia média no depósito, já as demais assinaturas tafonômicas foram registradas nas conchas associadas aos depósitos com cerca de 55 a 65 % de areia média.



**Figura 22:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe granulométrica de areia média no testemunho T2.



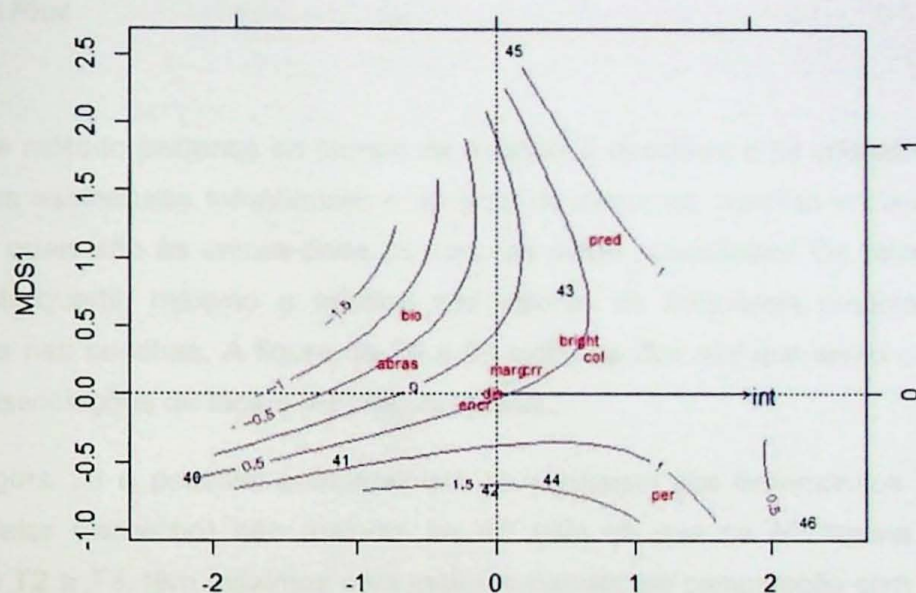
A figura 23 exibe as assinaturas tafonômicas no testemunho T3 correlacionadas com os gradientes da classe granulométrica areia média. Nota-se que incrustação, modificação da margem e predação ocorrem nos depósitos com cerca de 45 a 50 % de areia média. Mas a abrasão e corrosão das conchas registram-se nos depósitos com no mínimo 35% de areia média e no máximo 45% dessa classe, além disso, perióstraco relaciona-se aos depósitos entre 50-55 % de areia média.



**Figura 23:** Relação das assinaturas tafonômicas com a classe areia média no testemunho T3.

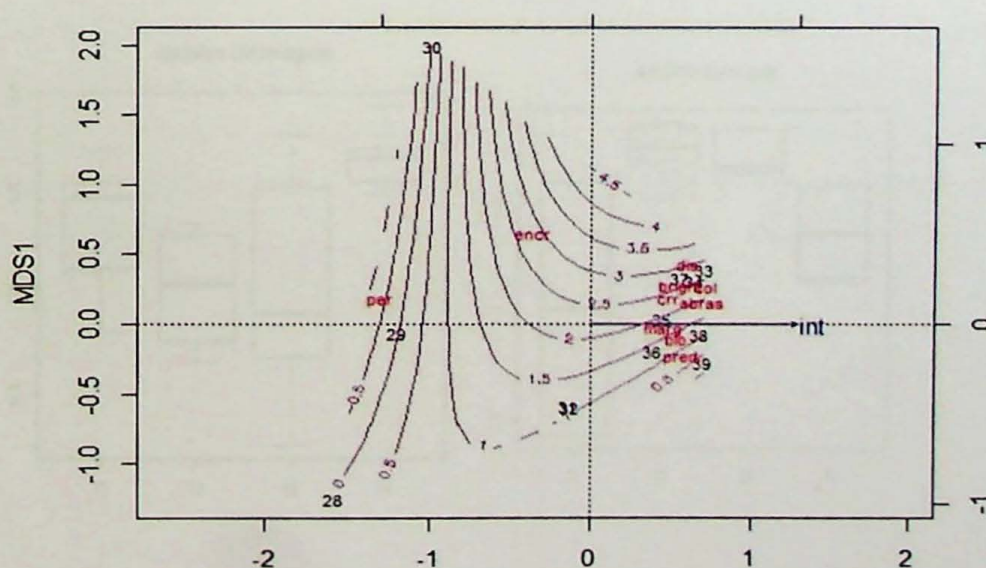
De acordo com a figura 24, nota-se que a incrustação, desarticulação, modificação da margem, brilho e alteração de cor relacionam-se com gradientes de 0,5 % de areia grossa. O perióstraco está relacionado com 1 %, indicando que essas assinaturas têm baixa correlação com a areia grossa, pois nenhuma assinatura tafonômica está correlacionada com areia grossa em quantidades superiores a 1 %, exceto o perióstraco, que é a assinatura que tem maior valor de correlação com a areia grossa no testemunho T1.





**Figura 24:** Relação das assinaturas tafonômicas com areia grossa no testemunho T1

Nos depósitos com 0.3 % de areia grossa se observa a ocorrência da assinatura perióstraco (Figura 25). Porém quando os sedimentos se associam com cerca de 3% de areia grossa as conchas registram incrustação, se a porcentagem cair para 1.5 % de areia grossa as conchas passam a apresentar sinais de bioerosão. As demais assinaturas tafonômicas foram observadas em depósitos com 0.5 e 3.5 % de areia grossa.

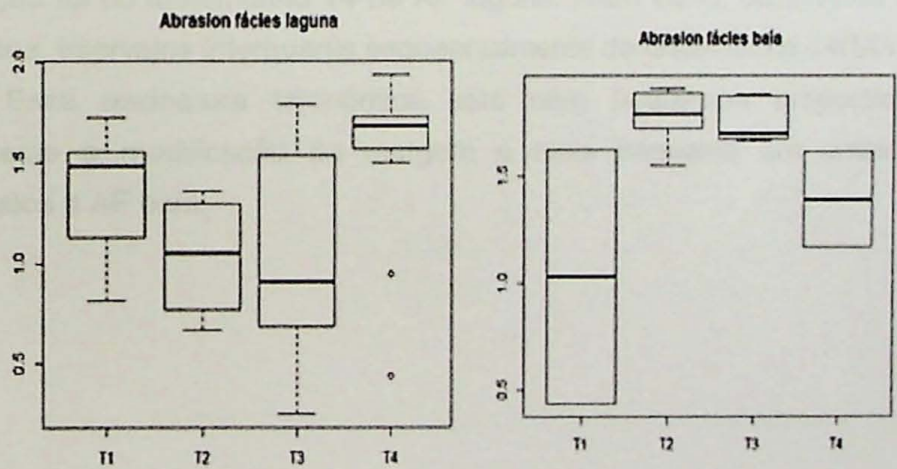




6.2.3. *Box Plot*

Esse método pertence ao campo da estatística descritiva e foi utilizado para verificar a variação das assinaturas tafonômicas e do grau de dano nas conchas entre as fácies baía e laguna nas quais são as únicas onde as conchas estão acumuladas. Os valores de mediana, intervalo interquartil, máximo e mínimo são valores de frequência proporcional de danos encontrados nas conchas. A figura de 26 a 35 exibe os *Box plot* que serão comparados para ambas as associações de fácies (AF) laguna e baía.

A figura 26 é possível comparar que as medianas nos testemunhos T2 e T3 para a abrasão (Setor Camacho) são maiores na AF baía do que na AF laguna. Além disso, o testemunho T2 e T3, têm máximos com maiores valores em comparação com os testemunhos T1 e T4, que, têm valores de mediana maior na AF laguna para a abrasão em comparação com os testemunhos T2 e T3. Isso indica que a abrasão tem maior frequência proporcional na AF baía para os testemunhos T2 e T3 e menor frequência proporcional para os testemunhos T1 e T4, sendo valores não esperados para os testemunhos T1 e T4, uma vez que é esperado que se encontrasse maiores valores de frequência proporcional de abrasão para a AF baía e menores para a AF laguna.

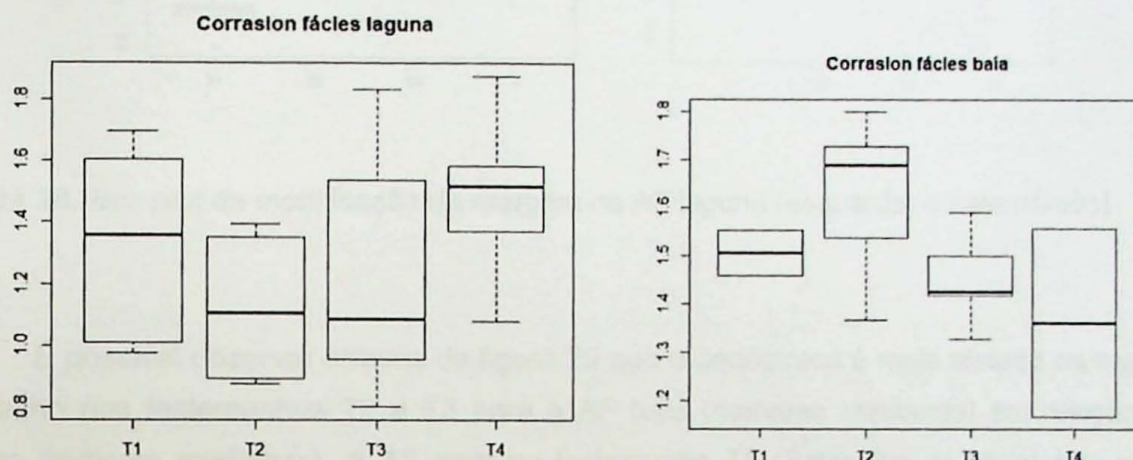


**Figura 26:** *Box plot* da abrasão na AF laguna (esquerda) e baía (direita)

A figura 27 mostra valores de mediana menores para a corrosão na associação de fácies (AF) laguna nos testemunhos T2 e T3 enquanto exibe valores de mediana maior nos



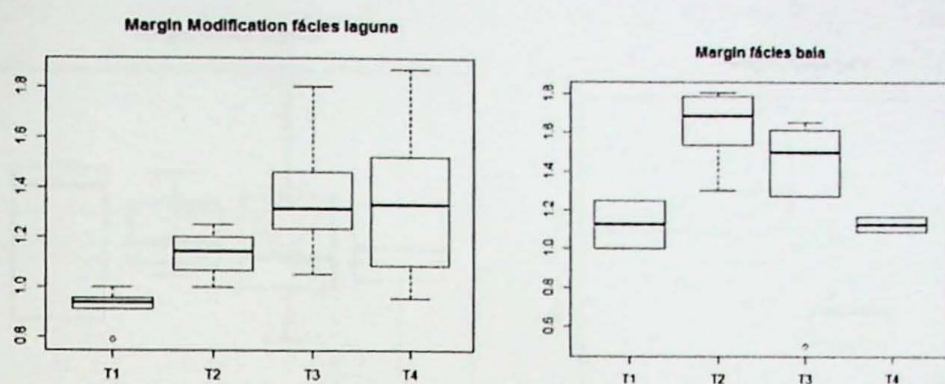
testemunhos T1 e T4. O intervalo interquartil (Q3-Q1) no testemunho T1 e T3 para a AF laguna tem valores parecidos, assim como o intervalo interquartil dos testemunhos T1 e T3 na AF baía. Porém com valores menores do que na AF laguna. Aqui ocorre o fenômeno oposto em relação a figura 26, pois para os testemunhos T2 e T3 encontra-se menores valores de corrosão AF laguna em relação à AF baía para os mesmos testemunhos.



**Figura 27:** Box plot da corrosão na fácies laguna (esquerda) e baía (direita)

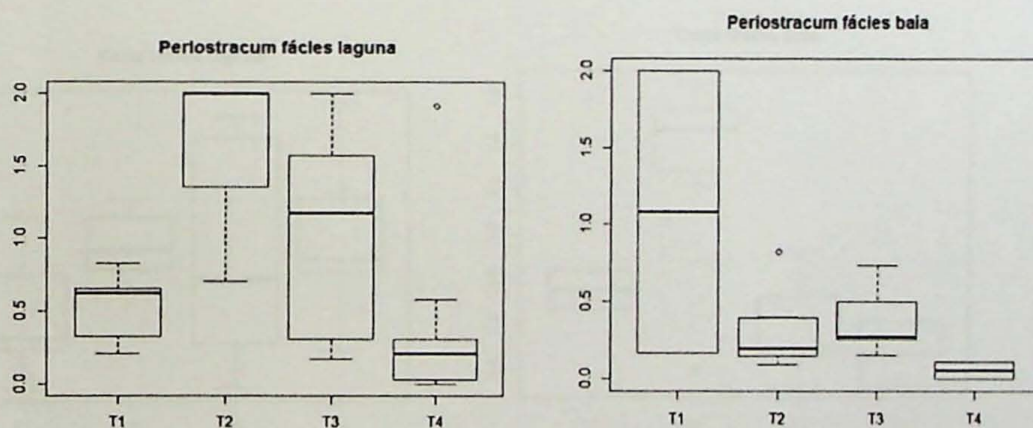
A figura 28 exibe que a modificação da margem tem maiores valores na AF baía do que na AF laguna para todos os testemunhos. A maior variação interquartil observada para a modificação foi no testemunho T4 na AF laguna. Além disso, observa-se um aumento gradual da mediana, intervalos interquartis sequencialmente do testemunho T4(SW) até o T1(NE) na AF laguna. Essa assinatura tafonômica está com frequência proporcional esperada, pois normalmente a modificação da margem é mais frequente em ambientes mais agitados relacionados a AF baía.





**Figura 28:** Box plot da modificação da margem na AF laguna (esquerda) e baía (direita)

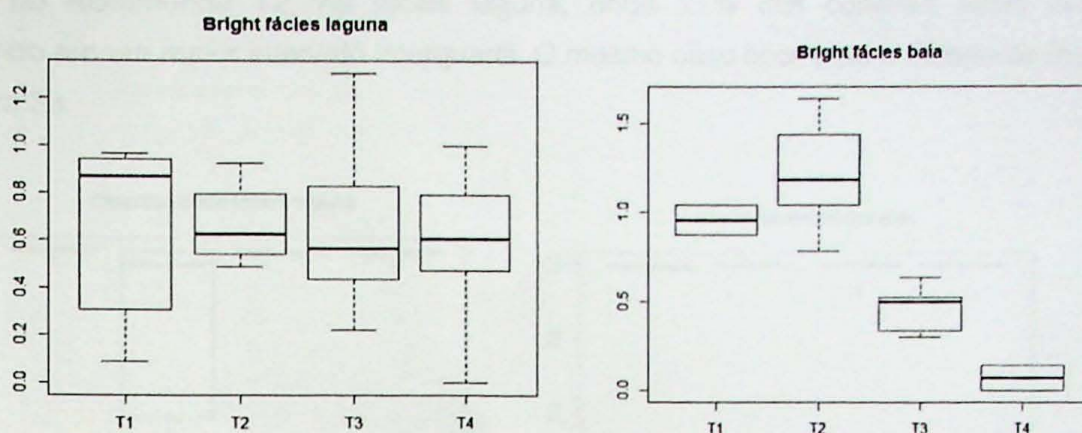
É possível observar através da figura 29 que o perióstraco é mais afetado na região do Camacho nos testemunhos T2 e T3 para a AF baía (menores medianas) em relação à AF laguna (maiores medianas). A AF baía no testemunho T1 (Setor Rio do Meio) tem o maior intervalo interquartil, indicando grande variabilidade do perióstraco na associação de fácies baía.



**Figura 29:** Box plot do perióstraco na AF laguna (esquerda) e baía (direita)

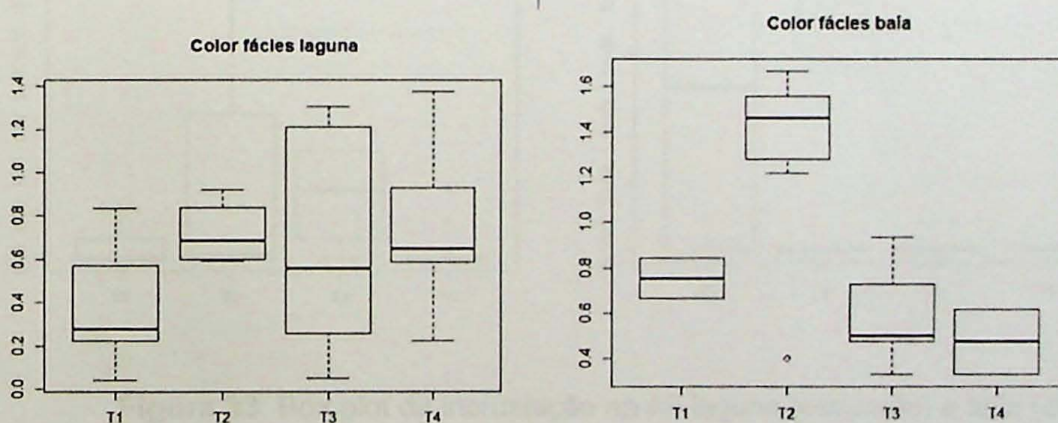
A figura 30 mostra frequências proporcionais menores (medianas menores) para o brilho na AF baía e valores similares para a AF laguna. Os intervalos interquartis estão maiores na AF laguna, indicando maior variabilidade e menor perda de cor que na AF baía. Para o brilho, essa variabilidade na mediana de sua frequência proporcional é explicada devido à natureza desse dano (perda de brilho) estar relacionada tanto a processos de abrasivos e/ou corrosivos.





**Figura 30:** *Box plot* do brilho na AF laguna (esquerda) e baía (direita)

A figura 31 exibe menores valores de mediana para a AF baía em relação à AF laguna para alteração de cor. A menor frequência proporcional da alteração de cor na AF baía indica que a perda de cor não foi tão efetiva nessa fácies ou pelo menos não foi suficientemente afeta na AF baía. Mais uma vez, os valores variados das medianas para a alteração de cor, podem indicar profundidades distintas nas acumulações de conchas, uma vez que está tente a mudar acordo com o Eh, mais profundo tende a ser mais redutor e mais raso tende a ser oxidante.

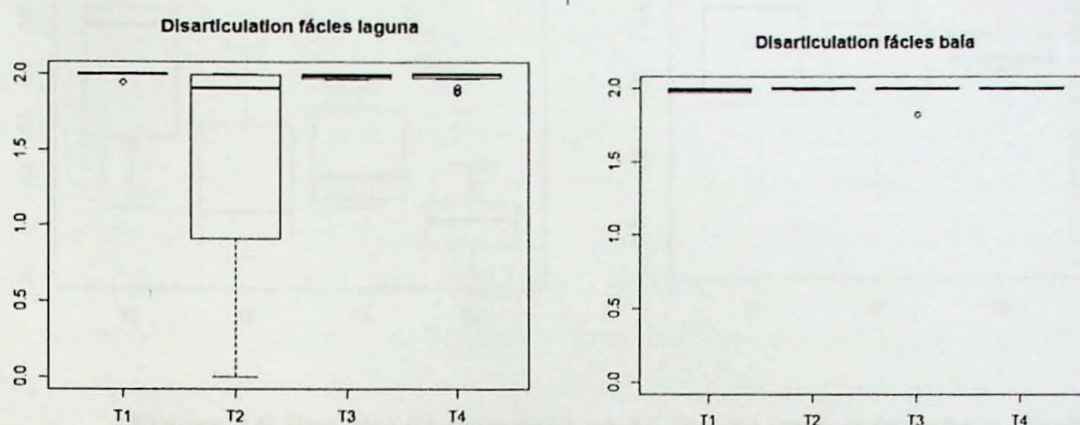


**Figura 31:** *Box plot* da alteração da cor (branco/amarelo) na AF laguna (esquerda) e baía (direita)

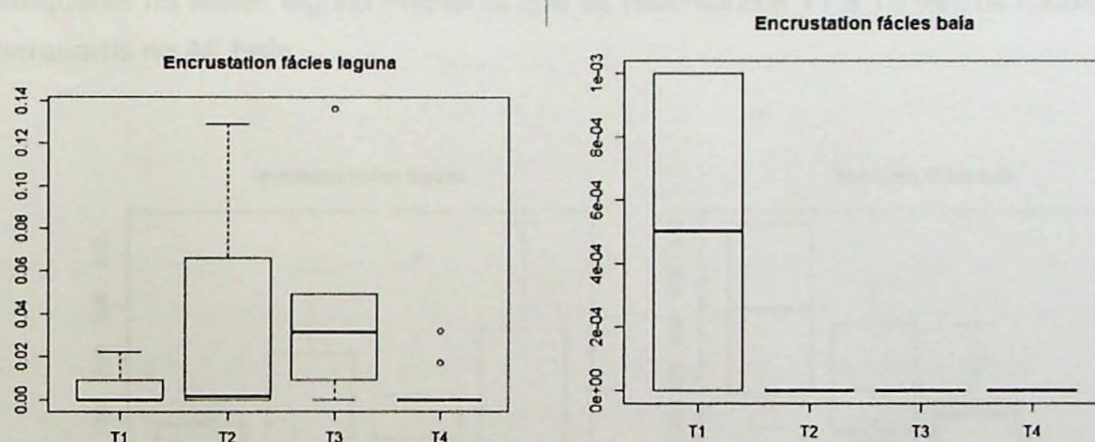
A figura 32 exibe o grau de desarticulação na AF baía e laguna. Foi preferível chamar desarticulação ao invés de articulação no *Box plot*, pois estatisticamente a articulação, tanto fechada como aberta, tem valores insignificantes em comparação com o espaço amostral (n) estudado. Pode-se perceber claramente que quase 100 % das conchas não têm articulação,



exceto no testemunho T2, na fácies laguna, onde 1 % das conchas estão articuladas, resultando em um maior intervalo interquartil. O mesmo caso ocorre para o dano da incrustação na figura 33.



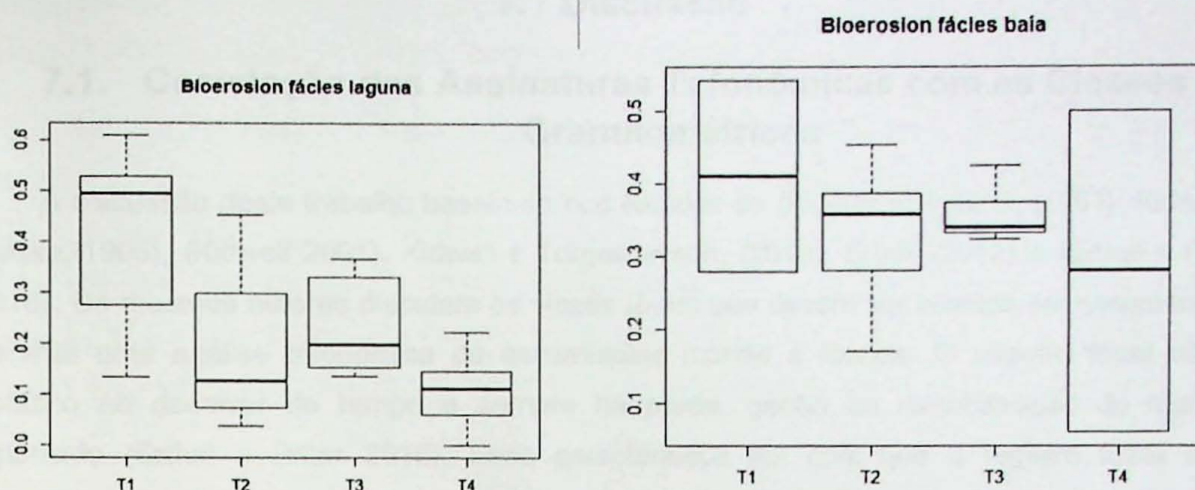
**Figura 32:** Box plot da desarticulação na AF laguna (esquerda) e baía (direita)



**Figura 33:** Box plot da incrustação na AF laguna (esquerda) e baía (direita)

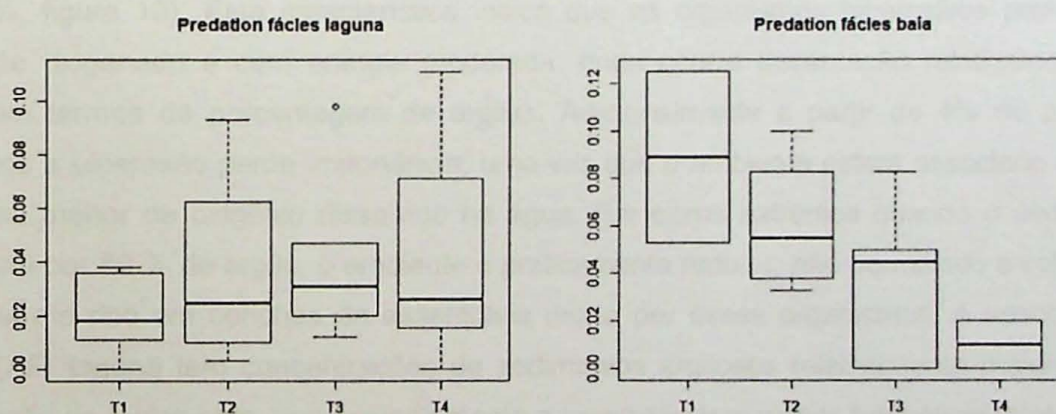
A Figura 34, a bioerosão na AF laguna exibe menores valores em comparação com a AF baía. Entretanto, na fácies baixa estão intervalos interquartis maiores, indicando mais variabilidade. Valores máximos são maiores no testemunho T1 e T2 da fácies laguna.





**Figura 34:** Box plot da bioerosão na AF laguna (esquerda) e baía (direita)

A figura 35 indica valores de predação maiores na fácies baía em relação à AF laguna. Pode-se observar também que os testemunhos T2 e T4 têm intervalos maiores nos intervalos interquartis na fácies laguna enquanto que os testemunhos T1 e T3 têm os maiores intervalos interquartis na AF baía.



**Figura 35:** Box plot da predação na AF laguna (esquerda) e baía (direita)



## 7. Discussão

### 7.1. Correlação das Assinaturas Tafonômicas com as Classes Granulométricas

A discussão deste trabalho baseia-se nos estudos de (Kidwell e Holland, (1991), Kidwell e Flessa,(1995), (Kidwell 2001), Kidwell e Tomasovysch, (2013), Erthal (2012) e (Erthal e Ritter 2016). Os mesmos autores discutem os vieses (*bias*) que devem ser levados em consideração perante uma análise tafonômica de assembleias mortas e fósseis. O registro fóssil não é estático no decorrer do tempo e sempre há perda, ganho ou remobilização do material soterrado (Erthal e Ritter 2016). Essa característica faz com que o registro fóssil sofra processos físicos, químicos e biológicos que modificam a tafonomia das partes duras de organismos nos diferentes ambientes sedimentares. Por sua vez, esses danos tafonômicos podem ser qualificados e quantificados e assim associados na discussão dos processos sedimentares.

Com base nos gráficos NMDS (figuras 13 a 25) é possível inferir que as assinaturas tafonômicas estão diretamente relacionadas às classes granulométricas. A relação das assinaturas tafonômicas com a classe argila (figuras 13 a 15) permitem discutir que a bioerosão é a assinatura tafonômica que mais se correlaciona com os sedimentos argilosos (valores de até 4 %, figura 13). Esta característica indica que os organismos bioerosivos preferem um ambiente oxigenado e com energia moderada, onde ocorre decantação relativamente mais baixa em termos de porcentagem de argilas. Adicionalmente a partir de 4% de argila nos depósitos a bioerosão perde importância, uma vez que o ambiente estará associado a valores cada vez menor de oxigênio dissolvido na água. Em casos extremos quando o sedimento é composto por 80 % de argila, o ambiente é praticamente redutor, não permitindo a colonização do substrato rico em conchas da assembleia morta por esses organismos. A associação de fácies (AF) laguna tem concentrações de sedimentos argilosos relativamente maiores que a associação de fácies baía, consequentemente a bioerosão tem menor frequência relativa na AF laguna. Para as assinaturas associadas ao desgaste superficial da concha (brilho, perióstraco, modificação da margem, abrasão e corrosão) a argila tem ação abrasiva insignificante, uma vez que os teores de argila nos depósitos são sempre inferiores a 5%.

Em relações as assinaturas tafonômicas das conchas em depósitos da classe granulométrica silte (figuras 16 a 19) apontam que o silte fino é a fração granulométrica que mais tem correlação com os danos tafonômicos, pois as porcentagens dessa classe

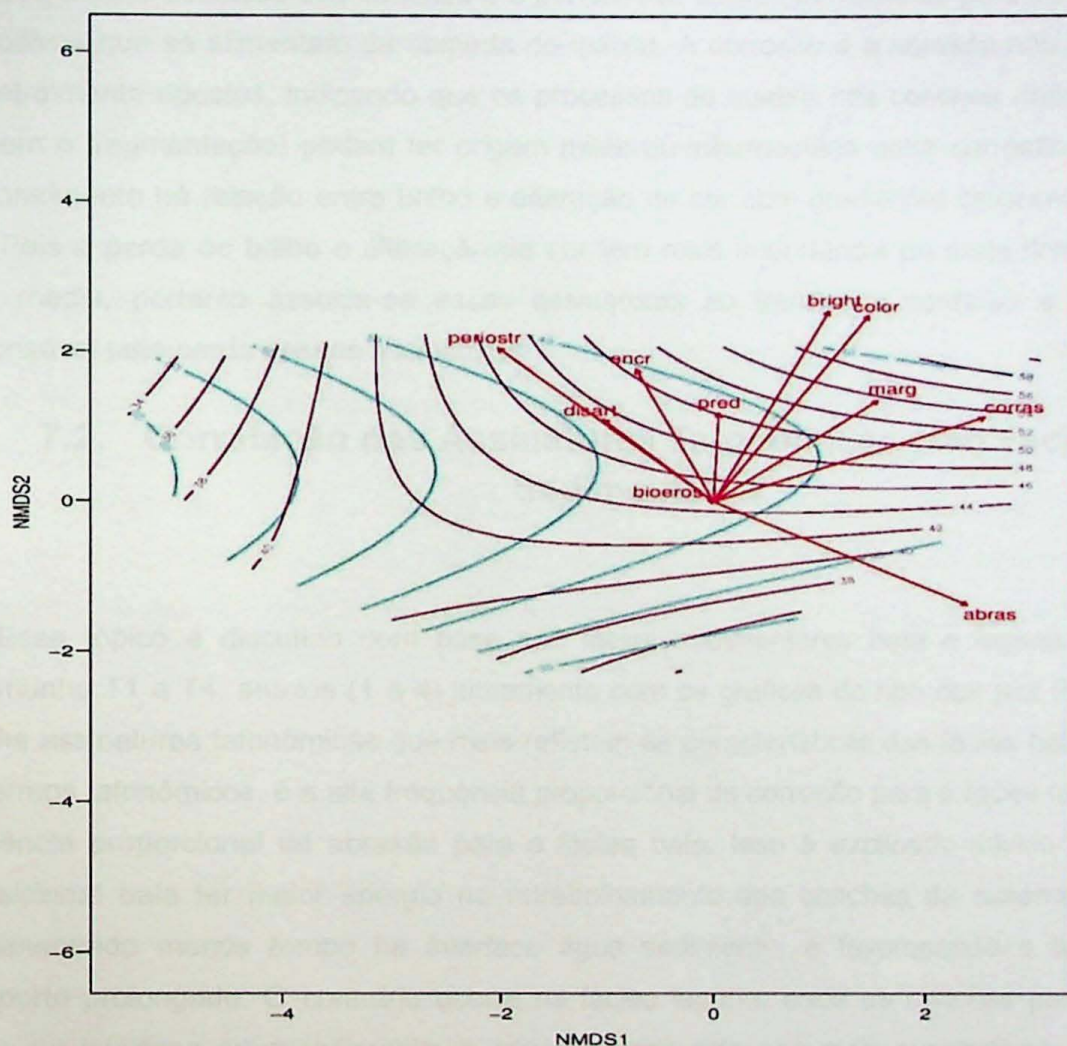


granulométrica têm maior valores (entre 4-6 %), em relação ao silte médio (0,5-2,0%) e o silte grosso (1-4%) nos quais se correlacionam com os danos tafonômicos.

A AF laguna é também caracterizada por abundância relativa em silte em relação à AF baía. Isto permite confirmar que os danos de origem biológica (predação e bioerosão), estão mais correlacionados com a AF laguna do que a AF baía para a granulometria silte. Em geral, os sedimentos pelíticos são facilmente transportados em suspensão (para a mesma taxa de energia) do que as frações das classes areia. Por isso há maior concentração do silte fino (4-6%) com as demais assinaturas tafonômicas em comparação com o silte médio e grosso (0-1%).

A correlação das assinaturas tafonômicas com os sedimentos arenosos (figura 20 a 25) indica que a abrasão ocorre em depósitos com porcentagens de areia média entre 35 e 70% (figuras 21 a 23), mas também é registrada nos sedimentos com até 8 % da fração areia fina (Figura 20). O transporte de areia média exige maior energia o que pode ser responsável por gerar os danos tafonômicos nas conchas. A incrustação é desfavorecida em substratos ricos em areia média (>50% da fração). Já articulação não tem correlação com areia fina (0%) por esta ser um abrasivo mais eficiente durante o transporte no caso de inibição da incrustação. . As demais assinaturas tafonômicas (Figura 21), exceto bioerosão, correlacionam-se fortemente com areia média, pois ela está mais correlacionada ao aumento da frequência proporcional desses danos encontrados nas conchas. Na figura 23, é possível indicar que a areia média está influenciando mais na corrosão (>40 % de areia média) do que na abrasão (35% de areia média), pois a areia média tem maior porosidade que a areia fina (para o mesmo grau de seleção), o que favoreceria a corrosão de conchas localizadas abaixo da interface água-sedimento. A figura 36 abaixo relaciona os vetores das assinaturas tafonômicas correlacionadas com as superfícies ordinárias das classes granulométricas areia fina (em verde) e areia média (em lilás), essas classes granulométricas foram escolhidas por serem mais abundantes nas fácies sedimentares estudadas na região. Os vetores das assinaturas tafonômicas têm direção e sentidos que representam a interação das assinaturas tafonômicas e suas relações na geração de danos nas conchas.





**Figura 36.** NMDS relacionado os vetores de frequência proporcional e gradientes das classes granulometrias areia média (lilás) e areia fina (verde).

A correlação entre os danos tafonômicos e as classes areias fina e areia média mostra que o perióstraco e abrasão têm direções opostas, indicando que não é possível ocorrer perióstraco em estado natural e abrasão ao mesmo tempo na superfície das conchas (essas assinaturas tafonômicas são mutualmente exclusivas e opostamente relacionadas). Além disso, percebe-se que a areia média tem mais influência na perda do perióstraco, pois o aumento do gradiente e o vetor para o dano de perda de perióstraco têm a mesma direção. O oposto ocorre para o vetor abrasão, que aumenta a medida que se aumenta o gradiente de areia fina, pois ela é transportada por maiores distâncias em relação à areia média, favorecendo a abrasão. A incrustação está correlacionada positivamente com o perióstraco, pois organismos incrustantes preferem um substrato quitinoso para se instalarem. Bioerosão tem correlação positiva com a desarticulação e a incrustação, uma vez que a remobilização por organismos epibiontes



favorece a desarticulação das conchas e o perióstraco é fonte de alimento para os organismos bioerosivos que se alimentam da camada de quitina. A corrosão e a abrasão não são vetores diametralmente opostos, indicando que os processos de quebra nas conchas (modificação da margem e fragmentação) podem ter origem mista ou intermediária entre corrosão e abrasão. Adicionalmente há relação entre brilho e alteração de cor com gradientes crescentes de areia fina. Pois a perda de brilho e alteração de cor tem mais importância na areia fina do que na areia média, portanto associa-se essas assinaturas ao transporte contínuo e prolongado responsável pela perda dessas assinaturas.

## **7.2. Correlação das Assinaturas Tafonômicas com Fácies Sedimentares**

Esse tópico é discutido com base nas fácies sedimentares baía e laguna para cada testemunho T1 a T4, anexos (1 a 4) juntamente com os gráficos do tipo *box plot* (figuras 28 a 37). As assinaturas tafonômicas que mais refletem as características das fácies baía e laguna, em termos tafonômicos, é a alta frequência proporcional da corrosão para a fácies laguna e alta frequência proporcional de abrasão para a fácies baía. Isso é explicado devido ao sistema deposicional baía ter maior energia no retrabalhamento das conchas da assembleia morta, permanecendo menos tempo na interface água sedimento, e favorecendo a abrasão por transporte prolongado. O contrário ocorre na fácies laguna, onde as conchas passam maior tempo na interface água-sedimento, e consequentemente são mais susceptíveis a sofrerem dano por corrosão.

Outra característica diagnóstica de cada fácies é a proporção relativa em peso entre conchas inteiras e fragmentadas, sendo maior proporção de conchas inteiras na fácies laguna e maior proporção de conchas fragmentadas na fácies baía (Anexos 1 a 4). Entretanto, isso não é sempre verdade, principalmente em casos onde não se avalia os vieses do registro fóssil (*bias*). De acordo com o *Box plot* para a abrasão (fig. 28), nota-se que a abrasão tem maiores valores de frequência proporcional para os testemunhos T1 e T4 na fácies laguna, o que não condiz com o resultado esperado. O anexo 4 para o testemunho T4, mostra maiores valores de abrasão (total + parcial) para a fácies laguna (89%) do que na fácies baía (apenas 29%). A figura 29, retrata o caso para a corrosão, que tem menores valores na fácies laguna em comparação com a fácies baía, sendo 95 % de corrosão para a fácies baía (anexo 2) e 70 % de corrosão na fácies laguna (anexo 2). Acontece o mesmo com o testemunho T3, sendo 91 % de corrosão na fácies baía e 75 % de corrosão na fácies laguna (Anexo 3). Essas e outras



inconsistências na tafonomia de conchas podem ser explicadas por processos nos quais as acumulações de conchas são retrabalhadas, exumadas e misturadas com comunidades mais jovens e/ou indivíduos juvenis, o que altera as frequências proporcionais reais das assinaturas tafonômicas. *Time averaging* é um processo responsável por misturar assembleias de comunidades autóctones e parautóctones, sobrepor danos tafonômicos e até mesmo exumar e misturar fósseis com idades diferentes (*remaniés*). Quanto maior o processo de *time averaging*, menor a resolução temporal e menos correlacionável as assinaturas tafonômicas vão ser, o que acaba por alterar resultados esperados como a corrosão e abrasão na fácies baía e laguna. Outros fatores que devem ser considerados nos estudos tafonômicos é o dano diferencial (*fidelity species composition*) que cada tipo de organismo pode sofrer (maior resistência a abrasão ou corrosão), que é reflexo de indivíduos juvenis ou senis ou mesmo de composições diferentes das partes duras. A resolução espacial (*spatial resolution*) também um fator importante no estudo tafonômico, pois permite estabelecer relações de proveniência das conchas e suas distinções entre comunidades autóctones e parautóctones.

## 8. Conclusões

Com base nos resultados apresentados e na discussão realizadas, conclui-se que o registro fóssil não varia de maneira linear e é uma resposta de uma série de fatores ambientais que controlam a alteração no registro acumulado (assembleia morta) ou fóssil (assembleia fóssil). Para o caso de estudo em escala local, o parâmetro que mais reflete a mudança da sucessão de fácies baía para laguna é a proporção entre conchas inteiras e fragmentadas. Em relação as outras assinaturas tafonômicas, foi possível quantificar a influência da granulometria na geração de uma coletânea de favorecimento ou não favorecimento de determinada assinatura tafonômica em função da sua resposta hidrodinâmica com os depósitos associados a diferentes classes granulométricas. O tipo de sedimento, por sua vez, irá variar de acordo com a profundidade, energia dos processos, clima entre outros fatores, e isso irá influenciar no registro fóssil resultante. Os vieses tafonômicos são ferramentas imprescindível na análise de acumulações de conchas, pois eles permitem extrair informações valiosas sobre múltiplas gerações de comunidade, permitindo assim, filtrar que tipos de assinaturas são realmente associáveis com processos sedimentares específicos, e assim associar corretamente a fácies sedimentar na qual a comunidade(s) são pertencentes.



## Referências Bibliográficas

- Ângulo, R. J., Giannini, P. C. F. Suguio, K., Pessenda, L.C.R. (1999). Relative sea level changes during the last 5500 years in the Laguna-Imbituba region (Santa Catarina, Brazil), based on vermetid radiocarbon ages. *Marine Geology* 159, 323-339.
- Ângulo R. J., Souza M. C., Lessa G.C. 2006. A critical review of the mid to late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, **25**, 486-506
- Azevedo, A. D. B. 2012. Análise Tafonômica de Alta Resolução de concentrações fossilíferas (shell beds) dos depósitos sedimentares holocênicos da região entre Jaguaruna e Laguna, Santa Catarina, Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 35p.
- Beltrame E. 2003. Seleção de Sítios e Planejamento da Atividade de Cultivo de Camarões Marinhos com Base em Geotecnologia. Dissertação de Mestrado, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, 197p.
- Boehs, G., Magalhães, A. R. M. (2004). Simbiontes associados com *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin) (Mollusca, Bivalva, Veneridae) na Iha de Santa Catarina e região continental adjacente, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 21(4), 865-869.
- Bonetti C., Oliveira D. A. G., Bonetti Filho J., Beltrame R., Santos R., Marino V. 2001. Estudo ambiental da laguna do Camacho/Garopaba do Sul (SC) baseado na avaliação de indicadores oceanográfico. In: *VIII Congresso da ABEQUA*, Imbé, RS, Boletim de resumos, p. 533.
- Caruso, F.J. Geologia dos depósitos de conchas calcárias no estado de Santa Catarina. *Geosul*, Nº 14, Ano VII, 2 semestre 1992.
- Erthal F. 2012. Assinaturas Tafonômicas em bivalves marinhos recentes na costa do Brasil e seu significado paleoambiental. Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 210p.
- Fornari M. 2010. Evolução sedimentar holocênica da retrobarreira na região de Jaguaruna-Laguna, Santa Catarina. São Paulo. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 290p.
- Fornari M., Giannini P. C. F., D.R.Jr. (2012). Facies association and controls on the evolution of a coastal bay to a lagoon system, Santa Catarina Coast, Brazil. *Marine Geology* **323-325**: 56-68.
- Kidwell, S.M., Holland, S.M. (1991). Field description of coarse bioclastic fabrics. *Palaos*, 6:426-434.



- Kidwell, S.M., Flessa, K. W. (1995). The Quality of the fossil record: Populations, species and communities. *Annual review of ecology and systematics* , vol. 26, pp 269-299.
- Kidwell S. M. 2001. Preservation of species abundance in marine death assemblages. *Science*, **294**: 1091-1094
- Kidwell S. M., Holland S. M. 2002. The quality of the fossil record: implications for evolutionary analysis. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, **33**: 561-588
- Kidwell S. M., Tomasovych A. 2013. Implications of death assemblages for ecology and conservation biology. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, **44**: 539-563
- Kidwell S. M. 2013. Time averaging and fidelity of modern death assemblages: building a taphonomic foundation for conservation paleobiology: *Paleontology*, **56**: 487-522
- Holz, M., Simões, M.G. (2002). Elementos Fundamentais de Tafonomia. Editora UFRGS, 232p.
- Kondo Y., Stephen T.A., Akihisa K., Tim R.N., Takanobu K., Gordon S.S. 1998. The relationship between shellbed type and sequence architecture: examples from Japan and New Zealand. *Sedimentary Geology* **122**: 109-127
- Martin L., Suguio K., Flexor J., Dominguez J., Bittencourt A. 1996. Quaternary Sea-Level History and Variation in Dynamics along the Central Brazilian Coast: Consequences on Coastal Plain Construction. *Anais Academia Brasileira* **68**(3): 304-354
- Mendes, I.L.V. (1993). Malacofauna, paleoecologia e bioestratigrafia de sedimentos holocênicos da planície costeira de Imbituba e Imaruí, Santa Catarina, Brasil. Porto Alegre, Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2v, 309p.
- Monteiro M. A., Furtado S.M.A. 1995. O trecho do clima Florianópolis-Porto Alegre: uma abordagem climática dinâmica. *Geosul*, **19**: 117-133.
- Oliveira D. A. 2004. Caracterização Bio-Sedimentologia e Proposta de Setorização das Lagunas de Camacho, Garopaba do Sul e Santa Marta, Santa Catarina, Brasil. Dissertação de Mestrado, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, 69p.
- Orselli L. 1986. Climatologia. In: GAPLAN-SC. *Atlas de Santa Catarina*, Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiroito, p: 38-39
- Pimpão, D.M. (2004). Moluscos bivalves da plataforma externa e talude superior ao lago do Rio Grande. Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, Dissertação de Mestrado, Universidade do Rio Grande do Sul, 204p.
- Pittoni, V. L. L. 1993. Moluscos cenozoicos de sub-superfície em Imaruí, Santa Catarina, Brasil: paleoecologia, transgressões e regressões. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 269 p.
- Rios, E.C. (1994). Sea shells of Brazil. Editora da FURG, Rio Grande, Brasil. 368 pp.



Rodrigues, S. C. (2006). Tafonomia de moluscos bivalves e braquiópodes das enseadas de Ubatuba e Picinguaba, norte do estado de São Paulo: implicações do uso de assinaturas tafonômicas no reconhecimento de gradientes ambientais. São Paulo. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo (inéd.). 254p.

Rodrigues S. C. & Simões M. G., Pires-Domingues R. A. 2009. Viés Analítico em Estudos Tafonômicos com Macroinvertebrados: Implicações (Paleo)Ambientais e (Paleo)Ecológicas. *Geologia USP. Série Científica*, **9**: 101-114.

Sawakuchi A. O. 2003. Sistemas Depositionais Eólicos na Costa Centro-Sul Catarinense: Relações com nível do Mar. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 86p.

Tabajara L.L. 1994. Aspectos hidrodinâmicos e sedimentologia do sistema lagunar estuarino de Tramandaí-RS. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 202p.

Toldo Jr. E. E. & Dillenburg S. R. 2002. Swash bar migration at the inlet of the Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil. *Journal Coastal Research*, **33**: 489-492.

## Anexos

Os anexos a seguir mostram as porcentagens relativas das assinaturas tafonômicas na fácies baía e laguna para cada testemunho na área de estudo.



## Anexo 1

T1 TOTAL		INTEIRAS	FRAG	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT.COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			1345	111	156	343	426	789	136	1057	1468	1409	1471
LAGUNA	1	73.66%	26.23%	26	1270	134	1049	1009	353	392	414	3	62	
	2			0	90	1181	79	36	329	943				
	0			0,98103574	0,075459	0,106050306	0,233175	0,289599	0,536369816	0,092454113	0,718558804	0,997960571	0,957851801	
%	1			0,01896426	0,863358	0,091094494	0,71312	0,685928	0,239972808	0,266485384	0,281441196	0,002039429	0,042148199	
	2			0,061183	0,802855201	0,053705	0,024473	0,223657376	0,641060503					
		INTEIRAS	FRAG	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT.COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			107	56	67	43	61	5	5	74	114	107	114
BAÍA	1	10.93%	89.06%	1	33	25	60	28	55	52	40	0	7	
	2			0	25	22	11	25	54	57				
	0			0,990740741	0,491228	0,587719298	0,377193	0,535088	0,043859649	0,043859649	0,649122807	1	0,938596491	
%	1			0,009259259	0,289474	0,219298246	0,526316	0,245614	0,48245614	0,456140351	0,350877193	0	0,061403509	
	2			0,219298	0,192982456	0,096491	0,219298	0,473684211	0,5					

## Anexo 2

T2 TOTAL		INTEIRAS	FRAG	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT.COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			1766	5	0	1039	897	881	634	2082	2233	2174	2236
LAGUNA	1	70.53%	29.47%	288	1763	0	1197	1339	1010	1204	154	3	62	
	2			0	468	2236	0	0	345	398				
	0			0,859785784	0,00223614	0	0,464669	0,401163	0,39400716	0,283542039	0,93112701	0,998658318	0,972271914	
%	1			0,140214216	0,78846154	0	0,535331	0,598837	0,45169946	0,538461538	0,06887299	0,001341682	0,027728086	
	2			0,20930233	1	0	0	0	0,15429338	0,177996422	0	0	0	
		INTEIRAS	FRAG	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT.COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			861	47	407	251	228	108	46	612	829	832	866
BAÍA	1	14.92%	84.57%	5	421	129	320	299	160	325	254	37	34	
	2			368	330	295	339	339	598	485				
	0			0,994226328	0,05427252	0,469976905	0,289838	0,263279	0,12471132	0,053117783	0,70669746	0,957274827	0,96073903	
%	1			0,005773672	0,48614319	0,148960739	0,369515	0,345266	0,18475751	0,375288684	0,29330254	0,042725173	0,03926097	
	2			0,42494226	0,381062356	0,340647	0,391455	0,69053118	0,571593533					



### Anexo 3

T3 TOTAL		INTEIRAS	FRAG	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT. COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			1612	48	146	1177	1450	947	427	1373	1629	1632	1666
LAGUNA	1	71.5%	28.5%	54	990	42	444	188	527	1011	293	37	34	
	2				628	1478	45	28	192	228				
	0			0,967587035	0,028812	0,087635054	0,706483	0,870348	0,56842737	0,256302521	0,824129652	0,977791116	0,979591837	
%	1			0,032412965	0,594238	0,025210084	0,266507	0,112845	0,31632653	0,606842737	0,175870348	0,022208884	0,020408163	
	2				0,376951	0,887154862	0,027011	0,016807	0,1152461	0,136854742				
		INTEIRAS	FRAG	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT. COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			785	19	164	397	403	224	73	605	792	782	802
BAÍA	1	27.16%	72.83%	17	499	79	318	202	358	444	197	10	20	
	2				284	559	87	197	220	285				
	0			0,978802993	0,023691	0,204488778	0,495012	0,502494	0,27930175	0,091022444	0,75436409	0,987531172	0,975062344	
%	1			0,021197007	0,622195	0,098503741	0,396509	0,25187	0,44638404	0,55361596	0,24563591	0,012468828	0,024937656	
	2				0,354115	0,697007481	0,108479	0,245636	0,27431421	0,355361596				

### Anexo 4

T4 TOTAL		INTEIRAS	FRAG.	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT. COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			728	95	529	457	403	82	52	670	736	714	739
LAGUNA	1	74.9%	25.1%	11	370	84	111	132	208	281	69	3	25	
	2				274	126	171	204	449	406				
	0			0,98511502	0,128552	0,715832206	0,618403	0,545332	0,11096076	0,070365359	0,906630582	0,99594046	0,9661705	
%	1			0,01488498	0,500677	0,113667118	0,150203	0,17862	0,28146143	0,380243572	0,093369418	0,00405954	0,0338295	
	2				0,370771	0,170500677	0,231394	0,276049	0,60757781	0,549391069				
		INTEIRAS	FRAG.	ARTICULAÇÃO	MARGEM	PERIOSTRACO	BRILHO	ALT. COR	ABRASÃO	CORROSÃO	BIOEROSÃO	INCRUSTAÇÃO	PREDACÃO	N
	0			376	9	4	150	161	266	124	349	376	374	382
BAÍA	1	34,13%	65,87%	6	351	0	232	219	80	127	33	6	8	
	2				22	378	0	2	36	131				
	0			0,984293194	0,02356	0,010471204	0,39267	0,421466	0,69633508	0,32460733	0,913612565	0,984293194	0,97905759	
%	1			0,015706806	0,918848	0	0,60733	0,573298	0,20942408	0,332460733	0,086387435	0,015706806	0,02094241	
	2				0,057592	0,989528796	0	0,005236	0,09424084	0,342931937				

