

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**A INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NOS DEPÓSITOS LAMÍNICOS E NA
DISPERSÃO SEDIMENTAR NA PRAIA DO CASSINO E NA DESEMBOCADURA
DA LAGOA DOS PATOS, RIO GRANDE, RS-BRASIL.**

SUÉLEN CRISTINE COSTA DA SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. RICARDO NORBERTO AYUP-ZOUAIN

Porto Alegre, fevereiro de 2010.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**A INFLUÊNCIA DO EL NIÑO E LA NIÑA NOS DEPÓSITOS LAMÍTICOS E NA
DISPERSÃO SEDIMENTAR NA PRAIA DO CASSINO E NA DESEMBOCADURA
DA LAGOA DOS PATOS, RIO GRANDE, RS-BRASIL.**

SUÉLEN CRISTINE COSTA DA SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. RICARDO NORBERTO AYUP-ZOUAIN

**BANCA EXAMINADORA: Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Prof. Dr. André Sampaio Mexias
Prof. Dr. Lauro Julio Calliari**

**Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito parcial para a obtenção do
Título de Mestre em Geociências.**

Porto Alegre, 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, especialmente ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain pela sua dedicação, competência e por todo apoio concedido, fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e aos seus professores, pelos valiosos ensinamentos e disponibilidade da infra-estrutura necessária para a execução da pesquisa.

À CAPES pela bolsa.

À equipe do Laboratório de Difractometria de Raio-X, principalmente ao Prof. Dr. André Mexias, pelo auxílio e presteza no processo de análise dos argilominerais.

Ao Gilberto, técnico do Laboratório de Sedimentologia, e à Maribel, pela colaboração na manipulação das amostras de sedimentos.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica da FURG, especialmente aos professores Dr. Lauro Calliari e MSc. José Antiquiera, devido à concessão das amostras sedimentológicas e à disponibilidade para seleção dos dados.

À Profa. Dra. Flávia Farina, pelo acolhimento, pelos conselhos, críticas e sugestões fundamentais para finalização deste trabalho e, principalmente pela amizade.

Aos colegas do CECO pela troca de experiências, amizade e convivência.

A toda minha família, em especial aos meus pais, pela confiança e amparo incondicional em todas as minhas escolhas.

E por fim, ao Eduardo, pela constante compreensão e apoio durante o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Muito Obrigada a todos!

RESUMO

A Praia do Cassino, localizada no sul do Brasil, é freqüentemente coberta por extensivos depósitos de lama, ocasionando importantes efeitos de curta e longa duração. Alterações no volume das precipitações interferem diretamente no escoamento fluvial e, conseqüentemente, no volume de sedimentos que aportam na Lagoa dos Patos. Dados do regime de precipitação ao longo de 15 estações pluviométricas no período de 1968 a 2008 foram analisados estatisticamente e correlacionadas com eventos de El Niño e La Niña e com a ocorrência de lama na praia do Cassino. Períodos de El Niño e La Niña estão associados com precipitações acima e abaixo da normal, respectivamente, principalmente durante a primavera. Além disso, as anomalias climáticas apresentam influência potencial nos depósitos lamíticos do Cassino. Durante os eventos de El Niño são registradas precipitações mais intensas e, com um tempo de resposta mais rápido a partir do início da anomalia no Oceano Pacífico, além de um intervalo de tempo menor entre os eventos de deposição. As precipitações nas bacias da região sul, nas adjacências da Lagoa dos Patos, apresentam uma forte relação com esta anomalia. Em eventos de La Niña são observadas precipitação mais moderadas além de um período de tempo maior entre o início da anomalia negativa na TSM no Oceano Pacífico e os depósitos de lama. A bacia hidrográfica localizada ao norte da Lagoa dos Patos apresenta uma influência predominante sobre a precipitação durante esse evento. Foi analisada a provável fonte mineralógica das argilas presentes na praia do Cassino e adjacências a Lagoa dos Patos, por meio de difratometria de raio-X. A esmectita é o argilomineral predominante na plataforma continental e praia do Cassino enquanto que na Lagoa dos Patos o argilomineral mais abundante é a illita. A aplicação da análise estatística paramétrica e multivariadas, juntamente com pesquisas bibliográficas permitiram definir as principais fontes de dispersão da lama na região costeira.

Palavras-chave: bolas de lama, praia do Cassino, anomalias climáticas, argilominerais.

ABSTRACT

Cassino Beach, placed in the south of Brazil, is frequently covered by extensive deposition of mud which causes important short and long term effects on the beach environment, as well as on the tour activities of the region. Oscillations on the volume of rainfall interferes directly on the basins fluvial outflow and consequently on the volume of sediments that flow into Patos Lagoons System. Data record of the rainfall regime of fifteen rain gauge stations in the period between 1968 and 2008 were analyzed statistically and correlated with the events of El Niño and La Niña and with the occurrence of mud in Cassino beach. The periods are associated with rainfall that is above and below average both El Niño and La Niña occur, especially during spring. Frequently climate anomalies have potential influenced on the mud deposition in Cassino Beach. During El Niño's events, more intense rainfall is registered and its response is faster considering the time of the beginning of the anomaly in the Pacific Ocean. Besides that the interval between the events of deposition have become shorter. Rainfall in the south basin region adjacent to the Patos Lagoons Systems, have a strong relation with this anomaly. During La Niña's events more moderate rainfalls are observed, as well as a longer interval between the beginning of the negative anomaly in the sea surface temperature in the Pacific Ocean and the deposition of mud. The basin drainage located on the north of Patos Lagoons Beach has a predominant influence over rainfall during this event. Eventually, the presumable mineral source of the clay found in Cassino Beach and adjacent to Patos Lagoons Systems was analyzed through x-ray diffraction. Smectite are the predominant clay minerals on the continental platform and on Cassino Beach while the sediment found in Patos Lagoons Systems presents higher concentration of illite. The sources and dispersal mud in the coastline region was defined with used the parametric and multivariate statistical analysis and bibliographical review.

Keywords: mud balls, Cassino Beach, climate anomalies, clay minerals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Imagem de satélite da desembocadura da Lagoa dos Patos.....	15
Figura 02 - Ilustração dos efeitos da lama na praia do Cassino.....	19
Figura 03 - Mapa de localização da área de estudo.....	21
Figura 04 - Mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.....	22
Figura 05 - Morfologia da plataforma e região adjacente à desembocadura da Lagoa dos Patos.....	24
Figura 06 - Sedimentos superficiais da plataforma e talude da plataforma continental sul brasileira.....	25
Figura 07 - Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.....	28
Figura 08 - Mapa de localização das estações pluviométricas.....	38
Figura 09 - Precipitação anual mínima, média e máxima para as 15 estações pluviométricas no período de 1968 a 2008.....	39
Figura 10 - Precipitação mensal mínima, média e máxima para as 15 estações pluviométricas no período de 1968 a 2008.....	40
Figura 11 - Precipitação anual para as quatro bacias de drenagem analisadas de 1968 a 2008.....	41
Figura 12 - Temperatura anual mínima, média e máxima para o período de 1968 a 2008 na região Niño 3.4.....	43
Figura 13 - Ilustração dos depósitos de Lama na praia do Cassino.....	45
Figura 14 - Mapa de localização das amostras de sedimento.....	46
Figura 15 - Mapa de localização das amostras de sedimento superficial da Operação GEOMAR IV.....	50
Figura 16 - Precipitação anual mínima, média e máxima para as 15 estações pluviométricas no período de 1968 a 2008.	61
Figura 17 - Precipitação mensal mínima, média e máxima para 15 estações pluviométricas de 1968 a 2008 nas.....	62
Figura 18 - Precipitação mensal para as quatro bacias de drenagem analisadas de 1968 a 2008.....	63
Figura 19 - Temperatura superficial do Oceano Pacífico na região Niño 3.4 para o período de 1968 a 2008.....	66

Figura 20 - Temperatura anual (°C) mínima, média e máxima para o período de 1968 a 2008 na região Niño 3.4.....	67
Figura 21 - Precipitação média mensal e anomalias na TSM no Oceano Pacífico para o período de 1968 a 2008.....	68
Figura 22 - Precipitação pluvial média para o período de El Niño de maio de 1997 a maio de 1998.....	73
Figura 23 - Precipitação média mensal das bacias norte e sul durante o evento El Niño de 1997 a maio de 1998.....	74
Figura 24 - Precipitação pluvial média para o período de La Niña de maio de 1973 a maio de 1976.....	75
Figura 25 - Precipitação média mensal das bacias norte e sul durante o evento La Niña de maio de 1973 a maio de 1976.....	75
Figura 26 - Região Hidrográfica do Guaíba.....	81
Figura 27 - Histograma das médias de descarga mensais do rio Jacuí, Taquari e Camaquã.....	82
Figura 28 - Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas.....	83
Figura 29 - Mapa de distribuição da esmectita na fração menor que 2µm.....	91
Figura 30 - Mapa de distribuição da illita na fração menor que 2µm.....	92
Figura 31 - Mapa da distribuição da caolinita na fração menor que 2µm.....	93
Figura 32 - Mapa de distribuição do quartzo na fração menor que 2µm.....	94
Figura 33 - Diagrama ternário do percentual dos argilominerais.....	90
Figura 34 - Perfil mineralógico A.....	95
Figura 35 - Perfil mineralógico B.....	96
Figura 36 - Perfil mineralógico C.....	96
Figura 37 - Perfil mineralógico D.....	97
Figura 38 - Teste de Tuckey para as amostras coletadas na Lagoa dos Patos, plataforma continental e praia do Cassino.....	99
Figura 39 - Dendograma resultante da análise de agrupamento.....	100
Figura 40 - Gráfico de Componentes principais.....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Informações das 15 estações pluviométricas utilizadas no presente estudo.....	37
Quadro 02 - Início, fim e duração dos eventos El Niño e La Niña após 1968 na região Niño 3.4.....	42
Quadro 03 - Valores característicos de algumas reflexões 001 dos principais membros dos argilominerais.....	47
Quadro 04 - Valores das principais distâncias interplanares dos argilominerais em função dos tratamentos de glicolagem e calcinação.....	48
Quadro 05 - Fórmulas para os cálculos de ANOVA de um único fator.....	52
Quadro 06 - Início, fim e duração dos eventos El Niño e La Niña após 1968 na região Niño 3.4.....	64
Quadro 07 - Fração percentual dos meses com ocorrência de determinado evento no Oceano Pacífico, anomalias médias de TSM no Pacífico e correspondentes percentagens de ocorrência de determinada categoria de precipitação.....	71
Quadro 08 - Eventos de deposição de lama na praia do Cassino e anomalias climáticas no Oceano Pacífico.....	72
Quadro 09 - Estimativa semi-quantitativa, em percentual, da mineralogia da fração menor que 2 μ m obtida através de difratometria de raio-X.	89
Quadro 10 - Análise estatística ANOVA de um fator.....	98
Quadro 11 - Quadro de autovalores obtidos pela análise de componentes principais.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Anticiclone do Atlântico Sul
ACP	Análise de Componentes Principais
AMP	Anticiclone Migratório Polar
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BC	Baixa do Chaco
CB	Corrente do Brasil
CECO	Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
CM	Corrente das Malvinas
CPC	Climate Prediction Center
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CST	Convergência Subtropical
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
E	Leste
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	Instituto de Geociências
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IO	Instituto de Oceanografia
IOS	Índice de Oscilação Sul
LOG	Laboratório de Oceanografia Geológica
NE	Nordeste
NOAA	National Weather Service
NW	Noroeste
PCRS	Planície Costeira do Rio Grande do Sul
RS	Rio Grande do Sul
S	Sul
SC	Santa Catarina
SE	Sudeste
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SEMC	Secretaria de Energia, Minas e Comunicações
SIGEL	Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico
SIH	Sistema de Informações Hidrológicas
SW	Sudoeste
SWAN	Simulating Waves Nearshore
TSM	Temperatura Superficial do Mar
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UPGMA	Unweighted Pair Group Method Using Arithmetic Average)
W	Oeste
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	grau Celsius
µm	micrometro
Å	ångström
cm/s	centímetro por segundo
g	grama
g/l	grama por litro
km ²	quilometro quadrado
kV	fator de fluxo de um litro
m ³ s ⁻¹	metro cúbico por segundo
mg/l	miligrama por litro
ml	miligrama
mm	milímetro
psu	practical salinity unit

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Estrutura da Dissertação.....	16
1.2. Objetivo Geral.....	17
1.2.1. Objetivos Específicos.....	17
1.3. Justificativa.....	17
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
2.1. Delimitação da Área de Estudo.....	20
2.2. Caracterização Fisiográfica e Geomorfológica.....	22
2.3. Áreas Fontes: Geologia e Contribuição Mineralógica.....	26
2.3.1. O Escudo Sul Riograndense.....	26
2.3.2. A Depressão Central.....	27
2.3.3. O Planalto Meridional.....	27
2.3.4. A Planície Costeira.....	28
2.4. O Contexto Climático.....	29
2.5. Condições Oceanográficas.....	31
2.5.1. O Regime de Marés.....	31
2.5.2. O Regime de Ondas.....	31
2.5.3. O Regime de Correntes.....	32
3. METODOLOGIA.....	35
3.1. Precipitação.....	35
3.2. Eventos de El Niño e La Niña.....	41
3.3. Argilominerais.....	44
3.3.1. Amostragem.....	44
3.3.2. Procedimentos de Laboratório.....	44
3.3.3. Processamento dos Dados.....	49
3.3.4. Tratamento Estatístico.....	49
3.3.4.1. ANOVA.....	49
3.3.4.2. Análise Multivariada.....	53
3.3.4.2.1 Análise de Agrupamento.....	53

3.3.4.2.2 Análise de Componentes Principais.....	55
4. INFLUÊNCIA POTENCIAL DOS EVENTOS DO EL NIÑO E LA NIÑA NO FENÔMENO DE DEPOSIÇÃO DE LAMA NA PRAIA DO CASSINO	58
4.1. Resultados e Discussão.....	60
4.2. Conclusões.....	76
5. MINERALOGIA DAS ARGILAS DA LAMA DA PRAIA DO CASSINO.....	78
5.1. Proveniência e Dispersão dos Sedimentos.....	80
5.1.1. Bacias Hidrográficas.....	80
5.1.2. Dispersão dos Sedimentos.....	84
5.2. Resultados.....	88
5.3. Discussão e Conclusões.....	102
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
8. ANEXO A – GRAFÍCOS DE PRECIPITAÇÃO RELACIONADOS A CONDIÇÕES DE TSM NO OCEANO PACÍFICO E EVENTOS DE LAMA NA PRAIA DO CASSINO.....	122
9. ANEXO B – DIFRATOGRAMAS.....	137

1. INTRODUÇÃO

A importância da zona costeira é historicamente reconhecida pelo homem, dado o crescente interesse na utilização e na ocupação das terras adjacentes ao mar. Os ambientes inseridos nestas áreas apresentam privilegiados recursos naturais e econômicos que abrigam ecossistemas raros e de grande vulnerabilidade ambiental, o qual favorece a concentração dos recursos humanos.

Entre os ambientes costeiros, os estuários representam um dos mais importantes ecossistemas, pois configuram zonas de transição entre o continente e o oceano, funcionando como bacias receptoras naturais para a acumulação de material em suspensão. A distribuição e a concentração do material em suspensão nos estuários variam sazonalmente de acordo com as taxas de precipitação nas bacias de drenagem, com a entrada de água salgada e com a intensidade, duração e direção preferencial do vento. Nos períodos de grande fluxo de vazante, associados à ausência de água salgada, os sedimentos finos (principalmente partículas de silte e argila) são exportados diretamente para o Oceano.

Na plataforma continental, o sedimento mais fino e coesivo tende a se depositar junto ao fundo. Dependendo das condições hidrodinâmicas, tal sedimento pode ser remobilizado e permanecer em processo de ressuspensão próximo ao fundo, formando uma camada sedimentar denominada como "*lama fluida*". Segundo Dyer (1986) lama fluida é a suspensão de sedimento coesivo em uma concentração dentro ou próxima do "ponto de gel", da ordem de 10 a 100 $g\ l^{-1}$. Esta suspensão pode apresentar espessura que varia de alguns decímetros até vários metros, sendo gerada por meio da deposição ou da liquefação de depósitos lamosos (WINTERWERP e VAN KERSTEREN, 2004).

A localização e a taxa de acumulação da lama são controladas principalmente pelo balanço entre o suprimento de sedimentos finos e a habilidade de transporte marinho (McCAYE, 1970; 1972). Dessa forma, sedimentos em suspensão, como silte e argila, podem ser depositados a uma determinada profundidade na plataforma, onde as correntes geradas por ondas apresentam baixas velocidades. Esta profundidade irá depender da ressuspensão de sedimentos, em consequência da ação das ondas e da concentração de material em suspensão, que deve ser alta o bastante para suprir e manter os depósitos lamíticos permanentes (SMITH & HOPKINS, 1972).

Depósitos de lama são encontrados em várias regiões do mundo, especialmente onde um ou mais rios aportam significativas quantidades de sedimento fino em suspensão no mar (KJERFVE *et al.*, 2003). Como exemplos, podem ser citados aqueles registrados em Kerala, na costa sudoeste da Índia (JIANG e MEHTA, 1996; MATHEW *et al.*, 1995), na costa do Suriname (WELLS e COLEMAN, 1981), na Guiana Francesa (ALLISON e LEE, 2004), Guiana (WINTERWERP *et al.*, 2007), no estuário de Thames na Inglaterra (INGLISS e ALLEN, 1957) e na bacia de Atchafalaya, no sul da Louisiana, nos Estados Unidos (SHEREMET *et al.*, 2005; ALISON *et al.*, 2000; FAN *et al.*, 2004), no Rio de la Plata e plataforma adjacente (AYUP-ZOUAIN, 1986 e 1991). No Brasil, esses depósitos também foram registrados na Baía da Guanabara, em Niterói, no Rio de Janeiro (BAPTISTA NETO *et al.*, 2001), na Baía da Tijuca, em Santa Catarina (BUYNEVICH *et al.*, 2005) e na desembocadura do Rio Amazonas (GABIOUX *et al.*, 2005).

A praia do Cassino, localizada no litoral do sul do Brasil, registra, desde 1954, pelo menos 30 eventos de deposição lama. A referência mais antiga foi publicada em 1901, no município de Pelotas pelo jornal Correio Mercantil (CALLIARI *et al.*, 1999). Desde então, este fenômeno atrai grande interesse da comunidade científica e da população em geral. A primeira descrição científica sobre o evento foi elaborada por Villwock e Martins em 1972, que, por meio de estudos sedimentológicos dos depósitos lamíticos na região do pós-praia no Cassino, constataram semelhanças das propriedades texturais de ambas populações dos sedimentos, associando as texturas dos finos do pós-praia as que ocorrem na porção meridional da Lagoa dos Patos.

Calliari e Fachin (1993) por meio da análise granulométrica dos sedimentos superficiais e subsuperficiais da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul, demonstraram que a Lagoa dos Patos é uma fonte potencial de sedimentos finos para a plataforma interna. Segundo os autores, a distribuição superficial dos sedimentos argilo-silticos e siltico-argilosos que ocorrem ao sul da desembocadura lagunar é função do predomínio de ventos do quadrante NE, os quais, associados às altas taxas de precipitação, propiciam a formação da pluma em direção SW. Após floculado, esse material é depositado sob a forma de lama fluída, sendo identificadas espessuras de até 0,80 m.



Figura 01: Imagem de satélite da desembocadura da Lagoa dos Patos. Fonte: Cuchiara, 2008.

De forma geral, os eventos de deposição, conforme registros de Villwock e Martins (1972), Martins *et al.* (1979), Calliari *et al.*, (2000) e Pereira *et al.* (2002), estão associados a ondas de tempestades com alta energia e a longos períodos que possibilitam a ressuspensão e o transporte para a praia dos sedimentos superficiais localizados entre as isóbatas de 6 e 15 metros.

As contribuições antrópicas locais para a ocorrência do fenômeno ainda não estão devidamente sistematizadas, no entanto, estudos em desenvolvimento por

pesquisadores da FURG¹ (CUNHA, 2009) avaliam a influência potencial das dragagens no canal do Rio Grande e das obras portuárias como uma provável fonte de aporte de lama.

Diante do exposto, percebe-se a necessidade de conhecer as características dos depósitos e compreender os processos responsáveis pela sua ocorrência sazonal, uma vez que sua existência e dinâmica afetam a qualidade dos ambientes e as atividades econômicas desenvolvidas no município de Rio Grande. Dessa forma, tais efeitos adversos geraram o seguinte problema de investigação: “De que forma as alterações no regime de precipitação, ocasionadas por anomalias climáticas no Oceano Pacífico, podem afetar na incidência dos depósitos lamínicos da praia do Cassino e qual a constituição e comportamento dos argilominerais presentes nesses depósitos?”

1.1. Estrutura da Dissertação

No capítulo 1, introdutório, são apresentados o problema, o objetivo principal e secundário e a importância da pesquisa.

As características ambientais da área de estudo que podem ser relevantes para o entendimento do transporte e deposição dos sedimentos finos na plataforma continental do Rio Grande do Sul são descritas no capítulo 2.

O capítulo 3 descreve a metodologia aplicada no presente estudo, principalmente na sistemática de elaboração da base de dados sobre a precipitação na região sul do Brasil e sobre as anomalias na temperatura superficial do mar no Oceano Pacífico e a relação destas variáveis com os depósitos de lama, assim como a amostragem dos argilominerais e o procedimento estatístico aplicado nas informações.

A relação que apresenta a precipitação na região sul do Brasil com as anomalias na temperatura superficial do mar no Oceano Pacífico e a influência

¹ Universidade Federal do Rio Grande.

potencial que os eventos do El Niño e La Niña podem ter com a recorrência dos depósitos de lama na praia do Cassino é abordada no capítulo 4.

No capítulo 5 são analisadas as características dos argilominerais e o comportamento dos depósitos lamínicos da praia do Cassino e adjacências da desembocadura da Lagoa dos Patos.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões finais reunindo e relacionando os resultados obtidos nos capítulos anteriores.

1.2. Objetivo Geral

Investigar a influência dos fatores climáticos na recorrência dos depósitos lamínicos e a provável fonte mineralógica das argilas presentes na praia do Cassino e adjacências à desembocadura da Lagoa dos Patos.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar o comportamento da precipitação na região de estudo de acordo com as anomalias na temperatura superficial do mar no Oceano Pacífico;
- Observar a influência potencial das variações climáticas na dinâmica dos sedimentos finos na costa do Rio Grande do Sul e na recorrência dos eventos de deposição de lama na praia do Cassino;
- Caracterizar as bacias hidrográficas e as principais fontes de suprimento de sedimentos para a Lagoa dos Patos;
- Analisar a mineralogia das argilas da lama da praia do Cassino;
- Estabelecer as principais áreas de dispersão das argilas da região ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos.

1.3. Justificativa

A deposição de lama na praia do Cassino traz importantes efeitos de curta e longa duração sobre as características praias, bem como consequências negativas

tanto para o ecossistema quanto para a economia da região. Por meio de dados coletados em campo e da aplicação de técnicas de modelagem numérica, Cuchiara (2008), verificou que a presença dos depósitos lamíticos causa, em curto período de tempo, uma atenuação significativa na energia das ondas na região. Esta constatação é relevante já que o nível de remobilização dos sedimentos é diretamente relacionado ao nível de energia das ondas.

Por outro lado, Lélis (2003) analisando a variabilidade da linha de costa oceânica, adjacente a Lagoa dos Patos, sugere que o efeito acumulativo em longo prazo dos processos de deposição, associados às tempestades do quadrante sul, influencia substancialmente na progradação da linha de costa ao sul da desembocadura lagunar. O resultado desta análise identifica um setor acrescido com 10,2 Km de extensão, iniciando a 1,8 Km ao sul do molhe oeste. A taxa média de acreção é de 239,8 m, atingindo um valor máximo de 469 m a 12 Km da desembocadura. Este setor coincide com as maiores espessuras de lama total e de lama fluída superficial mapeadas por Calliari e Fachin (1993).

Os impactos ecológicos causados pela deposição de lama são mencionados por Calliari *et al.* (2000), como exemplo, o autor cita o bloqueio dos mecanismos de respiração da fauna bentônica, causando elevada mortalidade de moluscos crustáceos e outros invertebrados. Em específico, pode-se referir a grande quantidade de conchas do gastrópode *Heliobia spp.* encontradas na superfície dos depósitos de lama na praia do Cassino.

Embora não existam registros de acidentes fatais associados ao aprisionamento de banhistas nos bolsões de lama, a ocorrência de vários incidentes envolvendo surfistas ressalta o risco eminente de sinistros. No dia 25 de maio 2003 um surfista permaneceu três horas na interface entre a arrebentação e o banco de lama fluída, sendo resgatado ao final da tarde, apresentando sintomas de hipotermia (CALLIARI e FARIA, 2003).

Ainda, o desenvolvimento de atividades econômicas voltadas ao turismo é profundamente prejudicado pela ocorrência de depósitos de lama na faixa de praia do Balneário Cassino, que durante o período de veraneio recebe aproximadamente 100 mil turistas. Além de reduzir o fluxo de turistas e o conseqüente fluxo comercial,

a ocorrência deste evento também dificulta as atividades de lazer da população local. A usual circulação de automóveis na faixa praial também é prejudicada, inúmeros veículos permanecem atolados na lama depositada, já que essa é recoberta por uma fina camada de areia resultante da ação eólica (Figura 02).

Diante disso, o presente estudo é considerado de real significância no sentido de colaborar na discussão e no melhor esclarecimento de alguns dos fatores que podem contribuir para recorrência desse evento na praia do Cassino, assim como para o melhor entendimento da distribuição e dispersão dos sedimentos finos que se depositam nessa região.



Figura 02: Ilustração dos Efeitos da lama na Praia do Cassino. A) População Local (CLIC RBS, 2008). B) Resgate de surfistas (CLIC RBS, 2008). C) Impacto sobre a fauna local (CALLIARI *et al.*, 2000). D) Veículos atolados (CLIC RBS, 2008).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Delimitação da área de estudo

A pesquisa é desenvolvida na praia do Cassino (Figura 03), localizada na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). A PCRS apresenta aproximadamente 618 km de extensão (VILLWOCK, 1994), desde Torres, ao norte, até a desembocadura do Arroio Chuí, ao sul. Esta planície corresponde à expressão geomorfológica superficial emersa da Bacia de Pelotas, delimitada pelo embasamento cristalino, a oeste, e pelo Oceano Atlântico, a leste.

A carga sedimentar acumulada na Bacia de Pelotas provém de duas áreas-fonte principais: na porção central e sul, as rochas ígneas e metamórficas do Escudo Uruguaio Sul Riograndense e, mais ao norte, pelas rochas sedimentares e vulcânicas Paleozóicas e Mesozóicas da Bacia do Paraná (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2000).

O modelo evolutivo da PCRS apresentado por Villwock *et al.* (1986) considera que a sua formação ocorreu durante o Quaternário, através do desenvolvimento e justaposição de quatro sistemas deposicionais do tipo laguna/barreira, relacionados a quatro eventos transgressivos/regressivos do nível do mar. Segundo os autores, os sistemas laguna/barreira I, II e III formaram-se durante o Pleistoceno, sendo o sistema I o mais antigo; enquanto que o sistema IV iniciou seu desenvolvimento durante o Holoceno (Figura 04). Nessa área situam-se dois dos maiores corpos d'água da América do Sul, a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim, cuja comunicação entre elas ocorre através do Canal São Gonçalo. As águas desse complexo lagunar drenam uma superfície aproximada de 200.000 km² e são escoadas para o oceano pelo Canal de Rio Grande.

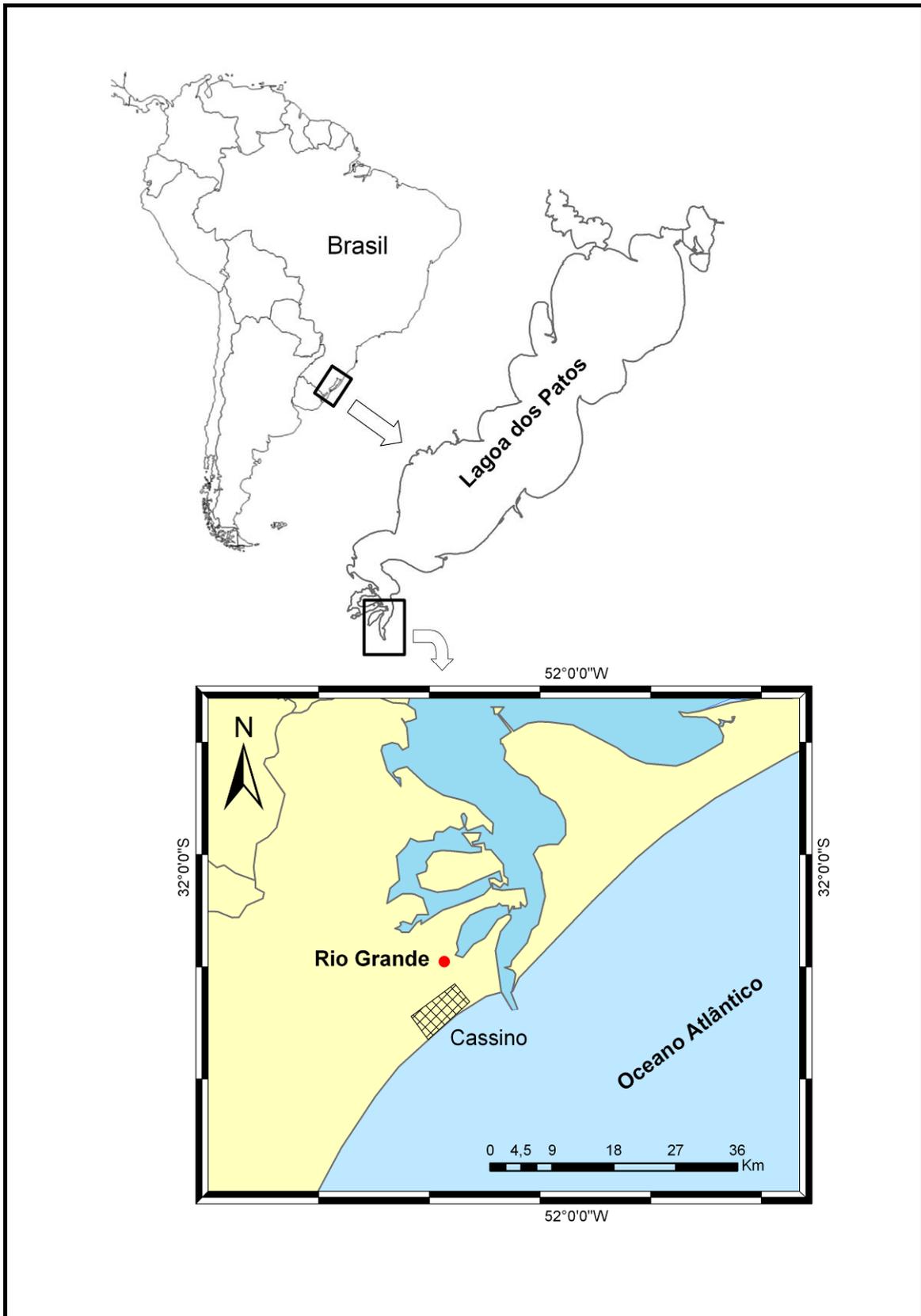


Figura 03: Mapa de localização da área de estudo.

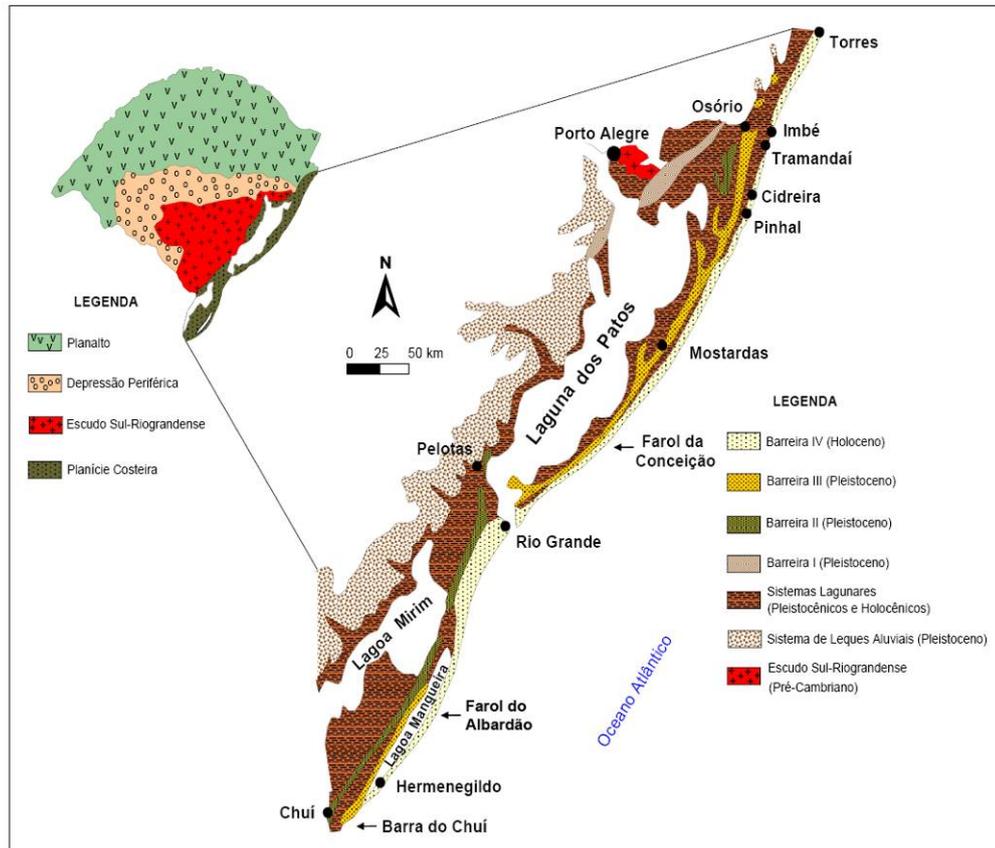


Figura 04: Mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, mostrando a distribuição dos principais sistemas deposicionais. Fonte: Tomazelli & Villwock, 2000.

2.2. Caracterização Fisiográfica e Geomorfológica

A plataforma sul do Brasil, localizada entre o Cabo de Santa Marta e o Chuí, se estende desde a margem continental até aproximadamente a isóbata de 200 m (CASTRO e MIRANDA, 1998). Sua declividade é suave, com gradiente médio de 1:1.000 na porção sul, aumentando gradativamente em direção ao norte. O padrão batimétrico é praticamente paralelo e concordante com a linha de costa atual, não apresentando formas topográficas acrescionais ou erosionais de grande amplitude regional (ZEMBRUSKI, 1971).

No Rio Grande do Sul, a largura média da plataforma é 125 km, com sedimentação marcadamente de origem deltaica e litorânea (MARTINS *et al.*, 1972). Feições morfológicas características da plataforma incluem terraços marinhos afogados e afloramentos rochosos de arenitos de praia (CALLIARI e ABREU, 1984),

enquanto que na plataforma interna, são comuns os bancos arenosos lineares (FIGUEIREDO, 1975).

Na área adjacente à desembocadura da Lagoa dos Patos, a plataforma continental apresenta duas regiões com características distintas quanto à morfologia de fundo. Na região ao sul da desembocadura o fundo é extremamente homogêneo liso, enquanto que ao norte, na plataforma ocorrem irregularidades topográficas representadas por bancos arenosos lineares, cujas diferenças entre cava e crista podem atingir 5 m (CUCHIARA, 2008).

De acordo com Calliari e Fachin (1993), na região ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos, a plataforma apresenta-se mais larga, com pequena declividade e totalmente homogênea, com ausência de feições morfológicas e predominância de sedimentos finos. Esta região sofre significativa influência da contribuição de sedimentos finos da pluma de origem continental que se dirigem para o oceano (MARQUES *et al.*, 2009). As regiões ao norte e ao sul desta área apresentam elevados teores de sedimentos grosseiros, além de padrões diferenciados quanto à presença e à orientação dos bancos arenosos. No extremo sul, os bancos arenosos estão dispostos obliquamente em relação à linha de costa, com direção predominantemente de sudeste (SE) nordeste (NE). Já ao norte, estes bancos apresentam orientação paralela à linha de costa, são mais extensos e situam-se mais afastados da costa, podendo ser observados em profundidades de 18 a 22 m. As características morfológicas da plataforma continental na região adjacente a Lagoa dos Patos podem ser observadas na Figura 05.

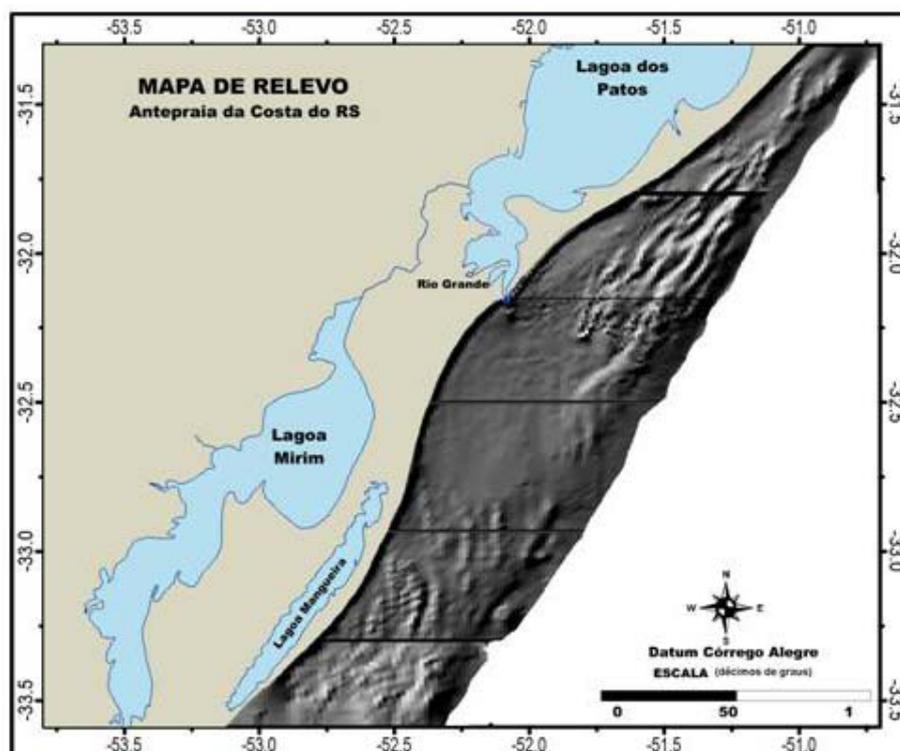


Figura 05: Morfologia da plataforma e região adjacente à desembocadura da Lagoa dos Patos. Fonte: Calliari *et al.*, 2007.

A cobertura sedimentar da plataforma é predominantemente clástica terrígena, secundariamente ocorrem componentes biotécnicos, especialmente na porção sul. Segundo Corrêa (1987), com base no conteúdo de areia/silte/argila, podem ser diferenciadas oito fácies na plataforma e no talude superior (Figura 06). As fácies interna e externa de areia relíquia da plataforma foram depositadas durante a regressão do Pleistoceno e retrabalhadas na transgressão Holocênica, sendo compostas por areias quartzosa média e fina, semelhantes às areias das praias e dunas atuais (MARTINS *et al.*, 1972). Na plataforma média e externa predominam as fácies síltico-argilosas e argilo-sílticas, provavelmente depositadas pela drenagem continental durante a transgressão Holocênica (CALLIARI, 1997). Os sedimentos palimpsesticos são representados pelas fácies transicionais, compostas por proporções similares de sedimentos terrígenos e misturas de biodetrito com areia e lama (CALLIARI, 1997). Na porção sul da área, a sedimentação moderna é restrita, correspondendo às seqüências de lamas de origem terrígenas depositadas próximo ao canal de desembocadura da Lagoa dos Patos e as lamas provenientes da descarga do rio de La Plata (MARTINS *et al.*, 1972, 1978; AYUP-ZOUAIN *et al.*,

1994) decorrentes da feição “Poços de Lama” que chegam a interagir com o cone de Rio Grande (SILVA, 2009).

Podem ser observados na porção mais próxima da região costeira, depósitos superficiais de carbonatos associados a fragmentos de conchas (MARTINS *et al.* 1972; CORRÊA, 1983) os que cobrem uma superfície de aproximadamente 1.000 km² da plataforma. Também são observados depósitos de areia grossa nas proximidades de um afloramento de arenitos de praia nas proximidades da foz da Lagoa dos Patos (CALLIARI e ABREU 1984; CALLIARI *et al.* 1994; CALLIARI, 1997).

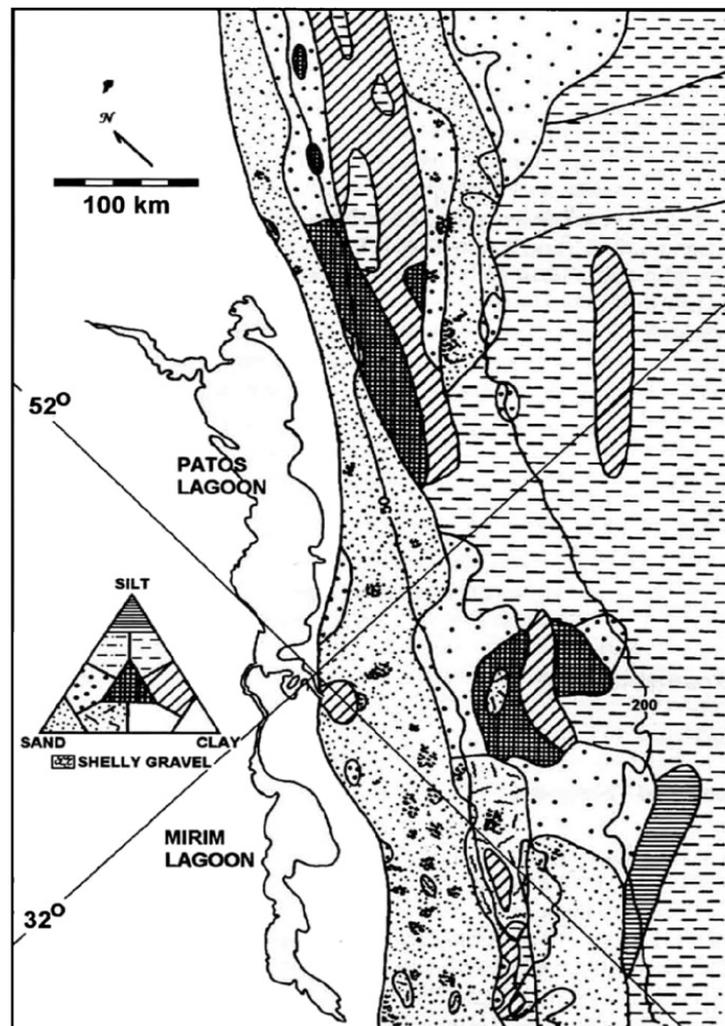


Figura 06: Sedimentos superficiais da plataforma e talude da plataforma continental sul brasileira. Fonte: Corrêa, 1987.

2.3. Áreas Fontes: Geologia e Contribuição Mineralógica

Aproximadamente 70% da drenagem do território do Rio Grande do Sul fluem pelos principais sistemas coletores representados pelo Lago Guaíba, Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim. De acordo com Delaney (1965) a área drenada pelo sistema lacustre do Rio Grande do Sul é constituída 35% por formações do Escudo Sul Rio-Grandense, 35% pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, 20% pelas formações da faixa sedimentar da Bacia do Paraná e ainda 10% por sedimentos da Planície Costeira.

De acordo com Villwock *et al.* (1972) a grande extensão da bacia hidrográfica condiciona o desenvolvimento de diferentes tipos de solo o que conseqüentemente leva a formação de argilominerais diferentes, partindo de rochas idênticas. Da mesma forma que, em alguns casos, o intemperismo de diferentes rochas leva a formação de uma mesma associação de argilominerais.

O estado do Rio Grande do sul pode ser dividido em quatro grandes províncias geomorfológicas (Fig. 07) que contribuem com características minerais distintas de acordo com o clima atuante e composição geológica: o Escudo Sul Riograndense; a Depressão Central; o Planalto Meridional e a Planície Costeira (situadas cronoestratigraficamente). Nesta síntese a seguir, procura-se encontrar as principais fontes de argilominerais de acordo com as fontes de referencias disponíveis até o momento.

2.3.1. O Escudo Sul Riograndense

Situado na porção sudeste do Estado, o escudo Sul Riograndense é formado por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares de idade compreendida entre o Arqueano o Cambriano. Segundo Fragoso *et al.* (1982), são reconhecidas, no Escudo Cristalino, duas grandes estruturas: o Cráton do rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano. A primeira estrutura se desenvolve na borda oeste do Complexo Cristalino e corresponde a um cinturão móvel onde os falhamentos regionais têm direção predominante NE-SW. A segunda estrutura constitui uma faixa móvel de direção idêntica a anterior (NE-SW) que corresponde a uma unidade geotectônica gerada no ciclo brasileiro (Proterozóico superior/Eo-Paleozóico). Esse cinturão se

desenvolve na borda leste do Cráton do rio de La Plata, configurando-se como uma zona de colisão. De acordo com Carraro *et al.* (1974) o escudo é composto pelos seguintes minerais: quartzo, feldspato, micas, piroxênios, anfibólio, zircão, turmalina, topázio, apatita, berilo, granada, rutilo, hiperstênio, estauroлита, cassiterita, wolfranita, ouro, cianita e hematita. Estudos realizados por Villwock & Tomazelli (1995) descrevem que o Craton do Rio de La Plata é constituído principalmente por diversas associações petrotectônicas, onde ocorrem sequências metamórficas de baixo grau (filitos, xistos, quartzitos e mármore), granitos e migmatitos, cobertas por seqüências sedimentares de características molássicas afetadas por pós-orogênico.

Os solos que se desenvolvem nesta unidade, segundo os trabalhos de Goedert (1965) e Goedert & Formoso (1970), revelam a predominância de caolinita e uma associação de caolinita e illita, onde a primeira predomina.

2.3.2. A Depressão Central

Esta província geomorfológica está compreendida entre o Planalto e o Escudo Sul Riograndense estende-se na direção oeste, até a fronteira com o Uruguai, onde se conecta com o Pampa Argentino. É formada por rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná, principalmente arenitos, siltitos, folhelhos e calcáreos. Os minerais encontrados nessa feição são o quartzo, feldspato, hornblenda, piroxênio, olivina, calcita e biotita (AYUP-ZOUAIN, 1985).

De acordo com os trabalhos de Delaney & Formoso (1960), Formoso & Figueiredo Filho (1966) e Formoso (1966), o mineral predominante na Bacia do Paraná é a montmorillonita. Nas camadas inferiores da seqüência, ou seja, correspondentes à Formação Rio Bonito e ao Sub-Grupo Itararé, ela cede lugar à caolinita e a camadas mistas do tipo illita-montmorillonita.

2.3.3. O Planalto Meridional

Situado na região norte do RS, o Planalto Meridional é formado por um extenso platô de rochas basálticas e riódacíticas, com altitudes de até 1.378m. De acordo com Carraro *et al.* (1974) a unidade litoestratigráfica que compõe o planalto é formada por sucessivos derrames de lavas basálticas e toleíticas granulares, microgranulares, hemicristalinas ou vítreas, além de aglomerados de brechas

vulcânicas denominados de Formação Serra Geral. Os principais minerais encontrados nessa unidade são: feldspato, piroxênios, augita, olivina, titanomagnetita, epidoto, serpentina, ilmenita e apatita (CARRARO *et al.*, 1974).

Nesta Província, há presença de três tipos de solos, diferenciados quanto à composição da fração argilosa. O primeiro caracteriza-se pela presença de caolinita, o segundo contém caolinita e montmorillonita predominantemente e, o terceiro contém quase que exclusivamente montmorillonita (GOEDERT, 1965).



Figura 07: Províncias Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 1998.

2.3.4. A Planície Costeira

A PCRS é constituída pelo embasamento cristalino e pela bacia de Pelotas formada sobre este. Nesta unidade, predominam depósitos arenosos, siltico-

argilosos, argilosos e ocasionalmente conglomeráticos, que, fracamente consolidados ou inconsolidados, constituem acumulações coluviais, fluviais, lacustres, eólicas e marinhas, de idades variáveis desde o limite entre o Terciário e o Quaternário até o Holoceno (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1995).

Os sedimentos que preenchem a cobertura superficial da Bacia de Pelotas são essencialmente clásticos terrígenos, provenientes das rochas ígneo-metamórficas do escudo Sul-Rio-Grandense e Uruguaio, e das rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1995).

Nos solos da planície costeira, de acordo com Goedert & Formoso (1970), há um predomínio nítido de montmorillonita, aparecendo também caolinita, constituinte essencial de alguns tipos de solo. Esporadicamente, também há presença de illita como constituinte secundário.

2.4. O Contexto Climático

A circulação atmosférica no sul do Brasil é influenciada principalmente pela presença do Anticiclone do Atlântico Sul, do Anticiclone Migratório Polar e da Baixa do Chaco (HASENACK e FERRARO, 1989; NIMER, 1977 *apud* TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000).

O Anticiclone do Atlântico Sul (AAS), localizado entre as latitudes 18° e 35° S, é fonte de massas de ar quente e úmido transportadas pelo vento nordeste (TOMAZELLI, 1990). O Anticiclone Migratório Polar (AMP) é um centro de alta pressão, alimentado por massas de ar frio da Antártica, geralmente deslocadas para o norte transportando massas de ar frio e seco. Seu deslocamento induz a constituição de dois centros de alta pressão com formação de um centro de baixa pressão no interior dos mesmos. Este centro de baixa pressão, conhecido como “frente fria” é sempre acompanhado de fortes ventos, instabilidade e precipitação.

A Baixa do Chaco (BC) é um centro semi-estacionário de baixa pressão localizado no centro-oeste da Argentina e no sul da Bolívia (GRIMM *et al.*, 2000). Esta região, que representa uma depressão barométrica é causada pelo bloqueio do sistema de ventos do oeste produzido pela cordilheira dos Andes, associado ainda ao calor intenso das planícies de baixas altitudes (GRIMM *et al.*, 2000). Este

sistema é fraco durante o inverno e se torna mais intenso com a passagem das frentes frias (BARROS *et al.*, 2002).

Os dois sistemas anticiclônicos referidos alteram-se sazonalmente. O AAS predomina durante a primavera e o verão. Nesse período, os gradientes de pressão gerados entre ele e a BC ocasionam ventos dos quadrantes E-NE ao longo de toda a costa do RS. Durante o outono e o inverno, o AMP é mais ativo e conseqüentemente os ventos dos quadrantes S e SW, produzidos pela passagem de frentes frias, predominam nesse período (TOMAZELLI 1990).

O clima no RS é subtropical temperado (SEMC, 2002). A amplitude térmica anual é grande, a temperatura média anual varia entre 17°C e 19°C; enquanto as médias mensais mais baixas e mais altas variam entre 13°C e 24°C, em julho e janeiro, respectivamente (IBGE, 1986).

Embora o padrão de precipitação seja bem distribuído durante o ano, existem diferenças ao longo da costa RS. O litoral norte é mais quente e seco do que o litoral médio e sul (SEMC, 2002). No litoral norte do Rio Grande do Sul, os maiores gradientes de relevo são responsáveis pela intensificação da precipitação durante o verão. As escarpas da Serra Geral aumentam o contraste de temperatura entre o continente e o oceano e, associados com a brisa marítima, geram massas de ar quentes e úmidas, ocasionando precipitação orográfica naquela região. No litoral médio e sul, o pico de estação chuvosa ocorre durante o inverno, o que caracteriza essa região como clima típico de médias latitudes onde a precipitação se origina dos sistemas frontais muito ativos nessa época do ano (GRIMM *et al.* 1998). De forma geral, o Rio Grande do Sul caracteriza-se pela transição entre um regime de médias latitudes durante o inverno e por um regime de monções durante o verão. Esses dois regimes produzem uma variação sazonal na origem da precipitação devido as variações na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao longo do ano, ocasionando picos de precipitação em janeiro (na porção norte) e julho (na porção sul), respectivamente.

2.5. Condições Oceanográficas

2.5.1. O Regime de Marés

De acordo com a classificação proposta por Davies (1980) a costa do Rio Grande do Sul é submetida a um regime de micromarés. As marés astronômicas são de pequena amplitude e secundárias em relação às variações de nível provocadas pela ação de agentes meteorológicos (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1992). A tábua de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) revela marés astronômicas médias de 0,47 metros do tipo diurno, com amplitudes máximas de até 0,8 metros no outono e na primavera. Estas estações, denominadas de equinociais, registram as maiores variações do nível médio do mar devido a coincidência das marés astronômicas com as marés meteorológicas (CALLIARI *et al.*, 1997).

O efeito reduzido das marés na costa do Rio Grande do Sul deve-se a proximidade de um ponto anfidrômico ao sul do Chuí (CALLIARI, 1980; CALLIARI & KLEIN, 1993) e a uma configuração da linha de costa praticamente retilínea, aberta, sem reentrâncias e irregularidades que poderiam amplificar, por efeitos de ressonância ou convergência, a amplitude das marés (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1992).

Durante as tempestades, os ventos que sopram na direção da costa ou de sul para norte, deslocam até a praia grandes massas d'água, que associadas a migração dos centros de pressão, tornam-se responsáveis pela elevação do nível do mar na região costeira. Esta influência meteorológica associada a variação do nível do mar é denominada maré meteorológica. Este fenômeno quando associado a ventos de quadrante sul promove a elevação do nível do mar de até 2 metros, alterando consideravelmente a morfologia das praias (ALMEIDA *et al.*, 1997; CALLIARI *et al.*, 1998).

2.5.2. O Regime de Ondas

A região costeira do RS pode ser classificada como dominada pela ação das ondas. Sua configuração praticamente retilínea, sem reentrâncias e irregularidades maiores, lhe confere um caráter aberto e exposto diretamente à ação de ondas de energia média e elevada (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1992). Apesar disso, não

existe um estudo do clima de ondas no litoral do RS como um todo. Os trabalhos realizados abordam apenas certas regiões da costa, utilizando por base dados de fontes diversas.

Um estudo desenvolvido por Coli (1994) utilizou dados de altura e direção de ondas obtidos em navios de oportunidade, durante o período de 33 anos (entre 1946 e 1979), bem como dados altimétricos do satélite Topex/Poseidon (1993) indicou que as maiores alturas de ondas são verificadas durante o inverno. As ondas com direção de nordeste, leste e sudeste possuem maior ocorrência na primavera e no verão, enquanto que as de norte, oeste e sudoeste se amplificam no outono e no inverno. Os valores da altura média mais expressivo ao longo do ano foram registrados para a direção sudoeste, decrescendo para as direções sul, oeste e norte.

Strauch (1998) realizou medições com um ondógrafo fixado a 15m de profundidade na desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos. Os dados produzidos mostraram altura significativa média de 1m na direção 100° SE, correspondendo a ondulações e vagas com altura significativa média de 1,5 metros na direção 160° SE.

Cuchiara (2009) utilizou o modelo SWAN para caracterizar o clima de ondas na plataforma continental, especialmente na região da praia do Cassino, no período de 13 de maio a 25 de junho de 2005, através de um ondógrafo direcional, fixado a 25m da praia do Cassino. Os resultados referem que a direção predominante das ondas é entre 100° e 160° (E-SE), com alturas das ondas variando entre 1,0 e 1,5 metros. Ainda, a aplicação do modelo SWAN indicou que, em condições de vento sul (S), um espectro bimodal é observado devido à presença combinada de vagas e ondulação, enquanto com ventos de nordeste (NE) a forma do espectro indica a presença de apenas um pico.

2.5.3. O Regime de Correntes

As águas da margem continental do sul do Brasil são influenciadas pela Convergência Subtropical (CST). Esta convergência é formada pela Corrente do Brasil (CB) que flui para o sul, transportando águas relativamente quentes e de altas

salinidades e pela a Corrente das Malvinas (CM), que flui para o norte, transportando Águas Subantárticas de baixas temperaturas e salinidade. Na zona de contato entre essas duas correntes forma-se um sistema turbulento e, com o aumento da velocidade de deslocamento, pode proporcionar um maior transporte sedimentar sobre a plataforma. Lateralmente, a mistura e a diminuição de velocidade propiciam a deposição da carga sedimentar fina transportada em suspensão e por fluxo turbulento (AYUP-ZOUAIN, 1991).

A plataforma continental é dominada pelas correntes costeiras originadas na costa da Patagônia e pelas descargas do Rio de la Plata, que abrange uma área de aproximadamente 3.200.000 km² e representa a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul.

De acordo com Guerrero *et al.* (1996) são observados dois períodos com padrões distintos de descarga no estuário do Rio de la Plata. Durante o outono e o inverno, a descarga fluvial é máxima e os ventos continentais praticamente anulam os ventos marítimos. Conseqüentemente, a descarga fluvial é unicamente influenciada pela força de Coriolis, que direciona o fluxo para a esquerda ao longo da costa uruguaia. Durante a primavera e verão, ventos continentais são mais intensos e tendem a conter a descarga continental. Nesse caso, o transporte de Ekman empurra a água para sul ao longo da costa argentina, enquanto as águas de plataforma penetram a costa uruguaia. Os sistemas de correntes que atuam na plataforma podem influir no transporte sedimentar, assim como na modelagem e retrabalhamento das formas de relevo.

Segundo Soares & Moller (2001) o influxo de água fluvial, de baixa salinidade na plataforma continental sul brasileira é maior no outono, inverno e primavera, devido a descarga da Lagos dos Patos, que é maior no inverno e primavera, e aos ventos marítimos ao longo da plataforma continental Argentina, favorecendo o transporte da pluma do Rio de la Plata para o norte, durante o outono e inverno.

O transporte de água sobre a plataforma continental é, em grande parte, conseqüência do impacto das correntes do oceano aberto nas feições topográficas da plataforma, embora o regime de ventos também tenha um papel importante na circulação (GARCIA, 1997). Variações na velocidade da corrente, em escalas

temporais mais longas, obedecem aos padrões sazonais e a distribuição do regime de ventos ao longo da margem continental (LUEDEMANN 1978; PEREIRA, 1977), enquanto que as variações de curto prazo estão associadas às condições atmosféricas, resultado da passagem de frentes frias com intervalo de 2 a 10 dias (GARCIA, *op cit*).

Correntes geradas por ventos e ondas associadas a passagem de sistemas frontais são agentes eficazes na erosão de sedimentos lamíticos e no seu transporte. Figueiredo (1980) estudando correntes a 13 e 21 m de profundidade na plataforma continental do Rio Grande do Sul, próximo ao Farol do Albardão, demonstrou que durante a passagem de uma frente fria, velocidades de corrente medidas a 2m do fundo, aumentaram de 3 cm/s para 62 cm/s em poucas horas. Ainda, Calliari & Fachin (1993) através de dados correntométricos obtidos com a passagem de um sistema frontal de média intensidade (vento de 28 nós), nas proximidades dos depósitos lamíticos, demonstraram que os valores de velocidades de correntes medidos a 3m do fundo, podem atingir 30 cm/s.

Dentre os fluxos costeiros, as correntes longitudinais geradas na zona de surfe pelo vento e pela arrebentação das ondas são o principal agente de transporte lateral de sedimentos e, por conseqüência, o concorrente mais importante para as transformações morfológicas das praias e dos ambientes litorâneos nesta região (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1992).

Na zona antes da arrebentação nas praias do sul da embocadura da Lagoa dos Patos as correntes litorâneas superficiais respondem prontamente às mudanças de direção do vento. As correntes geradas por ventos, principalmente de nordeste, são responsáveis pelo transporte de sedimentos finos em suspensão em direção ao sul, devido a sua maior freqüência e menor energia, enquanto que as correntes induzidas pela incidência oblíqua de ondas na costa, seriam mais eficientes no transporte de fundo, em direção ao norte (CALLIARI & FACHIN, 1993).

3. METODOLOGIA

3.1. Precipitação

Os dados mensais de precipitação pluviométrica para o período de janeiro de 1968 a dezembro de 2008 foram obtidos do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb)² na página da internet da Agência Nacional de Águas.

No início da década de 70, com o propósito de melhorar o conhecimento e adaptar a sua estrutura para atender à área hidrológica, o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), órgão já extinto e substituído pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), firmou um Acordo de Cooperação Técnica com o U.S. Geological Survey – Water Resources Division, através do Programa da USAID (Agency For International Development).

Num trabalho conjunto entre os técnicos brasileiros e americanos, foi criado o Sistema de Informações Hidrológicas (SIH) possibilitando o tratamento informatizado dos dados hidrológicos. Em fevereiro de 1972 foi instituído o “Projeto Hidrologia”, cujo um dos trabalhos iniciais foi a divisão do território nacional em oito grandes bacias ou regiões hidrográficas e, cada uma delas subdividida em dez sub-bacias, objetivando, principalmente, a codificação das estações fluviométricas (IBIAPINA *et al.*, 1999).

As oito grandes bacias hidrográficas brasileiras foram codificadas e identificadas da seguinte forma: Bacia 1 – Bacia do rio Amazonas; Bacia 2 – Bacia do rio Tocantins; Bacia 3 – Bacia do Atlântico, Trecho Norte/Nordeste; Bacia 4 – Bacia do rio São Francisco; Bacia 5 – Bacia do Atlântico, Trecho Leste; Bacia 6 – Bacia do rio Paraná; Bacia 7 – Bacia do rio Uruguai e Bacia 8 – Bacia do Atlântico, Trecho Sudeste. Por extensão, atribui-se a denominação de Bacia 9 à área de

² <http://hidroweb.ana.gov.br/>

drenagem de qualquer bacia hidrográfica da América do Sul que não tenha interferência na rede brasileira.

Com a criação da Agência Nacional de Águas (ANA), a mesma assumiu a responsabilidade pela administração da rede hidrométrica nacional. A ANEEL, em 01 de janeiro de 2002, efetuou a transferência das atribuições do planejamento e operação da rede nacional para a ANA, repassando toda a infra-estrutura associada à mesma. Atualmente, a ANA opera a rede hidrométrica nacional seguindo a classificação de bacias hidrográficas adotada pelo DNAEE/ANEEL.

Dessa forma, utilizou-se nesse trabalho a delimitação nível 2 proposta pelo DNAEE, cujos limites podem ser encontrados em formato digital *shapefile* no Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL)³.

Foram selecionadas 15 estações de coleta de dados ao longo das quatro bacias (Nível 2, DNAEE) que influenciam direta ou indiretamente no volume de água na Lagoa dos Patos. As características de cada ponto de coleta pode ser observado no Quadro 01.

A análise da qualidade e da homogeneidade dos dados de precipitação foi realizada, de maneira simples, através da inspeção visual de gráficos com valores mensais de precipitação pluvial e da comparação com estações vizinhas.

A seleção das estações a serem utilizadas levou em consideração o período da série histórica de cada estação além de um período mínimo de falha de dados. A localização das estações selecionadas após essa análise pode ser visualizada na Figura 08.

Os dados de precipitação mensal total de cada uma das 15 estações de coleta foram agrupados e calculou-se a média mensal para o período de 40 anos de dados ao longo das quatro bacias analisadas. Com base nesses dados, foi possível obter a mínima, a média, a máxima e o desvio padrão anual de todas as estações, assim como para cada uma das bacias. Para uma melhor compreensão e visualização, os resultados obtidos foram plotados em gráficos (Figuras 09, 10 e 11).

³ <http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>

Bacia do Rio Camaquã, Jacuí e Lagoa dos Patos				
Nome da Estação	Sub-Bacia	Rio	Município	Operadora
Camaquã	Lagoa dos Patos	Lagoa dos Patos	Camaquã	CPRM
Granja São Pedro	Lagoa Mirim	Canal de São Gonçalo	Pelotas	CPRM
Nova Palmira	Lagoa dos Patos	Rio Caí	Caxias do Sul	CPRM
Passo do Caçõ	Lagoa dos Patos	-----	Bagé	Desativada
Porto Alegre	Lagoa dos Patos	Lagoa dos Patos	Porto Alegre	INMET
Santo Antônio da Patrulha	Lagoa dos Patos	-----	Santo Antônio da Patrulha	CPRM
Bacia do Rio Jacuí				
Nome da Estação	Sub-Bacia	Rio	Município	Operadora
Pantão Grande	Rio Jacuí	Rio Jacuí	Rio Pardo	CPRM
São Gabriel	Rio Jacuí	Rio Vacacaí	São Gabriel	CPRM
Santa Clara do Ingarai	Rio Jacuí	Rio Ingai	Cruz Alta	CPRM
Bacia do Rio Jaguarão e Lagoa Mirim				
Nome da Estação	Sub-Bacia	Rio	Município	Operadora
Arroio Grande	Lagoa Mirim	Arroio Grande	Arroio Grande	CPRM
Estação Experimental de Piratini	Lagoa Mirim	-----	Piratini	CPRM
Pedras Altas	Lagoa Mirim	Arroio Basílio	Pinheiro Machado	CPRM
Bacia do Rio Taquari				
Nome da Estação	Sub-Bacia	Rio	Município	Operadora
Deodoro	Rio Taquari	Rio Taquari	Venâncio Aires	CPRM
Passo Migliavaca	Rio Taquari	Rio Carreiro	Casca	CPRM
Passo Tainhas	Rio Taquari	Rio Tainhas	São Francisco de Paula	CPRM

Quadro 01: Informações das 15 estações pluviométricas utilizadas no presente estudo.

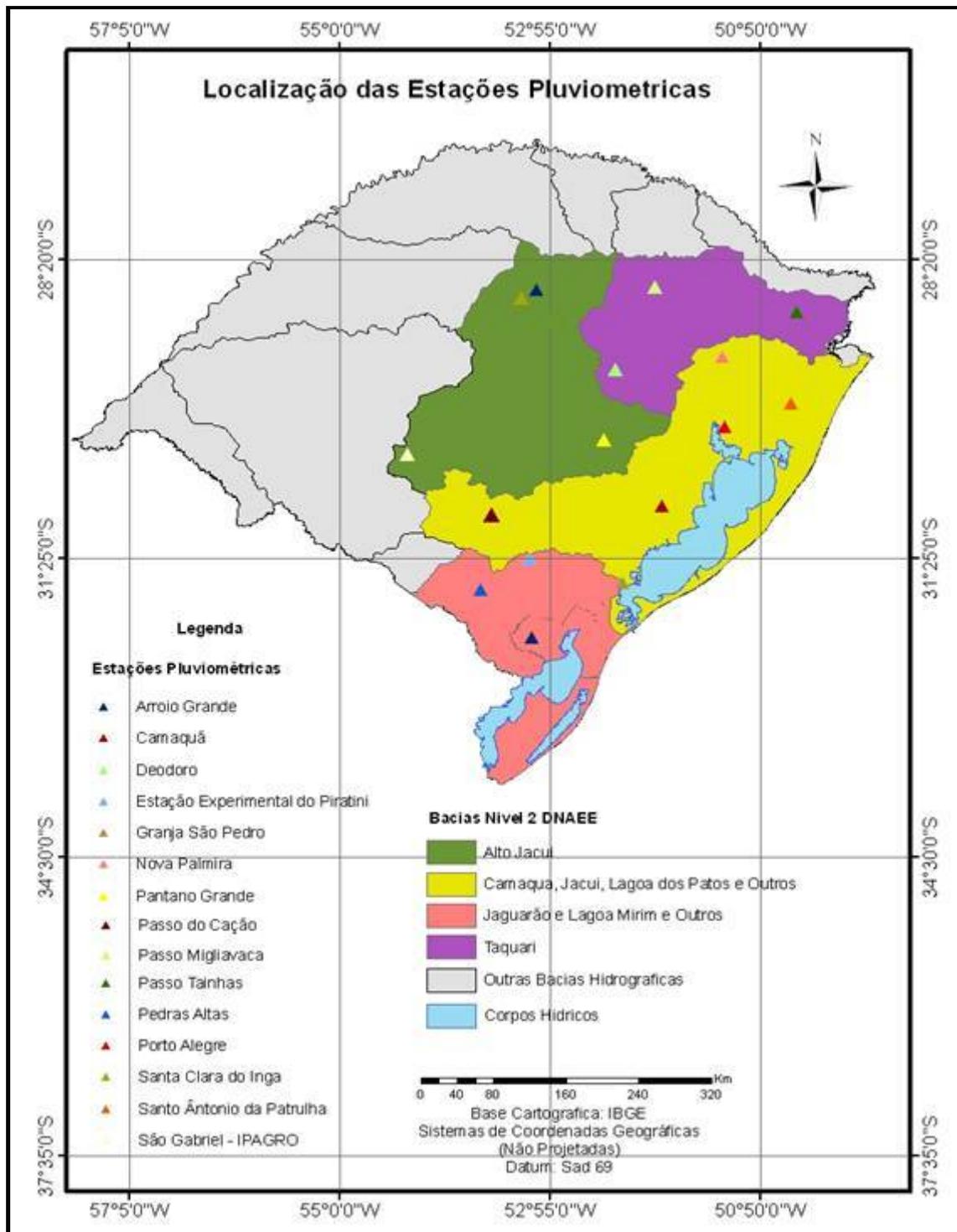


Figura 08: Mapa de localização das estações pluviométricas.

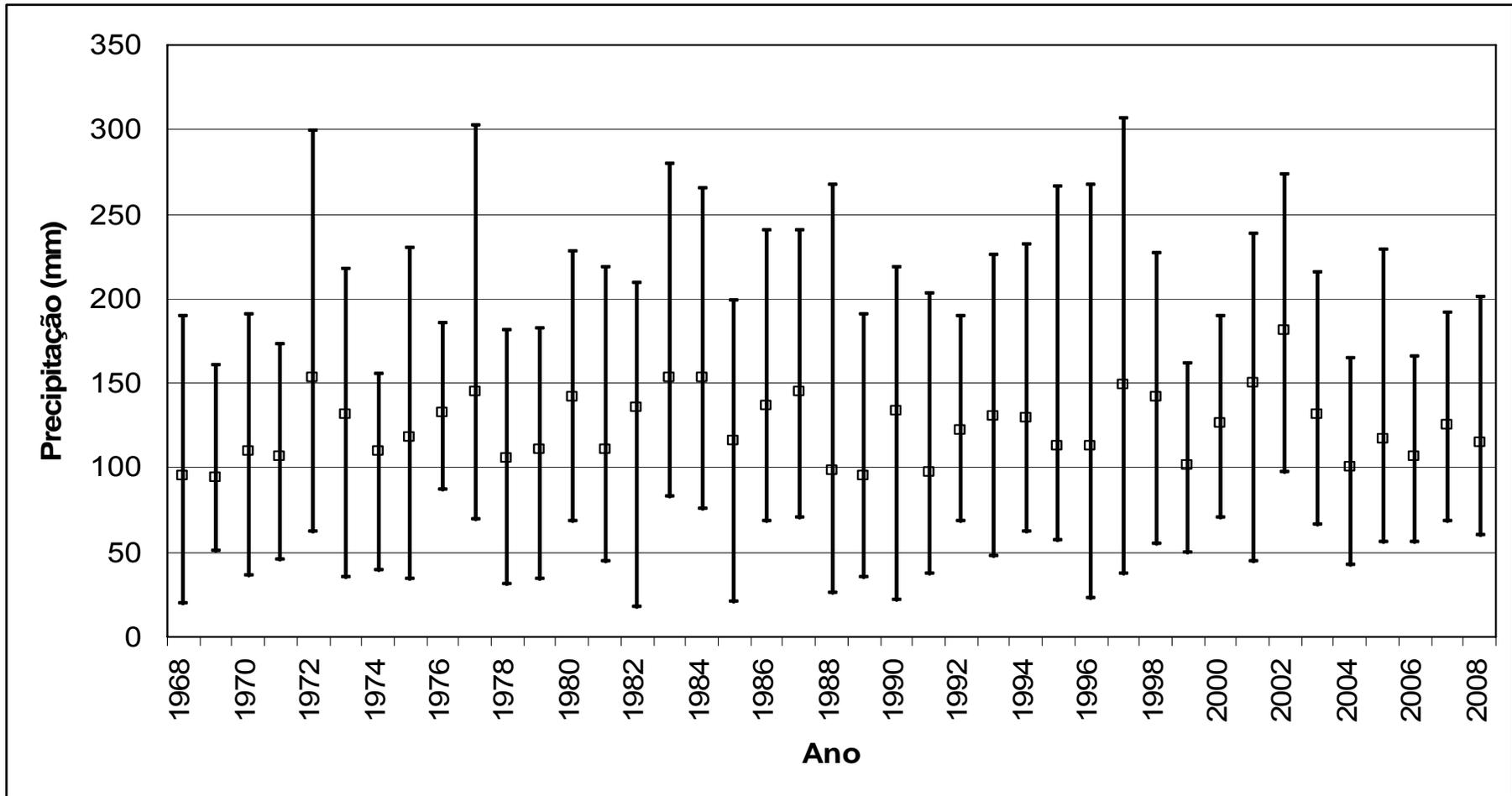


Figura 09: Precipitação anual mínima, média e máxima registradas para as 15 estações pluviométricas no período de 1968 a 2008.

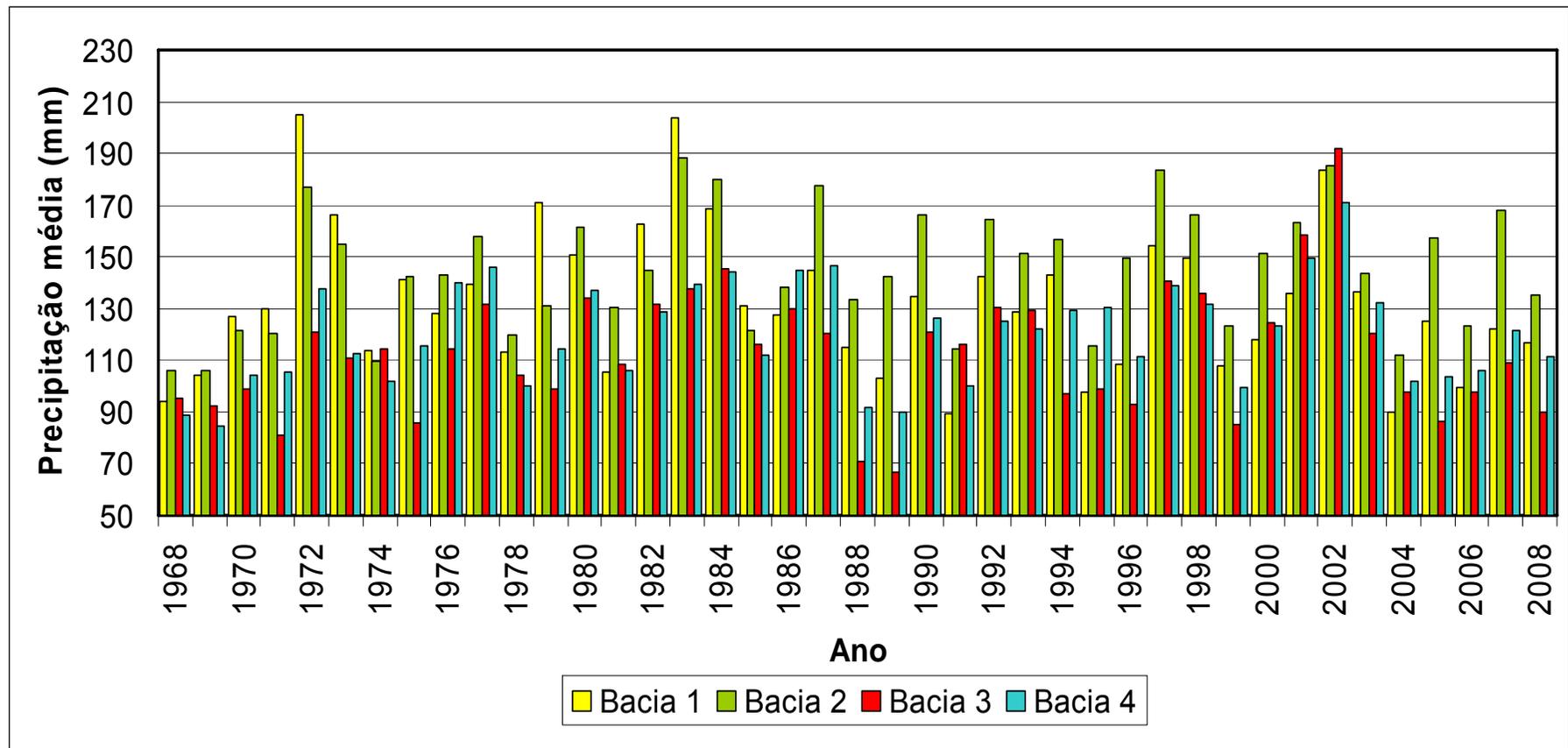


Figura 10: Precipitação média anual no período de 1968 a 2008 para as quatro bacias de drenagem analisadas. Bacia 1 (bacia do rio Jacuí), bacia 2 (bacia do rio Taquari), bacia 3 (bacia do rio Jaguarão) e bacia 4 (bacia do rio Camaquã).

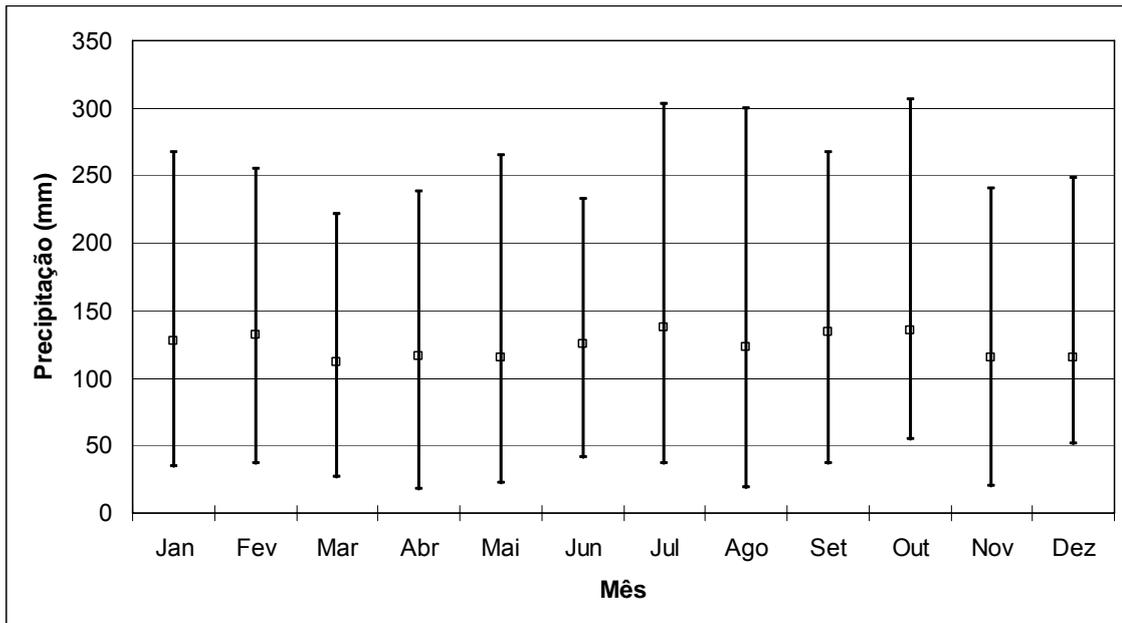


Figura 11: Precipitação mensal (mm) mínima, média e máxima para o período de 1968 a 2008 ao longo das 15 estações pluviométricas analisadas.

Com a finalidade de comparar os dados de precipitação com os eventos de El Niño e La Niña e a ocorrência de depósitos de lama na praia do Cassino as séries mensais de precipitação no período de 1968 a 2008 foram ordenadas e subdivididas de acordo com o desvio padrão mensal, em três categorias de precipitação: abaixo da normal, dentro da normal e acima da normal.

3.2. Eventos do El Niño e La Niña

Registros históricos de eventos do El Niño e La Niña foram obtidos através do Climate Prediction Center (CPC) do National Weather Service da NOAA⁴. O CPC considera “anomalias na temperatura superficial do mar” na região do El Niño 3.4 (5°N - 5°S, 120°-170°W), variações de temperatura entre +/- 0,5 °C, durante no mínimo cinco meses consecutivos para os registros históricos. O Quadro 02 mostra o início, o término e o fim das anomalias de temperatura superficial do mar no Oceano Pacífico, de acordo com a definição proposta pelo CPC.

⁴http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

Para cada ano foram calculadas a temperatura superficial do mar mínima, média, máxima e desvio padrão. Para uma melhor compreensão e visualização, os resultados foram representados graficamente (Figura 12).

Além disso, para cada um dos meses do ano, no período de 1968 a 2008, foram construídas tabelas de contingência 3x3, de modo a relacionar os três eventos de temperatura superficial do mar no Pacífico (El Niño, Normal e La Niña) com os eventos de precipitação (abaixo, quase e acima da normal).

Eventos El Niño				Eventos La Niña		
Início	Fim	Duração		Início	Fim	Duração
Nov/68	Jun/69	8		Jan/68	Abr/68	3
Set/69	Jan/70	5		Jul/70	Jan/72	19
Mai/72	Mar/73	11		Mai/73	Mai/76	37
Set/76	Fev/77	6		Out/84	Set/85	12
Set/77	Jan/78	5		Mai/88	Mai/89	13
Mai/82	Jun/83	14		Set/95	Mar/96	7
Ago/86	Fev/88	19		Jul/98	Jun/00	24
Mai/91	Jul/92	15		Out/00	Fev/01	5
Mai/94	Mar/95	11		Set/07	Mai/08	9
Mai/97	Mai/98	13				
Mai/02	Mar/03	11				
Jun/04	Fev/05	9				
Ago/06	Jan/07	6				

Quadro 02: Início, fim e duração (em meses) dos eventos El Niño e La Niña após 1968, definidos como as anomalias de TSM na região Niño 3.4, excedendo +/- 0,5°C durante no mínimo cinco meses consecutivos.

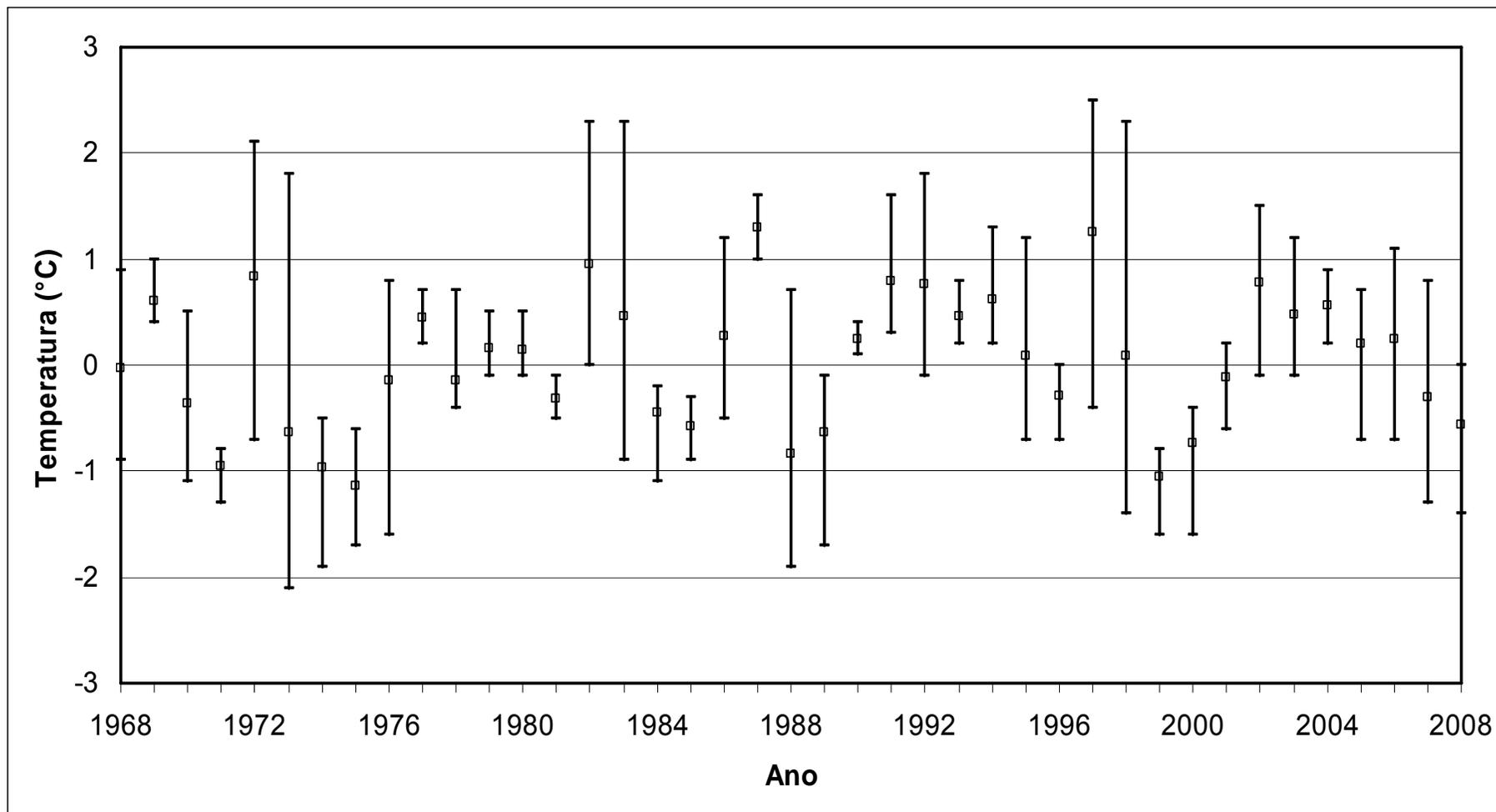


Figura 12: Temperatura anual (°C) mínima, média e máxima para o período de 1968 a 2008 na região Niño 3.4.

3.3. Argilominerais

3.3.1. Amostragem

Para o desenvolvimento desse trabalho foram reunidas amostras previamente coletadas e armazenadas no Laboratório de Oceanografia Geológica do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (LOG-IO-FURG) e da Litoteca do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECO-IG-UFRGS). Os procedimentos de coleta e amostragem encontram-se detalhados nos trabalhos de Martins *et al.* (1978), Antiquiera (2003), Calliari *et al.*, (2005) e Goulart (2007).

Além disso, foram coletadas 3 amostras dos “depósitos de lama” expostos na praia do Cassino no dia 6 de agosto de 2009. As condições de deposição de lama na praia no dia da coleta podem ser observadas na Figura 13. O mapa que expressa a localização de todas as amostras pode ser visualizado na Figura 14.

3.3.2. Procedimentos de laboratório

No Laboratório de Sedimentologia do CECO-IG-UFRGS, as amostras foram lavadas diversas vezes com água destilada para uma completa dessalinização e, posteriormente secas à temperaturas inferiores a 61°C, para que os argilominerais não perdessem a água de sua estrutura. Em seguida, tais amostras foram desagregadas em almofariz de porcelana e pistilo com ponta de borracha.

Aproximadamente 5g de sedimento foram separadas e colocadas em um copo de 250 ml, com água destilada. Usando um bastão de vidro, com ponta de borracha, homogeneizou-se a amostra, deixando-a sedimentar. Em caso de floculação, utilizou-se defloculante tipo hexametáfosfato de sódio 34,5g/l ou carbonato de sódio 7,94 g/l, na concentração de 10 ml/l. Logo após a amostra foi agitada e colocada em uma cuba de ultra-som por 5 minutos. O copo com a suspensão foi retirado e agitado novamente com bastão de vidro, deixando em repouso por 2h30min. Após este intervalo, retirou-se os 3 cm superiores, utilizando-se um sifão com ponta virada em forma de anzol e, assim, foi coletada a fração < 2µm. Em seguida, esta suspensão foi centrifugada a 5000 rpm durante 30min. A pasta resultante deste último procedimento foi então diluída em volume de 5 a 10ml

de água destilada, sendo posteriormente pipetada e depositada em lâmina de vidro, secando de 24 a 48hs.



Figura 13: Ilustração dos depósitos de Lama na praia do Cassino no dia 6 de agosto de 2009. Na fotografia superior é observada a presença de “bolas” de lama, enquanto que nas fotografias inferiores são visíveis depósitos tabulares e colunares de baixo porte.

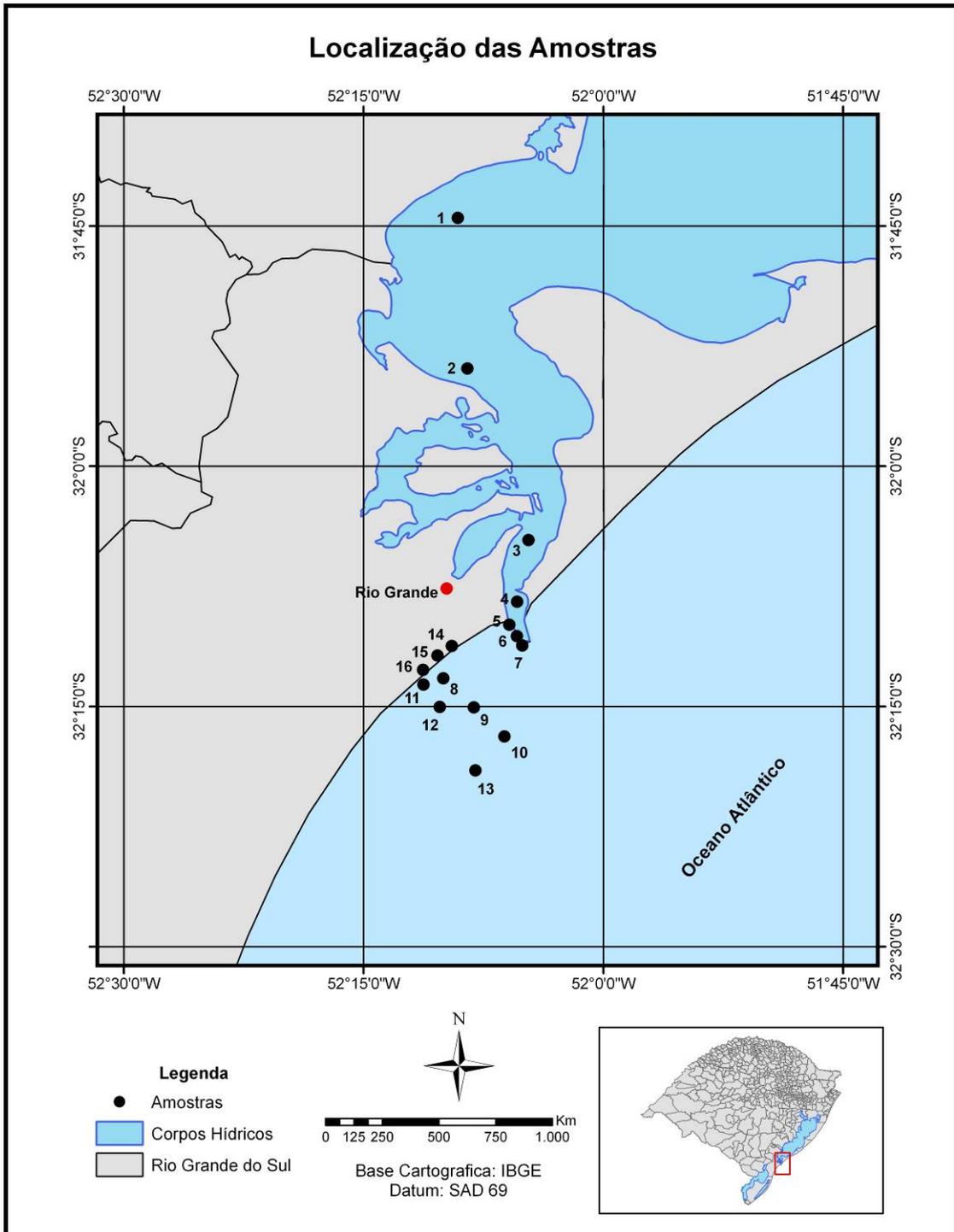


Figura 14: Mapa de localização das amostras de sedimento superficial coletadas na área de estudo.

Assim, esse processo permitiu a obtenção da fração menor 2 μ m orientada. Desta forma, privilegia-se as faces 00l para a identificação de argilominerais. Esta amostra representa a denominada amostra *orientada natural*.

Considerando somente os minerais simples, o pico de maior intensidade de cada fase (referentes à direção 00l), bem como os picos secundários, são representados os resultados no Quadro 02. A análise do quadro revela que muitas vezes não é possível determinar com segurança o argilomineral presente utilizando-se apenas a reflexão principal. Nestes casos, são utilizados procedimentos de glicolagem e calcinação.

Argilominerais	001		002		003		004	
	D	I	d	I	d	I	d	I
Caolinitas	7,1	100	3,57	100	2,38	60	1,79	40
Ilitas	10,1	100	5,04	40	3,36	100	--	--
Esmectitas	15,0	100	--	--	5,00	30	--	--
Vermiculitas	14,3	100	7,18	10	4,78	15	3,58	30
Cloritas	14,1	80	7,05	100	4,72	60	3,54	10

Quadro 03: Valores característicos de algumas reflexões 001 dos principais membros dos argilominerais simples (d= espaçamento interplanar em Å; I= intensidade relativa). Modificado de Formoso 1980.

A amostra *glicolada (G)* foi elaborada através da saturação da amostra *orientada natural (N)* com etileno glicol para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos. Em seguida, realizou-se o ensaio de difração de raios-X, varrendo de 2 a 32° (escala 2 θ). Após a análise por difração, verificou-se o deslocamento dos picos em relação ao ensaio anterior (natural).

O procedimento de glicolagem baseia-se na capacidade de alguns argilominerais admitirem em sua estrutura ligações com alcoóis e, estes por sua vez, com a água. Desta forma, aumenta-se a distância interplanar referente à direção 00l. Como exemplo prático, tem-se o pico principal da esmectita, que passa de 12 ou 14 Å para aproximadamente 17 Å, sendo possível diferenciá-la da vermiculita, que mantém o pico em 14 Å.

Na calcinação, as lâminas foram colocadas em um forno de mufla e submetidas a um aquecimento de 550°C por 2 horas. Em seguida, procedeu-se o ensaio de difração de raios X, varrendo de 2 a 32° (escala 2θ). Como resultado, verificou-se um deslocamento dos picos em relação aos ensaios sob a forma natural e glicolada.

Neste caso, se buscou eliminar as moléculas de água adsorvidas nos argilominerais, ocasionando a redução da distância interplanar referentes à direção 00l. Como exemplo prático, novamente tem-se o pico principal da esmectita, que se desloca para 10 Å. O mesmo ocorre com o pico da vermiculita. O Quadro 04 mostra os valores dos picos de alguns argilominerais quando analisados sob a forma natural, glicolada e calcinada.

Argilominerais	Distância Interplanar (Å)										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Caolinita	N/G										
Illitas				N/G/C							
Cloritas								N/G/C			
Vermiculitas				C				N/G			
Esmectitas				C		N	N	N	N		G
Sepiolota						N/G/C	N/G/C				

Quadro 04: Valores das principais distâncias interplanares dos argilominerais em função dos tratamentos auxiliares (N= natural G= glicolada C= calcinada). Fonte: Modificado de Formoso 1980.

A preparação das lâminas das amostras de sedimento e a difratometria de raio-X foram realizadas no Laboratório de Difração de raio-x do Centro do IG-UFRGS através de um difratômetro SIEMENS - D5000 com goniômetro θ-θ, com radiação Kα em tubo de Cobre, nas condições de 40kV e 25mA.

Os minerais identificados, na análise total, foram comparados com padrões do banco de dados do computador (JCPDS) e indicado/referenciado sobre o pico mais importante de diagnóstico do mineral. As análises foram interpretadas através do programa DIFFRAC^{PLUS}, onde os picos são indexados no difratograma. Os difratogramas das amostras analisadas podem ser visualizados no ANEXO B.

3.3.3. Processamento dos dados

Os resultados obtidos, juntamente com os resultados das análises dos argilominerais coletados na Operação GEOMAR IV (GAMBÔA *et al.*, 1973), foram plotados em mapas de distribuição no *software* ArcGis 9.3 e interpolados pelo método de Inverso do Quadrado da Distância (IDW). O mapa com a localização das amostras da operação GEOMAR IV pode ser visualizado na Figura 15.

Além disso, foram construídos diagramas ternários no *software* GCDKit 2.3, onde cada extremidade do triângulo representa 100% de concentração de esmectita, ilita e caolinita.

3.3.4. Tratamento Estatístico

3.3.4.1. ANOVA

A aplicação de análises paramétricas exige que as amostras sejam aleatórias e independentes, que os dados sejam extraídos de populações normais, as quais devem ter variâncias iguais, ou seja, devem ser homocedásticas. E, para tanto, os dados não podem ser representados em porcentagens. Como os dados resultantes da análise de difratometria de raio-X foram obtidos a partir de estimativas semi-quantitativas, em percentuais, foi necessário realizar uma transformação de modo a verificar se os mesmos obedecem às condições necessárias para que a análise paramétrica fosse realizada.

A transformação dos dados em percentuais se baseou na transformação através do arcoseno, que é dada pela fórmula:

$$p' = \text{arcoseno } \sqrt{p}, \quad (\text{Equação 1})$$

Dessa forma, com os dados transformados, a normalidade e a homoscedaticidade da população pode ser verificada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, com intervalo de confiança de 95%. O resultado obtido demonstra que os dados apresentavam as condições necessárias e a análise paramétrica pôde então ser realizada.

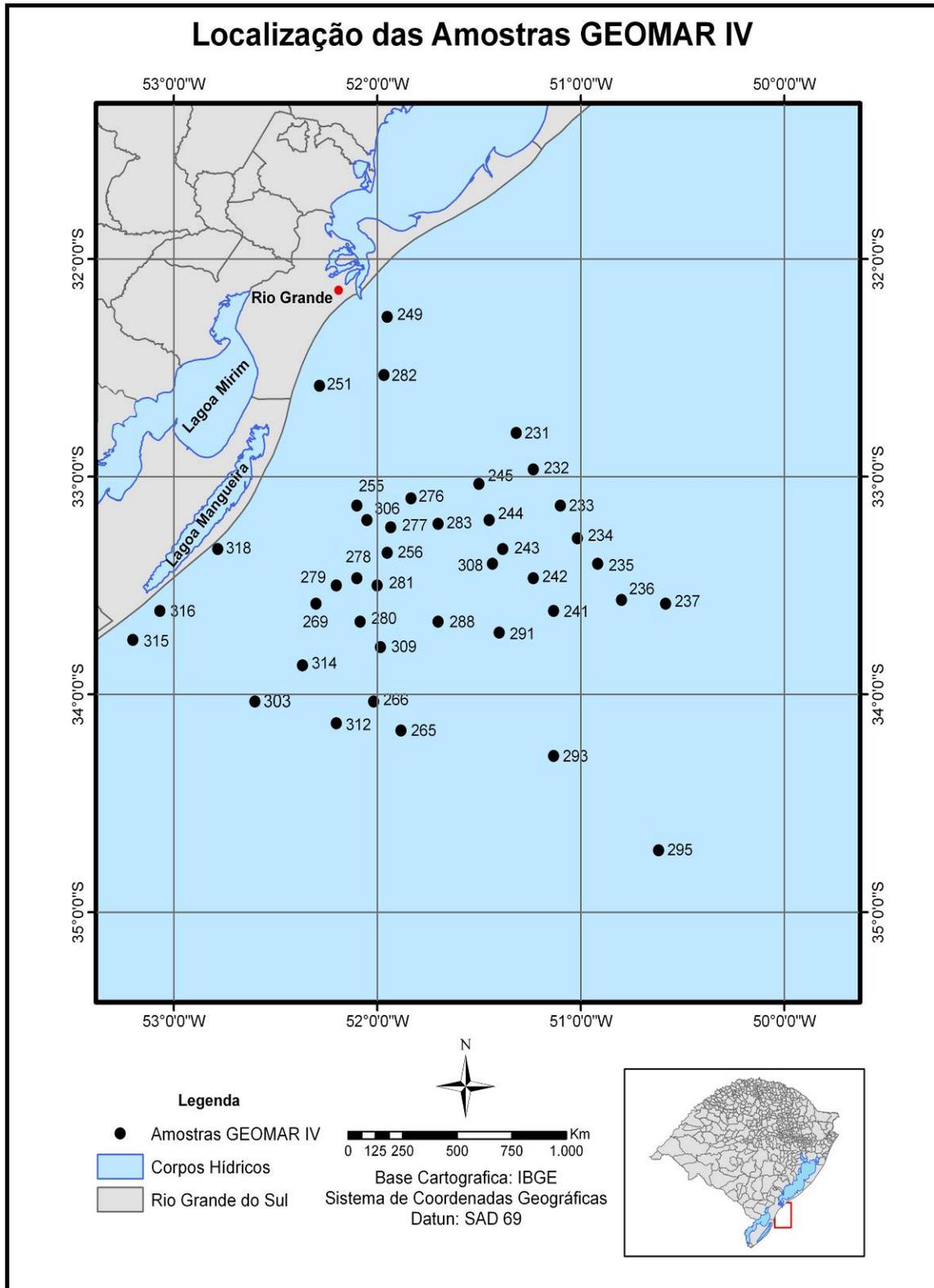


Figura 15: Mapa de localização das amostras de sedimento superficial da Operação GEOMAR IV. Modificado de Gambôa *et al.*, 1973.

Com o objetivo de verificar a ocorrência de variações estatísticas significativas entre as amostras de argilominerais da Lagoa dos Patos, da plataforma continental e da praia do Cassino, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) de classificação única.

O ANOVA é um método frequentemente utilizado para testar a igualdade de três ou mais médias populacionais, através da análise das variâncias amostrais. Trata-se de um método estatístico desenvolvido por Fisher (1946), que, por meio de teste de igualdade de médias, verifica se fatores (variáveis independentes) produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse (variável dependente). O modelo de classificação única ou experimento com um fator utiliza uma única propriedade ou característica, a qual permite distinguir as diferentes populações.

A análise de variância leva em consideração que quando medidas de uma variável são obtidas de várias amostras (grupos ou tratamentos), a hipótese nula passa a ser $H_0 : x_1 = x_2 = x_3 = \dots = x_n$.

Se a hipótese nula é verdadeira, com um grande valor de p (maior que 0,05), então a variância dentro dos grupos é igual à variância entre grupos e, ambas são uma estimativa da variância comum a todas as populações, daí o nome "análise de variância".

A variância dentro de grupos, denominada de quadrado médio de resíduo (QMR) ou "*error mean square*", é a soma das médias dos quadrados dos desvios das populações dividida pela soma dos graus de liberdade.

$$QMR = \frac{\sum_{i=1}^k \left[\sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \right]}{\sum_{i=1}^k (n_i - 1)} \quad (\text{Equação 2})$$

A variância entre grupos, denominada quadrado médio de tratamentos (QMT) ou "groups mean square" é calculada como:

$$QMT = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{k - 1} \quad (\text{Equação 3})$$

onde k é o número de amostras e n é o número de casos por amostra.

As fórmulas utilizadas para a análise de variância de um único fator podem ser observadas na Quadro 05.

Variação	Soma dos quadrados (SS)	Graus de liberdade (DF)	Quadrados médios (MS)
Total ($X_{ij} - \bar{X}$)	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}^2 - C$	$N - 1$	
Grupos (entre grupos) ($\bar{X}_i - \bar{X}$)	$\sum_{i=1}^k \frac{\left(\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}\right)^2}{n_i} - C$	$k - 1$	SS grupos / DF grupos
Erro (dentro de grupos) ($X_{ij} - \bar{X}_i$)	SS total - SS grupos	DF total - DF grupos ($N - k$)	SS erro / DF erro

$$C = \frac{\left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}\right)^2}{N}$$

N= número total de casos
 n_i = número de casos no grupo i

Quadro 05: Fórmulas para os cálculos de ANOVA de um único fator.

A ANOVA permite afirmar que, ao nível de 5% de significância, existe pelo menos uma média de tratamentos diferentes, assim nos casos em que a análise de variância mostrou que existe diferença estatística entre os grupos amostrais, ou seja, a hipótese H_0 foi rejeitada. Assim, torna-se necessário uma análise de comparação para avaliar quais são as médias diferentes. Neste caso, o teste de comparação utilizado foi o Teste de Tukey, o qual é muito utilizado em trabalhos de experimentação, devido ao seu caráter rigoroso e de fácil utilização.

O teste de Tukey tem como base a diferença mínima significativa (DMS), representada no geral por Δ e calculada da seguinte forma:

$$\Delta (\alpha) = q\alpha \sqrt{QM Re \frac{s}{r}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$q\Delta$ = é o valor da amplitude estudentizada, cujo valor é encontrado em tabelas, em função do número de tratamentos e do número de grau de liberdade do resíduo, ao nível α de probabilidade (em geral 5%); s = é a estimativa do desvio padrão residual (erro experimental); e r = número de repetições.

3.3.4.2. Análise Multivariada

De modo a caracterizar os resultados obtidos a partir da análise por difratometria de raio-X da fração menor que 2 μm , foi aplicada a análise estatística multivariada. Esse método permite observar objetivamente mudanças que ocorrem entre as variáveis e as amostras, de forma simultânea.

A análise multivariada é uma ferramenta extremamente eficaz que permite a interpretação de uma base de dados grande número de variáveis por meio de tratamento estatístico e, ainda, permite considerar simultaneamente a variabilidade existente nas diversas propriedades medidas. Os métodos que usam este tipo de análise levam a resultados como: a redução do número de variáveis da base de dados; a identificação de grupos de variáveis ou amostras similares e a identificação das relações entre as variáveis. Entre os métodos mais utilizados em Geociências destacam-se a análise de agrupamentos, a análise fatorial e a análise discriminante (AYUP-ZOUAIN, *et al.*, 1994).

3.3.4.2.1. Análise de agrupamento

A análise de agrupamento (*cluster analysis*) é uma técnica estatística multivariada que utiliza a similaridade entre indivíduos para classificá-los hierarquicamente em grupos, mais ou menos homogêneos, considerando-se simultaneamente todas as variáveis para cada indivíduo (AYUP-ZOUAIN, 1991).

Na análise de agrupamento, a similaridade entre duas amostras pode ser expressa como uma função da distância entre os dois pontos representativos destas amostras no espaço n-dimensional. A maneira mais usual de calcular a distância entre dois pontos *i* e *j* no espaço n-dimensional é conhecida por distância euclidiana (MORGANO *et al.*, 1999; LANDIM, 2000) e é dada por:

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Equação 5})$$

Segundo Morgano *et al.* (op. cit), no método de análise de agrupamento, as distâncias entre todas as amostras ou variáveis são calculadas e comparadas. Como as distâncias reais entre as amostras ou variáveis mudam com o tipo e o tamanho do conjunto de dados, é necessário transformá-las numa escala de similaridade que é calculada segundo a equação 6:

$$S_{ab} = 1 - (d_{ab}/d_{\max}) \quad (\text{Equação 6})$$

onde: S_{ab} é a similaridade entre as amostras ou variáveis *a* e *b*, d_{ab} é a distância entre as mesmas e d_{\max} é a maior distância entre todas as amostras ou variáveis.

Logo, a escala varia de um (amostras ou variáveis semelhantes) a zero (amostras sem similaridade). Após o cálculo das distâncias, as duas amostras ou variáveis mais próximas são conectadas, formando um agrupamento. Este processo é repetido até que todas as amostras ou variáveis sejam conectadas formando grupos. Uma vez que as amostras são conectadas pelas proximidades entre elas, é necessário definir o método de agrupamento entre uma amostra ou uma variável e um grupo ou entre grupos de amostras ou variáveis. A estrutura de agrupamento utilizada nesta análise foi o método da distância média (UPGMA), no qual é utilizada a média das distâncias entre todos os pares de variáveis para formação de cada grupo. Os procedimentos hierárquicos resultaram em um dendrograma ilustrativo da semelhança apresentada pelas amostras nos agrupamentos.

3.3.4.2.2. Componentes Principais (ACP)

Geralmente, este método de análise tem sido aplicados sobre dados de análises granulométricas para caracterizar os componentes principais que definem a relação de um conjunto de dados. Um dos primeiros trabalhos na aplicação de ACP na área da sedimentologia foi desenvolvido por Davies (1970), baseado em dados da Baía de Barataria, Lousiana, caracterizando as areias finas e muito finas como as componentes principais nas diferentes fácies texturais dos sedimentos superficiais de fundo da área analisado por tal autor.

A análise de componentes principais constitui a base fundamental da maioria dos métodos modernos para tratamento de dados multivariados (LANDIM, 2000). E, em resumo, consiste numa transformação da matriz de dados com o objetivo de representar as variáveis presentes em muitas variáveis através de um número menor de “fatores”. Esse método torna possível a construção de um novo sistema de eixos (denominados de componentes principais, fatores ou, ainda, autovetores) para representar as amostras, no qual a natureza multivariada dos dados pode ser visualizada em poucas dimensões. Estas novas variáveis são obtidas em ordem decrescente de quantidade de informação estatística que descrevem, ou seja, a primeira componente principal aponta a direção de maior variação de dados, a segunda, ortogonal a primeira, aponta outra direção que descreve a maior variação restante dos dados e, assim sucessivamente (MORGANO *et al.*, 1999).

O método ACP está baseado na correlação entre as variáveis, agrupando aquelas que estão altamente correlacionadas. Este método inicia com o cálculo dos autovalores e dos correspondentes autovetores de uma matriz de correlação entre as variáveis.

Se A for a matriz de covariâncias ou de correlação e A^T a matriz transposta, de dimensões $p \times p$, com termos a_{ij} , os autovalores (λ_i) e autovetores (v_i) serão extraídos pelas equações 7 e 8:

$$\det (AA^T - \lambda_i I) = 0 \quad (\text{Equação 7})$$

$$(AA^T - \lambda_i I) v_i = 0 \quad (\text{Equação 8})$$

onde:

I = a matriz identidade;

v_i = o autovetor correspondente ao autovalor λ_i .

A solução da equação 7 resulta nos autovalores λ_i da matriz. A soma dos autovalores da matriz representa a variabilidade total da mesma e a contribuição de cada autovalor em termo de variabilidade é, assim, determinada. O primeiro autovalor encontrado corresponde à maior porcentagem da variabilidade total existente, o segundo, a maior variabilidade possível restante e, assim por diante.

Encontrados os autovalores e substituindo-os na equação 8 obtêm-se os autovetores correspondentes a cada autovalor, ou seja, as componentes principais. Os autovetores correspondem às componentes principais e são o resultado do carregamento (*loadings*) das variáveis originais, em cada um deles. Tais carregamentos podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável em relação às componentes principais e os respectivos sinais, positivos ou negativos, indicam, respectivamente, relações diretamente ou inversamente proporcionais.

A matriz de carregamentos (*loadings*) de cada variável nas componentes principais ao ser multiplicada pela matriz de dados fornecerá a matriz de contagem (*scores*) de cada caso, em relação às componentes principais (MORGANO *et al.*, 1999; LANDIM, 2000). Usando a notação matricial, as componentes principais são obtidas por meio de transformações lineares conforme a equação 9:

$$AP = T \quad (\text{Equação 9})$$

em que A é a matriz de covariâncias ou de correlações, AT a matriz transposta e P é a matriz dos carregamentos (*loadings*), onde os elementos de cada coluna correspondem aos coeficientes das combinações lineares das variáveis originais, e T é a matriz de contagem (*scores*), que contém as coordenadas das amostras no novo sistema de eixos. Logo, esses valores podem ser dispostos num diagrama de dispersão, em que os eixos são as duas componentes principais mais importantes, e mostram o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas

Este método permite a redução da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras, pois embora a informação estatística presente nas n -variáveis originais seja a mesma dos n -componentes principais, é comum obter em apenas 2 ou 3 das primeiras componentes principais mais do que 90% desta informação.

4. INFLUÊNCIA POTENCIAL DOS EVENTOS DE EL NIÑO E LA NIÑA NO FENÔMENO DE DEPOSIÇÃO DE LAMA NA PRAIA DO CASSINO

As características hidrológicas da Lagoa dos Patos estão fortemente relacionadas e são dominadas pelos ciclos hidrológicos ao longo de sua ampla bacia de drenagem. Alterações no volume de precipitação interferem diretamente no escoamento fluvial e, conseqüentemente, alteram o volume de sedimentos que aportam na Lagoa dos Patos. Dessa forma, torna-se relevante avaliar os fatores climáticos responsáveis por tais modificações de modo a esclarecer a dinâmica dos sedimentos finos e, portanto, a ocorrência dos depósitos de lama na praia do Cassino.

Anomalias interanuais na temperatura superficial do mar (TSM) e na circulação atmosférica no Oceano Pacífico influenciam diretamente o clima no hemisfério sul. As anomalias positivas na TSM, denominadas eventos de El Niño, são responsáveis pela intensificação dos jatos subtropicais, o que proporciona um fortalecimento dos sistemas frontais e áreas de instabilidades, ocasionando o aumento significativo das chuvas na região sul do Brasil (KOUSKY *et al.*, 1994; GRIMM *et al.*, 1998). Da mesma forma, as anomalias negativas, ou eventos de La Niña, exercem o efeito contrário, ou seja, ocasionam uma diminuição na precipitação esperada para esta mesma região.

Grimm *et al.* (1998) investigam o impacto dos eventos de El Niño e La Niña nas anomalias de precipitação no sul do Brasil por meio de dados mensais de precipitação, coletados em 250 estações pluviométricas. Os autores encontraram anomalias positivas de precipitação associadas às fases quentes (El Niño) durante a primavera do ano do evento. Também encontraram para a planície costeira do Rio Grande do Sul um consistente período seco no ano anterior ao evento de El Niño e

durante o outono/inverno do ano seguinte. Nas fases frias (La Niña) foram encontradas fortes anomalias negativas de precipitação durante a primavera do ano em que ocorreu o evento.

Ropelewski & Halpert (1989) verificaram que nos anos de El Niño as anomalias de precipitação na região sul do Brasil tendem a ser positivas de novembro a fevereiro e, que durante a fase positiva da Oscilação Sul, essas anomalias tendem a ser negativas de junho a dezembro.

Chu (1991), investigando as anomalias climáticas no Brasil, associadas a ENOS, observou que nos anos de El Niño as precipitações na região sul tendem a ser acima da normal de abril a dezembro e de março a julho do ano seguinte, com os maiores valores em maio e junho.

Fontana & Berlato (1997) destacam a primavera e o começo do verão, especialmente os meses de outubro, novembro e dezembro, como os principais períodos de influência, tanto para a fase quente como para a fase fria no Rio Grande do Sul. Segundo os mesmos autores, o mês de novembro é caracterizado como o de maior relação entre a variação da TSM no Oceano Pacífico equatorial e a variação de precipitação pluvial no Estado.

Robertson & Mechoso (1998) e Krepper *et al.* (2003) descreveram variações no fluxo do rio Negro (Uruguai) associado com eventos de El Niño e La Niña em ciclos de 3 a 5 anos. Houve uma clara tendência de diminuição do fluxo do rio durante períodos de La Niña de junho a dezembro e, aumento no fluxo durante eventos de El Niño de novembro a fevereiro. O aumento do fluxo durante o El Niño coincide com a fase quente na TSM da porção leste equatorial do Oceano Pacífico, assim como anomalias positivas no Atlântico, especialmente na costa da América do Sul, em torno dos 30° de latitude.

Puchalski (2000) constatou que em anos de La Niña os riscos de ocorrência de déficit hídrico no final da primavera e início de verão aumentam de forma significativa, principalmente na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul, enquanto que, em anos de El Niño, as probabilidades de déficit diminuem drasticamente.

Ayup-Zouain *et al.* (2003) verificaram as anomalias e os impactos que são produzidos pelo ENOS na região do Banhado do Taim e no entorno da Lagoa Mirim.

Marques (2005) constatou que anomalias negativas de precipitação no Rio Grande do Sul, durante a fase fria, são significativas no trimestre de outubro a dezembro e, durante a fase quente de ENOS, anomalias positivas são mais significativas no trimestre de outubro a dezembro

Em vista do exposto, a análise da influência dos eventos de El Niño e La Niña no sul do Brasil é de grande interesse para este estudo, uma vez que, mudanças no padrão de precipitação podem influenciar diretamente na incidência dos depósitos de lama na praia do Cassino.

4.1. Resultados e Discussão

A variação anual da precipitação ao longo das 15 estações pluviométricas no período de 1968 a 2008 pode ser visualizada na Figura 16. As maiores médias anuais de precipitação foram registradas, em ordem decrescente, nos anos de 2002, 1972, 1983 e 1984, com taxas variando de 180 a 153 mm. Por outro lado, as menores médias anuais, em ordem crescente, foram registradas nos anos 1969, 1968, 1989, 1991 e 1988, com precipitação inferior a 100 mm. As precipitações mensais acima de 300 mm foram observadas nos anos de 1977 e 1997, ao passo que precipitações mensais mínimas, abaixo de 20 mm, foram registradas nos anos de 1982 e 1968.

A variação sazonal da precipitação na região de estudo (Figura 17) analisada com base nas médias mensais de precipitação mostrou que o terceiro trimestre do ano (Julho a Setembro) é o mais chuvoso, contribuindo, em média, com 395 mm, sendo julho o mês de maior precipitação, com média de 138 mm. Apesar da baixa variabilidade da precipitação mensal no decorrer do ano, é significativo o baixo índice de chuva nos meses de março, dezembro e novembro, 112, 114 e 115 mm, respectivamente. O valor médio acumulado no segundo trimestre do ano é o menos representativo, contribuindo com 356 mm, enquanto a média acumulada no primeiro e quarto semestre do ano são, respectivamente, 371 e 365 mm.

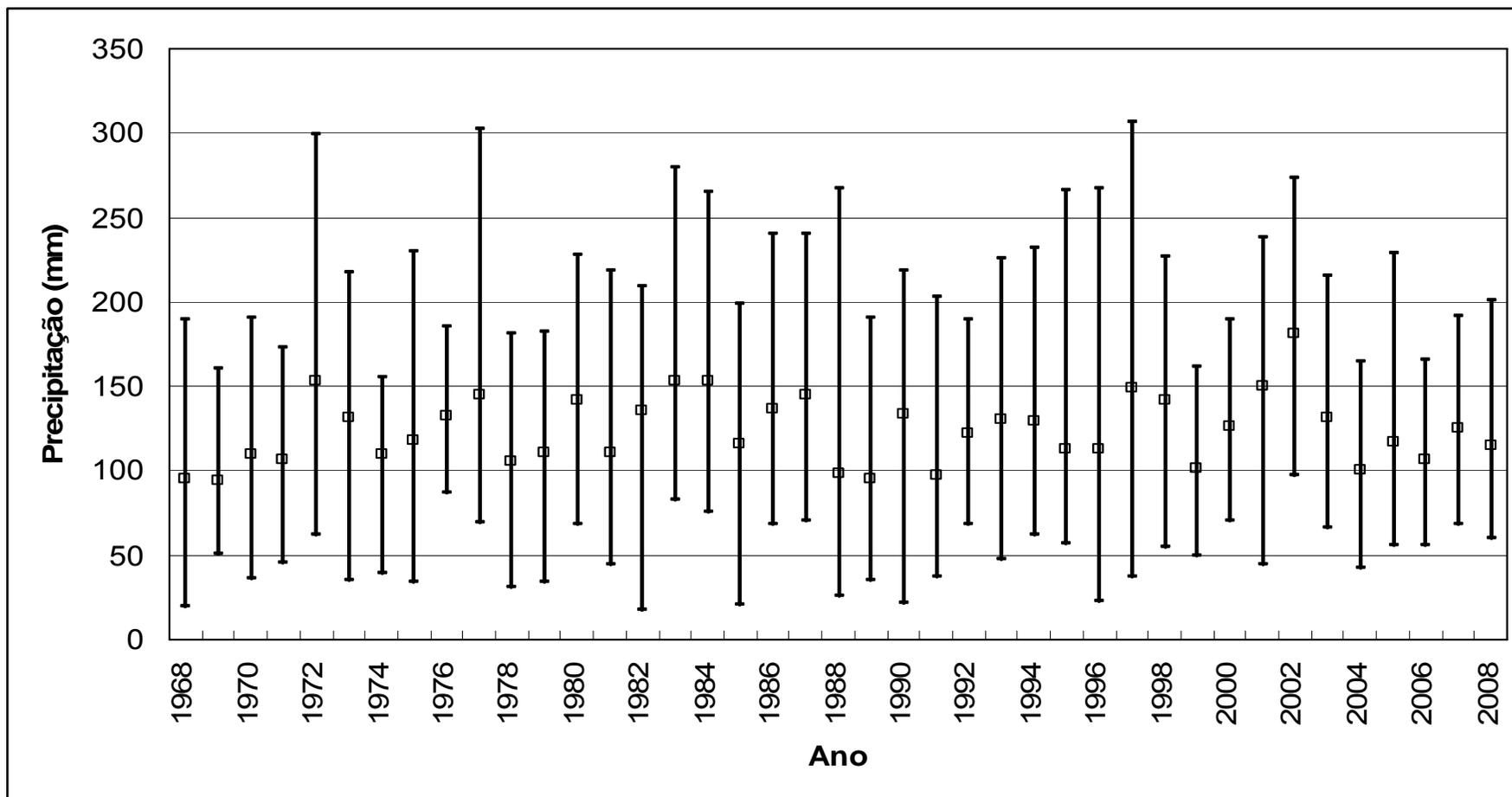


Figura 16: Precipitação anual mínima, média e máxima registradas para as 15 estações pluviométricas no período de 1968 a 2008.

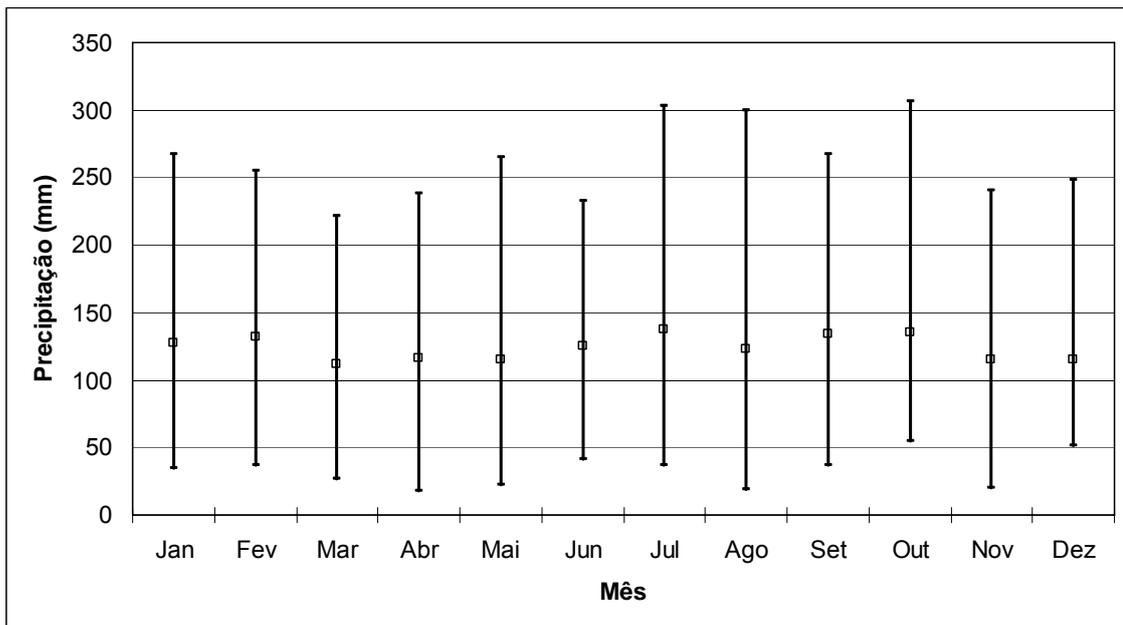


Figura 17: Precipitação mensal (mm) mínima, média e máxima para o período de 1968 a 2008 ao longo das 15 estações pluviométricas analisadas.

Analisando o período de 40 anos de dados de precipitação em cada um das quatro bacias de drenagem avaliadas pode-se observar que na maior parte do período considerado as bacias da região norte apresentam maior volume de precipitação para o período avaliado do que as bacias da região sul. A bacia do rio Taquari apresenta uma precipitação média de 144 mm, seguida pelas bacias do Rio Jacuí com média de 132 mm, bacia do rio Camaquã com média de 120 mm e bacia do rio Jaguarão com média de 112 mm. A variação da precipitação em cada bacia de drenagem pode ser observada na Figura 18.

De acordo com a definição quantitativa do CPC para os eventos de anomalias na TSM no Oceano Pacífico foram considerados, no período de 1968 a 2008, 13 eventos de El Niño (133 meses), 9 eventos de La Niña (129 meses) e os restantes 218 meses normais. O quadro 06 mostra as características (início, fim e duração) desses eventos.

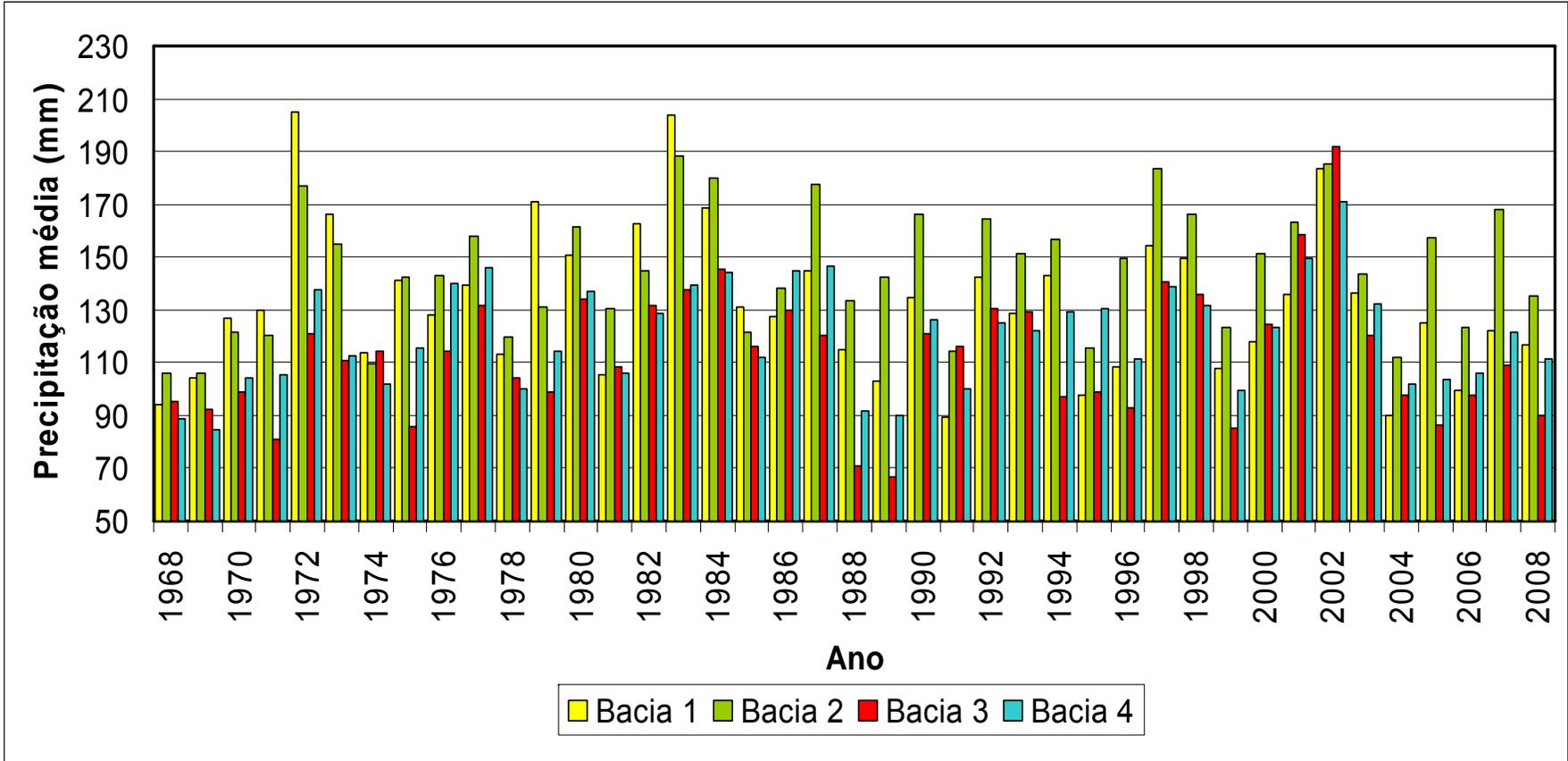


Figura 18: Precipitação média anual no período de 1968 a 2008 para as quatro bacias de drenagem analisadas. Bacia 1 (bacia do rio Jacuí), bacia 2 (bacia do rio Taquari), bacia 3 (bacia do rio Jaguarão) e bacia 4 (bacia do rio Camaquã).

Eventos El Niño			Eventos La Niña		
Início	Fim	Duração	Início	Fim	Duração
Nov/68	Jun/69	8	Jan/68	Abr/68	3
Set/69	Jan/70	5	Jul/70	Jan/72	19
Mai/72	Mar/73	11	Mai/73	Mai/76	37
Set/76	Fev/77	6	Out/84	Set/85	12
Set/77	Jan/78	5	Mai/88	Mai/89	13
Mai/82	Jun/83	14	Set/95	Mar/96	7
Ago/86	Fev/88	19	Jul/98	Jun/00	24
Mai/91	Jul/92	15	Out/00	Fev/01	5
Mai/94	Mar/95	11	Set/07	Mai/08	9
Mai/97	Mai/98	13			
Mai/02	Mar/03	11			
Jun/04	Fev/05	9			
Ago/06	Jan/07	6			

Quadro 06: Início, fim e duração (em meses) dos eventos El Niño e La Niña após 1968, definidos como as anomalias de TSM na região Niño 3.4, excedendo +/- 0,5°C durante no mínimo cinco meses consecutivos.

A variação da temperatura superficial do Oceano Pacífico na região Niño 3.4, para o período de 1968 a 2008, pode ser visualizada na Figura 19. Os eventos de El Niño mais intensos aconteceram nos anos de 1972, 1983 e 1997, enquanto os eventos de La Niña mais intensos foram registrados em 1973, 1988 e 1975.

Para o período de 40 anos de dados calculou-se a temperatura superficial do mar mínima, média e máxima (Figura 20). Temperaturas acima de 2,0°C foram observadas nos anos de 1972, 1982, 1983, 1997 e 1998. Por outro lado, apenas no ano de 1973 foram encontradas temperaturas inferiores a 2,0 °C.

A precipitação mensal e os eventos de El Niño e La Niña para o período analisado foram graficados juntos e o resultado pode ser observado na Figura 21. Apesar de algumas anomalias positivas ou negativas de precipitação não ocorrerem associadas aos eventos de anomalia na TSM no Oceano Pacífico, existe uma tendência consistente de relação entre os dados.

Assim como observado por Grimm *et al.* (1998) e Martinho (2008), nos anos anteriores ao evento de El Niño há uma tendência de baixa precipitação. Durante o

ano e/ou após o evento, a precipitação tende a aumentar. Existe um intervalo de tempo entre o início do evento El Niño no Oceano Pacífico e sua resposta no sul do Brasil, assim como em outras regiões do mundo (GRIMM *et al.*, 1998). Algumas vezes, a precipitação apresenta resposta somente no ano seguinte ao evento, como é o caso dos eventos em 1969, 1972 e 1983. Nos eventos de La Niña é observado um decréscimo na precipitação. Devido ao comportamento no ano anterior ao El Niño e ao curto período entre alguns eventos de El Niño e La Niña, as anomalias podem, algumas vezes, se sobrepor umas as outras, alterando a magnitude ou até mesmo a tendência esperada para o evento.

Para avaliar a significância da relação entre a precipitação na região de estudo e as anomalias no Oceano Pacífico foi construída uma tabela de contingência para cada mês do ano, ao longo do período estudado. No Quadro 07 encontram-se as frações de tempo com as ocorrências simultâneas de determinado evento no Oceano Pacífico e a correspondente categoria de precipitação ao longo das estações pluviométricas analisadas, assim como as anomalias médias mensais de TSM na região Niño 3.4, ao longo dos 40 anos de dados.

Os resultados mostram conexões significativas entre os eventos La Niña e precipitações abaixo do normal nos meses de fevereiro (40%), abril (35%), julho (29%), setembro (29%), outubro (43%) e novembro (63%). Precipitações acima da normal relacionadas com este evento foram encontradas nos meses de janeiro (38%), março (43%) e agosto (43%). Nos meses de maio (29%), junho (26%) e dezembro (37%) as precipitações na região permaneceram dentro do normal esperado para cada mês.

Durante eventos de El Niño os meses de janeiro (38%), fevereiro (43%), abril (33%), agosto (57%), outubro (47%) e novembro (80%) apresentaram precipitação acima do normal. Nos meses de junho (43%) e dezembro a precipitação esteve abaixo da normal. As precipitações dentro do normal foram observadas nos meses de março (24%), maio (29%) e julho (28%) e setembro (36%).

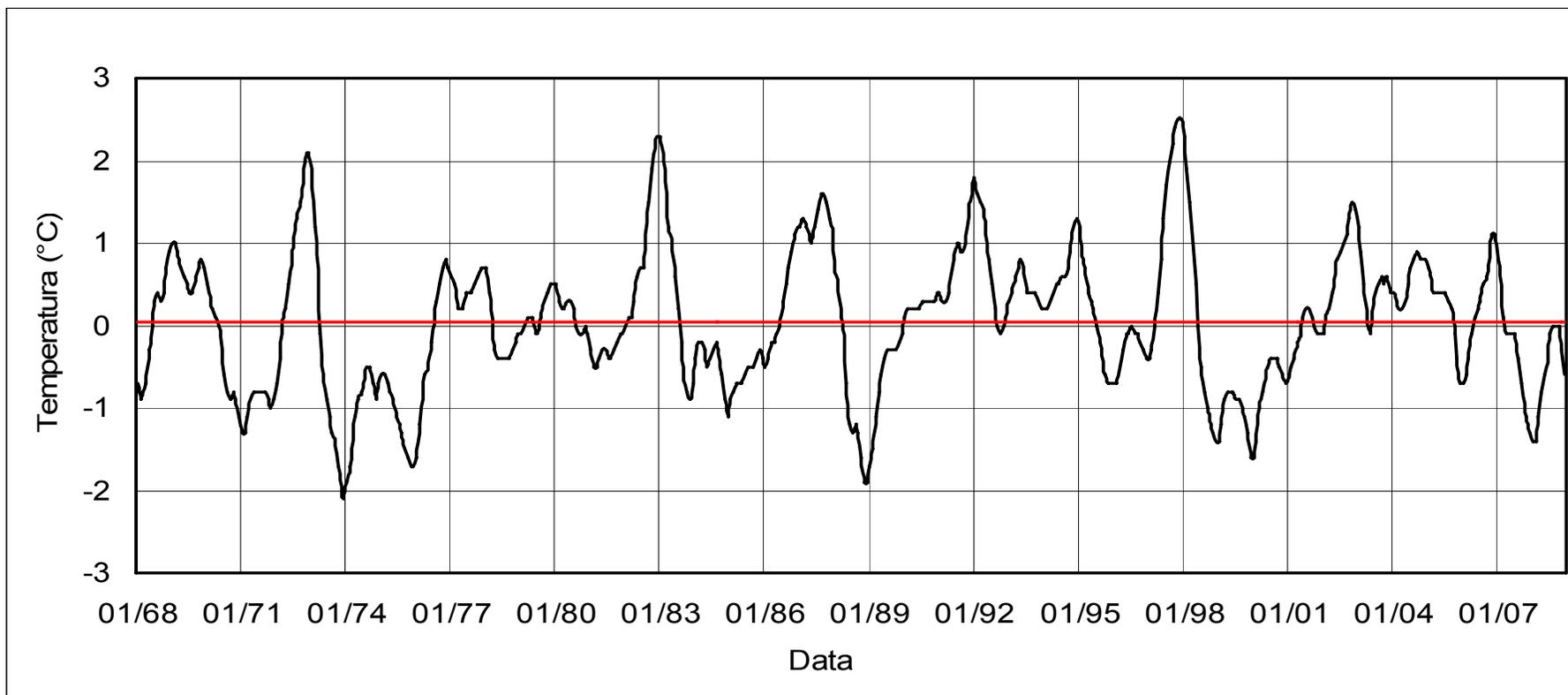


Figura 19: Temperatura superficial do Oceano Pacífico na região Niño 3.4 para o período de 1968 a 2008.

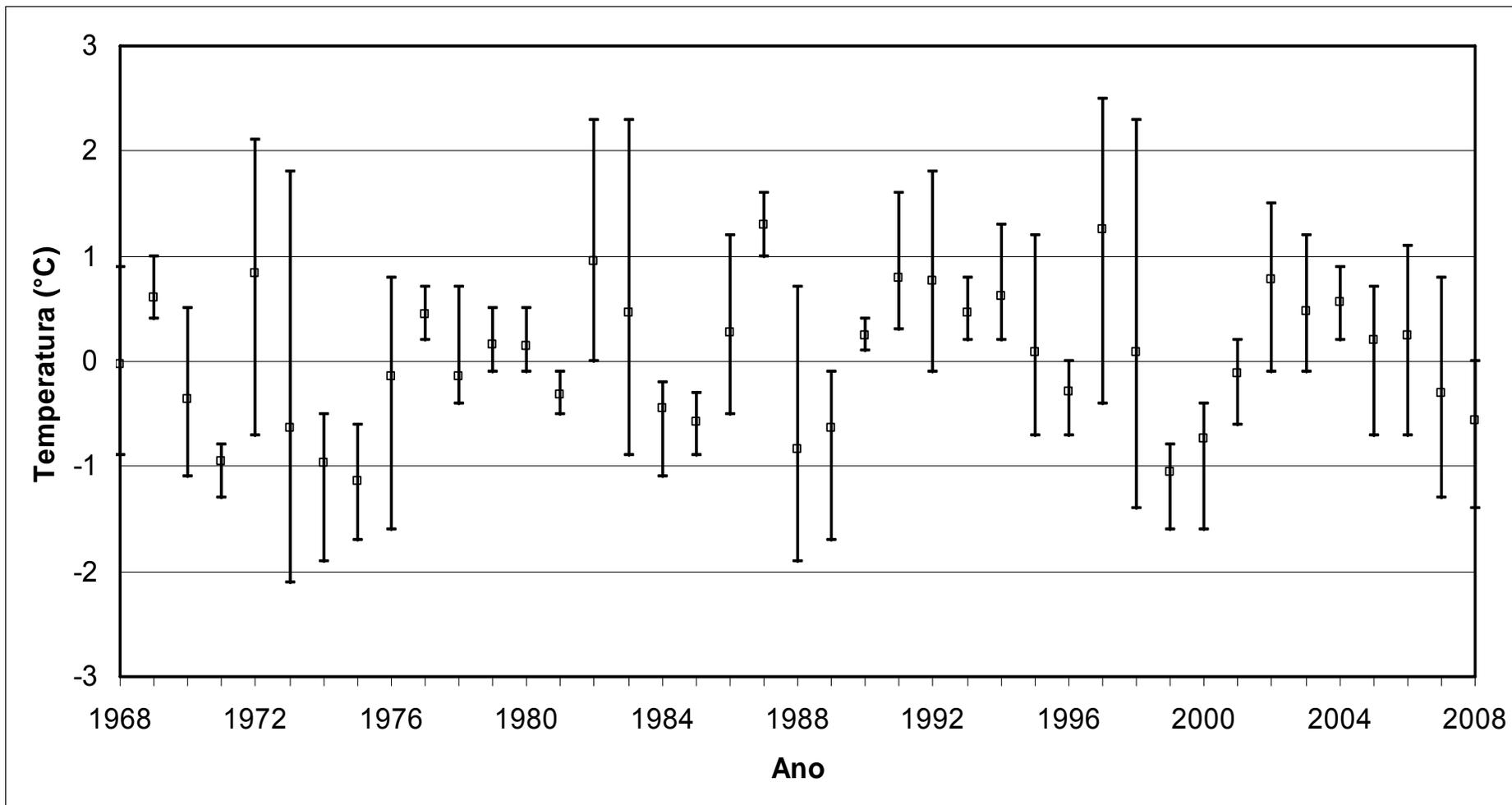


Figura 20: Temperatura anual (°C) mínima, média e máxima para o período de 1968 a 2008 na região Niño 3.4.

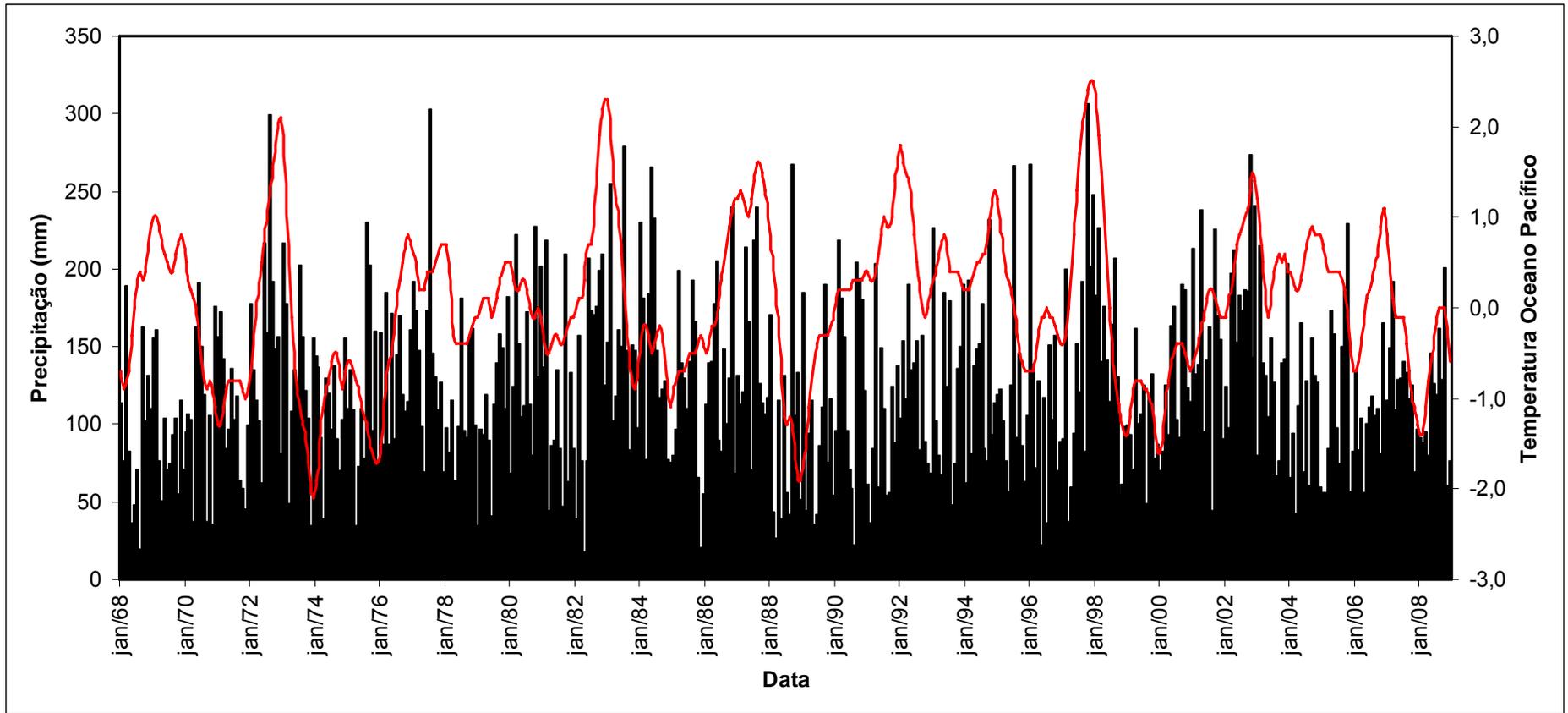


Figura 21: Precipitação média mensal e anomalias na TSM no Oceano Pacífico para o período de 1968 a 2008.

Em anos onde a temperatura superficial do mar não apresentou anomalias, ou seja, não ocorreu nenhum dos eventos mencionados anteriormente, a precipitação mostrou-se dentro do normal esperado nos meses de junho (59%), agosto (68%) e novembro (39%), abaixo do normal nos meses de janeiro (75%), março (80%), julho (71%) e outubro (41%) e acima do normal nos meses de fevereiro (57%), abril (67%), maio (60%) setembro (57%) e dezembro (57%).

Assim como observado por Fontana & Berlato (1997), Grimm (1998), Marques (2005) e Puchalski (2000) a influência dos fenômenos de El Niño e La Nina estão fortemente correlacionados com precipitações acima e abaixo da normal, respectivamente, nos meses de outubro e novembro. Entretanto, para a região de estudo não foram encontradas relações significativas para o mês de dezembro como observado por estes autores. Na área estudada, o fenômeno El Niño e precipitações acima da normal também são significativos no mês de agosto e abril e o fenômeno La Niña e precipitação abaixo da normal no mês de fevereiro e abril.

Segundo Marques (2005) apesar de ambos os eventos exercerem maior influencia no trimestre de outubro a dezembro, durante as fases quentes de ENOS freqüências superiores 80% de anomalias positivas na precipitação são encontradas na faixa central e oeste do Estado. Enquanto que durante a fase fria de eventos ENOS freqüências negativas de precipitação pluvial superiores a 80% são localizadas nas regiões do oeste e centro-sudoeste de Estado.

Grimm & Sant'Anna (2000) analisando a influência de fases extremas na oscilação sul sobre a intensidade e freqüência das chuvas no sul do Brasil determinaram que a primavera é a estação de maior impacto médio tanto dos eventos de El Niño quanto dos eventos de La Niña sobre a precipitação no Sul do Brasil. Entretanto, na primavera, durante eventos de El Niño, o aumento da precipitação predomina principalmente no litoral do RS e SC e sobre os planaltos paranaenses e região serrana. Já, durante o verão, a variação da precipitação durante eventos El Niño e La Niña ocorre principalmente no sudeste do RS.

Assim como são observadas diferenças espaciais no volume de precipitações no decorrer do ano em diferentes regiões do RS, existem também diferenças espaciais na influência dos fenômenos de El Niño e La Niña no Estado. Dessa

forma, a variabilidade da influência dos eventos ENOS sobre a região de estudo, além daquela já confirmada pela maioria dos autores anteriormente citados, como em novembro e dezembro, pode estar relacionada com a localização espacial da região de estudo, que é fortemente afetada tanto pelas características da precipitação em condições normais quanto em períodos de anomalias.

Para verificar a influência das anomalias climáticas na recorrência dos depósitos de lama na praia do Cassino as datas em que estes eventos ocorreram foram comparadas com os dados de precipitação e com os fenômenos de El Niño e La Niña. Além disso, foi analisada separadamente a influência que as bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e as bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) têm sobre o comportamento da precipitação na área de estudo

O quadro 08 mostra a data dos eventos de deposição de lama considerados e o respectivo fenômeno ENOS atuante na época. Foram considerados neste estudo eventos de deposição de lama datados em trabalhos científicos e/ou veículos de comunicação, entretanto nem todos os eventos de deposição ocorridos na praia do Cassino foram analisados devido a imprecisões nas datas dos eventos ou até mesmo devido a falta de registros nos meios pesquisados, principalmente no que se refere aos eventos de deposição mais antigos.

Analisando o conjunto de eventos de deposição de lama na praia do Cassino, pode-se concluir que 38,89% dos eventos ocorreram durante ou imediatamente após (no máximo um mês) anomalias positivas no Oceano Pacífico (El Niño), 33,43% ocorreram durante eventos de anomalias negativas no Oceano Pacífico (La Niña) e 27,77% durante condições normais da TSM nessa mesma região. Ainda entre os eventos considerados, 38,89% ocorrem nos meses de verão, 33,33% nos meses de outono e 11,22% nos meses de inverno e primavera.

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
TSM		0,027	-0,007	-0,005	-0,002	0,024	0,041	0,071	0,073	0,071	0,066	0,066	0,039	
El Niño	Prec.	Abaixo	13	40	20	15	25	43	0	22	30	16	0	40
		Normal	32	21	24	4	29	15	28	16	36	30	36	30
		Acima	38	43	0	33	20	33	20	57	24	47	80	29
Normal	Prec.	Abaixo	75	20	80	50	50	57	71	56	41	41	38	40
		Normal	32	45	48	63	43	59	52	68	36	37	39	33
		Acima	25	57	57	67	60	43	60	0	57	23	20	57
La Niña	Prec.	Abaixo	13	40	0	35	25	0	29	22	29	43	63	20
		Normal	36	34	28	33	29	26	21	16	28	33	25	37
		Acima	38	0	43	0	20	24	20	43	19	30	0	14

Quadro 07: Fração percentual dos meses com ocorrência de determinado evento no Oceano Pacífico, anomalias médias de TSM no Pacífico e correspondentes percentagens de ocorrência de determinada categoria de precipitação.

Eventos de deposição de lama	Fenômeno ENOS
Janeiro de 1970	El Niño
Fevereiro de 1973	El Niño
Janeiro de 1975	La Niña
Fevereiro de 1978	El Niño
Julho de 1985	La Niña
Abril de 1993	Condições Normais
Novembro de 1994	El Niño
Abril de 1995	El Niño
Março de 1996	La Niña
Março de 1997	Condições Normais
Janeiro de 1998	El Niño
Setembro de 1999	La Niña
Abril de 2000	La Niña
Junho de 2001	Condições Normais
Fevereiro de 2002	Condições Normais
Mai de 2003	El Niño
Abril de 2004	Condições Normais
Fevereiro de 2008	La Niña

Quadro 06: Eventos de deposição de lama na praia do Cassino e anomalias climáticas no Oceano Pacífico.

No ANEXO A podem ser visualizadas as figuras representativas da precipitação e eventos de El Niño e La Niña durante os eventos de deposição da lama do Cassino, assim como a precipitação nas bacias da região norte e sul da área de estudo.

Os eventos de deposição de lama que ocorreram em condições de El Niño mostram um intervalo de tempo menor entre o início da anomalia no Oceano Pacífico e a ocorrência do evento na praia do Cassino. Os maiores eventos de deposição ocorreram sob estas condições, em 1998 e 2003. Os períodos que antecedem a deposição em condições de El Niño registram precipitações acima da normal mais intensas e/ou por um período maior de tempo e, na maioria dos casos, pelo menos um mês com o maior índice de precipitação dos últimos 40 anos de dados analisados.

Apesar de a região norte apresentar, geralmente, uma maior precipitação no decorrer do período, ao observar o comportamento das curvas de precipitação nas regiões norte e sul durante eventos de El Niño, percebe-se que existe uma influência maior da precipitação nas bacias da região sul. No entanto, apenas no evento ocorrido em janeiro de 1970 esta influência não é bem representada. Fato este que, provavelmente, influencia em uma maior contribuição de sedimentos finos pelos rios que drenam esta região para a Lagos dos Patos, durante este evento.

Como exemplo, pode ser citado a deposição de lama ocorrida em janeiro de 1998. Após 8 meses de El Niño, este evento caracterizou uma das maiores deposições de lama já registradas na praia do Cassino. As condições de precipitação observadas para este período foram de precipitação acima do normal para os meses de dezembro (247 mm), novembro (201 mm) e outubro (306 mm), sendo que durante os meses de dezembro e outubro foi registrada a maior média de precipitação para os 40 anos de dados analisados. Apenas no mês de setembro ocorreram precipitações abaixo do normal (92 mm). As condições de precipitação para este evento podem ser observadas na Figura 22.

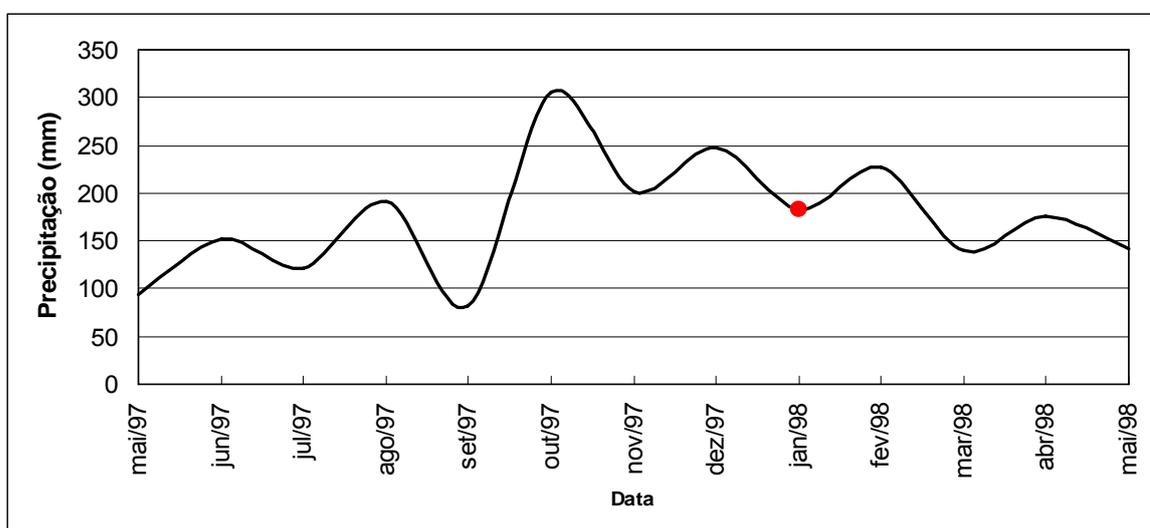


Figura 22: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de maio de 1997 a maio de 1998. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

Analisando a precipitação entre as bacias da região norte e as bacias da região sul (Figura 23) pode-se verificar a influência da precipitação nas bacias da região sul, apesar da maior contribuição do volume de chuvas pertencer a região norte.

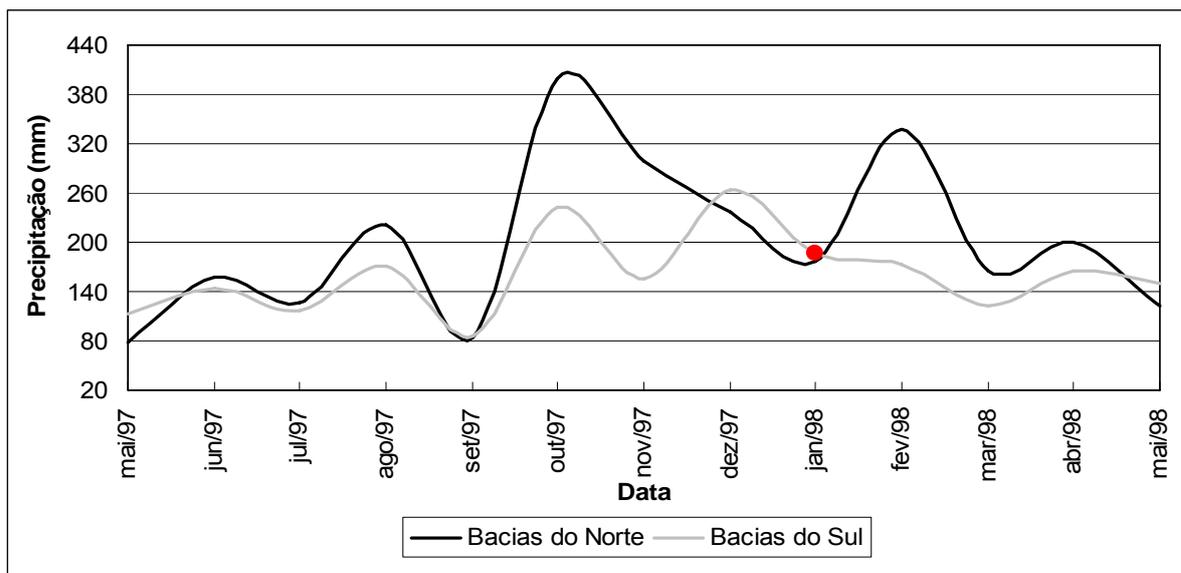


Figura 23: Precipitação média mensal das bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de El Niño no período de maio de 1997 a maio de 1998. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

Os eventos de deposição de lama que ocorreram durante eventos de La Niña mostram um período maior de tempo entre o início da anomalia negativa na TSM e o evento de lama na praia do Cassino. Um período mínimo de 5 meses de anomalias negativas foram registradas anteriormente ao evento de fevereiro de 2008, até no máximo 20 meses consecutivos no evento de janeiro de 1975. Durante eventos de La Niña, médias de precipitações menores estendem-se por um período maior de tempo, intercaladas com algum pico de precipitação acima da normal, assim como períodos de precipitações dentro e abaixo da normal são mais representativas quando comparados à períodos que antecedem eventos de deposição em condições de El Niño. Durante as anomalias negativas na TSM nota-se uma influência predominante da precipitação das bacias da região norte da área de estudo.

Um exemplo de deposição de lama nessas condições é o evento ocorrido em janeiro de 1975, após 20 meses consecutivos de La Niña. O ano de 1974 foi marcado por precipitações dentro ou abaixo da média para o período, sendo que o maior índice de chuvas ocorreu em maio, junho, agosto e dezembro, com respectivamente 129, 120, 138 e 155 mm. Dezembro foi o único mês do ano a apresentar precipitação acima da normal, com 155 mm (Figura 24).

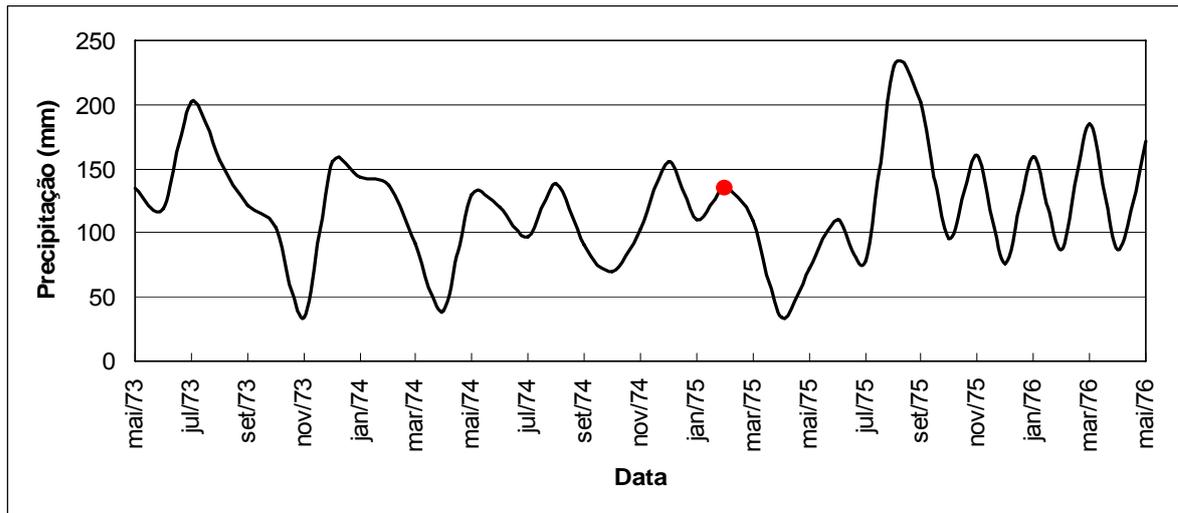


Figura 24: Média de precipitação (mm) para o período de La Niña de maio de 1973 a maio de 1976. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

Na Figura 25 pode ser visualizado o comportamento das curvas de precipitação para as regiões norte e sul da área de estudo. As bacias que constituem a região norte apresentam, em praticamente todo o período, uma maior influência, assim como maiores médias de precipitação do que ao longo das bacias da região sul.

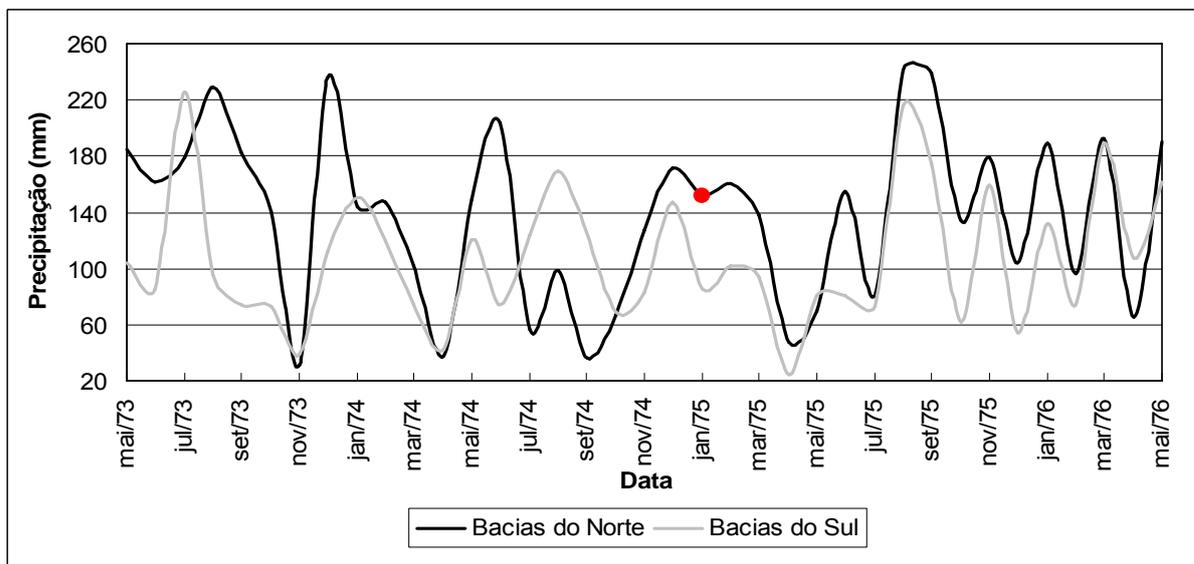


Figura 25: Precipitação média mensal das bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de La Niña no período de maio de 1973 a maio de 1976. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

4.2. Conclusões

O padrão de precipitação pluvial na área de estudo não apresentou modificações significativas no período de 1968 a 2008. Apesar da pequena variabilidade anual pode-se verificar que o terceiro trimestre do ano apresenta maiores índices de precipitação, sendo julho e março os meses com maior e menor precipitação, respectivamente. Ao comparar o volume de precipitação nas regiões das bacias norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) percebe-se que a primeira apresenta um maior volume de precipitação, na maior parte do período analisado.

As variações climáticas apresentam uma forte influência no padrão de precipitação na região leste do Rio Grande do Sul. Durante os eventos de El Niño e/ou no ano posterior ao evento é observado aumento da precipitação enquanto que o ano anterior ao evento apresenta a tendência de ser mais seco. Durante os eventos de La Niña a precipitação tende a diminuir. Existe um intervalo de tempo entre o início do evento no Oceano Pacífico e sua resposta na região de estudo. Devido ao curto período de tempo entre alguns eventos de El Niño e La Niña, as anomalias podem, algumas vezes, se sobrepor umas as outras, alterando a magnitude ou até mesmo a tendência esperada para o evento.

No período considerado, de 1968 a 2008, foram observadas relações significativas entre eventos de El Niño e precipitação acima da normal principalmente para o final da primavera, sendo o mês de novembro o que apresenta uma maior correlação, de 80%. A Influência dos eventos de La Niña está relacionada com precipitação abaixo da normal principalmente durante a primavera. Também neste caso o mês de novembro apresenta a maior relação, de 63%.

Os eventos de deposição de lama na praia do Cassino não apresentam uma grande variabilidade em relação as anomalias climáticas no Oceano Pacífico. Entretanto, estão evidenciadas as influências que os fenômenos de El Niño e La Niña exercem sobre a precipitação e, conseqüentemente, sobre as características dos depósitos lamíticos.

Durante eventos de El Niño foram registradas precipitações mais intensas e/ou por um espaço maior de tempo. O intervalo de resposta entre o início da anomalia positiva no Oceano Pacífico e as alterações no volume de precipitação na região de estudo parecem ser menor se comparado aos eventos de La Niña. As precipitações na região sul da Lagoa dos Patos apresentam uma forte relação com esta anomalia.

Em eventos de La Niña são observados maiores taxas de precipitação dentro a abaixo da normal, além de um período maior entre o início da anomalia negativa na TSM no Oceano Pacífico e os depósitos lamíticos da praia do Cassino. A região hidrográfica norte da Lagoa dos Patos apresenta um comportamento predominante sobre a precipitação, quando comparada região sul durante esse evento.

5. MINERALOGIA DAS ARGILAS DA LAMA DA PRAIA DO CASSINO

As características mineralógicas da fração menor que 2 μ m estão relacionadas com os mais variados processos que ocorrem em nosso planeta, como o padrão de ventos, a drenagem fluvial, o movimento das correntes oceânicas, as condições climáticas, as atividades vulcânicas, entre outros (GRIFFIN, 1968). A quantidade relativa de argilominerais e a correspondente taxa de acumulação é função não apenas da fonte principal dominante, mas também dos padrões de transporte do ambiente continental para o ambiente marinho.

A mineralogia das argilas é uma técnica comumente utilizada para a identificação da proveniência de sedimentos, bem como para traçar os padrões de transporte e de distribuição (IRION e ZÖLMER, 1990). Fontes marinhas e fluviais podem ser distinguidas com base na assembléia de argilominerais. Nos estuários, a mistura entre essas duas fontes parece controlar a composição mineral estuarina (WEAVER, 1989). Nesse ambiente, as condições de deposição tornam-se mais complexas, devido a fatores independentes, como marés, descarga fluvial, vento e diferença de densidade entre massas de água. Dessa forma, a circulação estuarina desenvolve um papel importante no controle e na distribuição dos argilominerais.

Os sedimentos argilosos depositados na plataforma continental do Rio Grande do Sul são transportados pelo complexo lagunar Patos-Mirim, cujas bacias hidrográficas drenam uma área de aproximadamente 175.000 km² (SCHWARZBOLD & SHAFER, 1984).

Vilcock *et al.* (1972) estudando a mineralogia das argilas da Lagoa dos Patos, concluem que nas porções média e norte os argilominerais presentes, em ordem de abundância, são a montmorillonita, a caolinita, os interestratificados do

tipo illita-montmorillonita e, esporadicamente, a clorita. No extremo sul da laguna, a montmorillonita diminui a quantidade relativa, apesar de ainda ser o mineral dominante, a quantidade de clorita diminui, já a caolinita apesar de mostrar-se mais ou menos constante em toda Lagoa, manifesta uma leve diminuição da parte média em direção ao sul.

Os argilominerais estudados por Gambôa *et al.* (1973) ao longo da plataforma continental do Rio Grande do Sul mostram a predominância da esmectita em relação a illita na porção norte da área estudada, na região adjacente ao canal de Rio Grande e na região do talude continental. O conteúdo de illita apresenta aumento na parte sul da área, tornando-se quantitativamente maior e/ou igual ao conteúdo de esmectita. Esse aumento nas quantidades relativas de illita é restrito à área da plataforma continental.

O estudo de Costa & Ramos (1983) sobre os argilominerais na plataforma continental sul-brasileira, do cabo de Santa Marta ao Chuí, demonstra o predomínio de montmorillonita sobre a illita e a caolinita presente em todas as amostras, porém, sempre em menor quantidade. Observando a distribuição quantitativa dos argilominerais os autores verificaram que: a) a caolinita tem uma distribuição mais ou menos uniforme, somente ultrapassando 30% em 4 amostras; b) os interestratificados do tipo I-M são mais significativos na porção norte da área estudada; c) a montmorillonita ultrapassa os 50% em grande número de amostras distribuída aleatoriamente, sem concentrações sugestivas e; d) a illita ultrapassa os 50% em um número maior de amostras na parte sul da área estudada.

Os resultados das pesquisas sobre a mineralogia de argilas no Estuário do Rio de la Plata desenvolvidos por Urien (1967) e Siegel *et al.* (1968) determinaram duas zonas mineralógicas: uma zona ao sul do estuário, região de Baía de Samborombon e outra zona ao norte, adjacente a costa uruguaia. Siegel *et al.* (1968), determinaram que na zona sul do estuário, a montmorillonita domina sobre a illita e a caolinita e que estão presentes em quantidades iguais. Já na zona norte, adjacente a costa uruguaia, estes três argilominerais aparecem em quantidades iguais. Urien (1967), no entanto, apresenta para estas duas zonas uma dominância de illita, considerando mais conspícua a concentração na parte norte, havendo um leve aumento nas quantidades de montmorillonita na parte sul do estuário.

De modo a evitar uma possível confusão entre a denominação dos argilominerais do grupo das esmectitas, nesta pesquisa optou-se por manter a denominação original de montmorillonita na citação de trabalhos mais antigos. Porém, atualmente o termo esmectita é utilizada como denominação do grupo dos argilominerais expansivos 2:1 (duas folhas tetraédricas e uma folha octaédrica) e montmorillonita é a denominação utilizada para a espécie de esmectita dioctaédrica com substituição de Al por Mg nas posições octaédricas.

5.1. Proveniência e Dispersão dos Sedimentos

De acordo com Millot (1963) é fato indiscutível que os argilominerais transportados pelos rios que drenam uma determinada região são herdados das rochas-mães, bem como das alterações e dos solos que se desenvolvem ao longo da bacia de drenagem. Os depósitos que dele se originam podem conter as mais variadas associações mineralógicas, as quais serão sempre detríticas.

5.1.1. Bacias Hidrográficas

A Lagoa dos Patos representa uma zona de convergência para rede de drenagem da Bacia do Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul e Nordeste da República do Uruguai. Na região norte, o principal sistema tributário é a região hidrográfica do Guaíba (Figura 26), que possui uma área aproximada de 84.751,48 km² (SEMA, 2008) e corresponde a 30% da área do Estado. Este sistema recebe as águas provenientes de nove bacias hidrográficas que drenam, direta ou indiretamente, para o Lago Guaíba e deste para a Lagoa dos Patos, entre as quais estão: Alto Jacuí, Baixo Jacuí, Caí, Gravataí, Lago Guaíba, Pardo, Sinos, Taquari-Antas e Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Através da região hidrográfica do Guaíba são coletados e transportados sedimentos do Planalto Meridional, da Depressão Central e, em menor área, da Planície Costeira interior e do Escudo Sul Riograndense.

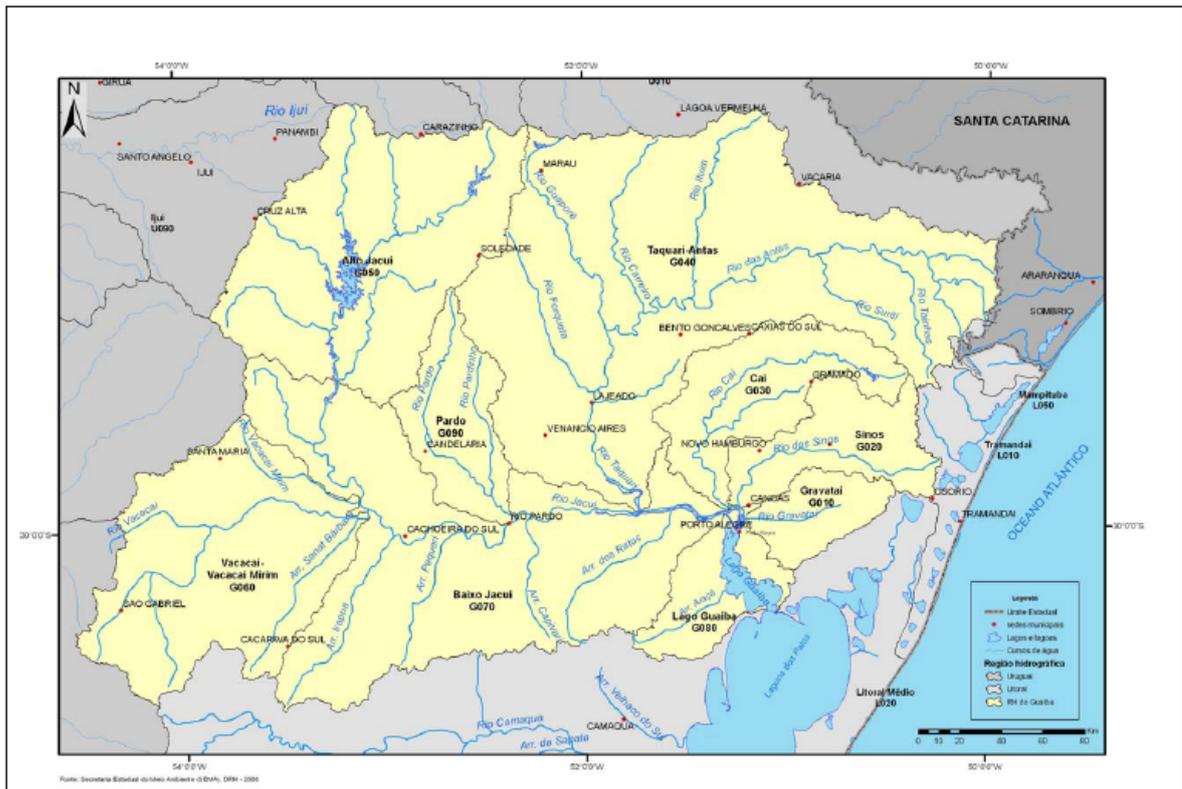


Figura 26: Região Hidrográfica do Guaíba. Fonte: SEMA (2008).

Vaz *et al.* (2006) analisando um série temporal de 56 anos de descarga para os afluentes Jacuí e Taquari (Figura 27), determinaram que a contribuição média do rio Jacuí para o setor norte da laguna é de $801 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com os maiores valores da descarga ocorrendo no final do inverno e início de primavera, principalmente de junho a outubro. O rio Taquari exibe o mesmo padrão sazonal, com os maiores valores de seu fluxo ocorrendo de maio a outubro, com uma descarga média anual de $452 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Na região central e sul da Lagoa dos Patos a principal contribuição fluvial provém da região hidrográfica das Bacias Litorâneas, localizada na porção leste e sul do território gaúcho. Esta região compreende as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional, Planície Costeira e Escudo Sul Riograndense. Sua superfície total é de aproximadamente $57.171,67 \text{ km}^2$, correspondendo a 20,3% da área do Estado (SEMA, 2008). A Bacia Litorânea está dividida em cinco bacias hidrográficas: Camaquã, Litoral Médio, Mampituba, Mirim-São Gonçalo e Tramandaí (Figura 28).

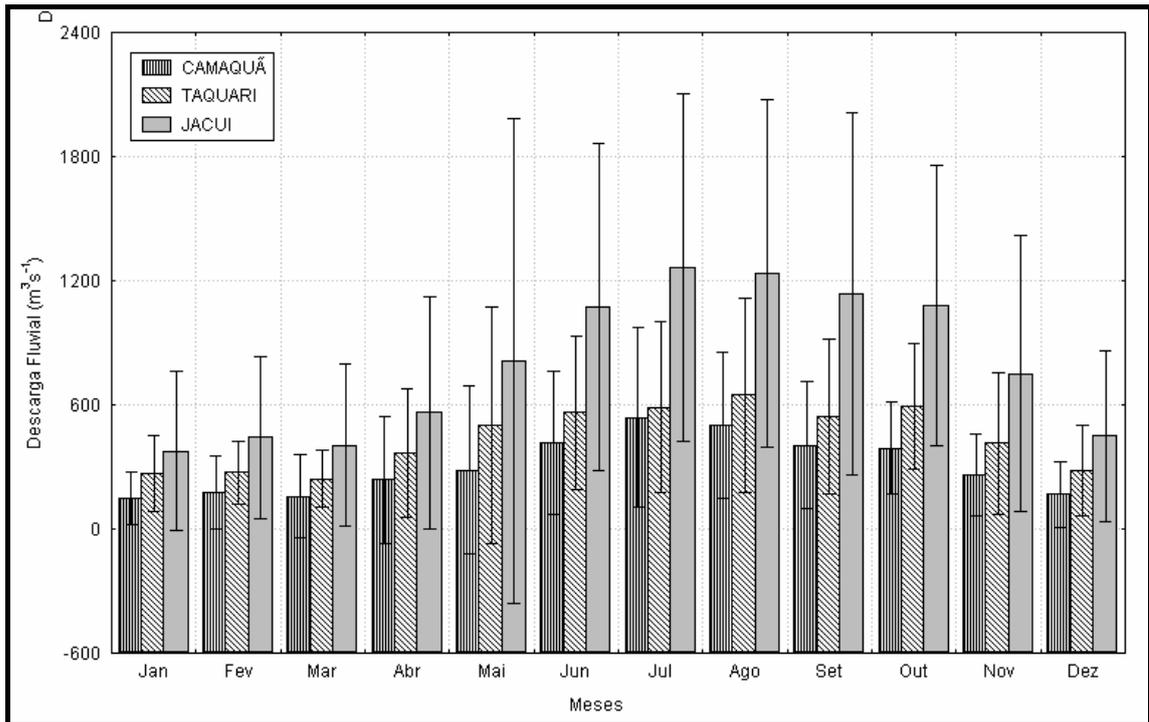


Figura 27: Histograma das médias de descarga mensais do rio Jacuí (1940-1954 e 1964-1999), Taquari (1940-1997) e Camaquã (1940-1954, 1964-1975, 1977-1996), exibindo sobre cada barra o desvio padrão relativo à descarga mensal. Fonte: Vaz et al., 2006.

Segundo Vaz *et al* (*op. Cit*), na região central, o rio Camaquã, encontra-se em área de relevo mais suave com relação aos rios que compõem o sistema que deságua no Guaíba, resultando em uma vazão média de $307 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, com marcada distribuição sazonal, ou seja, de junho a outubro os valores variam de $538 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a $389 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ respectivamente. No verão os valores se alteram de $146 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em janeiro a $174 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em fevereiro.

O Canal de São Gonçalo, que conecta a Lagoa dos Patos a Lagoa Mirim, apresenta valores de vazão média de $700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (BORDAS *et al.*, 1984). Seu fluxo de água é controlado por barragens artificiais, de modo a impedir a penetração de água salgada do estuário para a Lagoa Mirim e, somente durante períodos de acumulação de água na Lagoa Mirim, estas barragens são abertas.



Figura 28: Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas. Fonte: Sema (2008).

Considerando-se que os rios Jacuí e Taquari contribuem com 85% do volume introduzido através do rio Guaíba (HERZ, 1977), a vazão média anual dos demais rios deste complexo (Sinos, Caí e Gravataí) é de aproximadamente $230 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (VAZ *et al.*, 2006). Ao avaliar o aporte médio anual do Canal de S. Gonçalo, verifica-se que a descarga média de água doce da Lagoa dos Patos está em torno de $2.400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Os rios tributários da Lagoa dos Patos seguem um ritmo de escoamento típico daqueles de médias latitudes: alta descarga no fim de inverno e início de primavera, seguida de uma baixa a moderada descarga durante verão e outono.

Em anos sob influência do fenômeno ENOS a descarga continental excede bastante os valores médios. Nesses períodos de alta descarga são observados picos de 8.000 a $12.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (MÖLLER, 1996). Durante esse período a laguna pode permanecer doce por vários meses (PAIM e MÖLLER, 1986).

Mata e Moller (1993), através de modelos matemáticos, definiram que o tempo de descarga do estuário da Lagoa dos Patos é de aproximadamente 6 dias, independente de fatores meteorológicos.

O tempo de residência das águas fluviais na Lagoa dos Patos é de aproximadamente 1,5 anos para uma descarga média anual de $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (MÖLLER *et al.*, 1996). Sob influência do fenômeno El Niño, Fernandes *et al.* (2002) calcularam, através de um modelo numérico 2D, que o tempo de residência varia de 135, 85 e 68 dias, considerando-se descargas fluviais de 5.000, 8.000 e 10.000 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$, o que sugere um aumento significativo no fluxo da lagoa na medida em que a descarga fluvial aumenta.

5.1.2. Dispersão dos Sedimentos

O clima úmido favorece, ao longo da ampla bacia de drenagem que converge para a Lagoa dos Patos, o intemperismo químico responsável pela grande massa de sedimentos finos (VIEIRA e RANGEL, 1988). Pelo sistema de tributários que deságuam na célula norte são coletados e transportados sedimentos do Planalto basáltico e da Depressão Central, de idade e natureza distintas, os quais são lançados primeiramente no lago Guaíba antes de se dirigirem para o sistema lagunar. A partir do Escudo Sul Riograndense, formado pelos derrames basálticos mesozóicos e parte do bordo sul da Bacia do Paraná (VILLWOCK, 1972), são transportados a maior parte dos sedimentos clásticos de origem continental, especialmente sedimentos quartzosos, através dos rios Camaquã, Piratini, Jaguarão e os uruguaios Taquari, Cebollati e Pelotas.

A principal contribuição de sedimentos para a Lagoa dos Patos é feita através material sólido em suspensão. Hartmann *et al.* (1986), fundamentados em amostragens durante três anos ao longo do eixo principal da laguna e nos seus principais tributários, estimaram que a quantidade média de material em suspensão na Lagoa dos Patos varia entre 43 e 196 mg/l. Os sedimentos clásticos são os *et al* mais representativos na atual sedimentação lagunar e ingressam, em maior volume, pela parte norte da laguna, através dos tributários do Complexo Guaíba, conforme Martins (1963), Martins e Gamermann (1967), Villwock (1977), Alvarez *et al.* (1981), Martins. (1987), Toldo Jr. (1989), Toldo Jr. *et al.* (1991).

O regime fluvial dos tributários ao ingressar na ampla bacia deposicional do Guaíba, com aproximadamente 500 Km², perdem sua competência e capacidade como agente transportador. Dessa forma, os sedimentos mais grosseiros são ali depositados, enquanto os sedimentos finos, essencialmente silte e argila, seguem as descargas em direção a laguna (TOLDO Jr., 1994).

Baisch (1994) estimou valores de descarga sólida do sistema Guaíba e do rio Camaquã da ordem de 5,3 milhões de toneladas/ano, sendo que 82% provêm do Guaíba e 18% do Camaquã.

Outra importante fonte externa de sedimentos clásticos para a Lagoa dos Patos, proveniente das terras baixas e da própria planície costeira, é representada pelos rios Velhaco e São Lourenço, bem como por uma série de pequenos tributários ao longo da margem oeste da laguna.

Além dos sedimentos fluviais, processos de erosão atuantes sobre os depósitos costeiros cenozóicos das barreiras (VILLWOCK, 1977) e a carga bioclástica associada à produção dos organismos (TOLDO Jr., 1989) também contribuem com quantidades significativas de sedimento para o sistema.

O escoamento das águas continentais pela Lagoa dos Patos é lento devido ao fraco declive da depressão e ao baixo gradiente, cerca de 1 metro em 120 km, não propicia o desenvolvimento de correntes muito fortes. Assim, o material fino que chega a laguna encontra um ambiente relativamente calmo. Segundo Toldo Jr. (1991) os processos que estabelecem as condições deposicionais na laguna são controlados principalmente por ondas e correntes induzidas pela ação dos ventos, e secundariamente, sob a influência da salinidade através da floculação.

Os sedimentos encontrados no piso lagunar mostram um domínio síltico/arenoso em quase toda a laguna. A reduzida concentração de argilas sugere que a deposição de sedimentos finos necessita de ambientes de baixa energia para serem depositados. De acordo com Raudikivi (1990) apud Toldo (1994), a deposição dos sedimentos finos ocorre quando a tensão de cisalhamento do fundo cai abaixo de um valor crítico para deposição. Condições normais ou de muito pouca energia geradas tanto pelo movimento orbital bem como pelo movimento das correntes,

podem inibir a deposição da fácies argilosa. E, dessa forma, a ação dos ventos na superfície d'água, induzindo ondas e correntes, atuam de modo a manter em suspensão a carga de sedimentos finos.

Baisch & Wassermann (1998) analisando a distribuição granulométrica da fração fina dos sedimentos superficiais encontraram uma visível diminuição do conteúdo de silte da porção norte para a porção sul da laguna. Na mesma direção, também foi encontrado um aumento da fração granulométrica da argila. Segundo esses mesmos autores, o aumento da fração argilosa na célula sul da lagoa coincide com o limite de intrusão da cunha salina durante períodos de baixa descarga associados com ventos de quadrante sul, que aumentam o conteúdo de argila através da flocculação.

Do total de sedimentos que são descarregados na Lagoa dos Patos, apenas 25% atinge a região estuarina. Portanto, das 5.300.000 ton/ano, cerca de 1.200.000 ton/ano é a quantidade de material em suspensão que é aportada no estuário (BAISCH, 1994).

Calliari e Fachin (1993) observaram que os valores mais altos de material em suspensão de superfície estão situados próximos a desembocadura da Laguna dos Patos. Nesta área notou-se um forte gradiente com valores mínimos de 10 mg/l e máximos de 40 mg/l. As concentrações de fundo apresentam valores maiores que os de superfície, com mínimos em torno de 2 mg/l e máximos de 50 mg/l, ocorrendo valores mais altos em áreas mais afastadas da desembocadura, resultantes da ressuspensão dos sedimentos por efeito de ondulações e correntes.

A região da desembocadura recebe além do aporte de sedimento proveniente do sistema hidrográfico mencionado anteriormente, a forte influência do oceano através das correntes de enchente e vazante. No fluxo de vazante com ventos de quadrante norte, a ressuspensão e transporte de material para o oceano é significativamente maior. Nestas situações de predomínio de água doce, as concentrações de material em suspensão variam entre 100 e 125 mg/l em toda coluna de água. Entretanto, no fluxo de enchente, quando ocorre a ressuspensão pela entrada da cunha salina, o material é trapeado no canal e as concentrações de material em suspensão variam entre 400 mg/l a 1.000 mg/l (HARTMANN, 1996).

De acordo com Martins *et al.* (1987), Martins *et al.* (1989), Toldo Jr. (1989, 1991, 1994) a existência da fácies argilosa na porção sul do piso lagunar é resultado do processo de deposição por floculação, associado a entrada de água marinha.

As partículas de argilominerais têm uma área superficial grande em relação a sua massa e carregada com íons, criando forças da mesma ordem ou maiores que a força gravitacional, dando origem a uma interação eletrostática entre as partículas (DYER, 1989). Em consequência, os grãos dos sedimentos finos não se apresentam separadamente, como ocorre com o sedimentos arenosos por exemplo, mas como agregados de partículas sólidas, com formas e massas específicas, completamente diferentes das correspondentes partículas individuais.

Para que ocorra a floculação, as partículas de sedimentos finos precisam colidir e se aderir uma a outra. A frequência com que as partículas colidem é diretamente proporcional à concentração do material em suspensão (KRONE, 1978 apud NICHOLS & BIGS, 1985), a heterogeneidade do tamanho das partículas, a densidade e a taxa de deslocamento do fluido. Uma fraca turbulência provoca a floculação por aumento da taxa de colisão das partículas, enquanto que uma elevada turbulência inibe a floculação por desagregar os flocos maiores. A coesão depende da composição das partículas e da salinidade do meio. Um aumento de salinidade reduz a repulsão entre as partículas e com isso aumenta a colisão.

Van Andel & Postma (1964) estudando os sedimentos do Golfo de Péria, revelam que naquela região a floculação dos sedimentos finos em suspensão inicia com valores de salinidade em torno de 2 psu. Glangreaud (1938) apud Villwock *et al.* (1972), observou que no estuário da Gironda a floculação dos argilominerais inicia com salinidade em torno de 7 psu. Enquanto Ottmann & Ottmann (1956) observaram na embocadura do Capibaribe floculação da fração fina numa zona onde a salinidade variava entre 15 e 20 psu.

Ottmann (1965) descreve em detalhes este mecanismo deposicional, muito freqüente nos estuários, observando que períodos de calma permitem uma decantação natural dos sedimentos em suspensão dos quais, uma parte se deposita no fundo, e outra concentra-se na lamina d'água que se situa acima do fundo.

Esta lâmina desloca-se posteriormente de acordo com o sentido das correntes, espalhando uniformemente o material lamítico que, devido as suas propriedades de adesão, vai se depositando por acréscimo ou por colmatação (VILLWOCK *et al.*, 1972). Uma vez depositadas, a coesão dessas partículas permite maior resistência à erosão, gerando o assoreamento de portos e canais.

Na porção sul da Lagoa dos Patos, os sedimentos finos encontram no fundo dos canais uma dinâmica favorável para se depositar, o que não ocorre nas regiões mais rasas dos bancos e margens dos canais, que sofrem a ação dos ventos, marés e correntes de vazante e enchente, que além de impedir a deposição, ressuspendem os sedimentos. Esta situação pode ser comprovada pelas características dos sedimentos de fundo de enseadas rasas como o Saco da Mangueira (SILVA, 2008), Saco do Arraial (SOUZA, 2002), Saco do Rincão (OLIVEIRA, 2001), onde sedimentos finos estão presentes em menor quantidade devido a elevada hidrodinâmica do ambiente.

Sob determinadas condições hidrodinâmicas, como períodos de grandes vazões os sedimentos lamíticos são exportados para a plataforma continental, onde irão se depositar formando depósitos de lama fluída, os quais, em ocasiões de alta energia, são depositados na praia do Cassino.

5.2. Resultados

Os minerais identificados pela análise por difratometria de raio-X podem ser observados no Quadro 09. Os componentes mais abundantes identificados na fração menor que 2 μ m foram esmectita, ilita e caolinita, que juntamente com o quartzo foram perfeitamente definidos em todas as amostras processadas.

A esmectita é o argilomineral mais abundante tanto nas amostras da praia do Cassino quanto nas amostras da plataforma continental (Figura 29). Este mineral apresenta concentrações variando de 23 a 69%, com as maiores concentrações localizadas na plataforma continental, próximo a desembocadura do estuário e entre os paralelos de 32°15' e 32°30' sul. Além disso, outra área com elevado teor de esmectita, maior que 53%, é observada próximo a Ilha da Torotama, no estuário da Lagoa dos Patos.

A illita apresenta abundância relativa, variando de 9 a 39%, sendo que as maiores concentrações são observadas no estuário da Lagoa dos Patos, principalmente na região norte, chegando a apresentar concentrações superiores a 34%. Em quase todas as amostras do estuário sua concentração é relativamente maior que a da esmectita, com exceção da amostra situada próximo a Ilha da Torotama. As menores concentrações são observadas na plataforma continental, na região que se estende desde a desembocadura do estuário até o paralelo de 32° 30' sul. A distribuição espacial da Illita pode ser observada na Figura 30.

Amostra	Localização	Esmectita	Illita	Caolinita	Quartzo
1	Lagoa dos Patos	33,6	39,1	7,2	20,1
2	Lagoa dos Patos	64,2	16,3	16,0	3,5
3	Lagoa dos Patos	30,2	32,1	25,3	12,5
4	Lagoa dos Patos	32,9	34,9	22,2	10,0
5	Plataforma	62,1	12,6	18,5	6,8
6	Plataforma	23,5	33,8	29,6	13,0
7	Plataforma	68,9	9,2	16,1	5,8
8	Plataforma	42,6	18,0	31,3	8,0
9	Plataforma	44,8	19,3	23,4	12,5
10	Plataforma	63,2	11,7	19,0	6,2
11	Plataforma	61,2	12,8	19,4	6,5
12	Plataforma	54,5	16,7	24,4	4,4
13	Plataforma	53,1	15,0	22,1	9,8
14	Praia	50,0	13,1	31,4	5,5
15	Praia	34,2	22,7	30,7	12,4
16	Praia	62,9	13,0	18,9	5,2

Quadro 09: Estimativa semi-quantitativa, em percentual, da mineralogia da fração menor que 2 μ m obtida através de difratometria de raio-X.

O conteúdo de caolinita (Figura 31), por sua vez, varia de 7 a 31%, as maiores concentrações estão registradas nas amostras coletadas na praia do Cassino e plataforma continental. Nestas regiões, a caolinita apresenta altas concentrações, inferiores apenas ao conteúdo de esmectita. Já no estuário da Lagoa dos Patos, a caolinita é o constituinte que aparece em menor concentração relativamente à illita e à esmectita, mostrando um acréscimo em direção a desembocadura, que chega a apresentar valores superiores a 22%.

O quartzo apresenta-se como o constituinte minoritário em todas as amostras analisadas, variando de 3,5 a 20,1%. Sua distribuição (Figura 32) não segue um padrão específico, porém é notável a relação inversamente proporcional que este mineral apresenta com a caulinita. Segundo Goldberg & Griffin (1964) existe uma forte correlação inversa entre a abundância de caulinita e plagioclásio e/ou quartzo nos sedimentos do Oceano Atlântico, devido ao feldspato ser um possível precursor da caulinita, alterado durante a formação do solo.

As estimativas semi-quantitativas dos argilominerais foram graficadas em um diagrama ternário e o resultado pode ser visualizado na Figura 33. Os sedimentos coletados no estuário da Lagoa dos Patos mostram a contribuição de uma fonte predominante em illita. Apenas a amostra número 2, localizada próximo a Ilha da Torotama, apresenta maior concentração de esmectita. As amostras da plataforma continental e da praia do Cassino indicam uma tendência de contribuição de duas fontes principais, uma enriquecida em esmectita e, secundariamente, em caulinita, com exceção da amostra número 15, que apresenta uma tendência de enriquecimento em illita.

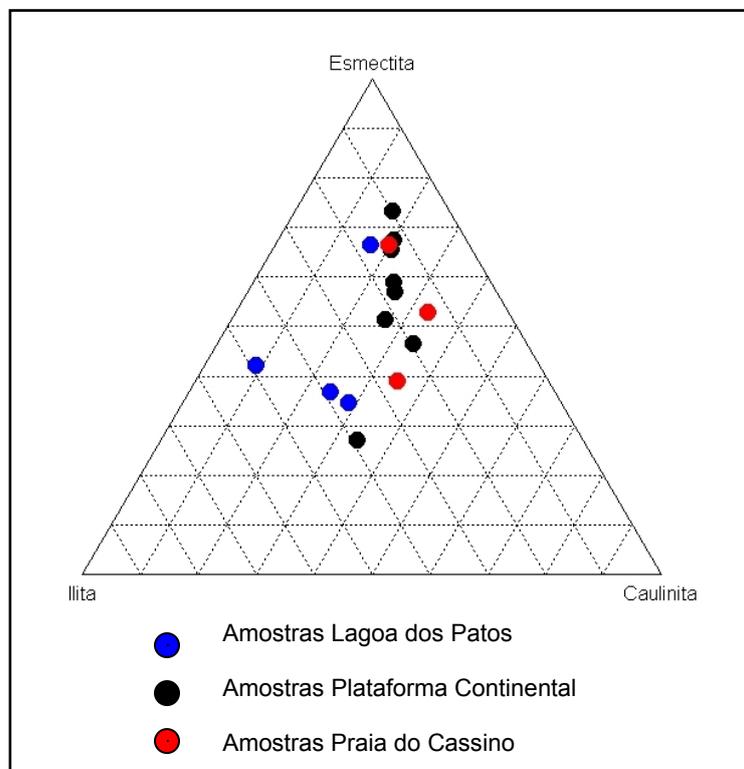


Figura 33: Diagrama Ternário do percentual dos argilominerais, cada eixo representa a concentração de 100% em esmectita, illita e caulinita.

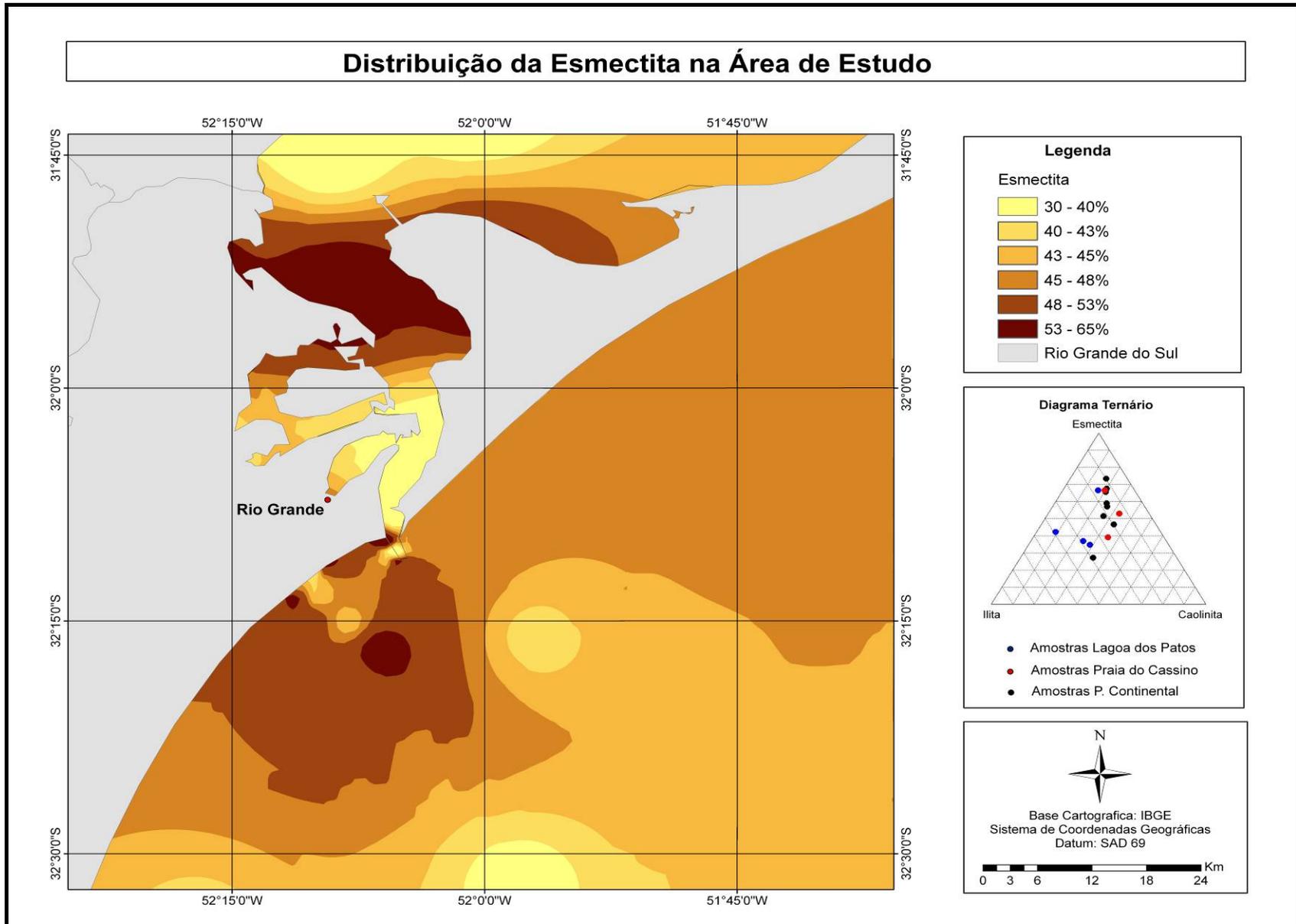


Figura 29: Mapa de distribuição da esmectita na fração menor que 2 μ m.

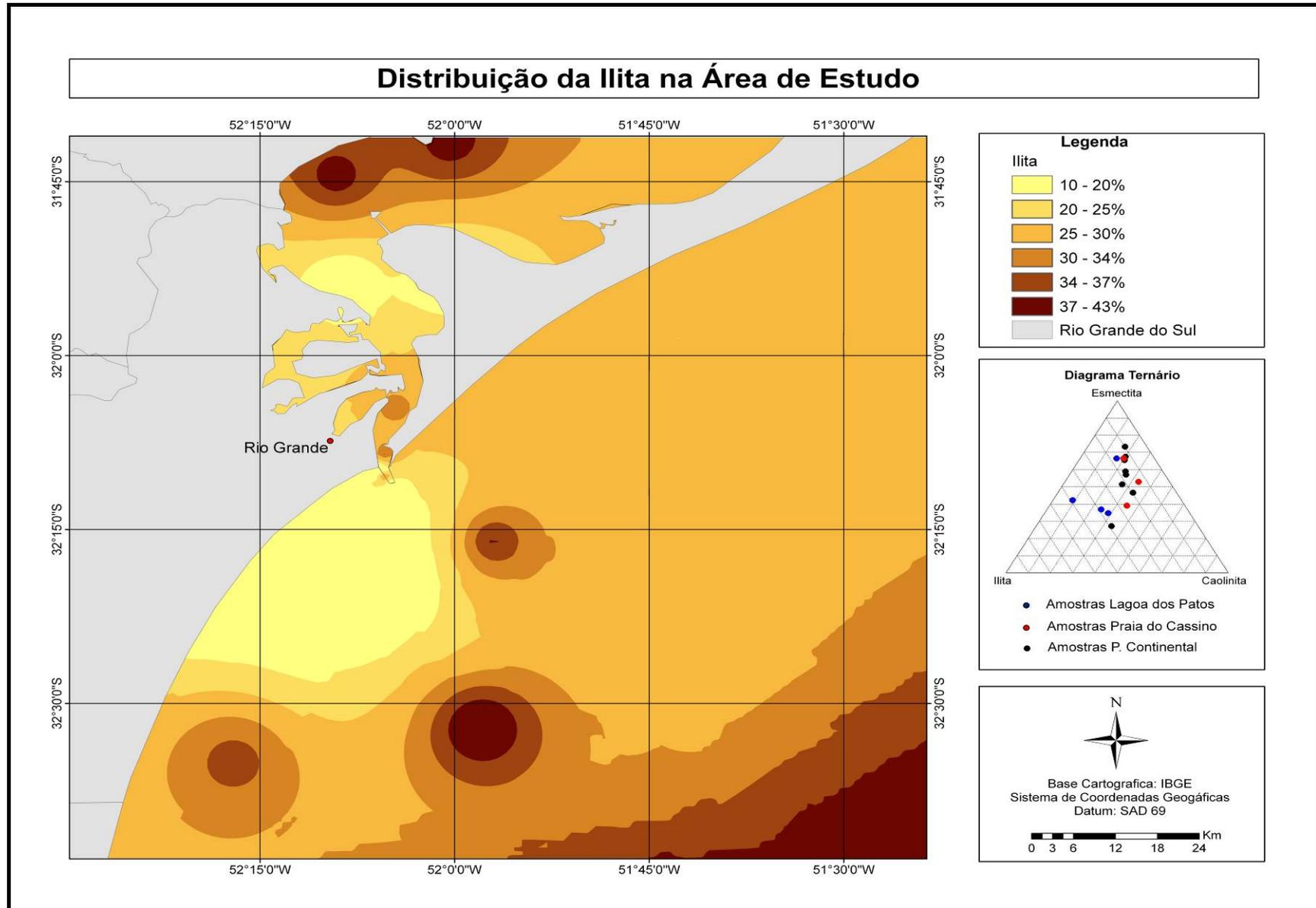


Figura 30: Mapa de distribuição da ilita na fração menor que 2 μ m.

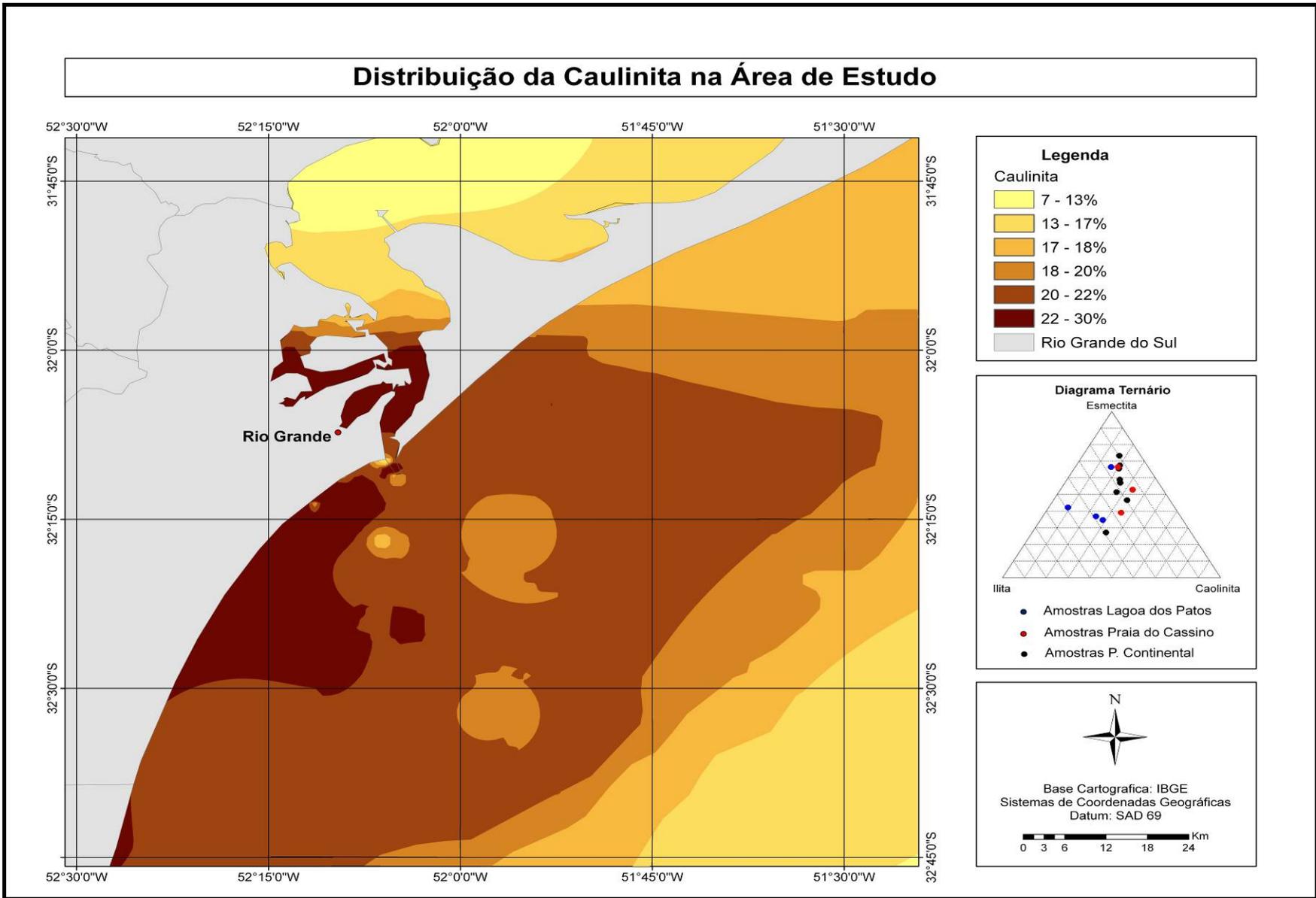


Figura 31: Mapa de distribuição da caulinita na fração menor que 2 μ m.

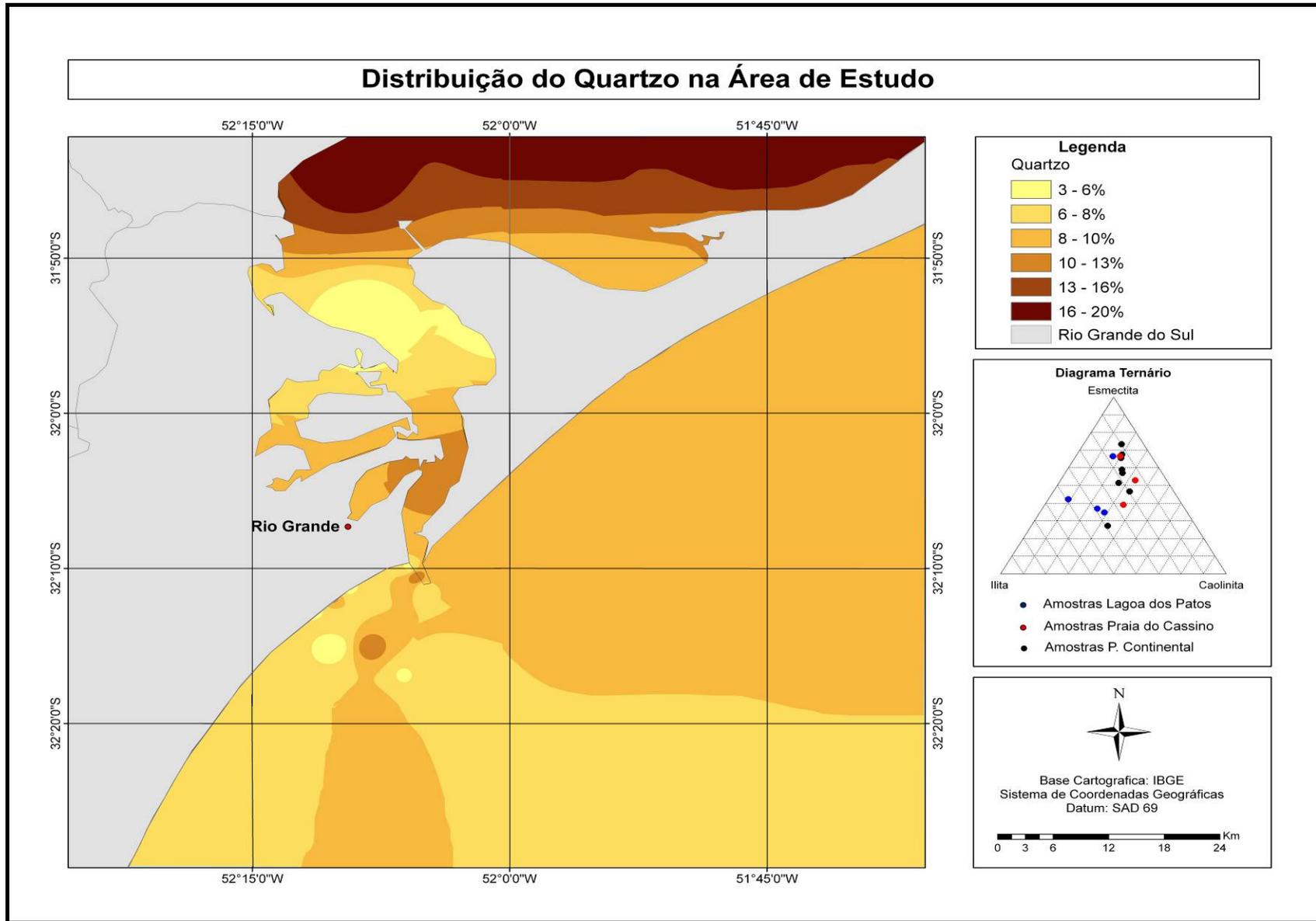


Figura 32: Mapa de distribuição do quartzo na fração menor que 2 μ m.

Para avaliar o comportamento entre os diferentes grupos de argilominerais identificados foram construídos perfis mineralógicos ao longo dos pontos de amostragem. No Perfil A (Figura 34), localizado no estuário da Lagoa dos Patos, pode-se observar o comportamento inversamente proporcional entre esmectita e ilita. Nas amostras onde a esmectita ocorre em maiores concentrações, como na amostra número 2, ocorre uma diminuição da concentração da ilita. Além disso, a caulinita exibe um aumento em sua concentração à medida em que se aproxima da desembocadura do estuário. O quartzo é encontrado em menores concentrações e exibe também um padrão inversamente proporcional a esmectita.

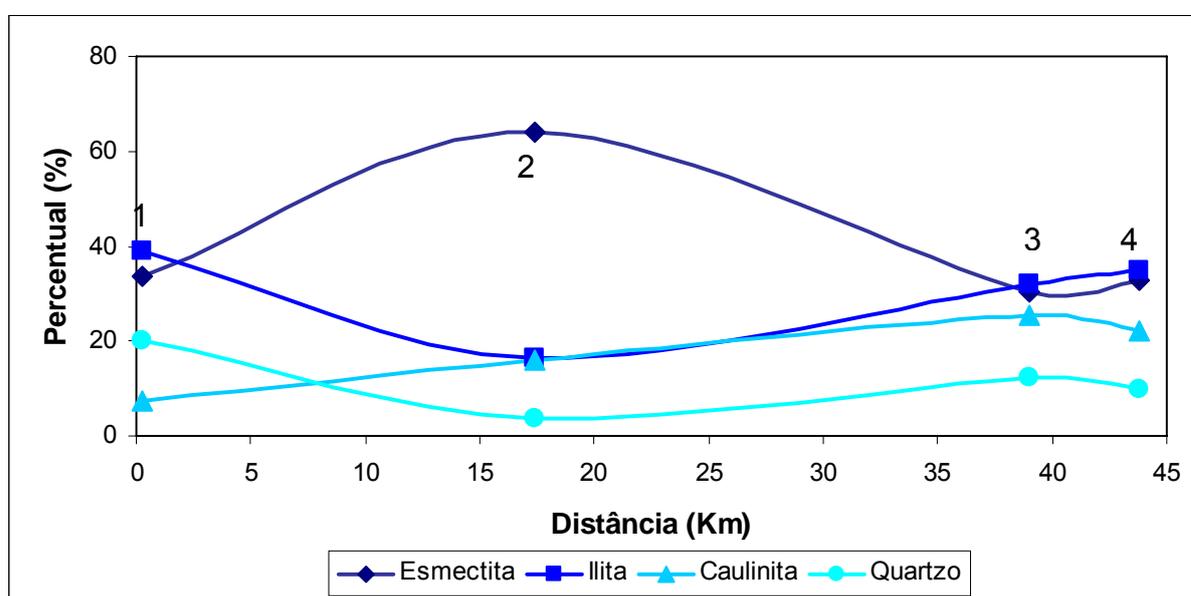


Figura 34: Perfil mineralógico A (Amostras 1, 2, 3 e 4).

As amostras localizadas paralelamente aos molhes da barra, perfil B (Figura 35), mostram o predomínio de esmectita em relação aos demais argilominerais, com exceção da amostra número 6, que exibe uma concentração maior de ilita. A esmectita exibe um padrão inversamente proporcional à caulinita, à ilita e ao quartzo, onde predomina a ilita, ou seja, na amostra número 6, os demais argilominerais e o quartzo aparecem em menores concentrações.

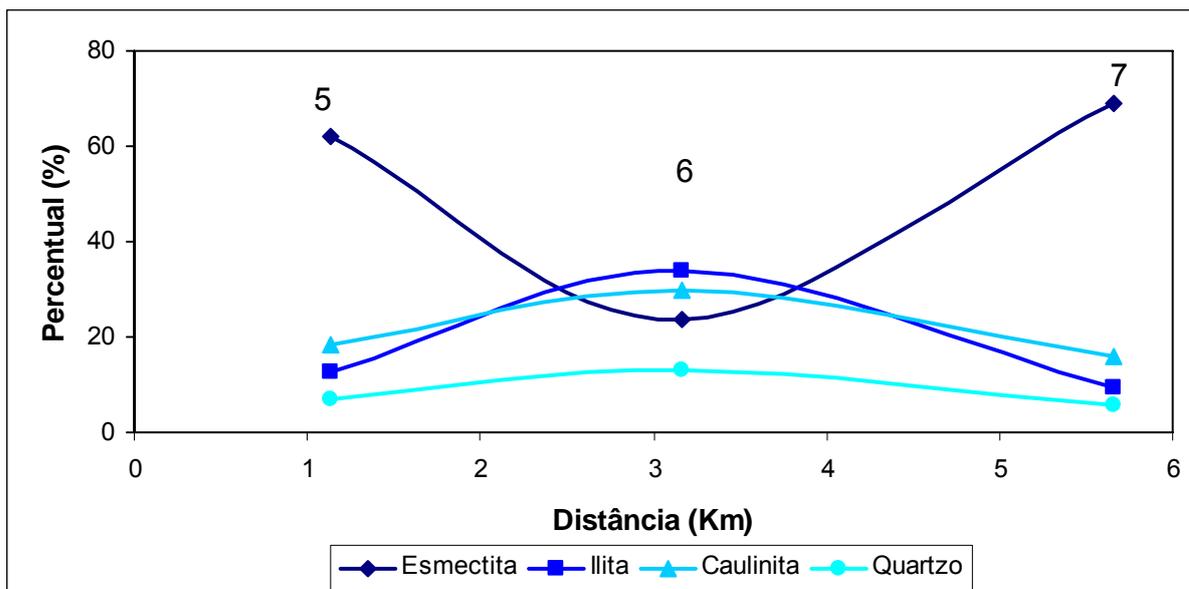


Figura 35: Perfil mineralógico B (amostras 5, 6 e 7).

O perfil C (Figura 36) mostra o enriquecimento em esmectita e a diminuição da concentração de ilita, caulinita e quartzo com o aumento da distância da linha de costa. As maiores concentrações são representadas, respectivamente, pela esmectita, caulinita, ilita e quartzo.

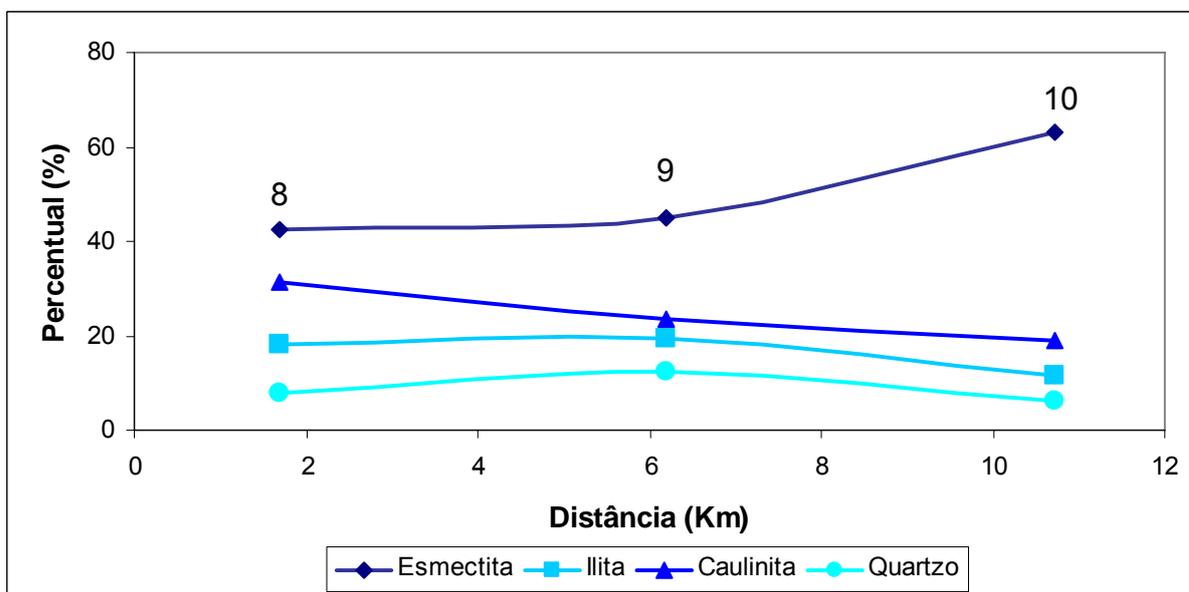


Figura 36: Perfil mineralógico C (amostras 8, 9 e 10).

Da mesma forma que no perfil anterior, o perfil D (Figura 37) também exibe o mesmo padrão de distribuição, com a concentração de esmectita predominando sobre a concentração dos demais argilominerais identificados. Não ocorrem

mudanças significativas ao longo do perfil, entretanto, a amostra mais próxima à linha de costa apresenta maior concentração de esmectita e, conseqüentemente, menor em caolinita, ilita e quartzo. Na medida em que aumenta a distância do continente, a concentração da esmectita torna-se relativamente menor.

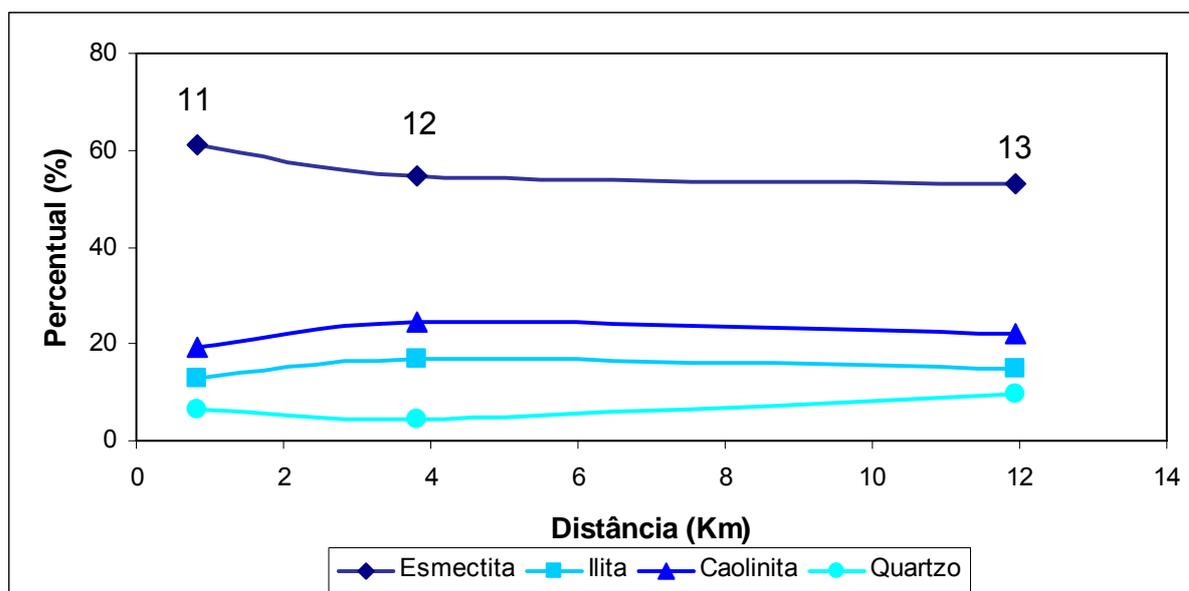


Figura 37: Perfil mineralógico D (Amostras 11, 12 e 13).

Com o objetivo de verificar a existência de diferenças estatística entre as amostras de argilominerais analisadas na Lagoa dos Patos, plataforma continental e praia do Cassino, foi realizado o teste ANOVA de um único fator (Quadro 10). Para os argilominerais esmectita e caolinita não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes entre os diferentes locais de amostragem, ou seja, não foi rejeitada a hipótese H_0 .

Para o argilomineral Ilita foi encontrada uma diferença significativa entre os diferentes locais de amostragem e o parâmetro analisado. Dessa forma, foi realizado o Teste de Tukey para avaliar quais as médias amostrais apresentam diferenças entre si. O resultado pode ser observado na Figura 38. O gráfico mostra que a média entre as amostras de sedimento coletadas na Lagoa dos Patos é igual a média das amostras da praia do Cassino, porém diferente das amostras da plataforma continental. As amostras da praia possuem uma variância muito grande, o que possivelmente faz com que estas sejam consideradas estatisticamente semelhantes as amostras da Lagoa dos Patos. Observando apenas a média, há uma tendência

de maior semelhança entre as amostras da praia e da plataforma continental. O pequeno número amostral, entretanto, dificulta interpretações mais detalhadas. Provavelmente um número amostral maior indicaria que as amostras coletadas na praia do Cassino são mais semelhantes às amostras da plataforma continental do que da Lagoa dos Patos.

Esmectita						
	SQ	GL	MQ	F	p	Rejeita H0?
Tratamentos	0.041	2	0.021	0.983	0.4002	Não
Erro	0.274	13	0.021			
Caolinita						
	SQ	GL	MQ	F	p	Rejeita H0?
Tratamentos	0.025	2	0.012	1.643	0.2312	Não
Erro	0.097	13	0.007			
Ilita						
	SQ	GL	MQ	F	p	Rejeita H0?
Tratamentos	0.116	2	0.058	4.495	0.0328	Sim
Erro	0.167	13	0.013			
<p>(1) Abreviações: SQ = Soma dos Quadrados, GL = Graus de Liberdade, MQ = Média Quadrática, F = Fisher, p = Probabilidade.</p> <p>(2) H0 = Há diferença estatística entre o argilomineral analisado (esmetita, caolinita e ilita) e o local de amostragem (Lagoa dos Patos, plataforma continental e praia do Cassino)? Nível de Confiança de 5 %.</p>						

Quadro 10: Análise estatística ANOVA de uma via.

Os resultados obtidas por meio da análise estatística de agrupamento podem ser observados na Figura 39. Esta análise permitiu a separação das amostras de argilominerais em dois grandes grupos. O primeiro grupo constituído pelas amostras 1, 15, 6, 4 e 3 representa os sedimentos de origem lagunar, constituídos principalmente pelos argilominerais do grupo das ilitas. O segundo grande grupo pode ser subdividido em outros dois subgrupos, o primeiro, formado pelas amostras 10, 11, 16, e 2, representa a transição do material lagunar que é depositado na plataforma, constituído primeiramente por argilominerais do grupo da esmetita, com concentração superior a 60% e secundariamente constituídos por argilominerais do

grupo da caulinita, com concentração inferior a 20%. Já o segundo subgrupo, formado pelas amostras: 8, 14, 9, 12 e 13, representam os sedimentos da plataforma continental e sedimentos praias formados por concentrações menores de esmectita que o primeiro subgrupo, inferiores a 55%, e com concentração de caulinita superiores a 20%.

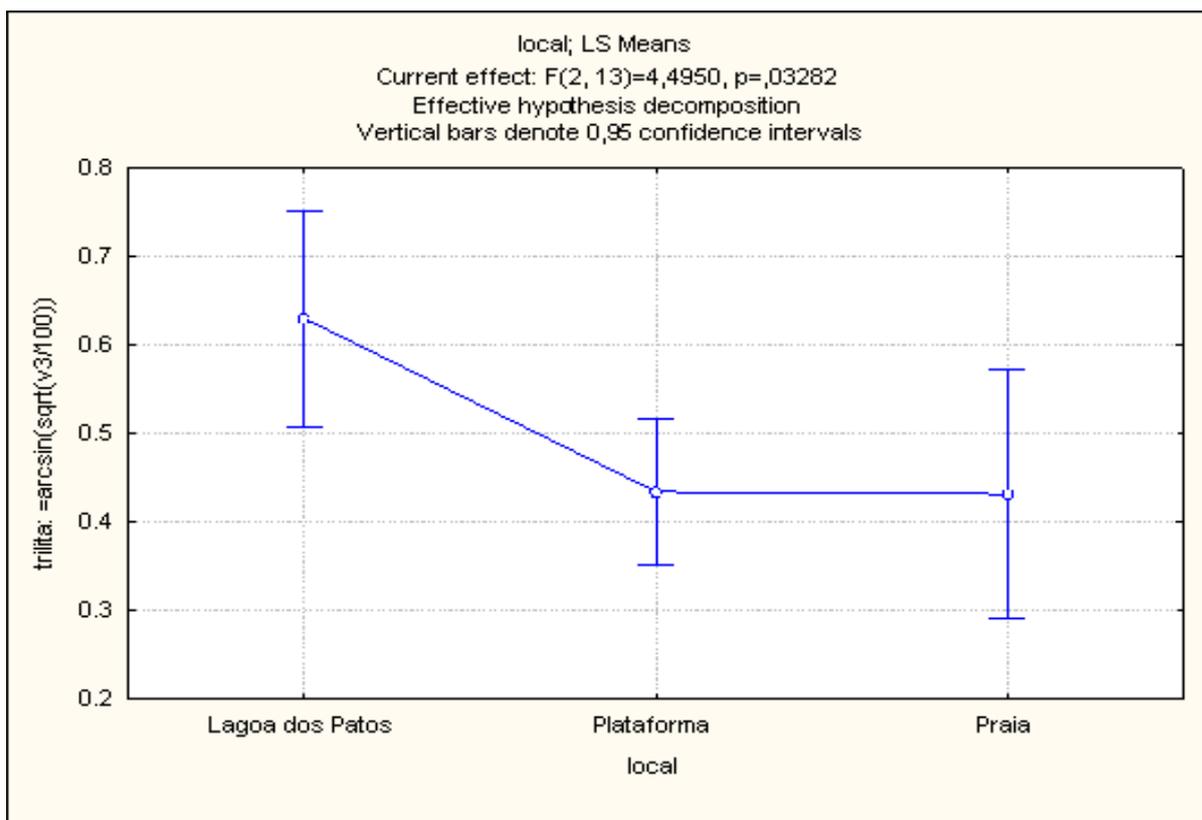


Figura 38: Teste de Tuckey para as amostras coletadas na Lagoa dos Patos, plataforma continental e praia do Cassino. As barras verticais representam a variância entre as amostras e o círculo a média da população.

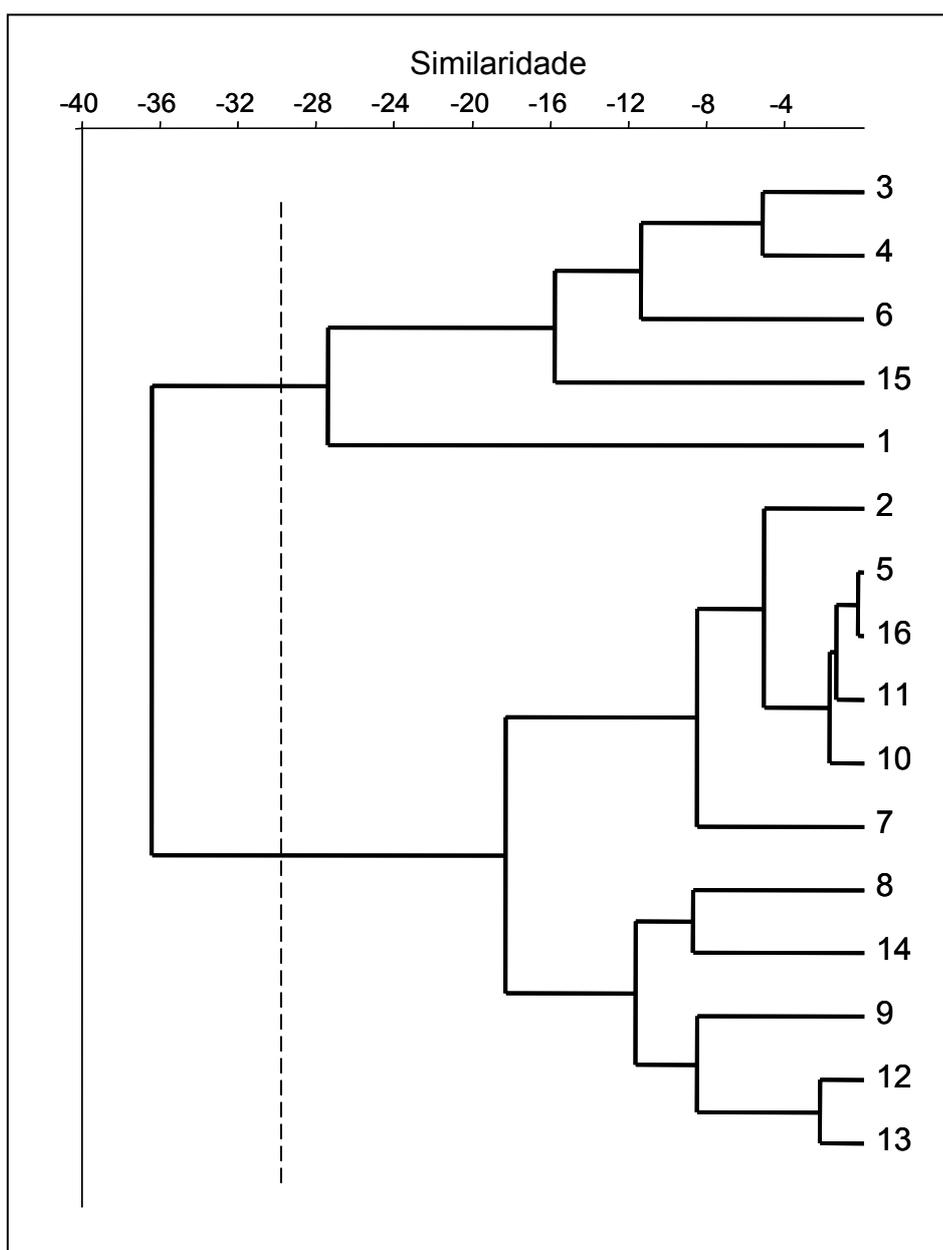


Figura 39: Dendrograma resultante da análise de agrupamento.

A análise de componentes principais, por sua vez, revelou que dois componentes explicam 99,95% da variância dos dados (Quadro 11). O Componente 1 explica 67% da variância total da informação. Este componente apresenta maior correlação de Pearson com a esmectita e com a caolinita. Desta forma, 67% da variância total da informação pode ser explicada pelo teor de esmectita + caolinita. Já o Componente 2, que explicou 32,8% da variância total da informação, apresenta maior correlação de Pearson com a illita e, desta forma sua variação pode ser explicada pelo teor de illita. O componente 1 é ortogonal ao componente 2 e, assim,

o que explica o componente 1 não explica o componente 2 e vice-versa. O resultado da análise de componentes principais pode ser visualizado na Figura 40.

	autovalor	% variância explicada
Componente 1	2.0144	67.147
Componente 2	0.984204	32.807
Componente 3	0.0014	0.046674

Quadro 11: Quadro de autovalores obtidos pela análise de componentes principais.

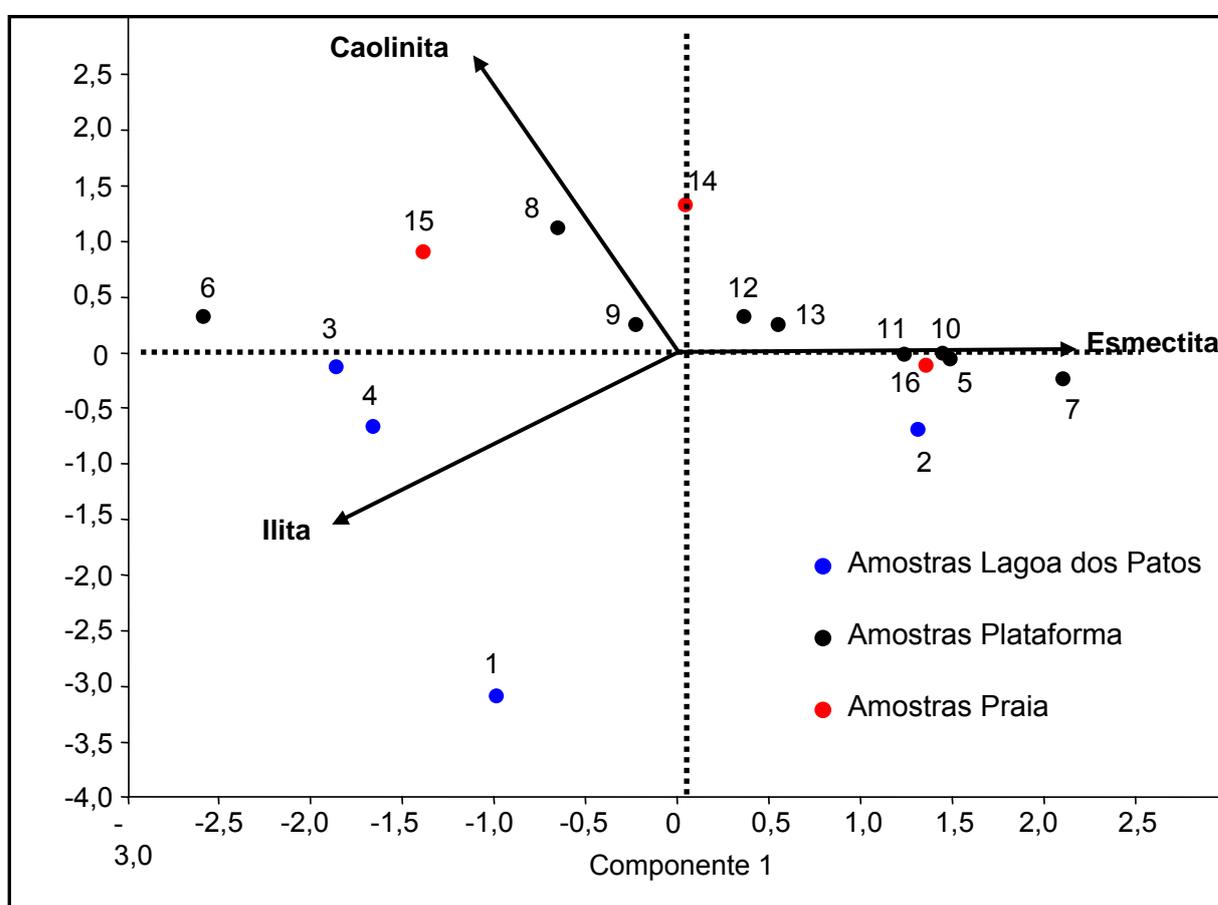


Figura 40: Componentes principais obtidas a partir da correlação de Pearson.

5.3. Discussão e Conclusões

Segundo Millot (1963) as argilas nos sedimentos marinhos são de origem continental. Contudo, ainda segundo o mesmo autor, não se pode negar o fato de que os mesmos sofrem modificações na sua composição mineralógica ao passarem do ambiente continental para o marinho. Estas modificações ocorrem através de dois mecanismos principais, a transformação e a sedimentação diferencial.

A transformação dos minerais argilosos no decorrer dos processos pedológicos, através de fragmentação, lixiviação e hidrólise é um fato perfeitamente conhecido (MILLOT, 1963). Estes fenômenos agem sobre os espaços interfoliares dando origem a inúmeros minerais degradados, dentre os quais destacam-se: illitas alteradas, vermiculitas, interestratificados de vários tipos e até mesmo a esmectita (Villwock *et al.*, 1972). Os minerais nesse estado chegam ao mar e encontram-se com os íons que lhe haviam sido retirados. Conforme verificado experimentalmente por Whitehouse & McCarter (1958), os íons da água do mar, especialmente o potássio e o magnésio, retornam ao seu lugar entre as folhas alteradas, realizando uma agradação, processo inverso ao da degradação que se observa nos solos, reconstituindo interestratificados diversos a partir da montmorillonita e ainda clorita e illita a partir de interestratificados.

Grim *et al.* (1949) identificaram misturas de argilominerais nos sedimentos do Pacífico e na costa do golfo da Califórnia. Em geral, ocorria um predomínio de illita, caolinita, clorita e uma pequena quantidade de montmorillonita. As amostras coletadas próximas a costa eram ricas em caolinita e montmorillonita, e a illita apresentava-se degradada. Os autores supuseram uma transformação dos minerais em illita e clorita sob a influência dos íons de K e Mg presentes na água do mar.

A sedimentação diferencial se baseia no princípio de que alguns minerais se depositam mais rapidamente que outros. Whitehouse *et al.* (1960) estudaram detalhadamente este mecanismo, considerando a influência de vários fatores físico-químicos e ambientais. Estes autores, realizando um experimento com água do mar com salinidade de 18 psu, em ambiente calmo, a uma temperatura de 26°C determinaram que a velocidade de sedimentação da illita, caolinita e montmorillonita são respectivamente: 15,8 m/dia, 11,8 m/dia e 1,3 m/dia. A clorita sedimentou mais

rapidamente que a caolinita e, a vermiculita um pouco mais rapidamente do que a ilita.

Grim & Johns (1954) analisando os sedimentos argilosos do Golfo do México, determinaram que os sedimentos continentais transportados pelo rio Guadalupe eram compostos essencialmente de montmorillonita com traços de clorita e ilita. Entretanto, à medida que os sedimentos eram carregados para o oceano, a montmorillonita era substituída por ilita e clorita que assumiam proporções iguais.

Caliani *et al.* (1997) estudando o estuário de Huelva na Espanha encontrou uma predominância de ilita, com concentração maior que 70% nos sedimentos estuarinos e superior a 80 % nos sedimentos marinhos. Secundariamente, a caolinita também mostrou uma variação em sua abundância nos sedimentos oceânicos e estuarinos. A clorita que estava ausente nos sedimentos estuarinos, passou a apresentar concentração de 5% no ambiente marinho.

De acordo com Villwock *et al.* (1972) na Lagoa dos Patos, a sedimentação diferencial pode ser efetiva nas partes norte e média da laguna, uma vez que a salinidade nessa área é muito mais baixa do que o necessário para ocorrer a floculação. Já a atuação dos mecanismos de transformação parecem agir na porção sul do estuário, onde a salinidade é bem mais elevada.

Tendo em vista as considerações feitas até aqui, os argilominerais encontrados nesta pesquisa estão, qualitativamente, dentro do esperado e sem dúvida, são originários das áreas emersas do continente.

De acordo com a bibliografia consultada e descrita no capítulo 2, a esmectita é o argilomineral mais abundante nos solos do Rio Grande do Sul, principalmente na Planície Costeira, Planalto Meridional e Depressão Central. A ilita é o argilomineral encontrado em grandes concentrações no Escudo Sul Riograndense e esporadicamente na Planície Costeira. Enquanto a caolinita mostra-se abundante no Escudo Sul Riograndense e Planalto Meridional.

Nas amostras da plataforma continental e da praia do Cassino, a esmectita predomina em relação a caolinita, enquanto a ilita está presente em menores proporções. A predominância da esmectita pode ser justificada pela sua abundância

nas áreas fonte, bem como pelo seu comportamento na sedimentação diferencial. A illita, por apresentar uma velocidade de sedimentação maior, fica retida nos sedimentos estuarinos, enquanto que a esmectita alcança maiores distâncias, se incorporando ao sedimento da plataforma.

As amostras localizadas no estuário da Lagoa dos Patos demonstram a predominância da illita sobre a esmectita na maioria das amostras, enquanto a caolinita aparece em menor concentração. A dominância da illita está relacionada, conforme mencionado acima, com o mecanismo de sedimentação diferencial. No caso deste mecanismo ser o único processo atuante no ambiente, a concentração de caolinita deveria ser superior ao conteúdo de illita. Entretanto, a predominância de illita assim como de esmectita estão relacionadas com a abundância nas áreas fonte.

Os resultados obtidos neste estudo assemelham-se aos encontrados por Vieira *et al.* (1984), para os sedimentos de fundo dos Sacos do Arraial e Mangueira, nas proximidades da cidade do Rio Grande, que encontraram illita, montmorilonita, interestratificados do tipo I-M e caolinita, como os principais argilominerais constituintes da região. Porém, os resultados diferem daqueles encontrados por Villwock *et al.* (1972) que mostram para a Lagoa dos Patos a predominância de montmorilonita seguida por interestratificados do tipo I-M, caolinita e clorita. Neste caso, deve-se levar em consideração que, além dos mecanismos de transformação e sedimentação diferencial, anteriormente mencionados, modificações nas assembléias de argilominerais podem ocorrer devido a variações periódicas na composição e na concentração dos detritos transportados pelos rios, já que este ambiente é fortemente influenciado pelos processos atuantes ao longo de toda bacia de drenagem.

Dessa forma, é preciso considerar o comportamento relativo das províncias geomorfológicas consideradas como fonte de material sedimentar. Villwock *et al.* (*op. cit.*) argumenta, que a porção norte da bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos, constituída pelos derrames basálticos e parte do bordo sul da Bacia do Paraná, é a que deve contribuir com maior volume de sedimento, uma vez que a grande maioria dos seus cursos d'água encontram-se num estágio jovem, com grande poder erosivo. Por outro lado, segundo o mesmo autor, os rios que correm sobre o Escudo cristalino, região grandemente dissecada e relativamente plana, possuem atividade

erosiva reduzida, depositando boa parte dos sedimentos que transportam em suas planícies de inundação.

Para a plataforma continental, os resultados obtidos neste trabalho parecem estar de acordo com aqueles encontrados por Costa & Ramos (1983) para a plataforma continental sul brasileira, onde o argilomineral predominante é a esmectita. Entretanto, no presente estudo, a caolinita aparece como constituinte secundário, diferente do resultado obtido por tais autores que encontraram predominância de illita sobre a caolinita. Fato este, relacionado com a abundância e distribuição destes argilominerais a partir de suas áreas fonte.

As análises estatísticas paramétrica e multivariadas permitiram a visualização e classificação das amostras de forma relativamente simples, caracterizando um método eficiente de separar os grupos de amostras de sedimentos para descrever suas propriedades e comportamento. Por meio destas técnicas, tornou-se possível verificar que os argilominerais presentes na Lagoa dos Patos, plataforma continental e praia do Cassino pertencem a uma mesma assembléia mineralógica, que apresenta modificações ao se deslocar do ambiente continental para o ambiente marinho. Os sedimentos lagunares, enriquecidos em illita, à medida que se dirigem para o oceano passam a apresentar uma maior contribuição em esmectita e caolinita. E, dessa forma, fica evidente a origem dos depósitos lamíticos da praia do Cassino a partir dos sedimentos continentais transportados pela Lagoa dos Patos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O padrão de precipitação na área de estudo não apresentou modificações significativas no período de 1968 a 2008. Apesar da pequena variabilidade anual pode-se verificar que o terceiro trimestre apresenta maiores índices de precipitação, sendo julho e março os meses com maior e menor precipitação, respectivamente. Ao comparar o volume de precipitação entre as bacias hidrográficas norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) percebe-se que a primeira apresenta o volume mais elevado de precipitação, na maior parte do período analisado.

As variações climáticas apresentam uma forte influência no padrão de precipitação na região leste do Rio Grande do Sul. Durante os eventos de El Niño e/ou no ano posterior ao evento são observados aumento da precipitação, enquanto que no ano anterior ao evento apresenta uma tendência de ser mais seco. Durante os eventos de La Niña os valores de precipitação tendem a diminuir. Existe um intervalo de tempo entre o início do evento no Oceano Pacífico e sua resposta na região de estudo. Devido ao curto período de tempo entre alguns eventos de El Niño e La Niña, as anomalias podem, algumas vezes, se sobrepor alterando a magnitude ou até mesmo a tendência esperada para o evento.

No período considerado, foram observadas relações significativas entre eventos de El Niño e precipitação acima da normal e eventos de La Niña e precipitação abaixo do normal, principalmente para o final da primavera, sendo o mês de novembro o que mostra uma maior correlação, de 80 e 63% respectivamente.

Os eventos de deposição de lama na praia do Cassino não apresentam uma grande variabilidade em relação as anomalias climáticas no Oceano Pacífico. Entretanto, estão evidenciadas as influências que os fenômenos de El Niño e La Niña exercem sobre a precipitação e, conseqüentemente, sobre as características dos depósitos lamíticos.

Durante eventos de El Niño são registradas precipitações mais intensas e em um espaço de tempo menor, tanto entre os eventos quanto em relação ao tempo de início da anomalia positiva no Oceano Pacífico. As precipitações na região sul da Lagoa dos Patos demonstram uma forte relação com esta anomalia.

Em eventos de La Niña, são observados maiores taxas de precipitação dentro a abaixo da normal, além de um período maior entre o início da anomalia negativa na TSM no Oceano Pacífico e os depósitos lamíticos da praia do Cassino. A região hidrográfica norte da Lagoa dos Patos apresenta um comportamento predominante sobre a precipitação quando comparada região sul, durante esse evento.

Os argilominerais identificados na área de estudo por meio da difratometria de raio-x foram, em ordem de abundância: esmectita, ilita e caolinita, além do quartzo. Na plataforma continental e praia do Cassino a esmectita predomina em relação a caolinita, enquanto que a ilita está presente em menores proporções. Já na Lagoa dos Patos, o argilomineral dominante é a ilita sobre a esmectita, e a caolinita que aparece em menor concentração.

A assembléia mineralógica presente na área de estudo é sem dúvida de origem continental. Os argilominerais do grupo da esmectita são o componente mais abundante em todos os solos do Rio Grande do Sul, principalmente na Planície Costeira, Planalto Meridional e Depressão Central. Os argilominerais do grupo da caolinita são originários principalmente do Escudo Sul Riograndense e do Planalto enquanto os pertencentes ao grupo da ilita provêm, fundamentalmente, do Escudo e esporadicamente da Planície Costeira.

As análises estatísticas paramétricas e multivariadas permitiram a visualização e a classificação direta das amostras sedimentológicas, caracterizando um método eficiente e relativamente simples de separar os grupos de amostras de

sedimento, de modo a descrever suas propriedades e comportamento. Estas análises permitiram observar a transição nos grupos de argilominerais com a mudança do ambiente fluvial para o ambiente marinho, evidenciando a origem dos depósitos lamíticos da praia do Cassino a partir da Lagoa dos Patos.

As alterações no volume de precipitação interferem diretamente no escoamento fluvial e, conseqüentemente, alteram o volume de sedimentos que aportam na Lagoa dos Patos. Uma vez que os eventos de El Niño e La Niña atuam no comportamento da precipitação entre as bacias, uma variação sazonal na distribuição dos argilominerais provavelmente deve ser observada entre estes eventos. Durante períodos de El Niño onde a influência das bacias da região sul são potencializadas, possivelmente devem ser encontradas maiores concentrações de sedimentos finos originários do Escudo Sul Riograndense (caolinita e ilita) e da Planície Costeira (esmectita e esporadicamente ilita). Já em períodos de La Niña, onde é maior a influência das bacias hidrográfica da região norte, uma maior contribuição de sedimentos dos rios que drenam o Planalto Meridional (caolinita e esmectita) e da Depressão Central (esmectita) devem ser esperados.

Em resumo conclusivo observamos que o fenômeno do El Niño representa um aporte mais significativo de argilominerais predominantemente constituídos por Ilita, por apresentar uma contribuição maior do fluxo de descarga das bacias de drenagem da região sul. Por outro lado, durante o fenômeno de La Niña, a caolinita é o principal constituinte dos argilominerais em função da maior contribuição da drenagem do setor norte, principalmente daqueles que têm sua origem na região do Planalto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **HidroWeb**: Sistema de Informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 14 de julho de 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **SIGEL**: Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>>. Acesso em 19 de julho de 2009.
- ALLISON, M.A.; KINEKE, G.C.; GORDON, E.S.; GONI, M.A. Development and reworking of a seasonal flood deposit on the inner continental shelf of the Atchafalaya River. **Continental Shelf Research**, v. 20, n. 16, p. 2267–2294, 2000
- ALLISON, M.A.; LEE, M.T. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. **Marine Geology**, n. 208, p. 169–190, 2004.
- ALMEIDA, L.E.S.B. & ROSAURO, N.M.L. 1997. Análise preliminar das marés na barra do Rio Tramandaí (RS-Brasil). IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória, **Anais...** São Paulo: ABRH, v. 4, p. 559-566.
- ALVAREZ, J.A.; GRÉ, J.C. & TOLDO Jr., E.E. Estudo da praia a nordeste do molhe de Rio Grande, Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 131-14, 1981.
- ANTIQUERA, J.A.F. **Evolução geomorfológica de um pontal arenoso na extremidade Sul da Laguna dos Patos, RS**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Instituto de Oceanografia, Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2003.
- AYUP-ZOUAIN, R.N. Áreas fontes e dispersão dos minerais pesados na margem continental sul brasileira e uruguaia. In: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, 2. Florianópolis, 1985. **Anais...** Florianópolis, SBP, p. 362-378.
- AYUP-ZOUAIN, R.N. **Aspectos da dinâmica sedimentar no Rio de la Plata e plataforma interior adjacente**. 1986. 226 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

- AYUP-ZOUAIN, R.N. **Avaliação das mudanças do nível do mar durante o Holoceno na plataforma continental adjacente ao Rio de La Plata**. 1991. 364 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.
- AYUP-ZOUAIN, R.N.; FACHEL, J.M.; CORRÊA, I.C.S.; TOLDO JR., E.E.; WOLFF, I.M.; WESCHENFESLDER, F.M. & OLIVEIRA, F.M. Classificação dos sedimentos superficiais de fundo do rio de La Plata e plataforma continental adjacente através da análise de agrupamento. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 17-33, 1994.
- AYUP-ZOUAIN, R. N., FERREIRA, H.P.L.P; BARBOZA, E.G.; TOMAZELLI, L.J. Evidência morfológica de um paleocanal holocênico da Laguna Mirim nas adyacencias do Banhado Taim. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9, Recife, 2003. **Anais...**Recife, ABEQUA, p.1-5.
- BAPTISTA NETO, J.A.; SILVA, M.A.M. Ocorrência de bolas de lama nas praias da enseada de Jurujuba (Baía de Guanabarra) – Niterói – RJ. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 49, p. 53-61, 2001.
- BAISCH, P.R. **Les oligo-elements metalliques du systeme fluvio-lagunaire dos Patos, Flux et devenir (Bresil)**. 1994. 345p. Tese (Doutorado em Geologia Marinha), Universidade de Bordeaux, Bordeaux, 1994.
- BAISCH, P.R. e WASSERMAN, J.C. Chemistry and distribution of trace elements in the Patos Lagoon, South Brazil. In: WASSEMAN, J.C. (ed) **Environmental Geochemistry in the Tropics**. Lecture Notes in the Earth Science, v. 72. p. 97-106, 1998.
- BARROS, V.R.; GRIMM, A.M.; DOYLE, M.E. Relationship between temperature and circulation in southeastern South America and its influence from El Niño and La Niña events. **J. Meteorological Society of Japan**, v. 80, n. 1, p. 21-32, 2002.
- BUYNEVICH, I., ASP, N., FITZGERALD, D., CLEARY, W., KLEIN A., SIEGLE, E., e ANGULO, R. 2005. Mud in the surf: nature at work in a brasilian bay. **EOS**, v. 86, n. 33, p. 301-308, 2005.
- CALLIARI, L.J. **Aspectos Sedimentológicos e Ambientais da Região Sul da Lagoa dos Patos**. 1980. 190 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
- CALLIARI, L.J.; ABREU, J.G. Litologia da plataforma continental interna adjacente a cidade de Rio Grande, RS, através da interpretação de sonar de varredura lateral e amostragem superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 331, 1984. Rio de Janeiro, **Anais...**1984, p. 1553–1564.

- CALLIARI, L.J.; PAIM, P.S.; MÖLLER, O.O.; NIENCHESKI, L. F. H. & PAZ, R.S. Operação Geocosta Sul, Súmula. In: SEMINÁRIO SOBRE PESQUISA DA LAGUNA DOS PATOS, I. Porto Alegre, 1984, p. 98-107.
- CALLIARI, L.J., KLEIN, A.H.F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37. São Paulo, **Anais...** São Paulo, 1992.
- CALLIARI, L.J. & FACHIN, S. Lagoa dos Patos: Influência nos depósitos lamfíticos costeiros. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 57-69, 1993.
- CALLIARI, L. J. Características Geológicas do Estuário da Lagoa dos Patos. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. & CASTEALO, J.P. (eds). **Os ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil**. Rio Grande: Ecoscientia, 1997, p. 13-18.
- CALLIARI, L.J. & GRIEP, M.F. Uma análise histórica dos efeitos produzidos por modificações antrópicas no estuário da Lagoa dos Patos – Natural versus provocado. In: FLORES, F.F.(ed). **Por uma história multidisciplinar do Rio Grande**. Rio Grande: Edigraf, 1999, p. 97-105.
- CALLIARI, L.J.; SPERANSKI, N.S.; TORRONTÉGUY, M.E.; OLIVEIRA, M.B. The mud banks of Cassino Beach, Southern Brazil: Characteristic, Processes and Effects. **Journal of Coastal Research**, ICS 2000 Proceedings, p. 1-9, 2000.
- CALLIARI, L.J.; FARIA, A.F.G. Bancos de Lama do Cassino: Formação, Implicações Geomorfológicas, Ambientais e Riscos Costeiros. Estudo de Caso: Maio de 2003. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9, 2003. Recife, **Anais...** Recife: 2003.
- CALLIARI, L.J.; HOLLAND, T.; DIAS, M.S.; VIZON, S.; THORTON, E.; STANTON, T. Experimento Cassino 2005: Uma síntese dos levantamentos efetuados na antepraia e zona de arrebenção. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10, 2005. Guarapari, **CD-Rom** Published by META Marketing & Eventos Ltda. 2005.
- CALLIARI, L.J.; HOLLAND, K.T.; PEREIRA, P.S.; GUEDES, R.M.C.; ESPIRITO SANTO, R. The influence of mud on the inner shelf, shoreface, beach and surf-zone morphodynamics-Cassino, Southern Brazil. In: **Proceedings of the Coastal Sediments**, v. 2. New York: ASCE, 2007, p. 1455–1465.
- CARRARO, C.C.; GAMERMANN, N.; EICK, N.C.; BORTOLUZZI, C.A; JOST, H. & PINTO, J.F. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências – UFRGS – Porto Alegre (**Série Mapa**, n. 8), 1974.
- CASTRO, B.; MIRANDA, L.B. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf between 41N and 34S. In: BRINK, K.; ROBINSON, A. (Eds.), **The Sea: The Global Coastal Oceans**. New York: Wiley Inc., 1998. p. 209-251.

- CHU, P.S. Brazil's climate and ENSO. In: GLANTZ, M., KATZ, R.W., NICHOLLS, N. (Eds.) **Teleconnections linking worldwide climate anomalies**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991, p. 43-71.
- COLI, A.B. **Análise das alturas de onda ao longo do Rio Grande do Sul: dados históricos e altimétricos**. 1994. 58 f. Monografia (Graduação) – Instituto de Oceanografia, Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1994.
- CORRÊA, I.C.S.. Depósitos de material carbonático da plataforma continental do Rio Grande do Sul, Brasil. In: ARANA P.M. (Ed) **Proceedings of the international conference on marine resources of the pacific**. Viña Del Mar, Chile, 1983, p. 155-163.
- CORRÊA, I.C.S. Sedimentos superficiais da plataforma e talude continental do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 95–104, 1987.
- COSTA, C. & RAMOS, F.T. Argilo-minerais na plataforma continental sul-brasileira, do Cabo de Santa Marta ao Chuí. **Pesquisas**, Porto Alegre, v.15, n.1, p. 86-93, 1983.
- CUCHIARA, D.C. **Modelagem numérica do comportamento das ondas no sul do Brasil e suas interações com os depósitos lamíticos na praia do Cassino**. 2008. 174 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Instituto de Oceanografia, Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.
- CUNHA, R.M.P. **Informações oceanográficas do estuário da Laguna dos Patos avaliadas por geoprocessamento**. 2009. 177 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Instituto de Oceanografia, Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.
- DAVIES, J.C. Information contained in the sediment-size analysis. **Mathematical Geology**, v.2, n. 2, p. 105-112, 1970.
- DAVIES, J.L. **Geographical variation in coastal development**. London: Longman, 1980. 212 p.
- DELANEY, P. J. V. & FORMOSO, M. L. L. Ocorrência de uma chamada bentonita no município de São Gabriel, Rio Grande do Sul. **Escola Geologia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 2, p. 1-13, 1960.
- DELANEY, P. J. V. Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Escola Geologia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Publicação Especial, v. 6, p. 1-105, 1965.
- DYER, K.R. **Coastal and estuarine sediment dynamics**. New York: John Wiley and Sons Ltda, 1986. 342p.

- FAN, S.; SWIFT, D.J.P.; TRAYKOVSKI, P.; BENTLEY, S.; BORGELD, J.C.; REED, C.W.; NIEDORODA, A.W. River flooding, storm resuspension, and event stratigraphy on the northern California shelf: observations compared with simulations. **Marine Geology**, v. 210, Issue 1-4, p.17- 41, 2004.
- FERNANDES, E.H.L.; DYER, K.R.; MÖLLER, O.O.; NIENCHESKI, L.F. The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). **Continental Shelf Research**, v. 22, p. 1699–1713, 2002.
- FIGUEIREDO Jr., A. G. **Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma do Rio Grande do Sul**. 1975. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1975.
- FIGUEIREDO F°, P.M.; BORTOLUZZI, C.A. Léxico estratigráfico do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 6, n.1, p. 1-74, 1975.
- FIGUEIREDO Jr., A.O. Response of water column to strong wind forcing, southern Brazilian inner shelf: implications for sand ridge formation, **Marine Geology**, v. 35, p. 367-376, 1980.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p.127-132, 1977.
- FORMOSO, M. L. L. Os principais jazimentos de argilas no Rio Grande do Sul. In: *Encontro Geológico* Universidade Federal do Rio grande do Sul, I, 1966. Porto Alegre, **Anais....**Porto Alegre, p. 228-241, 1966.
- FORMOSO, M.L.L. Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980. Camburiú, SC. **Anais...**Camburiú, SBG, V. 4, P. 111.
- FORMOSO, M. L. L. & FIGUEIREDO F°, P. M. Estudo sedimentológicos do Grupo Guatá. **Escola Geologia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Publicação especial, v. 12, 55p, 1966.
- FRAGOSO CESAR, C.A.R.S.F.; WENICK, E.; SOLANI Jr., E. Associações petrotectônicas do Cinturão Dom Feliciano (SE da Plataforma Sul-Americana). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,32., 1982, Salvador-BA. **Anais...**, Salvador-BA, SBG..v.1, p.1-12.
- FRAMINAN, M.B & BROWN, O.B. Study of the Rio de la Plata turbidity front, Part I: spatial and temporal distribution. **Continental Shelf Research**, v. 16. n. 10, p. 1259-1282. 1996
- GABIOUX, M.; VINZON, S.B.; PAIVA, M.A. Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v. 25, p.113–125, 2005.

- GAMBOA, L.A.P., FIGUEIREDO JR, A.G., MARTINS, I.R., FORMOSO, M.L.L. Argilo-minerais da plataforma continental do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, 1973. Aracajú. **Anais...Aracajú**, SBG, V. .1, p. 353-8, 1973.
- GARCIA, C.A.E., 1997. Características Hidrográficas. In: Seeliger, U., Odebrecht, C., Castello, J.P. (Eds.), Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Springer, Berlin, pp. 18–20.
- GOEDERT, W. J. Contribuição ao estudo das argilas dos solos do Rio Grande do Sul. **Cerâmica**, v.12, n. 47/48, p. 145-160, 1965.
- GOEDERT, W. J. & FORMOSO, M. L. L. Argilo-minerais dos principais solos da região litoral sul do Rio Grande do Sul. **Escola Geologia**, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Notas e Estudos, v. 2, n. 1, p. 55-66, 1970.
- GOLDBERG, E.D. & GRIFFIN, J.J. Sedimentation rates and mineralogy in the South Atlantic. **J. Geophys. Research**, v. 69, p. 4293-4309, 1964.
- GOULART, E.S. **Morfodinâmica do banco das Três Marias-barra do Rio Grande**. 2007. 54 f. Monografia (Graduação) – Instituto de Oceanografia, Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2007
- GRIFFIN, J.J.; WINDOM, H.; GOLDBERG, E.E. The distribution of clay minerals in the world ocean. **Deep-Sea Research**, v.15, p. 433-459, 1968.
- GRIM, R. E.; DIETZ, R. S. & BRADLEY, W. F. Clay mineral composition of some sediments from the Pacific Ocean of the California Coast and the gulf of California. **Bull. Geol. Soc. Amer.**, p. 1785-1808, 1949.
- GRIM, R. E. & JOHNS, W. D. Clay mineral investigation of sediments in the northern gulf of Mexico. **Clay and clay minerals**; Second National Conference, p, 81-103, 1954.
- GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.
- GRIMM, A.M. ; BARROS, V.R. ; DOYLE, M.E. Climate variability in Southern South Brazil associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v. 13, p. 35-58, 2000.
- GRIMM, A.M.; SANT'ANNA, C.L.S. Influência de Fases Extremas da Oscilação Sul sobre a Intensidade e Frequência das Chuvas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000. Campos de Jordão, São Paulo, **CD-ROM**, XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000.
- GUERRERO, R.A.; ACHA, E.M.; FRAMIÑAN, M.B.; LASTA, C.A. Physical oceanography of the Rio de La Plata estuary, Argentina. **Continental Shelf Research**, v. 17, n. 7, p. 727–742, 1997.

- HARTMANN, C. **Dinâmica, distribuição e composição do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS.** 1996. 335 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- HARTMANN, C. e SANO, E.E. Estudo da hidrologia e evolução das massas de água na Laguna dos Patos através de imagens MSS/Landsat. **RBG**, v. 4, p. 215-228, 1986.
- HASENACK, H. & FERRARO, L.W. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 22, p. 53-70, 1989.
- HERZ, R. **Circulação das águas de superfície da Laguna dos Patos.** 1977. 234 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.
- IBGE. **Região Sul**, Rio de Janeiro, 1986. 766 p.
- IBIAPINA, A. V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D. C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M. C. M.; GUIMARÃES, V. S. Evolução da Hidrometria no Brasil. In: **O Estado das Águas no Brasil – Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos**. Parte 4 – Item 4.1. Ministério de Minas e Energia – MME, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Organização Meteorológica Mundial – OMM, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento -PNUD. Brasília, Distrito Federal, 1999, 334 p.
- INGLISS, C.C.; ALLEN, F.H. The regimen of the Thames Estuary as affected by currents, salinities and river flow. **Proceedings of the Institute of Civil Engineering**, v. 7, p. 827–878, 1957.
- IRION, G. and ZOLLMER, V., 1990. Pathways of fine-grained clastic sediments-examples from the Amazon, the Weser Estuary. and the North Sea. In D. HELLING, P. ROTHE, U. FORSTNER AND P. STOFFERS (eds.), **Sediments and Environmental Geochemistry - selected aspects and case histories**. Berlin: Springer, 1990, p. 351-366.
- JIANG, F. e MEHTA, A.J. Mudbanks of the southwest coast of India V: wave attenuation. **Journal of Coastal Research**, v. 12, p. 890–897, 1996.
- KJERFE, B.G.; PERILLO, M.E.; GARDNER, L.R.; RINE, J.M.; DIAS, G.T.M.; MOCHEL, F.R. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coast of North and South America. In: HEALY, T., WNG, Y. & HEALYMUDDY, J.A. (eds.). **Muddy Coast of the World: Processes, Deposits and Functions**. Amsterdam: Elsevier Science, 2003, p. 479-532.
- KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T. Principal modes of outgoing longwave radiations and 250-mb circulation for the South American sector. **J. Climate**, v.7, p. 1131-1143, 1994.

- KREPPER, C.M.; GARCIA, N.O.; JONES, P.D. Interannual variability in the Uruguay River Basin. **J. Climatol.**, v.23, p. 103-115. 2003.
- LANDIM, P.M.B. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Lab. Geomatemática, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128 pp. 2000. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acessado em 22/01/2006.
- LÉLIS, R.J.F. **Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul**. 2003. 117 f. Monografia (Graduação)-Instituto de Oceanografia, Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1994.
- LUEDEMANN, E.F. 1978. **Contribuição ao estudo da variação da circulação em superfície no setor sul da plataforma continental brasileira na primavera**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.
- MARQUES, W.C.; FERNANDES, E.H; MONTEIRO, I.O.; MÖLLER, O.O. Numerical modeling of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 3, p. 556-571, 2009.
- MARTINHO, C.T. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do litoral do Rio Grande do Sul**. 2008. 241 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- MARTINS, L. R. & GAMERMANN, N. Contribuição à sedimentologia da Lagoa dos Patos; III – Granulometria da zona Norte e Média. **Iheringia/Série Geológica**, v. 1, p. 77-86, 1967.
- MARTINS, L.R.S. ; MELO, U.; FRANÇA, A.M.C; SANTANA, C.I.; MARTINS, I.L.R. Distribuição faciológica da margem continental sul-riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, 1972. Belém, **Anais...SBG.**, São Paulo, p. 115-132, 1972.
- MARTINS, L.R.; VILLWOCK, J.A.; MARTINS, I.R. Estudo preliminar sobre a distribuição faciológica da Plataforma Continental Brasileira. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 1, p. 51-56, 1972.
- MARTINS, L. R.; MARTINS, I. R.; VILLWOCK, J. A.; CALLIARI, L. J. Ocorrência de lama na praia do Cassino, (RS). **Anais Hidrográfico**, vol. 35, p. 159-170, 1978.
- MARTINS, I.R., MARTINS, L.R., TOLDO Jr., E.E., GRUBER, N.L. Processos sedimentares na Lagos dos Patos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 1, 1987. Porto Alegre, **Anais....Porto Alegre**, p. 191-213.

- MARTINS, I.R., VILLWOCK, J. A., MARTINS, L.R., BENVENUTI, C.E. The Lagoa dos Patos Estuarine Ecosystem (RS, Brasil). **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 3, p. 5-44, 1989.
- MATA, M. M. & MÖLLER JR., O. O. Sobre o tempo de descarga do estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. **Atlântica**, v. 15, p. 37-48, 1993.
- MATHEW, J.; BABA, M.; KURIAN, N.P. Mudbanks of the southwest coast of India. Wave characteristics. **Journal of Coastal Research**, v. 11, n. 1, 168–178, 1995.
- McCAVE, I.N. Wave effectiveness at the sea bed and its relationship to bed-forms and deposition of mud. **Journal of Sedimentary Research**, v. 41, n.1, p. 89-96, 1970.
- McCAVE, I.N. Transport and escape of fine-grained sediment from shelf areas. In: SWIFT, D.J.P., DUANE, D.B., and PILKEY, O.H. (eds). **Shelf Sediment Transport: Process and Pattern**. Stroudsburg, PA (Dowden, Hutchinson and Ross), 1972, p. 225-248.
- MILOT, G. **Géologie des argiles**. Paris: Masson, 1963. 499p.
- MÖLLER, O. O.; LORENZETTI, J. A.; STECH J. L.; & MATA, M. M. The Patos Lagoon Summertime Circulation and Dynamics. **Continental Shelf Research**, v. 16, p. 35-351, 1996.
- MORGANO, M.A.; QUEIROZ, S.C. do N. de; FERREIRA, M.M.C. Aplicação da análise exploratória na diferenciação de vegetais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. 1/2, p. 73- 79, 1999.
- NATIONAL WEATHER SERVICE (NOAA). **CPC**: Climate Prediction Center. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 4 de agosto de 2009.
- NICOLS, M.M & BIGS, R.B. **Coastal Sedimentary Environments**. In: DAVIES, R.A. (ed.). New York: Springer-Verlag, 1985, 420p.
- OLIVEIRA, A.O. **Enseada do Saco do Martins/Laguna dos Patos: caracterização dos sedimentos superficiais e desenvolvimento de um microdelta estuarino**. 2001. 74 f. Monografia (Graduação) – Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2001.
- OTTMANN, F. **Introduction à la géologie marine et littorale**. Paris: Mason, 1965. 259p.
- OTTMANN, F. & OTTMANN, J.M. Les sediments de l'embouchure du Capíbaribe, In: Trabalho. Inst. Biol. Marítimo. Oceanografia, Universidade Recife, Recife, vol. 1, p. 51-69, 1965.

- PAIM, P. S. & MÖLLER, O. O. Material em suspensão e dissolvido no estuário da Lagoa dos Patos – Fase III. Relatório Técnico, FURG/CIRM, 1986, 133 p.
- PEREIRA, C.S. **Correntes costeiras: estudo de um modelo estacionário aplicado ao litoral do Rio Grande do Sul (Lat 29°-35°S) e análise de um modelo transiente**. 1977. Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.
- PEREIRA, P. S.; AREJANO, T.B.; FERRARELLI, L. R. & CALLIARI, L. J. A tempestade de lemanjá, 01 de fevereiro de 2002, e a deposição de lama na Praia do Cassino. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, I, 2002. São Paulo, CD-ROM: Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de São Paulo, arquivo ocgeo 03.
- PUCHALSKI, L.A. **Efeitos associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no estado do Rio Grande do Sul**. 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- RAO, V.B., HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theor. Appl. Clim.**, v.42, p.81-91, 1990.
- ROBERTSON, A.W.; MECHOSO, C.R. Interannual and decadal Cycles in River flows of Southeastern South America. **J. Climate**, v. 11, p. 2570-2581, 1998.
- ROPELEWSKI, C.F., HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with high index phase of Southern Oscillation. **J. Climate.**, v.2, p. 268-284, 1989.
- SCHWARZBOLD, A.; SCHAFER, A. Gênese das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul – Brasil. **Amazônia**, Kyel, v. 9, n. 1, p. 87-104, 1984.
- SEMC – SECRETARIA de ENERGIA, MINAS e COMUNICAÇÕES. **Atlas Eólico. Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMC, 2002. 70p.
- SHEREMET, A.; MEHTA, A.J.; LIU, B.; STONE, G.W. Wave-sediment interaction on a muddy inner shelf during Hurricane Claudette. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 63, p. 225–233, 2005.
- SEPLAG. Secretaria Estadual de Planejamento e Gestão. Atlas Sócio-econômico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://scp.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=26>>. Acesso em: 05 de setembro de 2009.
- SIEGEL, F.R.; PIERCE, J.W.; URIEN, C.M. e JR., I.C. 1968. Clay mineralogy in the estuary of the Rio de La Plata, South America, In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 23. Prague, **Anais...Prague**, 1968. v. 8, p. 51-59.

- SILVA, J.L.B. **Identificação do sistema de paleodrenagem na margem continental sul brasileira adjacente à Lagoa Mirim no terciário superior por sísmica de reflexão**. 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- SILVA, S.C.C. **Caracterização batimétrica e sedimentológica do Saco da Mangueira – Lagoa dos Patos, RS**. 2007. 68 f. Monografia (Graduação) – Instituto de Oceanografia, Curso de Oceanologia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1994.
- SMITH, J.D. & HOPKINS, T.S. Sediment transport on the continental shelf off Washington and Oregon in light of recent current measurements. In: SWIFT, D.J.P; DUANE, D.B; PILKEY, O.H. (eds). **Shelf Sediment Transport**. Stroudsburg, PA : Dowden, Hutchinson and Ross, p. 143-180, 1972.
- SOARES, I.D.; MÖLLER JR., O.O. Low frequency currents and water mass spatial distribution on the Southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 21, p. 1785–1814, 2001.
- SOUZA, S.R. 2002. **Caracterização morfo-sedimentar do Saco do Arraial, extreme sul da Laguna dos Patos/RS**. 2002. 150 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica) – Instituto de Oceanografia, Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2002.
- STANIMIROVA, I.; WALCZAK, B.; MASSART, D. L. Multiple factor analysis in environmental chemistry. **Analytica Chimica Acta**. v. 545, n. 1, p. 1-12, 2005.
- STRAUCH, J.C. Um Ano de Monitoramento de Ondas em Rio Grande. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 11, 1998. Rio Grande, **Anais...**Rio Grande, 1998.
- TOLDO Jr., .E.E. **Os efeitos do transporte sedimentar na distribuição dos tamanhos de grão e morfodinâmica da Laguna dos Patos**. 1989. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- TOLDO Jr., E.E. Morfodinâmica da laguna dos patos, rio grande do sul. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 58–63, 1991.
- TOLDO JR.,E.E.,Jr.; AYUP-ZOUAIN, R.N.; CORRÊA, I.C.S. & DILLENBURG, S.R. Barra falsa: hipótese de um paleocanal holocênico de comunicação entre a laguna dos Patos e o Oceano Atlântico. **Pesquisas**, Porto Alegre, v.18, n. 2, p.99-103, 1991.

- TOLDO Jr., E.E. **Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar, da Laguna dos Patos, RS.** 1994. 189 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- TOMAZELLI, L.J. **Contribuição ao estudo dos Sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico.** 1990. 270 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.
- TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A. Considerações sobre o ambiente praiar e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 19, n.1, p. 3-12, 1992.
- TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M. & DE ROS, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, 2000, p. 375-406.
- URIEN, C.M. Los sedimentos modernos del Rio de La Plata exterior. **Servicio de Hidrografia Naval.** Boletim v. 4, n. 2, p. 113-213. Buenos Aires. Argentina. 1967.
- VAN ANDEL, Tj.H. & POSTMA, H. 1954. Recent sediments of the Gulf of Paria. Amsterdam: North Holland Publ. Rep Orinoco shelf expedition, v.1, p.232, 1954.
- VAZ, A.C.; MÖLLER JR., O.O.; ALMEIDA, T.L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, Rio Grande, v. 28, n. 1, p. 13-23, 2006.
- VIEIRA, E.F. e RANGEL, S.R.S. **Planície costeira do Rio Grande do Sul: Geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica.** Porto Alegre: Sagra, 1988. 256p.
- VIEIRA, H, M; BAISCH, P, R; QUEIROZ, M, I. Estudo da matéria orgânica e argilominerais no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. 1984. CIRM/POA.
- VILLWOCK, J.A. **Aspectos da sedimentação na região nordeste da Lagos dos Patos: Lagoa do Casamento e Saco do Cocuruto, RS, Brasil.** 1977. 189 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1977.
- VILLWOCK, J.A. A costa brasleira: geologia e evolução. **Notas Técnicas**, v.7, p.38-49. Porto Alegre. 1994.
- VILLWOCK, J. A; MARTINS, L.R.S. Depósitos lamíticos de pós-praia, Cassino, RS. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 1, p. 69-85, 1972.

- VILLWOCK, J. A.; MARTINS, I. & FORMOSO, M. L. L. Contribuição ao estudo da mineralogia das argilas dos sedimentos de fundo da Laguna dos Patos (RS, Brasil). **Revista de Estudos Sedimentológicos**, v. 2, n. 1/2, p. 13-34, 1972.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E. A.; HORNS FILHO, N. O.; BACHI, F. A.; & DEHNHARDT, B. A. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: RABASSA, J. (ed.). **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. Rotterdam: Balkema, 1986, p. 79-97.
- VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**, CECO/IG/UFRGS, Notas Técnicas, v. 8, p. 1-45, 1995.
- WEAVER, C.E. **Clays, muds, and shales**. New York: Ed. Elsevier, 1989. 819p.
- WELLS, J.T.; COLEMAN, J.M. Physical processes and fine-grained sediment dynamics, coast of Surinam, South-America. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 51, n. 4, p.1053–1068, 1981.
- WHITENHOUSE, U. G. & McCARTER, R. S. Diagenetic modifications of clay mineral types in artificial sea water. **Clay and clay minerals**, Fifth National Conference. Washington: Nat. Acad. Sci, p. 81-119, 1958.
- WHITENHOUSE, U. G. JEFREY, L. M. & DEBRECHT, J. D. Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters. **Clay and clay minerals**; Seventh National Conference. Washington: Nat. Acad. Sci., p. 1-80, 1960.
- WINTERWERP, J.C. & VAN KESTEREN, W.G.M. Introduction to the physics of cohesive sediment dynamics in the marine environment. In: VAN LOON, T. (ed.) **Developments in Sedimentology**. Elsevier, 2004.
- WINTERWERP, J.C., de GRAAFF, R.F., GROENEWEG, J., LUIJENDIJK, A.P. Modeling of wave damping at Guyana mud coast. **Coastal Engineering**, v. 54, p. 249–261, 2007
- ZEMBRUSCKI, S. G. Sedimentos da Plataforma Continental do Brasil. 32ª Comissão Oceanográfica, Diretoria de Hidrografia e Navegação, p. 369-411, 1971.

ANEXO A – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO RELACIONADOS A CONDIÇÕES DE TSM NO OCEANO PACÍFICO E EVENTOS DE LAMA NA PRAIA DO CASSINO

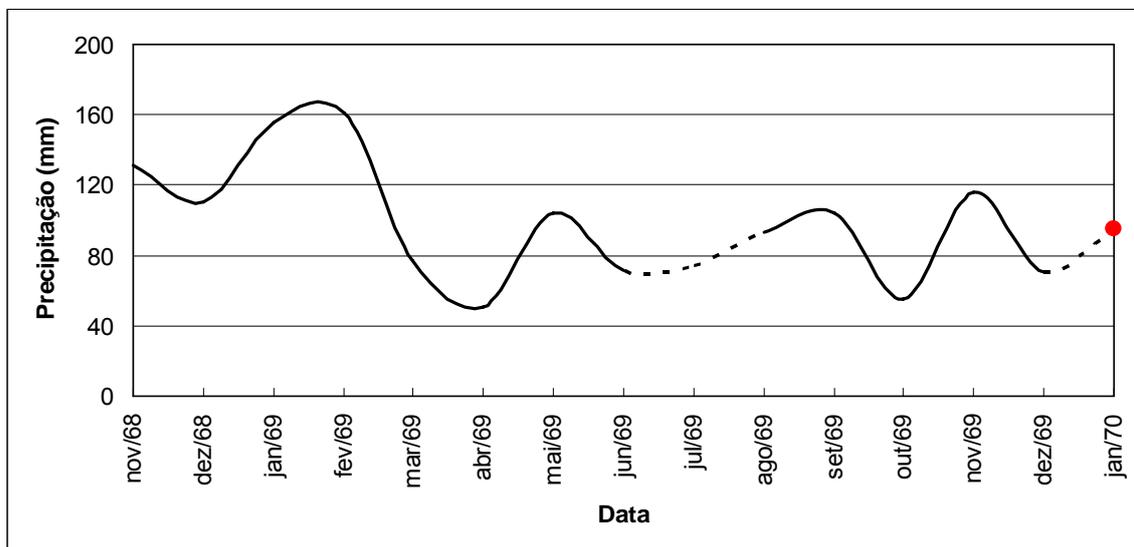


Figura 01: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de novembro de 1968 a janeiro de 1970. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

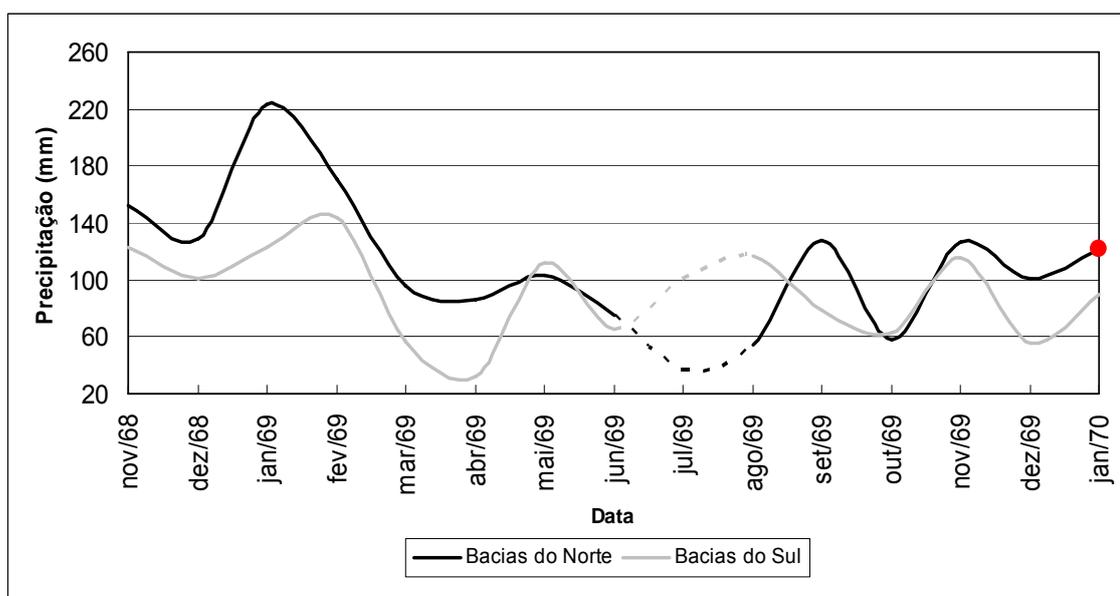


Figura 02: Precipitação média mensal das bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de El Niño no período de novembro de 1968 a janeiro de 1970. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

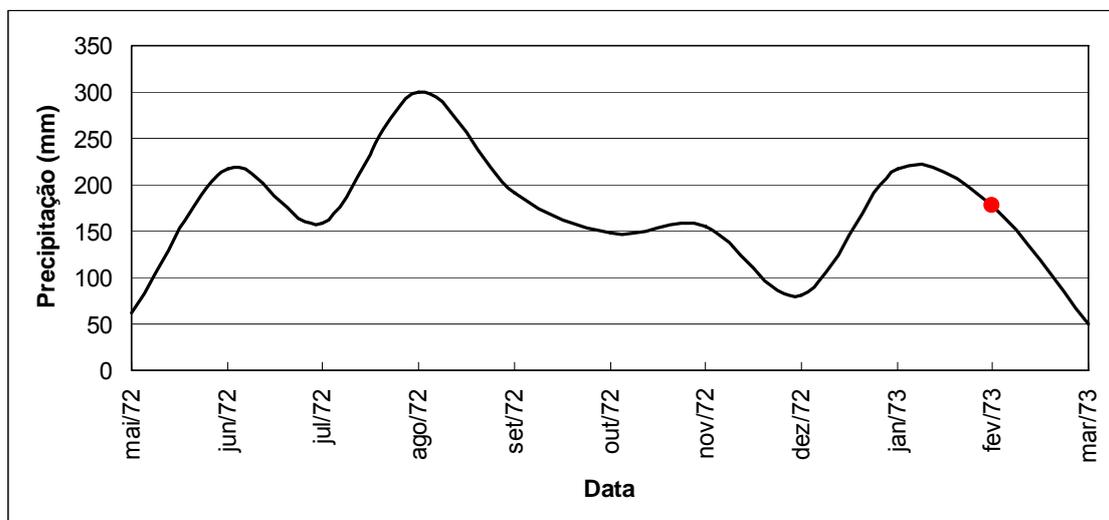


Figura 03: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de maio de 1972 a março de 1973. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

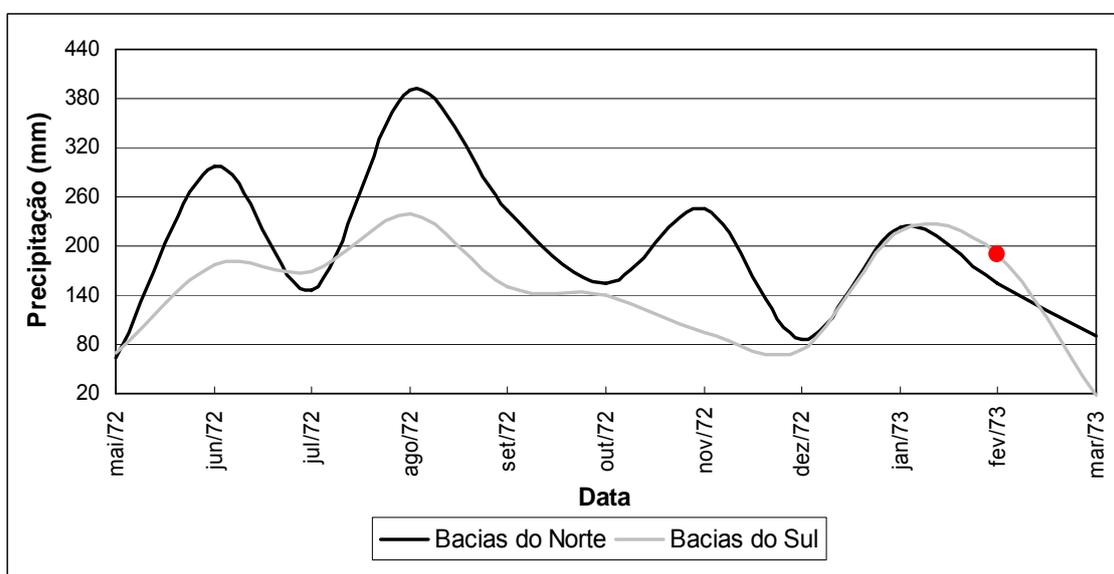


Figura 04: Precipitação média anual das bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de El Niño no período de maio de 1972 a março de 1973. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

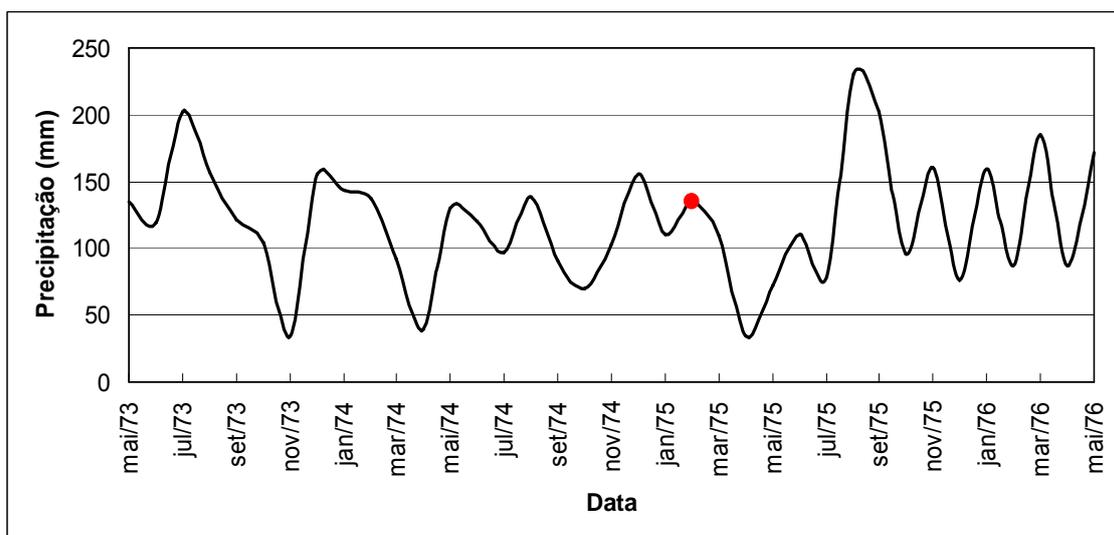


Figura 05: Média de precipitação (mm) para o período de La Niña de maio de 1973 a maio de 1976. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

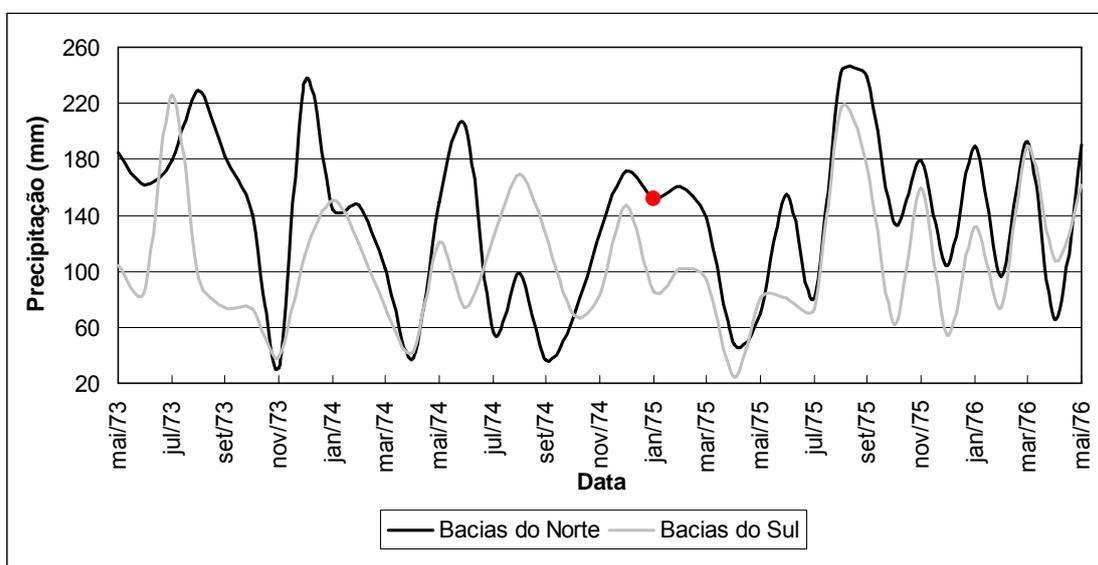


Figura 06: Precipitação mensal das bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de La Niña no período de maio de 1973 a maio de 1976. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

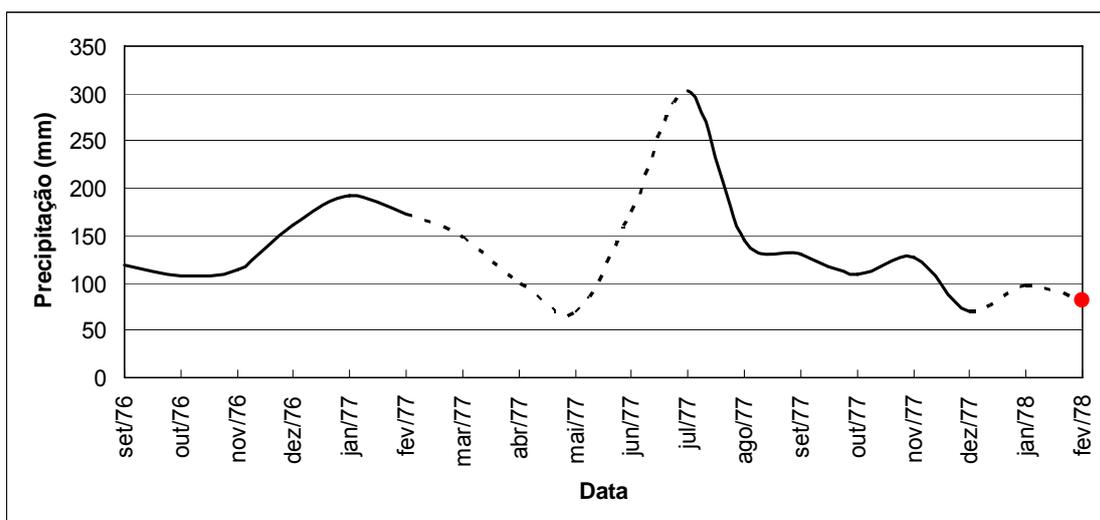


Figura 07: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de setembro de 1976 a fevereiro de 1978. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

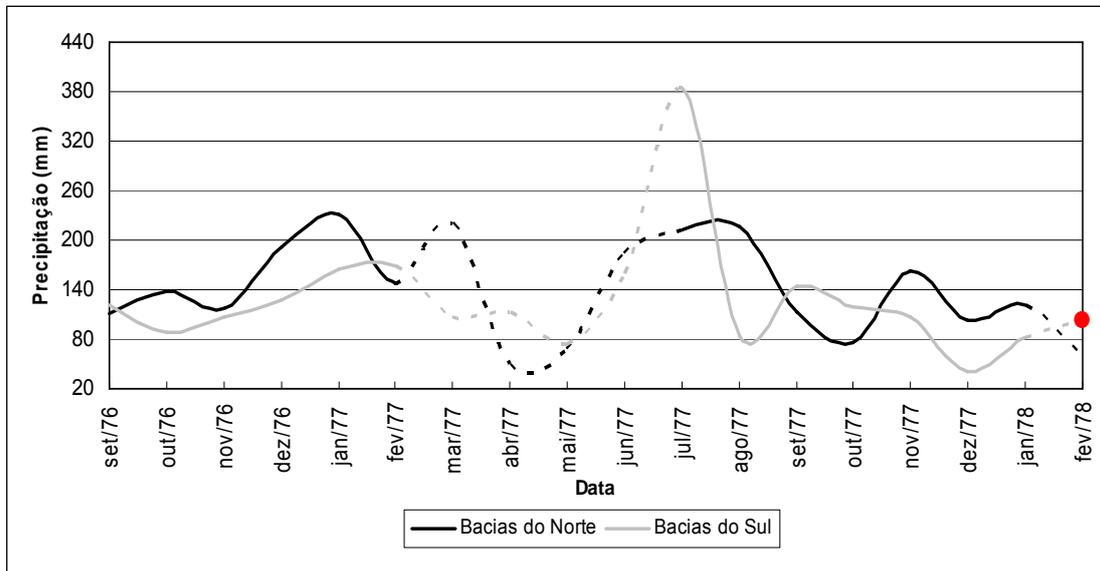


Figura 08: Precipitação mensal das bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de El Niño no período de setembro de 1976 a fevereiro de 1978. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

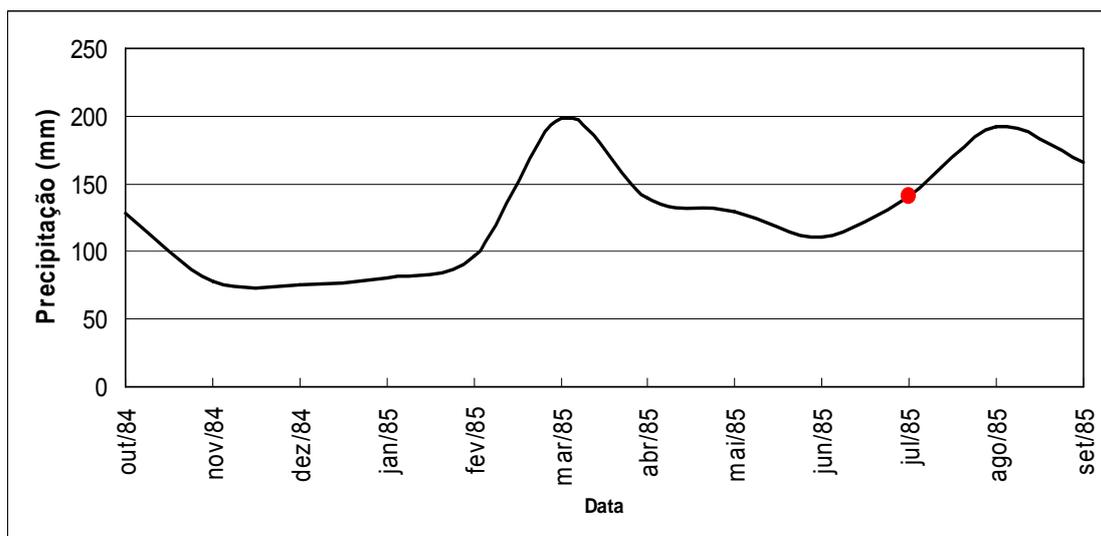


Figura 09: Média de precipitação (mm) para o período de La Niña de outubro de 1984 a setembro de 1985. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

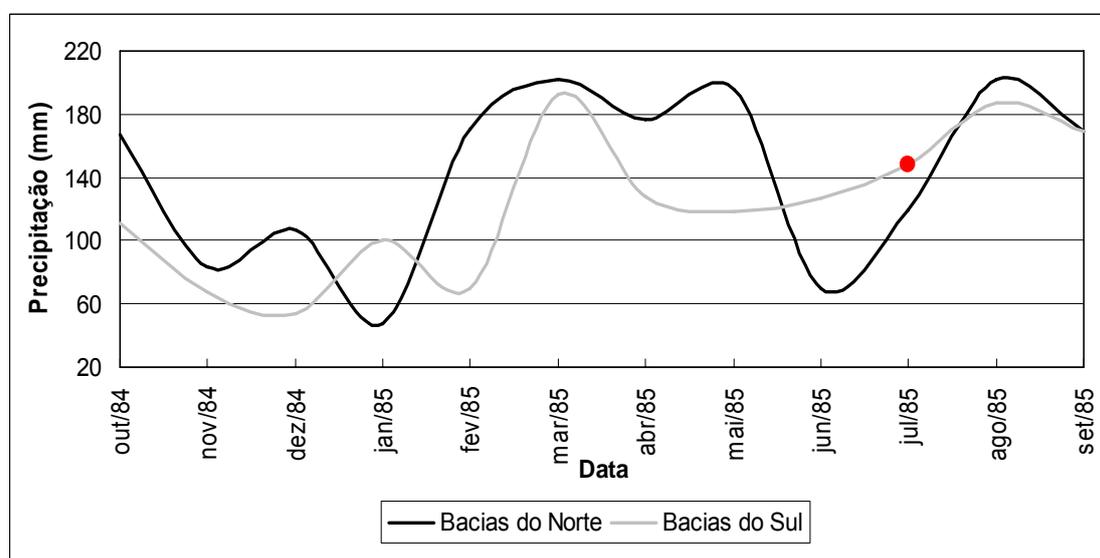


Figura 10: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de La Niña no período de outubro de 1984 a setembro de 1985. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

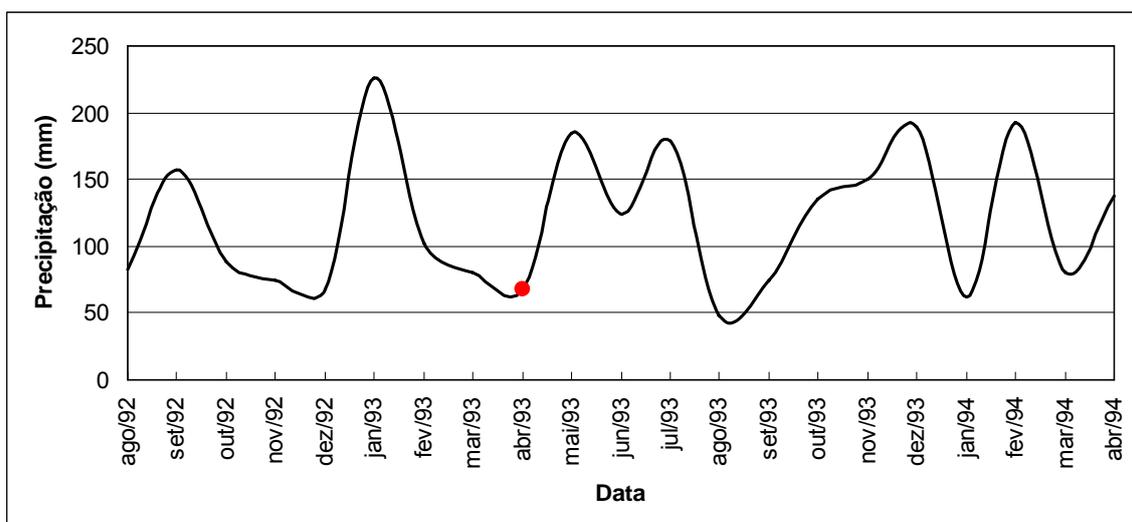


Figura 11: Média de precipitação (mm) para o período de condições normais de TSM no Oceano Pacífico de agosto de 1992 a abril de 1994. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

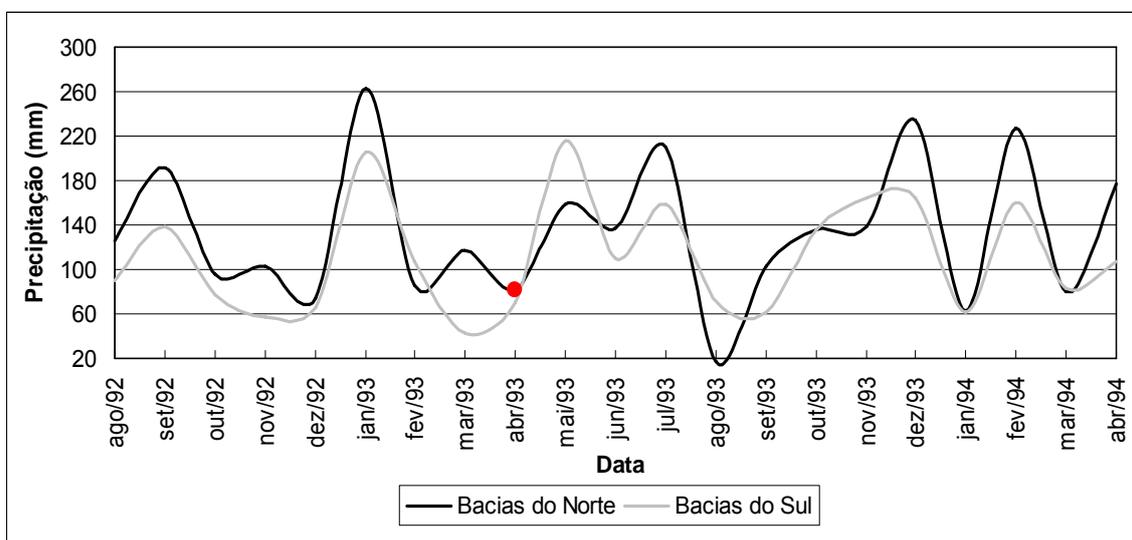


Figura 11: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante condições normais de TSM no Oceano Pacífico no período de agosto de 1992 a abril de 1994. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

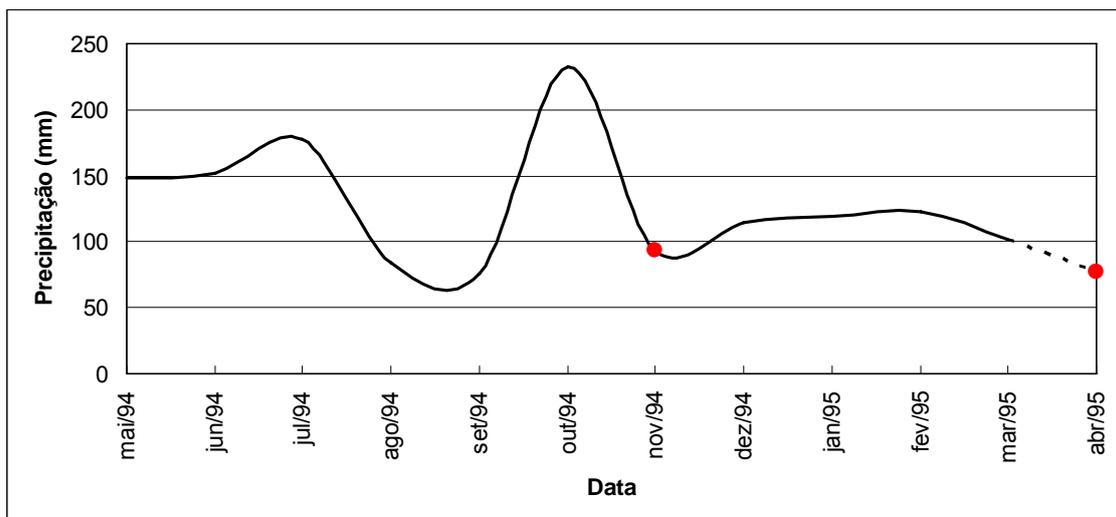


Figura 12: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de maio de 1994 a abril de 1995. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

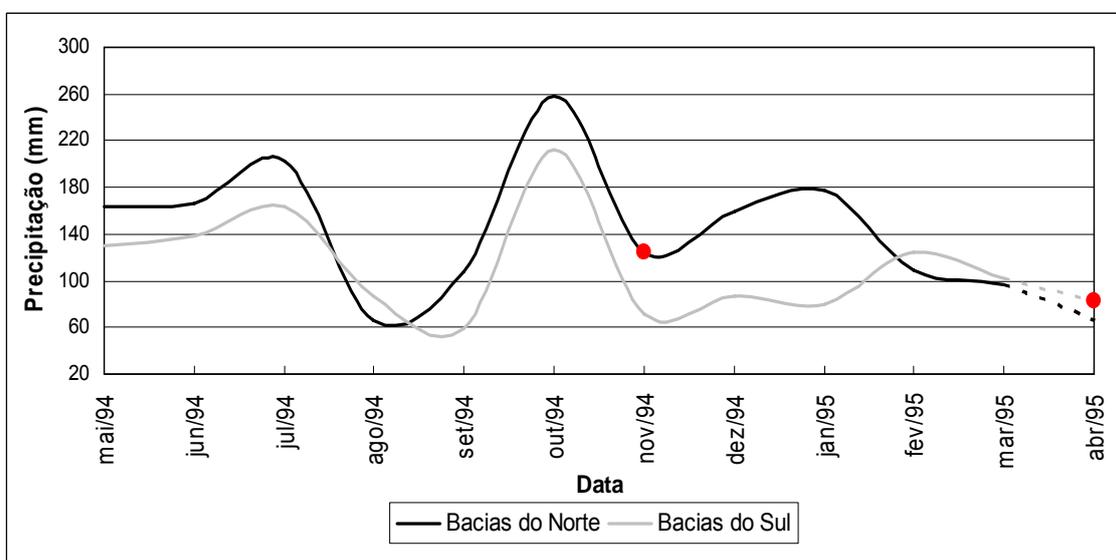


Figura 12: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de El Niño no período de maio de 1994 a abril de 1995. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

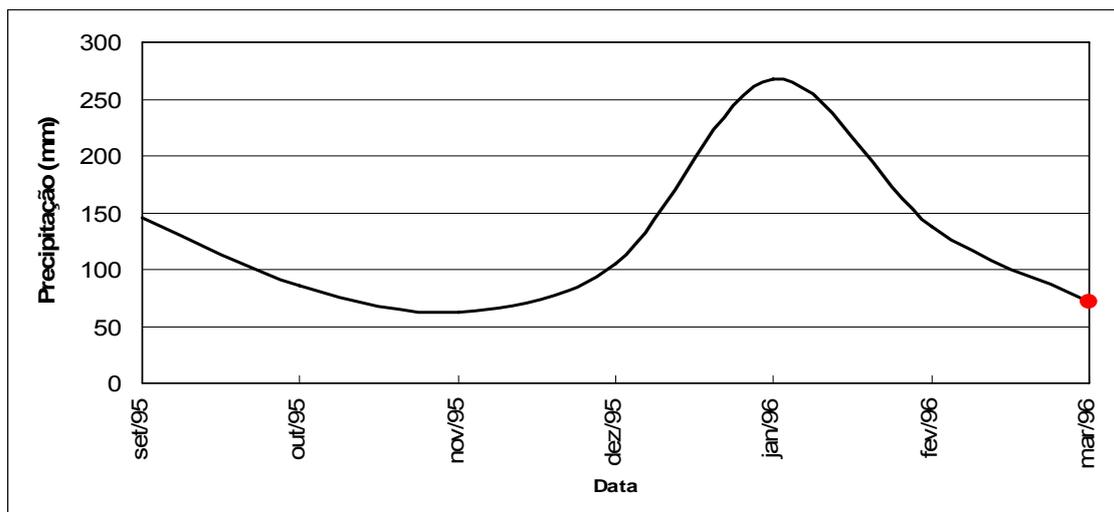


Figura 13: Média de precipitação (mm) para o período de La Niña de setembro de 1995 a março de 1996. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

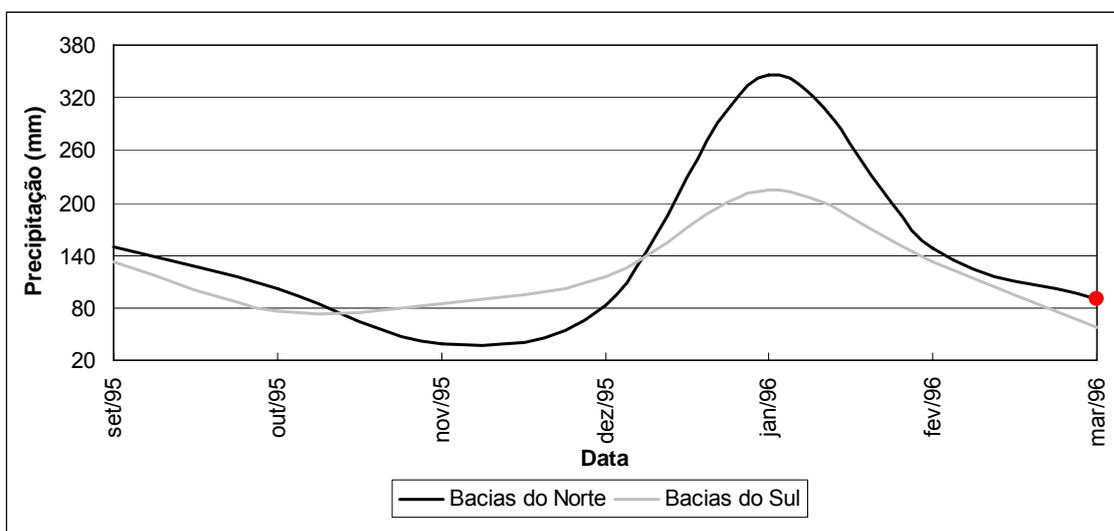


Figura 14: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de La Niña no período de setembro de 1995 a março de 1996. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

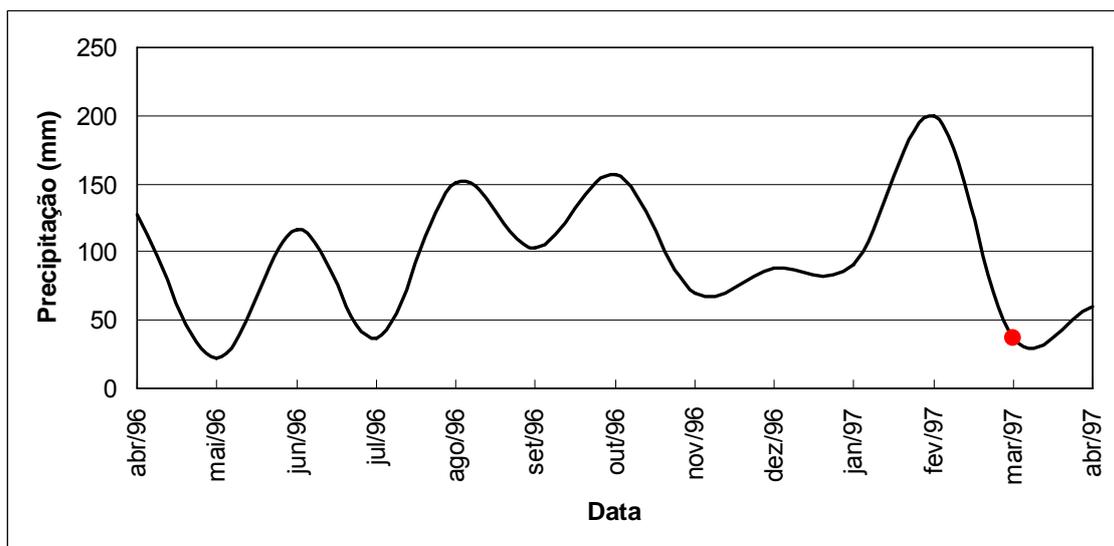


Figura 15: Média de precipitação (mm) para o período de condições normais na TSM no Oceano Pacífico no período de abril de 1996 a abril de 1997. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

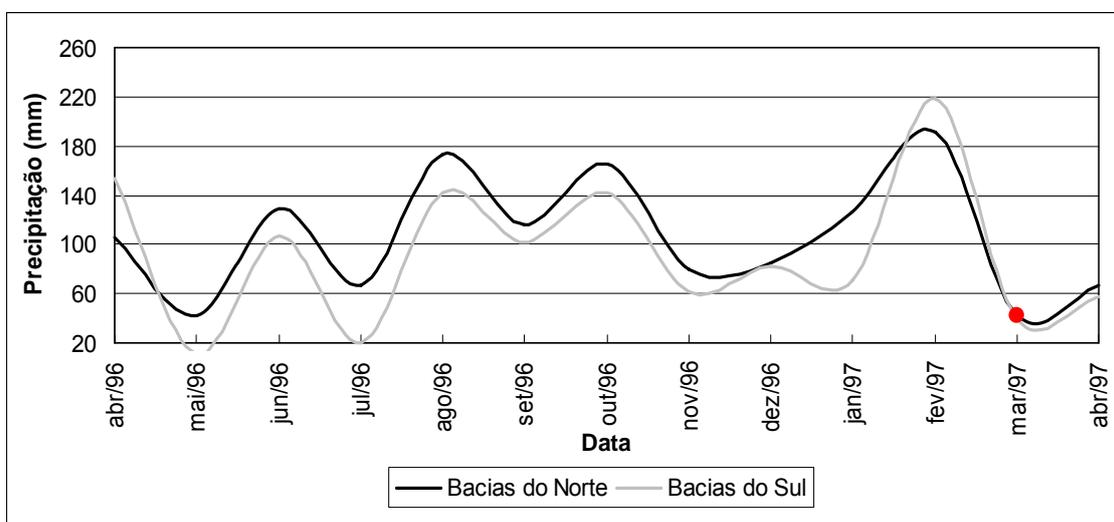


Figura 16: Precipitação mensal nas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e nas bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante condições normais de TSM no Oceano Pacífico no período de abril de 1996 a abril de 1997. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

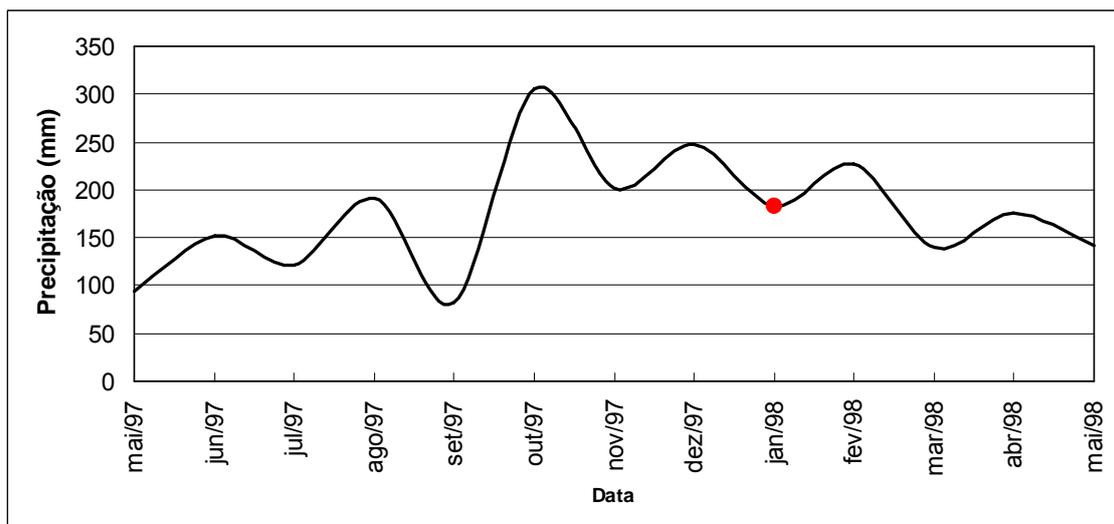


Figura 17: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de maio de 1997 a maio de 1998. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

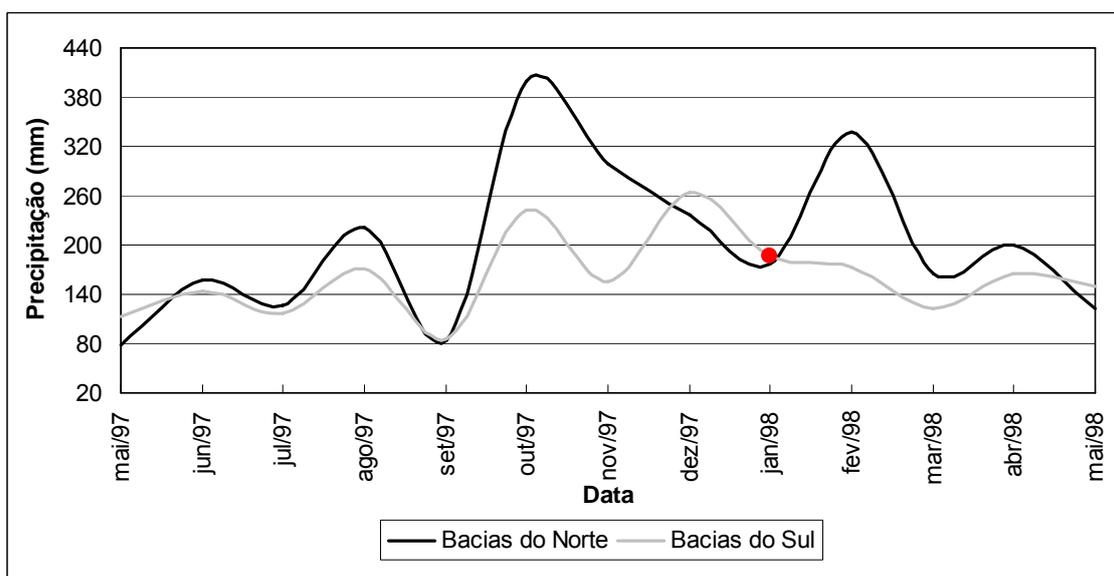


Figura 18: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de El Niño no período de maio de 1997 a maio de 1998. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

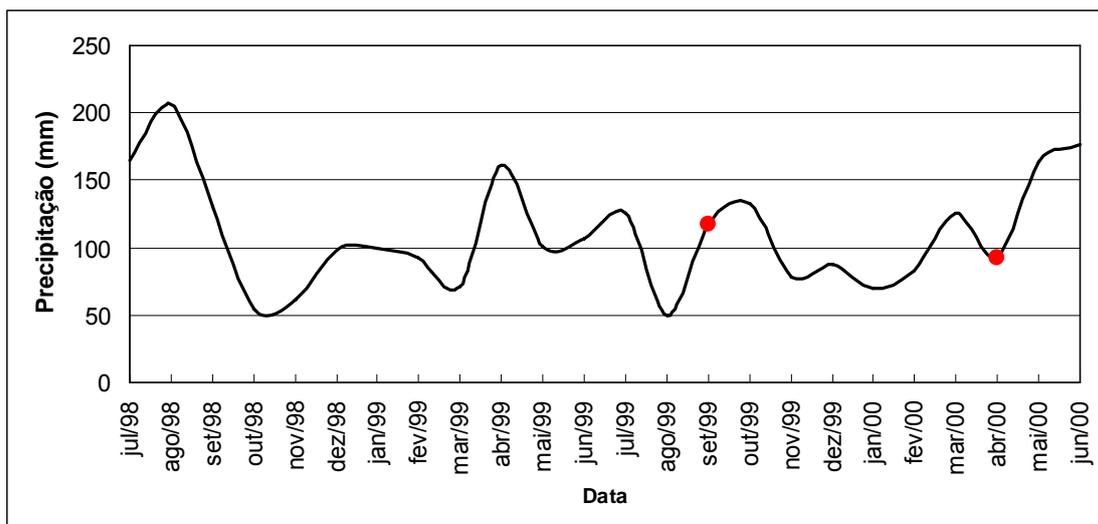


Figura 19: Média de precipitação (mm) para o período de La Niña de julho de 1998 a junho de 2000. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

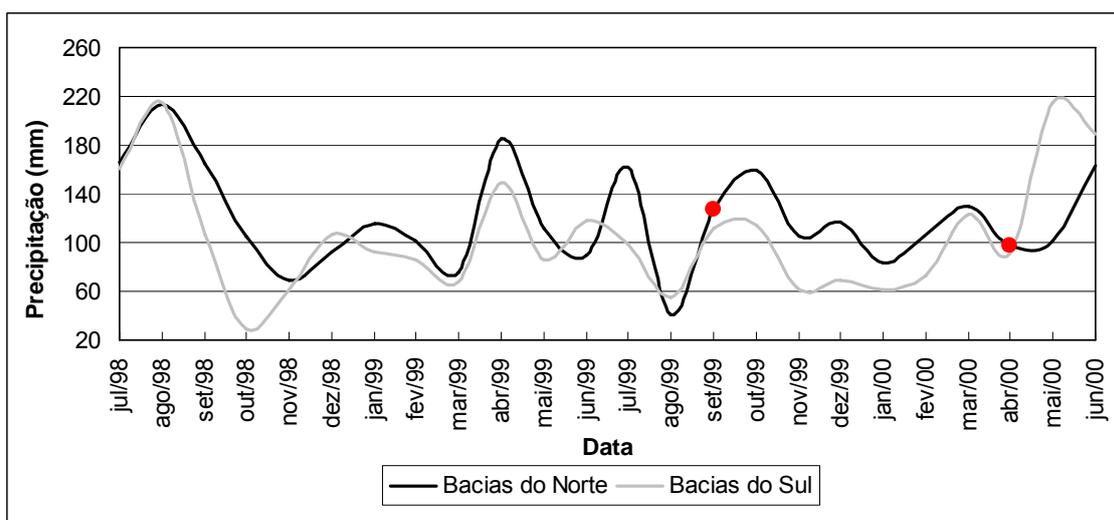


Figura 20: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de La Niña no período de julho de 1998 a junho de 2000. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

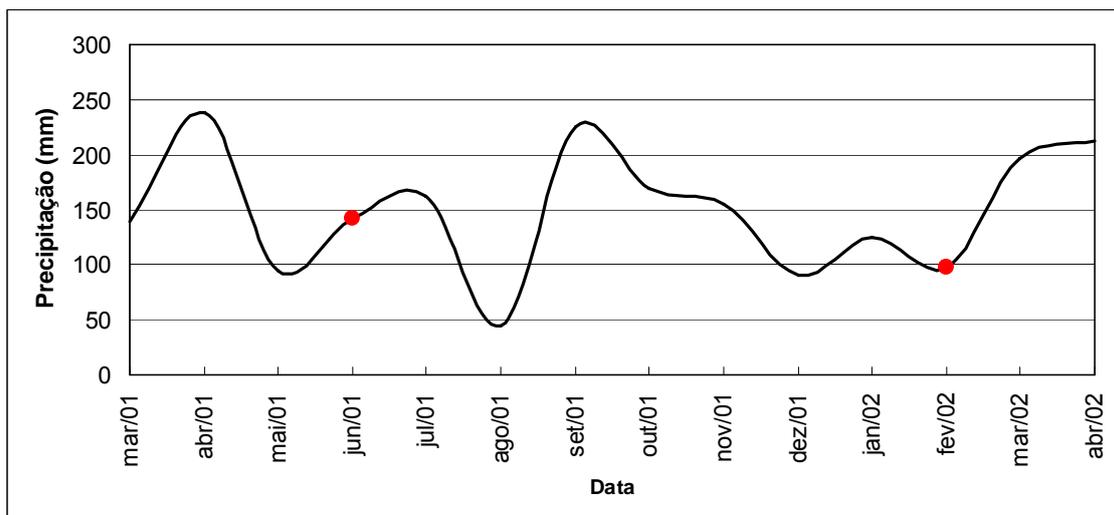


Figura 21: Média de precipitação (mm) para o período de condições normais de TSM no Oceano Pacífico de março de 2001 a abril de 2002. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

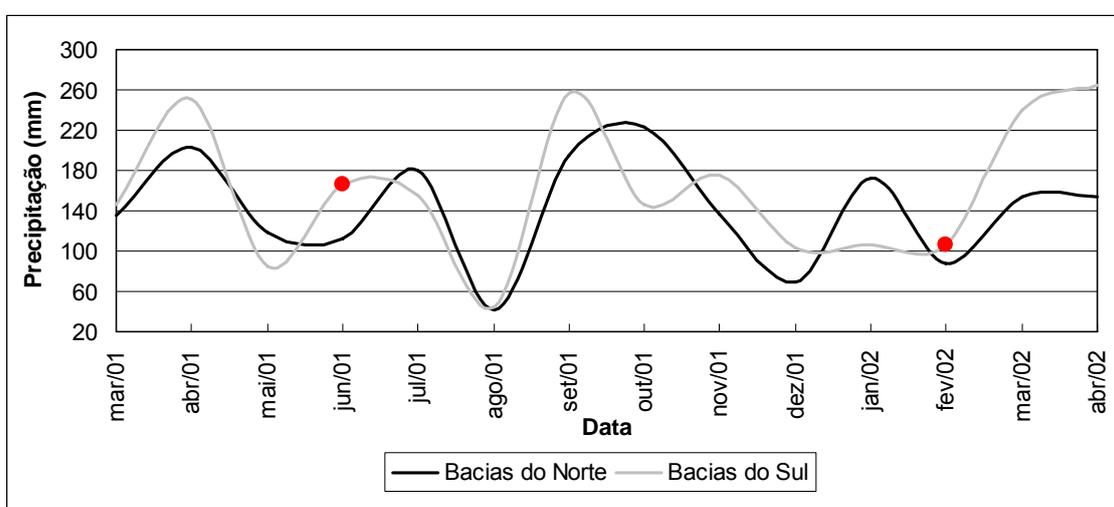


Figura 22: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante condições normais de TSM no Oceano Pacífico no período de maio de 2001 a abril de 2002. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

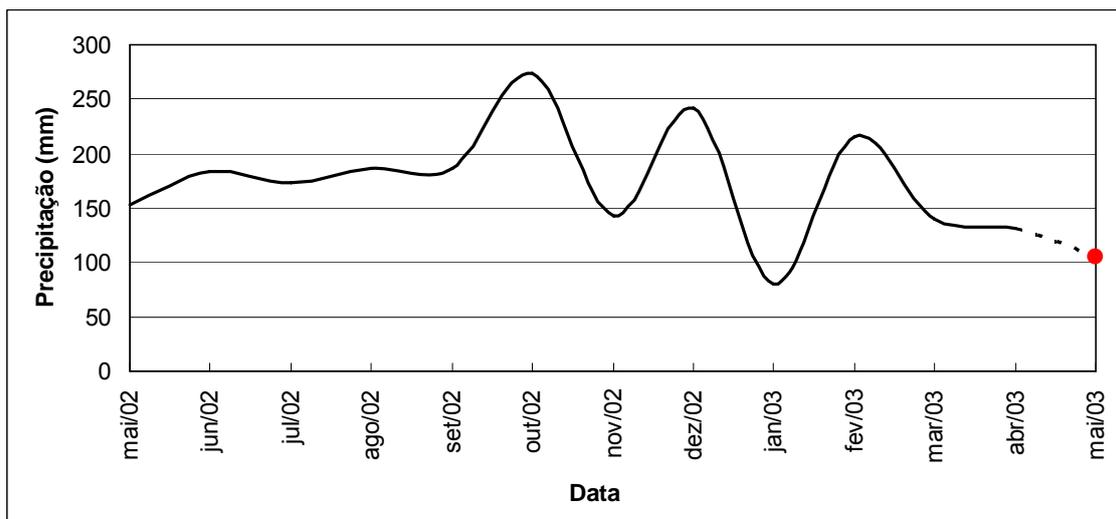


Figura 23: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de maio de 2002 a maio de 2003. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

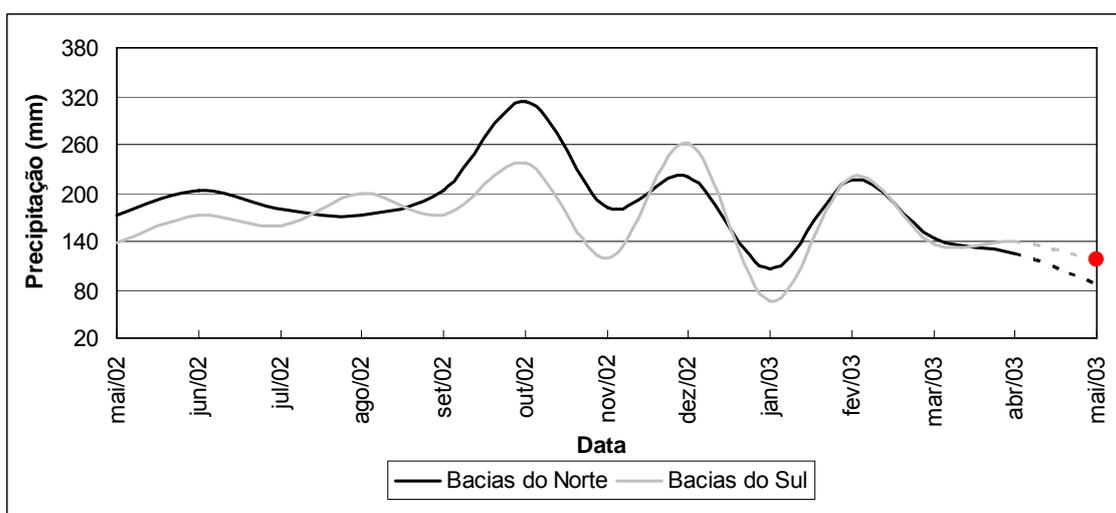


Figura 24: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de El Niño no período de maio de 2002 a maio de 2003. A linha pontilhada representa períodos de condições normais de TSM no Oceano Pacífico e o ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

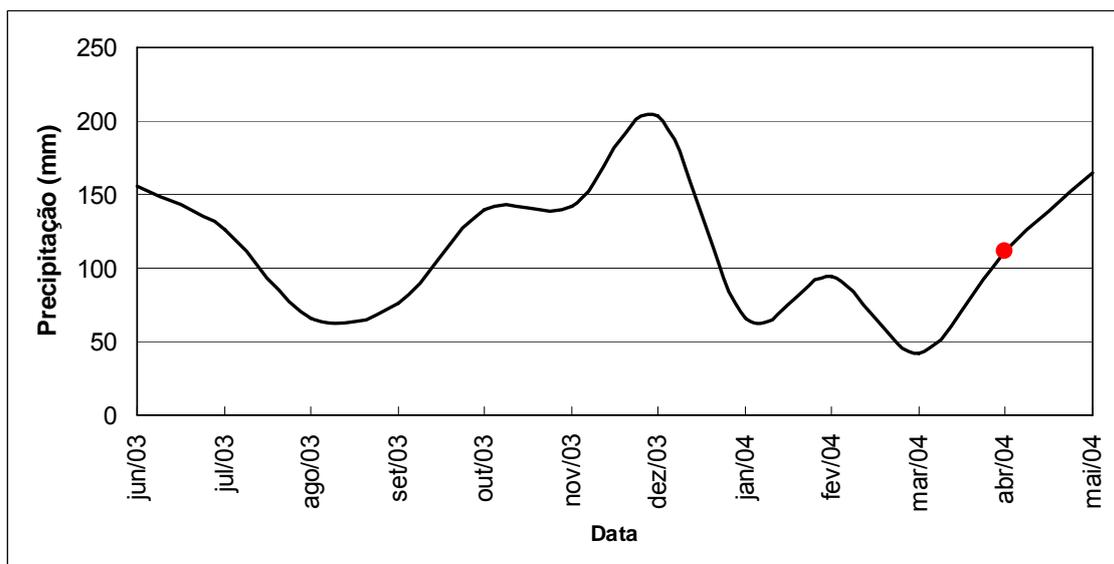


Figura 25: Média de precipitação (mm) durante condições normais de TSM no Oceano Pacífico no período de junho de 2003 a maio de 2004. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

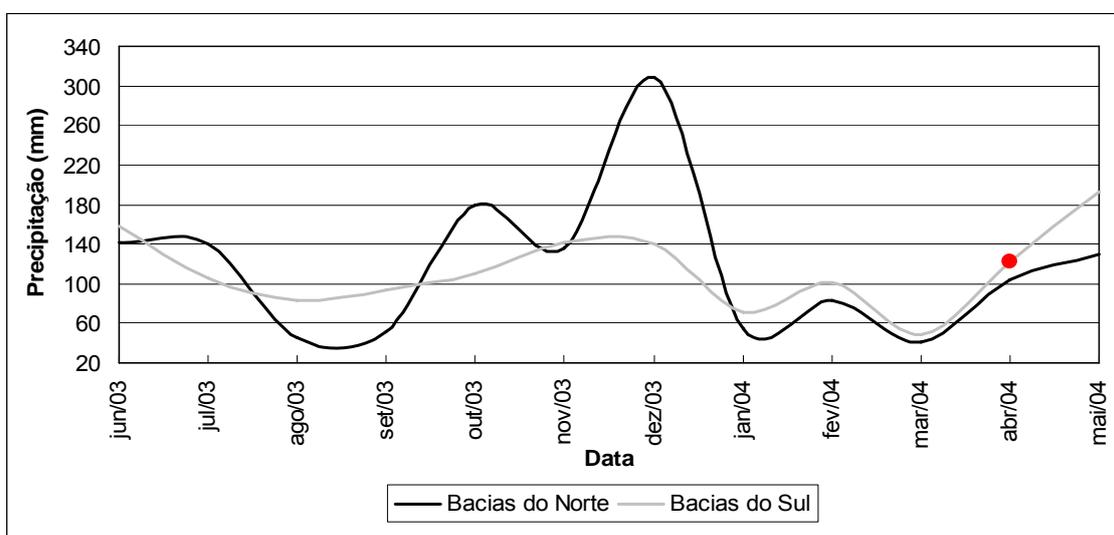


Figura 26: Precipitação mensaldas bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante condições normais de TSM no Oceano Pacífico no período de junho de 2003 a maio de 2004. O ponto em vermelho a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

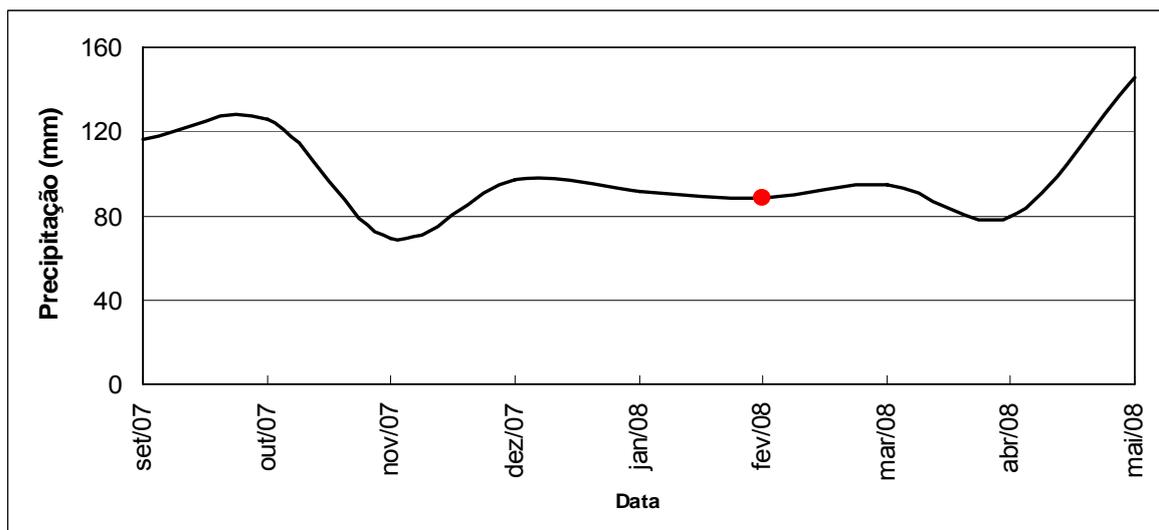


Figura 27: Média de precipitação (mm) para o período de El Niño de setembro de 2007 a maio de 2008. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

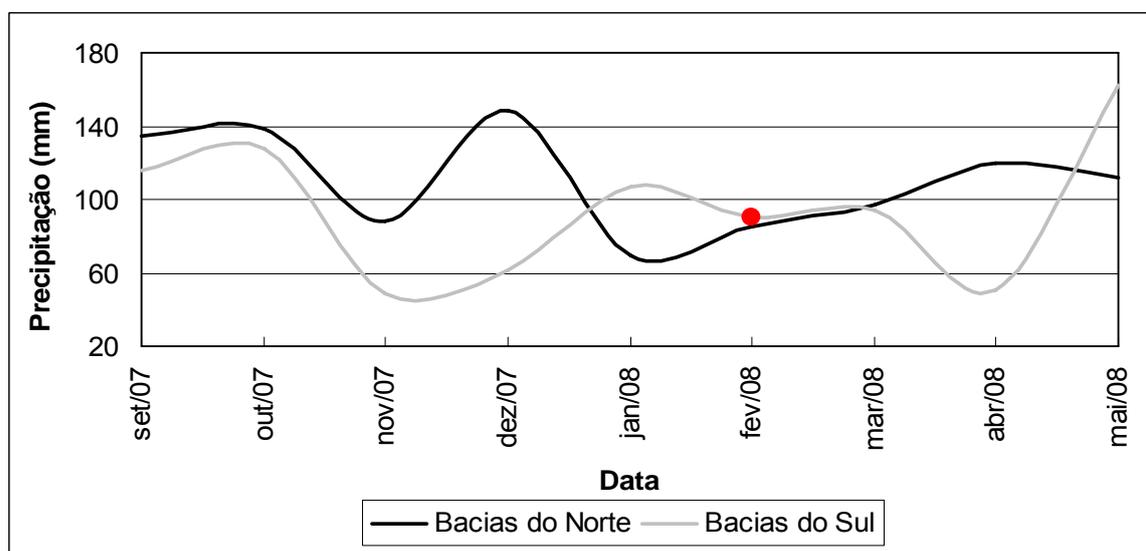


Figura 28: Precipitação mensal das bacias do norte (bacia do rio Taquari e bacia do rio Jacuí) e das bacias do sul (bacia do rio Camaquã e bacia do rio Jaguarão) durante o evento de La Niña no período de setembro de 2007 a maio de 2008. O ponto em vermelho representa a data em que ocorreu o evento de lama na Praia do Cassino.

APÊNDICE B - DIFRATOGRAMAS

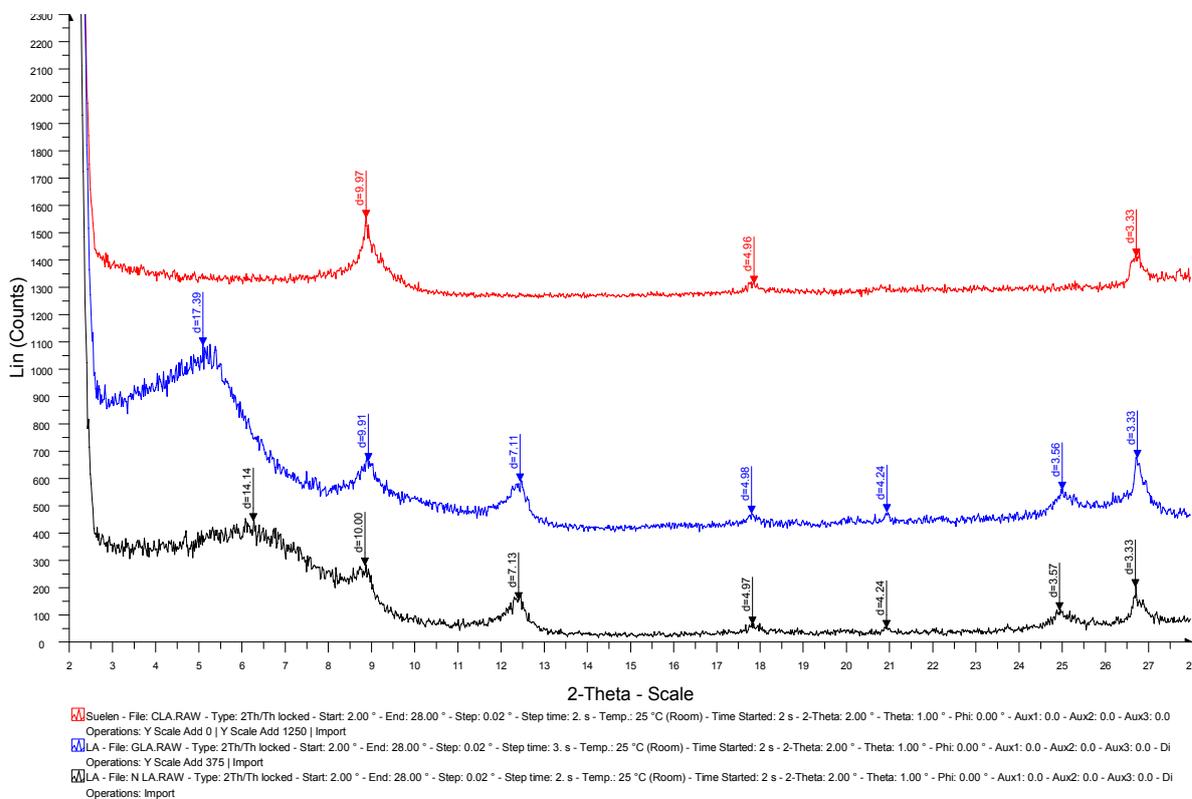


Figura 01 – Difratoograma Amostra 01 (Lagoa dos Patos).

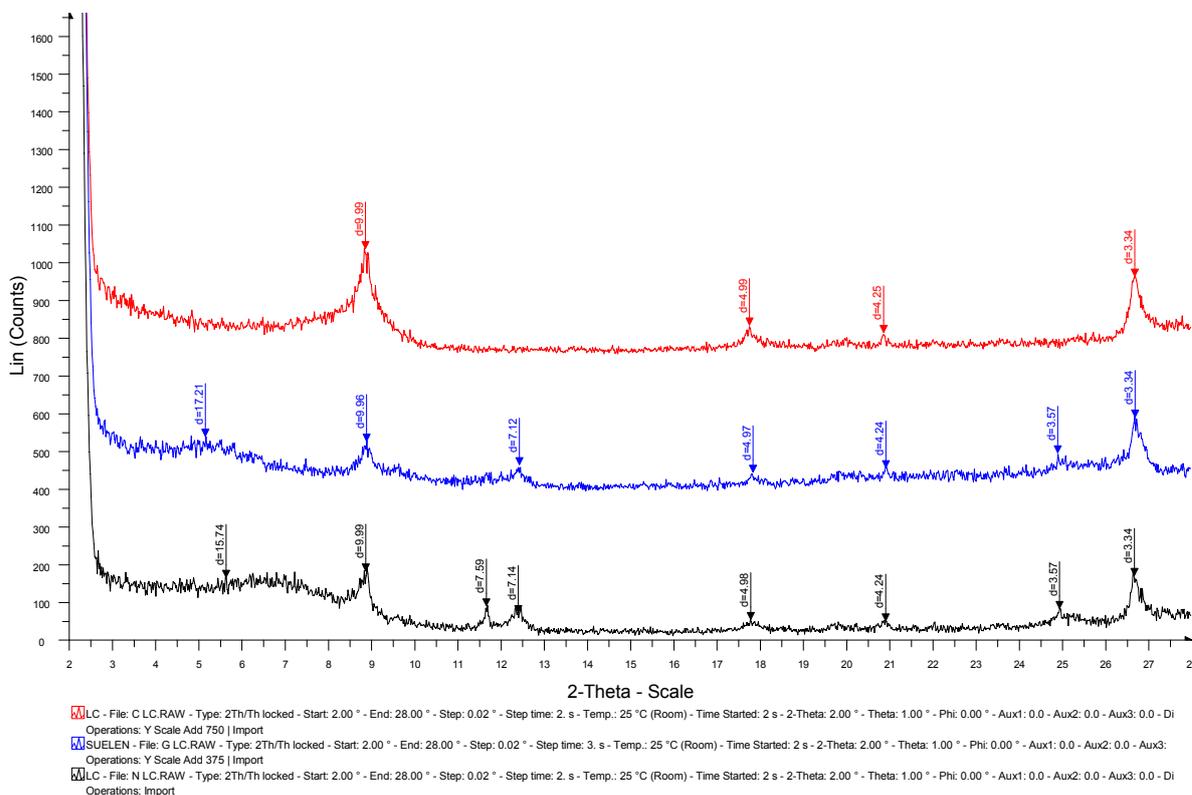


Figura 02 – Difratoograma Amostra 02 (Lagoa dos Patos).

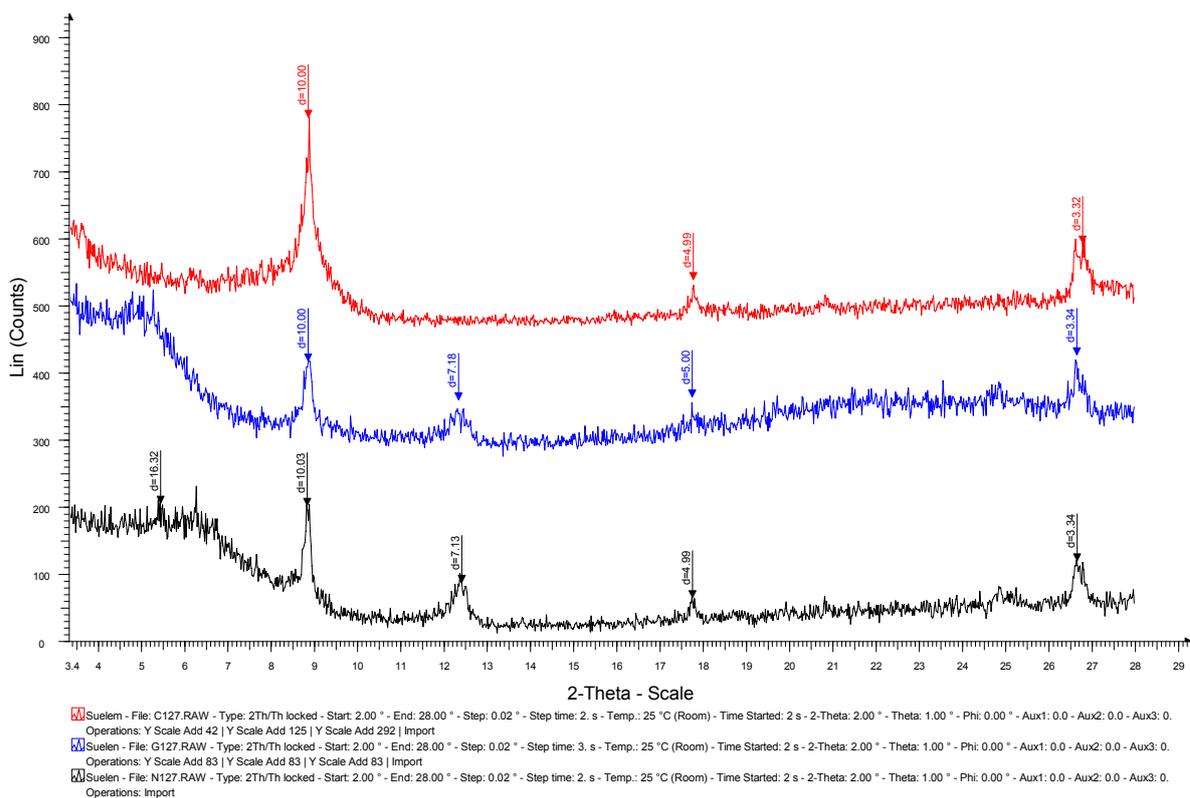


Figura 03 – Difratoograma Amostra 03 (Lagoa dos Patos).

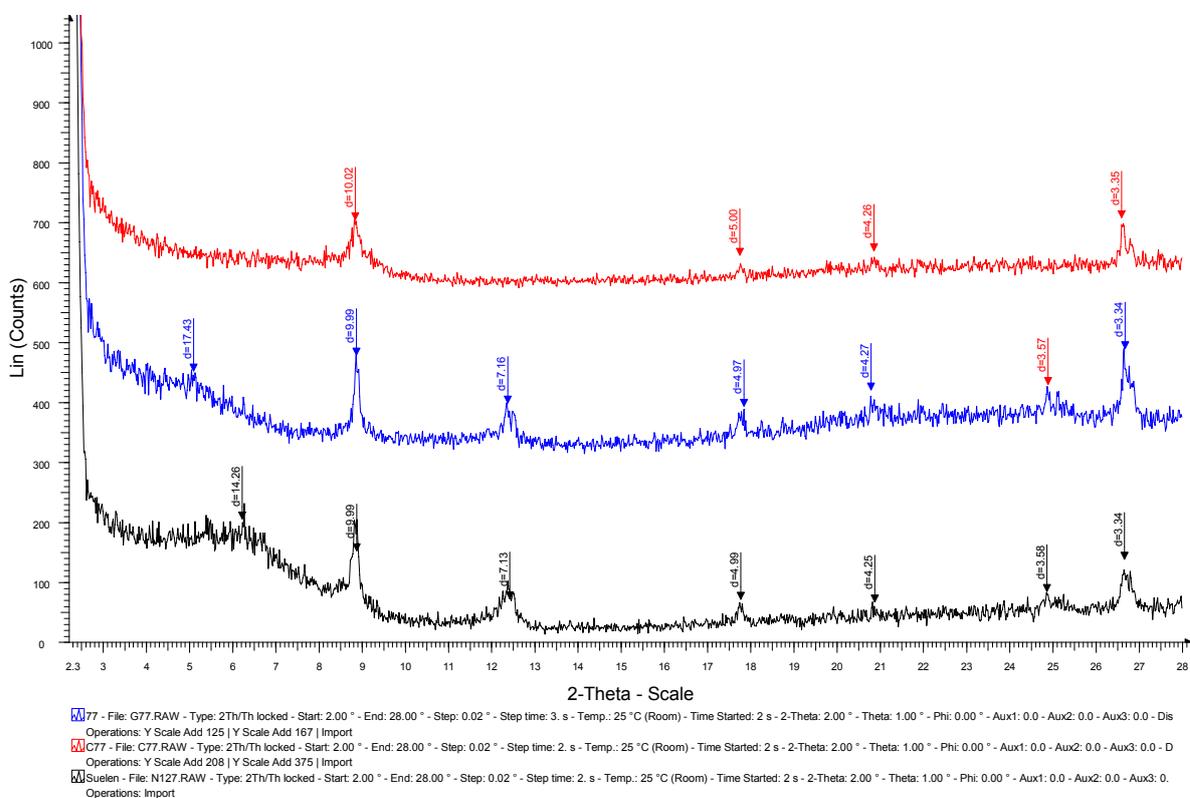


Figura 04 – Difratoograma Amostra 04 (Lagoa dos Patos).

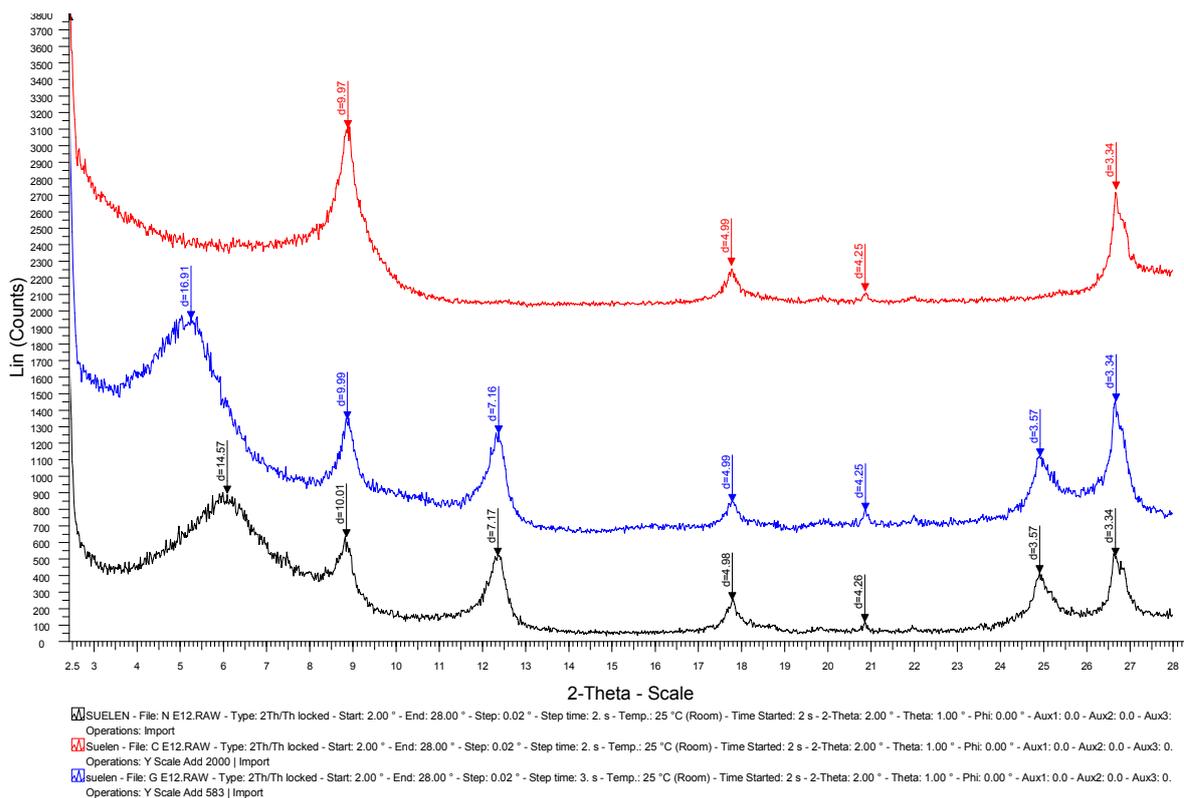


Figura 05 – Difratoograma Amostra 05 (Plataforma Continental).

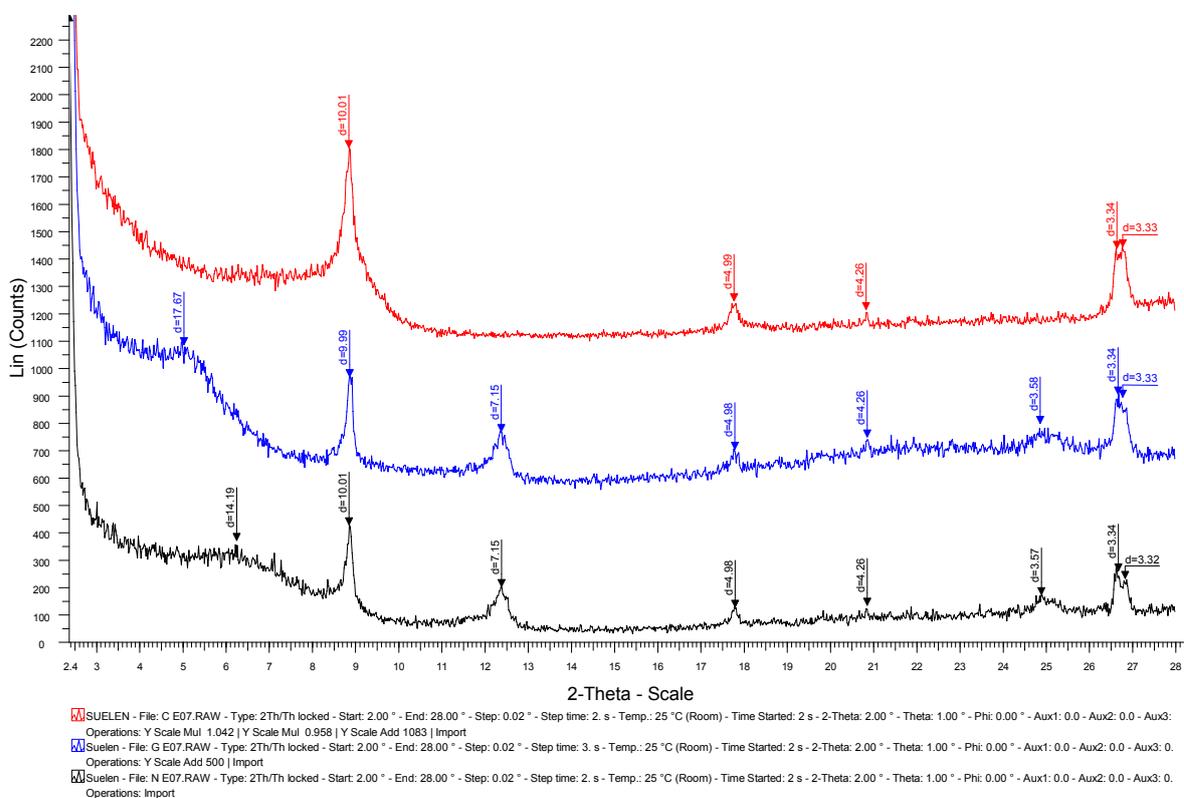


Figura 06 – Difratoograma Amostra 06 (Plataforma Continental).

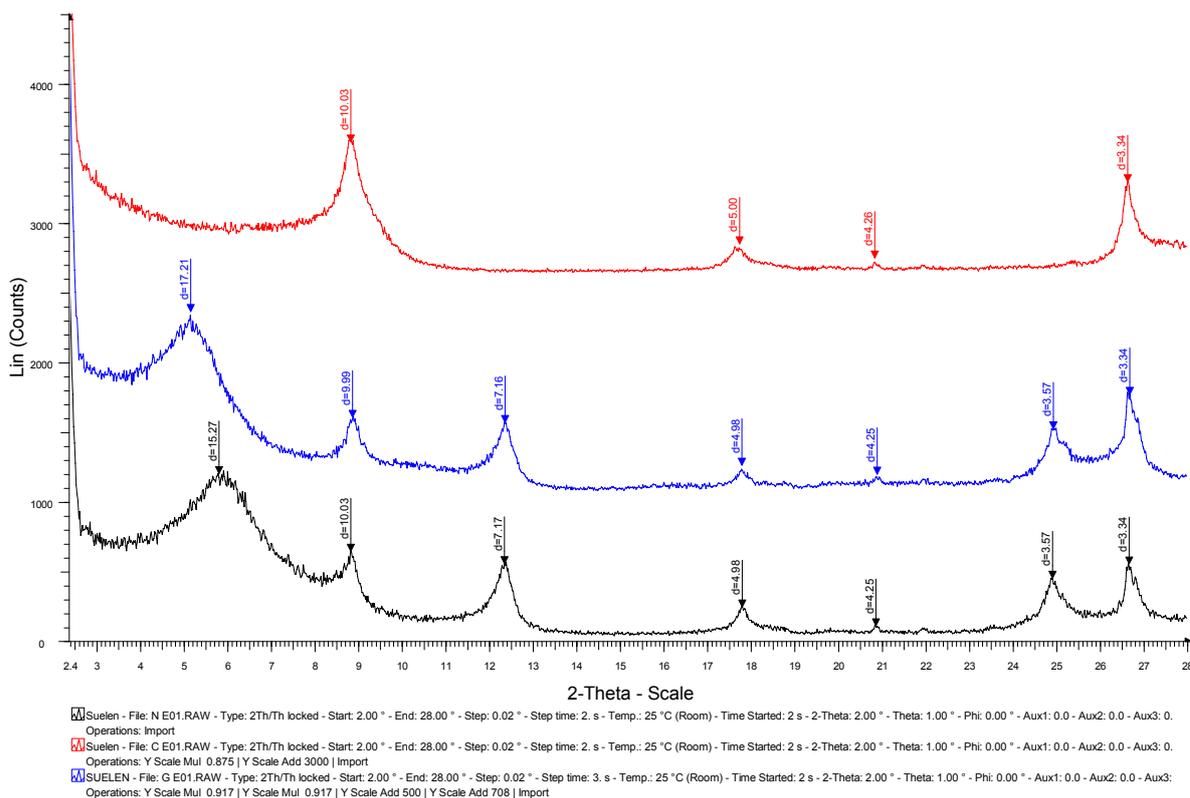


Figura 07 – Difratoograma Amostra 07 (Plataforma Continental).

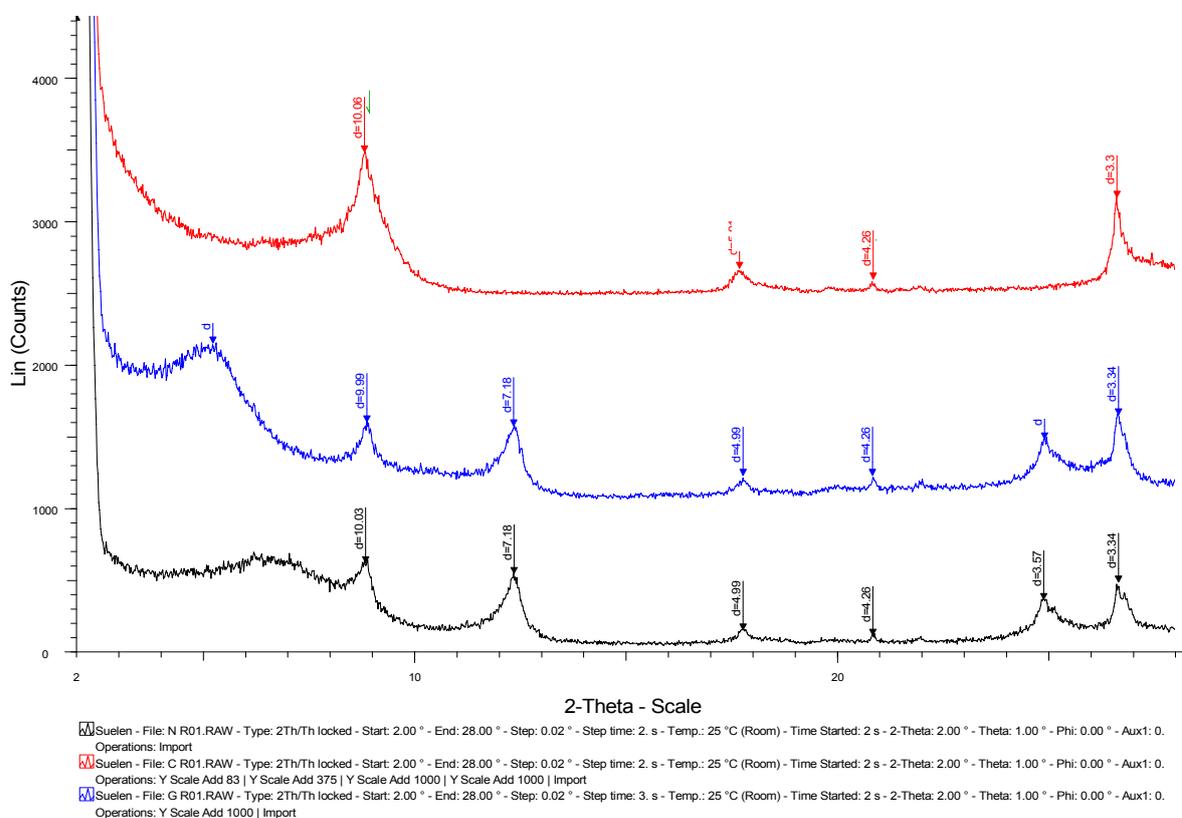


Figura 08 – Difratoograma Amostra 08 (Plataforma Continental).

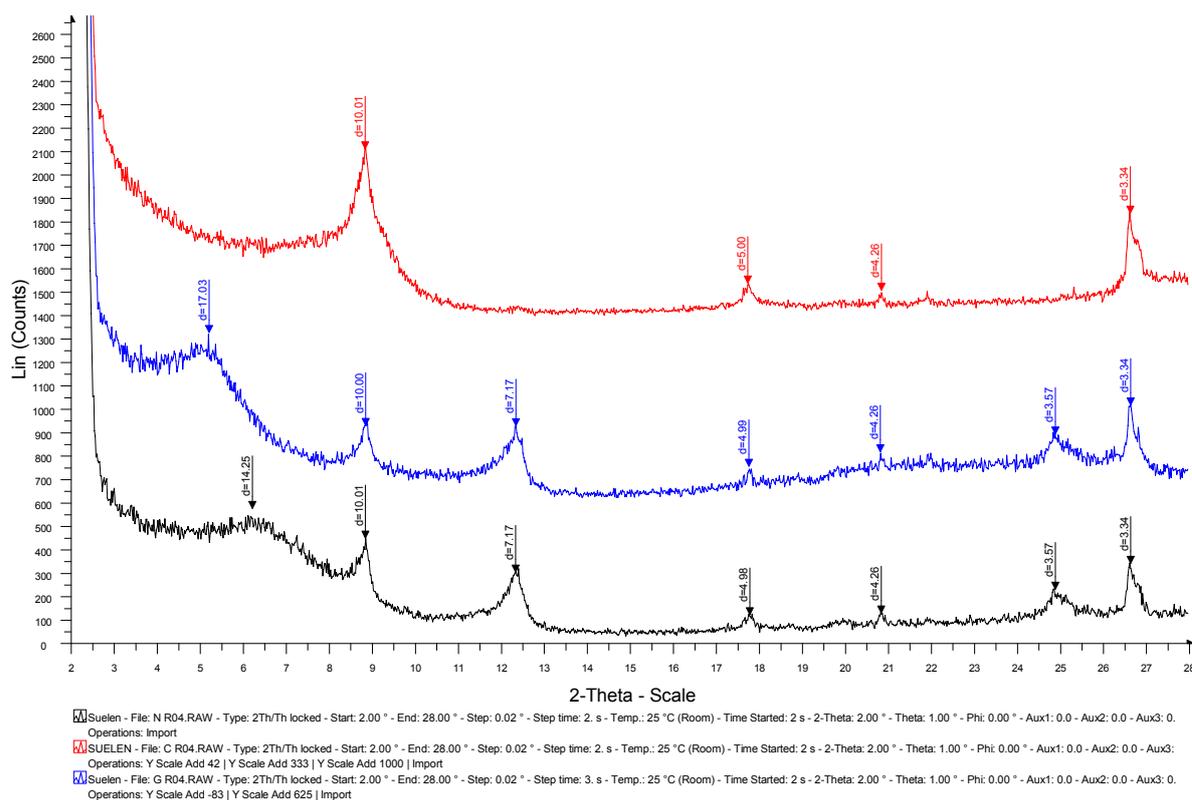


Figura 09 – Difratoograma Amostra 09 (Plataforma Continental).

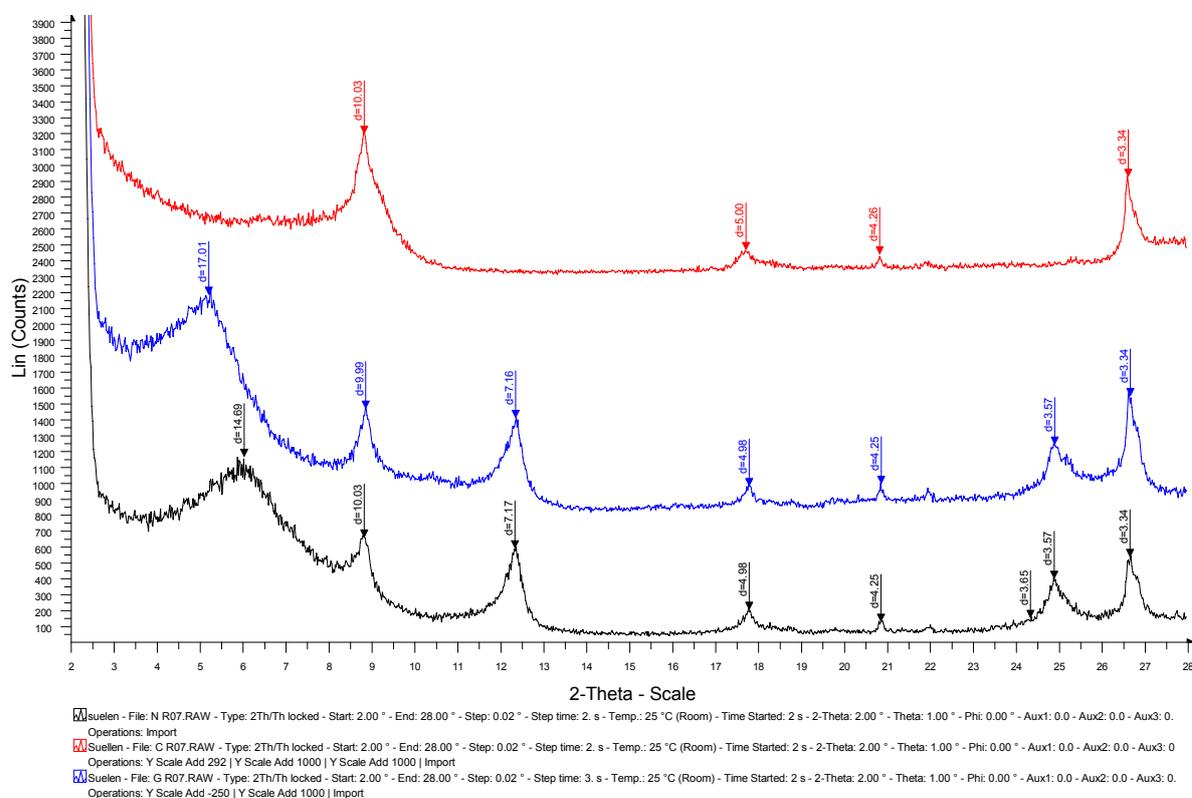


Figura 10 – Difratoograma Amostra 10 (Plataforma Continental).

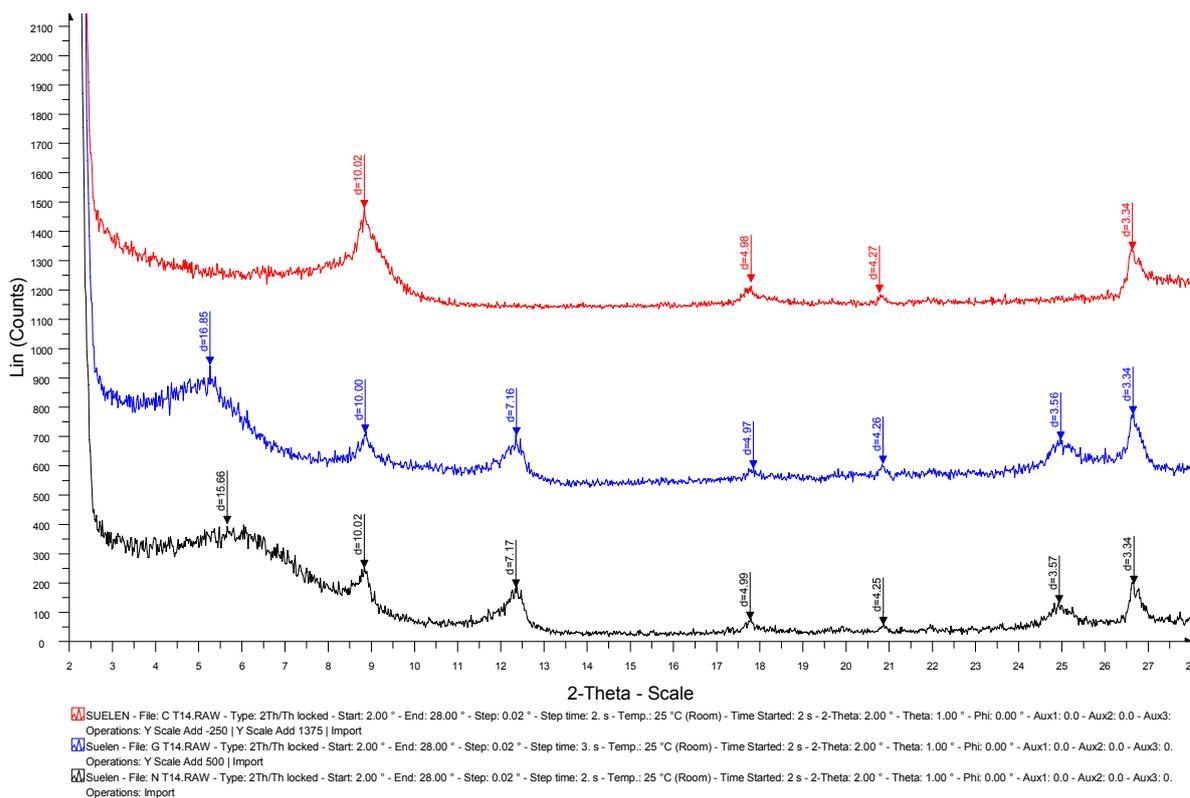


Figura 11 – Difratoograma Amostra 11 (Plataforma Continental).

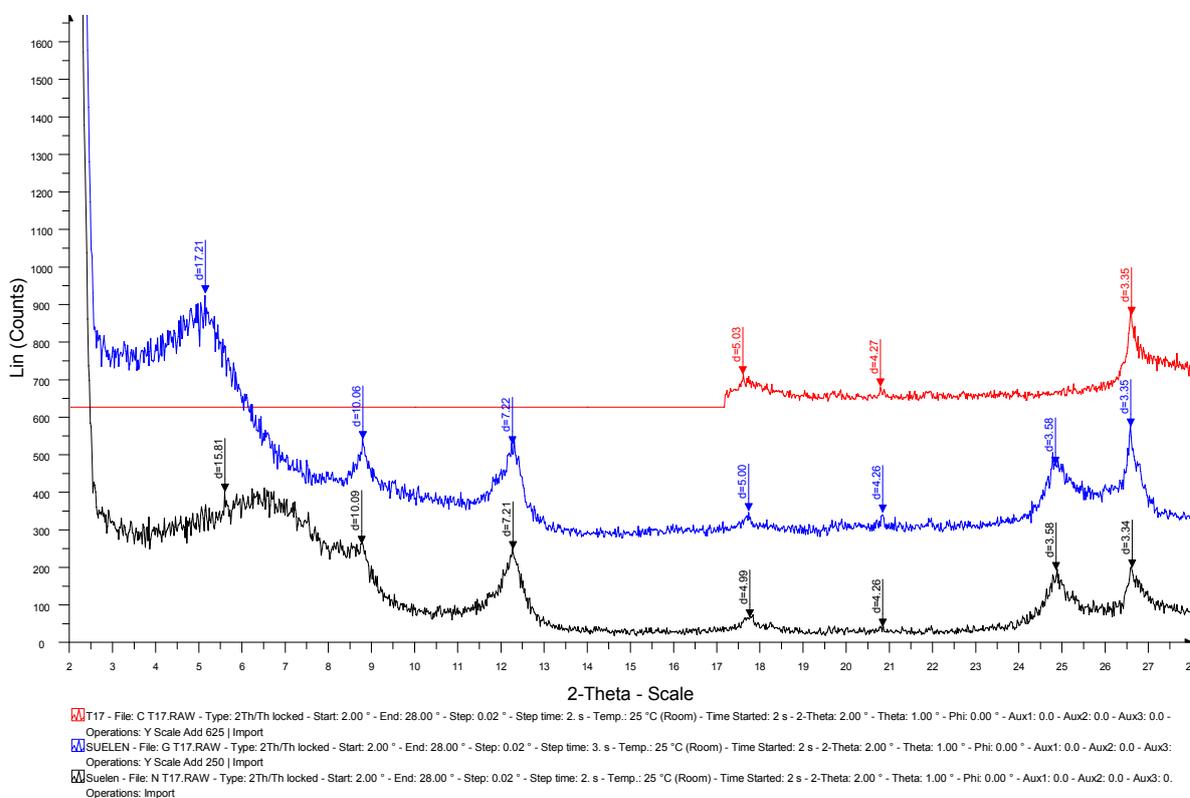


Figura 12 – Difratoograma Amostra 12 (Plataforma Continental).

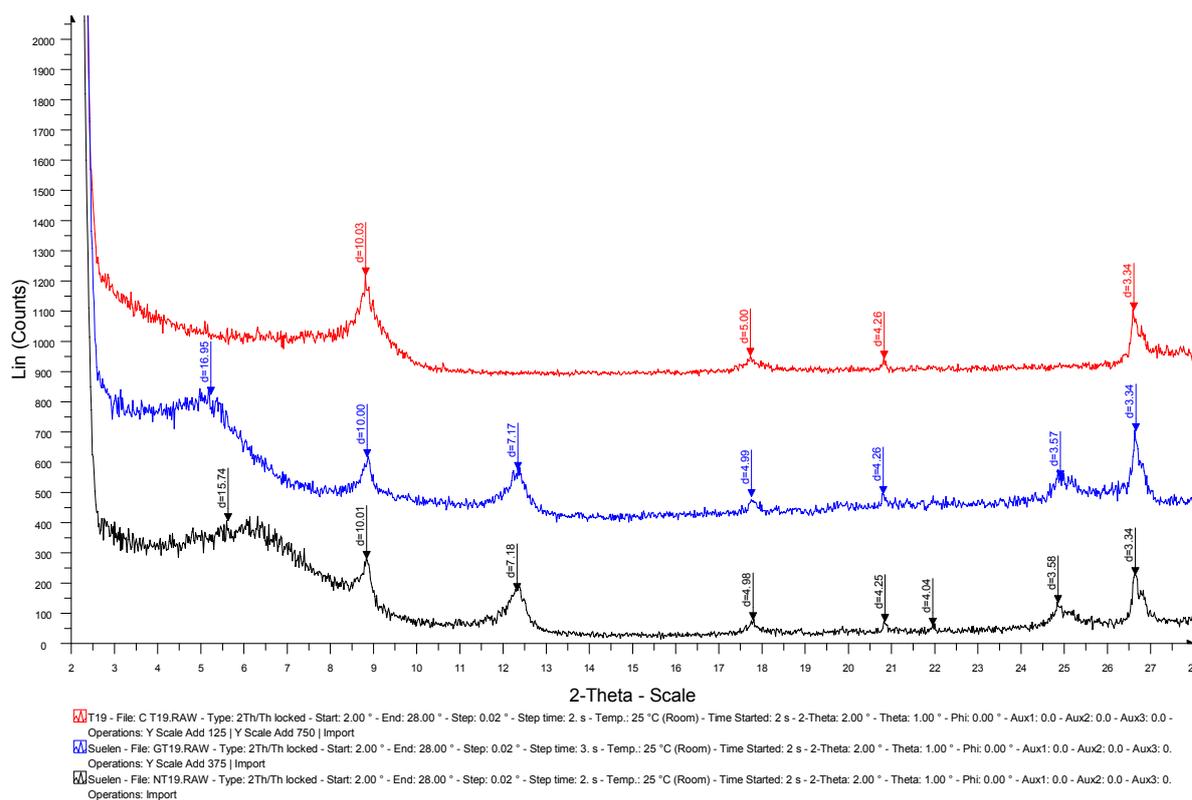


Figura 13 – Difratoograma Amostra 13 (Plataforma Continental).

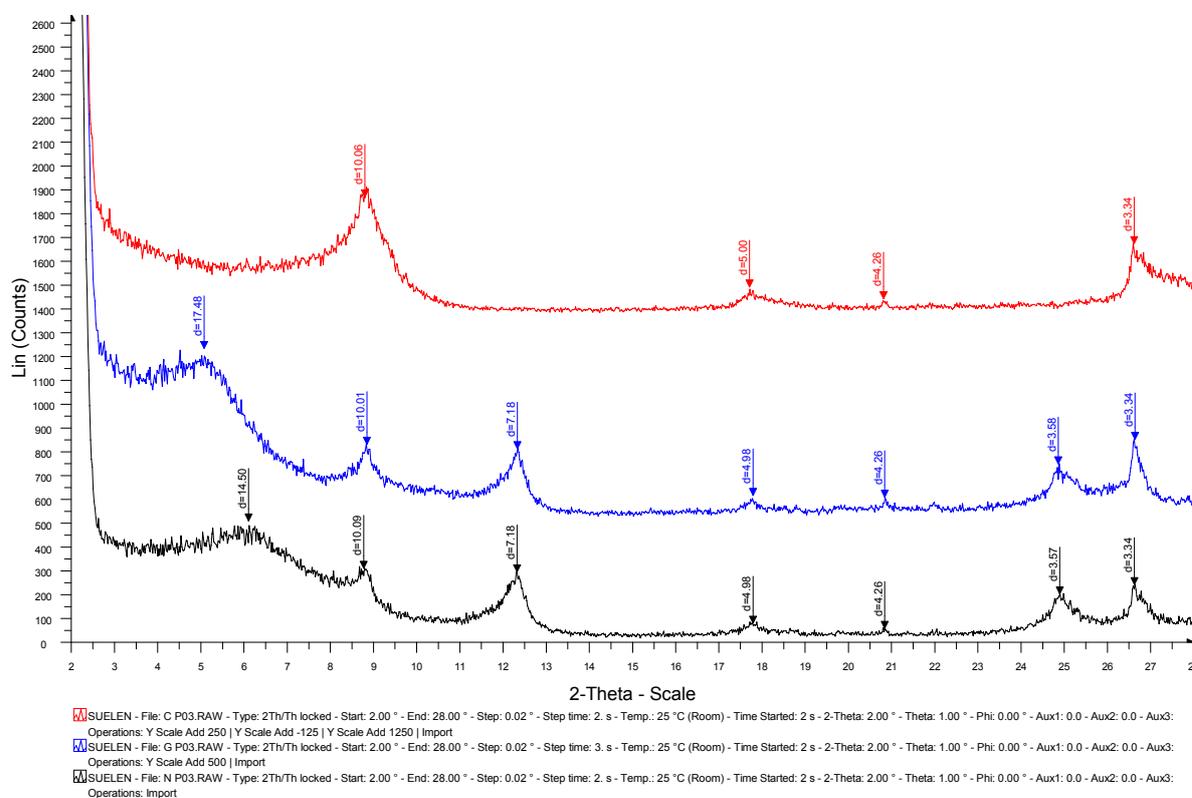


Figura 14 – Difratoograma Amostra 14 (Praia do Cassino).

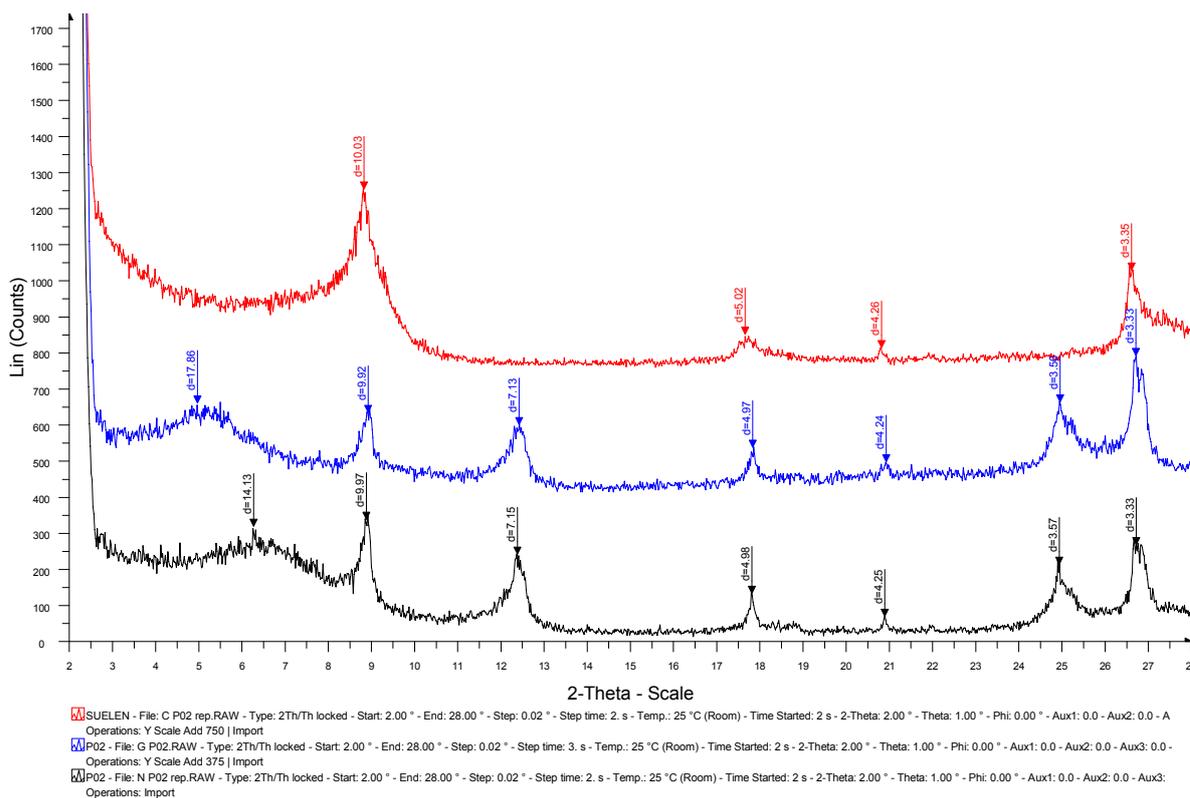


Figura 15 – Difratoograma Amostra 15 (Praia do Cassino).

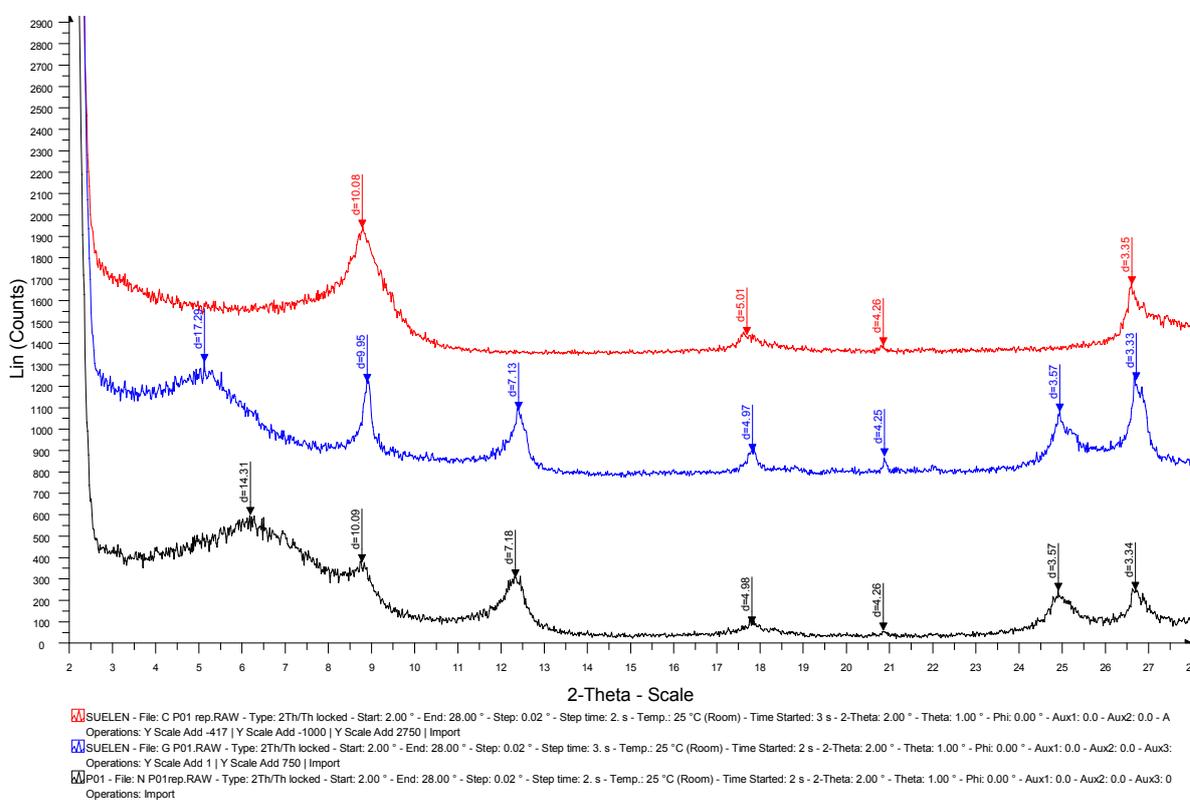


Figura 16 – Difratoograma Amostra 16 (Praia do Cassino).