

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

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DAS ASSEMBLÉIAS DE MINERAIS  
PESADOS DETRÍTICOS DAS AREIAS HOLOCÊNICAS  
PRAIAS DA MARGEM EMERSA DA BACIA DE PELOTAS**

LOREN PINTO MARTINS

ORIENTADOR – Dr. Luiz José Tomazelli  
CO-ORIENTADOR – Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus

Volume Único

Porto Alegre – 2011

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

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DAS ASSEMBLÉIAS DE MINERAIS  
PESADOS DETRÍTICOS DAS AREIAS HOLOCÊNICAS  
PRAIAS DA MARGEM EMERSA DA BACIA DE PELOTAS**

**LOREN PINTO MARTINS**

ORIENTADOR – Dr. Luiz José Tomazelli

CO-ORIENTADOR – Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Elirio Ernestino Toldo Jr. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.<sup>a</sup> Dra. Karin Goldberg – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Jorge Alberto Villwock- Diretor do Instituto do Meio Ambiente da PUCRS

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

Porto Alegre, Abril/2011

Martins, Loren Pinto

Estudo e Avaliação das Assembléias de Minerais Pesados Detríticos das Areias Holocênicas Praiais da Margem Emersa da Bacia de Pelotas / Loren Pinto Martins. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2011.

[46 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2011.

Orientação: Prof. Dr. Luis José Tomazelli

Co-Orientação: Prof. Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus

1. Minerais pesados. 2. Proveniência. 3. Planície costeira. 4. Bacia de Pelotas. I. Título

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Geociências - UFRGS  
Miriam Alves CRB 10/1947

## **Agradecimento**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições envolvidas direta ou indiretamente na realização deste trabalho, principalmente as abaixo citadas:

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela infra-estrutura do Programade Pós-graduação em Geociências;

A Capes pela concessão da bolsa de pesquisa;

Ao grande amigo Adolpho Heres sem o qual as atividades de campos desta dissertação não teriam sido realizadas;

Ao orientador Marcus Remus pela excelente orientação, pela paciência nestes longos anos de convivência, e por todos os ensinamentos. Agradeço a ele ainda pelo incentivo a pesquisa e por despertar meu interesse nas investigações de proveniências das areias e arenitos pelo Brasil;

A colega e amiga Tâmara pela ajuda na quantificação dos concentrados de minerais pesados;

Ao grande amigo Gilberto Santos, o mestre na sedimentologia, por todo o auxílio com o tratamento das amostras e aquisição dos concentrados de minerais pesados;

Ao professor Luiz José Tomazelli pela orientação neste trabalho;

À minha família, meu agradecimento especial pela resignada paciência e pelo incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

## Resumo

A análise de minerais pesados para estudos de proveniência é uma das técnicas mais sensíveis atualmente empregadas. As associações dos minerais pesados formam paragêneses, as quais propiciam informações cruciais sobre os tipos de rochas-fonte, não podendo essas serem obtidas por outros meios. O presente estudo tem por objetivo identificar as assembléias de minerais pesados detríticos, bem como determinar as prováveis fontes primárias e a distribuição destas assembléias ao longo da margem emersa da Bacia de Pelotas. Além disso, este trabalho propõe uma análise do sentido da deriva litorânea com base no estudo da variação das concentrações destas assembléias de minerais pesados. Os minerais pesados presentes nas amostras analisadas são: epidotos, apatita, turmalinas, hornblenda, estaurolita, zircão, cianita, granadas, rutilo, piroxênios, actinolita-tremolita, monazita, silimanita e, em menores quantidades, observa-se ainda clorita, andaluzita e titanita, além de minerais opacos. A maior concentração de minerais pesados ocorre no sul da área em estudo, alcançando o valor máximo de 4,75% , e diminuindo em direção ao norte da Planície Costeira do Rio Grande Sul. A assembléia de minerais pesados no norte da área de estudo tem como rocha fonte importante os basaltos da Formação Serra Geral, que contribuem com minerais mais instáveis, tais como os piroxênios e os anfibólios, enquanto que a assembléia de minerais pesados no litoral sul possui uma maior concentração de minerais metamórficos saturados em alumínio (cianita, silimanita, andaluzita e estaurolita) e granadas, indicando que as rochas fonte destas assembléias são os terrenos metamórficos do Escudo Sul-riograndense e do Escudo Uruguaio. Analisando as concentrações de granadas e de piroxênios, observa-se que a abundância de granadas diminui de sul para norte, enquanto que o percentual de piroxênios diminui de norte para sul. Este fato, aliado à diminuição da concentração da assembléia total de minerais pesados de sul para norte, evidencia que a deriva litorânea nas praias da PCRS se dá de sul para norte.

## **Abstract**

The heavy mineral analysis for provenance study is one of the most sensitive techniques currently applied. The heavy mineral associations formed parageneses, which provided crucial information about the source rocks types, that can not be obtained through other means. This study aims to identify the detrital heavy mineral assemblages, as well as determine the probable primary sources and the distribution of these assemblages along the onshore margin of the Pelotas Basin. In addition, this paper proposes an analysis of the littoral drift direction based on the study of variation of concentrations of these heavy mineral assemblages. The heavy minerals present in the samples analyzed are epidotes, apatite, tourmaline, hornblende, staurolite, zircon, kyanite, garnets, rutile, pyroxene, actinolite-tremolite, monazite, sillimanite and, in smaller quantities, there is still chlorite, and andalusite titanite, opaque minerals besides. The largest concentration of heavy mineral occurs in the south of the study area, reaching the maximum value of 4.75% and decreasing towards the north of the coastal plain of the Rio Grande Sul. The heavy minerals assemblage in the northern area of study shows how important source rock the basalts of the Serra Geral formation, contributing minerals more unstable, such as pyroxenes and amphiboles, while the heavy mineral assemblage in the southern coast has a greater concentration of metamorphic minerals aluminium saturated (kyanite, staurolite, andalusite and sillimanite) and garnets, indicating that the source rocks of these assemblies are the metamorphic terrains of the Sul-riograndense and Uruguay Shields. By analyzing the concentrations of garnets and pyroxenes, it is observed that the abundance of garnets decreases from south to north, while the percentage of pyroxene decreases from north to south. This fact, coupled with decreased concentration of total heavy mineral assemblage from south to north, shows that the littoral drift on the beaches of the PCRS occurs from south to north.

## Sumário

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>5</b>
1. INTRODUÇÃO .....	6
1.1. <i>Objetivos</i> .....	6
1.2. <i>Estado da Arte</i> .....	6
1.2.1. <i>Proveniência</i> .....	6
1.2.2. <i>Minerais Pesados</i> .....	7
1.3. <i>Área de Estudo</i> .....	10
1.4. <i>Materiais e Métodos</i> .....	11
1.5. <i>Análise Integradora</i> .....	14
1.6. <i>Referências</i> .....	17
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>20</b>
2. ARTIGO.....	21
2.1. <i>Carta de Submissão</i> .....	21
2.2. <i>Artigo</i> .....	1

**Sobre a Estrutura desta Dissertação:**

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de artigo publicado em periódico. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Introdução que contém (1) objetivo da dissertação e os avanços pretendidos com este estudo; (2) estado da arte do tema da dissertação e (3) materiais e métodos utilizados; (4) análise integradora dos principais resultados obtidos; e (5) referências bibliográficas.
  
- b) O segundo capítulo é composto pelo artigo intitulado *Composição e Distribuição das Assembléias de Minerais Pesados Detríticos das Areias Holocênicas Praiais da Margem Emersa da Bacia de Pelotas*, submetido à na revista *Pesquisas em Geociências*, em abril do presente ano.



# Capítulo I

# 1. INTRODUÇÃO

---

## 1.1. Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo identificar as assembléias de minerais pesados detríticos, bem como determinar as prováveis fontes primárias e a distribuição destas assembléias ao longo da margem emersa da Bacia de Pelotas. Além disso, esta dissertação propõe uma análise do sentido da deriva litorânea com base no estudo da variação das espécies minerais e das concentrações destas assembléias de minerais pesados.

## 1.2. Estado da Arte

### 1.2.1. Proveniência

O termo proveniência, derivado do francês *provenir*, significa “originado”, “vindo de” e se refere a todos os fatores relacionados à produção e origem do sedimento (Pettijohn et al., 1987). A natureza e as características da área-fonte podem ser verificadas através do estudo da composição do próprio depósito. As areias, mais do que qualquer outro sedimento, permitem esta identificação uma vez que os constituintes detríticos, minerais e fragmentos de rochas, são determinados pela natureza das rochas-fonte. Alguns minerais são característicos de um tipo ou classe particular de rochas-fonte – como, por exemplo, a cianita que é um indicador de fonte metamórfica (metassedimentar aluminosa). Outros minerais, tais como o quartzo, presente com frequência nos pacotes sedimentares, quando apresenta boa formação e uniformidade, revela características de uma fonte particular: trata-se de um quartzo vulcânico.

Conseqüentemente, espécies minerais individuais ou suítes minerais são indícios importantes da rocha fonte. Fragmentos de rochas presentes em areias são também de extrema importância para decifrar a proveniência.

A composição do sedimento não é precisamente a mesma da área-fonte, visto que, durante o ciclo geológico estes sedimentos podem ser modificados, de

modo que sua composição pode ser alterada por perdas e pelo enriquecimento seletivo (esta questão envolve a estabilidade relativa do mineral no intemperismo da área-fonte), pela abrasão durante o transporte, pelo fracionamento hidráulico, e pela alteração ou pela dissolução durante o processo de diagênese. O estudo da proveniência envolve então a análise mineralógica acoplada com um conhecimento da estabilidade mineral, mecânica e química (Pettijohn et al., 1987).

As áreas-fonte podem ser múltiplas e podem mudar com o tempo. Muitas fontes e vários ciclos sedimentares podem estar envolvidos nos processos geradores de sedimentos. Isto dificulta a identificação e a distribuição das fontes primárias e imediatas, em geral rochas ígneas e metamórficas. Embora um único grão possa conter informações essenciais para a identificação de sua fonte, a proveniência de minerais detríticos deve ser buscada a partir da integração de diversos dados, incluindo a análise de assembléias de minerais pesados e a análise da composição química de minerais específicos, como por exemplo, a caracterização geoquímica de granadas.

Tanto os minerais detríticos leves como os pesados têm sua importância nos estudos de proveniência, porém os minerais pesados apresentam uma maior contribuição. Desde os estudos de Boswell 1933 (*apud* Pettijohn et al., 1987), minerais detríticos, particularmente os pesados, vêm sendo usados como elementos chave para a identificação da natureza da área-fonte. Feições variadas, como inclusões, cor e morfologia servem como guias para determinar o tipo de rocha-fonte.

### 1.2.2. Minerais Pesados

Designam-se por "minerais pesados" os grãos minerálicos (principalmente da areia), provenientes de rochas ígneas e metamórficas, onde ocorrem normalmente de forma acessória, cuja densidade é superior a 2,8, isto é, superior à do quartzo (2,65) e à dos feldspatos (2,56 a 2,76).

A análise de minerais pesados vem sendo usada com freqüência em estudos voltados à exploração de petróleo, na análise de bacias, na correlação de fácies e geometria de reservatórios potenciais. Além disso, por servirem como guias prospectivos, estes minerais são utilizados em trabalhos de prospecção, como na identificação de kimberlitos, ou de depósitos primários de estanho através de grãos

de cassiterita, de tungstênio, pela scheelita. Entretanto, vale ressaltar que a utilização de minerais pesados não se restringe à geologia econômica ou às correlações estratigráficas.

Os primeiros estudos utilizando minerais pesados foram efetuados no final do século XIX. Contudo, até o início do século XX, o estudo da composição mineralógica dos sedimentos era feito, essencialmente, do ponto de vista qualitativo. Foi Edelman, 1933 (apud Dias, 2004) que realizou o primeiro estudo sedimentológico baseado na análise sistemática da distribuição dos minerais, autor este que introduziu o conceito de "província sedimentar" para designar o conjunto de sedimentos que possuem a mesma idade de formação, a mesma origem e a mesma distribuição.

Nas décadas de 50 e 60 do século XX a escola francesa desenvolveu bastante esta linha de investigação, conseguindo grande êxito na utilização das diferentes espécies ou variedades de espécies como indicadores de origem e como traçadores do transporte sedimentar. Foi, no entanto, a escola norte-americana que desenvolveu, sobretudo após a II Guerra Mundial, a interpretação do comportamento hidrodinâmico dos diferentes grãos de minerais pesados presentes em diferentes ambientes sedimentares atuais, linha esta que se iniciou com o trabalho de Rubey, 1933 (apud Dias, 2004).

Durante o período de 1920 a 1940, geólogos do petróleo usavam freqüentemente estudos de minerais pesados para solucionar problemas de proveniência e correlação de arenitos, mas estes estudos foram logo substituídos por estudos de microorganismos e técnicas de logging elétrico (Hubert, 1971). As análises de minerais pesados declinaram primeiramente pela dificuldade encontrada na grande flutuação das proporções de espécies de minerais pesados e na própria escolha do tamanho de grão.

Os primeiros trabalhos referentes à presença de minerais pesados, ao longo da planície costeira do Rio Grande do Sul, foram os de Delaney (1965) e Martins (1967). Abreu (1973) descreveu a existência de areias ilmeníticas na área de Santa Vitória do Palmar. Pomerancblum & Costa (1972) estudando os minerais pesados da plataforma continental da região do Rio Grande até o Chuí, determinaram que estes sedimentos da região interna da plataforma provinham de rochas metamórficas e os da região externa principalmente de rochas básicas. Martins da Silva (1979) estudou a origem dos minerais pesados presentes nas areias de praia entre Rio Grande e

Chuí, concluindo que esta assembléia mineralógica teve como área fonte primária as rochas do Escudo Sul-riograndense e os basaltos da formação Serra Geral.

Villwock et al. (1979) estudando as areias negras ao longo da costa do Rio Grande do Sul propuseram que estes sedimentos são derivados de rochas metamórficas e ígneas do Escudo Sul-riograndense e de formações sedimentares e cobertura vulcânica de idade Paleozóica a Mesozóica. Loss & Dehnhardt (1983) confirmaram esta proposição a partir de estudos da concentração das areias negras.

Munaro (1994) estudou os minerais pesados da região de Bojuru (litoral médio do Rio Grande do Sul) e sugere sua fonte primordial é derivada do leque deltáico associado à paleodrenagem do Rio Camaquã na plataforma interna, cujos sedimentos foram retrabalhados e redepositados no decorrer das variações eustáticas posteriores. Também propõe que os minerais de interesse econômico (ilmenita, leucoxênio, rutilo, zircão e cianita) provêm das rochas do Escudo Sul-riograndense, enquanto os minerais pesados derivados dos basaltos da Formação Serra Geral são a magnetita e titano-magnetita.

Dillenburg et al. (2004) propõe que a formação do placer de Bojuru se dá pelo retrabalhamento dos depósitos da planície costeira existentes e pela retenção, em Bojuru, de parte dos minerais pesados transportados pelas correntes costeiras (deriva litorânea).

Tomazelli (1978) estudando os minerais pesados da plataforma continental classifica-os em quatro províncias diferentes: Riograndense interna que apresenta como área fonte o Escudo Sul-riograndense; Patos cuja fonte seriam os rios que deságuam na lagoa dos Patos; Riograndense externa da qual a fonte seria de rios provenientes do continente (escudo e basalto) em épocas de nível do mar mais baixo e Platina originada pelo rio de La Plata em níveis de mar mais baixo.

Corrêa et al. (2001) estudaram os minerais pesados nos sedimentos de fundo da plataforma continental sul-brasileira e baseado na composição mineralógica propõe como fontes rochas metamórficas e basálticas, sedimentos pampeanos-patagônicos e rochas dos Escudos Sul-riograndense e Uruguai.

Ayup-Zouain et al. (2001 e 2002) com base na identificação dos minerais pesados presentes nos sedimentos superficiais da plataforma continental adjacente a Planície Costeira do Rio Grande do Sul, sugerem quatro fontes de proveniência destes minerais: sedimentos de origem Pampeano-patagônico (na parte mais a sul), sedimentos Guaraní formados por sistemas de drenagem do setor central do Escudo Sul-riograndense em direção aos basaltos para o norte, sedimentos Gaúchos

formados por rochas metamórficas e de metamorfismo de contato, e sedimentos Platenses derivados das rochas do Escudo Sul-riograndense e Uruguai a partir de paleodrenagem continental adjacente ao estuário do Prata.

### 1.3. Área de Estudo

A Bacia de Pelotas compreende o trecho da margem continental sul-brasileira localizada entre os paralelos 28°S e 34°S, sendo limitada ao norte pelo Alto de Florianópolis, e ao sul pela fronteira com o Uruguai (Kowsmann et al., 1974). Sua continuidade em território uruguaio é conhecida como Bacia do Leste e se estende até o alto do embasamento de La Coronilla (figura 1). A bacia ocupa uma área de cerca de 210.000 km<sup>2</sup> até a isóbata de 2.000 m e sua porção emersa, que constitui a planície costeira do Rio Grande do Sul, cobre cerca de 40.000 km<sup>2</sup> (Dias et al., 1994).

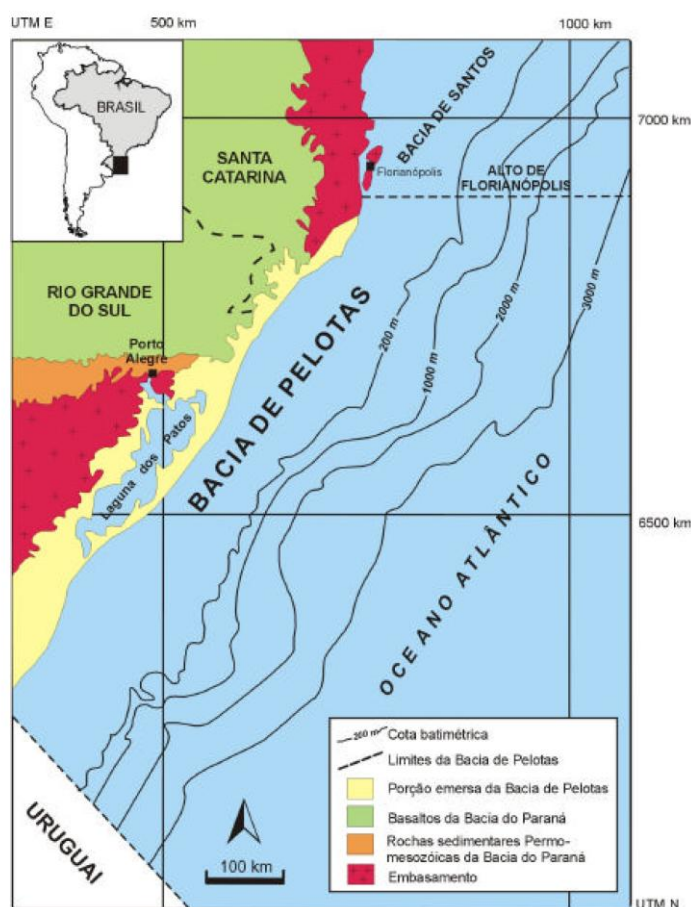


Figura 1 - Mapa geológico simplificado situando a Bacia de Pelotas em relação às bacias adjacentes (modificado de Fontana, 1996).

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) corresponde à seção superior da Bacia de Pelotas. Villwock & Tomazelli (1995) descrevem a formação da planície costeira do Rio Grande do Sul: a atual configuração teve o início de sua formação no período Terciário (Plioceno), em torno de 4 milhões de anos. Sucessivas oscilações do nível do mar relacionadas a quatro glaciações configuraram um sistema deposicional denominado Laguna/Barreira onde, na transgressão marinha, o retrabalhamento dos sedimentos da plataforma levou à formação de uma barreira arenosa, isolando uma área continental inundada e formando uma nova linha de costa.

A atual linha de costa é representada pelo sistema Laguna/Barreira IV, de idade Holocênica ( $\pm 5000$  anos), onde a atual barreira arenosa foi responsável pelo isolamento de um rosário de lagoas no litoral norte, das lagoas do Peixe e do Estreito no litoral médio e da Lagoa Mangueira no litoral sul, além de contribuir para a completa formação da múltipla barreira que separa, quase que totalmente, a Laguna dos Patos do oceano.

Este estudo desenvolveu-se ao longo de aproximadamente 760 km de costa, tendo como limites, ao sul, as rochas do embasamento cristalino aflorantes na praia de La Coronilla, no litoral norte uruguaio; ao norte os altos do embasamento, aflorantes próximo ao Farol de Santa Marta, no estado de Santa Catarina.

#### **1.4. Materiais e Métodos**

A amostragem foi realizada em intervalo regular de 20 km. Quando da ocorrência de corpos d'água, a coleta foi realizada em ambas as margens. As coletas foram feitas na zona de banho da faixa de praia em sedimentos sub-superficiais até uma profundidade de aproximadamente 30 cm. Através deste tipo de amostragem, assume-se que as amostras representam uma média de vários processos sedimentares atuantes sobre o perfil praiado ao longo do tempo, reduzindo a influência de processos de menor escala, como os fatores meteorológicos, fornecendo assim informações que caracterizam de forma representativa cada um dos locais amostrados. O total de amostras coletadas foi de 47 (figura 2).

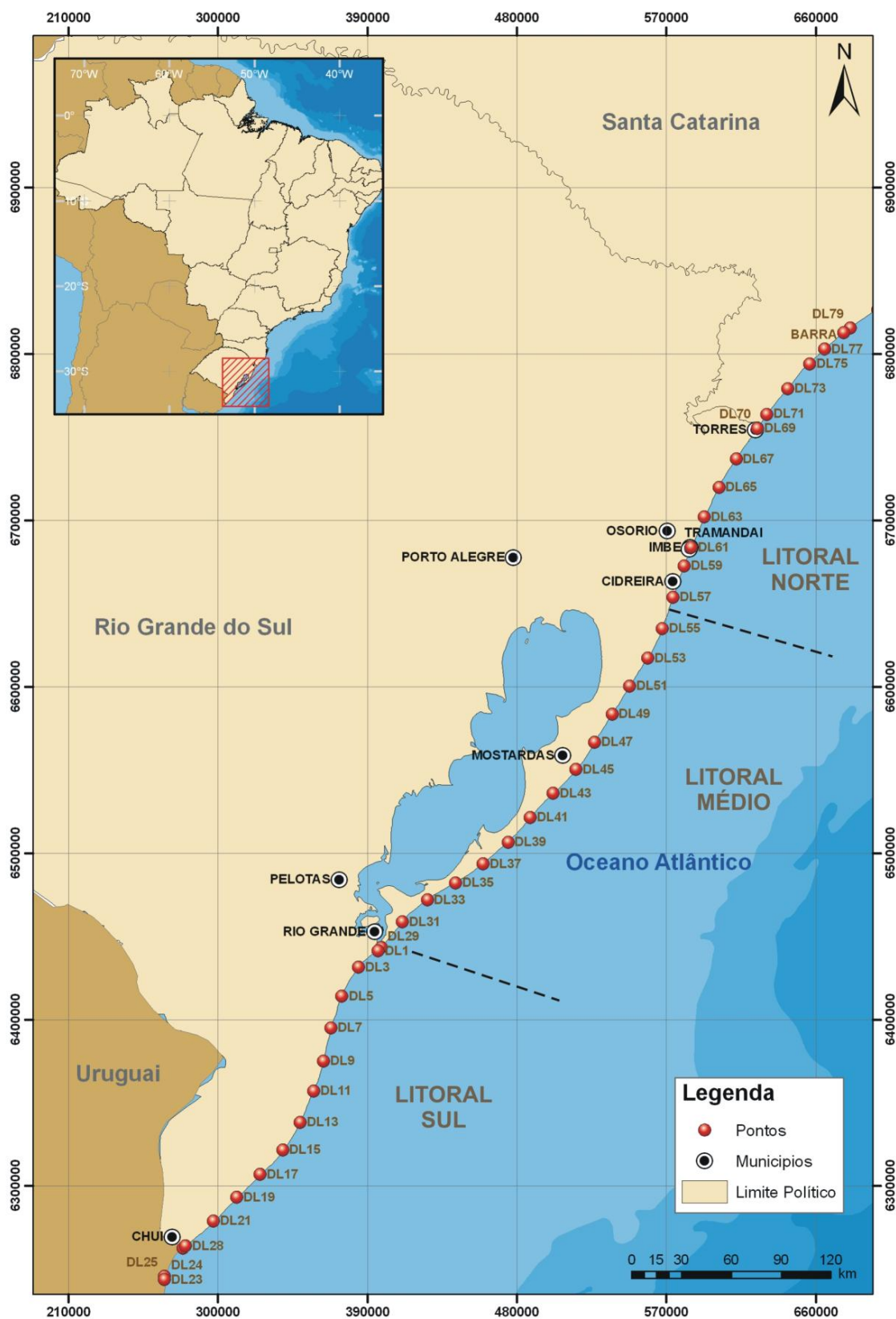


Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de amostragem com espaçamento regular de 20 km entre os pontos de coleta.



As amostras foram processadas com o objetivo de se obter dados referentes à granulométrica. Após a coleta de aproximadamente 500 gramas de sedimento para cada ponto amostrado, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos sendo devidamente etiquetadas. Em laboratório foram lavadas, para retirada total do sal. Depois de lavadas, foram secas a uma temperatura em torno dos 80°C. Um quarteador tipo “Jones” foi utilizado para a obtenção da fração de peso desejada da amostra para peneiragem. Nesta etapa foi retirada uma fração em torno de 100 a 150 gramas de amostra, posteriormente esta fração foi submetida à análise granulométrica tradicional, utilizando intervalo inteiro de  $\phi$  (phi), para peneiragem.

Para a análise de minerais pesados foi utilizada a fração 0,063mm - 0,250 mm (areia fina e muito fina), por ser este o intervalo de maior concentração destes minerais. Os minerais pesados foram concentrados por decantação em bromofórmio, segundo os procedimentos descritos por Mange & Maurer (1992). A identificação e a contagem de grãos (~300 grãos/lâmina), para a determinação das assembléias mineralógicas, foram conduzidas em microscópio petrográfico. Paralelamente, foram calculados: 1) o índice ZTR, para avaliar o grau da maturidade mineralógica (Hubert 1962); 2) o índice granada/zircão (GZi), para identificar possíveis mudanças nas características da proveniência; 3) o índice apatita/turmalina (ATi), indicativo de proveniência e do grau de intemperismo na área fonte; 4) o índice ARi, calculado com base no grau de arredondamento da apatita, é utilizado como indicativo do fracionamento hidráulico e da abrasão ao longo do transporte. A definição destes índices é detalhadamente discutida por Morton & Hallsworth (1994).

Para observação petrográfica os minerais pesados foram montados em uma lâmina de vidro seguindo os procedimentos de Zuffa (apud Mange & Maurer, 1992) da seguinte forma:

- Espalhar goma arábica dissolvida em água na proporção 4:1, ou seja, quatro gotas de água pra uma gota de goma e deixar secar naturalmente em recipiente semi-fechado pra evitar contaminações;
- Despejar os minerais pesados sobre a goma. A quantidade de grãos separados para observação microscópica deve ser suficiente para preencher a área útil da lâmina que vai ser observada ao microscópio petrográfico, sem haver sobreposição de grãos;

- Aquecer levemente a lâmina para que os grãos se fixem na goma e não haja deslocamento quando adicionado o líquido com índice de refração conhecido;
- Adicionar líquido com índice de refração conhecido. Neste trabalho o líquido utilizado é alpha-monobromo naftaleno ( $n=1,658$ );
- Identificar a lâmina com o número da amostra.

A contagem dos grãos é um processo realizado para estimar as proporções dos diferentes minerais. A contagem é realizada em microscópio petrográfico de luz transmitida com *charriot* acoplado sobre a platina. Este dispositivo auxilia no deslocamento da lâmina, seguindo linhas transversais onde cada grão identificado é contado; para a identificação dos minerais opacos usamos um equipamento de luz fibra com óptica que incide obliquamente sobre a lâmina. O numero total de grãos contados é totalizado em 300 grãos transparentes.

A realização do trabalho de identificação exige treino especial em mineralogia ótica. Para a identificação de cada espécie é necessário proceder à observação com luz transmitida polarizada e com polarizadores cruzados, estimar a birrefringência, ter atenção ao pleocroísmo, analisar as figuras de interferência, o sinal de alongação e o relevo entre outras propriedades do mineral a ser identificado

### 1.5. Análise Integradora

A análise integradora dos resultados permitiram identificar os padrões de granulometria, mineralogia e suas distribuições ao longo da porção superficial da Bacia de Pelotas. Os principais padrões detectados são sintetizados a seguir e discutidos no artigo apresentado no **Capítulo II** desta dissertação.

As areias praias holocênicas da margem emersa da Bacia de Pelotas tem como média granulométrica sedimentos na fração areia fina. Em dois setores as amostras apresentam composição granulométrica bimodal. No litoral sul, aproximadamente 160-180 km ao sul da praia do Cassino, os sedimentos são caracterizados por uma mistura de areia fina quartzosa mais cascalho e areias grosseiras biodetríticas. Como consequência, esta região é conhecida como "Concheiros ou Colchões do Albardão". Os estudos realizados até o momento não determinam a origem destes sedimentos biodetríticos.

Outra região onde a granulometria apresenta-se bimodal é na desembocadura do canal de Rio Grande. As areias, nesta região, apresentam maior concentração da fração areia muito fina. Ao sul dos molhes, este fato reflete a maior ação das ondas nesta região, retrabalhando estes sedimentos. Na região de São José do Norte, ao norte dos molhes, observa-se que a contribuição de sedimentos finos vai sendo reduzida, gradualmente, à medida que se avança para o norte. A presença desta concentração de sedimentos finos está ligada ao aporte sedimentar da Lagoa dos Patos, e à medida que avançamos em direção ao litoral norte esta influência é dissipada.

A maior concentração de minerais pesados ocorre no sul da área em estudo, alcançando o valor máximo de 4,75% (amostra DL23), e diminuindo consideravelmente em direção ao norte da Planície Costeira do Rio Grande Sul, indicando assim que a deriva litorânea se dá no sentido de sul para norte. A maior abundância de minerais pesados no sul da área em estudo está relacionada ao fato desta região estar mais próxima ao Escudo Sul-riograndese e o Escudo Uruguaio, áreas-fontes dos minerais pesados mais estáveis, tais como as granadas, turmalinas, zircões e estaurolitas.

A assembléia de minerais pesados no norte da área de estudo tem como rocha fonte importante os basaltos da Formação Serra Geral, que contribuem com minerais mais instáveis, tais como os piroxênios e os anfibólios, enquanto que a assembléia de minerais pesados no litoral sul possui uma maior concentração de minerais metamórficos saturados em alumínio (cianita, silimanita, andaluzita e estaurolita) e granadas, conforme observado na figura 10. Isto indica que as rochas fonte destas assembléias são os terrenos metamórficos do Escudo Sul-riograndese e do Escudo Uruguaio.

Analisando as concentrações de granadas e de piroxênios, observa-se que a abundância de granadas diminui de sul para norte, enquanto que o percentual de piroxênios diminui de norte para sul. Este fato, aliado à diminuição da concentração da assembléia total de minerais pesados de sul para norte, evidencia que a deriva litorânea nas praias da PCRS se dá de sul para norte.

O GZi apresenta valores mais altos no litoral sul, e apresenta uma quebra acentuada no limite litoral sul litoral norte, indicando uma mudança na área fonte. Esta mudança responde ao incremento sedimentar trazido pela Lagoa dos Patos. A partir do litoral médio, observa-se redução deste índice em direção ao litoral norte.

As mudanças no índice GZi, mais uma vez, indicam que a deriva litorânea das areias praias da PCRS é de sul para norte.

A composição dos minerais pesados das areias praias da PCRS indica que o ambiente tectônico original das areias estudadas é um cráton não-dissecado, conforme classificação de Garzanti & Andó, (2007). Esta classificação é consistente com a observação da ocorrência de diversas sequências supracrustais de cobertura (meta-vulcanossedimentares) pré-cambrianas ainda preservadas no embasamento cristalino do Escudo Sul-Riograndense.

## 1.6. Referências

ABREU S.F. 1973. Recursos Minerais do Brasil. Universidade de São Paulo (ed.). São Paulo, 320p.

AYUP R.N.Z., CORRÊA I.C.S., TOMAZELLI L.J., DILLENBURG S.R. 2001. Dispersão e proveniência dos minerais pesados nos sedimentos de fundo da Plataforma Continental Sul-Brasileira, Uruguia e Norte-Argentina. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8., Boletim de Resumos, Mariluz, p. 126-127.

AYUP R.N.Z., CORRÊA I.C.S., TOMAZELLI L.J., DILLENBURG S.R. 2002. Área fonte e dispersão dos minerais pesados nos sedimentos superficiais da plataforma continental norte do Atlântico Sul Ocidental. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XLI., Anais, João Pessoa, SBG, p. 121.

BOSWELL, P.G.H 1933. Mineralogy of Sedimentary Rocks, Murby and Co., London (1933) 393 pp.

CORRÊA I.C.S., AYUP R.N.Z., TOMAZELLI, L.J., TOLDO, E.E.Jr. 2001. Distribuição dos minerais pesados nos sedimentos de fundo da Plataforma Continental Sul-Brasileira, Uruguia e Norte-Argentina. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8., Boletim de Resumos, Mariluz. p. 124-125.

DIAS, J.M.A. 2004. A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinheiros (Uma introdução à Oceanografia Geológica). e-book. Acessado em 24/04/2007. [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/e\\_b\\_Sedim.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/e_b_Sedim.html) .

DILLENBURG, S.R.; ESTEVES, L.S, and TOMAZELLI, L.J., 2004. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, southern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 76(3), 611-623.

DELANEY P. 1965. Fisiografia e a geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. In: Publicação Especial da Escola de Geologia/UFRGS, n. 6:1-105.

FONTANA, R. L. 1996. Geotectônica e sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 214 p.

HUBERT, J.F., 1971. Analysis of heavy mineral assemblages. In: Carver, R.E. (Ed.), Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley, New York, pp. 453–478.

LOSS E. & DEHNHARDT E.A. 1983. Concentração de areias negras ao longo da Mineralógica. Acta Geológica Leopoldensia, 7(14):93-130.

MARTINS L.R.S. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. In: Publicação Especial da Escola de Geologia/UFRGS, 131-155.

MARTINS DA SILVA, da M.A., 1979. Provenance of heavy minerals in beach sands, southeastern Brazil: from Rio Grande to Chuí (Rio Grande do Sul State). Sedimentary Geology, 24(1-2), 133-148.

MUNARO, P., 1994. Geologia e Mineralogia do Depósito de Minerais Pesados de Bojuru - RS. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 96 p)

PETTIJOHN, F.J. 1975. Sedimentary Rocks. New York, Harper & Row, 628 p.

PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E. & Siecer, R. 1973. Sand and sandstone. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag. 618 p

PETTIJOHN P.J.; POTTER P.E.; SIEVER R. 1987. Sand and Sandstone. Springer-Verlag, New York. 553 p.

POMERANCBUM M & COSTA M.P.A. 1972. Integração de Informações sobre Minerais Pesados da Plataforma Continental Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., Anais, Belém, 2:179-186.

RUBEY, W.W., 1933. The size distribution of heavy minerals within a water-lain sandstone. *Journal Sementary Petrology*. Vol 3 p 3-29.

TOMAZELLI L.J. 1978. Minerais pesados da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 2(5):103-135.

VILLWOCK, J.A.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; TOMAZELLI, L.J. and HOFFMEISTER, T., 1979. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. *Memorias del seminario sobre ecologia bentónica y sedimentación de la plataforma continental del atlántico sur (Montevideo)* pp. 407-414.

VILLWOCK J.A. & TOMAZELLI L.J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8:1-45.

## Capítulo II



## 2. Artigo

---

### 2.1. Carta de Submissão



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
*Pesquisas em Geociências*

---

Porto Alegre, 25 de abril de 2011.

À Loren P. Martins e colaboradores

Venho comunicar o recebimento do manuscrito abaixo listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. O manuscrito será analisado quanto ao conteúdo e enquadramento nas normas de preparação, para que seja iniciado o processo de análise por pares.

Título: *Composição e distribuição das assembléias de minerais pesados detríticos das areias holocênicas praias da porção emersa da Bacia de Pelotas.*

Autor(es): *Loren Pinto Machado, Marcus Vinicius Dorneles Remus & Luiz José Tomazelli.*

Atenciosamente,

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza  
Editor Chefe

---

*Pesquisas em Geociências*  
Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia  
Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127, Sala 209  
CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.  
Tel.: +55.51.3308.7386  
Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

## 2.2. Artigo

### **COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS ASSEMBLÉIAS DE MINERAIS PESADOS DETRÍTICOS DAS AREIAS HOLOCÊNICAS PRAIAIS DA PORÇÃO EMERSA DA BACIA DE PELOTAS.**

### **COMPOSITION AND DISTRIBUTION OF THE DETRITICAL HEAVY MINERALS ASSEMBLEGES OF BEACH HOLOCENIC SANDS OF THE PELOTAS BASIN EMERGED AREA.**

**Loren Pinto MARTINS\* <sup>1</sup>, Marcus Vinicius Dorneles REMUS<sup>2</sup> & Luiz José TOMAZELLI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Avenida Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970 Porto Alegre –RS Brasil.

#### **RESUMO**

A análise de minerais pesados para estudos de proveniência é uma das técnicas mais sensíveis atualmente empregadas. As associações dos minerais pesados formam paragêneses, as quais propiciam informações cruciais sobre os tipos de rochas-fonte, não podendo essas serem obtidas por outros meios. O presente estudo tem por objetivo identificar as assembléias de minerais pesados detríticos, bem como determinar as prováveis fontes primárias e a distribuição destas assembléias ao longo da margem emersa da Bacia de Pelotas. Além disso, este trabalho propõe uma análise do sentido da deriva litorânea com base no estudo da variação das concentrações destas assembléias de minerais pesados. Os minerais pesados presentes nas amostras analisadas são: epidotos, apatita, turmalinas, hornblenda, estauroлита, zircão, cianita, granadas, rutilo, piroxênios, actinolita-tremolita, monazita, silimanita e, em menores quantidades, observa-se ainda clorita, andaluzita e titanita, além de minerais opacos. A maior concentração de minerais pesados ocorre no sul da área em estudo, alcançando o valor máximo de 4,75% , e diminuindo em direção ao norte da Planície Costeira do Rio Grande Sul. A assembléia de minerais pesados no norte da área de estudo tem como rocha fonte importante os basaltos da Formação Serra Geral, que contribuem com minerais mais instáveis, tais como os piroxênios e os anfibólios, enquanto que a assembléia de minerais pesados no litoral sul possui uma maior concentração de minerais metamórficos saturados em alumínio (cianita, silimanita, andaluzita e estauroлита) e granadas, indicando que as rochas fonte destas assembléias são os terrenos metamórficos do Escudo Sul-riograndense e do Escudo Uruguaio. Analisando as concentrações de granadas e de piroxênios, observa-se que a abundância de granadas diminui de sul para norte, enquanto que o percentual de piroxênios diminui de norte para sul. Este fato, aliado à diminuição da concentração da assembléia total de minerais pesados de sul para norte, evidencia que a deriva litorânea nas praias da PCRS se dá de sul para norte.

**Palavras-chave:** minerais pesados, proveniência, planície costeira, Bacia de Pelotas

## ABSTRACT

The heavy mineral analysis for provenance study is one of the most sensitive techniques currently applied. The heavy mineral associations form parageneses, which provided crucial information about the source rocks types, that can not be obtained through other means. This study aims to identify the detrital heavy mineral assemblages, as well as determine the probable primary sources and the distribution of these assemblages along the onshore margin of the Pelotas Basin. In addition, this paper proposes an analysis of the littoral drift direction based on the study of variation of concentrations of these heavy mineral assemblages. The heavy minerals present in the analyzed samples are epidotes, apatite, tourmaline, hornblende, staurolite, zircon, kyanite, garnets, rutile, pyroxene, actinolite-tremolite, monazite, sillimanite and, in smaller quantities, there is still chlorite, and andalusite titanite, opaque minerals besides. The largest concentration of heavy mineral occurs in the southern part of the studied area, reaching the maximum value of 4.75% and decreasing towards the north of the coastal plain of the Rio Grande Sul. The heavy minerals assemblage in the northern part of the studied area has the basalts of the Serra Geral formation as an important source area, that delivers more unstable minerals, such as pyroxenes and amphiboles, while the heavy mineral assemblage in the southern coast has a greater concentration of metamorphic minerals aluminium saturated (kyanite, staurolite, andalusite and sillimanite) and garnets, indicating that the source rocks of these assemblages are the metamorphic terrains of the Sul-riograndense and Uruguay Shields. By analyzing the concentrations of garnets and pyroxenes, it is observed that the abundance of garnets decreases from south to north, while the percentage of pyroxene decreases from north to south. This fact, coupled with decreased concentration of total heavy mineral assemblage from south to north, shows that the littoral drift on the beaches of the PCRS occurs from south to north.

**Key-words:** heavy minerals, provenance, coastal plain, Pelotas Basin

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia de Pelotas compreende o trecho da margem continental sul-brasileira localizada entre os paralelos 28°S e 34°S, sendo limitada ao norte pelo Alto de Florianópolis, e ao sul pela fronteira com o Uruguai (Kowsmann et al., 1974). Sua continuidade em território uruguaio é conhecida como Bacia do Leste e se estende até o alto do embasamento de La Coronilla. A bacia ocupa uma área de cerca de 210.000 km<sup>2</sup> até a isóbata de 2.000 m e sua porção emersa, que constitui a planície costeira do Rio Grande do Sul, cobre cerca de 40.000 km<sup>2</sup> (Dias et al., 1994).

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) corresponde à seção superior da Bacia de Pelotas. Esta planície foi originada sob o controle das variações climáticas e flutuações do nível relativo do mar durante o período Quaternário (Figura1). Os sedimentos erodidos das terras altas adjacentes se acumularam principalmente em dois tipos principais de sistemas deposicionais: (1) sistema de leques aluviais que ocuparam uma faixa contínua ao logo da área mais interna da PCRS, e (2) quatro sistemas distintos transgressivos-regressivos do tipo Barreira-Laguna (Villwock & Tomazelli 1995).

A textura sedimentar constitui um parâmetro importante em estudos sedimentológicos de plataformas continentais e praias, pois a distribuição do tamanho de grão está vinculada à proveniência, às variações do nível do mar e aos processos hidrodinâmicos que atuam no sistema, podendo auxiliar em estudos de transporte e dispersão de sedimentos. Segundo Komar (1998), existem três fatores dominantes que controlam o tamanho médio de grão nos sedimentos praias: (1) a fonte do sedimento; (2) o nível energético das ondas e (3) a declividade geral da plataforma interna sobre a qual a praia é construída.

A análise de minerais pesados para estudos de proveniência é uma das técnicas mais sensíveis atualmente empregadas. As associações dos minerais pesados formam paragêneses, as quais propiciam informações cruciais sobre os tipos de rochas-fonte, não podendo essas serem obtidas por outros meios (Morton & Hallsworth, 1994; 1999).

A assembléia de minerais pesados presente nos sedimentos e nas rochas sedimentares é uma importante ferramenta que vem sendo empregada em estudos sedimentológicos, estratigráficos e geoeconômicos, dentro do campo da geologia. Na sedimentologia, estes minerais são utilizados em estudos de proveniência e dispersão dos sedimentos, tendo em vista que determinadas espécies mineralógicas são características de grupos restritos de rochas fontes e sua distribuição espacial, em uma bacia de deposição, permite identificar as direções preferenciais de transporte sedimentar.

O presente trabalho tem por objetivo identificar as assembléias de minerais pesados detríticos, bem como determinar as prováveis fontes primárias e a distribuição destas assembléias ao longo da margem emersa da Bacia de Pelotas. Além disso, esta dissertação propõe uma análise do sentido da deriva litorânea com base no estudo da variação das concentrações destas assembléias de minerais pesados.

## **2. AMBIENTE GEOLÓGICO**

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul desenvolveu-se a partir da justaposição lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira, cuja formação foi controlada por quatro grandes eventos transgressivos-regressivos do mar durante o Quaternário - Sistemas Laguna-Barreira I, II, III e IV, (Villwock et al. 1986; Tomazelli & Vilwock, 2000). Os sistemas I, II e III são de idade

pleistocênica, enquanto o sistema IV é de idade holocênica tardia (Figura 2). A área de estudo concentra-se nas areias praias da Barreira IV, sendo limitada ao norte pelo Alto de Florianópolis, próximo ao Farol de Santa Marta, no estado de Santa Catarina, e ao sul pelo alto do embasamento de La Coronilla, no Uruguai.

A atual configuração da Planície Costeira do Rio Grande do Sul teve o início de sua formação no período Terciário (Plioceno), em torno de 4 milhões de anos atrás. Sucessivas oscilações do nível do mar relacionadas à quatro glaciações configuraram um sistema deposicional denominado Laguna/Barreira, onde, na transgressão marinha, o retrabalhamento dos sedimentos da plataforma levou à formação de uma barreira arenosa paralela à linha de costa, isolando uma área continental inundada e formando uma nova linha de costa (Villwock & Tomazelli 1995).

A Barreira IV instalou-se no final da última transgressão pós-glacial, há cerca de 5 - 6 Ka (Villwock & Tomazelli, 1998). Esta é constituída essencialmente por areias praias e eólicas provenientes da erosão da Barreira III e de sedimentos disponíveis na plataforma continental interna. As areias possuem composição quartzosa, granulação fina a muito fina (Martins, 1967; Villwock, 1972) e, em certos locais, apresentam expressivas concentrações de minerais pesados (Martins da Silva, 1976; Villwock et al., 1979; Munaro, 1994; Dillenburg et al., 2004). De acordo com Dillenburg et al. (2000) a Barreira IV evoluiu de forma diferenciada ao longo da costa, em resposta à gradientes de energia das ondas controlados pela topografia antecedente à transgressão pós-glacial. Em alguns segmentos costeiros ela possui uma natureza regressiva enquanto em outros ela é claramente transgressiva.

O subsistema Lagunar IV situa-se entre os sedimentos da Barreira IV e os sedimentos pleistocênicos da Barreira III. No pico transgressivo holocênico, o espaço do sistema lagunar IV foi ocupado por grandes corpos lagunares que, posteriormente, evoluíram para um variado sistema de ambientes deposicionais, como a Lagoa Mangueira, na região sul da planície costeira, a Lagoa do Peixe, na parte média do litoral e o rosário de lagoas interligadas existentes no Litoral Norte do estado. Atualmente, este sub-sistema é constituído por um conjunto complexo de ambientes e sub-ambientes deposicionais, incluindo: corpos aquosos costeiros (lagos e lagoas), sistemas aluviais (rios meandantes e canais inter-lagunares), sistemas deltáicos (deltas flúvio-lagunares e deltas de maré

lagunar) e sistemas paludais, tais como pântanos, banhados e turfeiras (Tomazelli, 1990; Tomazelli & Villwock, 1991).

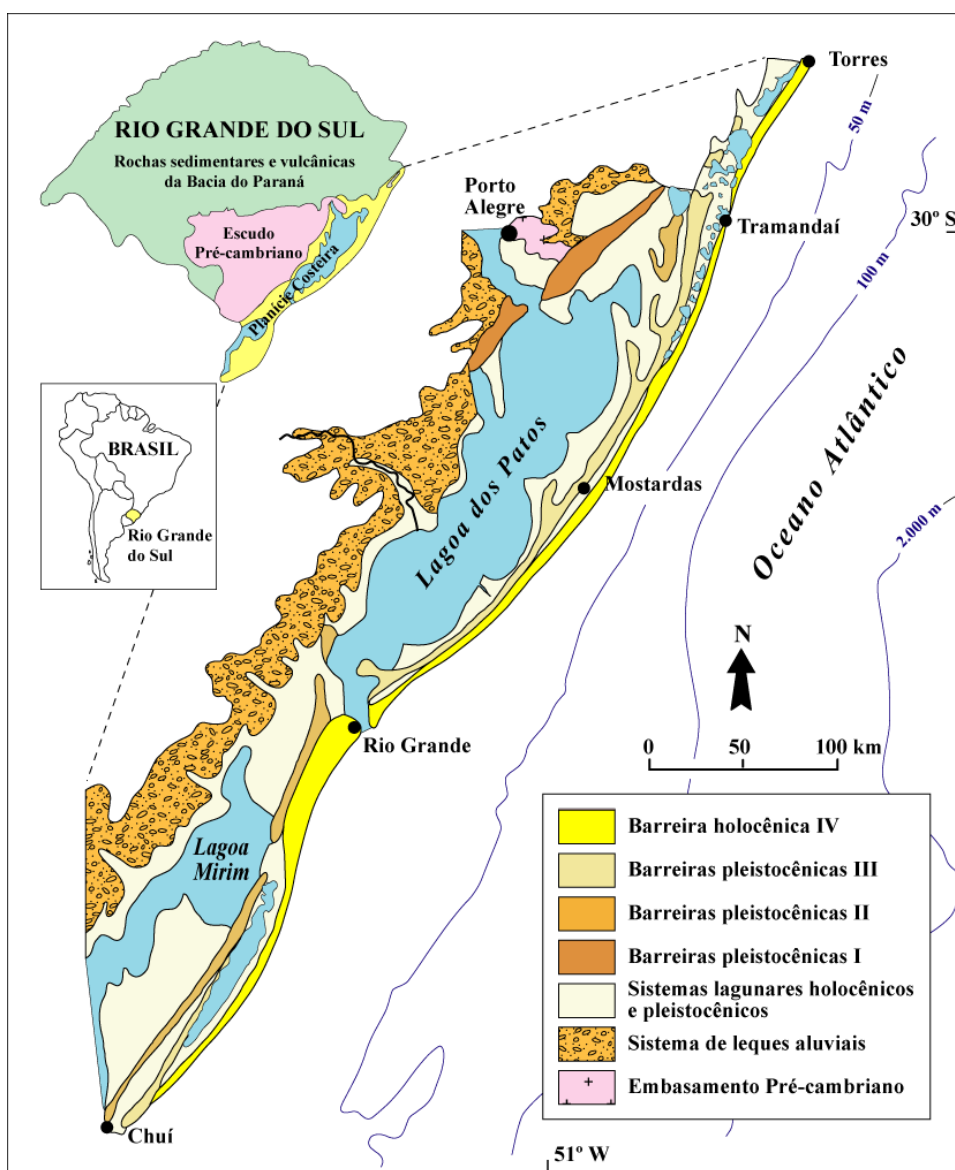


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, mostrando a distribuição dos principais sistemas deposicionais (modificado de Tomazelli & Villwock, 2000).

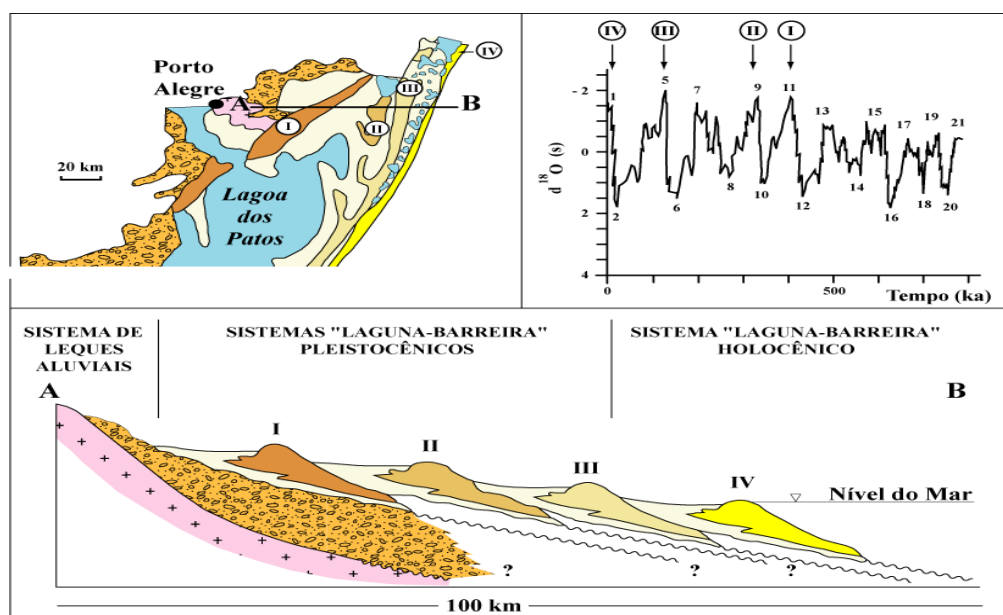


Figura 2 - Perfil esquemático transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. As barreiras são correlacionadas aos últimos maiores picos na curva isotópica de oxigênio

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo desenvolveu-se nas areias praias holocênicas da margem emersa da Baía de Pelotas, ao longo de aproximadamente 760 km de costa, tendo como limites, ao sul, as rochas do embasamento cristalino aflorantes na praia de La Coronilla, no litoral norte uruguaio; ao norte, os altos do embasamento, aflorantes próximo ao Farol de Santa Marta, no estado de Santa Catarina.

A metodologia utilizada neste estudo foi dividida em três etapas: amostragem, análise granulométrica e análise de minerais pesados. A amostragem foi realizada na zona de banho da faixa de praia em sedimentos sub-superficiais até uma profundidade de aproximadamente 30 cm. Foram coletadas 47 amostras em intervalo equidistante de 20 km. Quando da ocorrência de corpos d'água, a coleta foi realizada em ambas as margens (Figura 3). Através deste tipo de coleta, assume-se que as amostras representam uma média de vários processos sedimentares atuantes sobre o perfil praias ao longo do tempo, reduzindo a influência de processos de menor escala, como os fatores meteorológicos, fornecendo assim informações que caracterizam de forma representativa cada um dos locais amostrados.



Figura 3 - Mapa de localização dos pontos de amostragem com espaçamento regular de 20 km entre os pontos amostrados.



Em laboratório, as amostras foram lavadas para retirada total do sal e secas a uma temperatura em torno dos 80°C, sendo posteriormente submetidas à análise granulométrica tradicional, utilizando intervalo inteiro de  $\phi$  (phi) para peneiragem.

Para a análise de minerais pesados foi utilizada a fração 0,063mm - 0,250 mm (areia fina e muito fina), por ser este o intervalo de maior concentração destes minerais. Os minerais pesados foram concentrados por decantação em bromofórmio, segundo os procedimentos descritos por Mange & Maurer (1992). A identificação e a contagem de grãos (~300 grãos/lâmina), para a determinação das assembléias mineralógicas, foram conduzidas em microscópio petrográfico. Paralelamente, foram calculados: 1) o índice ZTR, para avaliar o grau da maturidade mineralógica (Hubert 1962); 2) o índice granada/zircão (GZi), para identificar possíveis mudanças nas características da proveniência; 3) o índice apatita/turmalina (ATi), indicativo do grau de intemperismo na área fonte; 4) o índice ARi, calculado com base no grau de arredondamento da apatita, é utilizado como indicativo do fracionamento hidráulico e da abrasão ao longo do transporte. A definição destes índices é detalhadamente discutida por Morton & Hallsworth (1994).

## **4. RESULTADOS**

### *4.1. Granulometria*

A análise granulométrica realizada mostra que as areias praias da margem emersa da Bacia de Pelotas são compostas predominantemente por areia fina (0,250 - 0,125mm). O gráfico da figura 4 apresenta os resultados obtidos para esta análise. No litoral sul, a norte do Arroio Chuí, os sedimentos praias são bimodais, caracterizados por uma mistura de areia fina quartzosa mais cascalho e areias grosseiras biotécnicas. No limite entre o litoral sul e o litoral médio, nos arredores da desembocadura do Canal de Rio Grande, observa-se uma maior concentração de sedimentos finos. A amostra DL01, coletada próxima aos moles da praia do Cassino, é a que apresenta a maior concentração de areias muito finas chegando a 60%. Na região de São José do Norte, observa-se uma diminuição do percentual de areias muito finas conforme o deslocamento para norte da área em estudo.

Observando o gráfico da distribuição das concentrações dos minerais pesados ao longo da área estudada (figura 5). A maior concentração destes minerais ocorre no extremo sul da área. No litoral norte do Uruguai, próximo aos altos do embasamento de La Coronilla, este valor atinge 4,75%, mas este percentual diminui consideravelmente em direção ao norte. No litoral sul brasileiro, cerca de 60 km ao norte do Arroio Chuí, a concentração dos minerais pesados fica em torno de 2,5%. No litoral médio da PCRS, próximo a região de Bojuru, observa-se uma pequena elevação na concentração de pesados com valores próximos a 0,5%. No restante, da área as concentrações de minerais pesados não ultrapassam 0,2%.

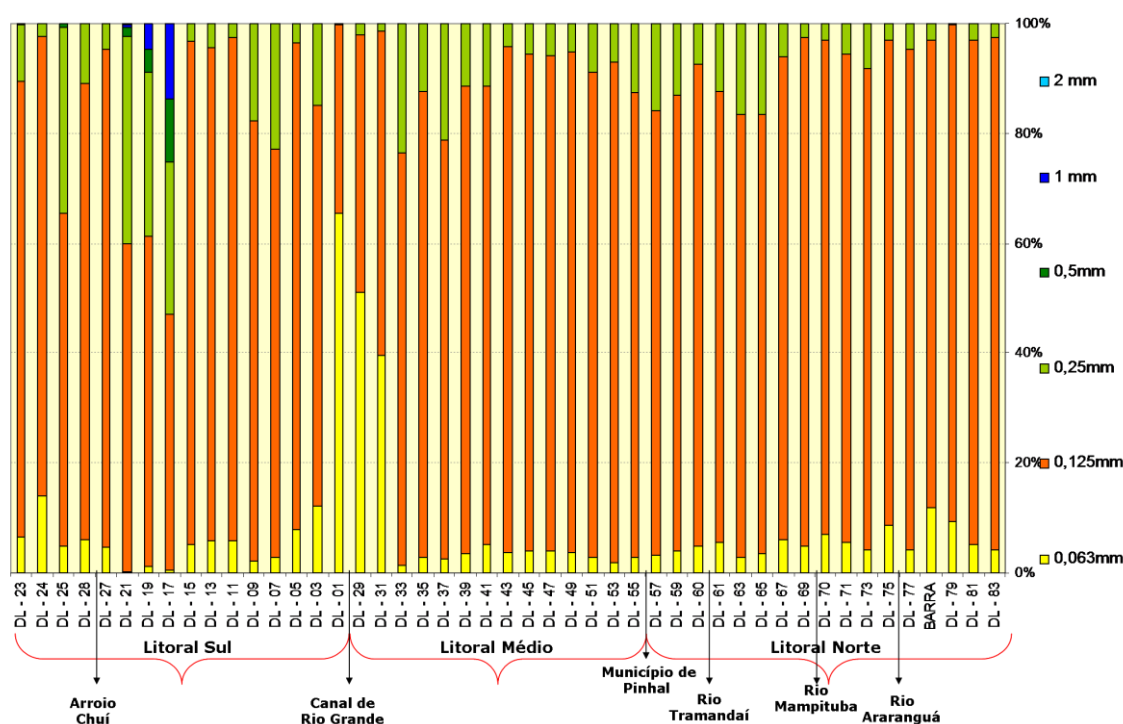


Figura 4 - Gráfico da distribuição granulométrica na área estudada. valores expressos na escala granulométrica de Wentworth, 1922.

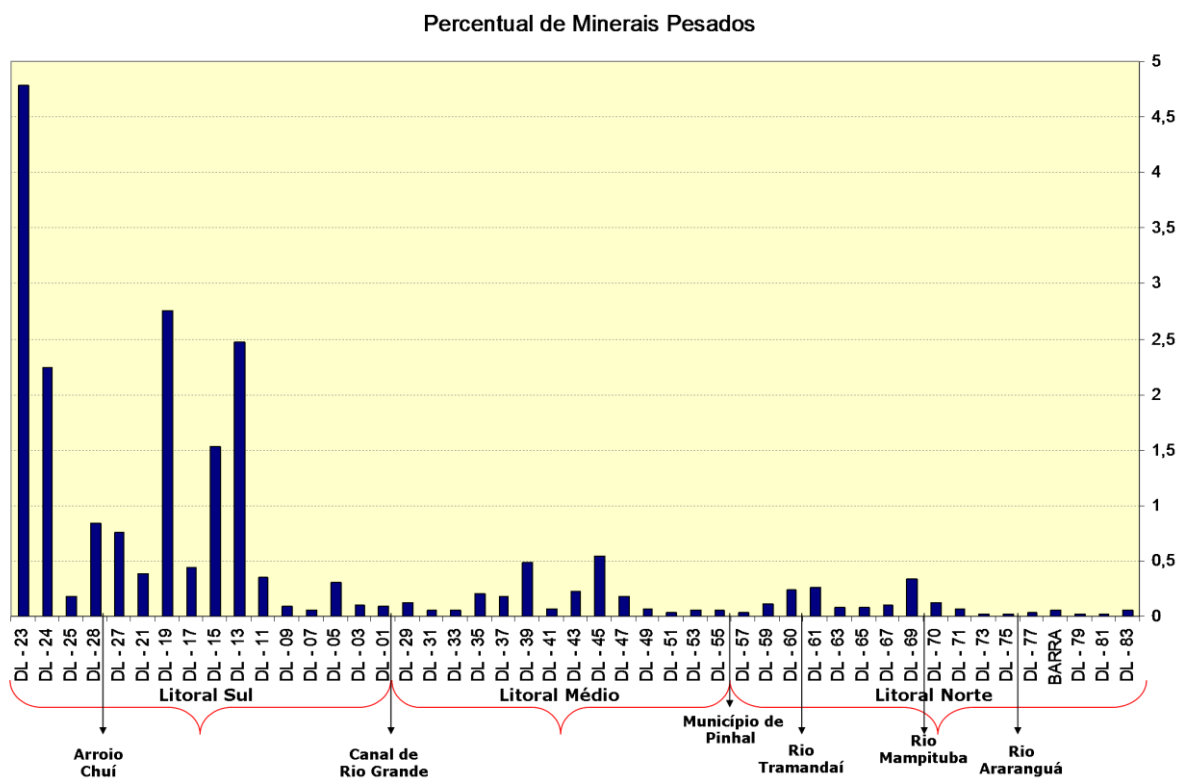


Figura 5: Gráfico da distribuição dos minerais pesados ao longo da área de estudo, valores expressos em percentual do peso total da amostra.

#### 4.2. Assembléia de Minerais Pesados

Os minerais pesados presentes nas amostras analisadas são: epidotos, apatita, turmalina, hornblenda, estauroлита, zircão, cianita, granada, rutilo, piroxênio, actinolita-tremolita, monazita, silimanita e, em menores quantidades, observa-se ainda clorita, andaluzita e titanita, além de minerais opacos (ilmenita, magnetita, pirita e lecoxênio). A partir da distribuição espacial das concentrações dos minerais pesados (figura 6), observa-se que os minerais do grupo do epidoto são os mais abundantes seguidos pela apatita, pela turmalina e pela hornblenda.

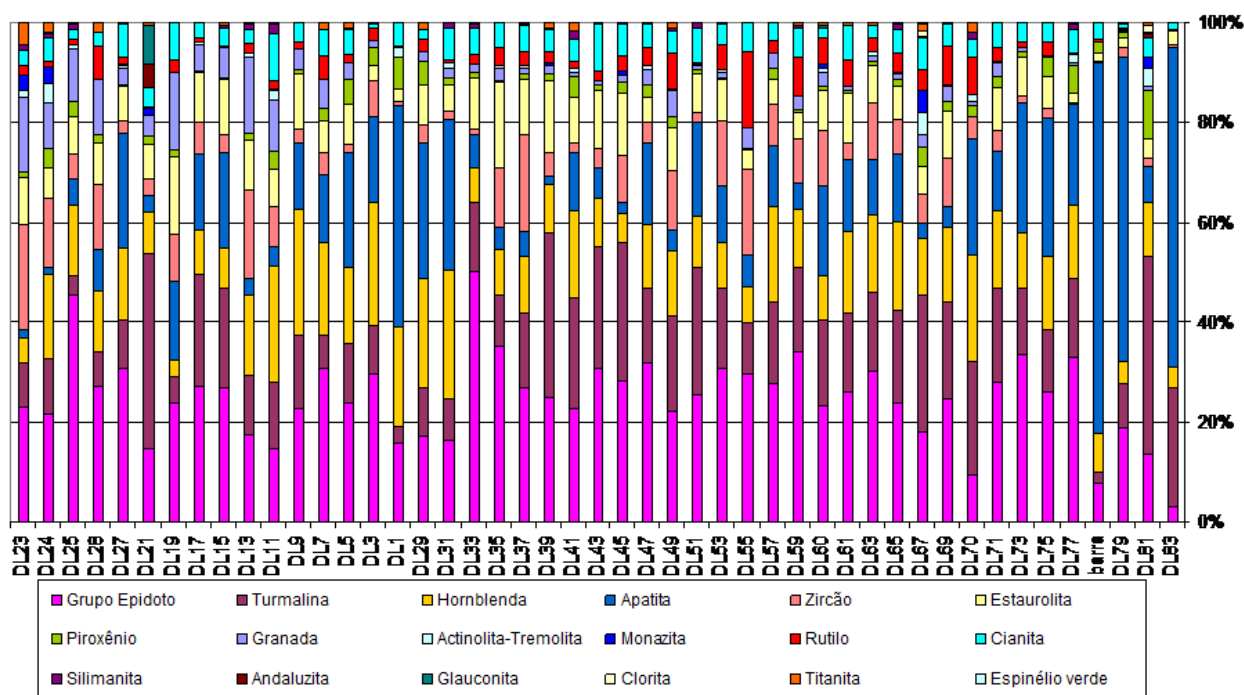


Figura 6: Gráfico da distribuição e abundância dos minerais pesados na área em estudo.

Na figura 7 são apresentadas microfotografias dos principais minerais pesados encontrados. Os minerais do grupo do epidoto são os mais abundantes nas assembléias de minerais pesados em estudo, com valores variando de 3 a 50%. Devido às sutilezas na diferenciação das propriedades ópticas dos minerais do grupo do epidoto, em microscópio petrográfico, as três espécies minerais encontradas (epidoto, clinozoízita e zoízita) não foram individualizadas na quantificação e, portanto, foram agrupadas sob a denominação de epidoto.

A apatita é o segundo mineral mais abundante, apresentando valores médios variando entre 10-30%. No extremo norte da área apresenta valores anômalos para a concentração de apatita atingindo concentrações de 74%. Os grãos de apatita, geralmente, são observadas em prismas curtos angulares a sub-arredondados, mas próximo as desembocaduras dos rios estes minerais aparecem com um maior grau de arredondamento.

As turmalinas estão presentes em duas variedades principais: turmalina marrom, com intenso pleocroísmo variando do marrom ao verde; e turmalina verde, com pleocroísmo variando do verde ao azul. Estas duas variedades se distribuem igualmente em todas as amostras. Nas desembocaduras dos rios no litoral norte e próximo à barra da Lagoa da Ave, em Santa Catarina, ocorrem turmalinas azuis com pleocroísmo azul/preto. De maneira geral as turmalinas são moderadamente arredondadas, com

exceção das amostras coletadas próximas as desembocaduras onde os grãos aparecem em prismas curtos e predominantemente angulares.

As concentrações de anfibólios atingem valores de até 25%. Os maiores percentuais são observados no litoral sul, na praia do Cassino; no litoral médio estes valores oscilam em torno de 8 a 10%, enquanto que no litoral norte a média destes valores é de 15%. O anfibólio mais abundante encontrado é a hornblenda, que foi identificada em duas variedades, marrom e verde. Minerais da série actinolita-tremolita são encontrados em pequenas quantidades.

As granadas ocorrem em todo o litoral, apresentando maior concentração no litoral sul. Esta concentração diminui gradualmente em direção ao litoral norte. As granadas observadas são incolores a levemente rosa e, a maioria dos grãos, apresenta inclusões granulares não orientadas.

Os piroxênios identificados são o hiperstênio, o diopsídio e em menor quantidade a augita. Estes minerais ocorrem sob a forma de prismas alongados com pleocroísmo característico e com baixo grau de arredondamento, e estão presentes em maior quantidade no litoral norte.

A concentração de zircão varia entre 0,3 e 21%. No geral, os grãos aparecem como prismas curtos e angulosos, muitas vezes euédricos. As maiores concentrações deste mineral são observadas entre o litoral médio e o litoral norte.

A estaurolita apresenta pleocroísmo característico variando de amarelo claro a amarelo intenso. O valor médio das concentrações de estaurolita é de 7% no litoral sul, e esta média sobe para 11%, chegando a picos de 16%, no litoral médio. Os grãos apresentam alta angulosidade, sendo observados, muitas vezes, prismas euédricos.

Foram identificados os três polimorfos de alumino-silicatos (cianita, silimanita e andaluzita). A cianita é o polimorfo que apresenta maior concentração, com valores variando de 0,7 a 9% enquanto que a silimanita e andaluzita não apresentaram valores superiores a 2%.

O índice granada/zircão (GZi) apresenta valores mais elevados no litoral sul, e uma quebra brusca nas desembocaduras. Conforme se avança para o norte da área, o valor deste índice vai sendo reduzido consideravelmente (figura 8).

O índice ZRT (figura 9) apresenta valores mais elevados ao longo do litoral médio, até a desembocadura do rio Araranguá, no sul do estado de Santa Catarina.

As figuras 10 e 11 apresentam os índices calculados em função da abundância de apatita. O índice ATi é relativamente alto em toda a área, apresentando picos no litoral sul próximos ao canal de Rio Grande e no extremo norte da área. O grau de arredondamento das apatitas (índice ARi) é moderadamente baixo. Esse valor só apresenta anomalias (valores superiores a 50) próximo ao Arroio Chuí e a norte do Balneário do Hermenegildo.

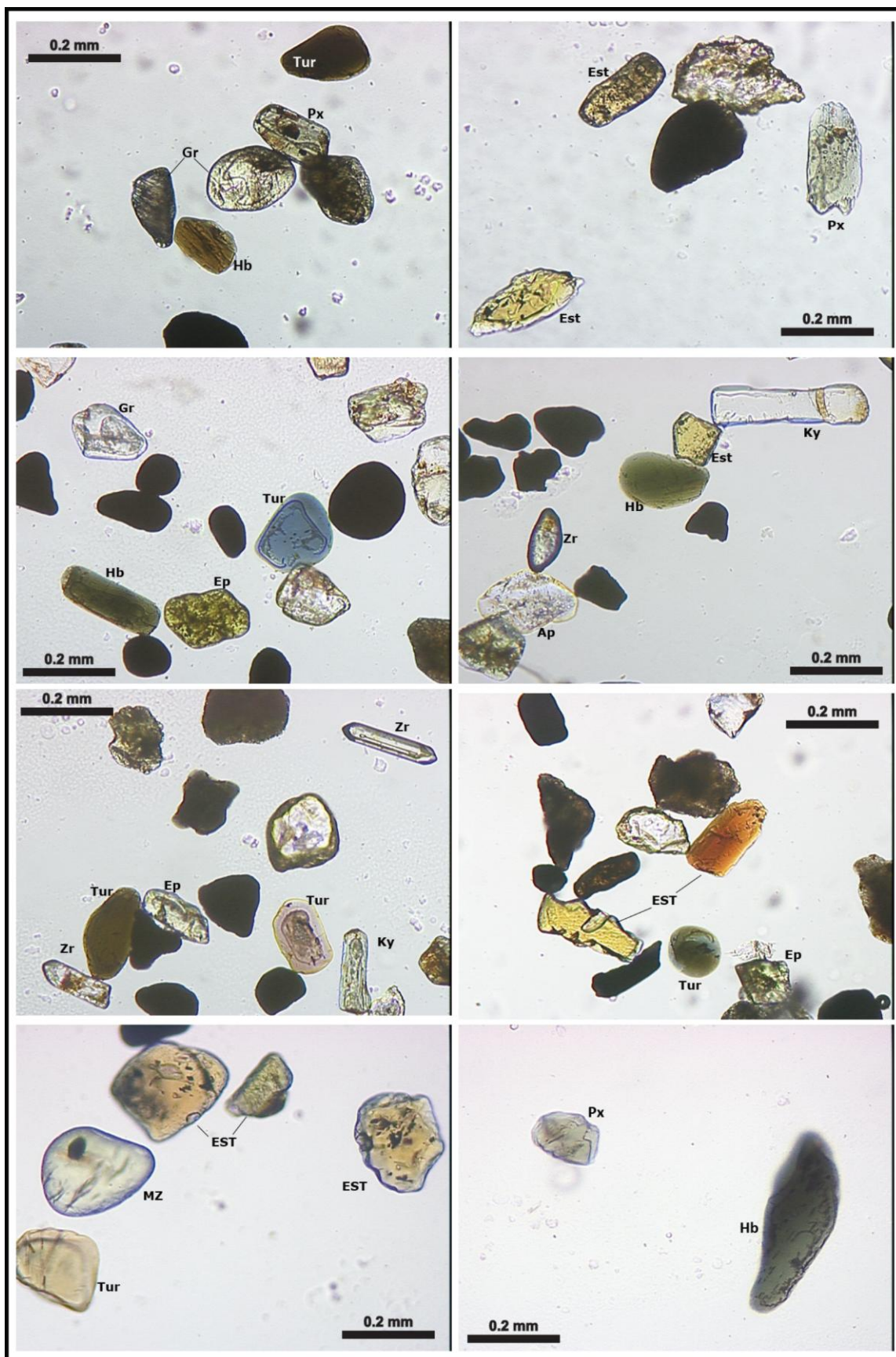


Figura 7: Fotomicrografia dos principais minerais pesados encontrados nas amostras estudadas. Gr: granada; Hb: hornblenda; Ep: Epidotos; Px: Piroxênios; Zr: Zircão; Tur: turmalina; Ky: Cianita; Ap: Aptita; Est: estauroлита; Mz: Monazita

## GZi

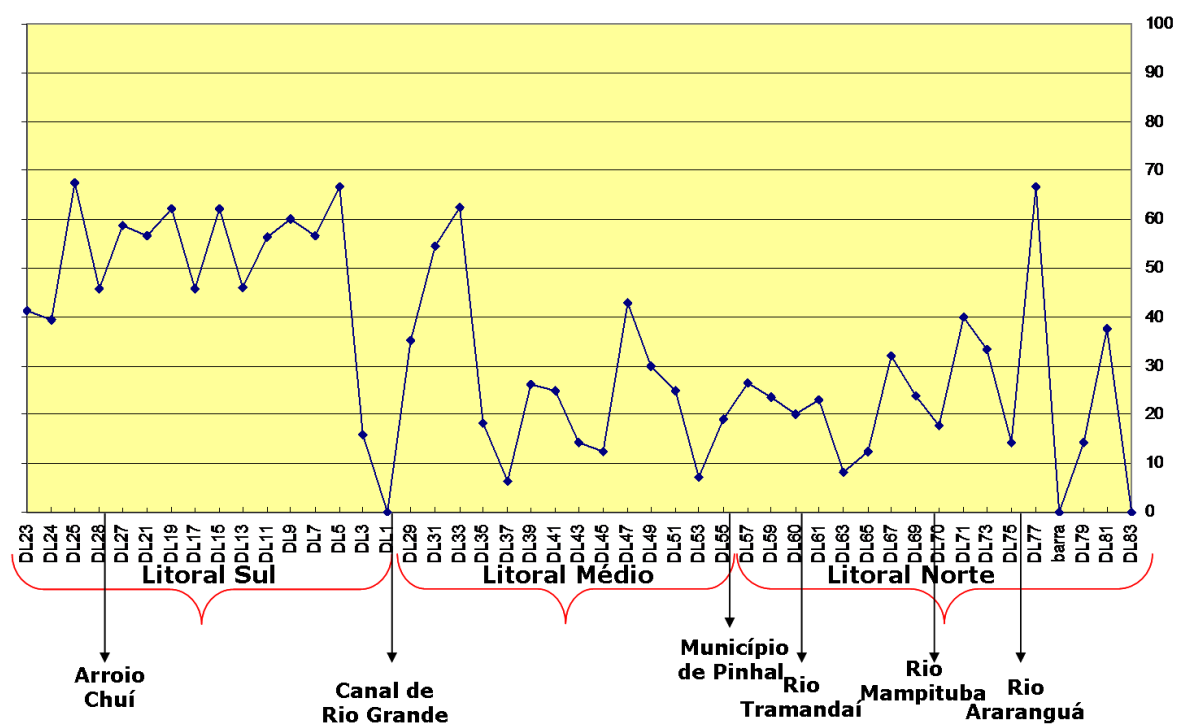


Figura 8: Gráfico do índice GZi ( $100 \times \text{granadas} / \text{granadas} + \text{zircão}$ ). Mostrando uma queda brusca dos valores nas desembocaduras dos rios e uma diminuição dos valores de sul para norte da área em estudo.

## ZTR

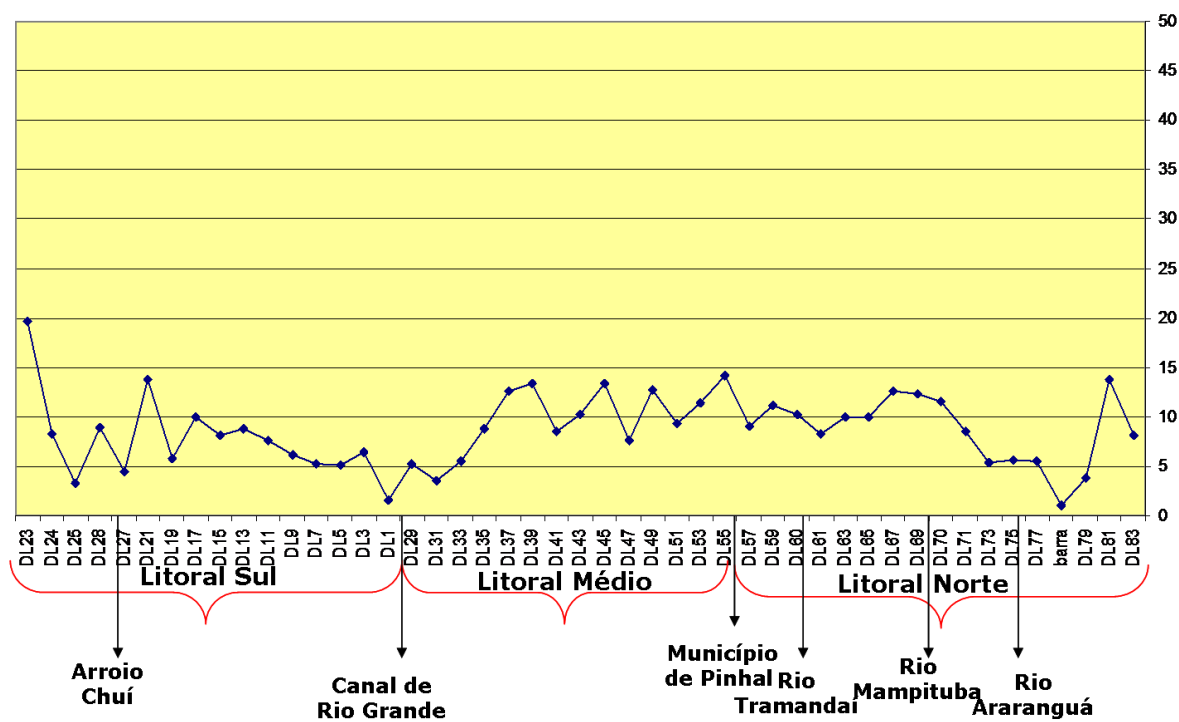


Figura 9: Gráfico do índice ZTR ( $100 \times \text{zircão} + \text{turmalina} + \text{rutilo} / \text{total de minerais translúcidos}$ ).



## ATi

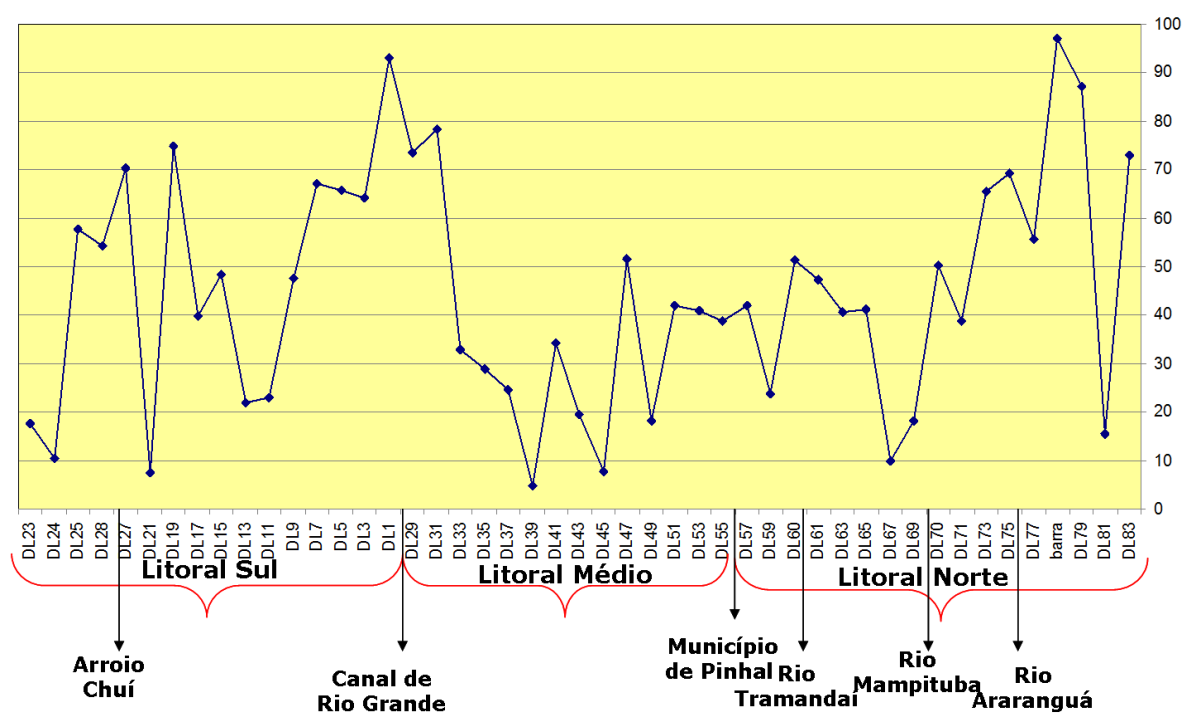


Figura 10: Gráfico ATi ( $100 \times \text{apatita}/(\text{apatita} + \text{Turmalina})$ ).

## ARi

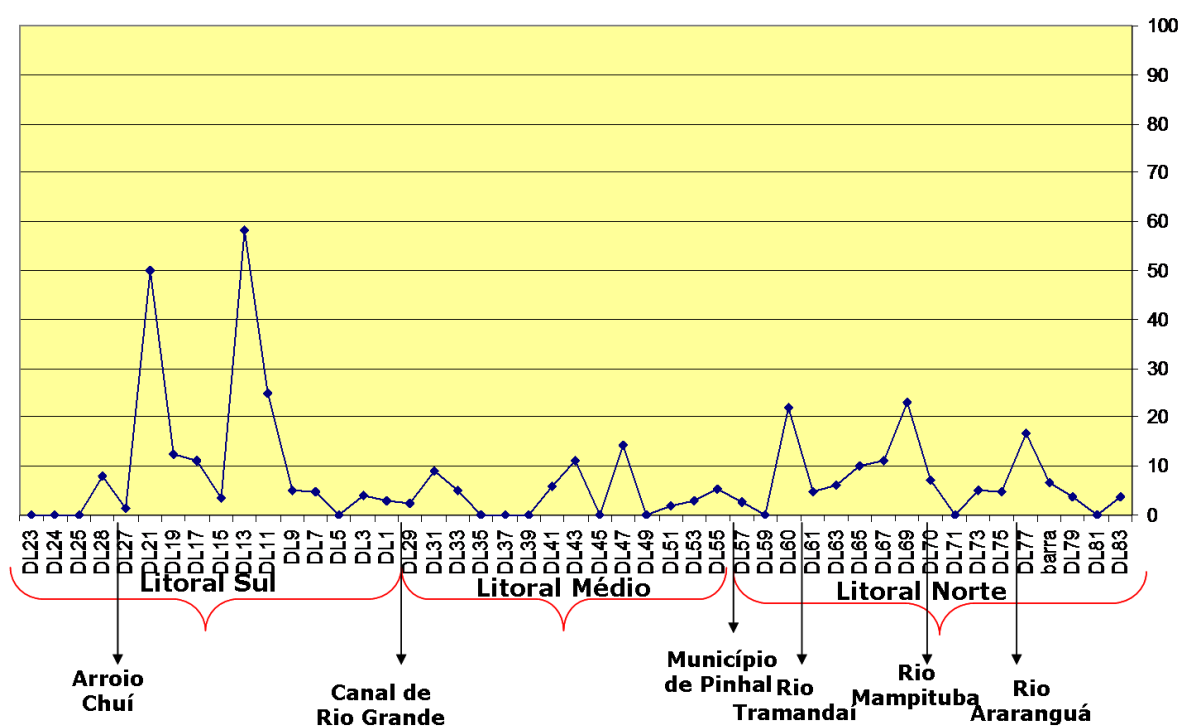


Figura 11: Gráfico do índice de arredondamento de apatitas ARi ( $100 \times \text{apatitas arredondadas} / \text{total de apatita}$ ), mostrando a história de transporte das amostras estudadas. Os picos onde estes valores são mais elevados corresponde as desembocaduras dos corpos d'água presentes na área em estudo.

A figura 12 apresenta um diagrama triangular sintetizando os principais grupos de minerais pesados onde os vértices são representados por minerais derivados de rochas máficas (anfíbólios + piroxênios), terrenos félsicos (zircão + turmalina + apatita + monazita) e minerais saturados em Al derivados de terrenos metamórficos (estauroлита + cianita + silimanita + andaluzita). Neste diagrama observa-se o aglutinamento das amostras do litoral sul e do litoral norte em dois campos distintos, onde as amostras do litoral norte tendem ao vértice dos minerais félsicos, e as amostras do litoral sul tendem ao vértice dos minerais metamórficos. As amostras do litoral médio distribuem-se na zona de intersecção destes dois campos. Alguns pontos anômalos do litoral sul plotam no campo referente a paragênese das assembléias do litoral norte, e vice-versa, sendo que estes pontos correspondem as amostras localizadas nas desembocaduras dos rios.

O gráfico exposto na figura 13, proposto por Garzanti e Andó (2007), sugere o ambiente tectônico original das areias estudadas. O vértice Anf representa o total de anfíbólios (hornblenda + actinolita + tremolita), o vértice POS é composto por piroxênios + olivina + espinélio e o vértice & é a assembléia total de minerais pesados excluindo os presentes nos outros dois vértices. Ressaltamos aqui que a olivina não foi identificada em nenhuma das amostras estudadas, e que somente um grão de espinélio foi encontrado, nas areias do litoral norte. Todas as amostras plotam próximas ao vértice &.

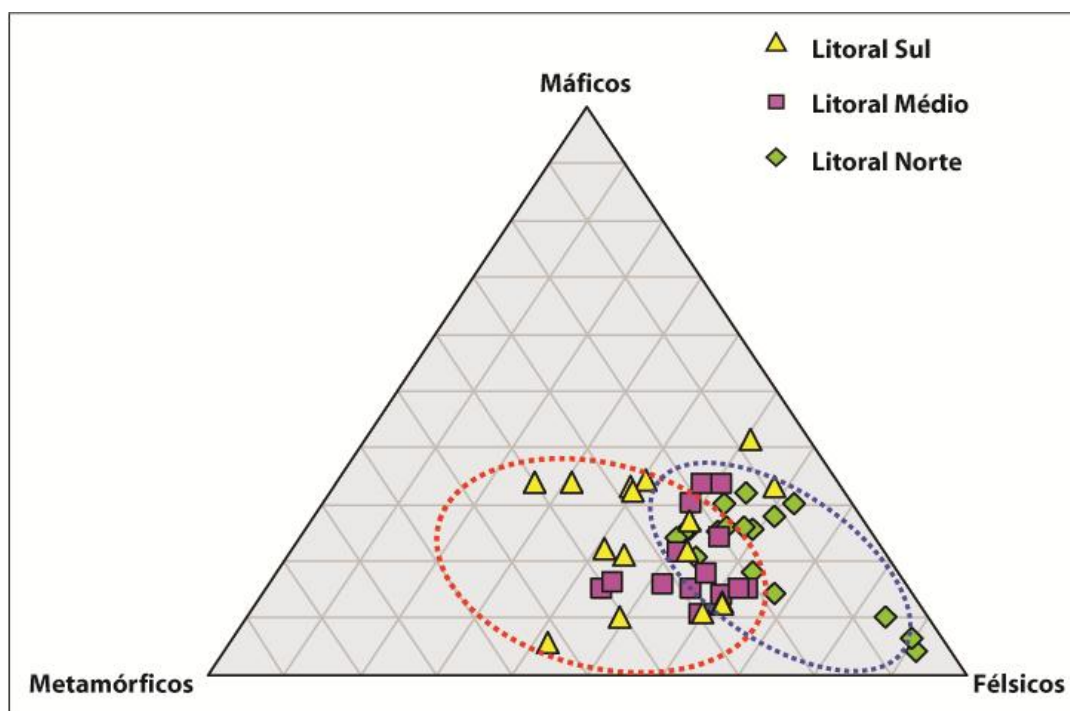


Figura 12: Diagrama triangular para discriminação da composição das assembléias de minerais pesados dos diferentes setores da planície costeira. Metamórficos = Estauroлита + Cianita + Silimanita + Andaluzita; Félsicos = Zircão + Turmalina + Aptita + Monazita; Máficos = Piroxênios + Anfíbólios.

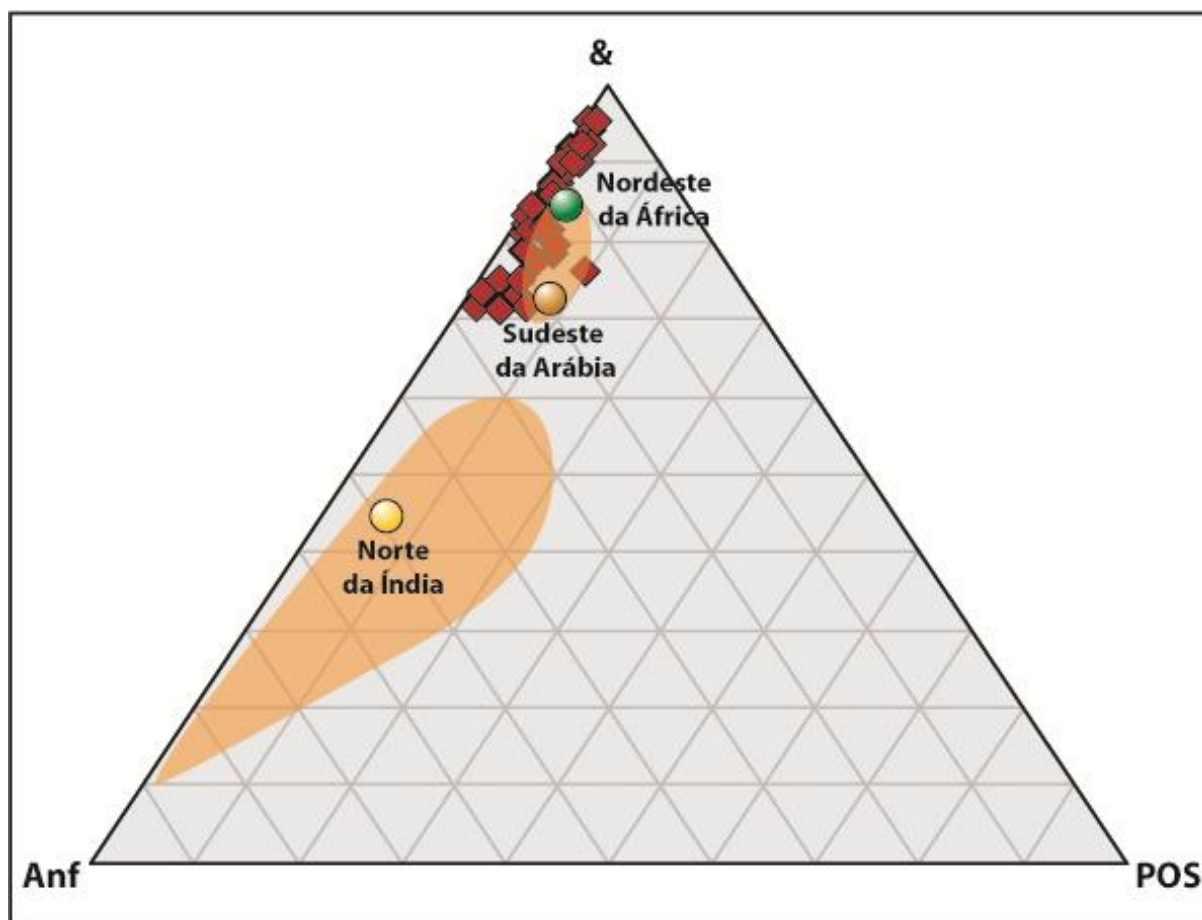


Figura 13: Gráfico de proveniência tectônica das areias estudadas baseado nas assembléias de minerais pesados (Garzanti & Ando, 2007). Anf.= Anfibólio (Hornblenda+ Actinolita-Tremolita) POS = piroxênios + olivina + espinélio e o vértice & é a assembléia total de minerais pesados excluindo os presentes nos outros dois vértices.

## 5. CONCLUSÕES

As areias praias holocênicas da margem emersa da Bacia de Pelotas tem como média granulométrica sedimentos na fração areia fina. Em dois setores as amostras apresentam composição granulométrica bimodal. No litoral sul, aproximadamente 160-180 km ao sul da praia do Cassino, os sedimentos são caracterizados por uma mistura de areia fina quartzosa mais cascalho e areias grosseiras biodetríticas. Como conseqüência, esta região é conhecida como "Concheiros ou Colchões do Albardão". Os estudos realizados até o momento não determinam a origem destes sedimentos biodetríticos.

Outra região onde a granulometria apresenta-se bimodal é na desembocadura do canal de Rio Grande. As areias, nesta região, apresentam maior concentração da fração areia muito fina. Ao sul dos

molhes, este fato reflete a maior ação das ondas nesta região, retrabalhando estes sedimentos. Na região de São José do Norte, ao norte dos molhes, observa-se que a contribuição de sedimentos finos vai sendo reduzida, gradualmente, à medida que se avança para o norte. A presença desta concentração de sedimentos finos está ligada ao aporte sedimentar da Lagoa dos Patos, e à medida que avançamos em direção ao litoral norte esta influência é dissipada.

A maior concentração de minerais pesados ocorre no sul da área em estudo, alcançando o valor máximo de 4,75% (amostra DL23), e diminuindo consideravelmente em direção ao norte da Planície Costeira do Rio Grande Sul, indicando assim que a deriva litorânea se dá no sentido de sul para norte. A maior abundância de minerais pesados no sul da área em estudo está relacionada ao fato desta região estar mais próxima ao Escudo Sul-riograndese e o Escudo Uruguaio, áreas-fontes dos minerais pesados mais estáveis, tais como as granadas, turmalinas, zircões e estauroilitas.

A assembléia de minerais pesados no norte da área de estudo tem como rocha fonte importante os basaltos da Formação Serra Geral, que contribuem com minerais mais instáveis, tais como os piroxênios e os anfibólios, enquanto que a assembléia de minerais pesados no litoral sul possui uma maior concentração de minerais metamórficos saturados em alumínio (cianita, silimanita, andaluzita e estauroilita) e granadas, conforme observado na figura 10. Isto indica que as rochas fonte destas assembléias são os terrenos metamórficos do Escudo Sul-riograndese e do Escudo Uruguaio.

Analisando as concentrações de granadas e de piroxênios, observa-se que a abundância de granadas diminui de sul para norte, enquanto que o percentual de piroxênios diminui de norte para sul. Este fato, aliado à diminuição da concentração da assembléia total de minerais pesados de sul para norte, evidencia que a deriva litorânea nas praias da PCRS se dá de sul para norte.

O GZi apresenta valores mais altos no litoral sul, e apresenta uma quebra acentuada no limite litoral sul litoral norte, indicando uma mudança na área fonte. Esta mudança responde ao incremento sedimentar trazido pela Lagoa dos Patos. A partir do litoral médio, observa-se redução deste índice em direção ao litoral norte. As mudanças no índice GZi, mais uma vez, indicam que a deriva litorânea das areias praias da PCRS é de sul para norte.

A composição dos minerais pesados das areias praias da PCRS indica que o ambiente tectônico original das areias estudadas é um cráton não-dissecado, conforme classificação de Garzanti & Andó, (2007). Esta classificação é consistente com a observação da ocorrência de diversas

sequências supracrustais de cobertura (meta-vulcanossedimentares) pré-cambrianas ainda preservadas no embasamento cristalino do Escudo Sul-Riograndense.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte integrante dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Geociências, junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Sendo assim os autores agradem a esta universidade pelo apoio e incentivo a esta publicação; à Capes pela concessão de bolsa de pesquisa; CECO (Centro de Estudos Costeiro e Oceanográficos da UFRGS) onde foram desenvolvidas todas as análises laboratoriais.

## 7. REFERÊNCIAS

DIAS J.L., SILVEIRA D.P., SAD A.R.E., LATGÉ M.A.L. 1994. Bacia de Pelotas: Estágio atual do conhecimento geológico. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1):235-245.

DILLENBURG, S.R., ROY, P.S., COWELL, P.J. and TOMAZELLI, L.J., 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16, 71-81.

DILLENBURG, S.R.; ESTEVES, L.S, and TOMAZELLI, L.J., 2004. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(3), 611-623.

GARZANTI, E., and Andó, S. 2007a. Heavy-mineral concentration in modern sands: implications for provenance interpretation. In Mange, M., and Wright, D. eds. *Heavy minerals in use. Developments in Sedimentology Series*. Vol. 58. Amsterdam, Elsevier, p. 567–598.

KOMAR, P. D. ,1998. *Beaches processes and sedimentation*. 2nd ed. USA: Prentice Hall Inc.

KOWSMANN R.O. Francisconi O., Leyden R. 1974. Refração sísmica marinha nas bacias de Pelotas, Santos Sul e na Plataforma de Torres. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Anais, p. 283-295.

KRUMBEIN, W.C. 1936 - Application of Logarithmic Moments to Size Frequency Distributions of Sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 6:35-47

MANGE, M. A., MAURER H. F. W. 1992. *Heavy Minerals in Colour*. London, England: Chapman & Hall.

MARTINS L.R.S. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. In: *Publicação Especial da Escola de Geologia/UFRGS*, 131-155.

MORTON, A. C., HALLSWORTH, C.R. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones: *Sedimentary Geology*, v. 124, p. 3-30. 1994.

MORTON, A.C. & HALLSWORTH, C. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 124:3-29.

MUNARO, P., 1994. Geologia e Mineralogia do Depósito de Minerais Pesados de Bojuru - RS. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 96 p.

TOMAZELLI, L. J. Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicas do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul com ênfase o sistema eólico. Instituto de Geociências. Tese de Doutorado. PortoAlegre: UFRGS, 1990. 270p.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. Geologia do sistema lagunar holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Pesquisas* (18). Porto Alegre: UFRGS. 1991. p.13-24.

TOMAZELLI, L.J. VILLWOCK, J.A. Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos aoLongo do Litoral do Rio Grande do Sul, Brasil, *Pesquisas*, 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. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p.375-406.

VILLWOCK, J. A. 1972. Contribuição à geologia do holoceno da província costeira do Rio Grande do Sul – Brasil. Porto Alegre, UFRGS. 133 p. Dissertação de Mestrado Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VILLWOCK, J.A.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; TOMAZELLI, L.J. and HOFFMEISTER, T., 1979. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. *Memorias del seminario sobre ecologia bentónica y sedimentación de la plataforma continental del atlántico sur* (Montevideo) pp. 407-414.

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J.; LOSS, E.L.; DEHNHARDT, E.A.; HORN, N.O.; BACHI, F.A. and DEHNHARDT, B.A., 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. (ed.). *Quaternary Of South America and Antartic Peninsula*. A.A. Balkema, Rotterdam. v. 4, pp. 79-97.

VILLWOCK J.A. & TOMAZELLI L.J., 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8:1-45.

VILLWOCK, J.A. and TOMAZELLI, L.J., 1998. Holocene coastal evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. In: J. RABASSA and M. SALEMME (ed.), *Quaternary of South America and Antartic Peninsula*, vol. 11. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 283-296.

WENTWORTH C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments, *Journal of Geology* 30:377–392.