

## Áreas Fontes dos Minerais Pesados e sua Distribuição sobre a Plataforma Continental Sul-brasileira, Uruguia e Norte-argentina

IRAN CARLOS STALLIVIERE CORRÊA; RICARDO NORBERTO AYUP-ZOUAIN;  
JAIR WESCHENFELDER & LUIZ JOSÉ TOMAZELLI

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica\*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Caixa Postal 15.001, Porto Alegre-RS 91501-970 Brasil. iran.correa@ufrgs.br;  
\*Instituição participante do Programa de Geologia e Geofísica Marinha-PGGM

(Recebido em 07/07. Aceito para publicação em 08/08)

**Abstract** - The heavy mineral fraction of sedimentary rocks and sediments can provide important information about provenance in sedimentary basins studies because some minerals or group of minerals can be traced to a source rock or terrain of specific composition. This work is a provenance study based on heavy mineral analyses of samples collected on the Rio Grande do Sul (southern Brazil), Uruguay and north of Argentine continental shelf (between 29°30' and 37° 30' south latitude and 48° 30' and 56° 30' west longitude). The fine and very fine sand fractions (2-4  $\Phi$ ) were selected for heavy mineral analysis employing bromoform (S.G.= 2.65). The quantitative analysis was made using a microscope for the mineral identification and the counting of 300 grains from each sample, in a total of 106 samples. Multivariate data analysis was applied for mineralogical analysis, principally the RQ-mode vector. Four principal assemblages were defined applying this technique revealing the main source as well as the dispersal patterns for the sediments. The first component was dominated by augite indicating a panpean-patagonic source. The second component was dominated by hornblende and hypersthene minerals, indicating a provenance from Precambrian terrains with basaltic influence. The third component was marked by the dominance of tourmaline, staurolite, epidote and kyanite reflecting a source from the Precambrian metamorphic terrains. Finally, the four components with apatite, zircon and sillimanite minerals were dispersed by the Rio de La Plata system.

**Keywords** - heavy mineral, hydrodynamic, sediment transport, continental shelf

### INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo o estudo da distribuição superficial dos minerais pesados da plataforma continental sul-brasileira, uruguia e norte-argentina, com especial ênfase em sua distribuição e relação com suas áreas fontes.

As amostras aqui utilizadas foram coletadas durante os Cruzeiros GEOMAR, REMAC e GEOCOSTA, e encontram-se arquivadas na litoteca do CECO/UFRGS.

Os minerais pesados presentes nos sedimentos e nas rochas sedimentares têm sido utilizados largamente em estudos sedimentológicos, estratigráficos e geo-econômicos, dentro do campo da geologia. Na sedimentologia, estes minerais são utilizados em estudos de proveniência e dispersão dos sedimentos, graças ao fato de 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. Na

geologia econômica ocupam papel importante, pois algumas espécies de minerais pesados apresentam grande valor econômico e podem se concentrar no ambiente sedimentar, formando plácidos passíveis de exploração.

A análise de minerais pesados para estudos de proveniência é uma das técnicas mais sensível e altamente empregada. As associações dos minerais pesados formam paragéneses, as quais propiciam informações cruciais sobre tipos de rochas-fonte, não podendo ser essas obtidas por outros meios (Morton & Hallsworth, 1994; 1999).

A distribuição dos minerais pesados em depósitos sedimentares, bem como sua proveniência, não é controlada apenas pela paleogeografia e petrologia da área-fonte. Uma série de fatores atuam durante o processo sedimentar, tais como o intemperismo químico e físico. Comportamento hidráulico e diagênese propiciam que as assembléias mineralógicas sofram modificações em sua composição, as quais vêm dificultar as interpretações da proveniência mineral. (Morton, 1985; Mange & Maurer, 1992; Morton & Hallsworth, 1999).

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a plataforma continental do Rio Grande do Sul-Brasil, do Uruguai e parte norte da Argentina. Está compreendida, aproximadamente, entre os paralelos de 29°30' e 37°00' de latitude Sul e os meridianos de 48°00' e 56°30' de longitude Oeste (Fig.1).

A batimetria da plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina, mostra em geral um fundo homogêneo, levemente inclinado, com a presença de paleovales e terraços marinhos, acentuando-se somente nas proximidades do talude continental, onde a profundidade da plataforma não ultrapassa os 120 metros (Corrêa *et al.*, 1996).

Os aportes fluviais mais importantes para esta área são feitos atualmente pelo rio de La Plata e através da desembocadura da Laguna dos Patos. No

passado contribuíam ainda os aportes dos rios Jacuí, Camaquã, Piratini, Jaguarão e Cebolatti, além de toda a drenagem do rio de La Plata (Fig.1).

Devido a não liberação das coordenadas dos pontos amostrados, para publicação, as mesmas não foram incluídas na Tabela I e nem a numeração dos pontos na figura 1.

### METODOLOGIA E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Aplicou-se a metodologia tradicionalmente utilizada na análise mineralógica de sedimentos. As frações analisadas foram os intervalos de 2-3  $\Phi$  e de 3-4 $\Phi$  (areia fina e areia muito fina), em um total de 106 amostras.

As amostras selecionadas para a análise dos minerais pesados foram lavadas, dessalinizadas e peneiradas em frações com intervalo de 1 $\Phi$  para, posteriormente, após análise em lupa binocular de cada fração obtida, separar-se as frações granulométricas de 2-3 $\Phi$  e 3-4 $\Phi$ , por serem estas as frações que apresentaram maior concentração de minerais pesados. Destas frações foi eliminado o material carbonático através de sua dissolução por ácido clorídrico. Após lavagem e secagem o material foi submetido a uma separação gravitativa, com a utilização de bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ,  $d=2,89 \text{ g/cm}^3$  a 20°C), o qual propiciou a separação da fração de minerais leves da fração de pesados. Todas as amostras passaram por um ímã de mão para separação da magnetita e algumas amostras passaram ainda pelo separador isodinâmico Frantz.

Através da pesagem das frações obtidas foi possível determinar a porcentagem de minerais pesados de cada amostra, nas frações granulométricas de 2-3 $\Phi$  e 3-4 $\Phi$ . Para simplificar foi adotada a representação dos dados obtidos, referentes a porcentagem dos minerais pesados, nas frações granulométricas de 2-3 $\Phi$  e 3-4 $\Phi$ , na fração 2-4 $\Phi$ , a qual representa o somatório das porcentagens (Tab. I).

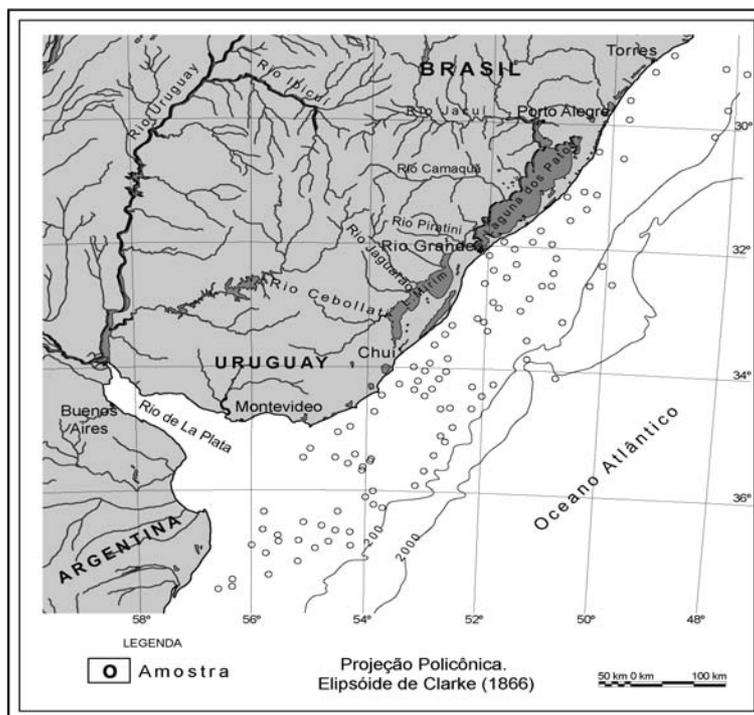


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e dos pontos amostrados.

Tabela I - Porcentagem de minerais pesados na fração granulométrica 2-4 $\Phi$ .

Amostra	% Pesados 2-4 $\Phi$						
1	20,05	28	3,45	55	12,37	82	5,68
2	6,15	29	0,18	56	7,76	83	16,74
3	16	30	13,2	57	5,86	84	26,61
4	3,2	31	10,4	58	6,94	85	29,44
5	27,05	32	10,2	59	6,75	86	24,71
6	6,02	33	0,31	60	5,44	87	29,99
7	10,02	34	12,3	61	9,35	88	25,98
8	4,6	35	12,5	62	24,08	89	27,04
9	6,6	36	1	63	26,8	90	36,21
10	2,48	37	19,3	64	2,58	91	23,54
11	11,25	38	9,05	65	4,67	92	21,03
12	10,75	39	16,2	66	20,87	93	30,05
13	4,98	40	9,3	67	19,21	94	31,8
14	44,35	41	3,2	68	7,51	95	33,18
15	14,75	42	3,4	69	34,67	96	37,94
16	3,35	43	8	70	26,51	97	35,32
17	14,75	44	8,1	71	22,09	98	28,1
18	4,05	45	2,05	72	25,87	99	33,58
19	1,3	46	18,1	73	28,17	100	26,69
20	0,55	47	1,15	74	21,84	101	33,27
21	1,5	48	4,9	75	12,8	102	47,82
22	2,5	49	1,3	76	23,97	103	31,83
23	0,3	50	28,56	77	12,22	104	11,19
24	15,5	51	24,73	78	10,3	105	24,87
25	0,7	52	8,24	79	16,95	106	21,88
26	0,3	53	13,58	80	24,57		
27	0,27	54	7,91	81	3,99		

A fração de minerais pesados foi microquarteada para a obtenção de uma quantidade ideal de grãos, para a confecção de lâminas e contagem dos mesmos. Os grãos de minerais foram montados em lâminas para identificação e descrição, em lupa binocular com aumento de 40 vezes. Após

montagem das lâminas foi efetuada a identificação dos minerais e cálculo da porcentagem através da contagem aleatória de 300 grãos por amostra segundo o método de contagem das linhas transversais (Galehouse, 1971). Foram aplicadas análises multivariadas, destacando a técnica de

agrupamento, componentes principais e, fundamentalmente, vetoriais modo-QR. Esta última permitiu separar quatro fatores de distribuição, os quais estabelecem os principais vetores de dispersão e proveniência dos sedimentos, na área considerada. Foram calculados os índices de Est/ZTR+Est (Morton, 1985), para avaliar o efeito do intemperismo nos sedimentos, e o índice de ZTR (Hubert, 1962) para caracterizar sua maturidade mineralógica.

Os minerais pesados presentes nos sedimentos estudados, constituem uma pequena parte da fração arenosa. Deve-se entanto, salientar que os valores encontrados correspondem à análise da fração granulométrica 2-4 $\Phi$ , não representando a porcentagem da amostra total ou da fração arenosa total. As porcentagens dos diversos minerais pesados identificados estão relacionadas ao número de grãos contados.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

A área estudada compreende duas províncias geológicas principais, o Embasamento Cristalino e a

Bacia de Pelotas (Fig. 2). O Embasamento Cristalino é composto pelo escudo, ou também denominado, Complexo Cristalino Pré-Cambriano, e pelas seqüências sedimentares e vulcânicas paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná. A Bacia de Pelotas é uma bacia marginal aberta, apoiada sobre o embasamento e com sua origem relacionada aos movimentos tectônicos que ocasionaram a abertura do Atlântico Sul, durante o período Cretáceo (Villwock & Tomazelli, 1995).

Segundo estudos de Fragozo Cezar *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.

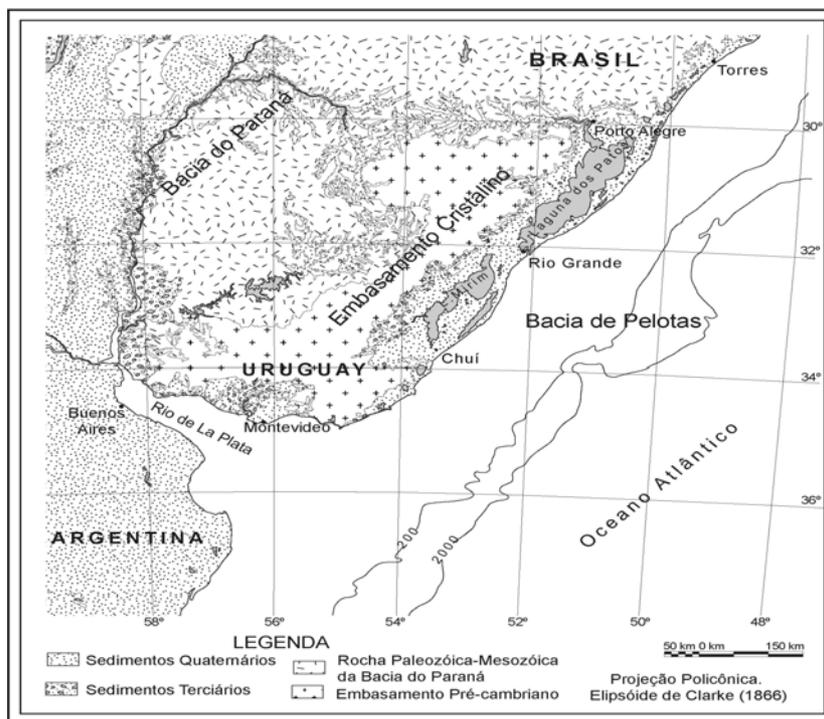


Figura 2 - Mapa geológico da área de estudo.

Segundo Almeida (1981), a Bacia do Paraná é uma grande unidade geotectônica que se instalou sobre a plataforma Sul-Americana após a estabilização do final do Ciclo Brasileiro. Conforme estudos de Zalán *et al.* (1990), a Bacia do Paraná se estabeleceu sobre a crosta continental devido aos mecanismos de subsidência térmica, causados pelo resfriamento das áreas afetadas por metamorfismo, plutonismo e deformações ocorridas durante o evento orogênico Brasileiro/Pan-Africano. Ainda, segundo esses autores, a Bacia do Paraná, no que se refere à evolução tectono-sedimentar, promoveu a deposição de três seqüências transgressivo-regressivas durante o Paleozóico. No Mesozóico, a bacia evoluiu através da deposição de duas seqüências sedimentares de origem continental.

A Bacia de Pelotas se situa no segmento meridional da margem continental sul-brasileira, sendo delimitada ao norte pelo alto de Florianópolis e ao sul pelo alto de Polônio. Sua origem está relacionada aos eventos geotectônicos que conduziram a abertura do oceano Atlântico Sul, a partir do Jurássico, e resultou na ruptura do continente de Gondwana e posterior separação do continente africano do sul-americano.

Os sedimentos que preenchem a 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.

Na planície costeira do sul do Brasil, Villwock *et al.* (1977) estimaram reservas da ordem de 112.074t de minerais pesados, entre eles ilmenita, magnetita, zirconita e rutilo.

Silva (1976), estudando as areias das praias entre Rio Grande e Chuí, constatou a presença de concentrações de areias negras com altos teores de ilmenita no pós-praia.

### **FATORES QUE INFLUENCIAM AS ASSEMBLÉIAS DE MINERAIS PESADOS**

Segundo Morton (1985), as assembléias de minerais pesados não refletem somente a composição do material proveniente da área-fonte. Vários processos podem alterar a abundância relativa dos minerais pesados durante os ciclos sedimentares. Esses processos agem durante o

intemperismo, o transporte, a deposição e a diagênese. Rochas e sedimentos das áreas-fonte estão sujeitos a intemperismo, o qual pode alterar a composição das assembléias de minerais pesados, antes da incorporação desses no sistema de transporte.

O efeito da dissolução intraestratal nos minerais, geralmente, manifesta-se através do aumento da maturidade mineralógica das assembléias (índice ZTR; Hubert, 1962) e pode ser evidenciada através da utilização do índice Est/ZTR+Est (Morton, 1985).

Os rios atuais apresentam, em sua maioria, uma rica e diversificada suíte de minerais pesados, as quais indicam que um intemperismo de grande escala não afeta significativamente a diversidade da assembléia mineralógica, incorporada no sistema de transporte.

Johnsson *et al.* (1991), estudaram o regime de denudação ocasionado pelo intemperismo, no qual os processos de transporte, que removem materiais intemperizados de uma área, são potencialmente mais rápidos que os processos de intemperismo geradores de material.

Estudos relacionados ao regime de transporte fechado, nas quais a taxa de intemperismo excede a capacidade dos processos de transporte em remover materiais, podem revelar um forte controle do intemperismo sobre as assembléias mineralógicas. Nestas circunstâncias os produtos de intemperismo têm um maior tempo para reagirem com o solo e a água da chuva.

Durante o transporte os minerais estão ainda sujeitos aos processos abrasivos, os quais podem afetar a abundância relativa dos minerais com diferentes mecanismos de estabilidade.

As condições hidráulicas do meio, durante a deposição, também afetam a abundância relativa dos minerais com diferentes propriedades hidráulicas. Variações no comportamento hidráulico, resultam em diferenças na densidade, tamanho e forma dos grãos de minerais pesados. Entretanto, os efeitos da diagênese, sobre os minerais pesados, são mais profundos. Esses agem como processos pós-deposicionais, causando parcial ou total alteração em muitas espécies de minerais pesados.

Segundo Emery & Noakes (1968), as areias retrabalhadas de plataforma e as areias fluviais retrabalhadas, são as fácies sedimentares da

cobertura quaternária mais favoráveis à concentração de minerais pesados. As areias retrabalhadas de plataforma se originam, em parte, dos depósitos de planície costeira (praias, cordões arenosos, planícies de marés, etc.) formados durante o período em que a atual plataforma continental permaneceu emersa, nos períodos de nível de mar rebaixado. Segundo Corrêa (1990) e Corrêa *et al.* (1996), atingiu os -120/-130m no máximo glacial, há cerca de 17.500 anos AP, nesta área.

Na plataforma continental da área estudada observa-se, segundo Ayup-Zouain (1991) e Abreu & Calliari (2005), areias fluviais retrabalhadas, possivelmente associadas à paleodrenagem dos rios Jacuí, Camaquã, Piratini, Jaguarão, Cebolati e La Plata, a qual recortava a plataforma continental antes da implantação, na parte norte da área, dos cordões arenosos atuais. (Corrêa, 1990; Corrêa *et al.*, 2004).

#### **DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL**

O presente trabalho revelou a ocorrência, na plataforma continental Sul-Brasileira, Uruguia e Norte-Argentina, das seguintes espécies minerais, mais importantes, apresentadas aqui com sua respectiva porcentagem média, na fração 2-4 $\Phi$ . *Minerais Opacos*: magnetita, ilmenita, limonita, leucóxeno e pirita (31,6%). *Minerais Transparentes*: turmalina (11,5%), hornblenda (9,3%), estaurólita (9,3%), augita (8,9%), epidoto (7,4%), hiperstênio (6,3%), zircão (4,5%), granada (4,4%), cianita (3,9%), apatita (3,6%), silimanita (1,1%) e rutilo (0,8%) (Fig. 3).

As maiores concentrações de minerais pesados sobre a plataforma continental sul-brasileira, uruguia e norte-argentina, estão localizadas na parte sul da área estudada, entre o estuário do rio de La Plata (Argentina) e o Arroio

Chuí (Brasil) (Fig. 4), aonde os teores chegam a valores máximos de 47,82% na fração 2-4 $\Phi$  (Tab. I). Outra área com elevado teor de minerais pesados, encontra-se na região da plataforma interna/média, entre a lagoa Mirim e a parte central da laguna dos Patos, onde os valores máximos ficam em 44,35%, ficando a média em torno de 20% (Tab. I).

A primeira área está relacionada à drenagem do complexo do rio de La Plata, enquanto a segunda se relaciona ao deságüe, de sul para norte, dos rios Cebolatti, Jaguarão, Piratini, Camaquã e Jacuí, em época remota.

O índice de ZTR apresenta-se bastante elevado para a região norte da área estudada, acima do paralelo de 34°S (Fig. 5), caracterizando sedimentos de alta maturidade mineralógica, provavelmente associados a sedimentos de vários ciclos sedimentares. Na parte sul da área estudada, abaixo do paralelo de 34°S, em direção ao estuário do rio de La Plata, o índice ZTR apresenta-se bastante baixo, caracterizando sedimentos de baixa maturidade mineralógica, indicando provavelmente sedimentos mais modernos oriundos da drenagem do rio de La Plata.

Em relação ao índice Est/ZTR+Est (Fig. 6) os valores apresentam-se inversos. Abaixo do paralelo de 34°S, os valores se apresentam mais elevados que ao norte, o que vem a caracterizar assembléias mineralógicas com baixa dissolução intraestratal dos minerais pesados, com ação moderada do intemperismo químico sobre estes e com baixa diagênese, em comparação com a área situada a norte do paralelo de 34°S, onde os valores apresentam-se mais baixos, caracterizando um ambiente em que as assembléias mineralógicas sofreram um maior intemperismo ou diagênese, ocasionando assim a seleção dos minerais mais resistentes, como observado nos dados obtidos pelo índice ZTR (Fig.5).

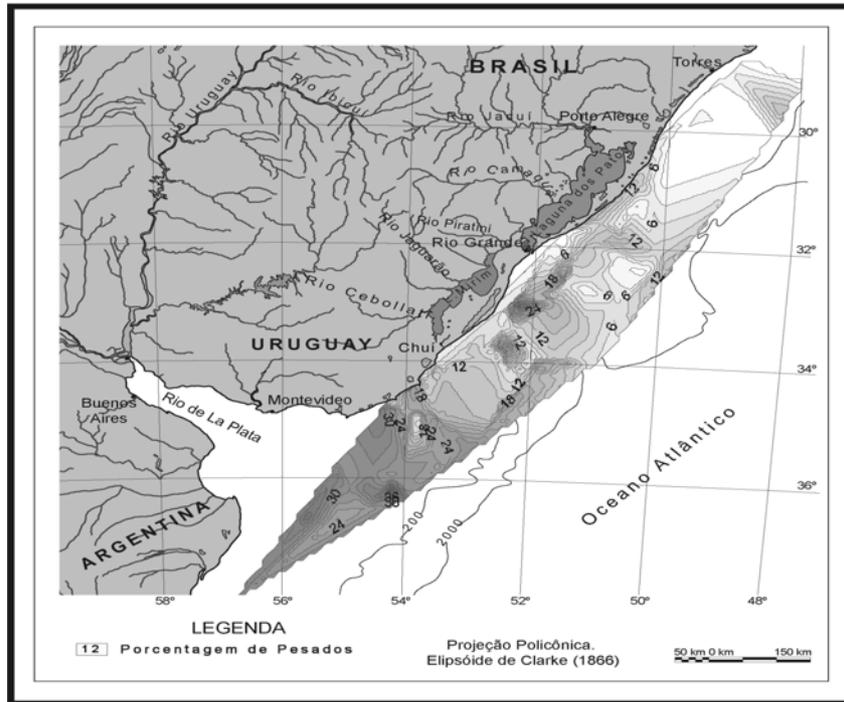


Figura 3 - Distribuição da porcentagem de minerais pesados na fração 2-4  $\Phi$ .

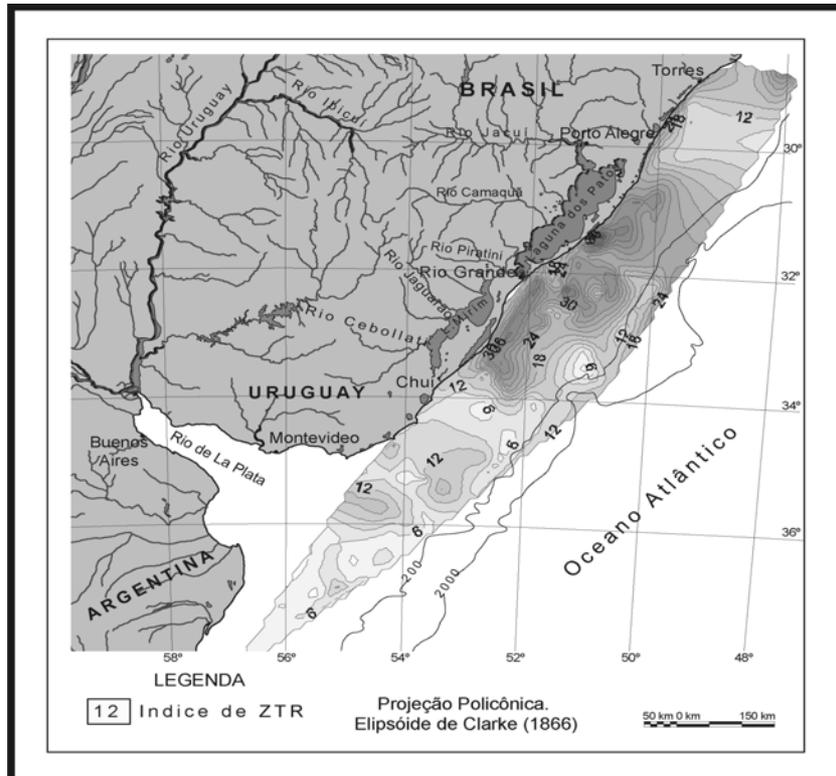


Figura 4 - Mapa de distribuição do Índice ZTR.



tempo (Morton & Hallsworth, 1994; Islam *et al.*, 2002).

O efeito da dissolução intraestratal nos minerais, geralmente, manifesta-se através do aumento da maturidade mineralógica das assembléias (índice ZTR; Hubert, 1962) e pode ser evidenciada através da utilização do índice Est/ZTR+Est (Morton, 1985), como o observado nas figuras 5 e 6.

As informações obtidas através das análises mineralógicas e estatísticas, permitem observar uma menor consistência da relação dos minerais pesados no setor central da área em estudo, com maior correlação de elementos nas extremidades. Esta primeira aproximação, na distribuição N-S, deve-se possivelmente às influências dos principais eventos de oscilação da linha da costa nesse setor.

Da análise vetorial, na composição dos componentes principais, foram separados quatro componentes, os que em conjunto permitem descrever o comportamento da distribuição da maior parte dos sedimentos, com intervalo de confiabilidade de 90% (Tab. II).

A principal vantagem da utilização desta técnica estatística é a de que o número de fatores que caracteriza o resultado final vai estar representado pela composição de uma amostra de sedimento. Desta maneira, um elemento do conjunto atua como parâmetro padrão que permite estabelecer o conjunto

da composição de cada sítio considerado (Ayup-Zouain *et al.*, 2001).

O primeiro componente (Fator 1) é fortemente influenciado pela *augita* (Tab. II), que predomina na plataforma continental externa na parte central e na parte sul da mesma (Fig. 7). Esta predominância na parte sul está relacionada à sua origem pampeano-patagônica. Esta predominância foi também observada por Etchichury & Remiro (1960), Urien (1967), Urien & Ewing (1974), Tomazelli (1978), Ayup-Zouain (1985; 1987; 1991), Corrêa (1990), Ayup-Zouain *et al.* (2001; 2003), Corrêa *et al.* (2002) e Corrêa *et al.* (2006).

O segundo componente (Fator 2), é influenciado, predominantemente, pela *hornblenda* e *hiperstênio* (Tab. II). O primeiro mineral é predominante na parte norte da área e nas adjacências da desembocadura da Laguna dos Patos, enquanto que o segundo apresenta suas maiores concentrações na parte norte da área e na altura do estuário do rio de La Plata. Ambos minerais são típicos de rochas ígneas básicas e, como acessórios nos derrames basálticos (Fig. 8). Em função da composição deste componente e da distribuição espacial dos sedimentos, atribuímos a este conjunto uma origem a partir dos principais sistemas de drenagem desde o setor central do escudo em direção aos basaltos no norte.

Tabela II- Distribuição dos componentes principais em relação aos minerais pesados analisados.

Minerais Pesados	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Granada	0,0790	0,0277	<b>0,2105</b>	0,0703
Hiperstênio	0,0541	<b>0,6356</b>	-0,1706	-0,0201
Augita	<b>0,9533</b>	-0,0042	-0,1913	-0,0226
Hornblenda	-0,0031	<b>0,7187</b>	0,0280	-0,0384
Turmalina	0,0249	0,1275	<b>0,7000</b>	-0,1620
Apatita	0,0396	-0,0598	-0,0601	<b>0,6756</b>
Epidoto	0,1050	0,1063	<b>0,3275</b>	-0,0302
Estaurolita	<b>0,2482</b>	-0,1124	<b>0,5066</b>	<b>0,1958</b>
Cianita	0,0085	0,0395	<b>0,1759</b>	0,1469
Rutilo	0,0064	0,0350	0,0044	0,0685
Zircão	-0,0837	0,1794	0,0216	<b>0,6477</b>
Silimanita	0,0083	0,0010	0,0195	<b>0,1578</b>

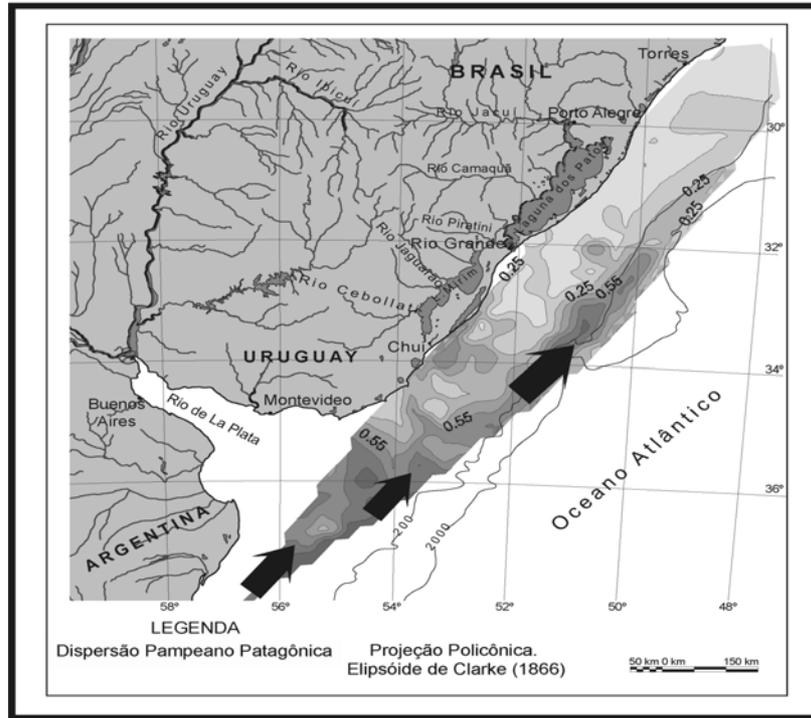


Figura 7 - Distribuição do primeiro componente (augita) de dispersão dos minerais pesados (Fator 1), Dispersão Pampeano Patagônica. As setas indicam a direção predominante da dispersão.

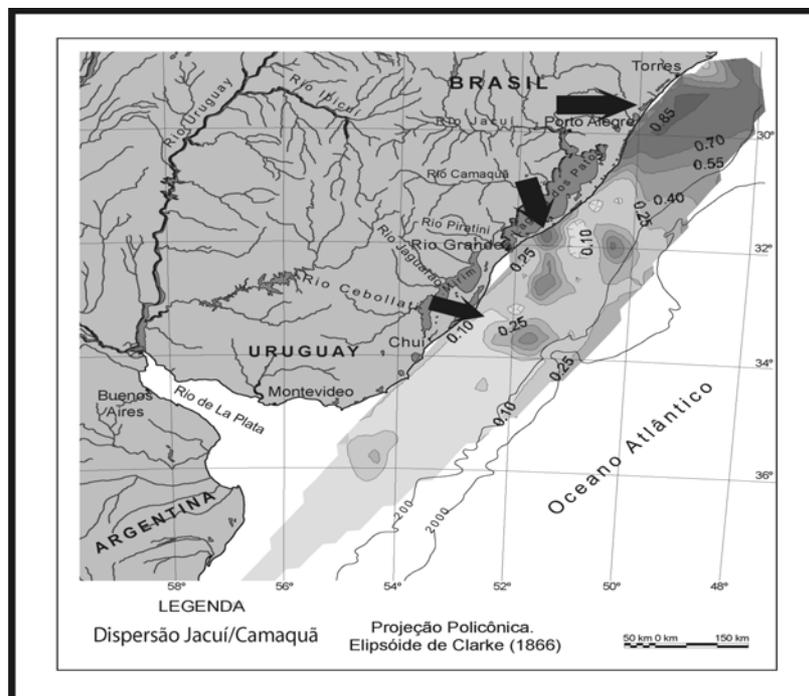


Figura 8 - Distribuição do segundo componente (hiperstênio e hornblenda) de dispersão dos minerais pesados (Fator 2) Dispersão Jacu/Camaquã. As setas indicam a direção predominante da dispersão.

O terceiro componente (Fator 3) é influenciado pela *turmalina*, *estauroлита*, *epidoto* e *cianita* (Tab. II). Este conjunto de minerais apresenta concentração mais abundante no setor central norte, na altura do rio Camaquã e da lagoa Mangueira. São comuns nas rochas do escudo sul-rio-grandense e uruguaio, principalmente estabelecendo a origem de rochas metamórficas e de metamorfismo de contato

(Fig. 9). Nesta componente podemos considerar como auxiliar a presença de *granada*, a qual se pode constatar como importante pela sua maior concentração da zona central para norte, com dispersão a partir do escudo. Pela dispersão e distribuição do componente, fica evidenciada uma origem desde o embasamento do escudo, a partir de rochas metamórficas.

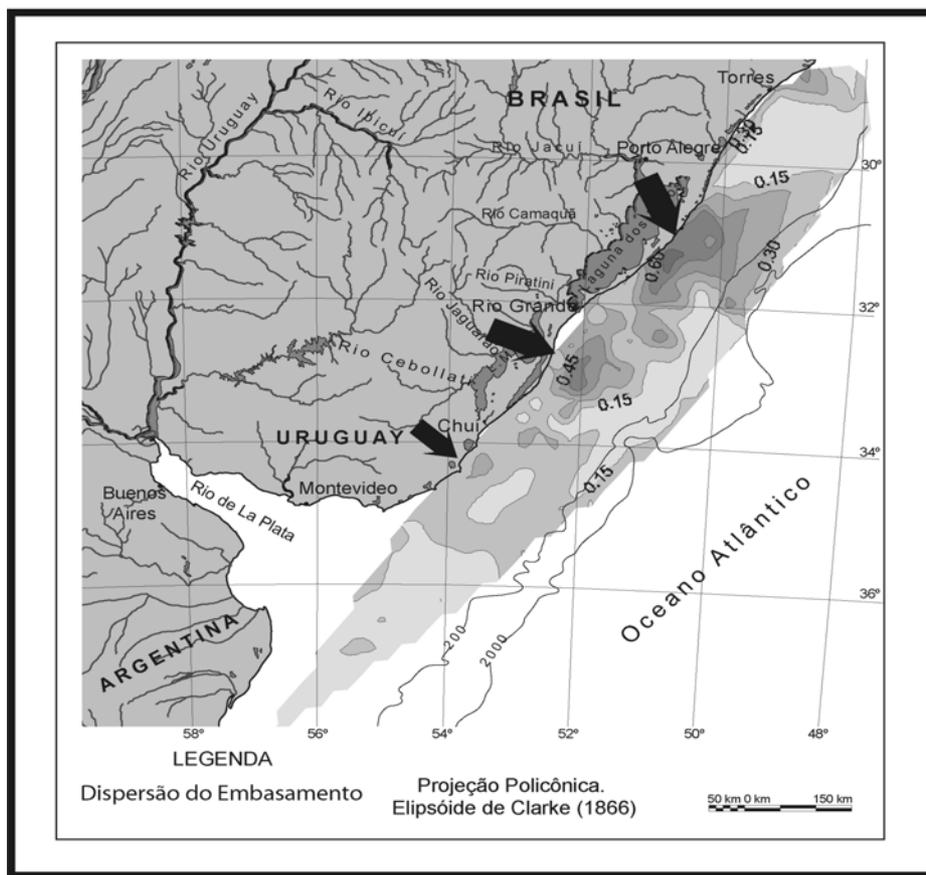


Figura 9 - Distribuição do terceiro componente (turmalina, estauroлита, épidoto e cianita) de dispersão dos minerais pesados (Fator 3). Dispersão do Embasamento. As setas indicam a direção predominante da dispersão.

Segundo Ayup-Zouain *et al.* (2001), este setor apresenta uma ampla mescla de minerais isto devido, possivelmente, pela complexidade das áreas fontes e principalmente pela dinâmica atuante no passado.

O quarto e último componente (Fator 4) é influenciado principalmente pela *apatita*, *zircão* e *silimanita* (Tab. II), destacando-se pela presença localizada no setor central-sul, com direção predominante de dispersão entre a plataforma norte-argentina e a plataforma uruguaia na altura do

estuário do rio de La Plata e nas proximidades do arroio Chuí (Fig. 10). Por constituir suítes de minerais comuns nas rochas do escudo sul-rio-grandense e uruguaio e apresentarem concentrações orientadas na direção dos principais sistemas de paleodrenagem continental adjacente ao estuário do Plata, consideramos estes sedimentos como de dispersão platense. As principais zonas de dispersão são os poços de lamas e canais, presentes na plataforma continental, originados pela antiga drenagem do rio de La Plata.

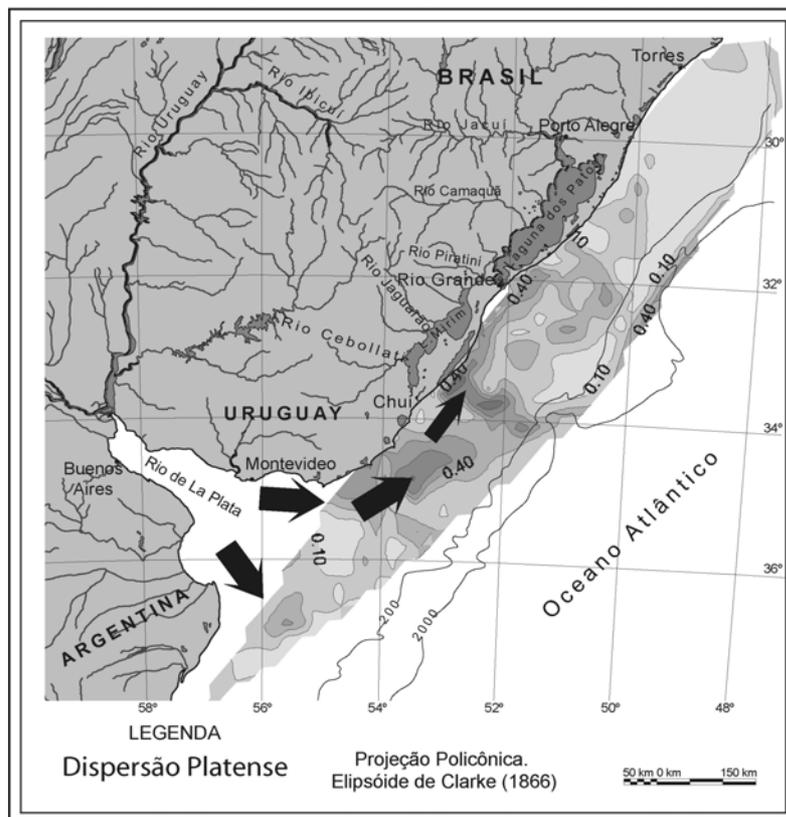


Figura 10 - Distribuição do quarto componente (apatita, zircão e silimanita) de dispersão dos minerais pesados (Fator 4) Dispersão Platense. As setas indicam a direção predominante da dispersão.

## CONCLUSÕES

Os principais minerais pesados, observados sobre a plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina, na fração granulométrica 2-4 $\Phi$ , foram: magnetita e ilmenita (31,6%), turmalina (11,5%), hornblenda (9,3%), estaurólita (9,3%), augita (8,9%), epidoto (7,4%), hiperstênio (6,3%), zircão (4,5%), granada (4,4%), cianita (3,9%), apatita (3,6%), silimanita (1,1%) e rutilo (0,8%).

Em geral, os resultados obtidos caracterizaram a presença de concentrações de minerais pesados em regiões submetidas à marcada influência praial ou fluvial pretérita. Observou-se que as maiores concentrações de minerais pesados ocorrem na parte sul da área estudada, entre Chuí e a desembocadura do rio de La Plata.

Os índices de ZTR caracterizaram a região norte da área estudada como uma região formada por sedimentos com alta maturidade mineralógica,

provavelmente associada a vários ciclos sedimentares. A parte sul apresentou baixos índices de ZTR, isto provavelmente devido à associação destes com sedimentos mais modernos, oriundos da drenagem do rio da Prata.

Os índices Est/ZTR+Est apresentaram valores inversos aos observados pelos índices ZTR. Os índices mais elevados, observados na região sul, caracterizam assembléias mineralógicas com baixa dissolução intraestratal dos minerais pesados, com uma ação moderada do intemperismo químico e uma baixa diagênese, em comparação a área situada a norte, onde os valores observados são mais baixos, caracterizando um maior intemperismo ou diagênese sobre as assembléias mineralógicas, o que ocasionou a seleção dos minerais mais resistentes, concordando assim com os índices obtidos pelo ZTR.

A análise multivariada identificou a presença de quatro componentes principais. O primeiro componente, influenciado pela presença da augita, predomina na parte sul da plataforma continental,

evidenciando sua origem pampeano-patagônica. O segundo componente, influenciado pela hornblenda e hiperstênio, ocorre na parte norte da plataforma continental e na altura de Bojuru e lagoa Mangueira, evidenciando sua origem a partir das paleodrenagens dos rios Jacuí, Camaquã, Jaguarão e Cebollati, sendo estes minerais provenientes das rochas ígneas básicas e dos derrames basálticos. O terceiro componente, influenciado pela associação turmalina, estauroлита, epidoto e cianita, apresenta sua concentração localizada na plataforma continental entre Chuí e Torres. Os minerais pesados deste componente são típicos das rochas do escudo sul-rio-grandense e uruguaio, principalmente das rochas metamórficas e de metamorfismo de contato. Sua origem fica evidenciada a partir do embasamento do escudo, principalmente das rochas metamórficas. O quarto componente é influenciado pela apatita, zircão e silimanita e encontra-se distribuído no setor sul da plataforma continental. Estes estão relacionados a sedimentos oriundos da dispersão platense, com sua origem relacionada às rochas do escudo sul-rio-grandense e uruguaio.

A distribuição destes minerais pesados, sobre a plataforma continental sul brasileira, uruguaia e norte-argentina, parece estar intimamente ligada a paleodrenagem, com especial ênfase ao rio da Prata e seus tributários, os quais drenam a parte oeste da região sul-brasileira, uruguaia e argentina e os rios Cebolatti, Jaguarão, Piratini, Camaquã e Jacuí, que drenam a parte leste do Rio Grande do Sul e Uruguai.

As áreas fontes destes minerais pesados estão associadas, primariamente, ao complexo do Embasamento Cristalino Sul-Rio-Grandense e Uruguaio, as seqüências sedimentares e vulcânicas paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná e aos sedimentos Pampeanos-Patagônicos da Bacia Argentina e secundariamente aos sedimentos da plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina através da erosão e redeposição destes na área estudada.

As investigações efetuadas sobre a composição mineralógica e sobre os padrões morfológicos dos sedimentos superficiais da plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina, forneceram informações que são ainda insuficientes para a correta avaliação do potencial econômico dos minerais pesados, mas

permitiu o delineamento das áreas favoráveis e prever os padrões de concentrações, não detectados diretamente.

**Agradecimentos-** Agradecemos ao CNPq pelo Auxílio Pesquisa (Proc. N° 470457/2003-1), pela Bolsa de Produtividade Científica (Proc. N° 303956/2006-2) e a FAPERGS pelo Auxílio Pesquisa (Proc. N° 05/2126.1), que permitiram o desenvolvimento da pesquisa que resultou neste trabalho. Este trabalho faz parte do Programa de Geologia e Geofísica Marinha-PGGM.

## REFERÊNCIAS

- Abreu, J.G.N. & Calliari, L.J. 2005. Paleocanais na Plataforma Continental Interna do Rio Grande do Sul: Evidências de uma Drenagem Fluvial Pretérita. Rio de Janeiro-RJ. **Revista Brasileira de Geofísica**, **23**(2):123-132.
- Almeida, F.F.M. 1981. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, São Paulo-SP. **Atas...**, São Paulo, SBG. v.1, p.1-20.
- Ayup-Zouain, R.N. 1985. Áreas fontes e dispersão dos minerais pesados na margem continental sul-brasileira e uruguaia. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2., 1985, Florianópolis-SC. **Anais...**, Florianópolis, SBG, p.362-378.
- Ayup-Zouain, R.N. 1987. Características do intercâmbio sedimentar entre o rio de la Plata exterior à plataforma adjacente. **Pesquisas**, **21**:105-126.
- Ayup-Zouain, R.N. 1991. **Avaliação das mudanças do nível do mar durante o Holoceno na plataforma continental adjacente ao rio de La Plata**. Porto Alegre. 339p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS.
- Ayup-Zouain, R.N.; 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, uruguaia e norte-argentina. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8., 2001, Imbé-RS. **Boletim de Resumos**. Imbé, ABEQUA, p.126-127.
- Ayup-Zouain, R.N.; Ferreira, H.P.L.; Barboza, E.G.; Tomazelli, L.J. 2003. Evidência morfológica de um paleocanal holocênico da laguna Mirim nas adjacências do Banhado Taim. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9., 2003, Recife. **Livro de Resumos**, Recife, ABEQUA, p.82.
- Corrêa, I.C.S 1990. Analyse Morphostructurale er

- Evolution Paleogeographique de la Plateforme Continentale Atlantique Sud-Bresilienne (Rio Grande do Sul-Brésil). Talence-França. 314p. Thèse du Doctora em Oceanologie, Université de Bordeaux I.
- Corrêa, I.C.S.; Villwock, J.A.; Isla, F.I.; López-Laborde, J.; Jackson, J.M.; Furtado, V.V.; Calliari, L.J. 1996. ATLAS Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina). In: Martins, L.R.S. & Corrêa, I.C.S. (Eds.), **ATLAS Morphology and Sedimentology of the Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Península Valdés (Argentina)**. CECO/IG/UFRGS, 20 mapas
- Corrêa, I.C.S.; Ayup-Zouain, R.N.; Toldo Jr., E.E.; Tomazelli, L.J. 2002. Minerais Pesados nos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Sul-Brasileira.. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa-PA. **Anais...**, João Pessoa, SBG. p.83.
- Corrêa, I.C.S.; Aliotta, S.; Weschenfelder, J. 2004. Estrutura e evolução dos cordões arenosos pleistocênicos no canal de acesso à Laguna dos Patos-Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 31(2): 69-78.
- Corrêa, I.C.S.; Ayup-Zouain, R.N.; Weschenfelder, J.; Tomazelli, L.J. 2006. Heavy minerals from south Brazilian continental shelf to north Argentina: distribution and provenance. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE SEDIMENTOLOGIA, 4., 2006, San Carlos de Bariloche. **Resúmenes...**, Buenos Aires, Asociación Argentina de Sedimentología. p. 79.
- Emery, K.O. & Noakes, L.C. 1968. Economic placer deposits of the continental shelf. **Technical Bull. Economic Commission for Asia and Far East**. U.N., 1:95-110.
- Etchichury, M.C. & Remiro, J.R. 1960. Muestras de fondo de la plataforma continental comprendida entre los paralelos 34° y 36°30' de latitud sur y los meridianos 53°10' y 56°30' de longitud oeste. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales**, 6(4):197-263.
- Fragoso Cezar, A.R.S.F.; Wenick, E.; Soliani Jr., E. 1982. 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.
- Galehouse, J. S. 1971. **Point counting**. In: Carver, R. E. ed., *Procedures in Sedimentary Petrography*. Wiley-Interscience. New York. p.385-407.
- Hubert, J.E. 1962. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the cross composition and texture of sandstones. **Journal Sedimentary Petrology**, 32:440-450.
- Islam Md.R.; Stuart, R.; Vesa, P. 2002. Mineralogical changes during intense chemical weathering of sedimentary rocks in Bangladesh. **Journal Asian Earth Sciences**, 20:889-901.
- Johnsson, M.J.; Stallard, R.F.; Lundberg, N. 1991. Controls on the composition of fluvial sands from a tropical weathering environment: Sands of the Orinoco drainage basin, Venezuela and Colombia. **Bulletin of Geological Society of America**. 103:1622-1647.
- Mange, M.A. & Maurer, H.F.W. 1992. **Heavy Minerals in Colour**. Chapman and Hall, London. 80p.
- Morton, A.C. 1985. **Heavy minerals in provenance studies**. In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenites*. Reidel, Dordrecht, p.249-277.
- Morton, A.C. & Hallsworth, C.R. 1994. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**. 90:241-256.
- Morton, A.C. & Hallsworth, C.R. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**. 124:3-29.
- Silva, M.A.M. 1976. **Mineralogia das areias de praia entre Rio Grande e Chuí-RGS**. Porto Alegre. 93p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, UFRGS.
- Tomazelli, L.J. 1978. Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul-Brasil. **Acta Geológica Leopoldense**, 2(5):103-159.
- Urien, C.M. 1967. Los sedimentos modernos del río de la Plata exterior. **Boletín SHIN**, 4 (2):113-213.
- Urien, C.M. & Ewing, M. 1974. **Recent sediments and environment of Southern Brazil, Uruguay, Buenos Aires and Rio Negro continental shelf**. In: Burk & Drake, ed. *Geology of Continental Margin*. New York, Springer Verlag, p. 57-177.
- Villwock, J.A. et al. 1977. Concentrações de areias negras ao longo da costa do RGS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 7., 1977, Porto Alegre. **Resumo dos Trabalhos**. Porto Alegre. p. 38-39.
- Villwock, J.A. & Tomazelli, L.J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. CECO/IG/UFRGS. Porto Alegre-RS. **Notas Técnicas**, 8:1-45.
- Zalán, P.V.; Wolf, S.; Conceição, J.C.J.; Marques, A.; Astofi, M.A.M.; Vieira, I.S.; Appi, V.T.; Zanotto, O.A., 1990. Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia, G.P. & Milani, E.J. (Coords.) **Origem e Evolução das Bacias Sedimentares**. Petrobrás, Rio de Janeiro-RJ. p.135-168.

Editor responsável pelo artigo: Carla Ennes de Barros