

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOCRONOLOGIA E ARQUITETURA DAS BARRAS ARENOSAS DO BAIXO RIO TAPAJÓS

Lina Akiko Araki

Lina Akiko Araki



André Oliveira Sawakuchi

De acordo, Orientador: Prof. André Oliveira Sawakuchi

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-13/34)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900031898

São Paulo
2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço minha família: minha mãe; meu pai, “batyan” (avó) e Mariana pelo apoio, incentivo e amor.

Ao meu orientador Fruta (André) por ter muita paciência em me ensinar e orientar no TF e iniciação científica; pelos incentivos e experiências em campo e congressos; e amizade.

A todos os colegas que ajudaram no campo do TF a cavar trincheiras, coletar amostras, discussões científicas e risadas: navegador Jonilson, cozinheira Zil, cacique Vitor, biólogos Joyce e Henrique, geofísica Marina, geólogos Fruta, Melado e Tigresa. E a FAPESP pelo auxílio financeiro do campo.

Ao pessoal do laboratório que me auxiliaram na preparação das amostras e manuseio dos equipamentos sob a luz vermelha do LEGAL: Jordana, Elaine, Luciana e a Thais.

A Milene, ao meu co-orientador Melado, Zular, Xumaço, Sidney, Raimunda, Pinhão e Ligia por terem me ajudado a finalizar a monografia, através de discussão das seções de GPR, das colunas estratigráficas, confecção dos mapas e suporte no Arcgis.

Aos meus amigos da geo, Geojúnior, Lan, Anglo, FITO, EPT e dança por proporcionarem momentos de risos e alegrias, e acima de tudo, pela amizade.

E por fim, ao Vinícius, por me “aturar”, amar e ajudar a revisar os textos.

À vocês, muito obrigada!

RESUMO

Na confluência dos rios Amazonas e Tapajós há uma barra sedimentar estabilizada, a qual gera o represamento do rio Tapajós. Essa barra cresce para a jusante, sendo interpretada como dique marginal do rio Amazonas. Esse represamento provocou o alargamento do rio Tapajós e, conseqüentemente, a ação constante de ondas. Assim, esse setor do rio Tapajós se destaca por ser um sistema fluvial “dominado por ondas”, caracterizado pela deposição de lama na porção central do canal e desenvolvimento de barras arenosas marginais que crescem para a montante do rio Tapajós (sentido contrário da corrente do rio). O objetivo desse trabalho foi caracterizar as barras marginais do rio Tapajós e da confluência quanto às fácies sedimentares e geocronologia. Para isso, foram combinados os métodos de datação LOE (Luminescência Opticamente Estimulado) com seções de GPR (*Ground-penetrating radar*), descrição de fácies sedimentares e estudos geomorfológicos.

As barras arenosas marginais do rio Tapajós são geradas por deriva litorânea, resultante da interação das ondas (geradas pelos ventos alísios de NE) com as margens do rio. Porém, a dinâmica sedimentar de cada margem é distinta. Por exemplo, a barra do Jamaraquá (margem direita) cresce para *onshore*, caracterizando uma barra de recuo. Já a barra do Quena (margem esquerda) cresce para *offshore*, caracterizando uma barra tipo progradante. Na barra da Confluência, a lama é depositada nas planícies de inundação e, a areia devido às correntezas de subida e descida do nível rio.

As barras estudadas cresceram em pulsos, como indicado pelas idades obtidas: de 0,27 e 0,83 ka (Holoceno tardio), 6,84 e 7,18 ka (Holoceno médio) e 11,85 e 15,63 ka (Pleistoceno tardio). Esses pulsos de crescimento das barras poderiam estar relacionados com o aumento do aporte sedimentar causado por diminuição natural ou antrópico da cobertura vegetal amazônica.

ABSTRACT

The confluence of Amazonas and Tapajós rivers comprises a stabilized sediment bar, which generates a natural dam in the Tapajós river. This bar is interpreted as an Amazonas river levee that grows to downstream. The dam effect provokes widening and constant wave action in the lower reach of the Tapajós river. Thus, this portion of the Tapajós river stands out as a "wave-dominated river" characterized by deposition of muddy sediments in deep water (up to 40m water depth) and development of sand bars that grows to upstream (opposite direction of the river flow). The objective of this research was to characterize the geochronology and sedimentary facies of the Tapajós and Amazon rivers bars. For this, it was performed an integrated analysis combining OSL dating, *Ground-penetrating radar* sections, facies analysis and geomorphology.

The Tapajós sand bars are generated by longshore currents, resulted from the action of waves generate by action of the northeast trade winds. However, the sedimentary dynamics of the bars from each side of the river is different. For example, the Jamaraquá bar (right side) grows to onshore featuring a receded barrier. Whereas, the Quena (left side) bar grows to offshore, featuring a prograded barrier. The confluence bar comprises intercalations of muddy and sandy sedimentary facies related with seasonal variation of the Amazon river level. The muddy facies is deposited during the high river level flooding season while fine sandy facies would be deposited during the increasing or lowering river level related with the dry season.

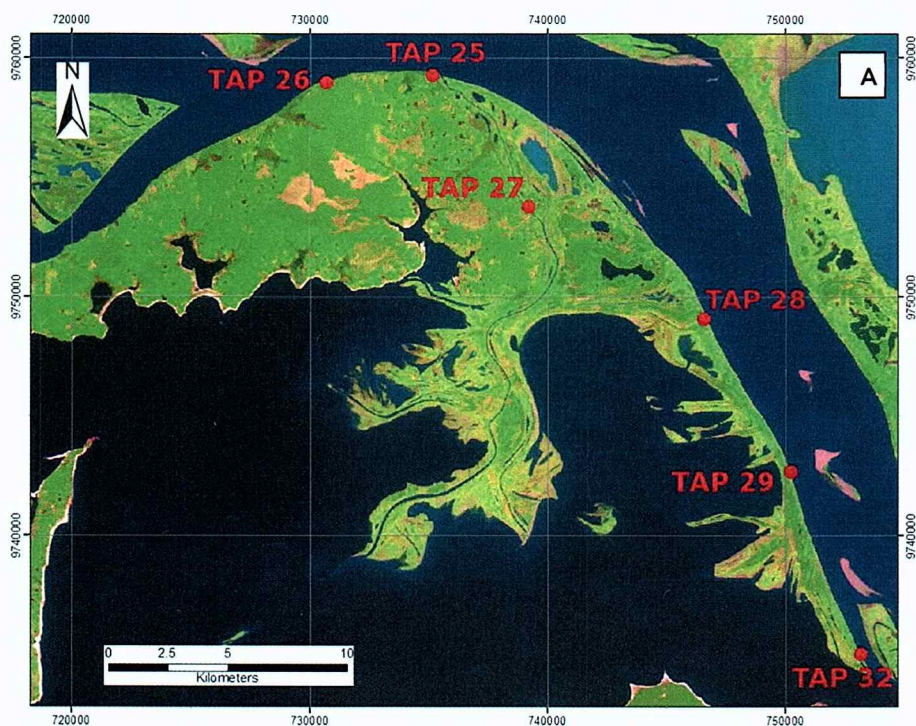
The studied bars grow in pulses according to the obtained OSL ages: 0.27 and 0.83ka (Late Holocene), 6.84 and 7.18ka (Mid Holocene) and 11.85 and 15.63ka (Late Pleistocene). The pulses of bars growing can be related to the increase in sediment supply due to natural or anthropic deforestation of the Amazon forest.

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	1
2.	Objetivos.....	2
3.	Síntese Bibliográfica	3
3.1.	Geologia regional	3
3.2.	Clima	4
3.3.	Hidrologia	5
3.4.	Vegetação	7
3.5.	Datação LOE (Luminescência Opticamente Estimulada)	8
3.6.	Ground Penetrating Radar (GPR)	9
4.	Materiais e métodos.....	10
4.1.	Trabalho de campo.....	10
4.2.	Análises de fácies	10
4.3.	Geomorfologia	10
4.4.	Datação LOE.....	11
4.5.	Ground Penetrating Radar (GPR)	13
5.	Resultados.....	13
5.1.	Análise geomorfológica	13
5.1.1.	Morfologia da Ponta do Jamaraquá	13
5.1.2.	Morfologia da Ponta do Quena	14
5.1.3.	Morfologia da barra da confluência	15
5.2.	No campo	18
5.2.1.	Barras arenosas das margens do rio Tapajós	18
5.2.2.	Barra da confluência dos rios Tapajós e Amazonas	21
5.3.	Análises das fácies sedimentares	22
5.3.1.	Barra do Jamaraquá	25
5.3.2.	Barra do Quena.....	29
5.3.3.	Barra da Confluência	29
5.4.	Seções GPR.....	31
5.4.1.	Barra do Jamaraquá	31
5.4.2.	Barra do Quena.....	35
5.5.	Datação LOE.....	40
6.	Discussão	45
6.1.	Modelo e processos deposicionais das barras	45
6.2.	Possíveis causas da formação dessas barras	47
6.3.	Sugestão de trabalhos na região.....	48
7.	Conclusões	49
8.	Bibliografia	49

1. INTRODUÇÃO

Na confluência entre os rios Amazonas e Tapajós, próximo à cidade Santarém (PA) há uma barra (Figura 1-a), a qual bloqueia o rio Tapajós, que pode ser a causa do represamento do rio Tapajós, o qual gerou o alargamento da parte baixa do rio. Além disso, o baixo rio Tapajós se destaca pelas barras arenosas longitudinais (Figura 1-b e c), próximas às margens, que crescem para montante (sentido oposto da corrente fluvial atual).



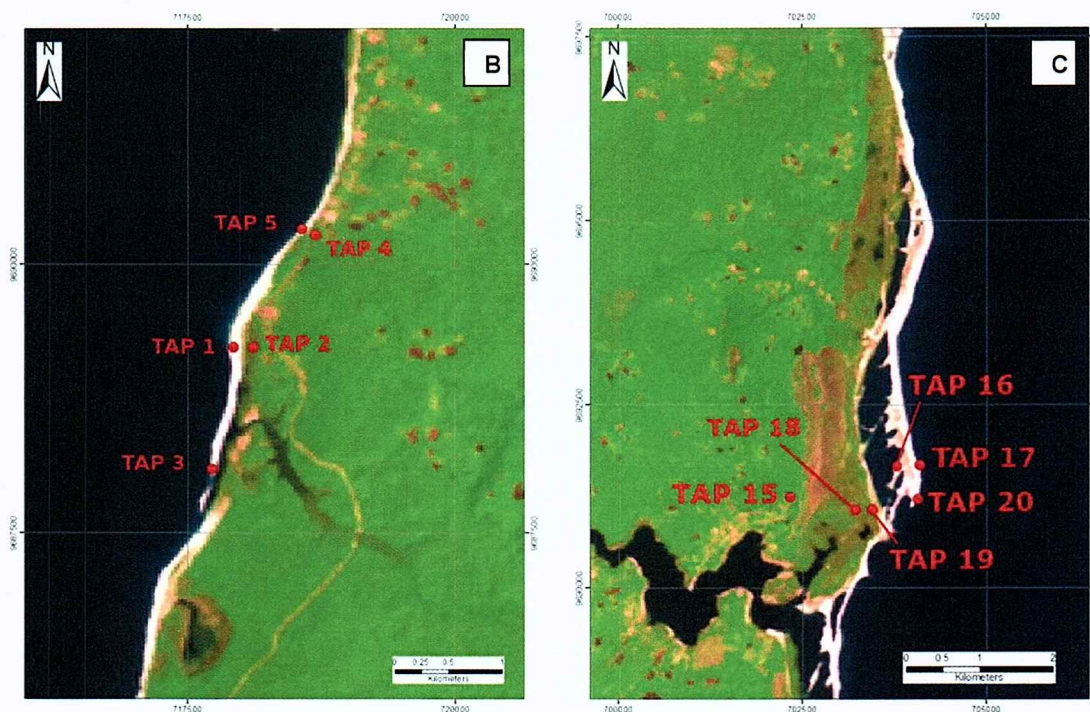


Figura 1: Mapa de pontos da área estudada (A: barra da Confluência, B: barra do Jamaraquá e C: barra do Quena).

Dento desse cenário, o objetivo desse trabalho foi determinar a evolução sedimentar e cronológica dessas barras arenosas e da confluência, de modo a entender a dinâmica sedimentar do baixo rio Tapajós e das suas barras arenosas. Para isso, foram utilizados os métodos de datação OSL (Luminescência Opticamente Estimulado), seções de GPR (*Ground-penetrating radar*), descrição de fácies sedimentares e estudos geomorfológicos.

2. OBJETIVOS

A finalidade desse trabalho consistiu em caracterizar a sedimentação e a evolução da barra da confluência dos rios Tapajós e Amazonas e das barras arenosas marginais do baixo rio Tapajós (Ponta do Quena e Jamaraquá). Para isso, foram propostos os seguintes objetivos:

- Caracterização da geomorfologia das barras do baixo rio Tapajós e da sua confluência com o rio Amazonas;
- Descrição das associações de fácies sedimentares em trincheiras e afloramentos, com a elaboração de seções colunares e formulação de um modelo deposicional para a gênese das barras;
- Caracterização das estruturas internas das barras por meio de seções de GPR;

- Datação de sedimentos arenosos coletados em níveis estratigráficos específicos em trincheiras, furos a trado ou em afloramentos, para a reconstrução temporal da evolução das barras.

3. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

3.1. Geologia regional

A confluência dos rios Tapajós e Amazonas localiza-se a oeste do Estado do Pará, próximo à cidade Santarém. Nesta região, esses rios drenam rochas da bacia sedimentar do Amazonas, cuja orientação do maior eixo é ENE/WSW, com espessura máxima de 5000m e área de 500.000km². A bacia recobre rochas do embasamento pré-cambriano dos escudos da Guiana e Brasil Central (Cunha *et al.*, 2007, e Vasquez & Rosa-Costa, 2008).

O caminho percorrido pelo rio Tapajós pode ser dividido em quatro compartimentos geológicos: o primeiro trecho do rio segue a direção SE-NW, pela Bacia hidrográfica do Alto do Tapajós, por sedimentos das Formações Capoeira (arenitos e argilitos) e Ipixuna (arenitos); o segundo passa por rochas cristalinas das suítes Parauari, Maloquinha e Tropa, e por rochas vulcânicas metadacíticas e metariolíticas da Formação Salustiano, com direção do rio NW-NE, passando por trechos encachoeirados; o terceiro trecho, também com direção NW-NE, percorre a Bacia sedimentar paleozoica do Amazonas, pelos Grupos Urupadi (arenitos, siltitos e folhelhos), Curuá (arenitos e argilitos) e Tapajós (arenitos, argilitos, evaporitos e calcários); e por fim, o rio segue pela Depressão do médio-baixo rio Amazonas com direção NE-NNE por sedimentos da Formação Alter do Chão (arenitos, argilitos e conglomerados) até a sua confluência com o rio Amazonas (PERH-MDA, 2011).

Na área estudada (Figura 02), observam-se arenitos da Formação Alter do Chão, sedimentos aluvionares e lateritas. Esses arenitos da Formação Alter do Chão são compostos por sedimentos continentais do Cretáceo, os quais ocasionalmente apresentam estratificações cruzadas. Já os sedimentos aluvionares são quase sempre inconsolidados e estão localizados nas planícies de inundação das principais drenagens. As lateritas são resultado do intemperismo dos arenitos e sedimentos inconsolidados e ocorrem na forma de crostas e concreções ferruginosas. Esse material ferruginoso é facilmente encontrado nos topos dos platôs e nas margens dos rios, feição morfológica típica da Formação Alter do Chão (Oliveira *et al.*, 2011; Rodrigues *et al.*, 2001).

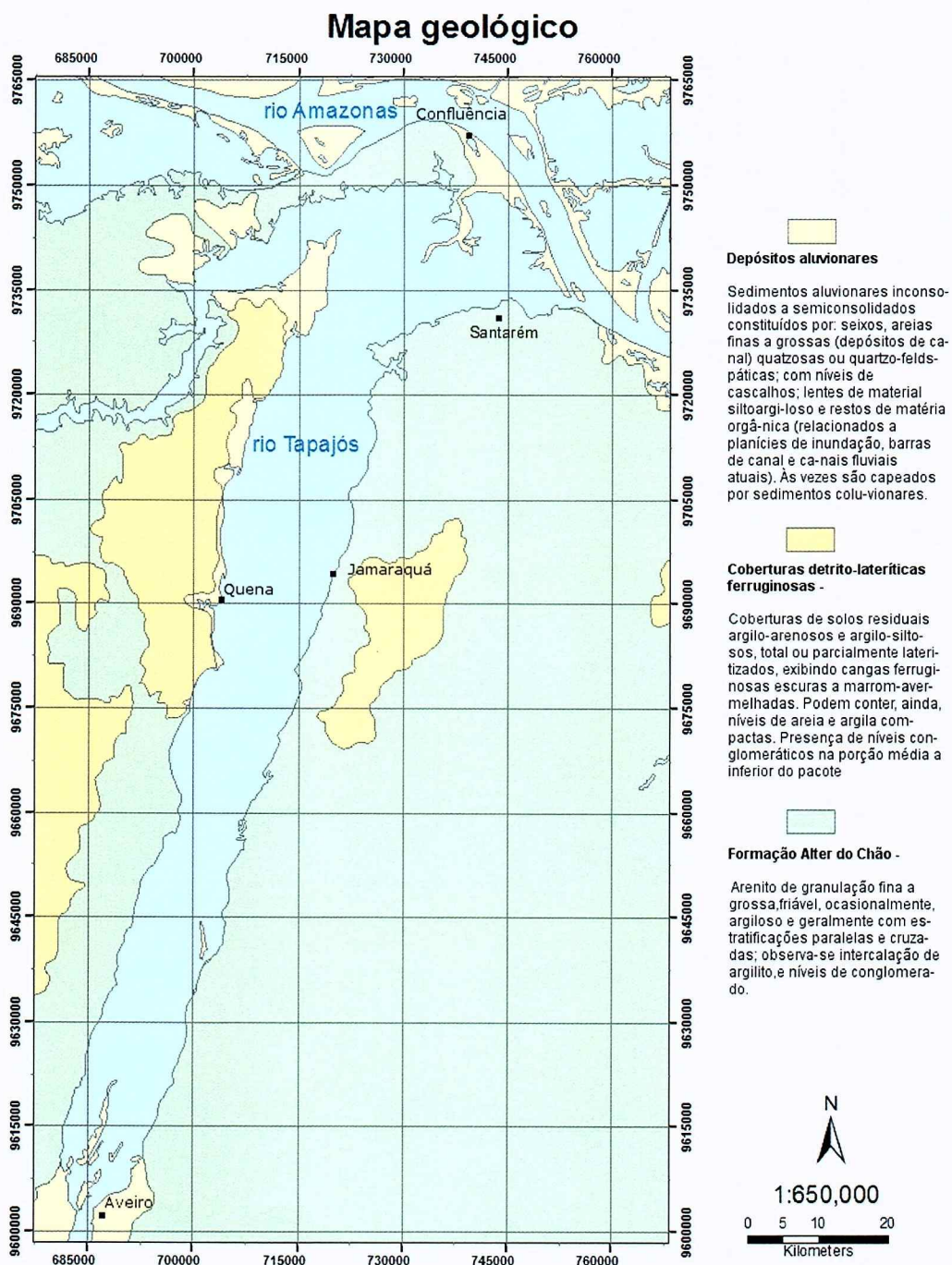


Figura 2: Mapa geológico da área estudada. Modificado do mapa da CPRM (GEOBANK), Santarém SA. 21, do grupo cartas geológicas do Brasil ao milionésimo.

3.2. Clima

Na região estudada, o clima é quente e úmido (tropical) e do tipo Am (clima de monções), conforme a classificação de Köppen-Geisen (Kottek *et al.*, 2006). A temperatura média varia entre 25° e 26°C, com precipitação anual média em torno de 2.300 mm e umidade

média de 86%. O período de estiagem é entre maio a setembro e o de chuvas é de novembro a março, período em que as precipitações mensais atingem 200 mm (PERH-MDA, 2011). A precipitação resultante da evapotranspiração na região corresponde a aproximadamente 50%, sendo que o restante é proveniente do oceano Atlântico (Fisch *et al.*, 1996).

A umidade é trazida principalmente pelos ventos alísios de nordeste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), originada no Oceano Atlântico (Rodrigues *et al.*, 2001; Fisch *et al.*, 1996, Placzek *et al.*, 2013). Durante o verão, a ZCIT se move para o Trópico (Figura 03), a sul da linha do Equador, aumentando a precipitação da região, a qual sofre maior influência dos ventos alísios nordeste. Já no verão Boreal (inverno), os ventos alísios de sudeste se tornam atuantes com a migração da ZCIT para o norte da linha do equador (Placzek *et al.*, 2013).

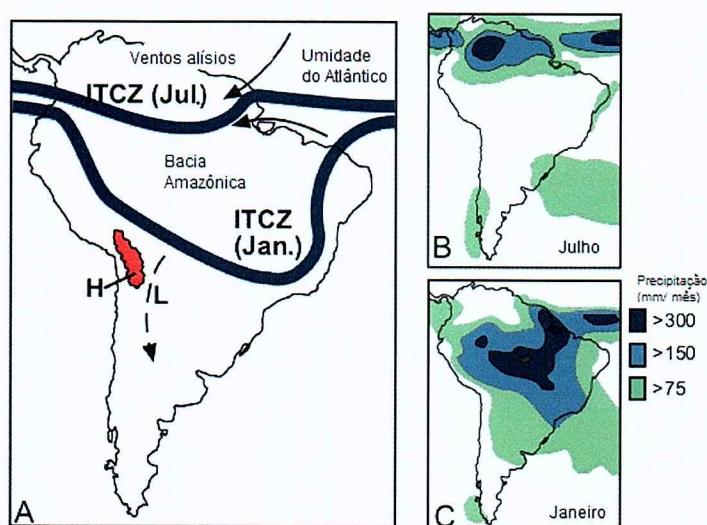


Figura 3: Influência da ZCIT na região estudada (Placzek *et al.*, 2013).

3.3. Hidrologia

Na fronteira entre os estados do Pará e Mato Grosso, forma-se o rio Tapajós pela confluência entre os rios Teles Pires e Juruena. O Tapajós percorre aproximadamente 800 km até desaguar no rio Amazonas, sendo que a altitude da nascente é cerca de 800 m e da foz de 7 m (PERH-MDA, 2011). A vazão na foz do rio Tapajós é aproximadamente 12.434 m³/s e no alto Tapajós é de 9.014 m³/s (PERH-MDA, 2011). E o nível do rio varia de 50 cm (máxima seca) a 8m (máxima cheia) (Figura 04).

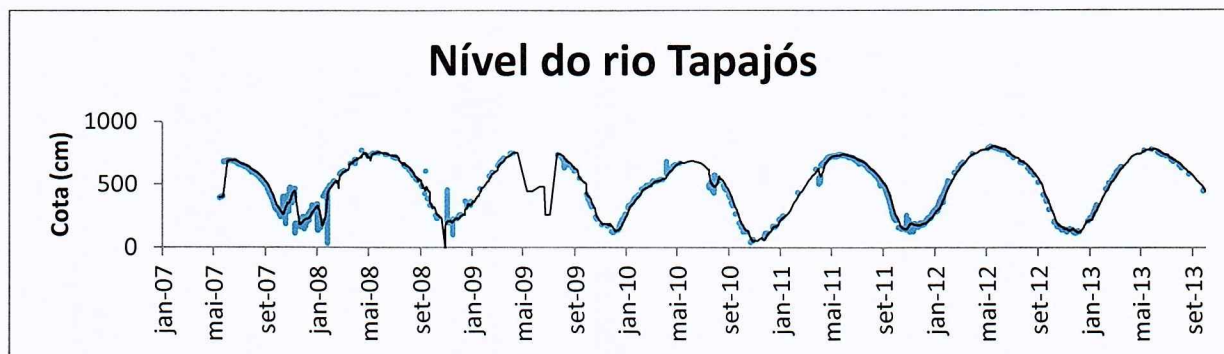


Figura 4: Gráfico representando a variação do nível do rio Tapajós (Dado da Agência Nacional de Água). Os pontos em azul são os níveis medidos e a linha preta a média dos pontos.

O rio Tapajós é classificado como um rio de águas claras (*clearwater river*), cujas características são: águas com baixa concentração de sedimentos em suspensão; vários igarapés cortando as suas margens; cheias controladas pela pluviosidade; e barras fluviais geralmente estáveis (Archer, 2005). A foz do rio Tapajós é caracterizado pela morfologia do tipo ria fluvial, com vale fluvial inundado, distância entre uma margem a outra de 13 km, baixa agração de sedimentos, baixa velocidade do fluxo d'água e taxa de sedimentação reduzida (Archer, 2005, PERH-MDA, 2011). Na região próxima à cidade de Santarém, o rio Tapajós possui aproximadamente 15 km de largura, profundidade máxima de 40 m, pH levemente alcalino (7,44, indicando baixa concentração de ácidos orgânicos) e cerca de 76,4 mg/L de sedimentos em suspensão, composto por matéria orgânica, argila, coloide e silte (Miranda *et al.*, 2009). Esse valor de concentração de sedimentos é muito superior ao encontrado próximo à cidade de Itaituba (PA), onde se encontra valores próximos a 6,5 mg/L (Miranda *et al.*, 2009).

O rio Amazonas é classificado como um rio de água branca, devido à alta concentração de sedimentos em suspensão. O sistema deposicional fluvial é do tipo *anabranh*, com características marcantes como diques marginais, grandes lagos equidimensionais nas áreas de inundação, meandros de até 50 km de comprimento e várzea de 20 a 100 km de largura. Mesmo distante cerca de 700 km de sua foz, a região próxima à cidade de Santarém sofre influência da maré, com variação do nível de água de até 50 cm (Archer, 2005). Na região estudada, o rio Amazonas possui em média 60 m de profundidade na calha do canal e 2,5 km de largura. A concentração de sedimentos na seca equivale a 50 mg/L e 200 mg/L na cheia, sendo que os sedimentos de fundo são compostos por areia muito fina com cascalho (Archer, 2005).

3.4. Vegetação

O rio Tapajós drena áreas da floresta Amazônica e do Cerrado (PERH-MDA, 2011). Essa vegetação foi parcialmente removida com a ocupação humana, desenvolvimento da agricultura e construção de estradas (PERH-MDA, 2011). Através de imagens de satélites, foi calculado que na área Legal da Amazônia, com 396.772 km², a taxa média de desmatamento foi de 15.870 km²/ano entre os anos de 1988 a 2012 (PRODES).

Durante o Quaternário, mudanças climáticas teriam afetado a vegetação. Essa dinâmica da vegetação Amazônica no Quaternário foi inferida por estudos dos isótopos de carbono em matéria orgânica em solo, que identificou três fases de mudança da vegetação: entre 17.000 a 9.000 ¹⁴C yr B.P. dominava-se a floresta; entre 9.000 A 3.000 ¹⁴C yr B.P. ocorreu à expansão da "Savana" (Cerrado); nova expansão da floresta ocorreu após 3000 ¹⁴C yr B.P. (Freitas, 2001). Além disso, a expansão da "Savana" (Cerrado) ocorreu também durante o Holoceno médio e inferior, em clima quente e seco (Freitas, 2001).

Estudos palinológicos (Irion et al., 2006) determinaram que entre 9.200 a 4.600 cal yr BP ocorreu um distúrbio na floresta. A alta quantidade de pólen (acima de 40%) de *Cecrópia* (Embaúba), uma planta pioneira, sugere um período com degradação da floresta (Figura 05).

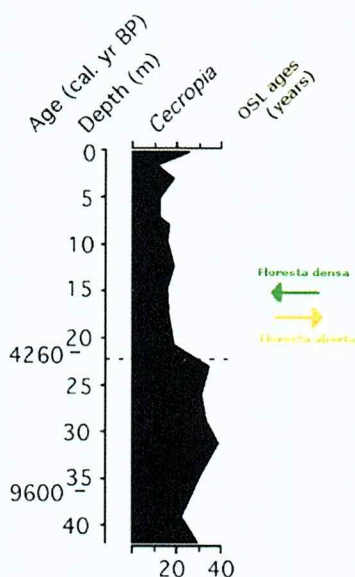


Figura 5: Diagrama de pólen da *Cecropia* (Irion et al., 2006).

3.5. Datação LOE (Luminescência Opticamente Estimulada)

Luminescência é o fenômeno de emissão de luz por materiais previamente expostos à radiação ionizante e posteriormente estimulados por agentes excitantes, tais como luz e calor. Quando o estímulo é devido à luz, o fenômeno é nomeado como luminescência opticamente estimulada. Minerais tais como o quartzo e feldspato quando exposto a radiação ionizante armazenam energia por meio da captura de cargas negativas e positivas em armadilhas associadas a defeito de retículo cristalino. A exposição do mineral a um agente excitante libera as cargas de suas respectivas armadilhas, cuja recombinação gera emissão de luz. A emissão de luz é proporcional à quantidade de energia armazenada ao longo do tempo de exposição à radiação ionizante (Preusser *et al.*, 2008). Conforme a teoria de banda de sólido, a radiação excita o cristal e fornece a energia para elétrons saltarem da banda de valência para as bandas de condução. Zonas do retículo com deficiência de elétrons geram buracos, os quais se tornam centros de recombinação de cargas (*recombination centre*) quando os elétrons são ejetados de suas respectivas armadilhas (Preusser *et al.*, 2008).. Tanto os buracos quanto as armadilhas de elétrons são geradas por defeitos na rede cristalina do mineral (vacância ou impurezas) (Preusser *et al.*, 2008).

A datação LOE é utilizada em sedimentos para calcular a idade de soterramento, ou seja, tempo decorrido desde a última exposição à luz solar. Nesse método é comum a utilização de quartzo e feldspato, pois esses minerais agem como dosímetro natural, apresentam luminescência opticamente estimulada, são bem estudados e são abundantes em sedimentos detríticos.

Quando o quartzo está sendo transportado, exposto à luz solar, o sinal de luminescência é esvaziado. Durante o período em que o sedimento é privado de luz solar (deposição e soterramento), o sinal de luminescência cresce devido à radiação ionizante natural proveniente do decaimento de elementos radioativos (U-238, Th-232 e K-40) presentes em minerais (feldspato e zircão) e devido à radiação cósmica (Preusser *et al.*, 2008): O sinal de luminescência é proporcional à dose absorvida de radiação, e a quantidade de radiação absorvida por unidade de massa em certo tempo é a Taxa de dose (Gy/ka). Isto permite calcular a idade de deposição por meio da razão entre a dose absorvida desde o soterramento ou dose equivalente (Gy) e a taxa de dose no local. A idade é calculada através da expressão (1) (Rittenour, 2008; Murray & Wintle, 2003, Preusser *et al.*, 2008):

$$Idade = \frac{Dose\ equivalente(Gy)}{taxa\ de\ dose(Gy/ka)} \quad (01)$$

3.6. Ground Penetrating Radar (GPR)

GPR é um método geofísico que utiliza ondas eletromagnéticas de alta frequência (50 MHz a 500 MHz) para gerar imagens da subsuperfície. Essas ondas eletromagnéticas emitidas no solo são propagadas, refletidas ou dissipadas devido às mudanças na propriedade elétrica dos materiais (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética) (Gawthorpe et al., 1993; Neal, 2004).

As propagações das ondas eletromagnéticas dependem da frequência das antenas (receptoras e transmissoras) e da condutividade elétrica dos materiais - quanto maior a condução elétrica (Tabela 01), menor o sinal de penetração (Gawthorpe et al., 1993). A reflexão ocorre devido à diferença entre as propriedades dielétricas (Tabela 01) de materiais adjacentes (Gawthorpe et al., 1993). Em síntese, as ondas eletromagnéticas se propagam através de um meio até encontrar uma interface com propriedades elétricas contrastantes e, com isso, há a reflexão ou refração dessas ondas (Gawthorpe et al., 1993).

A Tabela 01 apresenta a permissividade dielétrica, condutividade e atenuação dos meios encontrados na área de estudo. Com esses dados, pode-se, por exemplo, inferir que a passagem da areia para a água doce possui uma boa reflexão, pois a diferença dielétrica entre os meios é alta. Também se observa que devido a alta condutividade da argila úmida, o sinal das ondas são atenuadas.

Tabela 1: Dados de propriedades elétricas de materiais que influenciam nos dados de GPR (Gawthorpe et al., 1993; Neal, 2004).

Meio	Permissividade dielétrica (ϵ)	Condutividade (mS/m)	Atenuação (dB/m)
Ar	1	0	0
Água doce	80	0,5	0,1
Areia (seca)	2,55 a 7,5	0,01	0,01 a 0,14
Areia (úmida)	20 a 31,6	0,1 a 1	0,03 a 0,5
Areia e seixo (seca)	3,5 a 6,5	0.007 a 0,06	0,1 a 0,1
Areia e seixo (úmida)	15,5 a 17,5	0,7 a 9	0,03 a 0,5
Argila (seca)	2,5 a 5	2 a 20	0,28 a 300
Argila (úmida)	15 a 40	20 a 1000	0,28 a 300

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Trabalho de campo

O trabalho de campo deste projeto foi realizado entre os dias 9 e 21 de novembro de 2012, durante período de máxima seca da região do baixo rio Tapajós e sua confluência com o rio Amazonas. A seca aumenta a exposição de barras fluviais, favorecendo a coleta de amostras para a datação por luminescência, análises faciológicas e obtenção de seções de GPR.

No trabalho de campo, a área estudada foi dividida em três categorias: a barra da confluência; as barras arenosas das margens do rio Tapajós (Ponta do Quena e Jamaraquá); e as barras do rio Amazonas. As amostras foram coletadas em afloramentos e trincheiras de 1,5m x 1,5m x 1,5m nas margens dos rios. Assim foram obtidas: 26 amostras para datação, e nove perfis de GPR.

4.2. Análises de fácies

O objetivo da análise faciológica foi identificar características do sedimento ou da rocha sedimentar que revelem os processos de sedimentação e de transporte. Através das colunas estratigráficas foi possível interpretar o ambiente deposicional. Os critérios para a classificação de fácies foram: litologia; conteúdo fossilífero; paleocorrentes; texturas e estruturas sedimentares (Walker, 2006).

Para a denominação de fácies foi utilizado o seguinte padrão de nomenclatura: as primeiras letras em maiúsculo indicam a classe granulométrica (cascalho, areia, silte ou argila) e suas subdivisões (muito fina, fina, média, grossa ou muito grossa). As demais letras em minúsculo significam o tipo de estrutura sedimentar ou conteúdo fossilífero diagnósticos (maciça, estratificação plano-paralela, estratificação cruzada acanalada, etc.). Por exemplo, fácies de areia grossa com estratificação cruzada acanalada foram representadas pela sigla AGca.

4.3. Geomorfologia

Imagens de satélite de acesso público foram utilizadas para identificar feições geomorfológicas indicativas do sentido de crescimento das barras de interesse e, estas

imagens de satélites (Landsat, CBERS, IKONOS, Quickbird, etc) estão disponíveis gratuitamente na página eletrônica do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e pelo programa Google Earth. As imagens foram interpretadas através dos programas ARCVIEW e Google Earth Pro e utilizadas para contextualizar os dados de datação e das análises de fácies em termo de feições morfológicas de superfície.

4.4. Datação LOE

As amostras para datação LOE foram coletadas em trincheiras e afloramentos das barras e planícies de inundação, com profundidades que variavam entre 0,17 e 3,6 m. No total foram escolhidas nove amostras para serem preparadas, sendo elas: TAP4B, TAP5, TAP15T, TAP15B, TAP18, TAP19, TAP25, TAP27A e TAP 32B.

A seguir são descritos, os passos da preparação das amostras para o cálculo da taxa de dose pelo método de espectrometria gama.

1. Cálculo do teor de umidade da amostra: pesagem da amostra úmida, secagem e pesagem da amostra seca;
2. Armazenamento da amostra em um recipiente vedado por no mínimo 28 dias para restabelecer o equilíbrio causado pela liberação de radônio;
3. Cálculo do volume do recipiente e densidade da amostra;
4. Medição da radiação natural de gama com detector de germânio de alta pureza em blindagem *ultralow background* no Laboratório de Espectrometria Gama e Luminescência (IGc).
5. Cálculo da radiação cósmica através do programa *Kosmische DL*, utilizando informações de latitude, longitude e profundidade de cada amostra coletada.

Para o cálculo da dose equivalente, as amostras foram preparadas no laboratório sob a luz vermelha para a preservação do sinal natural. Os passos realizados seguem abaixo:

1. Peneiramento a úmido para obtenção de grãos nas frações entre 180 e 250 μm ;
2. Ataque com peróxido de hidrogênio (29%) para a eliminação de matéria orgânica;
3. Ataque com ácido clorídrico (3,75%) para a eliminação de carbonatos;
4. Ataque com ácido fluorídrico (40%) para a eliminação de feldspatos e a camada externa do quartzo;
5. Repeneiramento a úmido para eliminar os grãos menores de feldspato;
6. Separação dos minerais de feldspato com o líquido denso metatungstato de lítio, com densidade de 2,62 g/cm³.

As amostras da barra da confluência apresentam uma alta porcentagem de grãos de feldspato, conforme indica o sinal IRSL (infravermelho) das amostras TAP25, TAP27A e TAP32B. Para diminuir o sinal IRSL, as amostras foram submetidas a outro ataque de ácido fluorídrico por 90 minutos e, em seguida, repeneiradas. Além da alta porcentagem de feldspato, a granulometria das amostras era menor não contendo grãos suficientes na fração entre 180 a 250 μm . Por isso foram utilizadas amostras nas frações entre 150 e 180 μm (TAP 27A) e de 90 a 120 μm (TAP32B).

Para a estimativa da dose equivalente, as alíquotas de quartzo preparadas pelos procedimentos anteriores foram medidas no Risø TL/OSL-DA-20 *reader*, utilizando LED azul (470 nm) para a estimulação, filtros Hoya U-340 (290370 nm) e fonte de radiação beta de $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ com taxa de dose de 0,084 Gy/s. Para cada amostra, 24 alíquotas foram medidas segundo o protocolo SAR (*Single-Aliquot Regenerative*) (Wintle & Murray, 2006) descritas a seguir:

1. Dose D_i ;
2. Pré aquecimento a 200°C por 10s;
3. Estimulação com LED azul por 40s a 125°C;
4. Dose D_t ;
5. Aquecimento a 160°C por 10s;
6. Estimulação com LED azul por 40s a 125°C;
7. Iluminação com LED Azul por 40s a 280°C;
8. Retornar para a o passo 1.

A sequência foi repetida de D_0 a D_7 , de modo que D_0 é equivalente a dose natural, $D_1 < D_2 < D_3 < D_4$, D_5 correspondente a dose zero e D_6 e D_7 com dose igual a D_1 .

O cálculo da idade foi realizado através da expressão (1). A dose equivalente foi estimada utilizando o modelo *Central Age Model* (CAM). A taxa de dose natural foi estimada calculando-se a radiação gama e beta, conforme a atividade dos radionuclídeos (da série do Th-232, série do U-238 e K-40), somada à taxa de radiação cósmica.

Como a umidade do sedimento tem grande influência sobre a quantidade de radiação que incide nos grãos de quartzo e a variação do nível do rio entre a cheia e seca é de aproximadamente sete metros, a taxa de dose foi calculada proporcionalmente a quantidade de tempo em que a amostra ficou submersa (saturada) e emersa (umidade igual a zero). Os passos realizados para a correção da taxa de dose pela umidade foram:

1. Cálculo da umidade do sedimento com a saturação máxima (gotejando-se água até atingir a saturação);
2. Cálculo da taxa de dose da amostra saturada;
3. Cálculo da taxa de dose da amostra seca (umidade zero);
4. Cálculo da taxa de dose diretamente proporcional à quantidade de meses em que a amostra ficou submersa (sete meses) e emersa (cinco meses).

4.5. Ground Penetrating Radar (GPR)

Durante o trabalho de campo, foram obtidas seções de GPR em perfis longitudinais e transversais às barras. Foi utilizado equipamento GPR da empresa IDS (*Engenharia Dei Sistem*) com antenas de 100 MHz e 200 MHz. O programa de aquisição de dados utilizado foi o *K2 Data Acquisition Software* (também da empresa IDS). As seções foram processadas no programa *Reflex Win 7.0.1 Sandmeier* para posterior interpretação de elementos arquiteturais e superfícies estratigráficas das barras.

A aquisição, processamento e análise das seções de GPR foram realizados durante a pesquisa de iniciação científica PIBIC da graduanda em Geofísica (IAG, USP) Marina Lopes dos Santos Silva. Esses processamentos visam minimizar ou eliminar os ruídos de modo a ressaltar os dados geológicos. No presente trabalho envolveu apenas a interpretação das seções GPR.

5. RESULTADOS

5.1. Análise geomorfológica

5.1.1. Morfologia da Ponta do Jamaraquá

Assim como na Ponta do Quena, as barras arenosas da Ponta do Jamaraquá crescem para a montante (Figura 6). Na barra do Quena há maior acúmulo de sedimento que na barra do Jamaraquá. Uma possível hipótese seria: a maior influência dos ventos alísios nordeste sobre a produção de ondas, as quais teriam maior energia, retrabalhariam mais sedimentos na margem oeste, enquanto que a margem leste estaria mais protegida dessas ondas. O predomínio da dinâmica de ondas sobre o fluxo fluvial faz com que as areias fiquem retidas na margem do canal, enquanto que a lama é concentrada nas porções mais profundas, abaixo do

nível de onda de tempo bom. Além da atuação das ondas, o maior desenvolvimento das barras na margem oeste poderia estar ligado à maior disponibilidade de sedimento, comparado à margem leste.

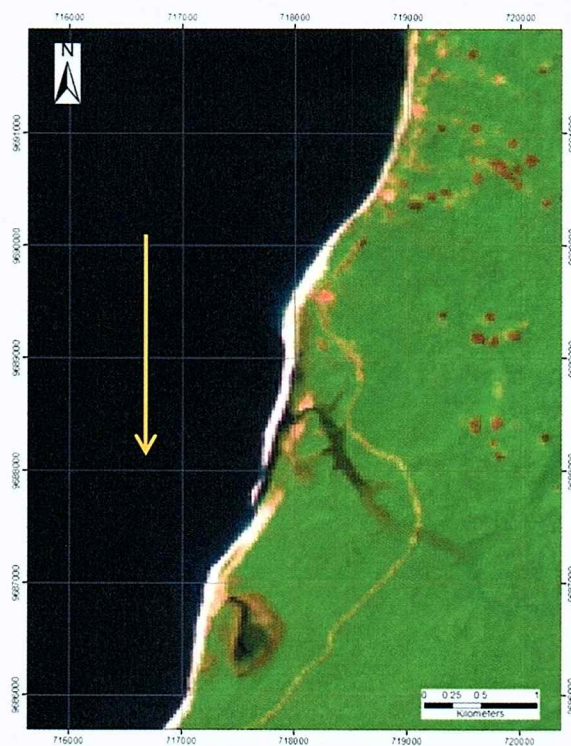


Figura 6: Geomorfologia da barra do Jamaraquá. Seta em amarelo indica a direção de crescimento da barra.

5.1.2. Morfologia da Ponta do Quena

Na margem esquerda do rio Tapajós é possível observar o maior acúmulo de sedimento arenoso em relação à margem oposta, além das praias serem mais largas.

Conforme a morfologia das barras é possível identificar no mínimo duas fases de geração (Figura 07). A geração mais antiga (em amarelo na Figura 07) possui morfologia semelhante com a barra atual, porém, está vegetada. A geração mais recente forma corpo aquoso similar à laguna entre a barra atual e a estabilizada. Esse corpo de água está segmentado em padrão similar ao de Zenkovich (Carter & Woodroffe, 1994), comumente observado em lagunas. Nela podem-se observar pontões arenosos com morfologia de cúspides (indicadas pelas setas vermelhas na Figura 07) na margem da barra, as quais proporcionam a segmentação desse corpo d'água, conforme descrito na Figura 08.

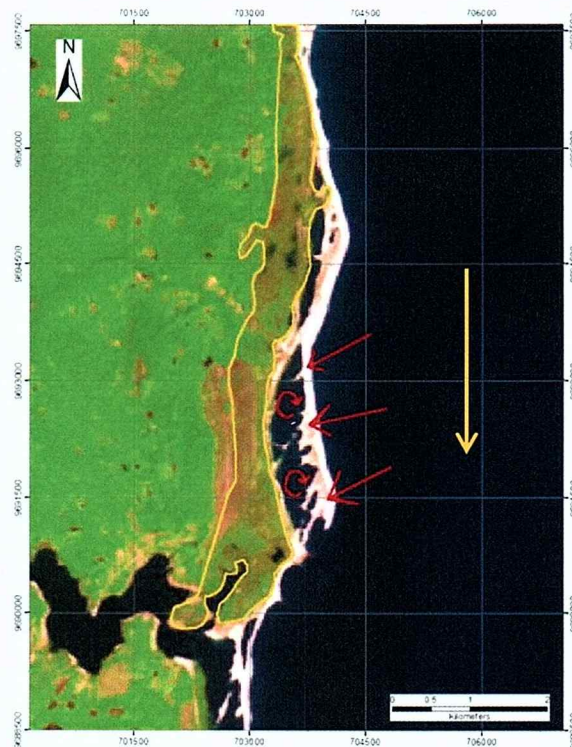


Figura 7: Geomorfologia da barra do Quena. A linha em amarelo indica a paleobarra, a seta amarela a direção de crescimento da barra, a seta vermelha a segmentação da laguna e as setas circular vermelha a direção de transporte sedimentar dentro da laguna.

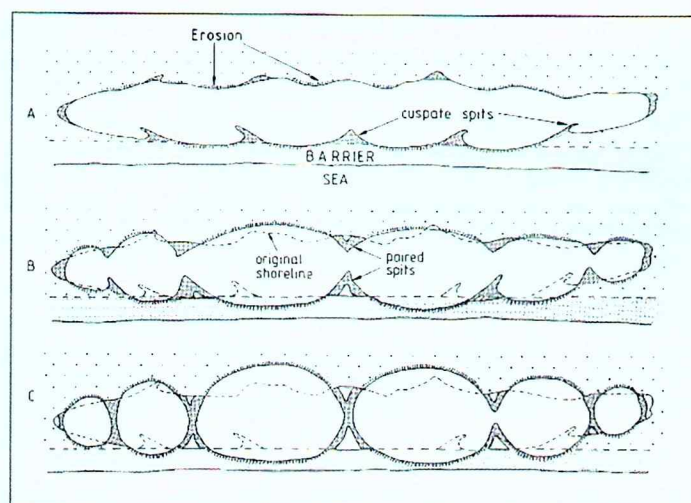


Figura 8: Evolução da segmentação de uma laguna no padrão de Zenkovich (Carter & Woodroffe, 1994).

5.1.3. Morfologia da barra da confluência

Na confluência dos rios Tapajós e Amazonas, se destaca a formação do delta que cresce para a jusante do rio Tapajós, cuja morfologia é do tipo “Bird foot” (Figura 9A). Esse

delta é alimentado pelo furo do Jari, canal que liga o rio Amazonas ao rio Tapajós, no qual erode e retrabalha os sedimentos dessa barra. Além desse delta, é possível observar feições de rompimento da barra (Figura 9B), aqui interpretado como *levee*.

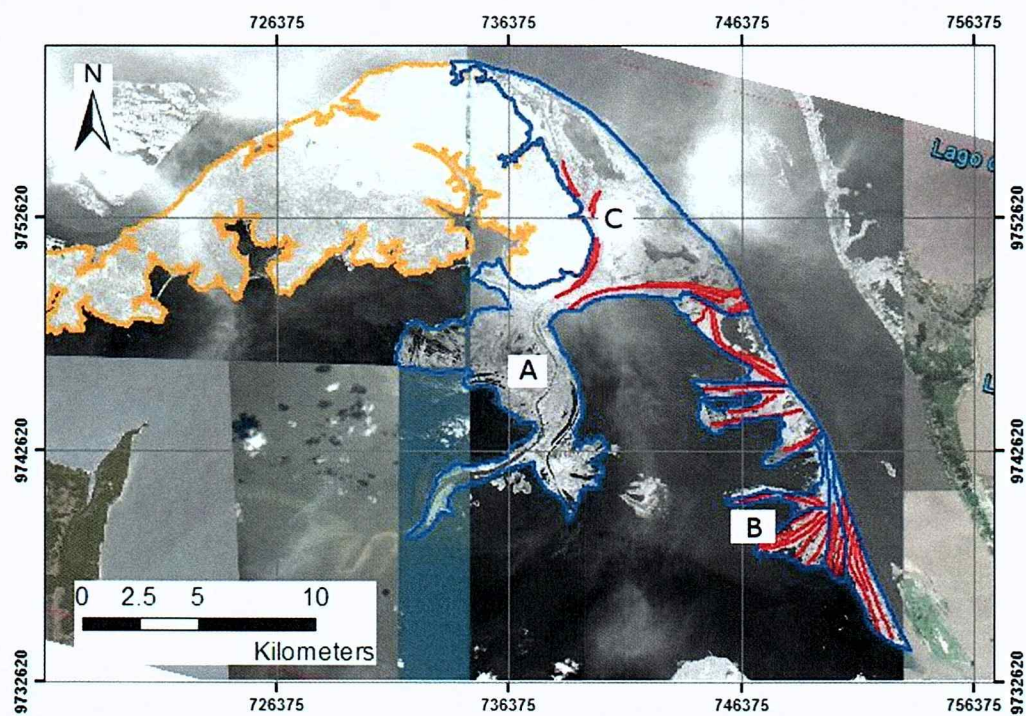


Figura 9: Geomorfologia da barra da confluência. Amarelo: arenito da Formação Alter do Chão; Azul: contorno do dique marginal; em vermelho: cordões de crescimento da barra; A: delta do tipo Bird Foot; B: levees; e C: barras de pontais do furo do Jari.

Conforme os padrões morfológicos dos cordões foram possíveis inferir a direção de crescimento dessa barra (Figura 10). A direção principal foi de oeste para leste, mas com uma direção secundária de norte para sul. Além disso, foi possível observar sete fases de crescimento, indicados pelos números e setas na Figura 10.

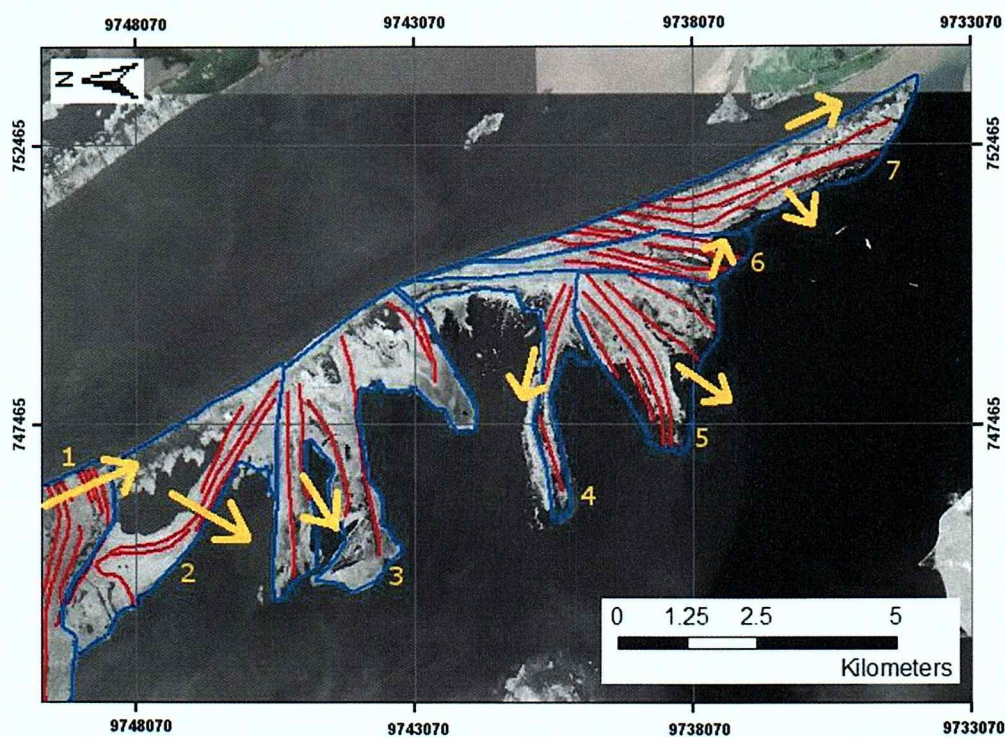


Figura 10: Sentido do crescimento da barra da confluência (setas amarelas), indicado pelos cordões. Os números em amarelo indicam as fases de crescimento.

O furo do Jari se caracteriza por canal meandrante, com barras em pontal formadas pelo retrabalhamento dos sedimentos da própria barra da confluência (Figura 9C). Além disso, na barra da confluência notam-se feições geradas por ondas, que crescem bloqueando os igarapés, semelhante às ilhas barreiras em ambiente costeiro (Figura 11). Entretanto, essas ilhas crescem em diferentes direções do que as barras arenosas do rio Tapajós.

A linha em amarelo foi interpretada como Formação Alter do Chão, devido à diferença de feições. Na Figura 09 é possível observar que na área da Formação não há lagunas, a vegetação é mais densa e possui uma textura maciça.

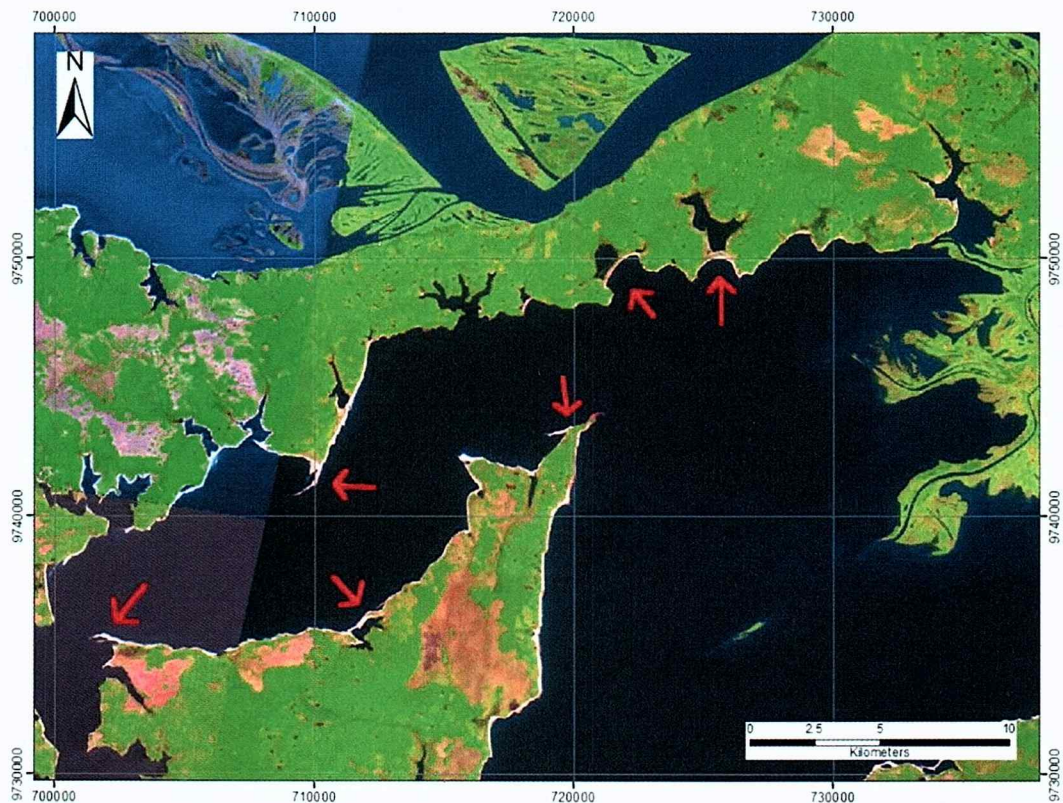


Figura 11: Barreira indicadas pelas setas vermelhas.

5.2. No campo

5.2.1. Barras arenosas das margens do rio Tapajós

As barras arenosas da margem do rio Tapajós visitadas foram nas das localidades Ponta do Quena e Jamaraquá (Figura 12). Essas barras apresentam morfologia de praia, com zona de espraiamento e arrebentação. São compostas por areia (média a grossa), grânulos e seixos de laterita e quartzo arredondados e achatados. Esses grânulos e seixos se acumulam na calha das dunas subaquosas devido ao retrabalhamento das ondas, gerando concentrações na base das estratificações cruzadas, que em superfície formam linhas paralelas à margem da barra. Os grânulos e seixos de laterita resultam da alteração dos arenitos da Formação Alter do Chão nas margens do canal (Figura 15 e Figura 16). Próximo a estes afloramentos os grânulos e seixos se encontravam menos retrabalhados.

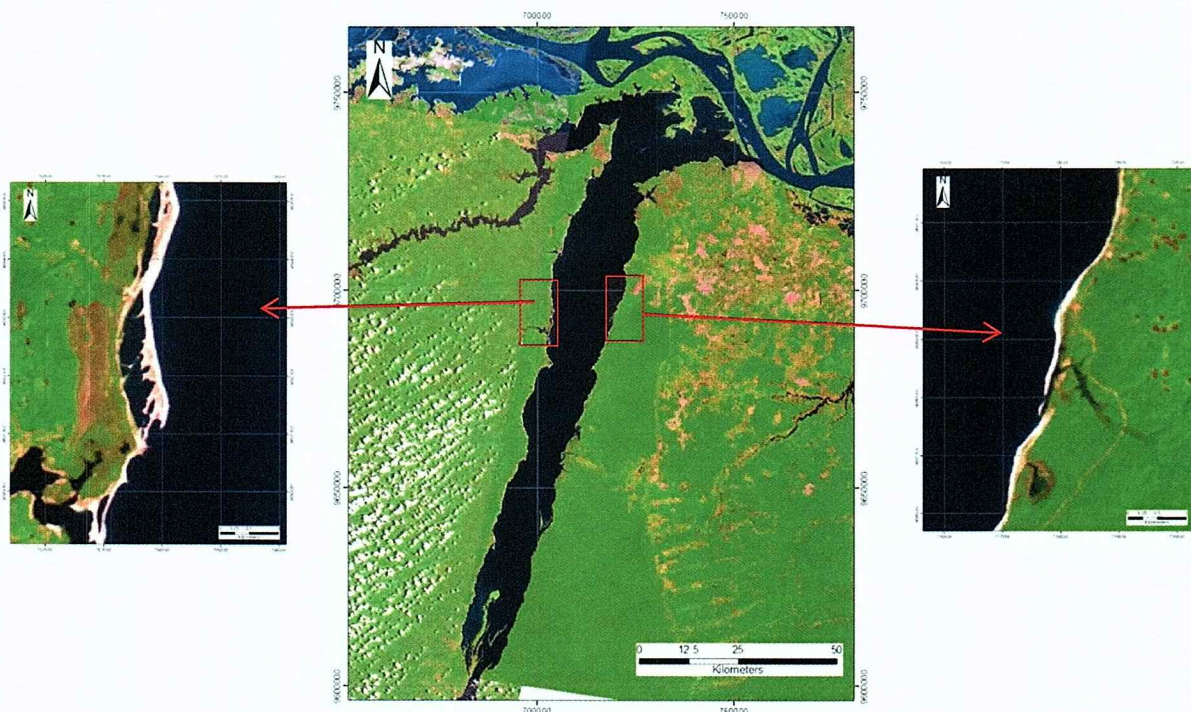


Figura 12: Localização das barras do Quena e Jamaraquá no rio Tapajós.

É possível observar duas diferentes gerações de barras (Figura 13 e Figura 14). A mais recente (ativa) é representada por sedimento esbranquiçado, pouco consolidado, sem vegetação para estabilização e que avança sobre a barra antiga. Já a barra da primeira geração possui sedimentos inconsolidados e amarelados, indicando início de pedogenização, estabilizadas por vegetação pouco densa e que avançam sobre o substrato da barra. O substrato é caracterizado por vegetação arbórea estabilizada (árvores de pequeno a médio porte), com pedogenização intensa (sedimento de cor marrom), com horizonte A bem desenvolvido e nível mais argiloso e rico em material orgânico.



Figura 13: Barra da geração 1 que avança sobre o substrato (TAP 05).



Figura 14: Barra ativa (geração 2) que avança sobre a barra da geração 1 (TAP 02).

Foram coletadas amostras do sedimento de fundo do rio Tapajós por meio de amostrador tipo *grab* (Figura 17). As amostras corresponderam a lama argilosa, de cor cinza escura, com fragmentos vegetais e com poucos níveis mais arenosos.



Figura 15: Geração das lateritas na Formação Alter do Chão (TAP 07).



Figura 16: Seixos de lateritas próximos ao afloramento do Alter do Chão (TAP07).



Figura 17: Lama do fundo do rio Tapajós.

A textura e composição das areias sugerem que fonte do sedimento da porção represada do rio Tapajós, possivelmente, corresponde às rochas da Formação Alter do Chão sob erosão nas margens. Conforme observado em campo, as barras alongadas próximas à cidade de Aveiro são lamosas com núcleo arenoso. Como essas barras são lamosas e estão a montante das barras arenosas do rio Tapajós, na porção afogada o rio carrega somente sedimento em suspensão. Pois, como a correnteza diminui, toda a areia transportada pelo rio é depositada antes do afunilamento, próximo a Aveiro. Assim, como as ondas acumulam as areias nas margens, a fonte das barras arenosas das margens são os próprios arenitos da Formação Alter do Chão, que sofrem erosão por escorregamento (Figura 18) e são

retrabalhados pelas ondas.



Figura 18: Escorregamento nas margens do rio Tapajós.

5.2.2. Barra da confluência dos rios Tapajós e Amazonas

A barra da confluência dos rios Tapajós e Amazonas possui sedimentos arenosos imaturos (quartzo, feldspato e micas) intercalados com camadas de lama. Estes sedimentos são semelhantes aos sedimentos atuais do rio Amazonas (observados nas barras longitudinais do rio), pois os sedimentos do rio Tapajós são dominados por areias com cascalhos e alta concentração de quartzo.



Figura 19: Afloramento em escarpa de erosão das margens do rio Amazonas (TAP 32).

No ponto TAP32, na ponta final da barra, é possível observar erosão acentuada das margens. Esse fenômeno parece ser intensificado pela passagem de grandes barcos petrolíferos e de cruzeiros, que geram ondas (“banzeiros”) e aumentam a erosão das barras estabilizadas e terraços (Figura 19).

As barras do rio Amazonas, parecidas com a da confluência, possuem estruturas sedimentares geradas por correntes fluviais, como por exemplo, estratificações cruzadas decimétricas e camadas de lama acinzentada. Estas são retrabalhadas durante as secas pelos ventos, na qual geram marcas onduladas eólicas.

5.3. Análises das fácies sedimentares

Seções colunares de fácies sedimentares foram elaboradas através das descrições de perfis em trincheiras, amostragem de trado e de afloramento nas margens dos rios. Foram escolhidos pontos com informações representativas das fácies reconhecidas em cada barra (figuras 20 ao 28), ou seja, representativa do ambiente deposicional. A Tabela 2 sintetiza as fácies sedimentares descritas e seus processos formadores.

Tabela 2: Resumo das fácies sedimentares reconhecidas nas barras arenosas e da confluência dos rios Tapajós e Amazonas.

Sigla	Descrição	Interpretação
Lm	Lama maciça cinza clara, com pequenas concentrações de óxido de ferro.	Decantação nas planícies de inundação e lagos intrabarras
Lh	Lama com laminação heterolítica, às vezes sigmoidal, cinza.	Decantação nas planícies de inundação e lagos intrabarras
AFm	Areia fina maciça, pedogenizada e com bioturbação.	Pedogenizado
AFo	Areia fina com marca ondulada centimétrica, cinza claro. Às vezes com presença de gretas de contração.	Deposição por correntes de subida e descida do nível do rio
AFcl	Areia fina com estratificação cruzada com filme de lama no <i>foreset</i> , marrom avermelhada.	Deposição por correntes de subida e descida do nível do rio
AFh	Areia fina com laminação heterolítica, No contato com a lama há laminação convoluta.	Deposição por correntes de subida e descida do nível do rio
AFlc	Areia fina com laminação cruzada, cinza claro.	Deposição por correntes de subida e descida do nível do rio
AFMcb	Areia fina a média com estratificação cruzada de baixo ângulo, com níveis de concentração de grânulos e seixos.	Dominado por onda, zona de espreamento.
AFMca	Areia fina a média com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte.	Dominado por onda, zona de arrebenção.
AMm	Areia média maciça, com bioturbação e grânulos discoides dispersos, de coloração marrom amarelado.	Pedogenizado
AMGcg	Areia média a grossa com estratificação cruzada tabular com concentração de grânulos discoides na base (pequeno porte).	Dominado por onda, zona de arrebenção.
AMGc	Areia média a grossa com estratificação cruzada tabular de pequeno porte, com grânulos e seixos achatados dispersos.	Dominado por onda, zona de arrebenção.
AMGca	Areia média a grossa com estratificação acanalada de pequeno a médio porte, com grânulos e seixos achatados dispersos.	Dominado por onda, zona de arrebenção.
AMGp	Areia média a grossa com estratificação plano paralela, com grânulos discoides dispersos.	Dominado por onda, zona de espreamento.
AMGcb	Areia média a grossa com estratificação cruzada de baixo ângulo, com grânulos discoides dispersos.	Dominado por onda, zona de espreamento.
AMGm	Areia média a grossa maciça, com bioturbação e grânulos discoides dispersos.	Dominado por onda.



Figura 20: *Fácies sedimentares reconhecidas no ponto TAP 32.*



Figura 21: *Fácies sedimentar reconhecida no ponto TAP 25.*

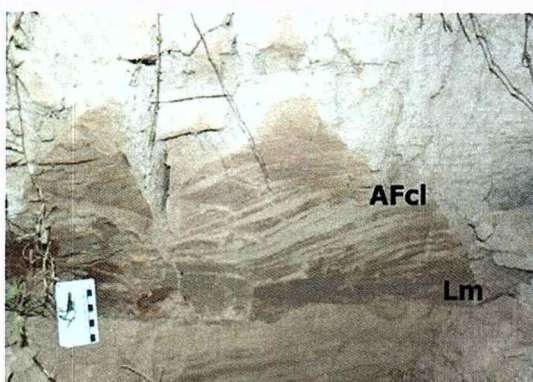


Figura 22: *Fácies sedimentares reconhecidas no ponto TAP 29.*



Figura 23: *Fácies sedimentares reconhecidas no ponto TAP 32.*



Figura 24: *Fácies sedimentar reconhecida no ponto TAP 20.*

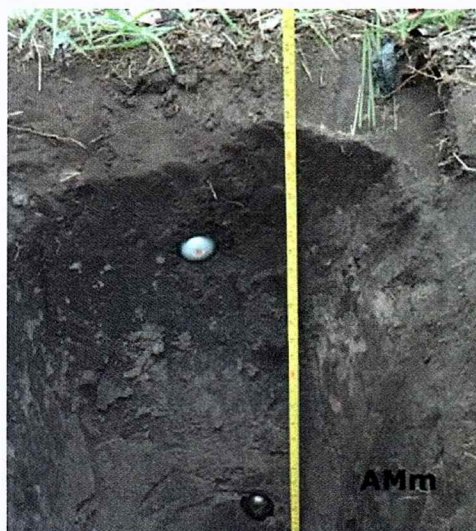


Figura 25: *Fácies sedimentar reconhecida no ponto TAP 05.*

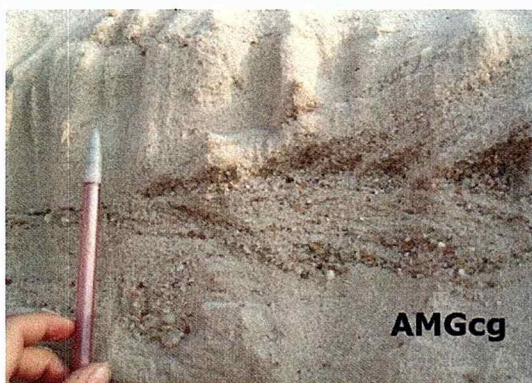


Figura 26: Fácies sedimentar reconhecida no ponto TAP 01.



Figura 27: Fácies sedimentar reconhecida no ponto TAP 02.

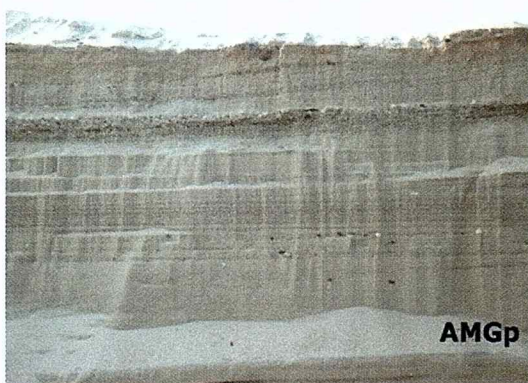


Figura 28: Fácies sedimentar reconhecida no ponto TAP 17.

5.3.1. Barra do Jamaraquá

Foram elaboradas três seções colunares representativas da barra do Jamaraquá (TAP 01, TAP 03 e TAP 05). Essas seções formam perfil norte-sul, conforme observado na Figura 30. Em geral, os sedimentos são mal selecionados, de composição predominantemente quartzosa, com granulação média a grossa de areia e com presenças de grânulos e seixos discoides dispersos e/ou concentrados na base das estratificações cruzadas.

As estruturas sedimentares encontradas foram: estratificações cruzadas tabulares e acanaladas de pequeno a médio porte (0,5 a 25 cm) com *sets* tabulares e em cunhas. As estratificações possuem mergulho para ambos os lados, mas predominantemente para oeste. Os sedimentos das gerações de barras mais antigas perderam suas estruturas conforme a intensidade da pedogênese.

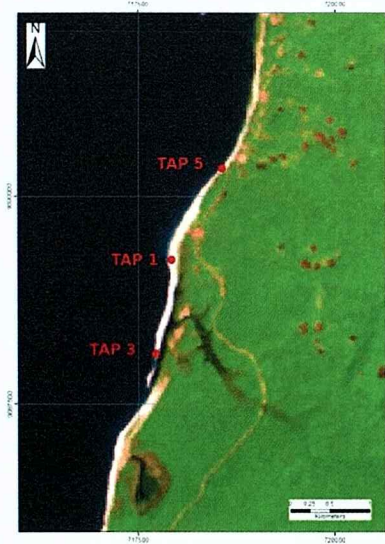
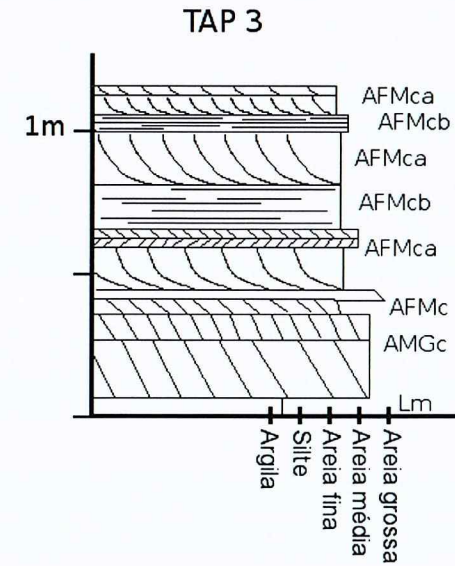
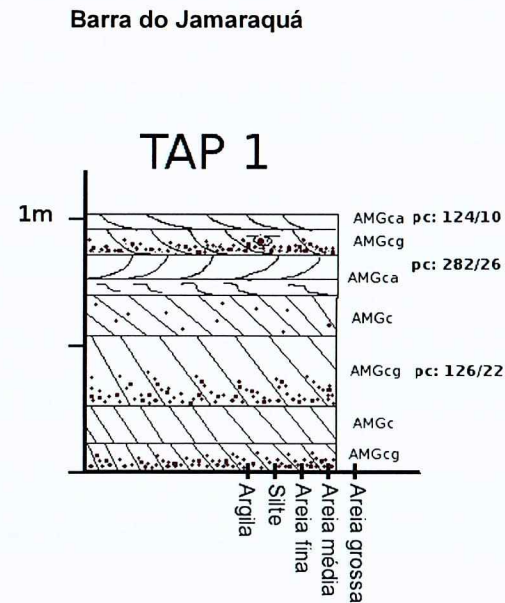
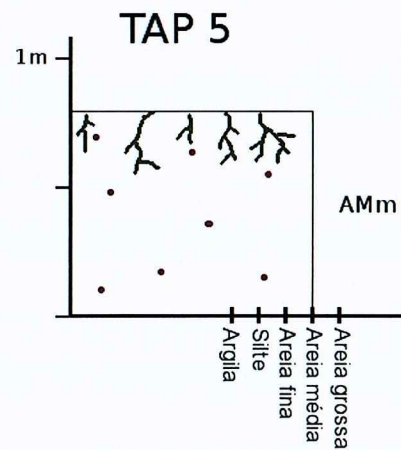
Os conjuntos de fácies encontrados nessa barra podem ser relacionados com processos costeiros dominados por ondas, ou seja, os mesmos processos que ocorrem em praias atuais. As fácies com estratificação cruzada de baixo ângulo e plano paralelas podem estar

relacionadas com a zona de espraio, enquanto que as fácies com estratificação cruzada acanalada e tabular com a zona de arrebatamento. O formato discoide dos grânulos é outro indicativo de retrabalhamento por ondas, pois devido o formato, a corrente fluvial tem dificuldades em transportá-lo. As concentrações de grânulos na base das estratificações cruzadas podem ser interpretadas como grãos que caíram nos vales das dunas, e que com as cristas erodidas (devido à erosão) evidenciam essa concentração na superfície da praia e nas estratificações (Figura 29).



Figura 29: Concentração de seixos discoides na superfície da barra do Jamará.

A fácies de lama na base da coluna TAP 03 é rica em matéria orgânica e de coloração acinzentada. Essa fácies de ambiente de baixa energia pode estar relacionada com os igarapés que ocorrem nas margens, os quais, quando protegidos, podem decantar lama orgânica. Uma possível interpretação seria que a barra avança sobre o igarapé.



Legenda

Lm: Lama maciça.

AMm: Areia média maciça.

AFMca: Areia fina a média com estratificação cruzada acanalada.

AFMcb: Areia fina a média com estratificação cruzada com mergulho de baixo ângulo.

AFMc: Areia fina a média com estratificação cruzada tabular.

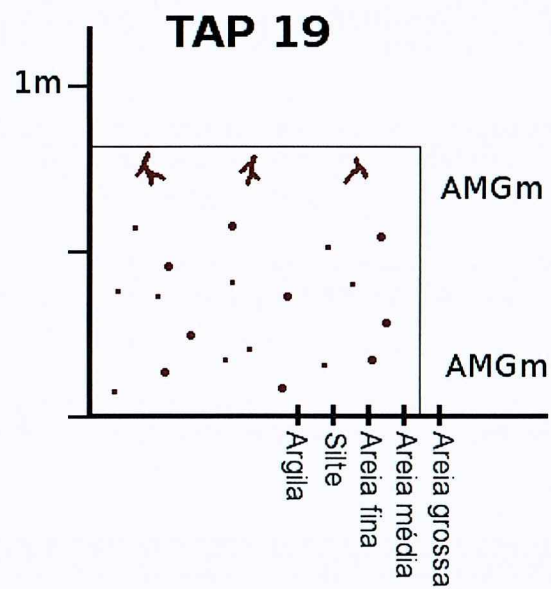
AMGcg: Areia média a grossa com estratificação cruzada tabular com concentração de grânulos na base.

AMGc: Areia média a grossa com estratificação cruzada tabular.

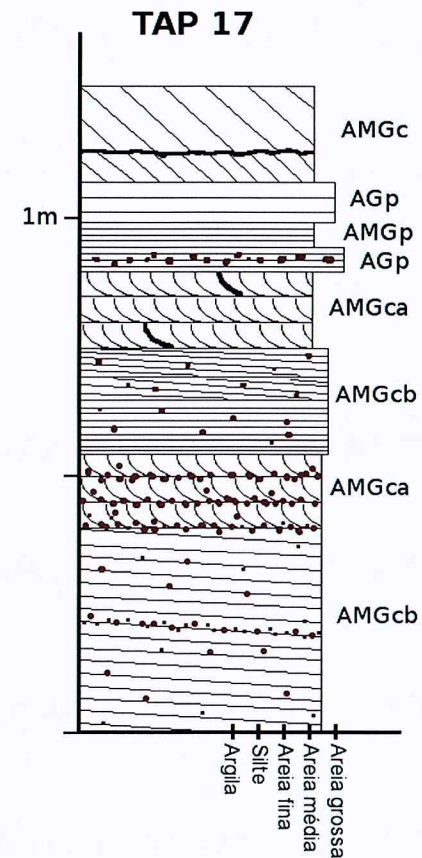
AMGca: Areia média a grossa com estratificação cruzada acanalada.

- Estratificação cruzada acanalada
- Estratificação cruzada tabular
- Escavações
- Grânulos/ seixos
- Raiz

Figura 30: Seções colunares da barra do Jamaraquá.



Barra do Quena



Legenda:

AMGc: Areia média a grossa com estratificação cruzada tabular.

• Grânulos/ seixos

AMGp: Areia média a grossa com estratificação plano paralela.

✎ Raiz

AMGca: Areia média a grossa com estratificação cruzada acanalada.

— Filme de mineras pesados

AMGcb: Areia média a grossa com estratificação cruzada de baixo ângulo.

AMGm: Areia média a grossa maciça.

AGp: Areia média a grossa com estratificação plano paralela.

Figura 31: Seções colunares da barra do Quena.

5.3.2. Barra do Quena

Foram elaboradas duas seções colunares para a barra do Quena (TAP 17 e TAP 19). A primeira é um afloramento do tipo corte de praia da barra mais recente, enquanto que o ponto TAP 19 é uma trincheira na geração de barra estabilizada. Em ambas as colunas (Figura 31), o sedimento predominante é areia média a grossa, composta principalmente por quartzo e laterita, com grânulos/ seixos discoides dispersos ou concentrados na base dos *sets* das estratificações cruzadas.

As estruturas encontradas no ponto TAP 17 foram estratificações cruzadas tabulares e acanaladas de pequeno a médio porte, com níveis de concentrações de minerais pesados no *foreset* e entre os *sets*, cruzadas de baixo ângulo e estratificações plano-paralelas. Essas camadas apresentam inclinação preferencial para sul. Entretanto, no ponto TAP 19 não foi observada estruturas devido à forte pedogenização.

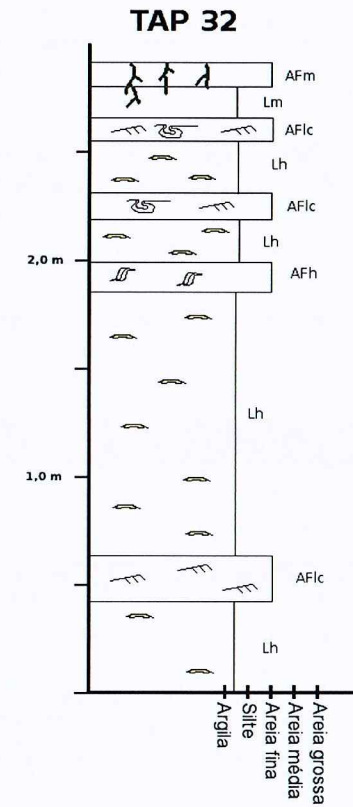
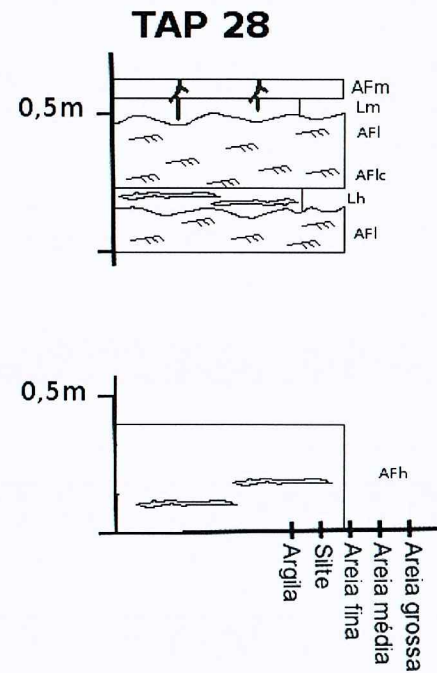
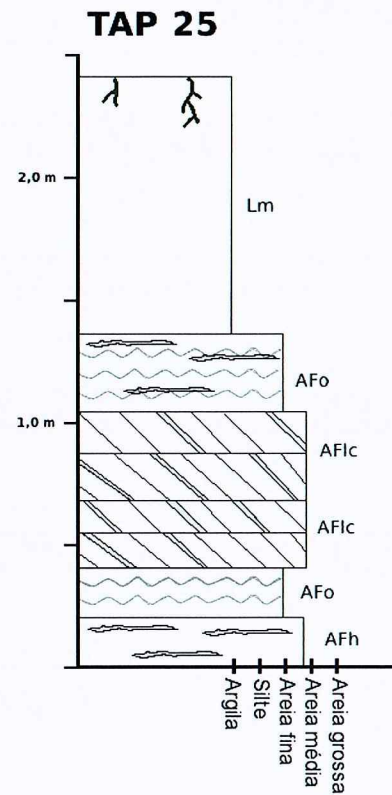
Esses conjuntos de fácies, assim como na barra do Jamaraquá, estão relacionados com ambiente costeiro dominado por ondas, semelhante ao descrito na barra do Jamaraquá.

5.3.3. Barra da Confluência

Foram elaboradas três seções colunares (TAP 25, 28 e 32) da barra da confluência (Figura 32). Estas seções apresentam assembleia de fácies contrastantes em relação às das demais barras, pois apresentam sedimento lamoso, por vezes com laminação heterolítica, intercalados com areia fina. Há também fácies de areia fina com estratificação e laminação cruzada e níveis com lâminas de lama no *foreset*. No topo das colunas predomina sedimentos maciços, devido à ação da pedogênese.

Esses conjuntos de fácies podem ser interpretados como resultados da deposição entre os períodos de cheia e seca, juntamente com possível influência da maré. Isso é evidenciado pelas intercalações de areia e lama de espessura variada (espessas relacionadas com a sazonalidade climática e menores com a maré).

Barra da confluência



Legenda

AFcl: Areia fina com laminação cruzada.

Lh: Lama com laminação heterolítica de areia fina.

AFh: Areia fina com laminação heterolítica de lama.

Lm: Lama maciça.

AFo: Areia fina com marca ondulada simétrica.

AFm: Areia fina maciça.

AFcl: Areia fina com estratificação cruzada e filmes de lama no forset.

Marca ondulada

Lente de lama

Laminação cruzada

Lente de areia

Laminação convoluta

Laminação sigmoidal

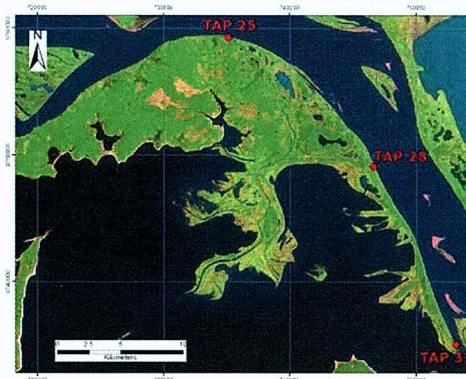


Figura 32: Seções colunares da barra da confluência.

5.4. Seções GPR

No presente estudo, foram interpretadas seções com estruturas internas que indicam a direção de crescimento das barras. Adicionalmente, procurou-se, quando possível, correlacionar a descrição de fácies em trincheiras com as seções GPR. As seções escolhidas são das barras do Quena e Jamaraquá, e as radarfácies descritas estão na Tabela 3:

Tabela 3: Resumo das radarfácies reconhecidas das barras arenosas do rio Tapajós.

Radarfácies	Geometria externa	Refletores	Mergulho	Interpretação
RF1	Principalmente em cunha	Fortes, descontínuos, subparalelos e sub-horizontais.	Sub-horizantal	Deposição em ambiente dominado por onda
RF2	Tabular	Contínuos, com clinoformas longas e mergulho de alto ângulo.	Alto grau para <i>onshore</i>	Acréscimo lateral
RF3	Cunha	Caóticos	Caótico	Substrato da barra de areia lamosa
RF4	Tabular	Contínuos, sub-horizontais, com clinoformas longas.	Alto grau para a montante	Acréscimo longitudinal para a montante
RF5	Sigmoidal	Refletores fortes e contínuos	Alto grau (30°) para <i>onshore</i>	Acréscimo lateral para <i>onshore</i>
RF6	Tabular	Refletores fortes, contínuos, côncavo para cima.	Mediano para <i>offshore</i>	Acréscimo lateral para <i>offshore</i>
RF7	Tabular	Refletores fortes, contínuos, paralelos, equidistantes.	Alto grau para <i>onshore</i>	Acréscimo lateral para <i>onshore</i>
RF8	Sigmoidal	Descontínuos, com clinoformas curtas e de alto mergulho.	Alto grau para a montante	Acréscimo longitudinal para a montante

5.4.1. Barra do Jamaraquá

Foram interpretadas duas seções, sendo uma delas longitudinal (J-AA) e outra transversal (J-AD) (respectivamente figuras 33 e 34) à barra. Em ambas as seções, os refletores sub-horizontais, contínuos e irregulares são interpretados como superfície de exposição (S1 a S4). Pois devido à pedogênese, na superfície há concentração de óxido e hidróxido de ferro, de modo a gerar contraste entre os refletores. Já os refletores fortes, contínuos e retos são interpretados como nível de água (linha em azul claro), pois quando essa superfície está próximo do lago ou rio, esses refletores migram para o topo da seção.

Na seção J-AA (Figura 33) destaca-se a ocorrência das seguintes radarfácies:

- RF1: com espessura de um metro, caracterizam-se por refletores fortes, descontínuos, subparalelos e sub-horizontais. Sua geometria externa é em cunha e se localiza no topo da seção. Esta radarfácies é interpretada como fácies de praia (ambiente dominado por ondas) na zona de espraçamento, pois apresenta estratificação de baixo ângulo a estratificações plano paralelas, semelhante ao encontrado na fácies descritas na coluna estratigráfica (Tabela 2);
- RF2: entre 1,5 e 5 metros de profundidade. Esta radarfácies estende-se lateralmente por dezenas de metros e caracteriza-se por geometria externa tabular. Compreende refletores contínuos, de alta amplitude com clinoformas longas, separados pelo nível de água (linha em azul) e mergulho de alto ângulo (aproximadamente 45 graus) para leste. As terminações do tipo *downlap* são unidirecionais, com mergulho de alto ângulo para leste. Esse padrão de empilhamento ocorre associado ao crescimento da barra (crescimento lateral) para “*onshore*” (para o continente). Esse processo pode ser semelhante ao que ocorre atualmente na superfície da barra, onde as dunas avançam para *onshore* (Foto da Figura 33);
- RF3: entre quatro a seis metros de profundidade, caracteriza por geometria externa em cunha e refletores caóticos. Esta radarfácies pode corresponder ao substrato dessa barra, a qual perdeu suas estruturas com a pedogênese.

Na seção J- AD (Figura 34) foram diferenciadas três radarfácies, sendo duas delas semelhantes às radarfácies RF1 e RF3 da seção anterior (J-AA, Figura 33).

- RF1: encontra-se na profundidade entre 0 a 3 metros e corresponde a fácies de praia;
- RF3: abaixo de cinco metros de profundidade, corresponde à fácies do substrato da barra;
- RF4: entre um a quatro metros de profundidade, caracterizada por geometria externa tabular, com grande extensão lateral (centenas de metros), com refletores contínuos, sub-horizontais, com clinoformas longas, separadas pelo nível de água (linha em azul), de alto mergulho (aproximadamente 45 graus) para sul. Esta radarfácies associa-se a crescimento longitudinal da barra, a qual indica um crescimento para a montante do rio Tapajós.

Conforme as características encontradas nas seções dessa barra pode-se concluir que o crescimento da barra do Jamaraquá é longitudinal para a montante e transversal para *onshore* (pelo processo de crescimento lateral). No topo da seção, os padrões e atributos da RF1 sugerem que os refletores correspondem à deposição semelhante ao que acontece em ambiente costeiro dominado por onda, onde as ondas de espraçamento geram estratificações de baixo ângulo e estratificações plano paralelas.

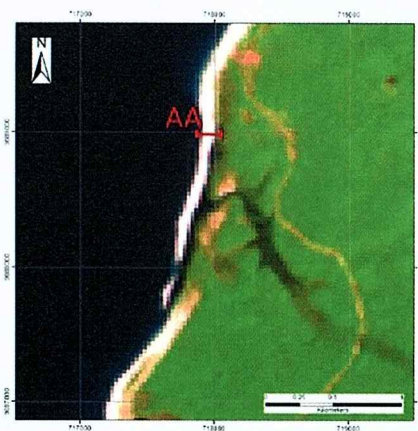
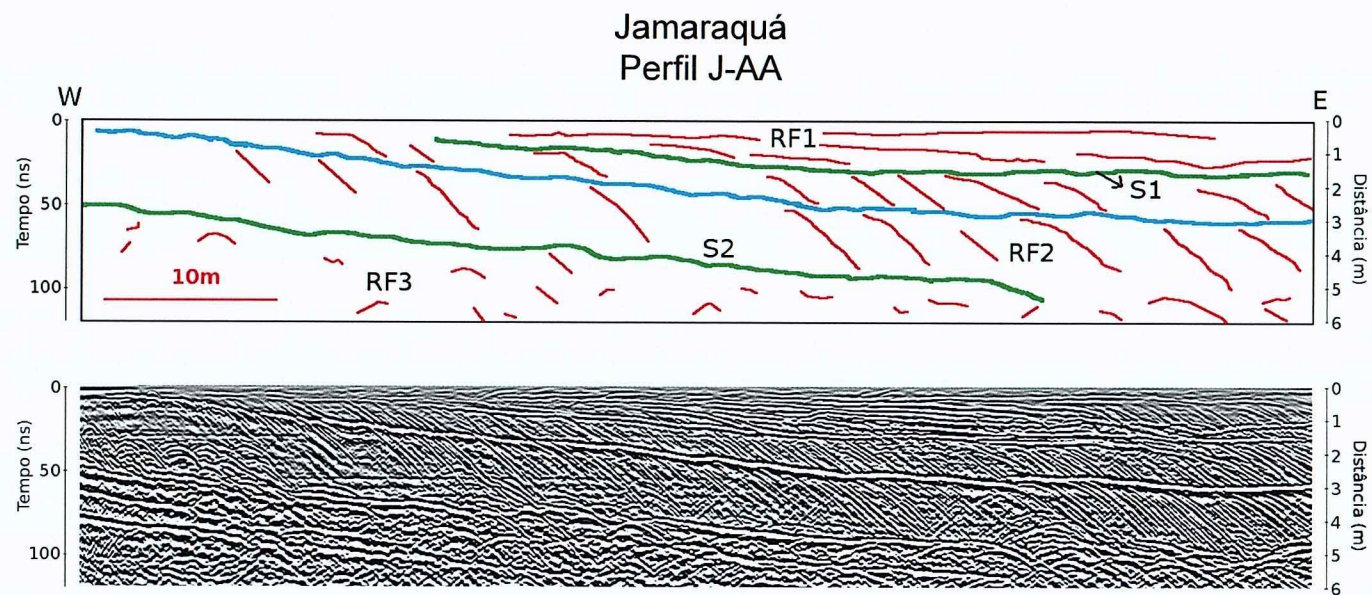


Figura 33: Seção GPR longitudinal da barra do Jamaraquá com antenas de 100 MHz.
Foto: Avanço das dunas para o onshore (TAP 02).

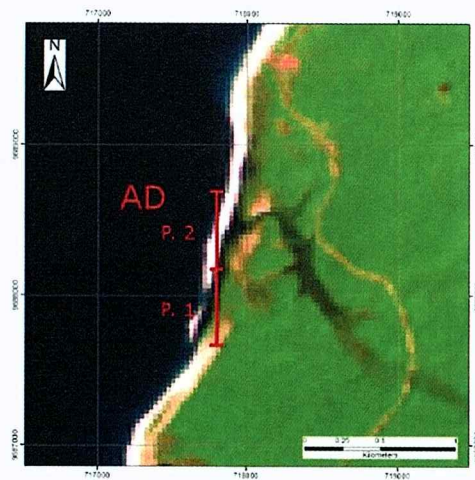
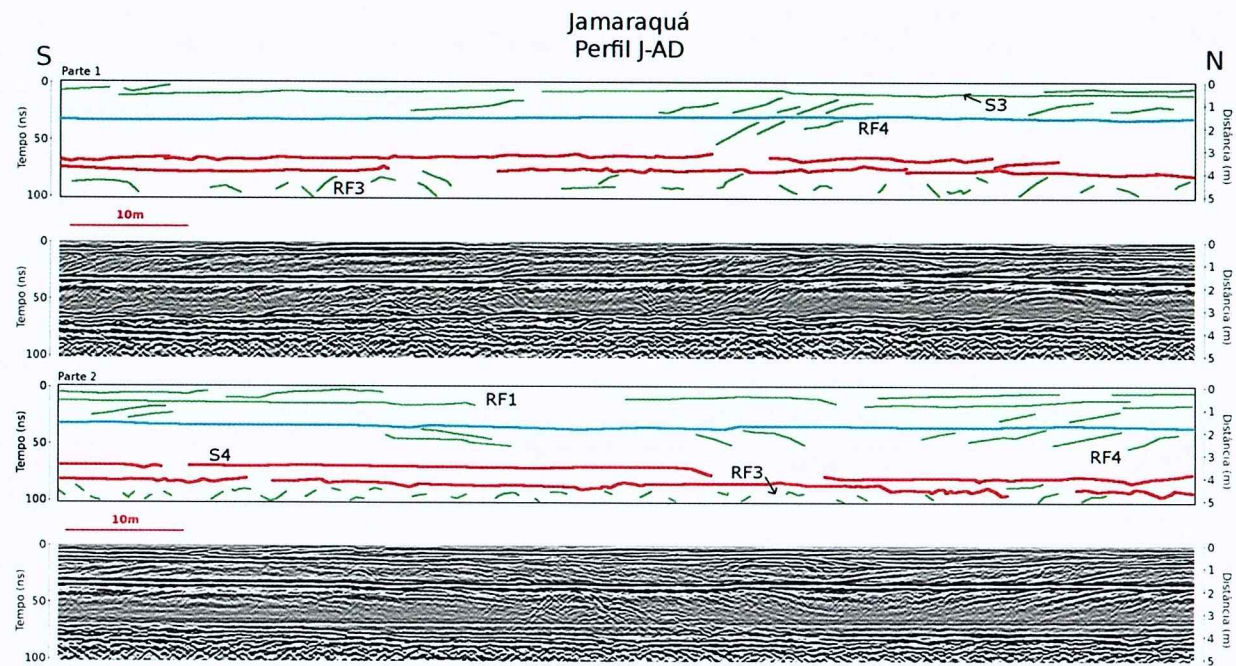


Figura 34: Seção GPR transversal da barra do Jamaraquá com antena de 100 MHz.

5.4.2. Barra do Quena

Foram elaboradas duas seções GPR, uma longitudinal (Q- AB) e uma transversal (Q- AA), respectivamente apresentadas nas figuras 35 e 36 (A e B). Assim como na barra do Jamaraquá, os refletores fortes e contínuos foram interpretados como nível d'água (linha em azul claro) e os contínuos e irregulares como superfície de exposição (S5 e S6).

Na seção Q- AA (semelhante ao perfil da foto da Figura 35) foram identificados quatro radarfácies:

- RF1: entre profundidade de zero a quatro metros, esta radarfácies é caracterizada por geometria externa em meia elipse e atributos e interpretações semelhantes com a barra do Jamaraquá, ou seja, de ambiente dominado por ondas na zona de espreamento.
- RF5: possui espessura de um metro, com formato externo sigmoidal, com refletores fortes e contínuos. As terminações *downlap* são unidirecionais mergulhando para oeste (*onshore*). Essa radarfácies poderia ser interpretada como o acréscimo lateral da barra para o *onshore*.
- RF6: apresenta espessura de aproximadamente 3 metros, com refletores fortes, contínuos, côncavo para cima. Além de ter a geometria externa tabular e lateralmente extenso, há clinoformas longos e com mergulho de aproximadamente 30 graus. As terminações *downlap* são unidirecionais, com mergulho para leste, para *offshore* (direção ao rio Tapajós). Essas características da RF6 podem estar associadas com o crescimento lateral da barra no sentido *offshore*. Conforme a direção de crescimento da barra, a geração pode ocorrer devido ao retrabalhamento dos sedimentos por ondas.
- RF7: definida pela espessura de um metro, com refletores fortes, contínuos, paralelos, equidistantes e com geometria tabular. Os refletores caracterizam-se por terminação em *downlap* unidirecionais, com mergulho para oeste (*onshore*) e subdivididos em três *sets*. Esta radarfácies pode ser interpretada como o retrabalhamento das ondas das lagunas (Figura 36B), processo que está separando em lagunas menores.

Na seção Q – AB, subdivididos em quatro partes para facilitar a visualização, foram observadas quatro radarfácies.

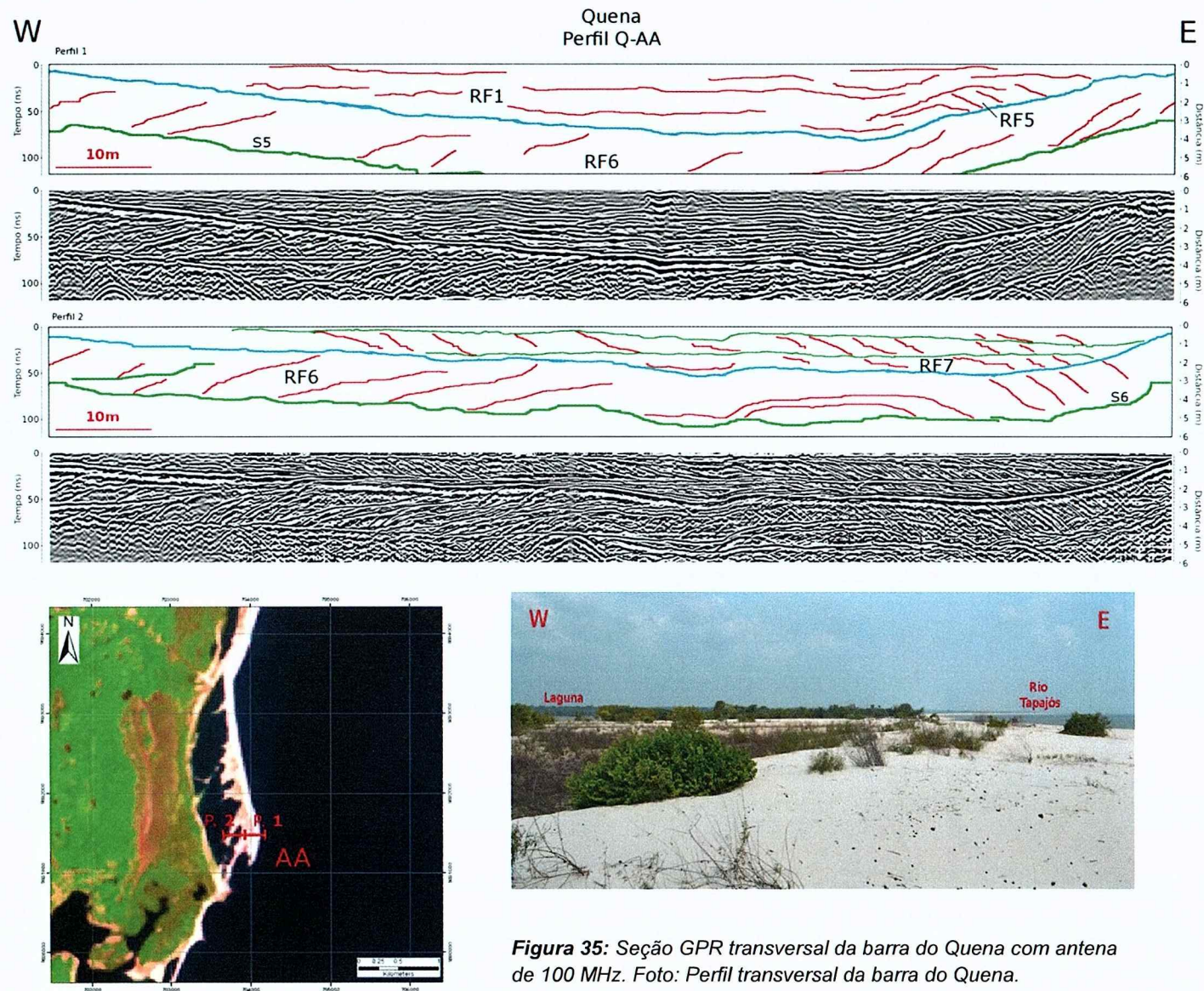
- RF1: encontrada na profundidade entre zero a três metros, destaca-se pela geometria externa em cunha. Também interpretada como deposição em ambiente dominado por ondas (semelhante com a fácies sedimentar da foto da Figura 36A).

- RF3: Localizada abaixo da profundidade de 5 metros, com geometria externa em cunha. RF3 associada ao substrato da barra.

- RF4: com um a dois metros de espessura, caracteriza-se pela geometria externa tabular. Assim como na barra do Jamaraquá, as clinoformas possuem mergulhos de alto ângulo para sul. Do mesmo modo, foi interpretado como crescimento longitudinal para a montante do rio Tapajós.

- RF8: apresenta espessura entre 0,5 a 1 metro, com refletores descontínuos e geometria externa sigmoidal, com clinoformas curtas, de alto mergulho (aproximadamente 45 graus) para sul. As terminações *downlap* são unidirecionais, com mergulho para sul. Assim como a RF4, este radarfácies pode ser interpretada como crescimento longitudinal para a montante do rio Tapajós.

Conforme as seções GPR dessa barra pode-se considerar que a crescimento lateral é para *offshore*, com crescimento longitudinal para a montante. Assim como na barra do Jamaraquá, no topo dessa barra há a RF1, interpretada como fácies de ambiente dominado por onda.



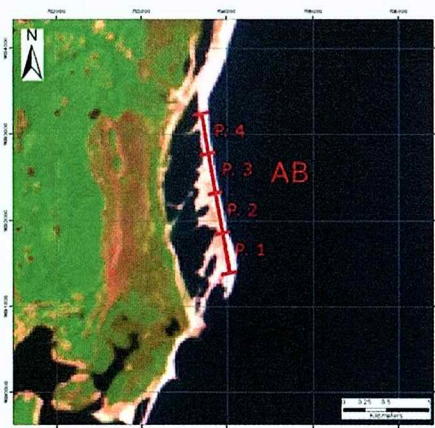
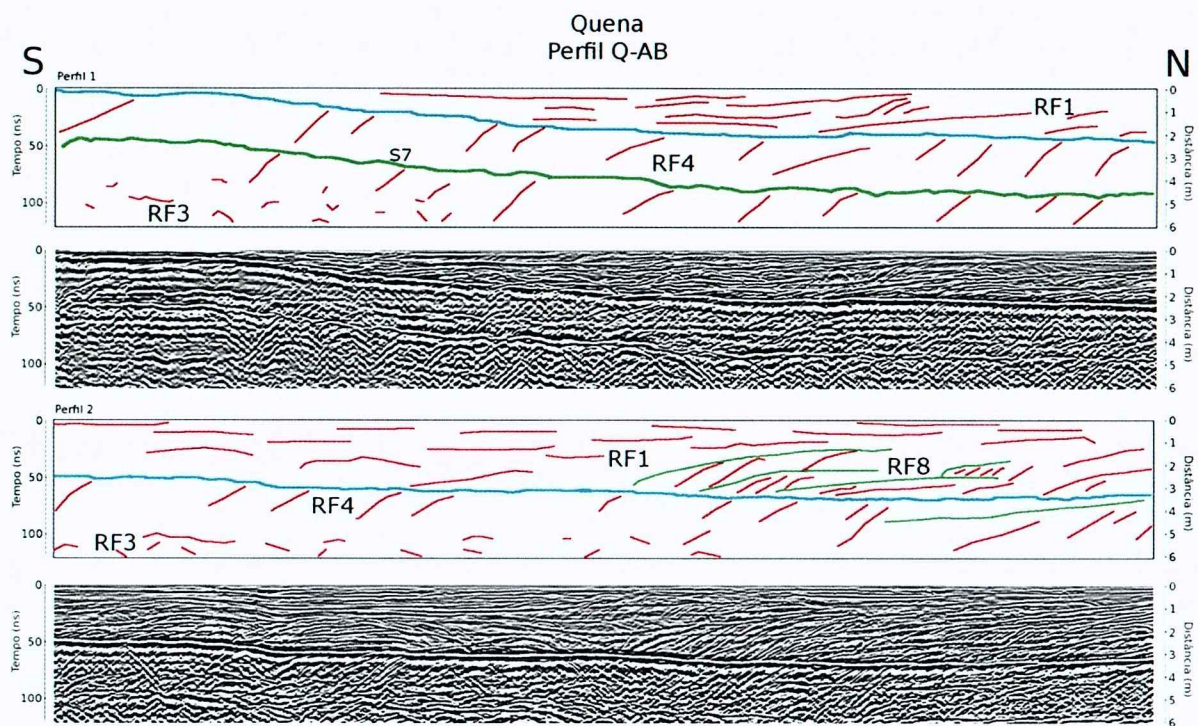


Figura 36A: Seção GPR longitudinal da barra do Quena com antena de 100 MHz. Foto: Fácies sedimentar relacionado com a radarfácies RF1 (TAP 17).

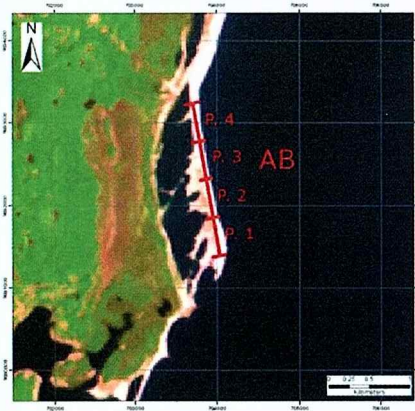
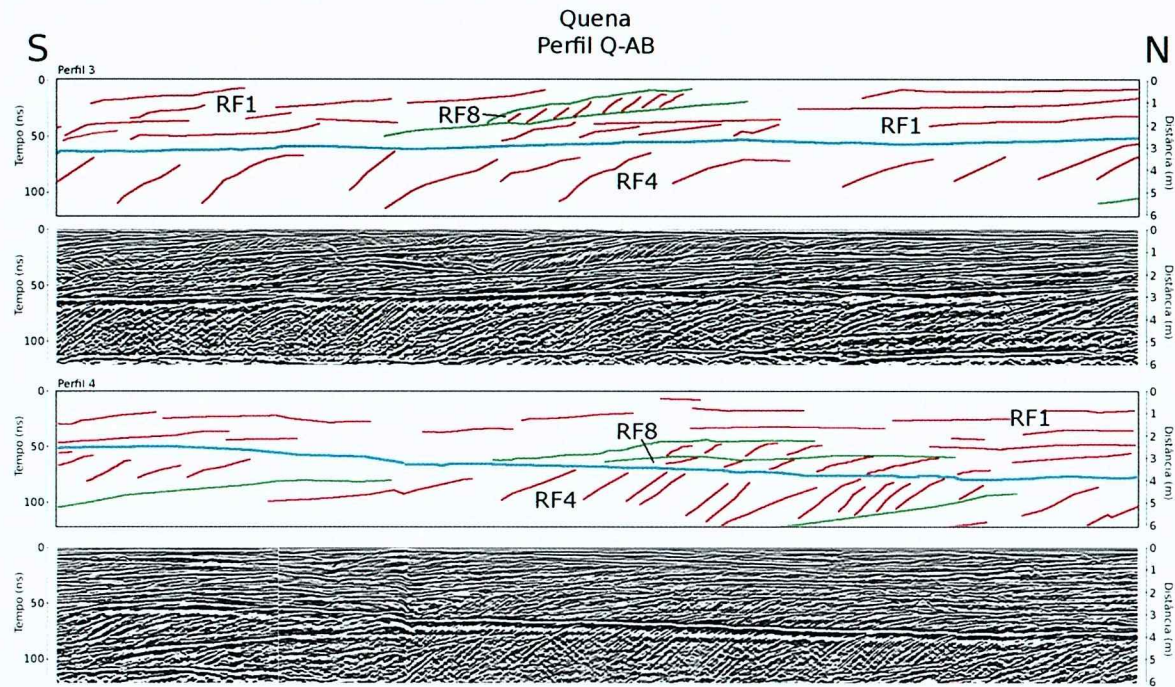


Figura 36B:
Continuação da
seção GPR
longitudinal da
barra do Quena
com antena de 100
MHz. Foto: Laguna
da barra do Quena.

5.5. Datação LOE

A geocronologia obtida foi utilizada para inferir possíveis idades para a geração das barras, correlacionando-as com a geomorfologia e fácies sedimentares observadas. Para isso, foram datadas nove amostras, sendo duas da barra do Jamaraquá, quatro do Quena e três da confluência.

Para o cálculo de dose equivalente foi utilizado o protocolo SAR, no qual foram medidas 24 alíquotas de quartzo para cada amostra. Para a validação do protocolo SAR foi utilizado o teste de recuperação de dose, realizado em cinco alíquotas para cada dose, sendo de 84, 33,6 e 2,52 Gy. As razões entre as doses (figuras 36, 37 e 38) medida/administrada foram respectivamente 0,96, 0,97 e 1,13. Como os valores foram próximos de um, a amostra é apropriada para ser utilizada como dosímetro natural. Portanto, o protocolo SAR foi adequado para o cálculo das doses.

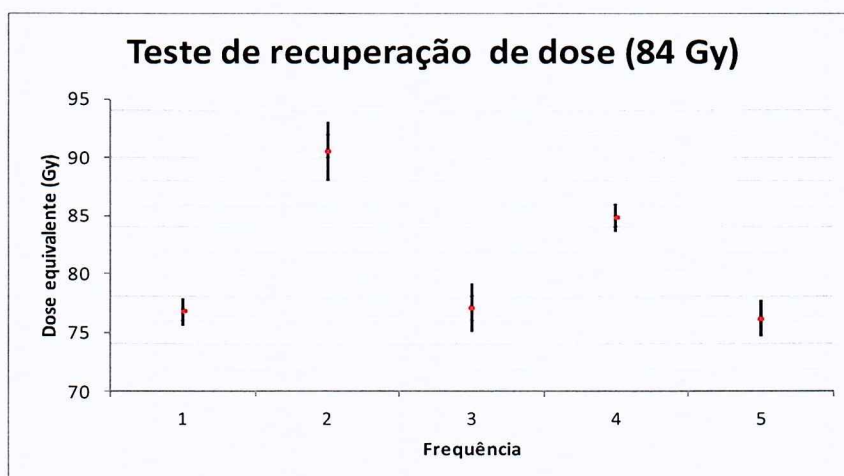


Figura 37: Teste de recuperação de dose, com dose de 84 Gy, da amostra 4B.

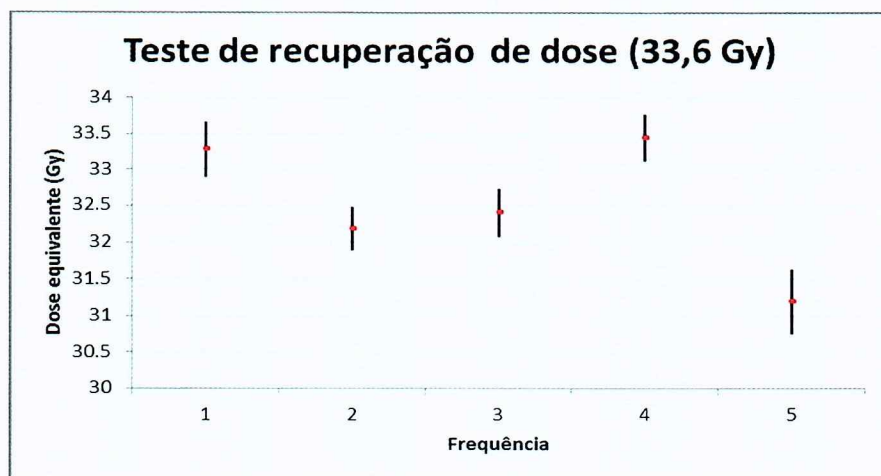


Figura 37: Teste de recuperação de dose, com dose de 33,6 Gy, da amostra 4B.

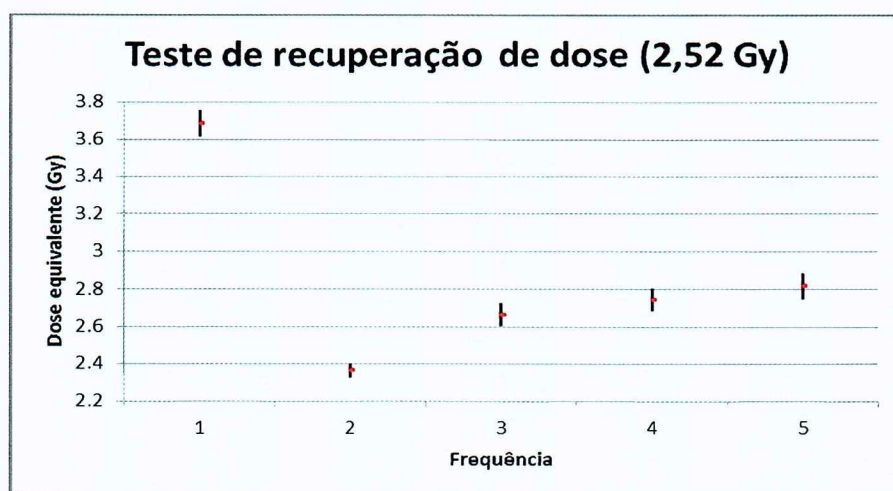


Figura 38: Teste de recuperação de dose, com dose de 2,52 Gy, da amostra 4B.

Para a validação das alíquotas foram utilizados os testes de recuperação (*Recovery Test*), reciclagem (*Recycling Test*) e de feldspato (*Feldspar Test*). Os valores do teste de reciclagem que não ficaram na faixa entre 0,90 e 1,10 e quando o erro máximo da dose de teste eram maiores que 10% foram descartados. No teste de feldspato, as amostras do Quena e Jamará apresentaram baixo sinal de IRSL (figuras 40 e 41), porém as amostras da confluência demonstravam altos sinais de IRSL (Figura 42), indicando quantidades significativas de feldspato nas amostras (mesmo após o ataque de HF). Para solucionar esse problema, as amostras foram submetidas ao ataque ácido por mais 90 minutos, até a eliminação do feldspato.

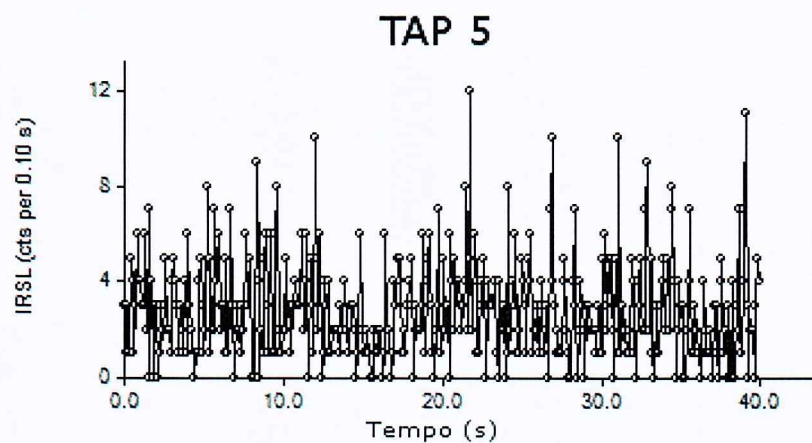


Figura 39: Sinal IRSL natural da amostra da barra do Jamaraquá indica ausência de feldspato.

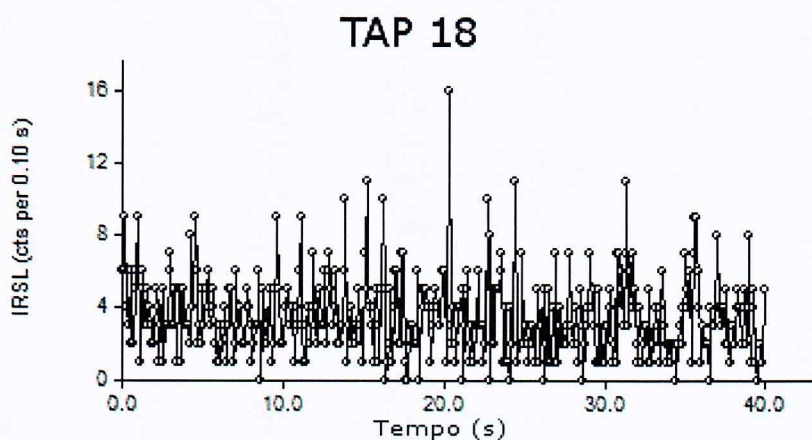


Figura 40: Sinal IRSL natural da amostra da barra do Quena indica ausência de feldspato.

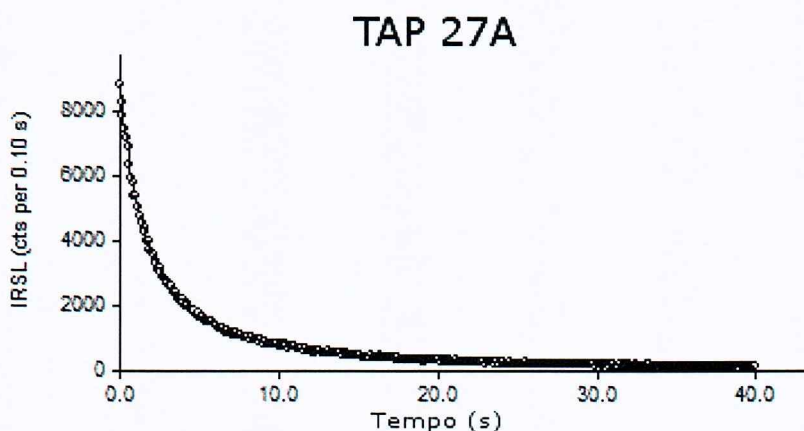


Figura 41: Sinal IRSL natural da amostra da barra da confluência após o primeiro ataque de HF. Indica presença de feldspato, pois o sinal está acima do background.

Na Tabela 04, são apresentados os resultados da geocronologia por LOE.

Tabela 4: Resumo dos dados geocronológicos calculados.

Amostra	Barra	Profundidade (m)	Dose equivalente (Gy)	Taxa de dose (Gy/ka)	Idade (ka)
TAP 4B	Jamaraquá	0,7	$7,58 \pm 0,54$	$0,71 \pm 0,01$	$11,85 \pm 0,87$
TAP 5	Jamaraquá	0,75	$0,07 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,04$
TAP 15B	Quena	2,40	$17,30 \pm 0,90$	$0,67 \pm 0,01$	$38,86 \pm 2,24$
TAP 15T	Quena	0,36	$2,00 \pm 0,30$	$0,58 \pm 0,01$	$3,80 \pm 0,58$
TAP 18	Quena	0,4	$5,13 \pm 0,14$	$0,79 \pm 0,01$	$7,18 \pm 0,23$
TAP 19	Quena	0,75	$0,07 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,04$
TAP 25	Confluência	1,55	$11,80 \pm 1,23$	$1,70 \pm 0,04$	$6,84 \pm 0,73$
TAP 27A	Confluência	3,17	$23,00 \pm 4,00$	$1,39 \pm 0,03$	$15,63 \pm 2,74$
TAP 32B	Confluência	2,01	$1,64 \pm 0,18$	$1,88 \pm 0,04$	$0,83 \pm 0,09$

Devido à incerteza da geomorfologia em que o ponto TAP15 está inserido (se está na paleobarra ou não), não foi incluído nas conclusões da geocronologia. Entretanto, as idades obtidas são divididas em três gerações de barra: Holoceno tardio (de 0,27 a 0,83 ka); Holoceno médio (de 6,84 a 7,18 ka); e Pleistoceno tardio (de 11,85 a 15,63 ka).

A idade mínima de geração da barra Confluência é de $15,63 \pm 2,74$ ka e possivelmente ela deve ter se iniciado na porção mais ao sul com crescimento lateral para o norte (Figura 43). Além disso, essa barra levou aproximadamente 14 mil anos para se formar, com taxa de crescimento médio de 1,6 metros/ ano.

A barra ativa do Quena (Figura 44) tem idade mínima de $0,27 \pm 0,04$ ka, enquanto que a idade da paleobarra é de $7,18 \pm 0,23$ ka. A barra ativa do Jamaraquá (Figura 45) também apresenta idade mínima igual á barra do Quena ($0,27 \pm 0,04$ ka), porém a paleobarra da geração dois é mais antiga, com idades de $11,85 \pm 0,87$ ka. Essas diferenças de idade entre as gerações de barras da mesma margem podem sugerir que o crescimento dessas barras ocorre em pulsos e não seria contínuo, uma vez que os pontos são muito próximos.

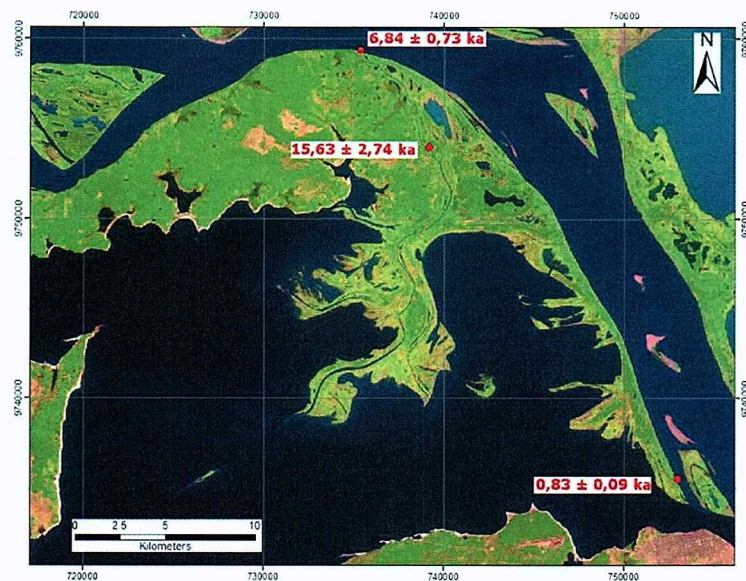


Figura 42: Idades calculadas da barra da confluência.



Figura 43: Idades calculadas da barra do Quena.

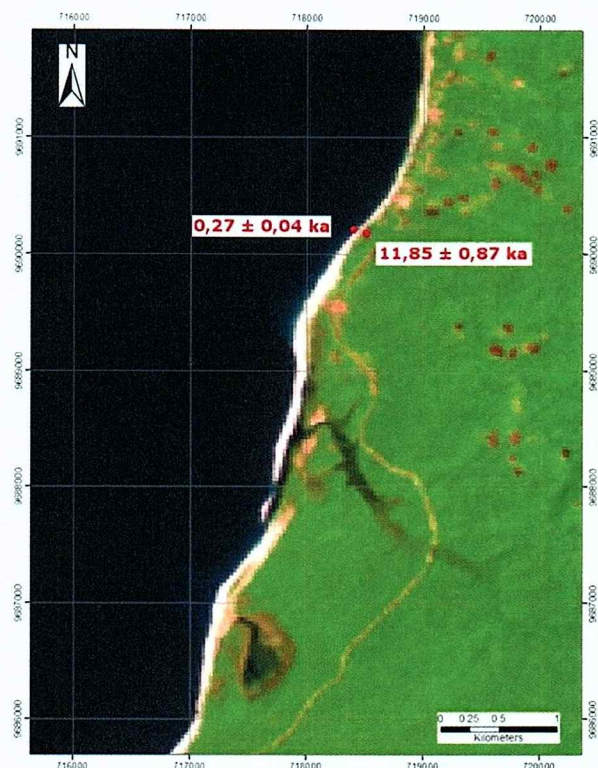


Figura 44: Idades calculadas da barra do Jamaráquá.

6. DISCUSSÃO

6.1. Modelo e processos deposicionais das barras

Os dois tipos de barras estudados (do Tapajós e Amazonas) possuem processos deposicionais distintos, interpretados a partir das colunas estratigráficas e seções GPR.

A barra da confluência foi interpretada como dique marginal do rio Amazonas, conforme observações da análise geomorfológica, textura do sedimento e suas estruturas sedimentares. Os sedimentos são areias de granulação fina com estratificações cruzadas intercaladas com camadas de lama com laminação heterolítica, semelhante com os sedimentos encontrados nas barras do centro do canal do rio Amazonas. A variação entre a deposição de lama e areia seria devido a sazonalidade climática, na qual deposita areia fina durante o período de rebaixamento e elevação do nível do rio Amazonas (quando há corrente sobre a barra) e lama durante o período de cheia (nos lagos das depressões internas das barras). Nas margens do rio Amazonas e nas barras longitudinais, nas porções protegidas das correntes ou onde o banco de areia submersa nas margens é mais extenso, os sedimentos podem sofrer maior influência

das ondas ou da maré. Ou seja, com a proteção dos bancos de areia, as correntes teriam menos força que as ondas, gerando marcas onduladas nos leitos. Além disso, sobre esses bancos, a sedimentação durante as cheias seria dominada pelas correntes, depositando areia, enquanto que na seca depositaria lama nos lagos formados a partir das águas remanescente das cheias.

Na foz do rio Tapajós, na porção afogada do rio, a sedimentação é dominada pelas ondas. Devido ao afogamento do canal, gerou-se um grande corpo de água, onde os ventos alísios de nordeste interagem com a superfície da água gerando ondas. Essas ondas interagem com a margem do rio, gerando uma deriva litorânea para o sul (Figura 46). O crescimento da barras para montante é observado nas seções GPR tanto da barra do Jamaraquá quanto do Quena, nas radarfácies RF4 e RF8.

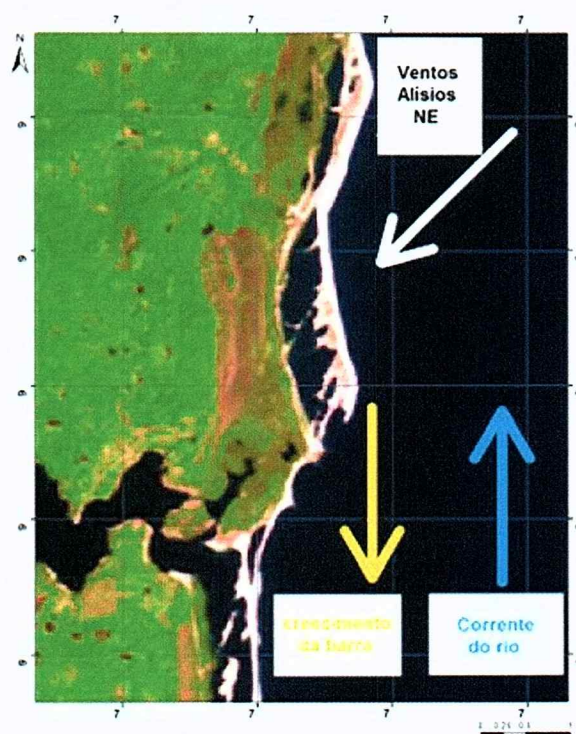


Figura 45: Esquema da interação dos ventos alísios nordeste (em branco) com o rio Tapajós. Com resultante do transporte sedimentar para a montante (em amarelo).

Porém, as barras do Jamaraquá e do Quena se diferem quanto a direção de crescimento lateral. Observando as seções de GPR, conclui-se que a barra do Jamaraquá cresce para o *onshore*, enquanto que a barra do Quena cresce tanto para *offshore*, quanto para o *onshore*. A comparação das colunas estratigráficas dessas barras indica que as fácies sedimentares são similares sendo que, ambas as fácies sedimentares são relacionados com ambientes deposicionais dominadas por ondas. Uma possível explicação seria que ambas são

barras formadas por ondas, assim como barreiras costeiras, porém de estilos de crescimento diferentes. A barra do Quena seria uma barra do tipo progradante (*Prograded barrier*) (Figura 47) e com aporte sedimentar relativamente alto (barra bem desenvolvida, espessa e longa). Já a barra do Jamaraquá, é uma barra do tipo recuada (*Receded barrier*) (Figura 48), na qual é muito estreita e longa. Esse tipo de barra ocorre quando o aporte sedimentar é muito baixo (ou até negativo), de modo a retrabalhar o próprio sedimento e posteriormente depositá-lo na parte de trás da berma (Carter & Woodroffe, 1994).

Barreira progradante

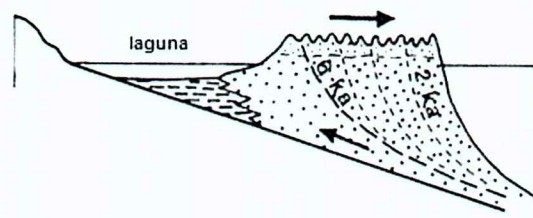


Figura 46: Esquema de uma barreira Progradante (Carter & Woodroffe, 1994).

Barreira de recuada

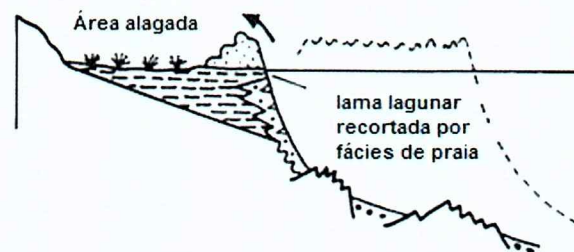


Figura 47: Esquema de uma barreira Recuada (Carter & Woodroffe, 1994).

6.2. Possíveis causas da formação dessas barras

Durante o Quaternário, ocorreram diversas mudanças climáticas que afetaram a precipitação nas proximidades do rio. Essas mudanças afetaram a vegetação, de modo a proporcionar épocas de expansão de florestas ou Savanas. Em épocas com vegetação menos densa, há uma tendência de aumentar o aporte sedimentar que chega ao rio, pois a menor quantidade de vegetação diminui a proteção do solo, aumentando a erosão.

Conforme o trabalho de Irion et al. (2006), a época em que a quantidade de pólenes de *Cecrópia* aumentam é próxima das idades obtidas nesse trabalho para as barras do Quena e

Jamaraquá (Figura 49). Isso indica que o crescimento das barras pode estar ligado com a diminuição da floresta, tanto por razões naturais (mudanças climáticas) quanto antrópicas (devido o desmatamento).

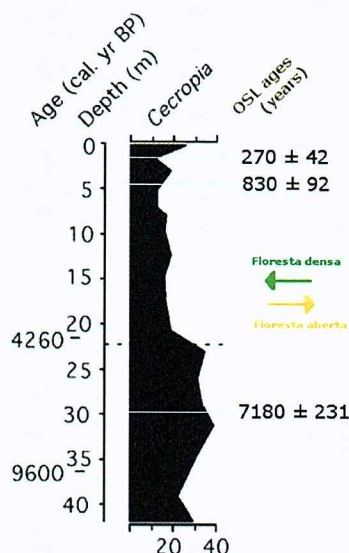


Figura 48: Análise conjunta do diagrama de pólen com as idades calculadas.

6.3. Sugestão de trabalhos na região

Os conhecimentos sobre a dinâmica sedimentar que gera as barras do baixo Tapajós podem ser aprofundados através de trabalhos como:

- Estudo de proveniência das areias das barras do rio Tapajós, através de minerais pesados e sensibilidade LOE;
- Correção topográfica das sessões GPR através do nível d'água identificado;
- Realização de seções GPR com furos de sondagens para controle sedimentológico;
- Estudo e correlação das barras próxima à cidade de Aveiro (geocronologia e arquitetura), antes e depois do afunilamento do canal, com as barras do rio Tapajós.

7. CONCLUSÕES

A barra da confluência dos rios Tapajós e Amazonas é um dique marginal do rio Amazonas, com idade mínima de formação de aproximadamente $15,63 \pm 2,74$ ka. Esta barra é caracterizada por fácies de areia fina com estratificações cruzadas, ora com filmes de lama no foreset, ora com laminação heterolítica e fácies de lama cinza com laminação heterolítica.

Já as barras do baixo rio Tapajó são caracterizadas pelas praias em suas margens, com sedimentos de areia média a grossa com estratificação cruzadas ou plano paralelas e, grânulos/seixos achatados dispersos. Essas características foram associadas com ambiente sedimentar dominado por ondas geradas pelos ventos alísios do nordeste. A interação das ondas com a margem do canal gera deriva litorânea para o sul, resultando em crescimento das barras para a montante. A idade mínima de formação dessas barras é de $11,85 \pm 0,87$ ka.

As barras marginais do rio Tapajós se distinguem quanto ao tipo de crescimento, no qual a barra do Jamaraquá (margem direita) é análoga a uma barreira de recuo (cresce para *onshore*). Já a barra do Quena (margem esquerda) é análoga a uma barra progradante (cresce para o *offshore*).

Como as idades obtidas são muito contrastantes, pode se interpretar que as gerações das barras ocorreram em pulsos. Isto teria ocorrido devido ao aumento do aporte sedimentar, possivelmente ocasionado pela diminuição da vegetação, ora pelo avanço da savana devido as mudanças climáticas, ora pela ação do desmatamento antrópico. Sugere-se que a redução da cobertura vegetal seja uma das causas desses pulsos de crescimento das barras.

8. BIBLIOGRAFIA

ARCHER, A. W. 2005. Review of Amazonian depositional systems. *International Association of Sedimentologists*, 35: 17-39.

CARTER, R.W.G.; WOODROFFE, C.D. 1994. *Coastal evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press.

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. *Cartas Geológicas do Brasil ao milionésimo (Santarém-AS. 21). Escala 1:1.000.000*. 2004. Disponível em: < <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em: junho, 2013.

CUNHA, P. R. C.; MELO, J. H.G, SILVA, O. B. 2007. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobras, 15(2): 227-251.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. 1996. Clima da Amazônia. Climanálise – Boletim de monitoramento e análise climática, Edição especial de comemoração 10 anos.

FREITAS, H.A.; PESSEDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R. 2001. Late Quaternary Vegetation Dynamics in the Southern Amazon Basin Inferred from Carbon Isotope in Organic Matter. Quaternary Research, 55: 39-46.

GAWTHORPE, R. L.; LI COLLIER, R. E.; ALEXANDER, J.; BRIDGE, J. S.; LEEDER, M. R. 1993. Ground penetrating radar: application to sandbody geometry and heterogeneity studies. Geological Society, London, Special Publications, 73: 421-432.

IRION, G.Ç BUSH, M.B.; NUNES DE MELO, J.A; STÜBEN, D.; NEUMANN, T.Ç MÜLLER, G.; MORAES DE, J.O.; JUNK, J.W, 2006. A multiproxy paleoecological record of Holocene lake sediments from the Rio Tapajós, eastern Amazonia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, V. 240, 523 – 535.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. 2006. M. Kottek et al.: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 15(3): 259-263.

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. 2009. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. Ambi-Agua, Taubaté, 2(4): 75-92.

MURRAY, A. S., WINTLE, A. G. 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. Radiation Measurements, 37: 377-381.

NEAL, A. 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. Earth-Science Reviews, 66: 261- 330.

OLIVEIRA, J. R.; PASTANA, J. M. N.; NAVEGANTE, P. S. C.; SCHALKEN, C. G. P. S. 2011. Caracterização hidrogeológica da cidade de Santarém e das vilas de Mojuí dos campos e Alter-do-Chão com proposta técnica para a Perfuração de poços tubulares profundos. 1st Joint World Congress on Groundwater.

PERH-MDA - Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Amazônica: Afluentes da margem direita). 2011. ANA - Agência Nacional de águas. Disponível em:

<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/planoderecursos/MargemDireitaRioAmazonas.aspx>>. Acessado em: 18 de Julho de 2013.

PLACZEC, C.J., QUADE, J., PATCHETT, P.J. 2013. A 130 ka reconstruction of rainfall on the Bolivian Altiplano. *Earth and Planetary Science Letters*, 363: 97-108.

PREUSSER, F.; DEGERING, D.; FUCHS, M.; HILGERS, A.; KADEREIT, A.; KLASSEN, N.; KRBETSCHECK, M.; RICHTER, D.; SPENCER, J.Q.G. 2008. Luminescence dating: basics, methods and applications. *Quaternary Science Journal*, 57: 95-149.

PRODES – Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélites: Banco de dados: Taxas anuais de desmatamento. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2012.htm>. Acessado em: 18 de Julho de 2013.

RITTENOUR, T. M. 2008. Luminescence dating of fluvial deposits: applications to geomorphic, palaeoseismic and archaeological research. *Boreas*, 37: 613–635.

RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; VALENTE, M. A.; LIMA da SILVA, J. M.; E CARDOSO JÚNIOR, E. Q. 2001. Caracterização dos solos da área do planalto de Se/terra, município de Santarém, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental.

VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L. T. 2008. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará : Sistema de Informações Geográficas SIG : texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. CPRM- Belém.

WALKER, R. G. 2006. Facies models revisited. Oklahoma: SEPM (Society for Sedimentary Geology).

WINTLE, A.G.; MURRAY, A.S. 2006. A Review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, 41: 369-391.