UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DISTRIBUIÇÃO DE MINERAIS PESADOS EM DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS RECENTES DA ILHA DE MARAJÓ - BAIXO TOCANTINS (PA)

Sueli Akemi Tomita

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Ana Maria Góes

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/52)

SÃO PAULO
2006

TF
T657
SA.d

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DEGEOCIÊNCIAS

Distribuição de metais pesados em depósitos quaternários recentes da Ilha de Marajó, Baixo Tocantins, PA

Sueli Akemi Tomita

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
20952
U. S. P.

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Profa. Dra. Ana Maria Góes
Prof. Dr. Kenitiro Suguio
Prof. Dr. Gianna Maria Garda

São Paulo
2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900024107

DISTRIBUIÇÃO DE MINERAIS PESADOS EM DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS RECENTES DA ILHA DE MARAJÓ – BAIXO TOCANTINS (PA)

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
20952
U. S. P.

Sueli Akemi Tomita

Orientadora: Profª Drª Ana Maria Góes

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/52)

SÃO PAULO
2006

TF
T657
SA.01

Agradecimentos

Peço desculpas a quem não me lembrei de agradecer, mas deixo aqui os meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para o desenvolvimento e finalização de minha monografia e que também participaram de alguma forma para o meu crescimento e aprendizado em geologia.

Agradeço a minha família, principalmente aos meus pais, Gituzo e Toshie por todo o apoio, carinho e incentivo nestes últimos anos. À minha irmã, Miki, por estar presente como segunda mãe, professora e amiga. Ao meu cunhado, Beto pela amizade e apoio. Ao meu irmão, Humberto, pelo incentivo aos meus estudos e ao meu namorado, Cezar, pelo carinho e paciência nos momentos finais deste trabalho.

À professora Doutora Ana M. Góes, pela orientação e ajuda preciosas no decorrer deste trabalho, além da atenção e paciência quase infinita.

Aos meus colegas de curso, Fernanda C., Luizemara Alves, Marília, Marcela Tainã, Onicélia, Rafaela, Reginaldo e Valdemar, pela ajuda em assuntos relacionados ao curso e companhia nos bons momentos da graduação. À Rosa S., por me acolher em sua casa nos momentos finais desta monografia e pela companhia durante este trabalho. Ao colega Eduardo e à sua mãe, Norma, pela ajuda na tradução e revisão gramatical do resumo.

Ao professor Dr. Thomas R. Fairchild pela revisão final do resumo em inglês desta monografia.

Aos estagiários e funcionários do Laboratório de Sedimentologia e Petrografia Sedimentar: Elaine, Rodolfo, Vitor, Adriano e Jaqueline, profissionais atenciosos e pacientes que me auxiliaram no processamento das amostras deste trabalho.

À Milene Fornari, Luizemara e "Dengoso" pela ajuda e paciência na confecção do mapa de pontos.

Aos colegas do Museu de Geociências, Daniel, Flávio, Ideval e Miriam pela companhia e amizade.

À galera do vôlei, pela companhia, amizade e pelos bons momentos durante os jogos de vôlei.

Agradecimentos

Índice

Resumo....3
Abstract....4
2. Metas e objetivos....5
3. Trabalhos prévios....6
Contexto Geológico....6
4. Materiais e métodos....7
5. Desenvolvimento do Trabalho....9
Cronograma de atividades....9
6. Resultados obtidos....9
6.1 Análise granulométrica....11
6.2 Análise de minerais pesados....14
6.2.1 Análise de massa de minerais pesados....14
6.2.2 Análise de minerais pesados....14
Estudo das variedades de zircão e turmalina....18
Estudo da morfologia do quartzo....18
7. Interpretação e discussão dos resultados....26
8. Conclusões....28
9. Referências bibliográficas....30
10. Anexo I - A: Análise granulométrica da distribuição total da Unidade Marrom....I
Anexo I - B: Análise granulométrica da distribuição total da Unidade Branca....II
Anexo II - A: Prancha de fotomicrografia dos minerais pesados....III
Anexo II - B: Prancha de fotomicrografia da morfologia do zircão....VI
Anexo II - C: Prancha de fotomicrografia da morfologia da turmalina....VII

Resumo

Na região sudeste da Ilha do Marajó e Baixo Tocantins afloram depósitos pós-miocênicos: Sedimentos Pós-Barreiras (Plioceno-Pleistoceno) e duas unidades mais jovens. Análises sedimentológicas enfatizando minerais pesados foram realizadas nestas duas unidades visando a sua correlação estratigráfica. Para estas, a cor foi atributo da separação inicial, a Unidade Marrom com maior grau de consolidação e a Branca friável. Dados granulométricos e de minerais pesados denotam similaridade entre estas unidades com domínio de areias finas moderadamente selecionadas e compostas de minerais pesados ricos em zircão, turmalina, estaurolita, rutilo e cianita, e, subordinadamente sillimanita, anatásio, andalusita, epídoto e anfibólio. A ΣZTR revela associação mineralogicamente matura com teores aproximados de 70%, justificados pela ausência de minerais instáveis, à exceção de duas amostras marrons contendo 3 a 6% de grãos de epídoto e anfibólio na porção sul da área estudada. Além disso, amostras marrons provenientes da ilha apresentam em média 7% de andalusita, o que não ocorre nas demais. A grande identidade entre estas duas unidades também é revelada pela presença dominante de grãos arredondados de zircão e da turmalina, apesar de ocorrerem formas euédricas. A comparação destes resultados com os referentes aos Sedimentos Pós-Barreiras mostram grande similaridade entre os Sedimentos PB-2 e as unidades Marrom e Branco, sugerindo serem a mesma unidade estratigráfica. A associação de cianita, estaurolita e sillimanita indica fonte metamórfica de médio a alto grau relacionada à Faixa Tocantins - Araguaia. Grãos arredondados de zircão, turmalina e anatásio indicam proveniência sedimentar associada a depósitos paleozóicos, cretáceos e/ou terciários ocorrentes nesta região.

Abstract

The Post-Barreiras Sediments (Pliocene-Pleistocene) and two more recent Cenozoic units are exposed in southeastern Marajó Island and Lower Tocantins region. These younger units were initially separated on the basis of color: brown-colored sediments showing better consolidation, and the white ones, greater friability. Sedimentological research, focussing principally heavy minerals was carried out in these younger units in order to contribute to their stratigrafic correlation.

The results show the similarity of both units. Both are composed of moderately sorted very fine sand with heavy minerals consisting of zircon, tourmaline, staurolite, rutile, kyanite and secondarily of sillimanite, andalusite, anatase, epidote and amphibole. The ΣZTR indicates a mineralogicaly, mature association, approximately 70%, as a consequence of the lack of unstable minerals, except for two samples from the southern study area that range from 3 to 6% epidote and amphibole grains. Furthermore, the brown samples from the island show approximately 7% andalusite, unlike other samples. The remarkable identity between both units is also revealed by the predominance of subrounded to rounded shapes of zircon and tourmaline, although there are some euhedral grains. The comparison between Post-Barreiras Sediments and these units reveals similar heavy mineral data, including mostly rounded grains of zircon and tourmaline and the occurrence of andalusite in Marajó Island. The association of kyanite, staurolite and sillimanite indicates a medium to high-grade regional metamorphic rock source related to the Tocantins-Araguaia Belt. Rounded grains of zircon, tourmaline and anatase are strong evidence of sedimentary provenance related to Paleozoic, Cretaceous and Tertiary deposits which occur near the study area.

1. Introdução

O arquipélago marajoara é formado pelo complexo de ilhas e grandes rios da região norte (Fig. 1), de importância internacional por apresentar biodiversidade e geografia singulares e diversificadas, objeto de estudo de cientistas de diversas especialidades que estudam o meio físico. Nesta região afloram unidades cenozóicas em superfície que estão em análise e podem contribuir para o entendimento da origem e evolução desta paisagem. Alguns fatores condicionam a presença de pouca exposição geológica nesta região, tais como: 1) morfologia plana e praticamente sem desnível, 2) clima tropical úmido 3) cobertura vegetal. Porém, existem exceções, como por exemplo, a porção sudeste da Ilha do Marajó e o Baixo Tocantins, que, por este motivo, foi selecionada como área de trabalho.

Como o estudo de minerais pesados tem-se mostrado de grande eficácia nacorrelação entre sucessões sedimentares do Norte do Brasil (Rossetti *et al.* 1989, Nascimento & Góes 2005, Rossetti & Góes 2004), este enfoque foi privilegiado no desenvolvimento desta monografia.

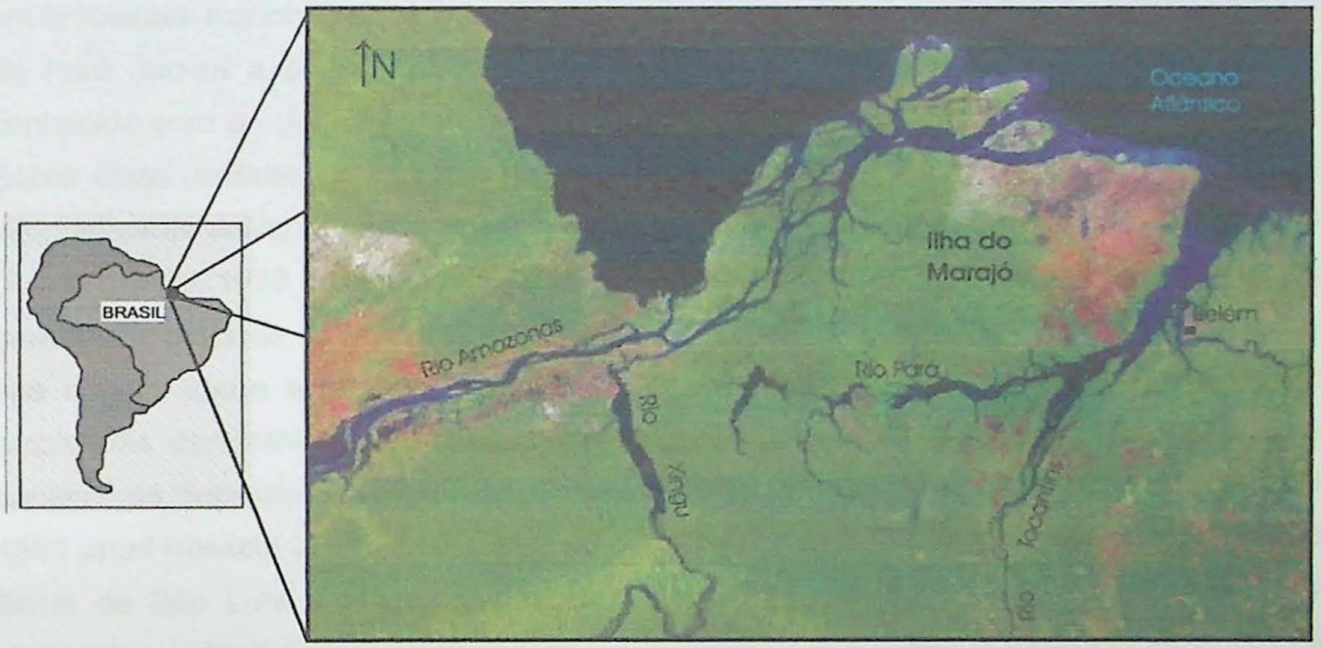


Figura 1: Configuração atual da desembocadura dos rios Amazonas, Xingu e Tocantins formando um complexo de ilhas fluvio-marinhas com destaque para Ilha do Marajó.

2. Metas e objetivos

O objetivo geral deste trabalho é entender sua correlação estratigráfica e proveniência contribuindo com o detalhamento das unidades cenozóicas estudadas e entender a distribuição das mesmas, seu processo de formação, proveniência e a correlação com o depósito sedimentar Pós-Barreiras. Os objetivos específicos são caracterizar textural (granulometria e morfologia) e mineralogicamente (leves e pesados), com ênfase no estudo de minerais transparentes não-micáceos. Os resultados deste trabalho fornecerão subsídios para a compreensão da origem e evolução do complexo de

formadas na desembocadura dos grandes rios amazônicos com a reunião e interpretação dos dados de minerais pesados e morfologia do quartzo.

3. Trabalhos prévios

Contexto Geológico

A região da Ilha de Marajó - Baixo Rio Tocantins localiza-se entre os paralelos 0º e 2º Sul e meridianos 51º e 47º Oeste, se situa parte na Bacia de Marajó (sub-bacias Cametá e Limoeiro) e parte nas plataformas do Pará e Bragantina (Fig.2). Estudos anteriores mostram que nesta região ocorrem várias exposições de depósitos sedimentares formados entre o Mioceno e o Holoceno (Grupo Pará). Neste trabalho foram objetos de investigação os depósitos quaternários recentes. A base do preenchimento sedimentar do Sistema de Gráben do Marajó (não-aflorante) inclui depósitos cretáceos (formações Breves e Limoeiro – Aptiano ao Cretáceo Superior), que são recobertos discordantemente por estratos terciários e quaternários (formações Marajó e Tucunaré, respectivamente) formados principalmente em ambientes marinho-raso a transicional. A deposição sobre as plataformas Bragantina e do Pará deu-se a partir do Oligoceno-Mioceno e atinge espessuras de até 60 m e é conhecida com as denominações Formação Barreiras e Pirabas (Rossetti & Góes 2004). Sobre estas unidades miocênicas, em discordância erosiva, ocorrem depósitos arenosos informalmente designados como Sedimentos Pós-Barreiras (Sá, 1969). Estudos posteriores (Rossetti *et al.* 1989 e Rossetti 2001) os descrevem como areias finas, bem selecionadas, geralmente maciças, às vezes com estruturas de dissipação de dunas, o que permite supor sua origem ligada a processos gravitacionais e retrabalhamento eólico, sob condições ambientais continentais em clima seco. Datações de sambaquis coletados na porção superior do depósito Pós-Barreiras, nordeste do Pará, resultaram em 5200 A.P. (Simões 1981 *apud* Rossetti 2001). Esta última autora relata que depósitos similares observados na Bacia de São Luís e Grajaú não apresentam aparência tão homogênea e podem ser distinguidos vários níveis estratigráficos. Uma primeira subdivisão (Rossetti *et al.* 2005) foi feita na Amazônia Central diferenciando uma unidade de base composta de areias avermelhadas de granulação areia fina a grossa (PB-1), de outra de topo constituída de areias amareladas de granulação fina (PB-2). Na região sudeste da Ilha do Marajó e Baixo Tocantins foram reconhecidos depósitos similares a estes anteriores (PB1 e PB2) e mais dois depósitos arenosos sobrepostos, pouco consolidados, um de coloração marrom e outro mais friável, de coloração branca designados informalmente de Unidade Marrom e Unidade Branca para facilitar a comunicação no texto. Os depósitos PB-1 e PB-2 foram descritos por Valle (2006), enquanto que as unidades Marrom e Branca são objeto de estudo deste trabalho.

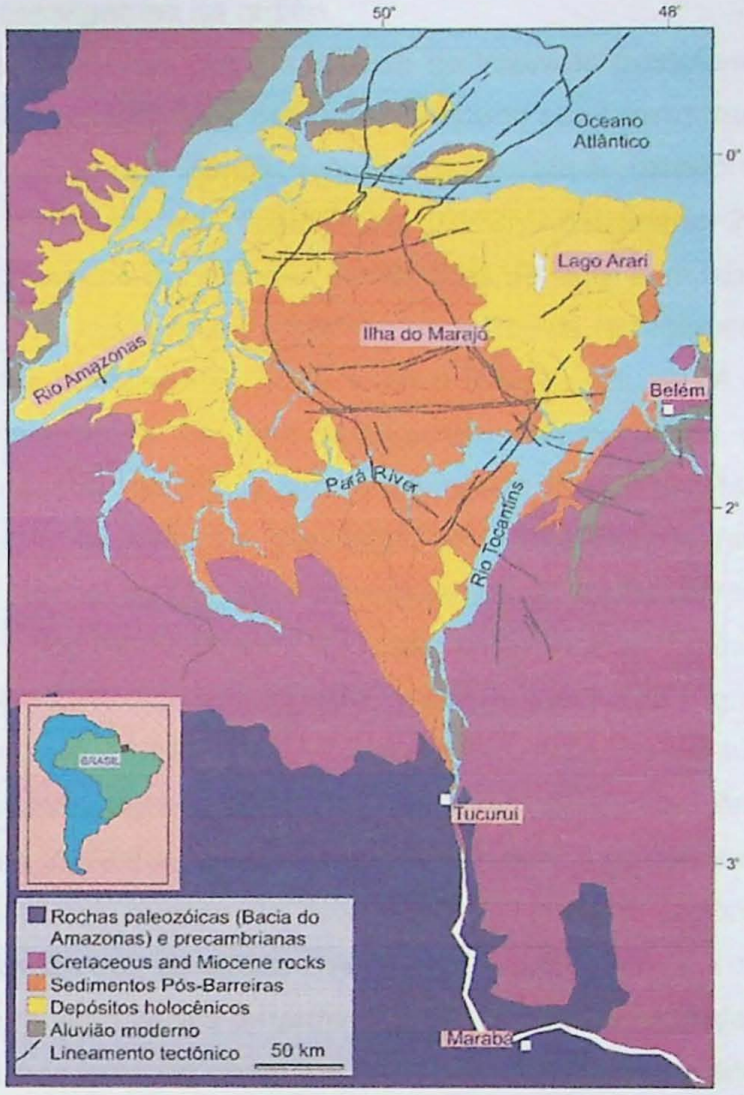


Figura 2: Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Rossetti (2006a).

4. Materiais e métodos

Todo processamento laboratorial envolvido neste trabalho foi executado no Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo - nos laboratórios de Sedimentologia e Petrografia Sedimentar, onde foram conduzidas análises texturais (granulometria e morfologia) e mineralógicas (estudo de minerais essenciais e acessórios). Como as amostras coletadas são dominantemente arenosas com teores variáveis de silte e argila, estas são analisadas granulometricamente através da combinação de técnicas de pipetagem e peneiramento a seco. Os dados da análise granulométrica são tratados estatisticamente segundo o método dos momentos (Suguio, 1973), a partir do programa Momento 4, do Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini. Os parâmetros estatísticos utilizados são: diâmetro médio, desvio-padrão, curtose e assimetria. Estes parâmetros são calculados tanto para a distribuição total e como para a distribuição areia, esta última abordagem foi utilizada visando avaliar os efeitos da alteração nas amostras enriquecidas em argilas por processos pedogenéticos atuais.

abordagem mais adequada em função da acentuada alteração das amostras, promovida pelas condições climáticas vigentes na região.

Os minerais pesados foram obtidos a partir do intervalo granulométrico de 0,063 - 0,125 mm, fração mais apropriada para este tipo de estudo por concentrar naturalmente os minerais mais densos e ser de fácil identificação óptica (Morton & Hallsworth, 1994, 1999). A concentração foi feita utilizando-se bromofórmio ($CHBr_3$, densidade=2,89 g/cm^3) e os resíduos densos foram pesados e montados em lâminas de vidro com bálsamo do Canadá (índice de refração = 1,56). No caso da presença de películas ferruginosas envolvendo os grãos, foi feita a limpeza utilizando-se ácido oxálico 5% em volume. A identificação dos minerais pesados transparentes foi feita enfatizando características de cor, forma e propriedades ópticas, utilizando-se o guia para identificação de Mange & Maurer (1992). São feitas diversas contagens de minerais baseadas em 100 grãos/lâmina com auxílio de charriot e contador de pontos: 1) opacos e transparentes; 2) transparentes não micáceos, sendo que aqueles com ocorrência inferior a 1% são considerados traços; nesta contagem foi calculada a somatória ZTR (zircão, turmalina e rutilo), que indica o grau de maturidade mineralógica dos sedimentos (Hubert, 1962). Também foi enfatizado o estudo de variedades de minerais pesados transparentes (Morton & Hallsworth, 1999), com ênfase em zircão e turmalina com contagens individuais de 100 grãos por lâmina. A fração leve foi montada em lâminas temporárias em uma mistura de óleo mineral (Nujol) e alfa-bromonaftaleno até atingir um índice de refração que destaque o relevo do quartzo, principal componente desta fração. Esta montagem foi feita para a determinação do grau de arredondamento do quartzo (100 grãos por lâmina) por meio de comparação visual usando-se a escala Powers (1930 *apud* Pettijohn *et al.* 1987) utilizando-se microscópio óptico. A captura de imagens foi feita pelo sistema Qwin Leica no Laboratório de Petrografia Sedimentar.

5. Desenvolvimento do Trabalho

Cronograma de atividades

ATIVIDADE	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Projeto inicial	X	X	X									
Análise granulométrica	X	X	X	X	X							
Análise de minerais pesados					X	X	X	X	X	X		
Análise de minerais leves								X	X	X		
Relatório de progresso							X	X				
Monografia e apresentação do projeto									X	X	X	X

X	Cronograma proposto
X	Cronograma executado

Os trabalhos do projeto iniciaram-se com a análise granulométrica das amostras, seguida da confecção de lâminas de minerais pesados, contagem de grãos e de análise textural dos minerais pesados e grãos de quartzo. Além das análises laboratoriais, foram realizadas continuamente pesquisas bibliográficas sobre a geologia da área de estudo e sedimentologia, com ênfase em minerais pesados.

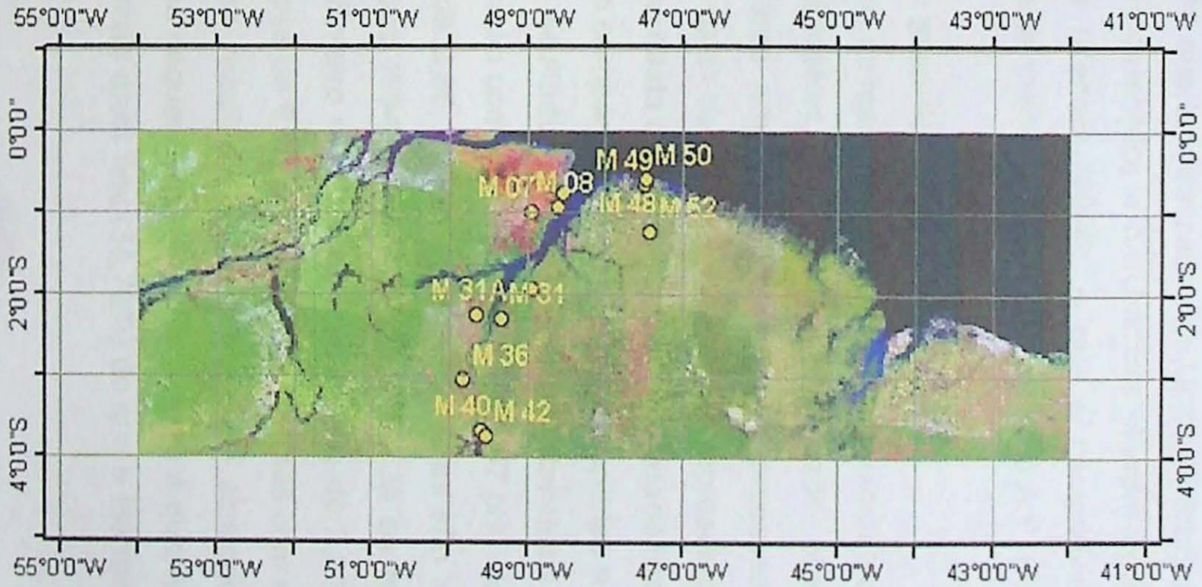
6. Resultados obtidos

Foram analisadas 22 amostras arenosas, coletadas na região da Ilha de Marajó – Baixo Tocantins (Fig. 3), referentes às unidades Marrom (13) e Branca (9). De modo geral, as exposições naturais da Unidade Marrom são pouco expressivas, de 0,2 a 0,5m de espessura, podendo atingir até 3 m, com área de ocorrência pequena na ilha (pontos M8 e M8.1) e maior na parte continental (pontos M36, M42 e M48). Já a Unidade Branca ocorre tanto na ilha quanto no continente e não ultrapassa 1 m de espessura, ocorrendo em áreas topograficamente muito planas, recobertas por campos naturais, com coleta de amostras favorecida em áreas de escavação para mineração de areia.

A Unidade Marrom é composta de arenitos quartzosos, pouco consolidados, de granulação média a fina, argilosos, moderadamente selecionados, com presença freqüente de fragmentos de madeira carbonizada e, eventualmente, fragmentos de cerâmica. As cores variam de marrom, marrom escuro amarelado, marrom amarelado, amarelo amarronzado e laranja acinzentado. O acamamento maciço é a estrutura mais comum, mas também foram observadas estratificações cruzadas de médio porte com *sets* recobertos por lama (M31a) e estruturas de dissipação de dunas (M52).

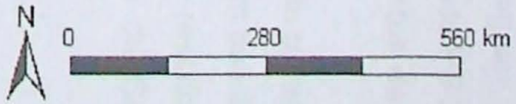
Figura 3: Mapa de pontos da área estudada

Mapa de Pontos, Ilha do Marajó - Baixo Tocantins



Legenda

- Pontos amostrados



A Unidade Branca é composta de arenitos quartzosos, com coloração variando de branca, cinza clara e cinza róseo clara, moderadamente selecionada, granulação de areia fina, geralmente com estrutura maciça, embora em alguns pontos (M7 e M31) ocorra bioturbação.

A Unidade Marrom pode ocorrer isoladamente ou diretamente assentada sobre depósitos miocênicos (ponto M8) em contato brusco, erosivo e irregular. Foi observada também sua ocorrência sobreposta em contato gradativo com a Unidade PB-2 (Ponto M8.1). Já a Unidade Branca foi observada isoladamente ou sobre os arenitos da Unidade PB-2 (ponto M31).

Em relação à idade, poucos dados estão disponíveis. Dados de termoluminescência em grãos de quartzo realizados na Unidade Branca não se mostraram satisfatórios (abaixo do limite de detecção) e na Unidade Marrom apenas uma amostra resultou na idade de 3400 anos (Uehara, 2006), o que é compatível com a datação de Carbono 14 em fragmentos de madeira carbonizados, 3300 A.P. (Rossetti, 2006b).

6.1 Análise granulométrica

Como os resultados da análise granulométrica da distribuição total (Anexo 1) revelam que as amostras coletadas na Unidade Marrom estão bastante alteradas com enriquecimento em argilas devido aos processos pedogenéticos atuais, optou-se por abandonar estes resultados porque não representam os processos deposicionais atuantes na formação desta unidade. Apesar da Unidade Branca não apresentar o mesmo problema, para fins de comparação foram utilizadas apenas a distribuição areia.

Os resultados dos parâmetros estatísticos da Unidade Marrom (Tab. 1) indicam diâmetro médio com valores médios de 1,97 phi, desvio padrão de 0,82, assimetria de 0,32 e curtose de 3,88, indicando que as areias são médias e moderadamente selecionadas (Folk & Ward,1954 *apud* Suguio 1973). Já os resultados da Unidade Branca (Tab. 2) mostram diâmetro médio com valor médio de 2,31 phi, desvio padrão 0,81, assimetria de 0,08 e curtose de 6,17, indicando areias finas com moderado grau de seleção.

Estes resultados apontam grande similaridade entre estes dois depósitos, com apenas uma pequena variação em relação à quantidade de areias finas, a Unidade Branca apresenta mais areia fina (34,73%) do que a Marrom (29,73%).

Tabela 1: Resultados de análise granulométrica das amostras da Unidade Marrom, distribuição de areia.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)					FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)												
CÓD. DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIME-TRIA	CURTOSE	CASCALHO			AREIA						PELÍTICOS			RELAÇÃO FINO/ GROSSO
					SEIXOS	GRÂNULOS	TOTAL	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	SILTE	TOTAL	
MR-8	2,11	0,77	-0,5	4,87	0	0,25	0,25	1,15	3,62	27,76	35,07	9,79	77,39	15,7	6,66	22,36	0,29
MR-14	2,4	0,84	-0,17	2,73	0	0,05	0,05	0,37	2,58	23,86	28,86	21,11	76,78	12,25	10,92	23,17	0,3
MR-50	2,11	0,73	-0,39	3,74	0	0,11	0,11	0,45	5,36	32,9	46,94	10,19	95,85	1,99	2,05	4,04	0,04
MR-61	1,9	0,66	-0,62	6	0	0,35	0,35	0,71	4,41	39,67	32,11	3,4	80,3	17,16	2,19	19,35	0,24
MR-62	1,91	0,6	0,05	5,25	0	0,04	0,04	0,46	4,29	44,95	35,04	2,57	87,3	10,7	1,96	12,66	0,14
MR-69	1,56	1,08	-0,59	3,42	0	2,26	2,26	5,51	12,02	32,96	22,95	6,24	79,68	11,14	6,92	18,06	0,22
MR-78	1,7	0,92	0	2,91	0	0,13	0,13	2,01	15,83	33,58	23,1	7,1	81,61	13,97	4,29	18,26	0,22
MR-79	1,62	0,83	0,05	3,11	0	0,12	0,12	1,55	18,91	40,68	23,47	4,86	89,47	6,72	3,69	10,41	0,12
MR-80	1,59	0,8	0,2	3,5	0	0	0	2,77	17,2	45,56	21,25	4,56	91,36	6,34	1,38	7,72	0,08
MR-94	2,18	0,9	-0,46	3,34	0	0,33	0,33	0,79	6,61	25,62	32,56	16,89	82,47	8,4	8,8	17,2	0,21
MR-95	2,23	0,91	-0,47	3,31	0	0,15	0,15	1,73	5,19	27,04	31,36	20,42	85,73	9,04	5,08	14,12	0,16
MR-102	2,79	0,78	-1,18	5,24	0	0,05	0,05	0,4	1,91	7,14	31,59	32,08	73,12	16,37	10,46	26,83	0,37
MR-112	1,57	0,88	0	3,09	0	0,02	0,02	4,98	18,21	42,25	22,24	6,24	93,92	2,77	3,29	6,06	0,06
MÁXIMO	2,79	1,08	0,2	6	0	2,26	2,26	5,51	18,91	45,56	46,94	32,08	95,85	17,16	9,67	26,83	0,37
MÍNIMO	1,56	0,6	-1,18	2,73	0	0	0	0,37	1,91	7,14	21,25	2,57	73,12	1,99	2,05	4,04	0,04
MÉDIA	**1,97**	**0,82**	**-0,32**	**3,88**	**0**	**0,3**	**0,3**	**1,76**	**8,94**	**32,61**	**29,73**	**11,19**	**84,23**	**10,2**	**5,2**	**15,4**	**0,19**
D. PADRÃO	0,36	0,12	0,37	1,03	0	0,58	0,58	1,64	6,22	10,22	6,96	8,5	6,74	4,73	1,97	6,7	0,09

Tabela 2 : Resultados de análise granulométrica das amostras da Unidade Branca, distribuição de areia.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)					FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)												RELAÇÃO FINO/ GROSSO
CÓDIGO DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIME-TRIA	CURTOSE	CASCALHO		AREIA						PELÍTICOS				
					SEIXOS	GRÂNULOS	TOTAL	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	SILTE	TOTAL	
MR-3	3,46	0,28	-0,30	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	89,49	92,40	0,37	7,23	7,60	0,0823
MR-35	2,38	0,80	-0,51	2,76	0,00	0,00	0,00	0,11	5,82	21,99	47,35	21,03	96,29	0,00	3,71	3,71	0,0385
MR-40	2,04	0,64	-0,49	5,47	0,00	0,13	0,13	0,78	4,66	36,96	48,75	6,26	97,40	0,00	2,48	2,48	0,0254
MR-44	2,02	0,77	0,04	3,25	0,00	0,12	0,12	0,25	7,36	41,41	36,89	10,80	96,71	0,00	3,16	3,16	0,0327
MR-73	1,61	0,86	-0,56	4,93	0,00	1,36	1,36	2,23	16,85	45,99	28,14	4,15	97,36	0,00	1,28	1,28	0,0130
MR-97	2,38	1,22	1,82	10,88	0,00	0,17	0,17	0,58	6,78	31,98	35,90	19,22	94,45	0,97	4,41	5,38	0,0569
MR-101	2,37	1,19	1,88	10,96	0,00	0,12	0,12	0,37	6,48	33,00	36,89	18,03	94,78	0,76	4,33	5,10	0,0537
MR-109	2,86	0,61	-1,74	11,09	0,00	0,14	0,14	0,28	1,77	3,50	53,35	38,77	97,66	0,00	2,20	2,20	0,0225
MR-113	1,64	0,89	0,58	3,72	0,00	0,00	0,00	2,74	19,17	49,02	22,41	5,19	98,52	0,00	1,48	1,48	0,0150
MÁXIMO	3,46	1,22	1,88	11,09	0,00	1,36	1,36	2,74	19,17	49,02	53,35	89,49	98,52	0,97	6,63	7,60	0,08
MÍNIMO	1,61	0,28	-1,74	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	4,15	92,40	0,00	1,28	1,28	0,01
MÉDIA	**2,31**	**0,81**	**0,08**	**6,17**	**0,00**	**0,23**	**0,23**	**0,81**	**7,65**	**29,32**	**34,73**	**23,66**	**96,17**	**0,23**	**3,36**	**3,60**	**0,04**
D. PADRÃO	0,55	0,27	1,11	3,52	0,00	0,41	0,41	0,93	6,01	16,57	14,61	25,41	1,83	0,36	1,60	1,96	0,02

6.2 Análise de minerais pesados

6.2.1 Análise de massa de minerais pesados

Os resultados (Tab. 3) dos teores dos minerais pesados da Unidade Marrom variam de 0,332 a 4,268% enquanto que na Branca esses teores são menores e variam de 0,00005 a 1,577%. A despeito do fato dos teores de minerais pesados serem geralmente menores que 1%, algumas amostras da Unidade Marrom (MR61, MR62 e MR69) apresentam teores aproximados variando entre 2 a 4% de minerais densos, enquanto que na amostra MR3 da Unidade Branca o teor é o mais baixo encontrado.

Tabela 3: Lista dos teores de minerais pesados na fração 0,0125 a 0,062 mm (em negrito os maiores teores) das amostras das unidades Marrom e Branca, em ordem crescente de teor.

Ponto	Amostra	Fração total (g) (0,125-0,062mm)	Fração M.P. (g)	Teor (%)	UNIDADE
M 49	MR-102	29,9385	0,0994	0,332	UNIDADE MARROM
M 48	MR-94	13,4147	0,0767	0,572	
M 42	MR-79	3,5745	0,0219	0,613	
M 52	MR-112	3,6667	0,0237	0,646	
M 42	MR-78	5,8549	0,0384	0,656	
M 8.1	MR-14	10,9976	0,0873	0,794	
M 31A	MR-50	8,0346	0,0914	1,138	
M 42	MR-80	3,4773	0,0427	1,228	
M 8	MR-08	10,5078	0,196	1,865	
M 36	MR-61	2,3869	0,057	**2,388**	
M 40	MR-69	5,6931	0,1554	**2,73**	
M 36	MR-62	1,7572	0,075	**4,268**	
M 7	MR-3	132,2429	0,0074	0,00005	UNIDADE BRANCA
M 31A	MR-44	11,254	0,0366	0,325	
M 31	MR-40	4,3774	0,0159	0,363	
M 52	MR-113	4,0602	0,0183	0,451	
M 48	MR-97	11,9299	0,0554	0,464	
M 48	MR-101	12,0225	0,0572	0,476	
M 50	MR-109	29,8951	0,1982	0,663	
M 27	MR-35	20,4833	0,1775	0,867	
M 41	MR-73	3,0001	0,0473	1,577	

6.2.2 Análise de minerais pesados

Muitas partículas de minerais leves da Unidade Marrom apresentaram-se impregnadas com películas ferruginosas, sendo necessário a sua limpeza com ácido oxálico visando sua melhor identificação óptica. Este problema não ocorreu no caso das amostras da Unidade Branca.

A análise dos minerais pesados em ambas as unidades revelou uma grande similaridade entre estes depósitos (Tab. 4). Os teores dos minerais pesados transparentes com relação aos opacos variam de 25 a 82 % na unidade Marrom (Tab. 4) e de 45 a 82% na Unidade Branca (Tab. 4). As amostras marrons apresentam distribuição heterogênea de

minerais transparentes não micáceos, com diminuição seguida de aumento nos teores de transparentes de montante a jusante (Fig. 4). Já na unidade Branca, a distribuição dos teores de transparentes é crescente até o rio Pará, a partir dessa região os transparentes mantêm distribuição homogênea e diminuição nos teores de transparentes (Fig. 4).

Em relação aos minerais pesados transparentes não micáceos, estas unidades apresentam uma suíte de minerais ultra-estáveis à meta-estáveis, constituída de zircão, turmalina, estaurolita, rutilo e cianita, os quais ocorrem em todas as amostras estudadas e, subordinadamente, sillimanita, andalusita, anfibólio, epídoto, anatásio, espinélio e monazita (Tab. 4, Fig. 5, Anexo II - A).

Da mesma forma, a somatória ZTR (Tab. 4, Fig. 6) revela a grande semelhança entre as duas unidades. A Unidade Marrom apresenta valores de ZTR entre 59 e 91% e a Branca entre 55 a 91%; os valores máximos ocorrem nos pontos M 31A e M 36 (Marrom) e M27, M31 e M 31A (Branca). O alto valor é explicado pelo aumento na porcentagem de zircão, o que, conseqüentemente representa aumento na maturidade mineralógica destas amostras. A única exceção é a amostra MR62 da Unidade Marrom, que apresenta 3% de epídoto e anfibólio.

As feições dos principais minerais pesados transparentes são descritas abaixo :

O zircão é o mineral de maior freqüência nos sedimentos, varia entre 18 e 67% da composição dos minerais pesados na Unidade Marrom e 9 a 59% na Branca (Tab 4 e Anexo II - B). Geralmente incolor, às vezes marrom e róseo, com predomínio de formas anédricas subarredondadas a arredondadas (ver detalhes em morfologia do zircão). Pode apresentar inclusões de minerais transparentes prismáticos a aciculares e opacos e nota-se com freqüência a presença de anéis de crescimento e fraturas.

A turmalina é também muito abundante nos sedimentos amostrados, varia de 9 a 37% na Unidade Marrom e de 15 a 43% na Branca (Tab. 4 e Anexo II - C). Apresenta colorações dominantemente marrons com formas que variam de anédricas subarredondadas a arredondadas (ver detalhes em morfologia da turmalina). Alguns grãos apresentam inclusões de minerais prismáticos a aciculares e opacos, embora estas não sejam muito abundantes e são de difícil identificação.

O rutilo tem freqüência entre 5 a 22% nas amostras da Unidade Marrom e de 4 a 19% na Branca (Tab. 4). Geralmente é vermelho alaranjado, mas pode ser amarelo dourado ou amarelo alaranjado, geralmente subédrico a anédrico, arredondado, com estrias, geminações e raras inclusões, às vezes com fraturas.

A estaurolita possui freqüência entre 3 e 26% da composição dos minerais pesados nas amostras da Unidade Marrom e de 5 a 39% na Branca (Tab. 4). Freqüentemente apresenta cor amarelo claro, forma anédrica e angulosa; esporadicamente apresenta feições de corrosão e inclusões, e raramente ocorre sob a forma subédrica e com clivagem.

A cianita varia entre 2 e 19% na composição dos minerais pesados das amostras estudadas da Unidade Marrom e de 1 a 16% na Branca (Tab. 4). Mineral incolor, raramente apresenta coloração azul, subédrico a euédrico, pouco arredondado, tabular, com duas direções de clivagem evidentes, às vezes com inclusão de minerais aciculares.

A sillimanita ocorre em 54% das amostras da Unidade Marrom com freqüência de 1 a 4% e em 22% das amostras da Unidade Branca variando de 1 a 7% na composição das amostras. Mineral incolor, subédrico, subangular, tabular com uma direção de clivagem evidente (Tab. 4).

O epídoto é raro nas amostras estudadas e ocorre nas amostras MR 61, MR 62 e MR 102 e como traço nas amostras MR50, MR112 da Unidade Marrom e na amostra MR3 com freqüência de 1% e como traço nas lâminas MR35, MR73, MR97, MR101 da Unidade Branca (Tab. 4). Mineral verde limão, anédrico, anguloso e raro. É mais comum no centro-sul da área estudada.

O anfibólio é raro, sua freqüência é de 2 e 3% nas lâminas MR61 e MR62 respectivamente, e como traço na amostra MR78 da Unidade Marrom, também como traço nas amostras MR3, MR101, MR109 e MR113 da Unidade Branca (Tab. 4). Mineral incolor a verde claro, também verde escuro, subédrico a anédrico e anguloso, com uma direção de clivagem e aspecto fibroso. É mais comum no centro-sul da área estudada.

O espinélio é raro e está presente como traço nas amostras MR62, MR69 e MR95 da Unidade Marrom (Tab. 4). Mineral verde escuro, anédrico e arredondado.

A monazita é rara e está presente como traço apenas na amostra MR 62 da Unidade Marrom (Tab. 4). Mineral incolor, anédrico e subarredondado.

Tabela 4 – Freqüência relativa (%) de minerais pesados nas unidades Marrom e Branca

PONTO	MARROM	Z	Tur	R	Es	C	An	And	Sil	Ep	Anf	Esp	M	O	T	ZTR
M 08	MR 008	34	20	7	21	12	2	3	1	0	0	0	0	75	25	61
M 8.1	MR 014	27	32	5	19	4	TR	11	2	0	0	0	0	50	50	70
M 31 A	MR 050	55	21	15	3	6	TR	0	TR	0	0	0	0	41	59	91
M 36	MR 061	46	22	10	8	5	0	TR	3	3	3	0	0	60	40	78
M 36	MR 062	67	9	10	6	5	TR	0	TR	1	2	TR	TR	70	30	86
M 40	MR 069	37	9	13	22	19	0	TR	TR	0	0	TR	0	60	40	59
M 42	MR 078	34	14	17	20	15	0	0	TR	0	TR	0	0	32	68	65
M 42	MR 079	30	16	18	20	16	0	0	TR	0	0	0	0	25	75	64
M 42	MR 080	32	11	22	18	15	0	0	1	0	1	0	0	34	66	65
M 48	MR 094	20	37	9	21	9	0	TR	4	0	0	0	0	40	60	66
M 48	MR 095	31	23	14	23	6	0	0	3	0	0	TR	0	53	47	68
M 49	MR 102	18	32	12	26	10	0	TR	2	0	0	0	0	50	50	61
M 52	MR 112	34	14	16	24	12	0	0	TR	TR	0	0	0	18	82	64
	MÉDIA	36	20	13	18	10	0	2	2	0	1	0	0	47	53	69
PONTO	BRANCA	Z	Tur	R	Es	C	An	And	Sil	Ep	Anf	Esp	M	O	T	ZTR
M 07	MR 003	9	43	4	22	11	1	3	7	0	TR	0	0	40	60	58
M 27	MR 035	50	16	19	5	10	0	0	TR	TR	0	0	0	18	82	85
M 31	MR 040	59	15	17	7	1	1	0	TR	0	0	0	0	24	76	91
M 31 A	MR 044	54	22	14	4	5	1	0	TR	0	0	0	0	19	81	90
M 41	MR 073	26	31	8	19	16	0	0	TR	TR	0	0	0	55	45	65
M 48	MR 097	19	23	13	31	14	TR	TR	TR	TR	0	0	0	44	56	55
M 48	MR 101	20	29	6	39	6	TR	TR	TR	TR	TR	0	0	53	47	55
M 50	MR 109	45	19	16	16	3	TR	0	1	0	TR	0	0	41	59	80
M 52	MR 113	49	22	5	16	8	TR	TR	TR	0	TR	0	0	42	58	72
	MÉDIA	37	24	11	18	8	1	1	2	0	0	0	0	37	63	72

Legenda: Z = zircão, Tur = turmalina, R = rutilo, Es = estaurolita, C = cianita, An = anatásio, And = andalusita, Sil = sillimanita, Ep = epídoto, Anf = anfibólio, Esp = espinélio, M = monazita, O = opacos, T = transparentes, TR = traço, ZTR = zircão+turmalina+rutilo.

Estudo das variedades de zircão e turmalina

O zircão apresenta: 1) 31 a 85% de formas subarredondadas a arredondadas na Unidade Marrom e 41 a 66% na Branca; 2) 2 a 34% de formas angulosas a subangulosas na Unidade Marrom e 12 a 26% na Branca; 3) 4 a 24% de formas subédricas a euédricas na Marrom e 5 a 26% na Branca; 4) 1 a 6% de formas muito angulosas na Unidade Marrom e 1 a 26% na Unidade Branca; 5) 1 a 21% de formas bem arredondadas na Unidade Marrom e 3 a 25% na Unidade Branca (Tab. 5 e Anexo II – B). A análise de morfologia do zircão indicou predomínio de formas anédricas subarredondadas a arredondadas em ambas unidades, nas quais mais de 50% dos grãos de zircão estão nesta categoria textural. Os grãos de zircão apresentam-se dominantemente incolores em ambas unidades (90 a 99% na Marrom e 92 a 100% na Branca) e as variedades coloridas mostram tons marrom e róseo.

A turmalina apresenta: 1) 60 a 78% de grãos subarredondados a arredondados na Unidade Marrom e 58 a 84% na Branca, 2) 7 a 27% de grãos angulosos a subangulosos na Marrom e 8 a 22% na Branca, 3) 4 a 15% de grãos euédricos a subédricos na Marrom e 2 a 18% na Branca, 4) muito arredondados de 1 a 11% na Marrom e 0 a 11% na Branca, 5) 0 a 2% de grãos muito angulosos na Marrom e 0 a 1% na Branca (Tab. 6 e Anexo II - C). Ocorrem raramente grãos com crescimento secundário com freqüência de 1% na Unidade Marrom (M8 e M42) e de 1 a 2% na Unidade Branca (M7, M31, M31A e M48); nota-se que este crescimento secundário está com a forma arredondada indicando retrabalhamento sedimentar. A análise morfológica da turmalina não mostra diferenças entre as unidades ocorrendo predomínio das formas subarredondadas a arredondadas. As colorações variam de marrom, marrom esverdeado, marrom amarelado, marrom róseo, verde escuro, bicolor (marrom com centro verde) com maioria marrom, de 60 a 91% na Marrom e de 61 a 89% na Branca (Tab. 7).

Estudo da morfologia do quartzo

A maioria dos grãos de quartzo na Unidade Marrom são subangulosos (35 a 67%) a subarredondados (25 a 65%) e em menor freqüência, muito angulosos (3 a 11%), bem arredondados apenas na amostra MR95 (3%) e euédrico apenas na amostra MR62 (1%). A unidade Branca é muito semelhante, com maior freqüência de grãos subangulosos (42 a 81%) a subarredondados (19 a 64%), e em menor freqüência os grãos bem arredondados apenas nas amostras MR3 e MR44 (1 a 2%), euédrico apenas na MR101 (1%) (Tab. 8). A análise morfológica do quartzo mostra a similaridade entre as duas unidades com predomínio das formas subangulosas a angulosas, médias de 54,31% na Unidade Marrom e 59,89% na Unidade Branca.

Tabela 5 – Variedades de zircão (%)

UNIDADES		MORFOLOGIA					COR	
PONTO	MARROM	eued/sube	m ang	ang/suban	subarr/arr	b arred	inc	col
M 08	MR 008	24	0	14	53	9	98	2
M 8.1	MR 014	18	0	34	41	7	99	1
M 31 A	MR 050	4	0	13	65	18	95	5
M 36	MR 061	10	0	2	85	3	94	4
M 36	MR 062	12	1	10	56	21	97	3
M 40	MR 069	14	0	11	69	6	93	7
M 42	MR 078	8	1	18	66	7	98	2
M 42	MR 079	20	0	13	55	12	90	10
M 42	MR 080	11	1	16	53	19	95	5
M 48	MR 094	24	6	24	31	15	93	7
M 48	MR 095	12	3	25	58	2	97	3
M 49	MR 102	9	0	22	66	3	98	2
M 52	MR 112	17	0	11	71	1	94	6
	MÉDIA	14,08	1,75	16,38	59,15	9,46	95,46	4,38
PONTO	BRANCA	eued/sube	m ang	ang/suban	subarr/arr	b arred	inc	col
M 07	MR 003	26	0	12	59	3	100	0
M 27	MR 035	5	4	20	59	12	96	4
M 31	MR 040	7	1	18	49	25	94	6
M 31 A	MR 044	8	5	18	63	6	98	2
M 41	MR 073	10	10	14	41	25	92	8
M 48	MR 097	17	5	22	43	13	97	3
M 48	MR 101	5	26	18	46	5	100	0
M 50	MR 109	12	4	15	66	3	100	0
M 52	MR 113	6	4	26	50	14	97	3
	MÉDIA	10,67	6,56	18,11	52,89	11,78	97,11	2,89

Legenda: Eued/sube = grãos euédricos ou subédricos, m ang = muito angulosos, ang/suban = angulosos a subangulosos, subarr/arr = subarredondados a arredondados, b arred = bem arredondados, inc = incolor e col = colorido.

Tabela 6: Morfologia da turmalina (%)

UNIDADE		MORFOLOGIA				
PONTO	MARROM	eued/sube	m ang	ang/suban	subarr/arr	b arred
M 08	MR 008	15	0	17	64	4
M 8.1	MR 014	5	0	16	77	2
M 31 A	MR 050	10	0	7	78	5
M 36	MR 061	4	0	20	75	1
M 36	MR 062	6	2	18	71	3
M 40	MR 069	4	0	18	77	1
M 42	MR 078	9	2	25	61	3
M 42	MR 079	12	0	24	62	2
M 42	MR 080	9	0	27	62	2
M 48	MR 094	10	0	18	67	5
M 48	R 095	10	0	18	66	6
M 49	MR 102	4	0	18	74	4
M 52	MR 112	12	2	21	54	11
	MÉDIA	8,46	0,46	19	68,15	3,77
PONTO	BRANCA	eued/sube	m ang	ang/suban	subarr/arr	b arred
M 07	MR 003	8	1	22	64	5
M 27	MR 035	2	0	13	84	1
M 31	MR 40	4	0	8	77	11
M 31 A	MR 044	4	0	11	78	7
M 41	MR 073	3	0	17	77	3
M 48	MR 097	18	0	19	59	4
M 48	MR 101	6	0	22	69	3
M 50	MR 109	3	0	16	79	2
M 52	MR 113	6	0	17	77	0
	MÉDIA	6	0,11	16,11	73,22	4

Legenda: Eued/sube = grãos euédricos ou subédricos, m ang = muito angulosos, ang/suban = angulosos a subangulosos, subarr/arr = subarredondados a arredondados e b arred = bem arredondados.

Tabela 7: Cores da turmalina (%)

UNIDADE		CORES					
PONTO	MARROM	mar	ver	az	ama	mar a ver	mar a az
M 08	MR 008	65	16	2	0	16	1
M 8.1	MR 014	75	13	3	0	9	0
M 31 A	MR 050	78	8	0	0	11	3
M 36	MR 061	77	8	0	0	14	1
M 36	MR 062	91	5	1	1	2	0
M 40	MR 069	80	10	1	0	9	0
M 42	MR 078	69	9	2	0	20	0
M 42	MR 079	60	15	2	1	20	2
M 42	MR 080	70	9	0	0	20	1
M 48	MR 094	80	8	10	2	0	0
M 48	MR 095	70	12	1	0	16	1
M 49	MR 102	71	13	2	0	13	1
M 52	MR 112	71	16	4	0	7	2
	MÉDIA	73,62	10,92	2,15	0,31	12,08	0,92
PONTO	BRANCA	mar	ver	az	ama	mar a ver	mar a az
M 07	MR 003	67	13	1	0	18	1
M 27	MR 035	82	8	1	0	9	0
M 31	MR 40	83	9	0	0	8	0
M 31 A	MR 044	73	14	2	0	11	0
M 41	MR 073	85	6	0	0	9	0
M 48	MR 097	61	13	1	0	23	2
M 48	MR 101	84	10	2	0	4	0
M 50	MR 109	87	3	5	0	5	0
M 52	MR 113	89	5	1	0	5	0
	MÉDIA	79	9	1,44	0	10,22	0,33

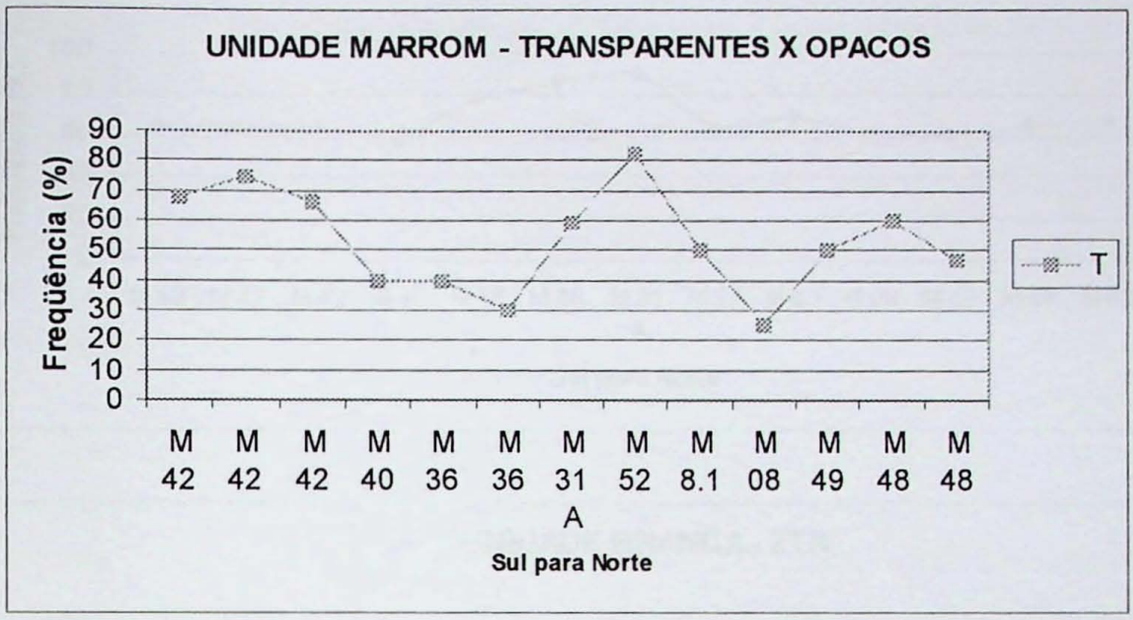
Legenda: mar = marrom, ver = verde, az = azul, ama = amarelo, mar a ver = marrom a verde, mar a az = marrom a azul.

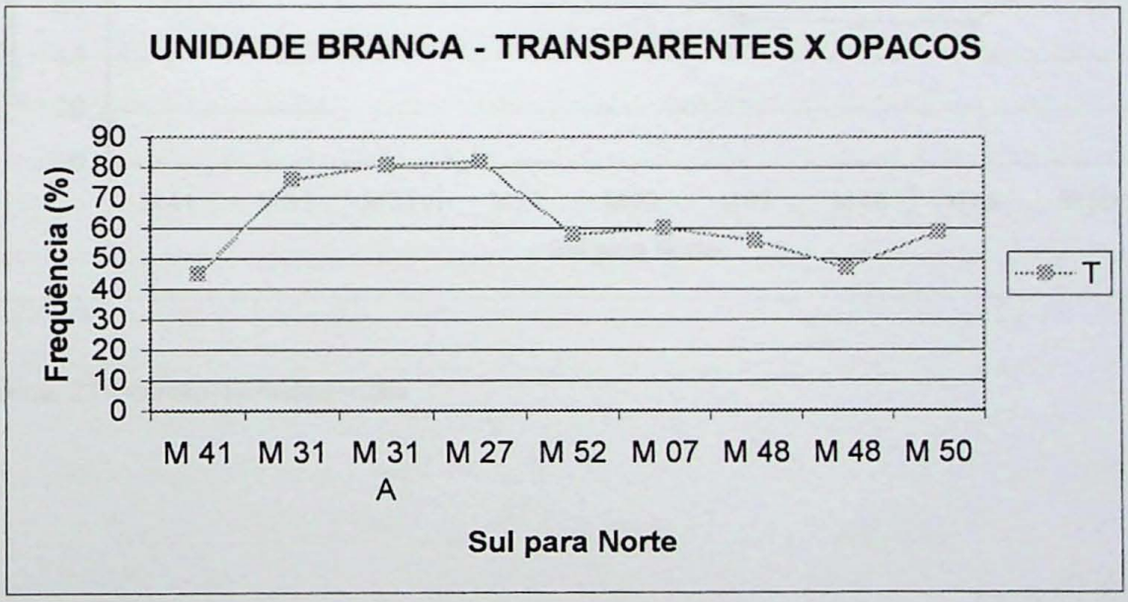
Tabela 8: Morfologia do quartzo (%)

UNIDADE		MORFOLOGIA				
PONTO	MARROM	EUED	M ANG	SUBANG	SUBAR	M ARR
M 08	MR 008	0	0	59	41	0
M 8.1	MR 014	0	0	46	54	0
M 31 A	MR 050	0	0	35	65	0
M 36	MR 061	0	2	46	52	0
M 36	MR 062	1	6	42	51	0
M 40	MR 069	0	5	67	28	0
M 42	MR 078	0	0	56	44	0
M 42	MR 079	0	0	52	48	0
M 42	MR 080	0	11	64	25	0
M 48	MR 094	0	0	61	39	0
M 48	MR 095	0	0	64	33	3
M 49	MR 102	0	0	56	44	0
M 52	MR 112	0	0	58	42	0
	MÉDIA	0,08	1,85	54,31	43,54	0,23
PONTO	BRANCA	EUED	M ANG	SUBANG	SUBAR	M ARR
M 07	MR 003	0	0	79	19	2
M 27	MR 035	0	0	42	58	0
M 31	MR 040	0	0	36	64	0
M 31 A	MR 044	0	0	45	54	1
M 41	MR 073	0	0	81	19	0
M 48	MR 097	0	0	57	43	0
M 48	MR 101	1	0	74	25	0
M 50	MR 109	0	0	66	34	0
M 52	MR 113	0	0	58	42	0
	MÉDIA	0,11	0	59,89	39,78	0,33

Legenda: Eued/sube = grãos euédricos ou subédricos, m ang = muito angulosos, ang/suban = angulosos a subangulosos, subarr/arr = subarredondados a arredondados, b arred = bem arredondados.

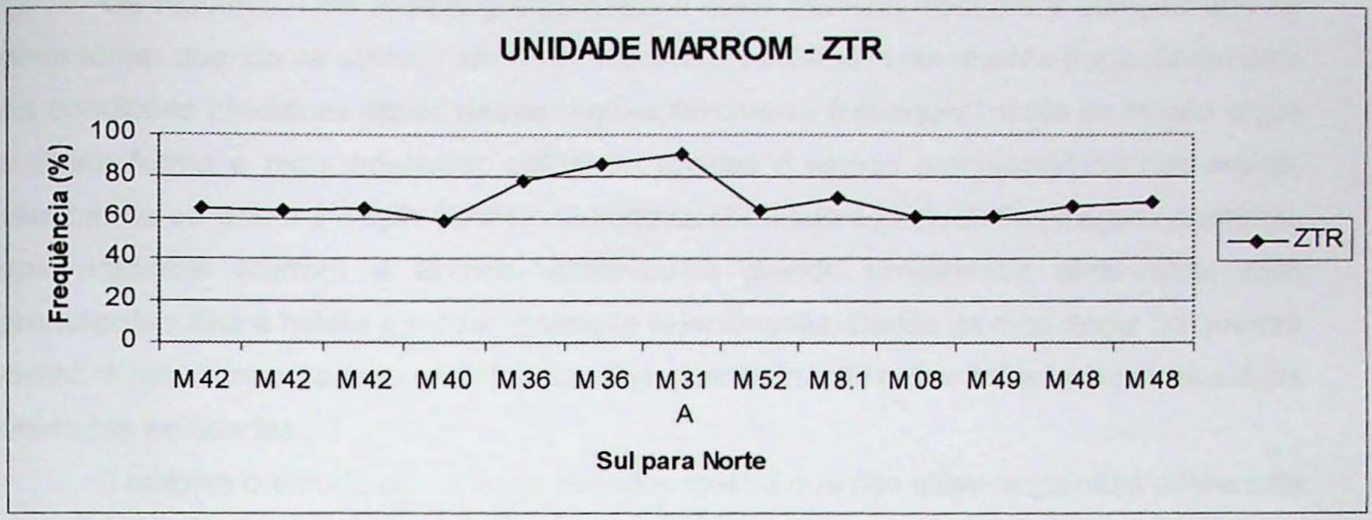
Figura 4: Gráficos mostrando a relação entre minerais pesados transparentes e opacos

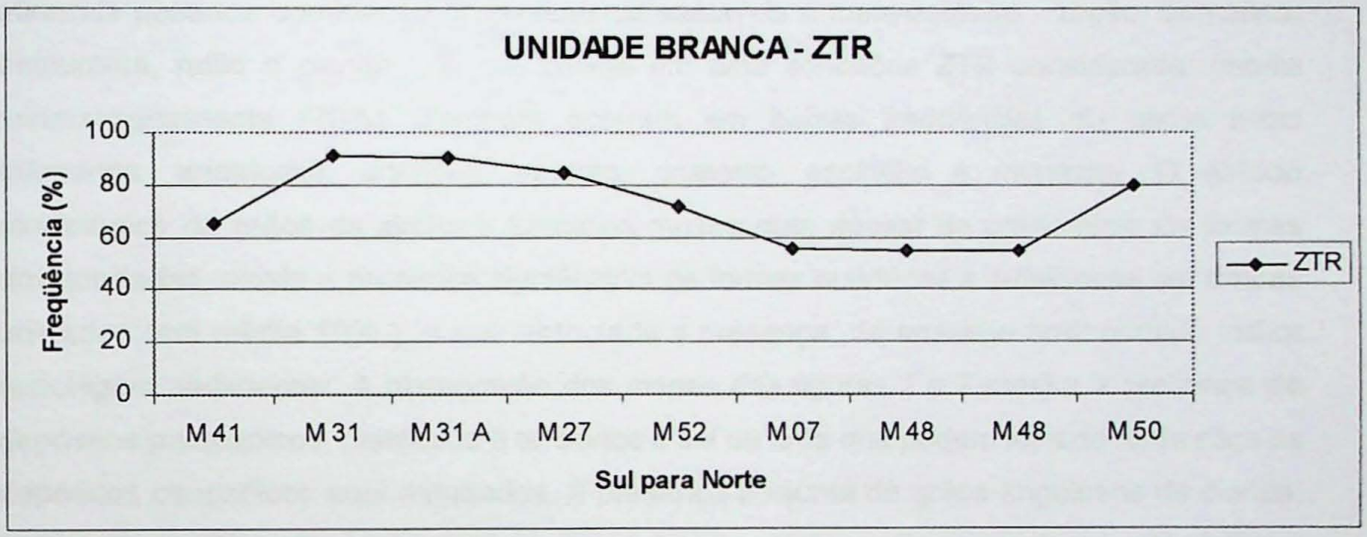




(Legenda: T=transparentes)

Figura 6: Gráficos do índice ZTR





Legenda: ZTR=zircão+turmalina+rutilo

7. Interpretação e discussão dos resultados

Os resultados de análise granulométrica deste trabalho mostram a atenção que se deve tomar quando se utilizam amostras superficiais coletadas em regiões tropicais úmidas. As condições climáticas atuais destas regiões favorecem o enriquecimento da fração argila e desta forma é mais adequado utilizar-se apenas o estudo granulométrico das areias, eliminando-se assim a fração pelítica. Quanto ao resultado do estudo das frações arenosas das unidades Marrom e Branca, observou-se grande similaridade entre elas, com granulações fina a média e moderadamente selecionadas. Dados da morfologia do quartzo também apontam para esta semelhança, com predomínio de grãos subangulosos nas duas unidades estudadas.

Também o estudo de minerais pesados mostra que não existem grandes diferenças entre as duas unidades em foco. Ambas as unidades apresentam uma assembléia de minerais pesados dominada por minerais ultraestáveis a meta-estáveis - zircão, turmalina, estaurolita, rutilo e cianita -, o que reflete em uma somatória ZTR considerada matura mineralogicamente (70%). Também ocorrem em baixas freqüências ou como traço sillimanita, andalusita, anfibólio, epídoto, anatásio, espinélio e monazita. O estudo morfológico de grãos de zircão e turmalina mostra que, apesar do predomínio de formas arredondadas, existe a presença significativa de formas euédricas a subédricas em ambas unidades (em média 10%), o que associado a presença de anatásio arredondado indica reciclagem sedimentar. A observação dos mapas das figuras 2 e 7 mostra a presença de depósitos paleozóicos, cretáceos e terciários a sul da área que podem ter sido fonte para os depósitos cenozóicos aqui estudados. A presença conjunta de grãos angulosos de cianita, estaurolita e sillimanita indica fonte metamórfica de médio a alto grau relacionada, à Faixa de Dobramentos Tocantins - Araguaia. Grãos arredondados de zircão, turmalina e anatásio são indícios de proveniência sedimentar associada a depósitos paleozóicos, cretáceos e/ou terciários ocorrentes nesta região, mais provavelmente as formações Ipixuna e Barreiras.

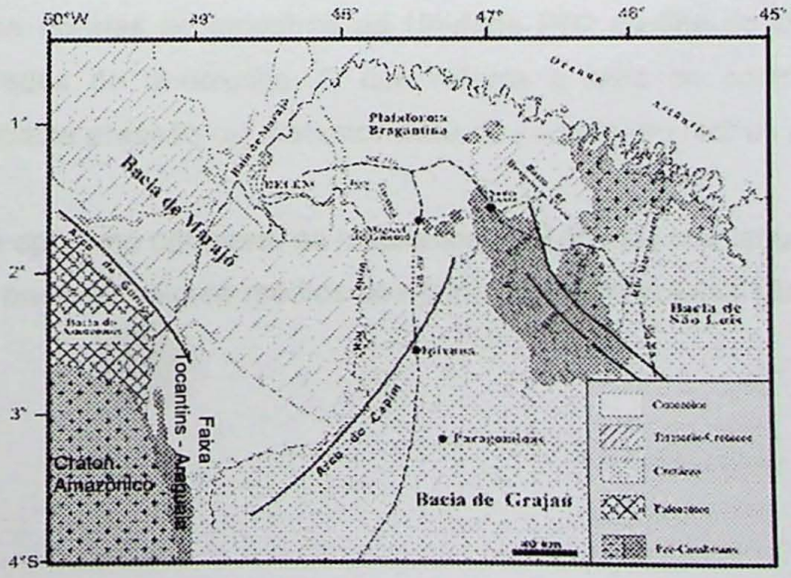
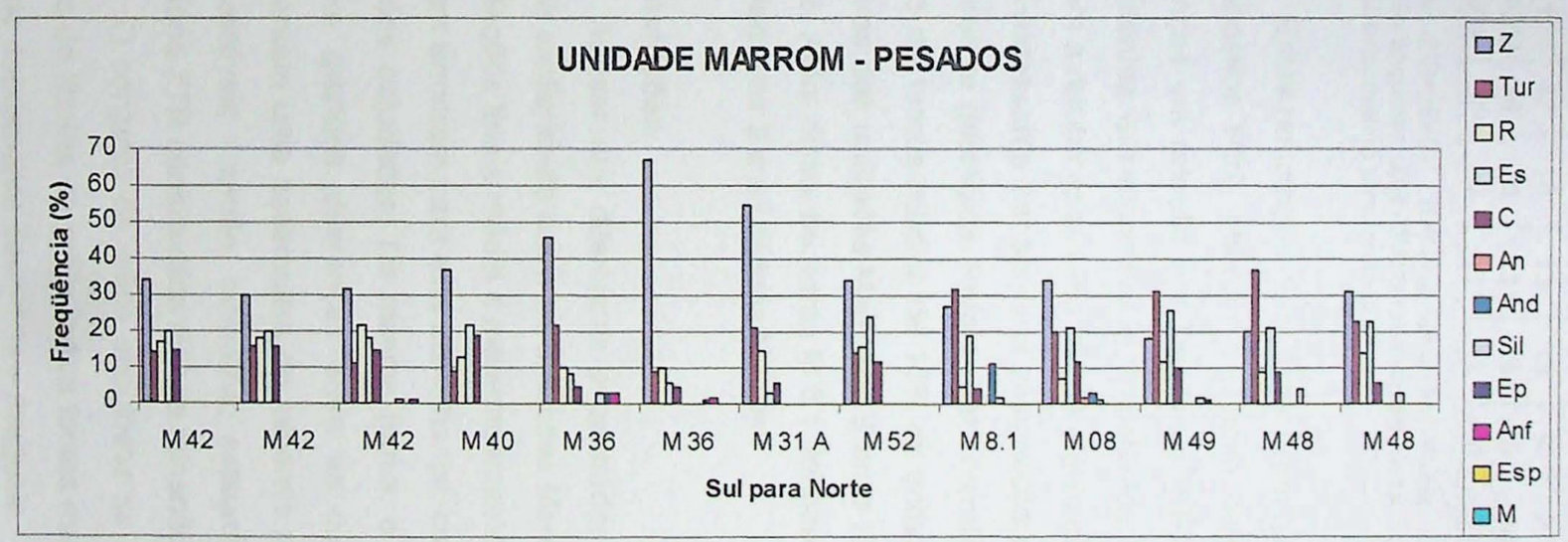


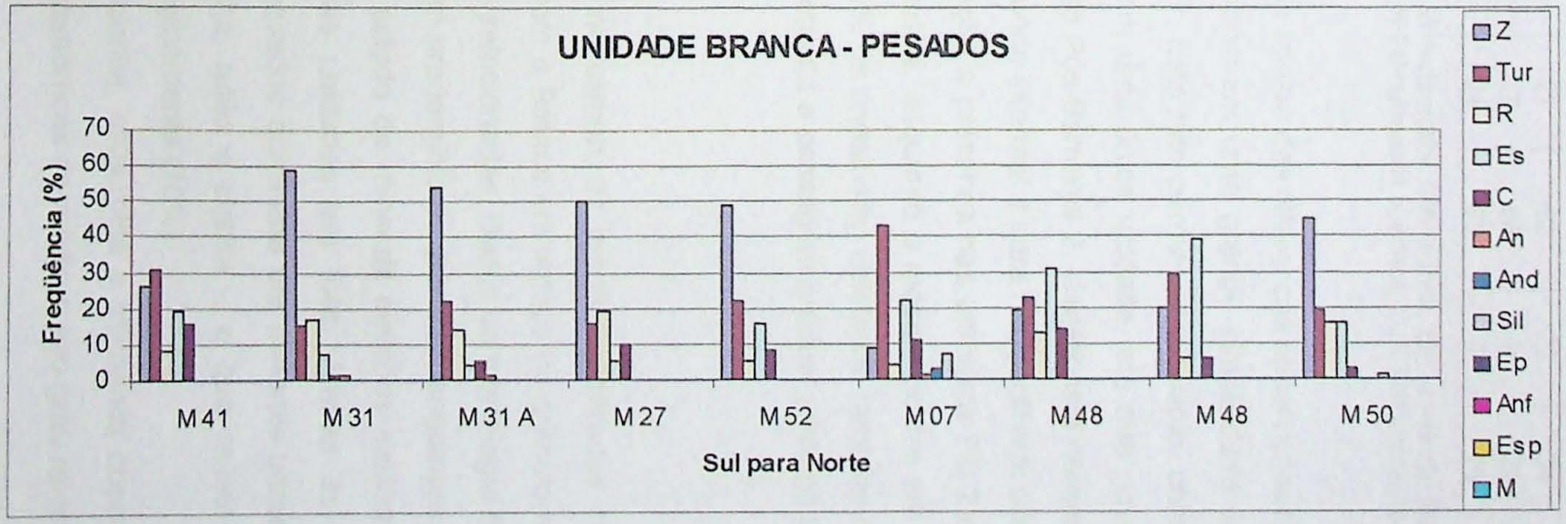
Figura 7: Mapa geológico das proximidades da área de estudo. Segundo Nascimento & Góes (2005).

A grande extensão geográfica da área de estudo permitiu notar algumas variações de conteúdo de minerais pesados ao longo do transecto de aproximadamente 550 km. Ao observar a distribuição dos minerais pesados da Unidade Marrom (Fig. 5) em direção à Foz do Rio Tocantins, há pequeno aumento seguido de diminuição de zircão e aumento de turmalina. Ainda nesta mesma unidade estão presentes, embora em pequena porcentagem (3-6%), grãos de anfibólio e epidoto à montante do rio Tocantins (ponto M36), mineral raro nas amostras que está presente apenas como traço na porção nordeste da região. Além disso, observa-se um teor mais elevado de minerais pesados na fração estudada do ponto M36, variando de 2 a 4% (ver Tab. 3). Já na Unidade Branca (Tab. 4), de sul a norte, há decréscimo do teor de zircão e aumento de estaurolita (Fig. 5). Um outro fato interessante diz respeito à presença de andalusita. As amostras coletadas na ilha do Marajó (MR8 - ponto M8 e MR14 - ponto M 8.1 da Unidade Marrom e M 3 – ponto M7 da Unidade Branca) são as únicas que apresentam teores significativos de andalusita (em média 6%). Estas pequenas variações podem ser explicadas de várias formas. No caso do epídoto e do anfibólio, pode estar ligado a variações na fonte ou ao fato do ponto M 36 apresentar-se menos alterado, ainda preservando os minerais mais instáveis. Se isso for verdade, as demais amostras teriam originalmente baixos teores de anfibólios e epídoto que seriam lixiviadas pelos processos intempéricos atuais. Segundo Morton (1984) e Morton & Hallsworth (1994), anfibólios cálcicos e epídotos são bastante instáveis sob intemperismo com águas ácidas, como acontece hoje na região amazônica. Esta possibilidade pode ser testada em estudos futuros fazendo-se análises de minerais pesados desta região em amostras coletadas em subsuperfíce. O caso da andalusita não pode ser explicado pelo grau maior ou menor de alteração das amostras, já que este mineral é considerado relativamente estável sob condições intempéricas (Morton 1984, Morton & Hallsworth 1994). Assim, sua ocorrência pode estar ligada a mudanças na fonte sedimentar. Neste caso, deve-se salientar a semelhança destes resultados mineralógicos com aqueles obtidos por Valle (2006), onde apenas as amostras da Unidade PB2 da Ilha do Marajó apresentam teores mais elevados de andalusita. O que reforça a idéia de contribuição de fontes metamórficas de baixa pressão ou metamorfismo de contato em rochas pelíticas (Mange & Maurer 1992).

Também é oportuno comparar os resultados aqui obtidos com aqueles apresentados por Valle (2006), onde os valores médios dos principais constituintes são apresentados na Tabela 9 abaixo:

Figura 5: Gráfico de minerais pesados





Legenda: Z = zircão, Tur = turmalina, R = rutilo, Es = estaurolita, C = cianita, An = anatásio, And = andalusita, Sil = silimanita, Ep = epídoto, Anf = anfibólio, Esp = espinélio, M = monazita, Rzi = índice rutilo/zircão, O = opacos, T = transparentes, TR = traço, ZTR = zircão+turmalina+rutilo

Tabela 9: Dados médios dos principais minerais pesados e da morfologia do zircão e da turmalina da unidades PB2, PB1, Marrom e Branca.

	MINERAIS					MORFOLOGIA					
UNIDADE	ZIR	TUR	RUT	EST	CIA	ZIR EU	ZIR AN	ZIR ARR	TUR EU	TUR AN	TUR ARR
PB 2	33	27	14	13	8	27	22	54	16	25	60
PB 1	42	18	13	13	9	27	21	52	22	34	44
MARROM	36	20	13	18	10	14	17	69	8	20	72
BRANCA	37	24	11	18	10	11	24	65	6	16	78

Legenda: ZIR=zircão, TUR=turmalina, RUT=rutilo, EST=estaurolita, CIA=cianita, ZIR eu=zircão euédrico, ZIR AN=zicão anguloso, ZIR ARR=zircão arredondado, TUR EU=turmalina euédrica, TUR AN=turmalina angulosa e TUR ARR=turmalina arredondada

Estes resultados (Tab. 9) mostram que apesar das diferenças observadas no campo, os depósitos PB2, Marrom e Branco demonstram uma grande similaridade entre si e diferenças em relação aos Depósitos PB-1. Este fato permite, a princípio, considerá-los equivalentes estratigráficos e englobá-los em uma única unidade, até que novos dados venham a refutar essa idéia, na denominação Pós-Barreiras 2. Manter esta nomenclatura é mais interessante por ser uma designação ainda informal e para não proliferar mais nomes na literatura geológica. Reforça esta correlação a presença nas amostras PB-2 da ilha do Marajó de teores médios de 10% de andalusita, enquanto o mesmo ocorre em todas as amostras das unidades Marrom e Branca (6% de andalusita) coletadas também na Ilha do Marajó. Além disso, no ponto M 8.1, foi observada a passagem gradual entre os Depósitos Pós-Barreiras 2 e a Unidade Marrom.

8. Conclusões

Apesar das diferenças encontradas no campo, os estudos realizados mostram a grande similaridade entre as unidades Marrom e Branca em termos de granulometria com granulações fina a média e moderadamente selecionadas. Dados da morfologia do quartzo também apontam para esta semelhança, com predomínio de grãos subangulosos nas duas unidades estudadas. Da mesma forma, o estudo de minerais pesados mostra que não existem grandes diferenças entre as duas unidades em foco. Ambas as unidades apresentam uma assembléia de minerais pesados dominada por minerais ultraestáveis a meta-estáveis - zircão, turmalina, estaurolita, rutilo e cianita -, o que reflete em uma somatória ZTR considerada matura mineralogicamente (70%).

O conjunto de grãos angulosos de cianita, estaurolita e sillimanita observados no estudo de lâmina de grãos indica fontes metamórficas de médio a alto grau relacionadas à faixa de dobramento Tocantins – Araguaia.

Grãos arredondados de zircão, turmalina e anatásio são indícios de proveniência sedimentar associada a depósitos paleozóicos, cretáceos e/ou terciários ocorrentes nesta região, mais provavelmente as formações Ipixuna e Barreiras.

A presença de anfibólio e epídoto pode indicar variações de fonte ou estar associada à instabilidade desses minerais (Morton,1984 e Morton & Hallsworth,1994). Já a ocorrência isolada da andalusita na ilha sugere fonte distinta dos demais pontos da área de estudo, pois este mineral é relativamente estável a condições intempéricas (Morton 1984, Morton & Hallsworth 1994).

Os resultados da tabela 9 mostram que existem semelhanças das unidades Marrom e Branca com as amostras PB-2, esta correlação sugere a sua inserção provisória neste conjunto, já que também foi observada a passagem gradual entre Unidade Marrom e Depósitos Pós-Barreiras 2.

9. Referências bibliográficas

Folk, R. L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks.* Hemphill Publ. Company,Austin, Texas, 186pp.

Hubert, J. F. (1962) A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *In* J. Sediment. Petrol., **32 (3)** : 440 - 450

Mange, M. A. & Maurer, H. F. W. 1992. *Heavy minerals in colour.* Published by Chapman & Hall, London, 147pp.

Morton A. C. 1984. Stability of detrital heavy minerals in Tertiary sandstones of the North Sea Basin provenance studies. Clay Miner **19**: 287-308

Morton, A. C. & Hallsworth, C.1994. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, **90:** 241-256

Morton A.C. & Hallsworth, C. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sededimentary Geology* **124**: 3-29.

Nascimento, M. S. & Góes, A. M. (2005). Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das formações Ipixuna e Barreiras, região do Rio capim, sul da sub-bacia de Cametá. *Revista Brasileira de Geociências* **31**:49-58

Pettijohn, F.J.; Potter,P.E.; Siever, R. 1987. *Sand and sandstones.* Second edition. Springer-Verlag, New York, 553pp.

Rossetti, D.F. 2006a. *Integração de Dados Biológicos e Geológicos no Baixo Tocantins e Ilha do Marajó: Chave na Análise de Biodiversidade.* Projeto de Auxílio à Pesquisa FAPESP www.dsr.inpe.br/marajo/imagens_mapa1.htm, acessado em 06/08/2006.Rossetti (2006a) página web

Rossetti, D.F. 2006b. *Integração de Dados Biológicos e Geológicos no Baixo Tocantins e Ilha do Marajó: Chave na Análise de Biodiversidade.* Projeto de Auxílio à Pesquisa FAPESP. Relatório Parcial.

Rossetti, D. F. & Góes, A. M. 2004. Geologia. In: O Neógeno da Amazônia Oriental. p:13-52 Belém, Editora Museu Paraense Emílio Goeldi.

Rossetti, D. F., Góes, A. M. 2001. Imaging Upper Tertiary to Quaternary deposits from northern Brazil, applying ground penetrating radar. Revista Brasileira de Geociências,**31**:195 – 202.

Rossetti, D. F; Toledo, P.M. & Góes, A. M. 2005. New geological framework for Western Amazonia (Brazil) amd implications for biogeography and evolution. *Quaternary Research*, **63:** 78-89.

Rossetti, D. F.;Truckenbrodt, W. & M.; Góes, A. M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências da Terra **1**: 25-74.

SÁ, J. H.S. 1969. Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região bragantina, estado do Pará. Boletim Geologia **3**: 20-36.

Suguio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 317pp.

20952
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
– BIBLIOTECA –

Uehara, R. Y. 2006 O Estudo da Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) do quartzo. Relatório final de iniciação científica PIBIC/FATEC-SP/CNPq. 30p.

Valle, E. S. T. B. 2006. Estudo de Minerais Pesados em Depósitos Plio-Pleistocênicos no Sudeste da Ilha do Marajó e Baixo Tocantins (PA) Curso de graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, 40pp.

Anexo I

Tabela de dados de análise granulométrica de distribuição total

Anexo I – A: Resultados de análise granulométrica das amostras do intervalo Q1, distribuição total

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)					FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)												
CÓD. DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIME-TRIA	CURTOSE	CASCALHO			AREIA						PELÍTICOS			RELAÇÃO FINO/ GROSSO
					SEIXOS	GRÂNULOS	TOTAL	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	SILTE	TOTAL	
MR-8	3,4	2,65	1,34	3,39	0	0,25	0,25	1,15	3,62	27,76	35,07	9,79	77,39	15,7	6,66	22,36	0,29
MR-14	3,51	2,36	1,4	3,92	0	0,05	0,05	0,37	2,58	23,86	28,86	21,11	76,78	12,25	10,92	23,17	0,3
MR-50	2,31	1,26	2,98	16,91	0	0,11	0,11	0,45	5,36	32,9	46,94	10,19	95,85	1,99	2,05	4,04	0,04
MR-61	3,2	2,77	1,45	3,46	0	0,35	0,35	0,71	4,41	39,67	32,11	3,4	80,3	17,16	2,19	19,35	0,24
MR-62	2,75	2,3	2,11	6,04	0	0,04	0,04	0,46	4,29	44,95	35,04	2,57	87,3	10,7	1,96	12,66	0,14
MR-69	2,69	2,69	1,34	3,9	0	2,26	2,26	5,51	12,02	32,96	22,95	6,24	79,68	11,14	6,92	18,06	0,22
MR-78	2,89	2,72	1,45	3,8	0	0,13	0,13	2,01	15,83	33,58	23,1	7,1	81,61	13,97	4,29	18,26	0,22
MR-79	2,25	2,11	2,24	7,61	0	0,12	0,12	1,55	18,91	40,68	23,47	4,86	89,47	6,72	3,69	10,41	0,12
MR-80	2,15	2,03	2,44	8,58	0	0	0	2,77	17,2	45,56	21,25	4,56	91,36	6,34	1,38	7,72	0,08
MR-94	3,02	2,19	1,64	5,21	0	0,33	0,33	0,79	6,61	25,62	32,56	16,89	82,47	8,4	8,8	17,2	0,21
MR-95	3,04	2,24	1,66	5,1	0	0,15	0,15	1,73	5,19	27,04	31,36	20,42	85,73	9,04	5,08	14,12	0,16
MR-102	4,07	2,43	1,17	3,14	0	0,05	0,05	0,4	1,91	7,14	31,59	32,08	73,12	16,37	10,46	26,83	0,37
MR-112	1,91	1,65	2,5	11,06	0	0,02	0,02	4,98	18,21	42,25	22,24	6,24	93,92	2,77	3,29	6,06	0,06
MÁXIMO	**4,07**	**2,77**	**2,98**	**16,91**	**0**	**2,26**	**2,26**	**5,51**	**18,91**	**45,56**	**46,94**	**32,08**	**95,85**	**17,16**	**9,67**	**26,83**	0,37
MÍNIMO	**1,91**	**1,26**	**1,17**	**3,14**	**0**	**0**	**0**	**0,37**	**1,91**	**7,14**	**21,25**	**2,57**	**73,12**	**1,99**	**2,05**	**4,04**	**0,04**
MÉDIA	**2,86**	**2,26**	**1,82**	**6,32**	**0**	**0,3**	**0,3**	**1,76**	**8,94**	**32,61**	**29,73**	**11,19**	**84,23**	**10,2**	**5,2**	**15,4**	**0,19**
D. PADRÃO	**0,59**	**0,42**	**0,55**	**3,81**	**0**	**0,58**	**0,58**	**1,64**	**6,22**	**10,22**	**6,96**	**8,5**	**6,74**	**4,73**	**1,97**	**6,7**	**0,09**

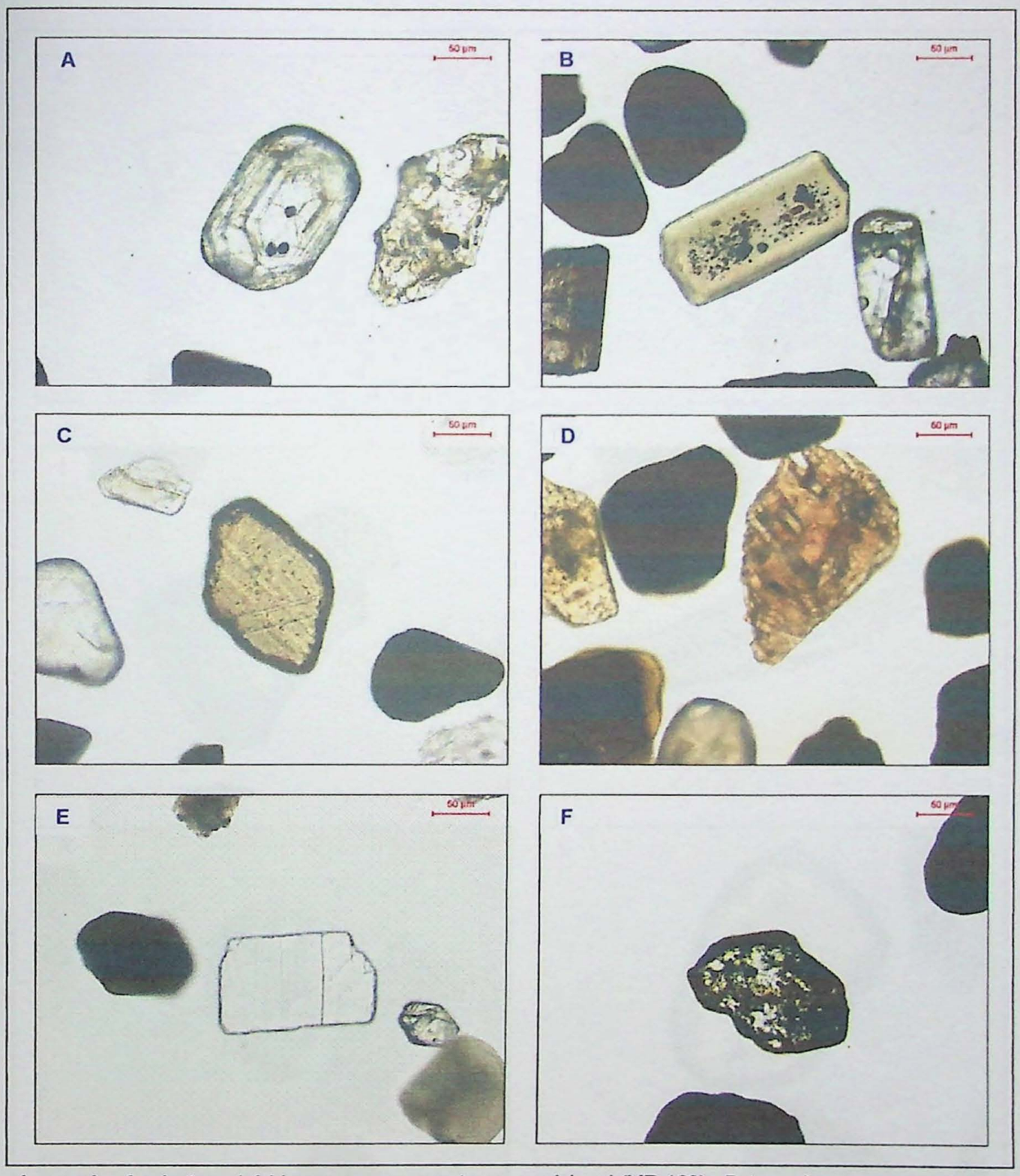
Anexo I – B: Resultados de análise granulométrica das amostras do intervalo Q2, distribuição total

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)					FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)												RELAÇÃO FINO/ GROSSO
CÓDIGO DA AMOSTRA	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIME-TRIA	CURTOSE	CASCALHO		AREIA						PELÍTICOS				
					SEIXOS	GRÂNULOS	TOTAL	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	SILTE	TOTAL	
MR-3	3,59	0,61	4,25	31,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	89,49	92,40	0,37	7,23	7,60	0,0823
MR-35	2,46	0,88	-0,12	3,05	0,00	0,00	0,00	0,11	5,82	21,99	47,35	21,03	96,29	0,00	3,71	3,71	0,0385
MR-40	2,10	0,74	0,35	5,89	0,00	0,13	0,13	0,78	4,66	36,96	48,75	6,26	97,40	0,00	2,48	2,48	0,0254
MR-44b	2,10	0,87	0,49	3,76	0,00	0,12	0,12	0,25	7,36	41,41	36,89	10,80	96,71	0,00	3,16	3,16	0,0327
MR-73	1,65	0,91	-0,18	5,11	0,00	1,36	1,36	2,23	16,85	45,99	28,14	4,15	97,36	0,00	1,28	1,28	0,0130
MR-97	2,38	1,22	1,82	10,88	0,00	0,17	0,17	0,58	6,78	31,98	35,90	19,22	94,45	0,97	4,41	5,38	0,0569
MR-101	2,37	1,19	1,88	10,96	0,00	0,12	0,12	0,37	6,48	33,00	36,89	18,03	94,78	0,76	4,33	5,10	0,0537
MR-109	2,86	0,61	-1,74	11,09	0,00	0,14	0,14	0,28	1,77	3,50	53,35	38,77	97,66	0,00	2,20	2,20	0,0225
MR-113	1,64	0,89	0,58	3,72	0,00	0,00	0,00	2,74	19,17	49,02	22,41	5,19	98,52	0,00	1,48	1,48	0,0150
MÁXIMO	3,59	1,22	4,25	31,79	0,00	1,36	1,36	2,74	19,17	49,02	53,35	89,49	98,52	0,97	6,63	7,60	0,08
MÍNIMO	1,64	0,61	-1,74	3,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90	4,15	92,40	0,00	1,28	1,28	0,01
MÉDIA	2,35	0,88	0,81	9,58	0,00	0,23	0,23	0,81	7,65	29,32	34,73	23,66	96,17	0,23	3,36	3,60	0,04
D. PADRÃO	0,57	0,21	1,59	8,46	0,00	0,41	0,41	0,93	6,01	16,57	14,61	25,41	1,83	0,36	1,60	1,96	0,02

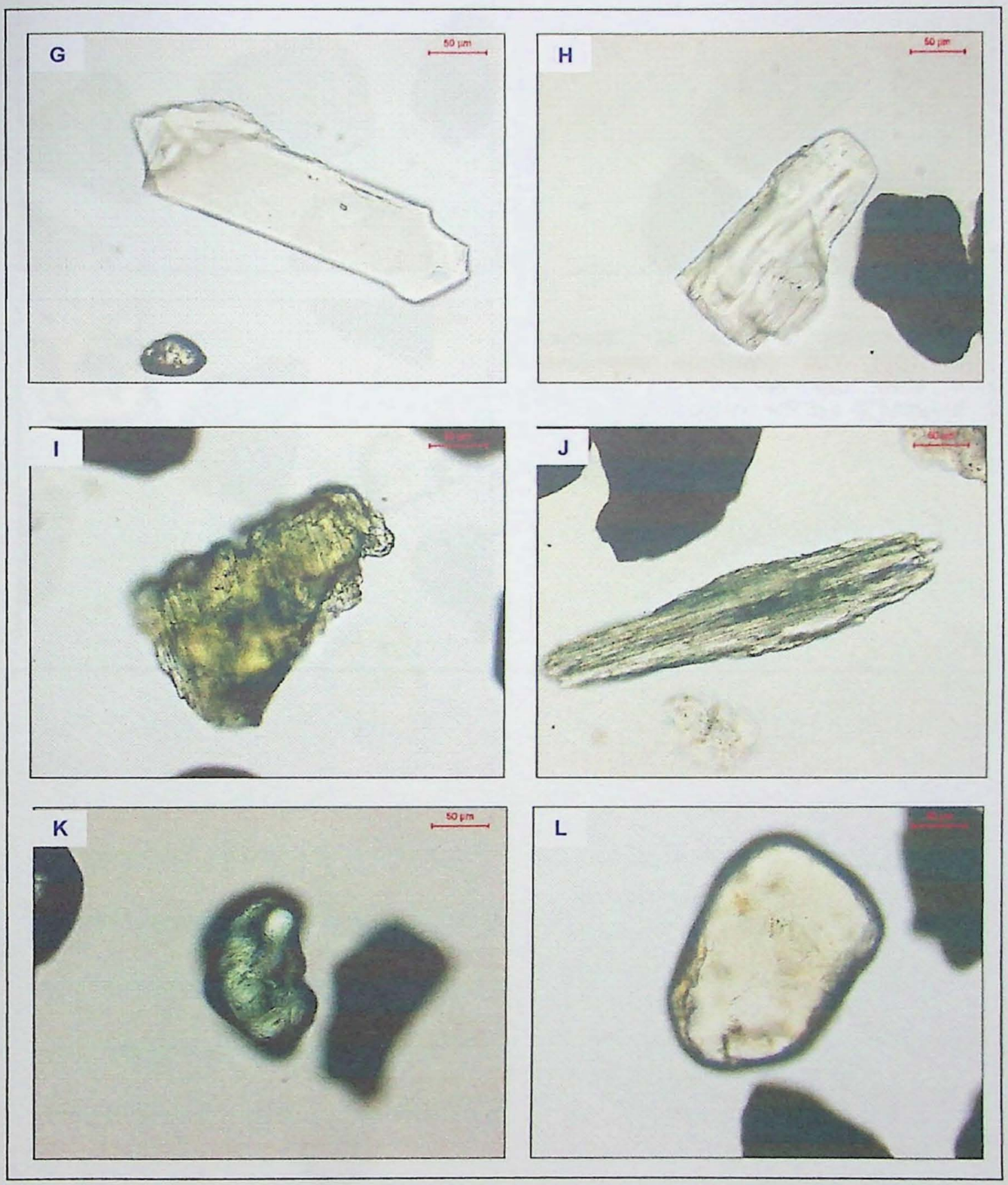
ANEXO II

FOTOMICROGRAFIA AO MICROSCÓPIO ÓTICO

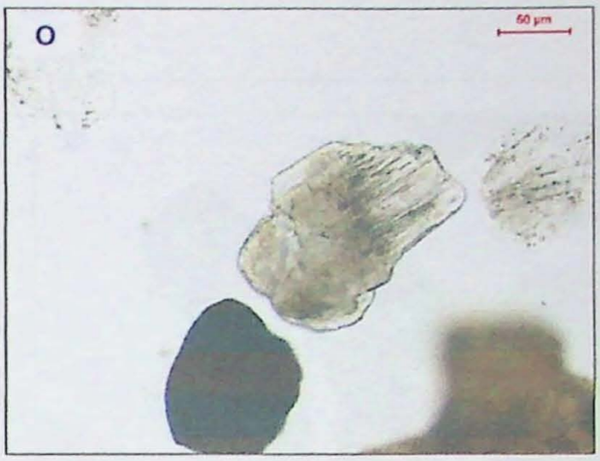
Anexo II – A : Minerais observados nas lâminas sedimentológicas



Legenda: A: zircão subédrico com zoneamento composicional (MR 109) , B: turmalina marrom, euédrica com inclusões de minerais opacos (MR 109), C: rutilo amarelo, anédrico, subarredondado com estrias (MR 3), D: estaurolita amarela, anédrica e angulosa com feição de corrosão (MR 3), E: cianita subédrica com duas partições evidentes (MR 3) e F: anatásio detrítico anédrico (MR 8).

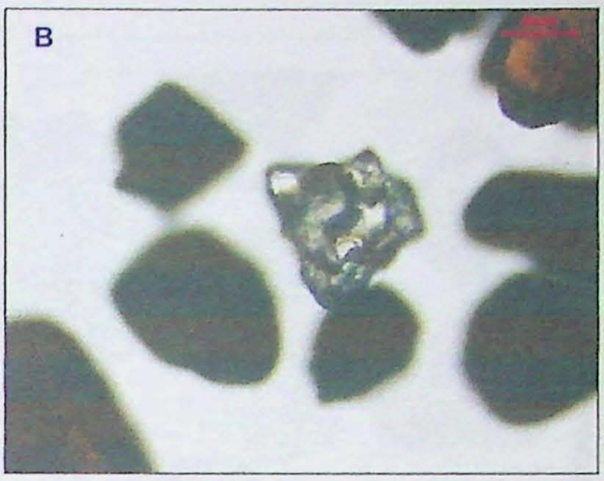


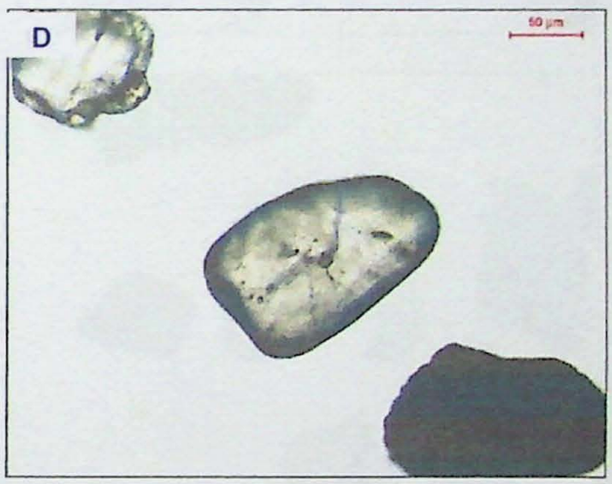
Legenda: G: andalusita rosa claro, subédrica (MR 3), H: silimanita subédrica (MR 3), I: epídoto anédrico verde limão (MR 61), J: anfibólio fibroso de cor verde claro (MR 61), K: espinélio verde arredondado (MR 61) e L: monazita com tom amarelo arredondada (MR 62).



Legenda: M: turmalina marrom com crescimento secundário (MR 109), N: turmalina marrom com tom verde e crescimento secundário (MR 3) e O: turmalina azul (MR 109).

Anexo II – B : Morfologia do zircão





Legenda:

A) zircão euédrico a subédrico (MR-62)

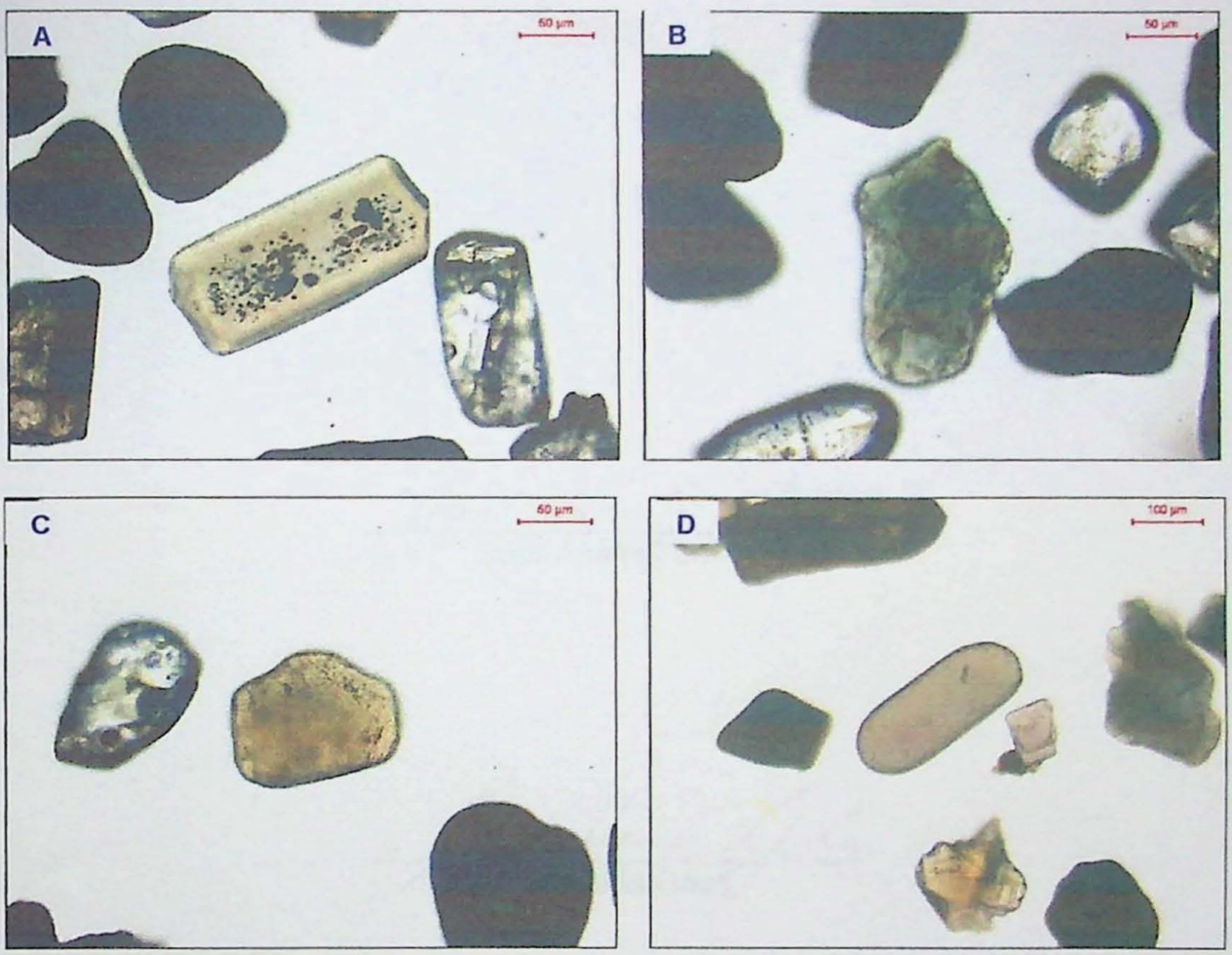
B) muito anguloso (MR-109)

C) anguloso a subanguloso (MR-101)

D) subarredondado a subarredondado (MR-101)

E) muito arredondado (MR-101)

Anexo II – C: Morfologia da turmalina



Legenda:

A) euédrico a subédrico (MR-109)

B) anguloso a subanguloso (MR-109)

C) arredondado a subarredondado (MR-109)

D) muito arredondado (MR-101)

São Paulo, 13 de novembro de 2006.

De acordo:

Sueli Akemi Tomita

Ana Maria Góes

DOAÇÃO
IGC-USP
Data: 07/05/08