

## CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO E ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS DAS UNIDADES SEDIMENTARES CRETÁCEA E NEÓGENA AFLORANTES NA PORÇÃO OESTE DA BACIA DO AMAZONAS, AM

*STRATIGRAPHIC CONTEXT AND HEAVY MINERALS ANALYSIS OF THE CRETACEOUS AND  
NEOGENOUS SEDIMENTARY UNITS IN THE WESTERN PORTION OF THE AMAZON BASIN, AM*

**Carmem Náataly Amorim FRANCO<sup>1</sup>, Lórien Elanor Reis ALVES<sup>1</sup>, Emílio Alberto Amaral  
SOARES<sup>1</sup>, Rodolfo DINO<sup>2</sup>, Luzia ANTONIOLI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Geociências. Avenida General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 6200 -  
Coroado I, Manaus – AM. E-mails: carm.nataly@gmail.com; lohelanor@gmail.com; easoares@ufam.edu.br

<sup>2</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Departamento de Estratigrafia e Paleontologia - Rua São Francisco Xavier, 524 -  
Maracanã, Rio de Janeiro – RJ. E-mails: dinouerj@gmail.com; luanionioli7@gmail.com

Introdução  
Contexto geológico e palinológico regional  
Materiais e métodos  
Resultados  
Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - Nas proximidades do Arco de Purus, porção oeste da Bacia do Amazonas, afloram rochas siliciclásticas do Grupo Javari, que compreendem principalmente os depósitos cretáceos da Formação Alter do Chão e, mais recentemente, depósitos neógenos atribuídos à Formação Novo Remanso, ambos característicos de paleoambiente deposicional fluvial. Exibem as melhores exposições nos municípios de Manaus, Iranduba, Manacapuru, Novo Airão, Careiro Castanho, Itacoatiara, Beruri e Presidente Figueiredo, onde é possível visualizar o contato discordante entre as formações, por vezes, bem marcado por paleossolo laterítico. Apesar da individualização ser dificultada em função da similaridade de fácies sedimentares, o uso dos minerais pesados integrado a dados palinológicos e paleosuperfícies limitantes tem se mostrado uma ferramenta importante na definição do arcabouço estratigráfico desta porção da Bacia do Amazonas. Enquanto a unidade cretácea é composta por uma assembleia ultraestável com grãos de zircão, turmalina e rutilo (índice ZTR), a neógena apresenta uma assembleia ultraestável a instável, com grãos de ZTR, além de silimanita, estaurolita, cianita, epidoto, apatita, topázio e hornblenda. As diferenças observadas foram associadas a áreas fontes distintas do Cráton Amazônico, as quais foram retrabalhadas durante a implantação dos paleossistemas de drenagem no Cretáceo e Neógeno na Bacia do Amazonas, que migravam para oeste e leste, respectivamente.

**Palavras-chaves:** Bacia do Amazonas. Megasequência mesozoica-cenozoica. Minerais Pesados. Superfície de Descontinuidade.

**ABSTRACT** - In the vicinity of the Purus Arch, the northwestern part of the Amazonas Basin, siliciclastic rocks of the Javari Group outcrop, consisting mainly of Cretaceous deposits of the Alter do Chão Formation and, more recently, of Neogene deposits attributed to the Novo Remanso Formation, both characteristic of a fluvial depositional environment. The best outcrops are in the municipalities of Manaus, Iranduba, Manacapuru, Novo Airão, Careiro Castanho, Itacoatiara, Beruri, and Presidente Figueiredo, where the discontinuous contact between the formations can be seen, sometimes characterized by lateritic paleosol. Although individualization is difficult due to the similarity of sedimentary facies, the use of heavy minerals in conjunction with palynological data and the bounding paleosurfaces has proven to be a crucial tool in defining the stratigraphic framework of this part of the Amazonas Basin. While the Cretaceous unit consists of an ultrastable assemblage with zircon, tourmaline, and rutile grains (ZTR index), the Neogene unit has an ultrastable to unstable assemblage with ZTR grains, in addition to sillimanite, staurolite, kyanite, epidote, apatite, topaz, and hornblende. The observed differences are related to different source areas of the Amazon craton that were reworked during the implementation of the Cretaceous and Neogene drainage paleosystems in the Amazonas basin that migrated westward and eastward, respectively.

**Keywords:** Amazon Basin. Mesozoic-Cenozoic Megasequence. Heavy Minerals. Surface of Discontinuity.

### INTRODUÇÃO

Nos mapas geológicos regionais dos estados do Pará (CPRM, 2008a) e Amazonas (CPRM, 2006), a cobertura sedimentar pós-paleozoica da Bacia do Amazonas tem sido representada principalmente pela Formação Alter do Chão (Cretáceo).

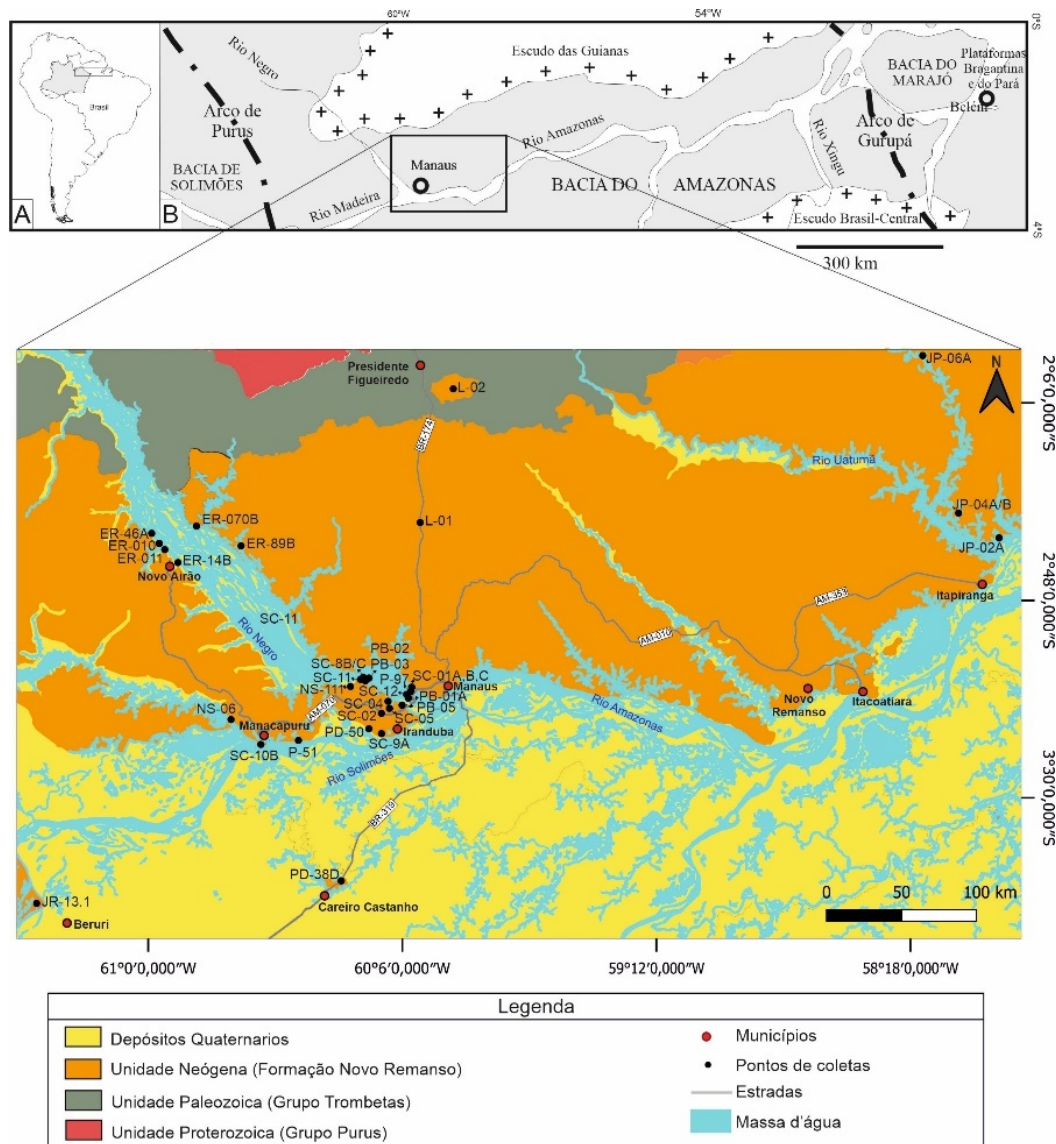
Entretanto, em função da definição local de depósitos pós-cretáceos na região de Itacoatiara (Dino et al., 2006; Rozo et al., 2005), leste de Manaus, alguns mapas geológicos regionais do

Estado do Amazonas CPRM (2008b, 2016) definiram áreas aflorantes para as unidades sedimentares cretácea e neógena.

Somente através dos resultados obtidos em estudos palinoestratigráficos de Dino et al. (2012) e Soares et al. (2015) depósitos inequivocamente posicionados no Mioceno médio foram definidos em afloramentos das regiões de Manaus, Iranduba, Manacapuru e Presidente Figueiredo, sobrepostos

discordantemente a unidade cretácea (Figura 1). Adicionalmente, o estudo palinológico de Guimarães et al. (2015) também confirmou a presença de depósitos neógenos (Mioceno Médio-Plioceno) aflorantes em Manacapuru. Desde então, essa nova unidade tem sido denominada informalmente de Formação Novo Remanso, em função de sua primeira identificação na localidade homônima, situada a leste de

Manaus por Rozo et al. (2005). Dados geofísicos de subsuperfície também mostram a continuidade do limite discordante Cretáceo-Neógeno num trecho de 300 km, entre Manaus e Itacoatiara (Soares et al., 2016). Esse limite é marcado pelo desenvolvimento de paleossolo laterítico, cuja gênese foi associada ao evento de lateritização que ocorreu na Amazônia entre 42 e 18 Ma (Gautheron et al., 2022).



**Figura 1.** A) Mapa da América do Sul com destaque para o Estado do Amazonas, norte do Brasil. B) Mapa mostrando a delimitação dos arcos estruturais, escudos e bacias sedimentares (Solimões, Amazonas e Marajó), com a indicação da área de ocorrência da unidade sedimentar neógena aflorante na região de confluência dos rios Negro e Solimões, porção oeste da Bacia do Amazonas. Mapa adaptado com dados da CPRM (2006, 2008b), Soares et al. (2010) e Gonçalves Jr. et al. (2016). Os locais estudados estão designados pelas siglas PD, SC, PB, JR, L, ER, JP, NS e P.

A similaridade de fácies sedimentares das formações Alter do Chão e Novo Remanso, características de um paleoambiente deposicional fluvial, aliada a modificações pedogenéticas superimpostas, tem dificultado a individualização e correlação nos afloramentos. Portanto, esse estudo enfatiza a importância do uso integrado das assembleias de minerais

pesados com as paleosuperfícies limitantes das unidades sedimentares cretácea e neógena da porção oeste da Bacia do Amazonas, consideradas guias estratigráficas regionais. As assembleias também fornecem subsídios para a indicação de prováveis áreas fonte para as unidades, associadas principalmente ao Cráton Amazônico circundante.

## CONTEXTO GEOLÓGICO E PALINOLÓGICO REGIONAL

O preenchimento sedimentar da Bacia do Amazonas compreende as megassequências paleozoica e mesozoico-cenozoica (Cunha et al., 2007), que afloram parcialmente na bacia, ao longo das faixas alongadas das bordas norte e sul e nas porções central, leste e oeste, respectivamente. A primeira é constituída pelas sequências Ordovício-Devoniana, Devono-Tournaisiana, Neoviseana e Pensilvaniana-Permiana, características dos paleoambientes marinho, transicional e continental, depositadas em ciclos transgressivos-regressivos. A segunda compreende as unidades cretáceas-terciárias do Grupo Javari, representada principalmente pela Formação Alter do Chão, posicionada por palinologia no Meso-Albiano/Turoniano (Daemon, 1975) e Aptiano-Cenomaniano (Dino et al., 1999) e constituída por arenitos, pelitos e conglomerados característicos de um paleoambiente fluvial-deltaico-lacustre (Cunha et al., 1994, 2007; Nogueira et al., 1997; Dino et al., 1999). Nesta formação, fácies fluviais associadas a preenchimento de canal e depósitos externos (Mendes et al., 2012) e depósitos de canal e planície de inundação (Nogueira et al., 1999) foram definidas em Óbidos (Pará) e Manaus (Amazonas), respectivamente.

Na Bacia do Amazonas, depósitos neógenos (Formação Solimões) e paleógenos (Formação Marajó) foram identificados localmente, nas proximidades dos arcos de Purus e Gurupá, respectivamente, sobrepostos discordantemente a unidade cretácea (Cunha et al., 2007). Entretanto, essas unidades pertencem às bacias do Marajó e Solimões, respectivamente, não sendo inseridas nos estudos geológicos regionais (Soares et al., 2016).

Apenas no início deste século depósitos pós-cretáceo foram identificados em afloramentos da porção oeste da Bacia do Amazonas, sob a denominação informal de Formação Novo Remanso (Rozó et al., 2005; Soares et al., 2010; Rozó et al., 2012; Guimarães et al., 2015). Essa formação é constituída predominantemente por arenitos, com pelitos e conglomerados subordinados, que compõem fácies de canal, barra em pontal, planície de inundação e *crevasse splay* que são características de um paleossistema fluvial meandrante, sendo delimitada na base e no topo por superfícies de descontinuidades, que por vezes apresentam desenvolvimento de paleossolos lateríticos (Dino et al., 2012; Soares et al., 2015;

Guimarães et al., 2015). Tais paleossolos têm sido utilizados para correlação estratigráfica na Amazônia, por envolver um tempo de formação relativamente longo e ampla distribuição geográfica (Kotschoubey & Truckenbrodt, 1981; Costa, 1991; Horbe et al., 2001; Rossetti, 2004; Soares et al., 2016), cuja gênese tem sido associada a eventos de lateritização (Horbe, 2014; Soares et al., 2016; Guinoiseau et al., 2021).

A Formação Novo Remanso foi posicionada no Mioceno Médio por meio de análises palinoestratigráficas em afloramentos das regiões de Manaus, Iranduba, Manacapuru e Presidente Figueiredo (Dino et al., 2012; Soares et al., 2015). Apesar da escassez de materiais datáveis por palinologia nas unidades Cretácea e Miocena aflorantes, é incontestável o reconhecimento de distintas associações palinológicas, com específicos palinomorfos-guia diagnósticos em ambas as idades definidas. Os palinomorfos que definem a unidade cretácea são compostos predominantemente por formas gimnospérmicas (presentes na Seq.1 de Dino et al., 1999) tais como *Sergipea variverrucata*, *Sergipea naviformis*, que a limitam entre o Aptiano superior ao Albiano médio. Já as formas elateradas, por exemplo, *Elateroplicites africaensis*; e triporadas como *Triorites africaensis* definem o Cenomaniano para a Seq.2 (Dino et al., 1999). Por outro lado, a palinoflora representativa do Mioceno médio é dominada por formas afins às Angiospermas nas quais as mais representativas são as espécies *Grimmsdalea magnaclavata*, *Bombacacidites baumfalki*, *Mauritidites franciscoi* que surgem no Terciário, sendo não mais velhas do que o Mioceno, conforme reconhecido nos estudos de Dino et al. (2006, 2012) e Soares et al. (2015). Entretanto, a assembleia palinológica (pólen e esporos) definida por Guimarães et al. (2015) para a unidade neógena, permitiu posicioná-la no intervalo Mioceno Médio-Plioceno.

Os dados sedimentológicos, estratigráficos e palinológicos citados forneceram subsídios para a definição em área das coberturas sedimentares cretácea e neógena em mapas geológicos do Estado do Amazonas (CPRM 2008b, 2016). Dados geológicos-geofísicos de subsuperfície mostram a continuidade lateral da unidade miocena por aproximadamente 300 km, entre os municípios de Manaus e Itacoatiara, sobreposta discordantemente a unidade cretácea (Soares et al., 2016).

Essa relação estratigráfica foi também identificada em perfis sônicos e seções sísmicas ao sul de Manaus e nordeste de Itacoatiara por Costa (2002), apesar de Caputo (2011) definir apenas depósitos terciários na porção oeste na Bacia do Amazonas, sobrepostos discordantemente a Formação Nova Olinda (Paleozoico). Análise de minerais pesados nos depósitos pós-paleozoicos da Bacia do Amazonas ainda são escassos, principalmente em função da falta de detalhamento

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados 17 afloramentos das unidades sedimentares cretácea e neógena, localizados preferencialmente nas proximidades de Manaus, tendo como base a delimitação em área dessas unidades definida nos mapas da CPRM (2008b, 2016). A seleção dos locais estudados considerou a facilidade de acesso ao longo das rodovias (BR-174 e AM-070), ramais secundários e barrancas fluviais da zona de confluência dos rios Negro e Solimões, bem como as melhores exposições com espessura aflorante geralmente superior a 10 metros, buscando também locais onde era possível definir a relação estratigráfica Cretáceo-Neógeno. Foram coletadas 32 amostras de arenitos finos a grossos das unidades estudadas, seguindo a individualização de fácies sedimentares propostas por Nogueira et al. (1999), Rozo et al. (2005), Dino et al. (2012) e Soares et al. (2015), conforme ilustrado nas seções panorâmicas e seções colunares (Figuras 2 e 3). A análise de minerais pesados é utilizada na proveniência de arenitos, devido a diversidade de espécies minerais encontradas e porque os fatores que afetam as assembleias já foram amplamente avaliados (Morton & Hallsworth, 1999).

Inicialmente, as amostras foram lavadas e secas em estufa e, posteriormente, foi efetuada a separação granulométrica nos intervalos areia muito fina (0,062-0,125 mm) e areia fina (0,125-0,250 mm). Os intervalos foram submetidos a separação gravimétrica por meio do líquido denso bromofórmio (densidade 2.89g/ml) para a obtenção dos minerais pesados, de acordo com a metodologia de Mange & Maurer (1992). As

estratigráfico em muitos trechos da bacia. A partir da individualização das unidades cretácea e neógena (Dino et al., 2012; Soares et al., 2015), estudos preliminares de Alves & Soares (2016) e Cordeiro & Soares (2016) demonstraram pela primeira vez diferenças mineralógicas, com a definição de grãos de zircão, turmalina e rutilo nas duas unidades, além de cianita, silimanita, epidoto, apatita, estauroilita, hornblenda e topázio, apenas na unidade neógena.

lâminas de grãos foram confeccionadas com o auxílio de uma resina não birrefringente (bálsamo do Canadá, índice de refração = 1.538) e, em seguida, descritas com o auxílio do microscópio petrográfico Feldmann Wild Leitz (FWL 3500).

A análise qualitativa, que identifica os minerais pesados por meio de suas características (forma, cor, pleocroísmo, clivagem, entre outras), seguiu a metodologia proposta por Mange & Maurer (1992) e Coutinho & Coimbra (2005). Na análise quantitativa, foram contados de 100 a 300 grãos por lâmina para determinar a frequência de ocorrência dos minerais pesados (transparentes, não opacos e não micáceos), pelo método de contagem das linhas transversais de Galehouse (1969) e Harwood et al. (1988).

Em particular, nesse estudo foi também efetuada a análise morfológica dos grãos de zircão, com ênfase na determinação do grau de arredondamento tendo como base a tabela de Powers (1953). Finalmente, para indicar o grau de maturidade composicional foi empregado o índice ZTR, segundo Hubert (1962), obtido pela soma dos percentuais individuais dos grãos de zircão, turmalina e rutilo. A abundância relativa de cada mineral foi expressa em porcentagem no gráfico de pizza, onde grãos com porcentagem inferior a 1% foram considerados elementos-traço. Adicionalmente, calculou-se a frequência média por meio da média aritmética das frequências absolutas individuais de cada mineral. As análises foram efetuadas nos laboratórios de Sedimentologia e Microscopia do DEGEO/UFAM, onde as lâminas estão armazenadas na Coleção de Tipos Petrográficos.

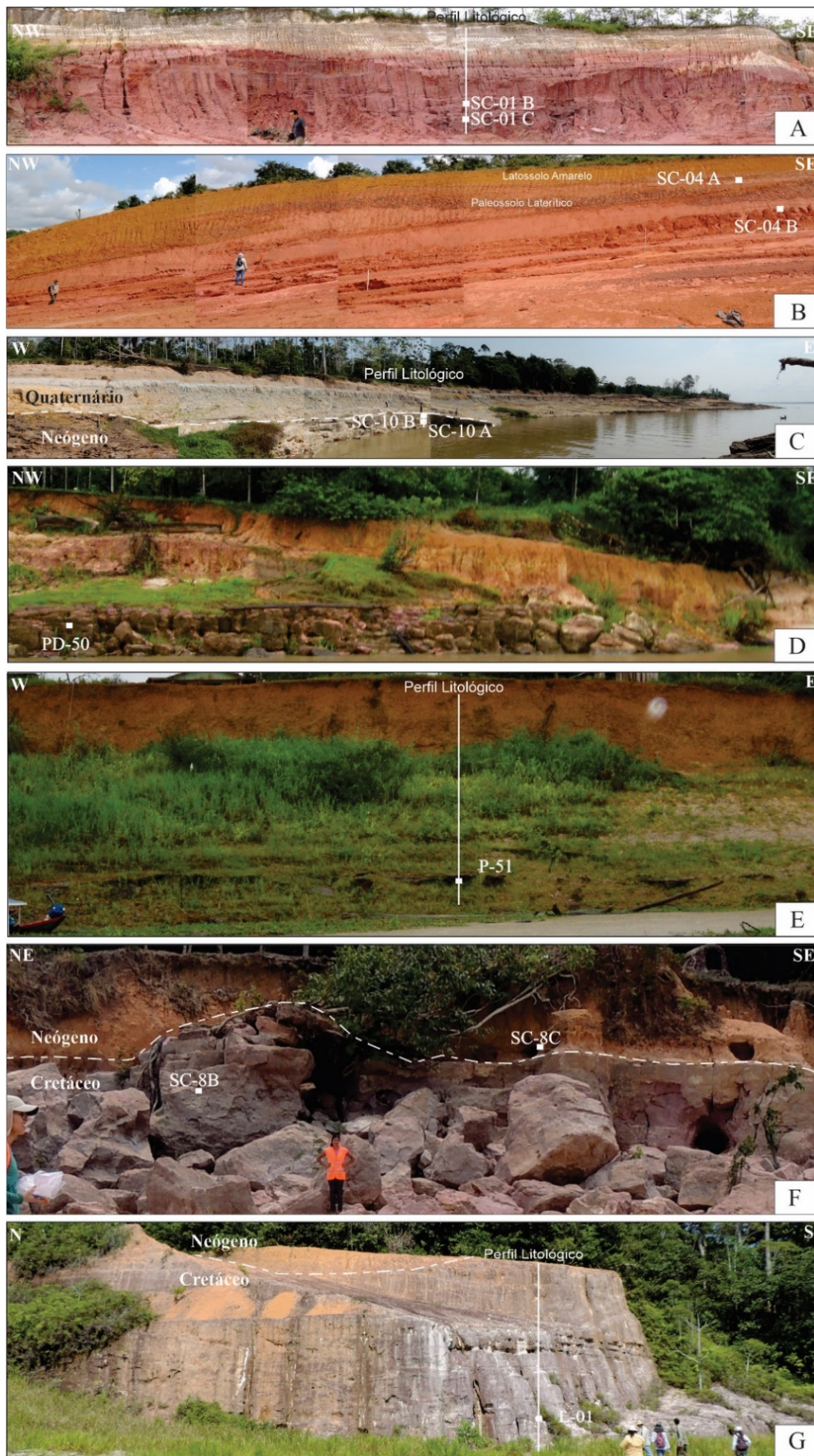
## RESULTADOS

Nos afloramentos analisados, a unidade neógena apresenta coloração avermelhada a amarelada, com porções friáveis, sendo composta por intercalações de camadas de arenitos e pelitos que, por vezes, definem tendência granodécrescente ascendente e pares de estratificação heterolítica inclinada

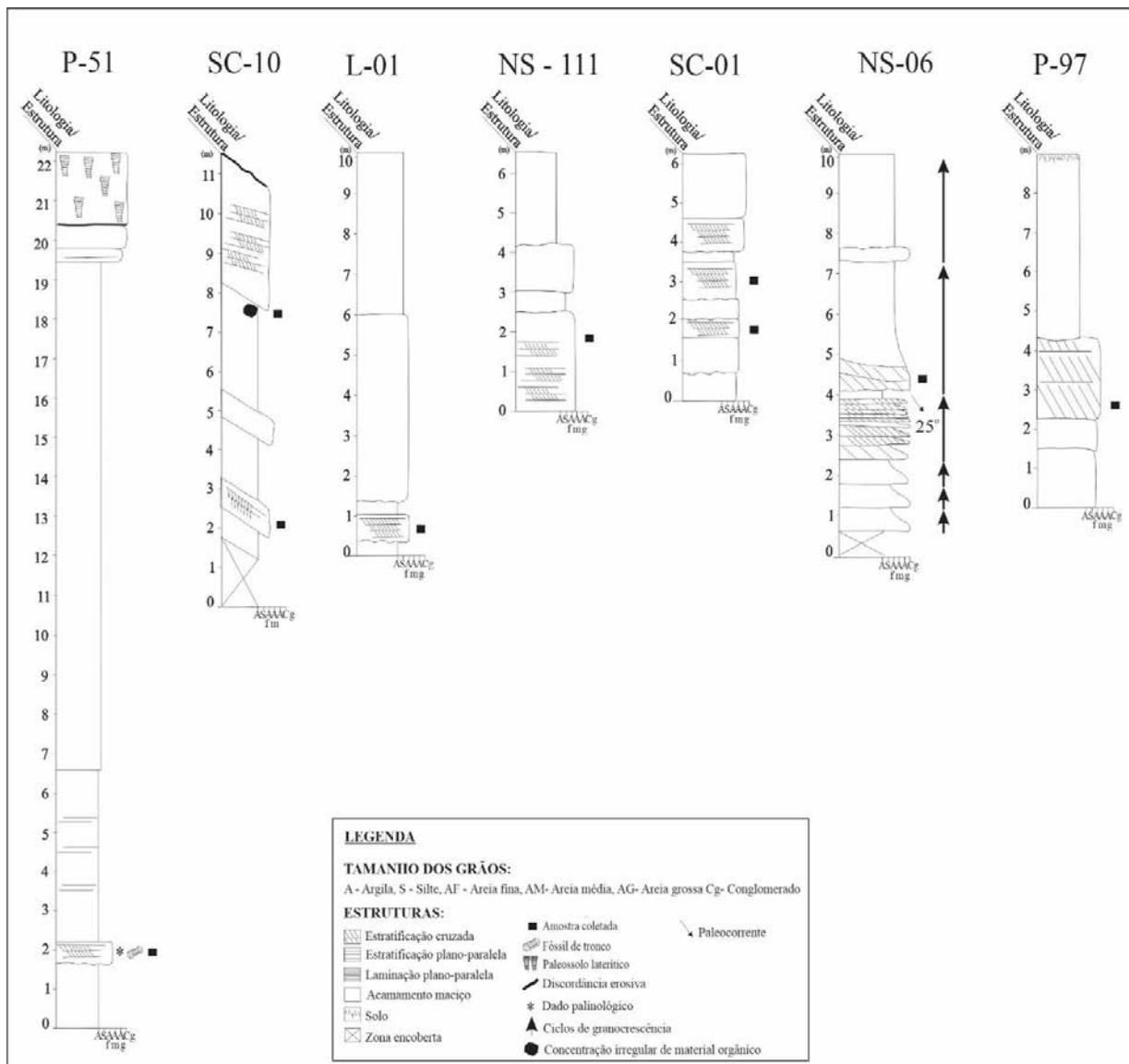
(Figura 2, A, B, C, D E; Figura 3, pontos P-51, SC-01, SC-10 e NS-06).

Os arenitos são quartzosos, variam de fino a grosso, apresentam aspecto maciço e estratificações plano-paralela e cruzada, contendo localmente, lenhos fossilizados, enquanto os pelitos são





**Figura 2** - Afloramentos das unidades sedimentares cretácea e neógena, com indicação dos locais de coleta das amostras. Afloramentos da unidade neógena na margem esquerda do Rio Negro (Amostras SC-01B,C e SC-04A,B) (Detalhes A e B) e na margem esquerda do Rio Solimões (Amostras SC-10A, SC-10B, P-50 e PD-51) (Detalhes C, D, E); Afloramentos mostrando a relação de contato brusco e irregular (linha tracejada branca) entre as unidades cretácea e neógena (Amostras SC-8B, SC-8C) na Vila de Paricatuba, margem direita do Rio Negro (Detalhe F) e na margem do BR-174 (Amostra L-01), norte de Manaus (Detalhe G).



**Figura 3** - Seções colunares dos afloramentos estudados das unidades neógena (P-51, SC-01, NS-06, SC-10) e cretácea (L-01, NS-111 e P-97), com a indicação dos locais no mapa da Figura 1.

maciços ou laminados. A unidade cretácea exibe coloração avermelhada a esbranquiçada (porções caulíníticas), sendo constituída principalmente por arenitos com pelitos subordinados, por vezes, exibem porções endurecidas e silicificadas (Figura 2 F, G; Figura 3, pontos L-01, NS-111 e P-97).

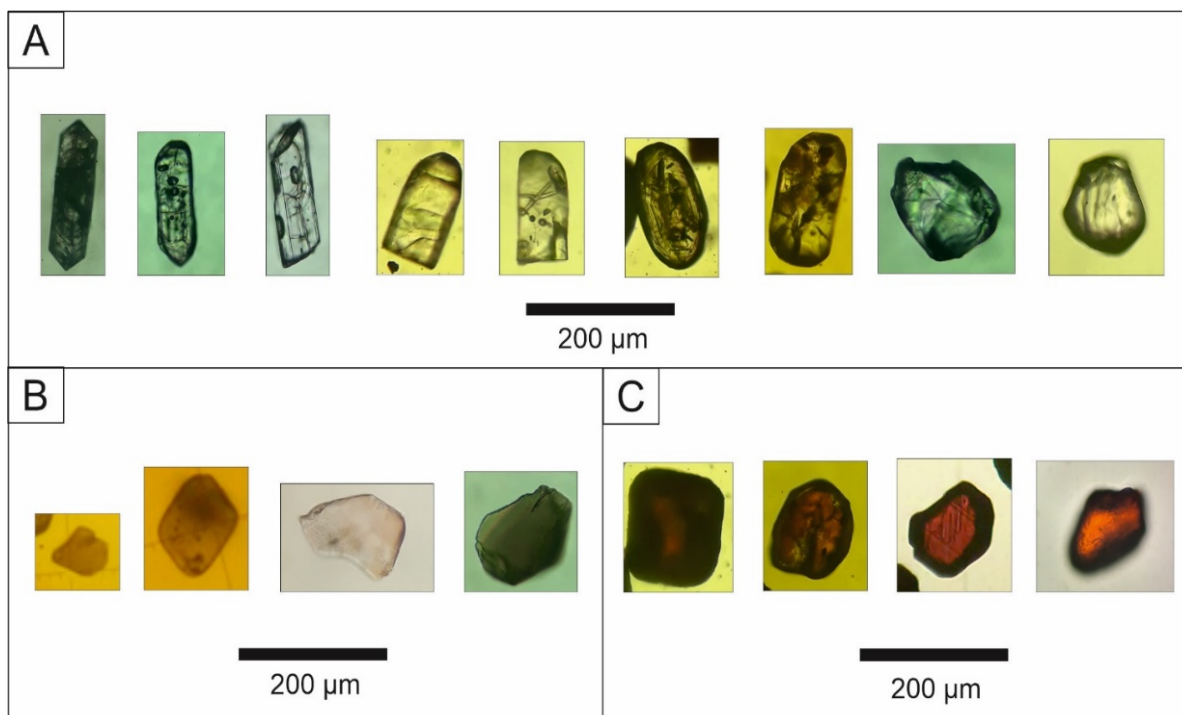
Os arenitos são quartzosos e feldspáticos (arcoseanos), exibem granulometria fina a média, aspecto maciço e estratificações plano-paralela e cruzada, enquanto os pelitos são maciços ou laminados. O limite entre as unidades é discordante, por vezes, marcado por contato brusco e irregular e /ou paleossolo laterítico (Figura 2 F, G). No topo da unidade neógena também ocorre paleossolo laterítico e solo amarelo (Figura 2B, Figura 3 P-51).

A análise dos minerais pesados transparentes não micáceos das formações Alter do Chão e Novo Remanso presentes na fração muito fina (0,062-0,125 mm) indicaram variações qualitativas e quantitativas. A Formação Alter do Chão apresenta

uma assembleia com baixa diversidade mineralógica, composta principalmente por grãos de minerais ultraestáveis que compõem o índice ZTR (Zircão, Turmalina e Rutilo) (Figura 4, Tabela 1). Todavia, a análise dos minerais pesados da Formação Novo Remanso mostra maior diversidade mineralógica, pois além de apresentar a mesma assembleia de minerais ultraestáveis, possui também uma variedade de minerais metaestáveis a instáveis, como epídoto, cianita, silimanita, hornblenda, estauroлита, apatita e topázio (Figura 5, Tabela 2).

Na Formação Alter do Chão os grãos de zircão são mais abundantes, com frequência entre 88% e 100% (Tabela 1, Figura 6). Em geral, os grãos são incolores, predominantemente límpidos, podendo conter inclusões, zoneamento interno e hábito euédrico a anédrico, onde por vezes, se mostram quebrados e variam de arredondados a angulosos (Figuras 4A e 6A-M). Os grãos de





**Figura 4** - Fotomicrografias (luz natural) da assembleia de minerais pesados da unidade sedimentar cretácea, representada por grãos de zircão (A), turmalina (B) e rutilo (C).

**Tabela 1** - Frequência absoluta de minerais pesados transparentes não-micáceos da Formação Alter do Chão na fração 0.062 a 0.125 mm. Zr- zircão, Tu- turmalina, Ru- rutilo, N- número total de grãos.

CRETÁCEO				
Amostras	Zr	Tu	Ru	N
SC-11A	288	2	4	294
SC-12A	275	4	4	283
SC-8B	293	11	4	308
JR-13.1	206	2	2	210
L-01	322	-	-	322
L-02	300	-	4	304
ER-010	300	3	4	307
ER-011	306	1	-	307
ER-46A	300	2	-	302
ER-70B	310	-	-	310
ER-89B	300	-	-	300
SC-2A	482	54	9	545
SC-4B	371	6	13	390
SC-5A	351	-	3	354

turmalina apresentam frequência variando entre 0,64% e 3,57% (sendo que em uma amostra foi encontrado o valor de 9,91%), exibem coloração verde e marrom, hábito prismático euédrico a subédrico e, por vezes, mostram-se arredondados a subarredondados (Figuras 4B e 6A-M). Os grãos de rutilo são os menos abundantes (frequência entre 0,85% e 1,65%), exibem coloração vermelha, birrefringência elevada, forma prismática alongada e, por vezes, mostram-se fragmentados, sendo predominantemente subangulosos (Figuras 4C e 6A-M). As 14 amostras analisadas apresentam grãos de zircão, os quais ocorrem isoladamente (3 amostras) ou associados a grãos de turmalina ou rutilo (4 amostras) ou a grãos de turmalina e

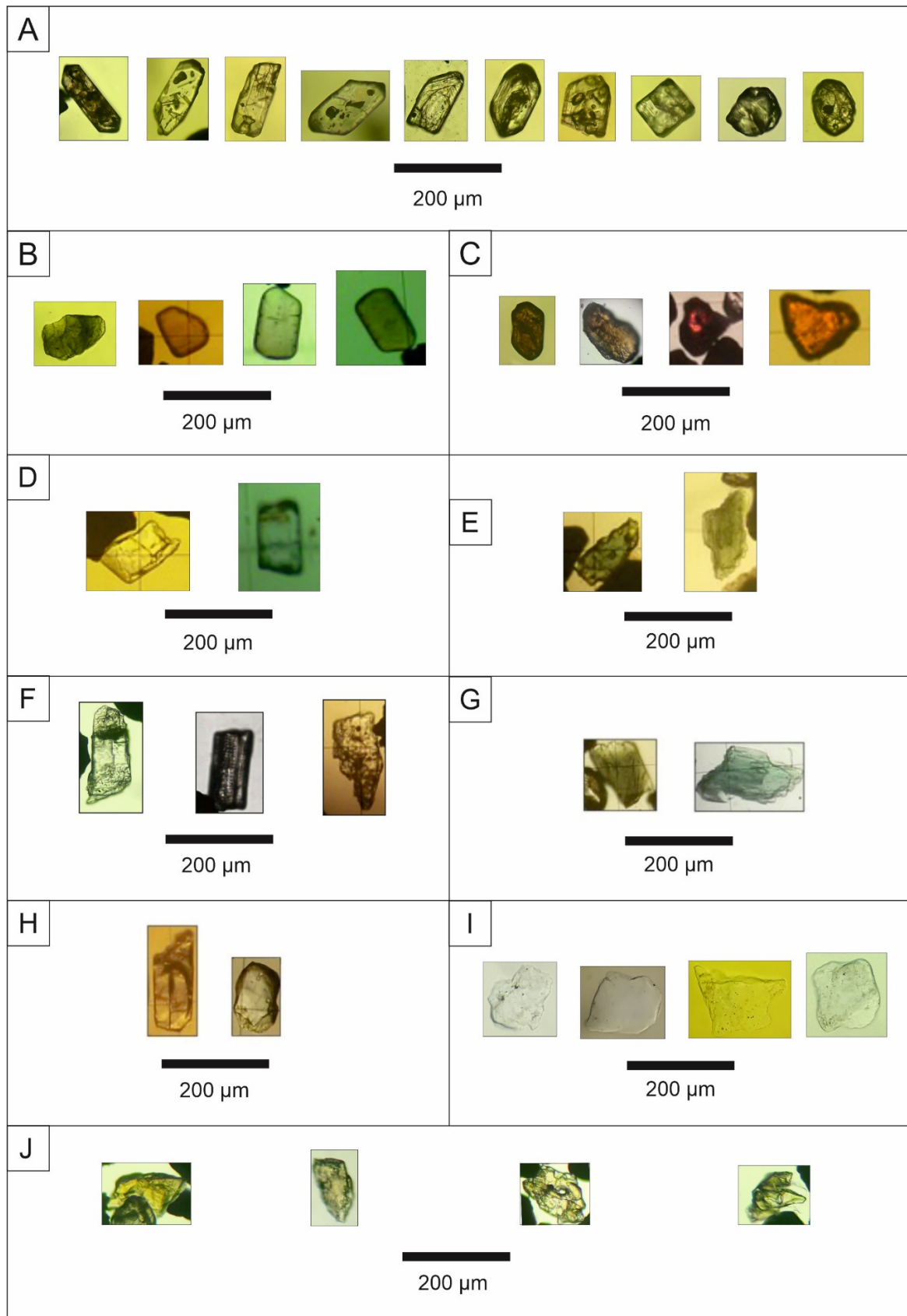
rutilo (6 amostras) (Figura 6).

Na Formação Novo Remanso predominam grãos de zircão na maioria das lâminas analisadas, com frequência variando entre 61,59% a 97,98% (Figura 7, Tabela 2).

Os grãos de zircão são incolores, com ocorrência subordinada de grãos rosados que, por vezes, apresentam hábito euédrico. Exibem zoneamento interno e variam de subarredondados a angulosos (Figuras 5A e 7A-U). Os grãos de turmalina apresentam frequência variável entre 0,45% até 28,81%, mostram coloração predominantemente verde, com variações entre marrom e amarelo, prevalecendo os grãos subarredondados (Figuras 5B e 7A-U). Os grãos de silimanita apresentam

frequência entre 0,51% a 14,21%, são incolores, possuem clivagem e variam de subarredondados a angulosos (Figuras 5F e 7A-U). Os grãos de rutilo apresentam percentual que varia entre <1%

a ~7%, hábito euédrico ou anédrico, coloração vermelha a marrom-avermelhada e, por vezes, alaranjada, variando de grãos arredondados a angulosos (Figuras 5C e 7A-U).

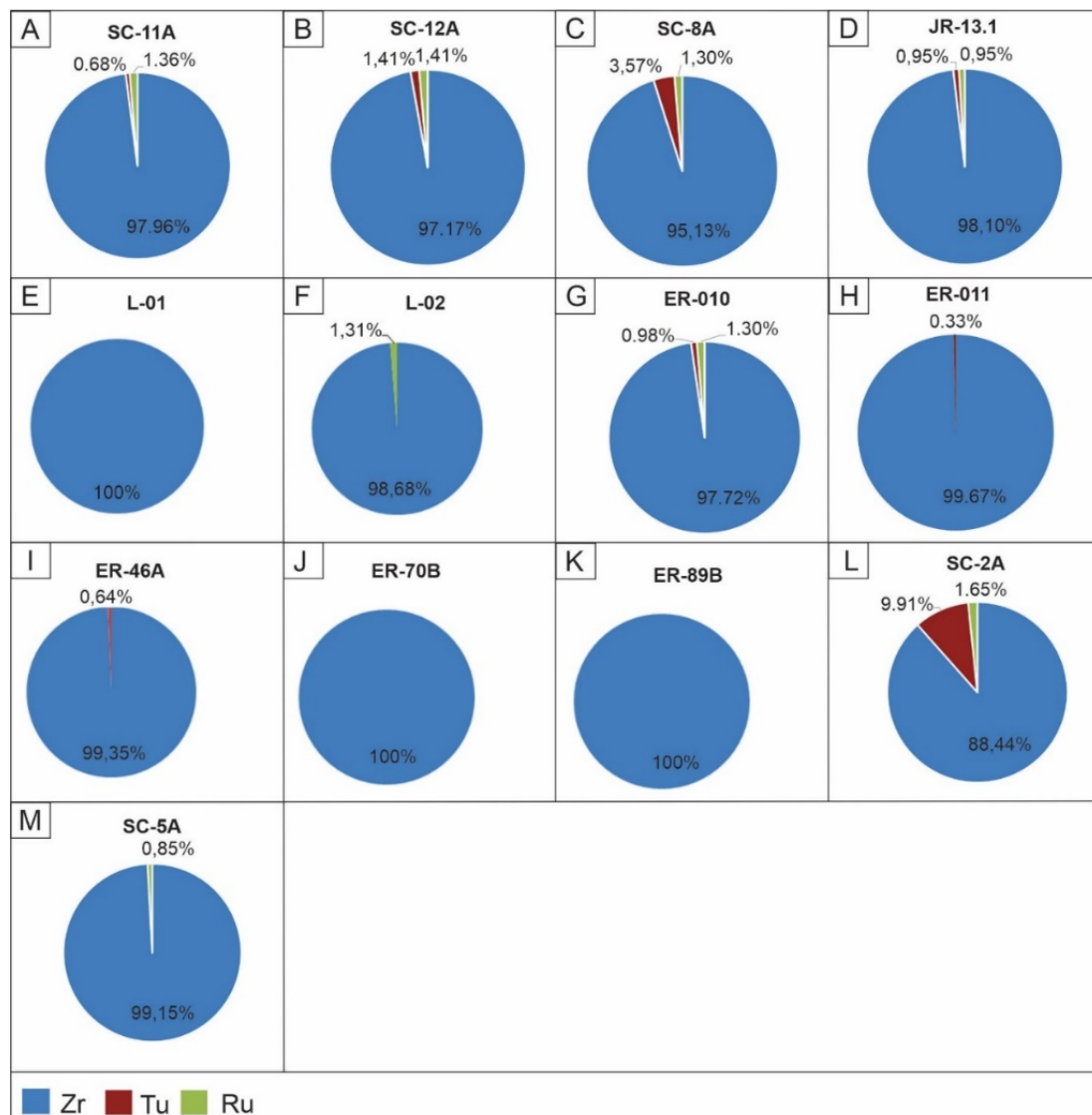


**Figura 5** - Fotomicrografias (luz natural) da assembleia de minerais pesados da unidade sedimentar neógena, representada por grãos de zircão (A), turmalina (B), rutilo (C), cianita (D), epídoto (E), silimanita (F), hornblenda (G), apatita (H), topázio (I) e estauroilita (J).

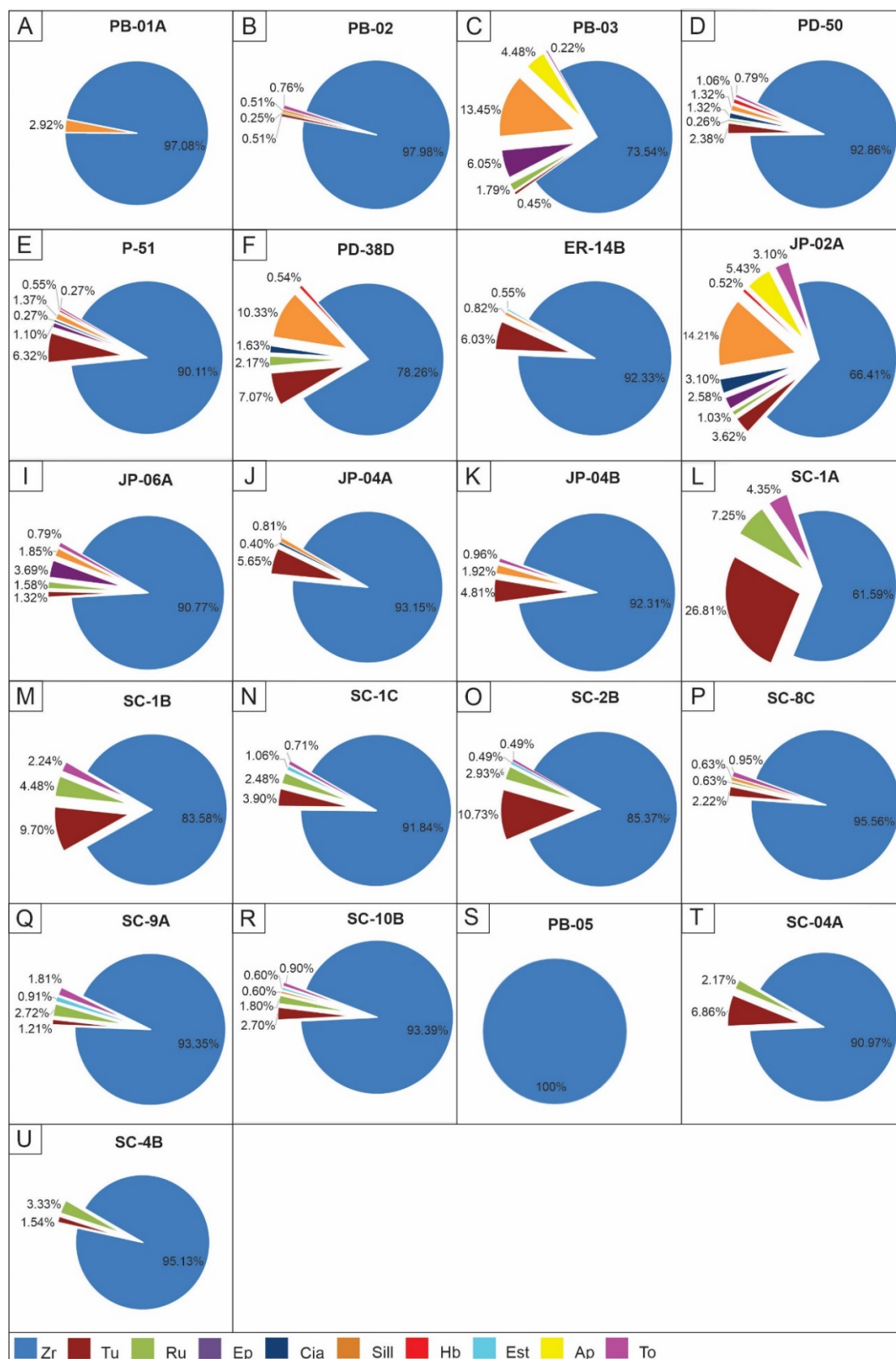


**Tabela 2** - Frequência absoluta de minerais pesados transparentes não-micáceos Formação Novo Remanso na fração 0,062 a 0,125 mm. Zr- zircão, Tu- turmalina, Ru- rutilo, Ep- epídoto, Cia- cianita, Sill- sillimanita, Hb- hornblenda, Est- estauroлита, Ap- apatita, To- topázio, N- número total de grãos.

NEÓGENO											
Amostras	Zr	Tu	Ru	Ep	Cia	Sill	Hb	Est	Ap	To	N
PB-01A	233	-	-	-	-	7	-	-	-	-	240
PB-02	388	2	1	-	-	2	-	-	-	3	396
PB-03	328	2	8	27	-	60	-	-	20	1	446
PD-50	351	9	1	-	5	5	4	-	-	3	378
P-51	328	23	-	4	1	5	2	-	-	1	364
PD-38D	144	13	4	-	3	19	1	-	-	-	184
ER-14B	337	22	-	-	1	3	-	2	-	-	365
JP-02A	257	14	4	10	12	55	2	-	21	12	387
JP-06A	344	5	6	14	-	7	-	-	-	3	379
JP-04A	231	14	-	-	1	2	-	-	-	-	248
JP-04B	96	5	-	-	-	2	-	-	-	1	104
SC-1A	85	37	10	-	-	-	-	-	-	6	138
SC-1B	112	13	6	-	-	-	-	-	-	3	134
SC-1C	259	11	7	-	-	-	-	3	-	2	282
SC-2B	175	22	6	-	-	-	-	1	-	1	205
SC-8C	301	7	2	-	-	2	-	-	-	3	315
SC-9A	309	4	9	-	-	-	-	3	-	6	331
SC-10B	311	9	6	-	-	2	-	2	-	3	333



**Figura 6** - Representação gráfica dos percentuais de minerais pesados da unidade sedimentar cretácea (amostras com siglas ER, SC, L e JR).



**Figura 7** - Representação gráfica dos percentuais de minerais pesados da unidade neógena (amostras com siglas SC, JP, ER, P, PD e PB).

Os grãos de epidoto apresentam percentual entre 1,10% a 6,05%, apresentam coloração verde claro a escuro, exibem forma irregular e variam de angulosos a subangulosos (Figuras 5E e 7A-U). Os grãos de apatita apresentam frequência de 4,48% e 5,43%, são irregulares e incolores (Figuras

5H e 7A-U). Os grãos de cianita apresentam frequência de <3,10% do total de grãos presentes, apresentam hábito tabular alongado (entretanto formas irregulares são observadas), boa clivagem e variam de subarredondados a angulosos (Figuras 5D e 7A-U). Os grãos de topázio apresentaram

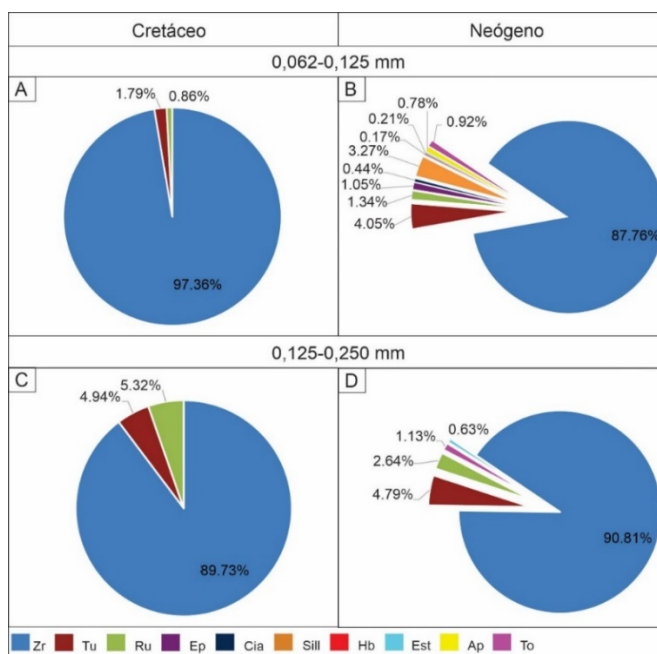
frequência entre 0,22% a 3,10%, são incolores e variam de subangulosos a subarredondados (Figuras 5I e 7A-U).

Os grãos de hornblenda e estauroлита presentes nas amostras correspondem a <1,06% do total, sendo, portanto, considerados traço. O primeiro apresenta grãos irregulares e coloração verde (Figuras 5G e 7A-U), enquanto o segundo exibe grãos de coloração amarelo pálido que se destacam geralmente por apresentar formas irregulares e bordas corroídas e variam de subangulosos a angulosos (Figuras 5J e 7A-U).

Na porção superior da unidade neógena, com desenvolvimento do paleossolo laterítico e solo amarelo, ocorrem assembleia mineralógica mais restrita, com predominância de grãos de zircão, turmalina e rutilo (Figura 7, Detalhe T-U) ou

apenas zircão (Figura 7, Detalhe S).

Foram observadas diferenças na frequência média dos minerais pesados das unidades cretáceas e neógena nos intervalos 0,062 a 0,125 mm (Figura 8A, C) e 0,125 a 0,250 mm (Figura 8 B, D). Nesse último intervalo, a unidade cretácea é composta unicamente por grãos de ZTR, apresentando leve aumento na concentração de turmalina e rutilo (até 5%), enquanto a unidade neógena é composta principalmente por grãos de ZTR, além de estauroлита e topázio. Diferentes intervalos granulométricos podem exibir composição de minerais pesados distintos, assim como as frequências desses minerais realizadas em intervalos granulométricos diferentes não são comparáveis entre si (Suguio, 2003).



**Figura 8** - Representação gráfica da frequência média de minerais pesados das unidades sedimentares cretácea e neógena nos intervalos 0.062-0.125 mm e 0.125-0.250 mm.

O índice ZTR (Zircão-Turmalina-Rutilo) define quantitativamente a maturidade mineralógica das assembleias de minerais pesados em arenitos, determinado pela porcentagem do total de grãos ZTR entre os minerais pesados transparentes e não micáceos (Hubert, 1962). Com o aumento do índice ZTR, ocorre um decréscimo da variedade de minerais pesados transparentes. Na Formação Alter do Chão, o índice resulta em 100% para todas as amostras analisadas, sendo indicativo da elevada maturidade mineralógica dos sedimentos (Tabela 3).

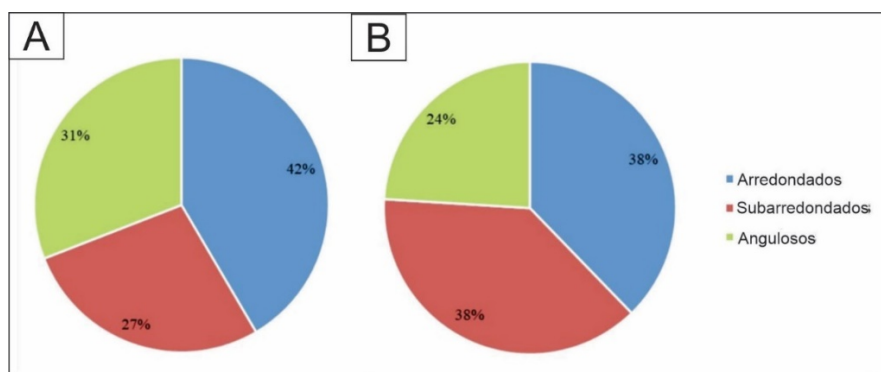
Isso ocorre, porque não há uma variabilidade na assembleia de minerais pesados, sendo constituída exclusivamente de zircão e/ou turmalina e/ou rutilo. Na Formação Novo Remanso, o

índice varia entre 71,06% e 99,03%, com média de aproximadamente 94%, sendo também característico de sedimentos com elevada maturidade mineralógica.

Nas unidades sedimentares cretácea e neógena foram observadas diferenças em relação aos graus de arredondamento dos grãos de zircão (Figura 9 A, B). Na unidade cretácea predominam grãos de zircão arredondados (42%) em relação aos subarredondados (27%) e angulosos (31%), enquanto na neógena predominam os grãos arredondados (38%) e subarredondados (38%), em relação aos angulosos (24%) (Figura 9). O zircão tem sido utilizado nesse tipo de análise devido a abundância na assembleia de minerais pesados, além da dureza e resistência ao intemperismo (Suguio, 2003).

**Tabela 3** - Índice de maturidade mineralógica das formações Alter do Chão e Novo Remanso (ZTR = Zircão + Turmalina + Rutilo).

Formação Alter do Chão			
Amostras	ZTR (%)	Amostras	ZTR (%)
SC-11A	100,00	ER-010	100,00
SC-12A	100,00	ER-011	100,00
SC-8B	100,00	ER-46A	100,00
JR-13.1	100,00	ER-70B	100,00
L-01	100,00	ER-89B	100,00
L-02	100,00	SC-2A	100,00
SC-4B	100,00	SC-5A	100,00
Formação Novo Remanso			
Amostras	ZTR (%)	Amostras	ZTR (%)
PB-01A	97,08	JP-04A	98,8
PB-02	98,74	JP-04B	97,12
PB-03	77,78	SC-1A	94,96
PD-50	95,5	SC-1B	97,76
P-51	96,43	SC-1C	98,22
PD-38D	87,5	SC-2B	98,41
ER-14B	98,36	SC-8C	99,03
JP-02A	71,06	SC-9A	97,28
JP-06A	93,67	SC-10B	97,89



**Figura 9** - Representação gráfica do grau de arredondamento dos grãos de zircão das formações Alter do Chão (A) e Novo Remanso (B).

## DISCUSSÕES

A importância do uso de minerais pesados em estudos estratigráficos relacionados a ambientes continentais e transicionais é amplamente reconhecida (Mange & Maurer, 1992; Morton & Hallsworth, 1999). Apesar da aplicação menos expressiva desta metodologia nas bacias do norte do Brasil, merece destaque os estudos que utilizam esses minerais na interpretação estratigráfica (Landim et al., 1983; Nascimento & Góes 2005, 2007; Horbe et al., 2013, Soares et al., 2017 e James et al., 2019) das unidades sedimentares cretáceas-quadernárias. Na análise geral, considera-se que processos intempéricos e diagenéticos superimpostos tendem a modificar a composição original das assembleias mineralógicas, bem como interferem na distribuição interna das assembleias nas unidades sedimentares, pois influenciam no surgimento de novas fases minerais e na dissolução intraestratal. Em particular, a dissolução pode ser avaliada com base no aumento da

maturidade mineralógica, de acordo com o Índice ZTR de Hubert (1962). Entretanto, Corrêa et al. (2008) também associam a maturidade mineralógica a ciclos de retrabalhamento sedimentar de uma unidade.

A definição de unidades sedimentares paleógenas e/ou neógenas na Bacia do Amazonas ainda é motivo para controvérsias. Nos mapas geológicos regionais dos estados do Pará e Amazonas (CPRM 2008a, 2008b), grande parte da cobertura pós-paleozoica da bacia é atribuída à Formação Alter do Chão (Cretáceo). Em geral, o detalhamento estratigráfico nos afloramentos tem sido dificultado em função do caráter arenoso e ferruginizados das unidades, que reduz o potencial fossilífero (Dino et al., 2012). Apesar das dificuldades apresentadas, estudos palinoestratigráficos de Dino et al. (2012) e Soares et al. (2015, 2016) permitiram a definição da unidade neógena (Formação Novo Remanso) em afloramentos na



porção oeste da Bacia do Amazonas, sobreposta discordantemente a unidade cretácea. Apesar da escassez de dados palinológicos que comprovem a idade cretácea da unidade sotoposta aflorante, esta foi considerada em função da carta estratigráfica de Cunha et al. (2007) não definir depósitos paleógenos na bacia.

Dados de superfície e subsuperfície permitiram definir a espessura de aproximadamente 20 a 80 metros para a unidade neógena no trecho entre Manaus e Itacoatiara, com fácies sedimentares representativas do paleoambiente fluvial meandrante, sendo delimitada na base e no topo pelas paleosuperfícies de descontinuidades regionais Sd1 e Sd3, respectivamente (Dino et al., 2012; Soares et al., 2016).

O desenvolvimento dessas superfícies pode ser associado a dois grandes episódios de lateritização identificados na Amazônia, o primeiro posicionado em 20-35 Ma e 28-50 Ma e o segundo em 6-8 Ma e 10 Ma (Horbe, 2014; Guinoiseau et al., 2021). Apesar do aspecto descontínuo das paleosuperfícies em muitos trechos aflorantes, em função da cobertura vegetal, deslocamento por falhas ou erosão, as mesmas correspondem a marcadores estratigráficos regionais importantes na Amazônia Central e podem ser correlacionadas as Inconformidades 1 e 3 da Amazônia Oriental, definidas por Rossetti (2001) (Figura 10).

A densa cobertura de vegetação e solo no topo das unidades cretácea e neógena aflorantes, além das modificações pedogenéticas superimpostas, obliteram parcialmente e/ou totalmente as feições deposicionais, geometria dos corpos e relações laterais e verticais, limitando estudos faciológicos e paleoambientais. Entretanto, esses dados, quando integrados aos minerais pesados, permitiram inferir no âmbito local a área de ocorrência e limites estratigráficos dessas unidades, que são compostas principalmente de arenitos e pelitos, de coloração avermelhada, amarelada e esbranquiçada.

Os valores elevados de ZTR nas unidades cretácea (100%) e neógena (71,06-99,03%, com média de 94%) podem ser associados principalmente ao alto conteúdo de zircão nas amostras, bem como outros minerais ultraestáveis que compõe esse índice, dificultando a diferenciação com base na maturidade mineralógica.

A unidade cretácea apresenta uma assembleia de minerais pesados ultraestável, composta unicamente por grãos de ZTR, enquanto a neógena, além do ZTR, exhibe uma assembleia de grãos

minerais metaestáveis a instáveis, representada por grãos de cianita, epidoto, silimanita, apatita, topázio, hornblenda e estaurolita, apesar dos dois últimos ocorrerem como traço. Análises qualitativa e quantitativa não indicaram o empobrecimento gradual das assembleias de minerais pesados com o aumento da profundidade crescente, já que foram definidas diferenças mineralógicas importantes, quanto aos percentuais de minerais pesados metaestáveis e instáveis, em amostras localizadas acima e abaixo do contato (superfície Sd1) que delimita as unidades cretácea e neógena. Apesar dessa constatação geral, o empobrecimento local dos minerais metaestáveis e instáveis na porção superior da unidade neógena (zona de desenvolvimento do paleossolo laterítico Sd3), pode ser associado aos processos de pedogênese e ferruginização atuantes durante o desenvolvimento da paleosuperfície.

As assembleias de minerais pesados das unidades cretácea e neógena sugerem áreas fonte ígneas, metamórficas e sedimentares. Apesar do índice ZTR indicar a elevada maturidade das unidades estudadas, os grãos de zircão analisados destacam-se pelas morfologias e diferentes graus de arredondamento (angulosos a arredondados), o que sugere também áreas fontes distintas. As formas prismáticas com terminações bipiramidais e bordas angulosas são associadas a área fonte mais proximal, provavelmente áreas de rochas graníticas (Góes, 1981), enquanto grãos subarredondados a arredondados são relacionados a sedimentos submetidos a ciclos de retrabalhamento.

Os dados qualitativos e quantitativos obtidos neste estudo foram integrados aos resultados geocronológicos de Mapes et al. (2006), a partir das idades de grãos de zircão detríticos das unidades sedimentares cretácea e neógena aflorantes, com a indicação de prováveis áreas de proveniência nas províncias geocronológicas do Cráton Amazônico, definidas por Tassinari & Macambira (1999). Neste enfoque, foram também considerados os modelos de reconstituição paleogeográfica (Hoorn, 1994; Hoorn et al., 1995; Hoorn et al., 2010; Latrubesse et al., 2010; Bicudo et al., 2019) que enfatizam a reversão do sistema fluvial Amazônico no Mioceno, de oeste para leste, em direção ao oceano Atlântico. Os zircões da unidade cretácea apresentam idades que variam entre  $1648 \pm 77$  Ma a  $2088 \pm 7$  Ma, sendo, portanto, provenientes do embasamento Maroni-Itacaiúnas na porção mais oriental do Cráton. Além dos grãos de zircão, os demais minerais

PERÍODO	SÉRIE ÉPOCA	ESTÁGIO IDADE	Bacia do Amazonas (Soares 2007)	Plataformas Bragantina e do Pará (Rossetti 2001)
	NEÓGENO	PLEISTOCENO	SUPERIOR	Terraços fluviais
MÉDIO			Paleossolo laterítico Sd3	
INFERIOR				
GELASIANO				
PLIOCENO				Inconformidade 3
MIOCENO			Formação Novo Remanso	Formação Barreiras
				Formação Pirabas
PALEÓGENO	OLIGOCENO		SD1	Inconformidade 1
	EOCENO			
	PALEOCENO			
CRETÁCEO	SUPERIOR	CENOMANIANO	Formação Alter do Chão	Grupo Itapecuru
		APTIANO		

**Figura 10** - Quadro comparativo ilustrando a coluna estratigráfica do Cretáceo, Paleógeno e Neógeno da porção oeste da Bacia do Amazonas e das plataformas Bragantina e do Pará, baseado nos estudos de Rossetti (2001) e Soares (2007). Modificado de Dino et al. (2012).

pesados desta unidade são provenientes principalmente de unidades metassedimentares e metavulcânicas, além de terrenos granulíticos e gnáissico-migmatítico, que foram carreados de leste a oeste, durante a implantação do sistema fluvial Cretáceo da Formação Alter do Chão. As idades obtidas para grãos de zircões da unidade neógena indicaram um espectro com distribuição unimodal com variação entre  $1904 \pm 7$  a  $1910 \pm 7$  Ma (juntamente com grãos mais jovem de  $1465 \pm 51$  a  $1346 \pm 49$  Ma), portanto, indicativas de rochas provenientes da Província Ventuari-

Tapajós, com idade entre 1,95 a 1,8 Ga (Tassinari & Macambira, 1999).

Os grãos de zircão e demais minerais pesados da unidade neógena tiveram como área fonte principal o flanco leste do Arco de Purus e as bordas norte e sul da bacia do Amazonas, sendo assim, provenientes de rochas sedimentares, além de granitoides, gnaisses, gabros e anfíbolitos. Os grãos foram retrabalhados e depositados nas barras arenosas do sistema fluvial Neógeno da Formação Novo Remanso, que fluía de oeste para leste.

## CONCLUSÃO

Parâmetros qualitativos e quantitativos das assembleias de minerais pesados permitiram definir critérios mineralógicos importantes na diferenciação das unidades sedimentares cretácea e neógena aflorantes na porção oeste da Bacia do Amazonas. A integração dos resultados mineralógicos obtidos com dados faciológicos (incluindo superfícies limitantes) das unidades (Dino et al., 2012; Soares et al., 2015; Guimarães et al., 2015) e de distribuição em área definida nos mapas da CPRM (2008b, 2016), pode ser considerada uma ferramenta importante na individualização, já que as unidades exibem fácies fluviais semelhantes e perfis de intemperismo bem desenvolvidos.

Apesar das unidades cretácea e neógena exibirem elevada maturidade mineralógica, em função alto conteúdo de zircão nas amostras, bem como de outros minerais ultraestáveis que compõem esse índice, diferenças sutis permitiram a individualização. Nas amostras cretáceas, o índice ZTR fica em 100% em função da assembleia de minerais pesados ultraestáveis ser composta unicamente por grãos de zircão, turmalina e rutilo. Nas amostras neógenas o índice ZTR varia entre 71,06 e 99,03%, pois exibem também grãos de minerais pesados metaestáveis a instáveis, representados pela cianita, epídoto, silimanita, apatita, hornblenda, topázio e estauroлита. Em

geral, essas assembleias sugerem fontes ígneas, metamórficas e sedimentares oriundas principalmente do Cráton Amazônico, bem como de unidade sedimentares retrabalhadas da bacia.

A relevante frequência do ZTR na unidade cretácea sugere provavelmente a eliminação de grãos menos estáveis durante o transporte por processo físicos e químicos, bem como por dissolução intraestratal durante o soterramento contínuo, já que a unidade apresenta espessura de aproximadamente 600 metros na porção central da bacia, conforme dados estratigráficos de Caputo et al. (1971). A assembleia ultraestável a instável definida na unidade neógena indica que os processos relacionados ao transporte sedimentar e intemperismo não foram intensos. Além disso, essa unidade não foi submetida a diagênese profunda e exibe espessura entre 20 e 80 metros, sendo representativa da cobertura sedimentar na porção oeste da bacia, segundo dados estratigráficos de Soares et al. (2016).

Particularmente, grãos de zircão, turmalina, hornblenda, apatita, epidoto e topázio indicam

proveniência de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, enquanto os de rutilo, cianita, sili-manita e estauroлита são encontrados principalmente em rochas metamórficas (Mange & Maurer, 1992). Nesse contexto, as áreas fonte dos minerais pesados encontradas nas unidades cretácea e neógena podem ser relacionadas às províncias geocronológicas Maroni-Itacaiúnas e Ventuari-Tapajós, definidas respectivamente nas porções oriental e central do Cráton Amazônico, conforme Mapes et al. (2006).

A presença de grãos de zircão angulosos (euédricos) a arredondados nas unidades cretácea e neógena estudadas indica áreas fonte distintas, além de caráter proximal e multicíclico. O proximal sugere pouco retrabalhamento dos grãos a partir de fontes ígneas e/ou metamórficas, enquanto o multicíclico está em consonância com a maturidade mineralógica determinada e indica a presença de área fonte sedimentar para os grãos, provavelmente oriundos das unidades sedimentares (principalmente proterozóicas e paleozoicas) sotopostas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Amazonas (Projeto FAPEAM 002/2018 UNIVERSAL AMAZONAS) pelo suporte financeiro durante algumas etapas de campo e compra de material para análises de laboratório.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, L.E.R. & SOARES, E.A.A. Análise de minerais pesados da sequência sedimentar cretácea-miocena aflorante nas regiões de Manaus e Presidente Figueiredo, Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre. **Resumos expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.
- BICUDO, T.C.; SACEK, V.; DE ALMEIDA, R.P.; BATES, J.M. & RIBAS, C.C. Andean tectonics and mantle dynamics as a pervasive influence on Amazonian ecosystem. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019.
- CAPUTO, M.V. Discussão sobre a Formação Alter do Chão e o Alto de Monte Alegre. In: Nascimento R.S.C., Horbe A.M.C., Almeida C.M. (eds.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v. 7, p. 7-23, 2011.
- CAPUTO, M.V.; RODRIGUES, R. & VASCONCELOS, D.N. Litoestratigrafia da Bacia Amazônica: Relatório interno da Petrobras, RENOR, n. 4054, 1971.
- CORDEIRO, S.S. & SOARES, E.A.A. Minerais pesados da sequência sedimentar cretácea- miocena aflorante nas regiões de Manaus, Iranduba e Manacapuru, Amazônia Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre. **Resumos expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2016.
- CORRÊA, I.C.S.; ZOUAIN, R.N.A.; WESCHENFELDER, J. & TOMAZELLI, L.J. Áreas fontes dos minerais pesados e sua distribuição sobre a plataforma continental sul-brasileira, uruguaia e norte-argentina. **Pesquisas em Geociências**, v. 35, n. 1, p. 137-150, 2008.
- COSTA, A.R.M. **Tectônica cenozoica e movimentação salífera na Bacia do Amazonas e suas relações com a geodinâmica das placas da America do Sul, Caribe, Cocos e Nazca**. Belém, 2002. 237 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazonia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991.
- COUTINHO, J.M.V. & COIMBRA, A.M. **Tabela de identificação Óptica de Minerais Transparentes em Sedimentos**. Curitiba/São Paulo, UFPR/USP. 17 p., 2005.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas**, Programa Geologia do Brasil. Brasília: Ministério de Minas e Energia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2006.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: texto explicativo. Escala 1:1.000.000**. Belém: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2008a.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto de materiais de construção no domínio Médio Amazonas: minerais para construção civil**. Informe de Recursos Minerais, Série Rochas e Minerais Industriais, 3. Manaus: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2008b.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geologia e recursos minerais da região metropolitana de Manaus, Estado do Amazonas, escala de integração 1:500.000**. Manaus: Companhia de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 2016.

- CUNHA, P.R.C.; GONZAGA F.G.; COUTINHO L.F.C.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n.1, p. 47-55, 1994.
- CUNHA, P.R.C.; MELO J.H.G.; SILVA O.B. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 227-251, 2007.
- DAEMON, R.F. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 2, p. 58-84, 1975.
- DINO, R.; SOARES, E.A.A.; ANTONIOLI, L.; RICCOMINI, C.; NOGUEIRA, A.C.R. Palynostratigraphy and sedimentary facies of Middle Miocene fluvial deposits of the Amazonas Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 34, p. 61-80, 2012.
- DINO, R.; SOARES, E.A.A.; RICCOMINI, C.; ANTONIOLI, L.; NOGUEIRA, A.C.R. 2006. Caracterização palinoestratigráfica de depósitos miocênicos da Bacia do Amazonas, região de Manacapuru, AM. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7.; SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1. 2006, Serra Negra. **Boletim de resumos...** Serra Negra: IGCE/UNESP, p. 43.
- DINO, R.; SILVA, O.B.; ABRAHÃO, D. Caracterização palinológica e estratigráfica de estratos cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas. In: V SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 1999, Serra Negra. **Boletim de resumos...**Serra Negra: IGCE/UNESP, 1999, p. 557-565.
- GALEHOUSE, J.S. Counting grain mounts: number percentage vs. number frequency. **Journal of Sedimentary Research**, v. 39, p. 812-815, 1969.
- GAUTHERON, C.; SAWAKUCHI, A.O.; DOS SANTOS ALBUQUERQUE, M.F.; CABRIOLU, C.; PARRA, M.; RIBAS, C.C. & PINNA-JAMME, R. Cenozoic weathering of fluvial terraces and emergence of biogeographic boundaries in Central Amazonia. **Global and Planetary Change**, v. 212, p. 103815, 2022.
- GÓES, A.M. **Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no nordeste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão**. Belém, 1981. 55 p. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Pará.
- GONÇALVES JUNIOR, E.S.; SOARES, E.A.A.; TATUMI, S.H.; YEE, M.; MITTANI, J.C.R. Pleistocene-Holocene sedimentation of Solimões-Amazon fluvial system between the tributaries Negro and Madeira, Central Amazon. Brazilian **Journal of Geology**, v. 46, p. 167-180, 2016.
- GUIMARÃES, J.T.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; SILVA JÚNIOR, J.B.C.; SOARES, J.L.; ALVES, R. & KERN, A.K. Palynology of the Middle Miocene-Pliocene Novo Remanso Formation, central Amazonia, Brazil. **Ameghiniana**, v. 52, n.1, p.107-134, 2015.
- GUINOISEAU, D.; FEKIACOVA, Z.; ALLARD, T.; DRUHAN, J. L.; BALAN, E. & BOUCHEZ, J. Tropical weathering history recorded in the silicon isotopes of lateritic weathering profiles. **Geophysical Research Letters**, v. 48, n. 19, p. e2021GL092957, 2021.
- HARWOOD, G. Microscopic techniques. II. Principles of sedimentary petrography. In: TUCKER, M.E. (ed.) **Techniques in Sedimentology**, Blackwell, Oxford, p. 108-173, 1988.
- HOORN, C. An environmental reconstruction of the palaeo-Amazon River system (Middle-Late Miocene, NW Amazonia). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 112, n. 3-4, p. 187-238, 1994.
- HOORN, C.; GUÉRRERO, J.; SARMIENTO, G.A.; LORENTE, M.A. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern south America. **Geology**, v. 23, n. 3, p. 237-240, 1995.
- HOORN, C.; WESSELINGH, F.P.; HOVIKOSKI, J.; GUERRERO, J. The development of the Amazonian megawetland (Miocene, Brazil, Colombia, Peru, Bolivia). **Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past**, v. 123, p. 142, 2010.
- HORBE, A.M.C. Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais**, v. 9, p. 93-104, 2014.
- HORBE, A.M.C.; MOTTA, M.B.; DE ALMEIDA, C.M.; DANTAS, E.L. & VIEIRA, L.C. Provenance of Pliocene and recent sedimentary deposits in western Amazônia, Brazil: consequences for the paleodrainage of the Solimões-Amazonas River. **Sedimentary Geology**, v. 296, p. 9-20, 2013.
- HORBE, A.M.C.; NOGUEIRA, A.C.R.; HORBE, M.A.; COSTA, M. L. & SUGUIO, K. A lateritização na gênese das superfícies de aplanamento da região de Presidente Figueiredo-Balbina, nordeste do Amazonas. **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v. 2, p. 148-176, 2001.
- HUBERT, J.F. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. **Journal of Sedimentary Research**, v. 32, n. 3, p. 440-450, 1962.
- JAMES, M.J.; JÚNIOR, A.E.D.A.S. & DA COSTA, J.S. Aspectos estratigráficos e análise de minerais pesados das formações ipixuna, barreiras e pós-barreiras, entre as cidades de Jacundá e Goianésia do Pará, sub-bacia de Mocajuba, sudeste do Estado do Pará. **Geociências**, v. 37, n. 4, p. 759-773, 2019.
- KOTSCHOUBEY, B. & TRUCKENBRODT, W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia, Estados do Pará e Maranhão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 11, n. 3, p. 193-202, 1981.
- LANDIM, P.; BÓRIO, N.J.; WU, F.T. & CASTRO, P.R. Minerais pesados provenientes do leito do rio Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 13, p. 51-72, 1983.
- LATRUBESSE, E.M.; COZZUOL, M.; DA SILVA-CAMINHA, S.A.; RIGSBY, C.A.; ABSY, M.L. & JARAMILLO, C. The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. **Earth-Science Reviews**, v. 99, n. 3-4, p. 99-124, 2010.
- MANGE, M.A. & MAURER, H.F.W. **Heavy Minerals in Colour**. London: Chapman & Hall, 147 p., 1992.
- MAPES, R.W.; NOGUEIRA, A.C.R.; COLEMAN, D.S.; VEGA, A.M.L. Evidence for a continental scale drainage inversion in the Amazon Basin since the Late Cretaceous. Geological Society of America. **Abstract with Program**, v. 38, n. 7, p. 518, 2006.
- MENDES, A.C.; TRUCKENBRODT, W.H.W. & NOGUEIRA, A.C.R. Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 39-57, 2012.
- MORTON, A.C. & HALLSWORTH, C.R. Process controlling the composition of heavy minerals assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, v. 124, p. 3-29, 1999.
- NASCIMENTO, M.S & GÓES, A.M. Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, região do Rio Capim, Sul da Sub-Bacia de Cameté. **Brazilian Journal of Geology**, v. 35, n. 1, p. 49-58, 2005.
- NASCIMENTO, M.S & GÓES, A.M. Petrografia de arenitos e minerais pesados de depósitos cretáceos (Grupo Itapecuru), Bacia de São Luís-Grajaú, norte do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 02-15, 2007.
- NOGUEIRA, A.C.R.; SOUZA, V.; SOARES, E.A.A. Contribuição à tectônica cenozoica da Região de Presidente Figueiredo, Norte de Manaus-AM. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 1997, Pirenópolis. **Anais...Pirenópolis: Sociedade Brasileira de Geologia**, 1997, p. 123-125
- NOGUEIRA, A.C.R.; VIEIRA, L.C.; SUGUIO, K. Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus. In: 5 SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 1999, Serra Negra. **Boletim de resumos...** Rio Claro: UNESP, p. 261-266.
- POWERS M.C. A new roundness scale for sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**. **Journal of Sedimentary Research**, v. 23, n. 2, p. 117-119, 1953.



- ROSSETTI, D.F. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. **Journal South American Earth Sciences**, v. 14, n. 1, p. 77-89, 2001.
- ROSSETTI, D.F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. **Sedimentary Geology**, Holanda, v. 169, n. 3-4, p. 151-174, 2004.
- ROZO, J.M.G.; NOGUEIRA, A.C.R.; HORBE, A.M.C.; CARVALHO, A.S. Depósitos Neógenos da Bacia do Amazonas. **Contribuições à Geologia da Amazônia**. SBG, v. 4, p. 201-207, 2005.
- ROZO, M.G.; NOGUEIRA, A.C.R.; TRUCKENBRODT, W. The anastomosing pattern and the extensively distributed scroll bars in the middle Amazon River. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, n.14, p. 1471-1488, 2012.
- SOARES, E.A.A. **Depósitos pleistocenos da região de confluência dos rios Negro e Solimões, Amazonas**. São Paulo, 2007. 205 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SOARES, E.A.A.; D'APOLITO, C.; JARAMILLO, C.; HARRINGTON, G.; CAPUTO, M.V.; BARBOSA, R.O.; BONORA DOS SANTOS, E.; DINO, R.; GONÇALVES, A.D. Sedimentology and Palynostratigraphy of a Pliocene-Pleistocene (Piacenzian to Gelasian) deposit in the lower Negro River: Implications for the establishment of large rivers in Central Amazonia. **Journal Of South American Earth Sciences**, v. 79, p. 215-229, 2017.
- SOARES, E.A.A.; DINO, R.; SOARES, D.P.; ANTONIOLI, L.; SILVA, M.A.L.D. New sedimentological and palynological data from surface Miocene strata in the central Amazonas Basin area. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 3, p. 337-357, 2015.
- SOARES, E.A.A.; TATUMI, S.H. & RICCOMINI C. Determinações de idade OSL de depósitos fluviais do Pleistoceno na Amazônia Central. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 3, p. 691-699, 2010.
- SOARES, E.A.A.; WAHNFRIED, I.; DINO, R. Subsurface stratigraphy of the cretaceous-neogene sedimentary sequence of Manaus and Itacoatiara regions, Central Amazon. **Geologia USP. Série Científica**, v. 16, n. 1, p. 23-41, 2016.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Blucher, 1ª Edição, 416 p., 2003.
- TASSINARI, C.C, & MACAMBIRA, M.J. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences**, v. 22, n. 3, p. 174-182, 1999.

*Submetido em 30 de março de 2022  
Aceito para publicação em 14 de outubro de 2022*