

DETECÇÃO DE PALEOCANAIS NO RIO JURUÁ A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Maria Madalena de Sousa

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, MS, Brasil
madysousa@gmail.com

Wallace de Oliveira

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, MS, Brasil
wallaceoliveira@hotmail.com

RESUMO

A detecção e o mapeamento de feições fluviais atuais e pretéritas na Amazônia a partir dos dados de sensoriamento remoto são fundamentais em discussões que envolvem a formação e evolução dos sistemas de drenagem amazônicos. O presente estudo teve como objetivo identificar feições que auxiliem na caracterização paleográfica do rio Juruá no estado do Acre, especificamente a partir da identificação de paleocanais e feições tectônicas utilizando diferentes dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagem. A extração de paleocanais bem como o mapeamento dos terraços holocênicos e dos lineamentos morfotectônicos se deu através da utilização de modelos digitais de elevação SRTM, cuja análise e processamento dos dados foram executados no aplicativo Global Mapper 9.0. Os resultados mostram que são visivelmente observadas, através de imagens de satélites, feições anômalas em todo o sistema de drenagem como: mudança de direção em ângulo de 90° e trechos retilíneos ao longo de cursos meandrantés. De maneira geral, as análises dos padrões de drenagem, lineamentos e anomalias, realizadas na bacia, demonstram forte condicionamento das estruturas na rede de drenagem. Através da análise das imagens SRTM foi possível destacar feições que sugerem um tributário bastante expressivo na margem esquerda do rio Juruá e que algum fator, possivelmente tectônico, tenha interrompido seu curso invertendo-o na direção contrária abandonando assim o canal.

Palavras-chave: Paleomorfologia. Geomorfologia. Paleografia. Padrão de drenagem.

DETECTION OF PALEOCANAIS IN THE JURUÁ RIVER FROM REMOTE SENSING DATA.

ABSTRACT

The detection and mapping of current and past river features in the Amazon from remote sensing data are fundamental in discussions involving the formation and evolution of Amazonian drainage systems. The present study aimed to identify features that assist in the paleographic characterization of the Juruá river in the state of Acre, specifically from the identification of paleochannels and tectonic features using different remote sensing data and digital image processing techniques. The extraction of paleochannels as well as the mapping of holocene terraces and morphotectonic lineaments was performed using SRTM digital elevation models, whose analysis and data processing were performed in the Global Mapper 9.0 application. The results show that anomalous features throughout the drainage system are visibly observed through satellite images, such as: 90 ° angled direction changes and straight stretches along meandering courses. In general, the analysis of drainage patterns, lineaments and anomalies performed in the basin demonstrate strong conditioning of structures in the drainage network. Through the analysis of the SRTM images it was possible to highlight features that suggest a very expressive tributary on the left bank of the Juruá river and that some factor, possibly tectonic, has interrupted its course by reversing it in the opposite direction, thus leaving the channel.

Keywords: Paleomorphology. Geomorphology. Paleography. Drainage pattern.

INTRODUÇÃO

A detecção e o mapeamento de feições fluviais atuais e pretéritas na Amazônia a partir dos dados de sensoriamento remoto são fundamentais em discussões que envolvem a formação e evolução dos sistemas de drenagem amazônicos. A complexidade desses sistemas, atuais e paleocanais, e a presença de feições morfoestruturais que sugerem drenagens controladas por tectonismo despertam o interesse sobre os reais fatores que controlam a evolução dos mesmos (STERNBERG, 1950).

Os cursos d'água são sistemas dinâmicos complexos e, têm sido considerados sensíveis a deformações crustais, respondendo de maneira rápida, mesmo nos casos onde as deformações são de pequena escala e/ou magnitude (ETCHEBEHERE, 2003). A disposição atual dos sistemas de drenagem reflete inúmeros fatores inter-relacionados como: clima, relevo, tectônica, nível do mar, litologia, entre outros, que atuaram no tempo geológico. A ocorrência de assimetria de bacias reflete o deslocamento lateral do seu rio principal, sendo essa migração provocada por processos fluviais internos e/ou forças tectônicas (Cox, 1994; Salamuni, 2004).

Atualmente, o uso integrado de técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto, métodos de datação, de análises de proxies, dentre outros tem permitido a reconstituição da evolução dos sistemas de drenagem no tempo geológico. Especialmente, a utilização do sensoriamento remoto em áreas como a Amazônia, onde a baixa topografia desfavorece exposições litológicas naturais e a observação direta de estruturas tectônicas, tem contribuído sobremaneira nos estudos de reconstituição de sistemas fluviais (MANTELLI *et al.*, 2009; ROSSETTI, 2010). Adicionalmente, a grande dimensão da área e o acesso restrito, além da densa cobertura vegetal constituem outros fatores que tornam o sensoriamento remoto uma ferramenta eficaz na obtenção de dados fluviais, geológicos e geomorfológicos (CUNHA, 1991).

A neotectônica da região amazônica é marcada por estruturas, sequências sedimentares, padrões de rede de drenagem e sistemas de relevo, cujas características vêm sendo gradativamente desvendadas (ACRE, 2010). Para Frailey *et al.* (1988), na Amazônia Ocidental, houve influência de um controle tectônico intermitente, que condicionou mudanças significativas no grau de intemperização dos sedimentos na bacia do Acre. Assim, a atividade tectônica inundou a bacia com sedimentos e cobriu-os antes do processo de intensa intemperização.

A detecção da tectônica na região é claramente observada nos afloramentos e exposição de rocha e solo. As falhas provocam deslocamento de camadas e superfícies topográficas e alteram a morfologia da paisagem (LATRUBESSE 2000; RANCY, 2000). Em locais de falhas é observada a formação de espelhos de falha, estrias de atrito e brecha de falha que resultam da fricção entre os blocos de rocha. Os rios sofrem enormes migrações de leitos alcançando ordem de quilômetros, cujos registros são os extensos pacotes de sedimentos, terraços e lagos, bem como o registro de extensos paleocanais (ACRE, 2010).

A região que abrange toda a rede de drenagem do rio Juruá tem apresentado ao longo dos anos um vasto histórico de sismos em especial na região denominada Alto Juruá o que demonstra que a região em particular apresenta nítido controle estrutural. A ausência de estudos mais aprofundados no rio Juruá como ocorre nos rios Madeira e Purus dificulta a compreensão da geomorfologia fluvial na região.

Os paleocanais são importantes feições morfológicas que permitem o entendimento de sistemas de drenagens pretéritos e podem ajudar na compreensão de mudanças na morfologia fluvial. Na Amazônia, o uso de técnicas de sensoriamento remoto tem se mostrado eficiente na identificação e caracterização dessas feições morfológicas (ROSSETTI *et al.*, 2008). Adicionalmente, a utilização de dados de sensoriamento remoto representa uma alternativa rápida, de baixo custo, e que permite o mapeamento de paleomorfológicas fluviais em grandes áreas.

Pela dificuldade na obtenção de dados geológicos e geomorfológicos em campo, a utilização em conjunto dos diversos dados de sensoriamento remoto pode contribuir significativamente para a caracterização da dinâmica fluvial quaternária de grande parte do ambiente amazônico. Enriquecem-se assim as discussões sobre a real influência da tectônica e das variações climáticas no desenvolvimento dos sistemas fluviais da área, bem como da relação entre o desenvolvimento dos sistemas fluviais e a distribuição da flora e fauna da área. As informações obtidas também podem auxiliar no planejamento e orientação de trabalho de campo. Análises preliminares de imagem de satélite sugerem várias feições um tanto distintas das demais ao longo do seu curso meandrante, em

especial na área considerada do Alto Juruá. Algumas das feições remetem à hipótese de que haviam tributários ligados a bacia do rio Juruá sugerindo que sua nascente tinha uma direção distinta da atual, além de feições que mostram que o curso do rio sofreu mudanças bruscas no passado.

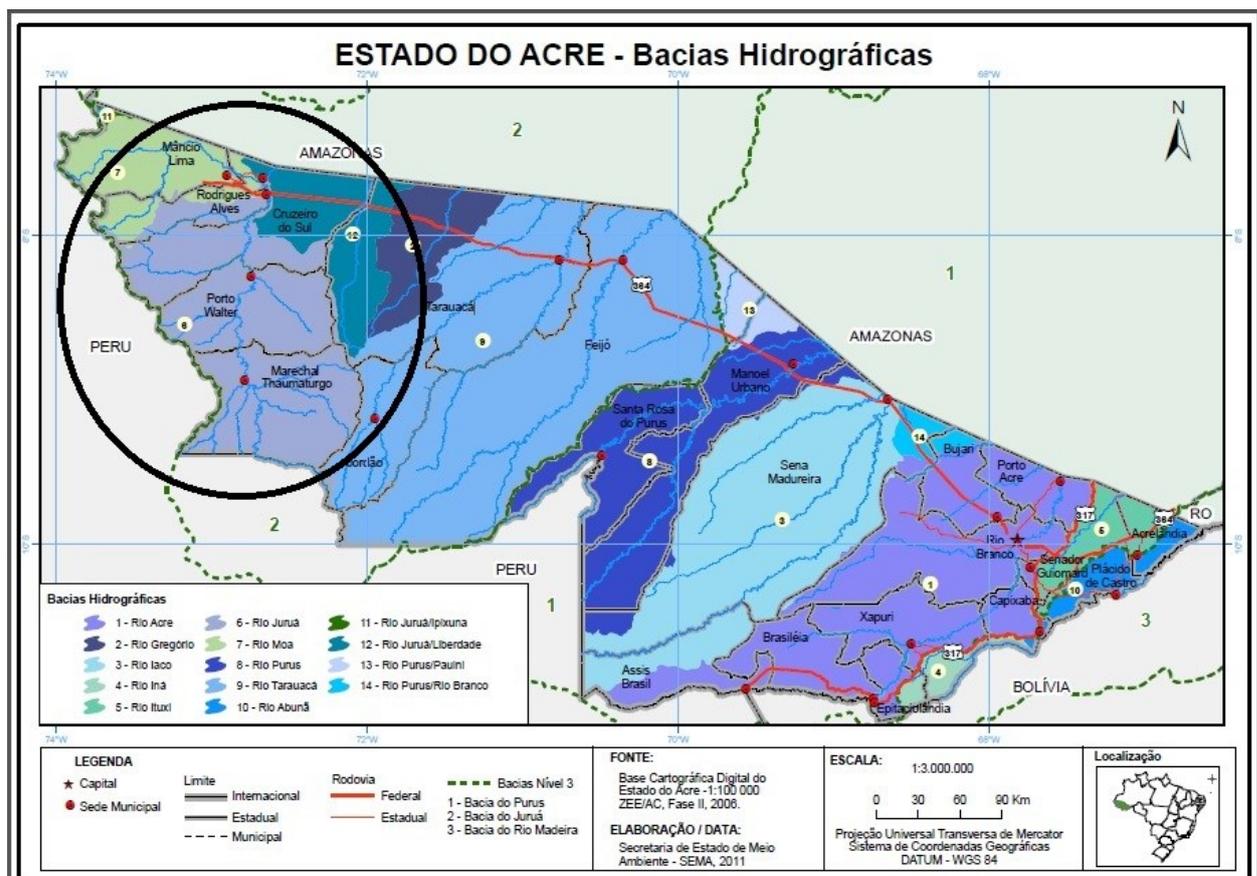
Neste sentido, o objetivo deste trabalho é utilizar diferentes dados de sensoriamento remoto e técnicas de processamento digital de imagens a fim de identificar feições fluviais que auxiliem na caracterização paleogeográfica da área, em específico, a partir da identificação de paleocanais.

ÁREA DE ESTUDOS E CONTEXTO FISIAGRÁFICO

A área de estudo está inserida em território nacional na bacia Amazônica, na regional denominada Alto Juruá, mais especificamente no limite territorial entre Brasil no estado do Acre e Peru até a confluência com o rio Ipixuna no Estado do Amazonas, próximo ao município de Cruzeiro do Sul, no Acre (Figura 01). Este rio tem sua nascente na serra das Mercês (Serra da Contamana) no Peru, a 453 metros de altitude. Sua extensão total é de 3283 km, e percorre todo o noroeste do Estado do Acre desaguando no rio Solimões no Estado do Amazonas, no sentido sudoeste-nordeste. É considerado um dos rios mais sinuosos do mundo (ACRE, 2012).

De acordo com o Atlas Pluviométrico do Brasil (2019), as taxas de precipitação pluviométrica condicionam um total médio de precipitação anual de 2.057,7 +/- 165 mm. A distribuição das chuvas segue uma tendência de redução no sentido noroeste-sudeste. O clima da área de estudos é classificado como quente e úmido do tipo AM – equatorial segundo a classificação de Koppen, com temperaturas médias anuais variando entre 24,5°C e 32°C (ACRE, 2010).

Figura 1 - Localização da área de estudos - Alto Juruá, AC/AM.

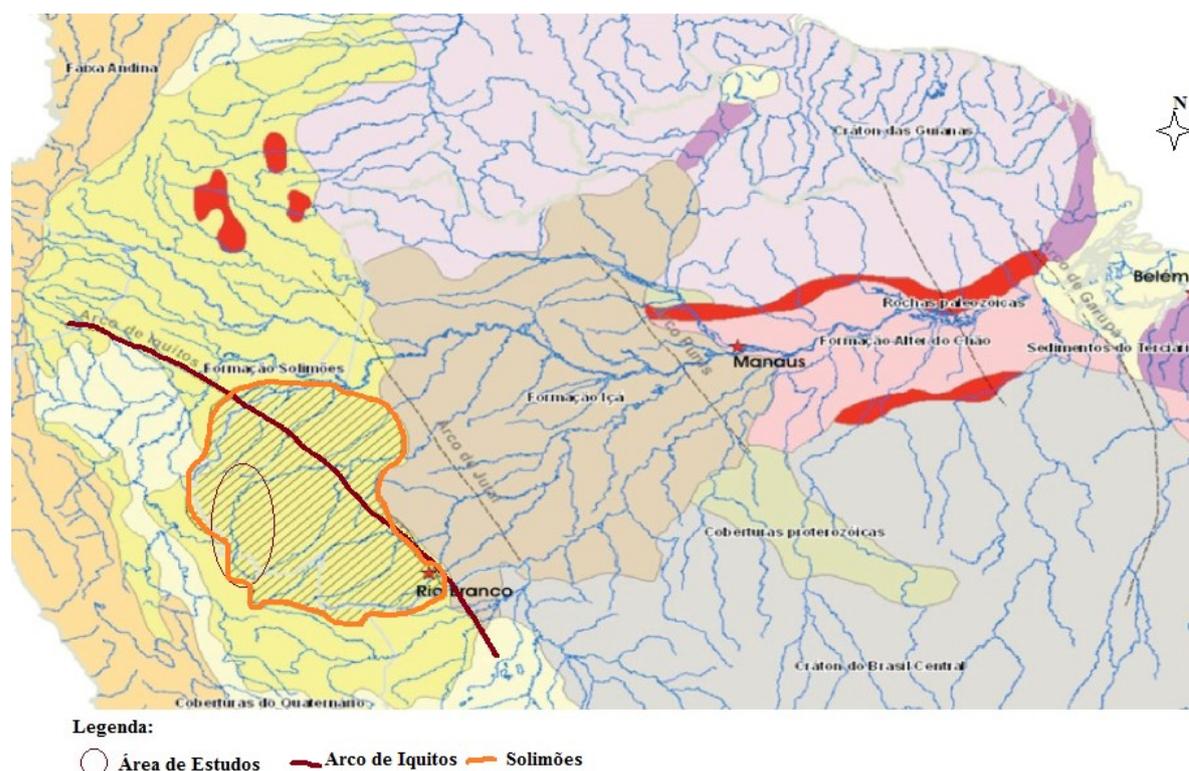


Fonte: adaptado de Acre, 2011.

Esta bacia insere-se no vasto triângulo formado entre o Rio Madeira, Rio Japurá e a borda oriental dos Andes, constituindo uma unidade morfológica de grande extensão da região do Alto Amazonas. Do ponto de vista geológico, é representada, em grande parte, pela Formação Solimões, constituída por sedimentos siltsos e argilosos, referentes a depósitos fluvio-lacustres do Plio-Pleistoceno (ACRE,2000). No alto Juruá encontram-se as elevações mais orientais da Cordilheira Andina, constituindo a Serra do Divisor. A unidade geotectônica mais importante no Estado do Acre é a Bacia do Acre, delimitada pelo Arco de Iquitos e pela faixa Andina (CAVALCANTE, 2006) (Figuras 02 e 03). De acordo com Acre (2006, apud KRONG *et al.*,1988), a Bacia do Acre é um retroarco que limita a faixa móvel andina, compreendendo unidades cenozoicas na porção mais a oeste com remanescentes mesozoicos e pré-cambrianos. A mesma teve em sua história geológica uma deposição pericratônica e marginal aberta no Paleozoico, o que resultou em sedimentos continentais intercalados a sedimentos marinhos.

Cavalcante (2006) ressalta que, em seguida ao soerguimento da Cordilheira dos Andes, o Arco de Iquitos é rebaixado e a Bacia do Acre passa a ser intracontinental, com fontes de sedimentos vindas do oeste, o que provoca uma inversão no fluxo das drenagens principais, que se mantém até a atualidade (fluxo dos rios Solimões, Juruá e Purus de oeste para leste), sendo neste momento o início da deposição de sedimentos para a consolidação da Formação Solimões.

Figura 2 - Localização da Bacia do Acre (hachuras) no contexto geológico da Amazônia.



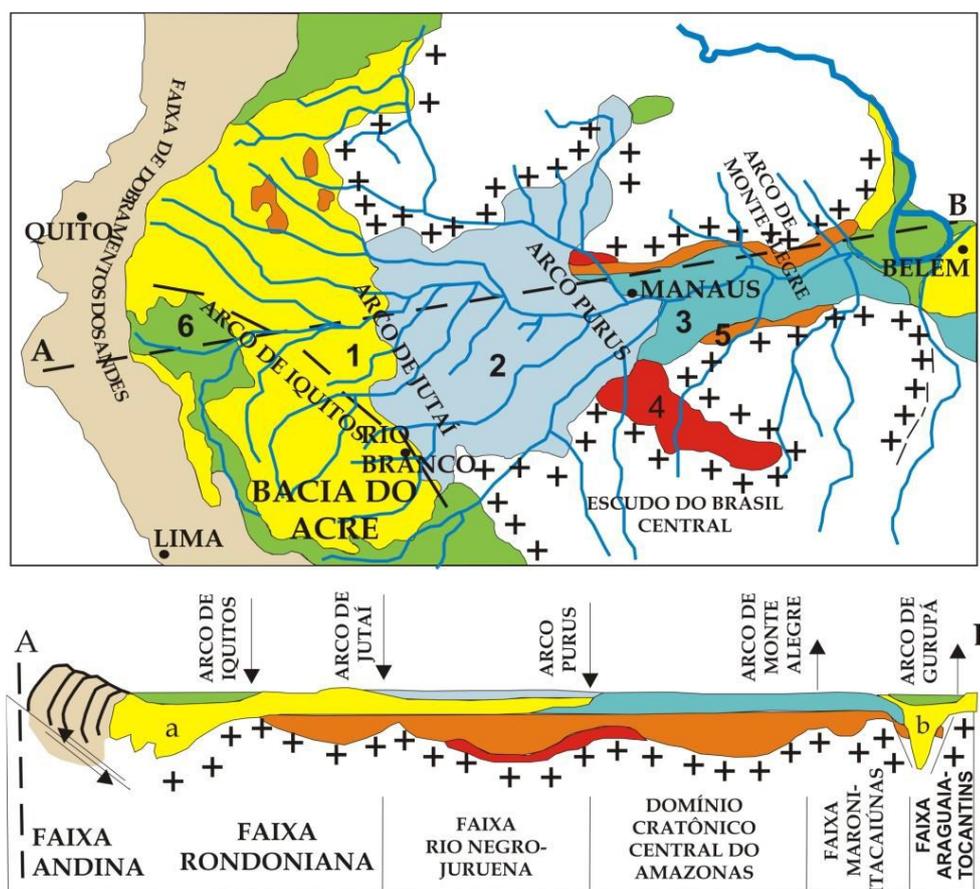
Fonte: ACRE 2010.

De acordo com Cavalcante (2006), a Formação Solimões aflora por grande extensão na Bacia do Acre, recoberta por sedimentos holocenos, principalmente nas margens de rios, com predomínio de siltitos e argilitos, como principal componente aflorante, e em sua divisa a oeste com a Serra do Divisor, com arenitos do Cretáceo. Análises feitas entre os municípios de Cruzeiro do Sul e Marechal Thaumaturgo identificaram duas associações de fácies, sendo que uma delas considerada fluvial meandrante e a outra planície de inundação.

A associação de fácies meandrante, dominada por fluxo trativo, é representada por camadas de várias espessuras, caracterizando áreas de acomodação de diferentes profundidades, apresentando estágios pontuais de erosão (ACRE, 2006).

A associação de planície de inundação é composta por fácies pelítica maciça, rica ou não em matéria orgânica e fácies pelítica, com algumas camadas de arenito que se alternam formando laminações plano-paralelas e laminação cruzada cavalgante, sendo que estudos realizados nesta última mostram, que devido a uma diferenciação de energia no sistema deposicional, é possível notar que houve deposição por suspensão seguida por períodos com um grande influxo de sedimentos rapidamente depositados (ACRE, 2006).

Figura 3 - Localização da Bacia do Acre no contexto geotectônico amazônico. (1) a) Formação Solimões, b - sedimentos terciários; (2) Formação Içá; (3) Formação Alter do Chão; (4) coberturas proterozóicas; (5) rochas paleozóicas; (6) coberturas do Quaternário.



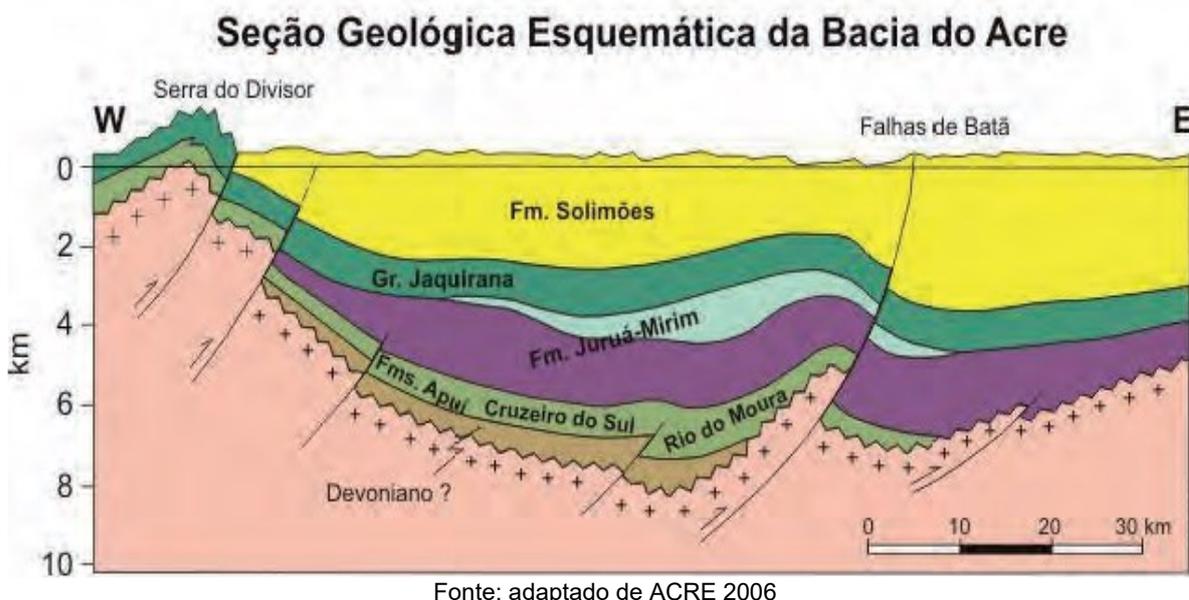
Fonte: Adaptado de Bezerra (2003) apresentado por ACRE (2006).

Foi identificada, em subsuperfície, uma sequência sedimentar representativa de intervalos significativos, que são: Carbonífero Superior/Permiano (Formações Apui, Cruzeiro do Sul e Rio do Moura) (Figura 04). Estes são delimitados por expressivas discontinuidades (FEIJO; SOUZA, 1994). Considera-se que estes são depósitos estratégicos do ponto de vista de concentração de óleo e gás, segundo o contexto geológico/geotectônico associado a eles.

De acordo com Hoorn *et al.* (2010), análises preliminares apoiam a proposta de que as áreas do setor Sul-Occidental da Amazônia, no Acre, e em condição única para o território brasileiro, estiveram envolvidas e testemunharam os grandes eventos tectônicos que formaram os Andes, relacionados aos

episódios extensionais da Orogenia. Através do soerguimento dos Andes, novos ambientes foram criados, favorecendo o surgimento de novas formas de flora e fauna, proporcionando o maior pico de diversidade, antes mesmo do término do período.

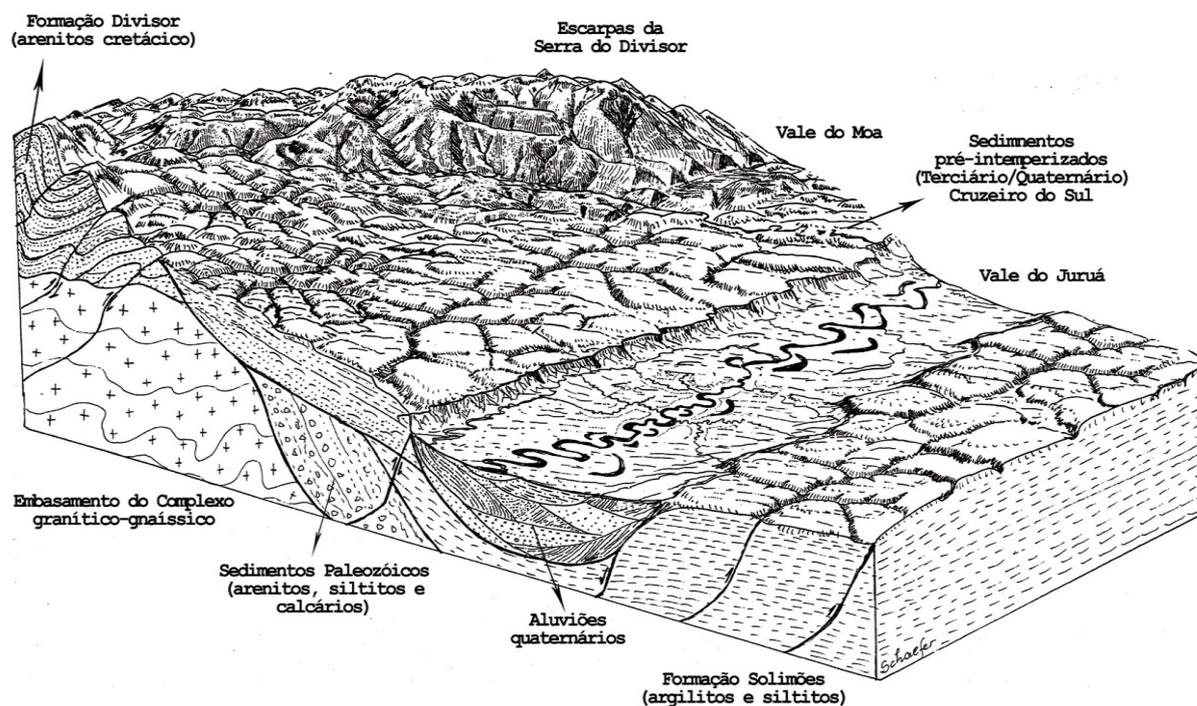
Figura 4 - Formação Solimões (Mioceno até Pleistoceno) ocupando grande parte do Estado do Acre com sedimentos que variam de 800 a 2 mil metros de profundidade.



A sedimentação inicial se deu por rifteamento intracontinental e posteriormente com possíveis incursões marinhas. Estudos com radiocarbono mostram que a parte superior da Formação Solimões (50-250m) se acumulou nos últimos 50 mil anos (Neopleistoceno). Estudos realizados através de amostragens em perfurações e em superfície indicam transições lacustres e fluviais ao longo do Quaternário tardio que supõem episódios de mudanças hidrológicas e geodinâmicas combinadas com subsidências e soerguimentos (ACRE 2006, apud KRONBERG *et al.*, 1998). Posteriormente ao soerguimento dos Andes (Plioceno), a deposição se torna em ambiente intracontinental, com lagos e megaleques aluviais.

No Plioceno e Pleistoceno, instala-se o regime compressivo, e os blocos tectônicos são alçados, gradativamente, à posição que atualmente ocupam como mostra a Figura 06. A drenagem atual está instalada sobre uma planície quaternária muito mais ampla e extensa, formada em condições climáticas e geomorfológicas distintas das atuais. A dissecação deixa relevos tabulares suavizados na depressão do Juruá, que se tornam mais acentuados na direção da Serra do Divisor. Sedimentos pre-temperizados (Formação Cruzeiro do Sul), que ocorrem ao sopé da serra, estão relacionados a eventos erosivos marcantes no Pleistoceno, sob condições semiáridas, a semelhança do Grupo Barreiras (Figura 05).

Figura 5 - Bloco diagrama da borda tectônica reativada da Serra do Divisor ilustrando as escarpas de falhas que limitam o conjunto montanhoso, as bacias do Moa e o corte da Bacia do Juruá, instaladas em área rebaixada sob controle neotectônico.

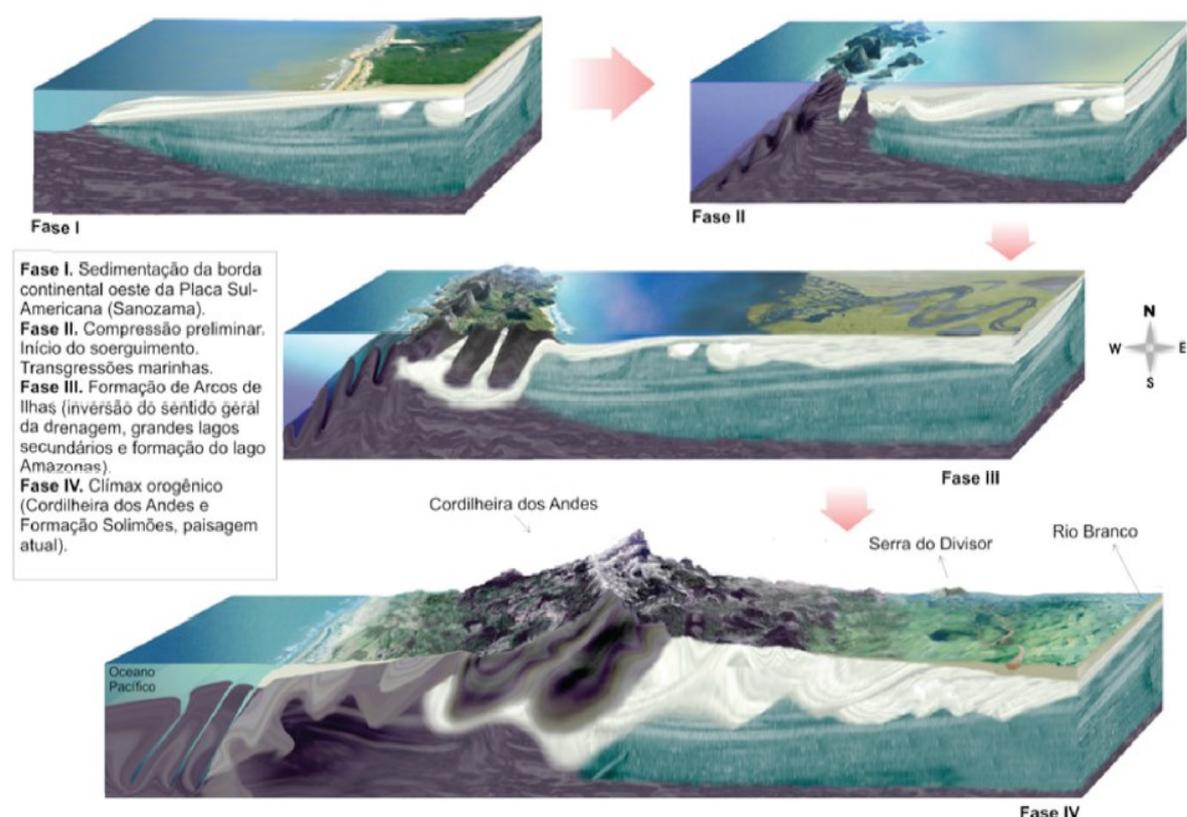


Fonte: (Ilustração: Carlos Ernesto G. R. Schaefer) adaptado de ACRE, 2010.

Através do soerguimento Andino que se iniciou no final do Neocretáceo e atingiu seu clímax no Neomioceno, modelando o aspecto geográfico, ocorreram mudanças drásticas nos padrões hidrológicos, provocando a formação de um grande lago sobre a Amazônia Ocidental e a inversão do sistema de drenagem o que é comprovado pelos planos frontais de estratificação cruzada da Formação Solimões, que mergulham para nordeste (AMARAL, 2007) no sentido contrário ao fluxo hídrico atual, além de provocar levantamentos, dobramentos e falhamentos. Para Frailey *et al.* (1988), na Amazônia Ocidental, houve influência de um controle tectônico intermitente, que condicionou mudanças significativas no grau de intemperização dos sedimentos na bacia do Acre. Assim, a atividade tectônica inundou a bacia com sedimentos e cobriu-os antes do processo de intensa intemperização. A hipótese do Lago Amazonas (FRAILEY *et al.*, 1988), reforça a teoria segundo a qual as condições geológicas, pedológicas e biológicas só podem ser melhor compreendidas a partir de um modelo de evolução da paisagem. Como está exemplificada na Figura 06, as feições de paisagem são indicadas pelas fases em sequência. A Fase 4 mostra o Oceano Pacífico, no extremo oeste, a Cordilheira dos Andes, ao centro e a paisagem que predomina no sudeste acreano. No extremo leste, pode-se observar os primeiros dobramentos, que correspondem a Serra do Divisor, no Estado do Acre.

A região era constituída por ambiente de sedimentação em águas rasas, na borda do grande sistema lacustre, onde a atividade biológica foi intensa, levando a formações geológicas com elevadas concentrações de carbonatos (AMARAL, 2007).

Figura 6 - Evolução da paisagem da região da bacia do Acre.



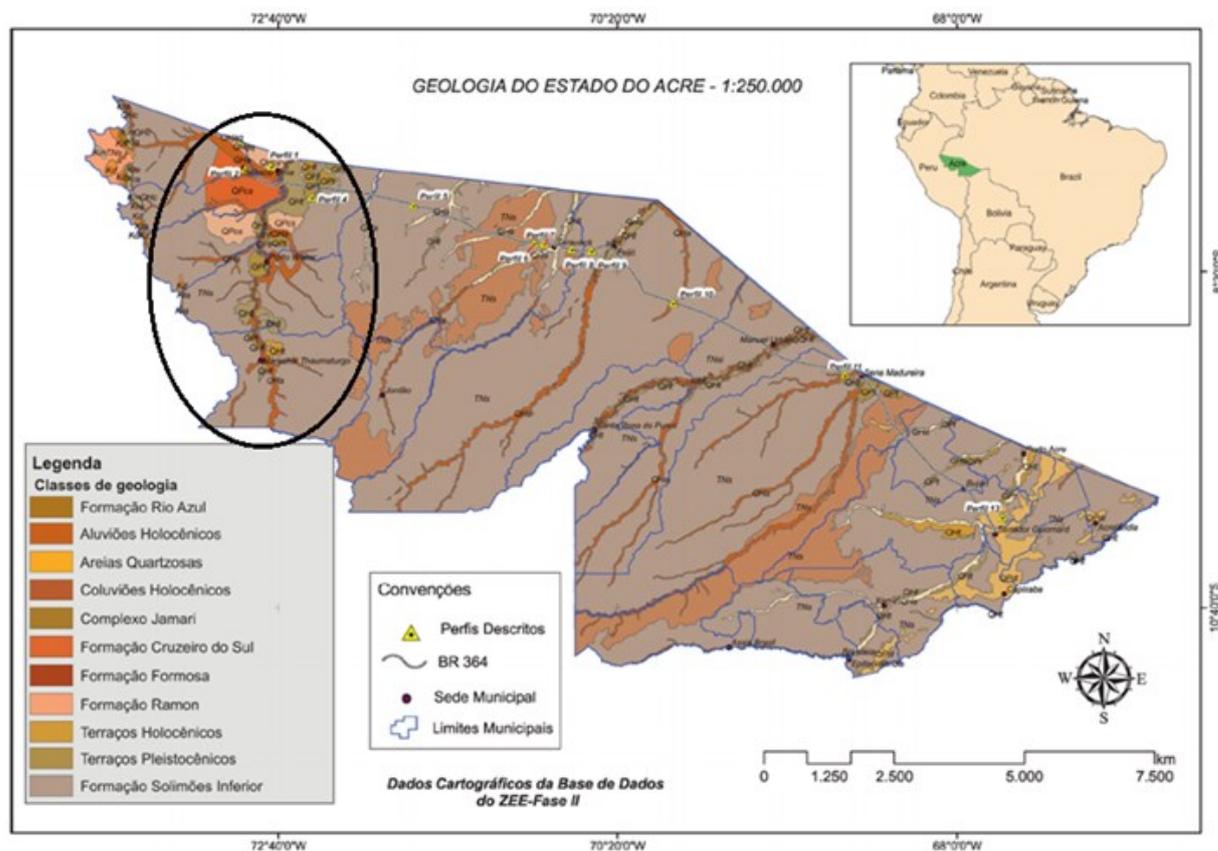
Fonte: ACRE 2010.

De acordo com o mapa geológico fornecido pela Secretaria do Meio Ambiente do Acre - SEMA, (Figura 07) observa-se que ao longo do curso da drenagem do Juruá, há a presença de sedimentação ocorrida em distintos períodos, marcando nitidamente as várias transformações ocorridas na configuração da drenagem. A Formação Cruzeiro do Sul (QPcs), com maior destaque entre o rios Moa e o rio Paraná dos Moura, nos municípios de Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima e Rodrigues Alves, datada do Pleistoceno, basicamente constitui uma sucessão sedimentar com características de terraços originados através de depósito fluvial, fluvio-lacustre e aluvial, constituídos por arenitos finos a médios, friáveis, maciços e argilosos, com intercalações de argilitos (ACRE, 2006).

Em áreas dos municípios de Marechal Thaumaturgo, Porto Walter e na divisa com o estado do Amazonas há a presença de Terraços Pleistocênos (QPt), que são depósitos de terraços fluviais antigos e rampas-terraços, constituídos por argila, siltes e areias, às vezes maciços de cores avermelhadas (ACRE, 2006).

Por todos os municípios do Alto Juruá, desde Marechal Thaumaturgo até Cruzeiro do Sul, há a presença marcante de Terraços Holocênos (QHT), que se constituem em construções sedimentares aluviais, cujos constituintes mostram características típicas de planície fluvial de uma fase anterior a atual (ACRE, 2006), ou seja, de um antigo curso da drenagem do Juruá, delineando bem o antigo curso mais meandrante que o atual. Esses terraços são constituídos por cascalhos lenticulares de fundo de canal, areias quartzosas inconsolidadas de barra em pontal, e siltes e argila de transbordamento (ACRE, 2006).

Figura 7 – Geologia do Alto Juruá.



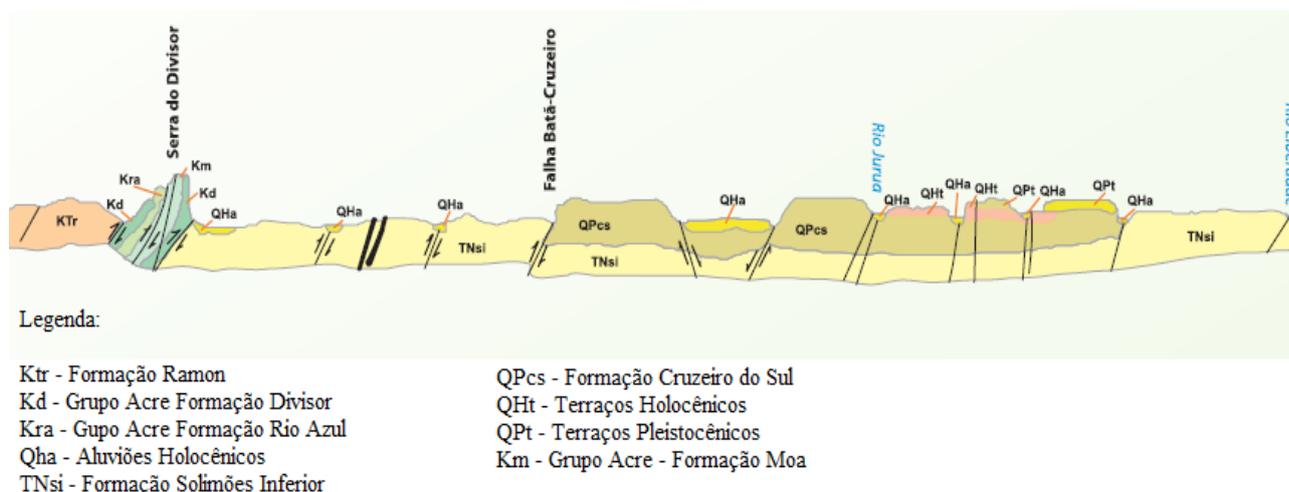
Fonte: adaptado de ACRE 2006.

Em áreas dos municípios de Marechal Thaumaturgo, Porto Walter e na divisa com o estado do Amazonas há a presença de Terraços Pleistocênos (QPt), que são depósitos de terraços fluviais antigos e rampas-terraços, constituídos por argila, siltes e areias, às vezes maciços de cores avermelhadas (ACRE, 2006).

Por todos os municípios do Alto Juruá, desde Marechal Thaumaturgo até Cruzeiro do Sul, há a presença marcante de Terraços Holocênos (QHt), que se constituem em construções sedimentares aluviais, cujos constituintes mostram características típicas de planície fluvial de uma fase anterior a atual (ACRE, 2006), ou seja, de um antigo curso da drenagem do Juruá, delineando bem o antigo curso mais meandrante que o atual. Esses terraços são constituídos por cascalhos lenticulares de fundo de canal, areias quartzosas inconsolidadas de barra em pontal, e siltes e argila de transbordamento (ACRE, 2006).

Por toda a drenagem atual e paleodrenagem (próxima a Porto Walter), encontram-se Aluviões Holocênos (QHa), caracterizados por depósitos grossos a conglomeráticos, apresentando residuais de canal, arenosos, relativos a barra em pontal, e pelíticos, relacionados a transbordamentos (ACRE, 2006), (Figura 08).

Figura 8 - Seção Geológica Esquemática.



Fonte: adaptado de ACRE, 2006.

Para o conhecimento pleno do que são e o que representam, as formas de relevo, identificadas em diferentes escalas espaciais e temporais, é necessário a compreensão de como surgem e evoluem (GUERRA, 1994). O principal critério utilizado para um estudo geomorfológico na análise da distribuição do relevo é a altimetria, o que não é muito favorável para estudos no Acre, pois sua variação altimétrica não é expressiva, sendo necessário buscar uma diferenciação em termos morfogênicos e texturais analisando imagens de satélites e radar (ACRE, 2010).

Estudos realizados no Acre mostram a existência de nove unidades geomorfológicas no Estado: a Planície Amazônica, a Depressão do Endimari-Abuna, a Depressão do laco-Acre, a Depressão de Rio Branco, a Depressão do Juruá-laco, a Depressão do Tarauaca-Itaquai, a Depressão Marginal à Serra do Divisor, a Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul e os Planaltos Residuais da Serra do Divisor (ACRE, 2010) (Figuras 09 e 10).

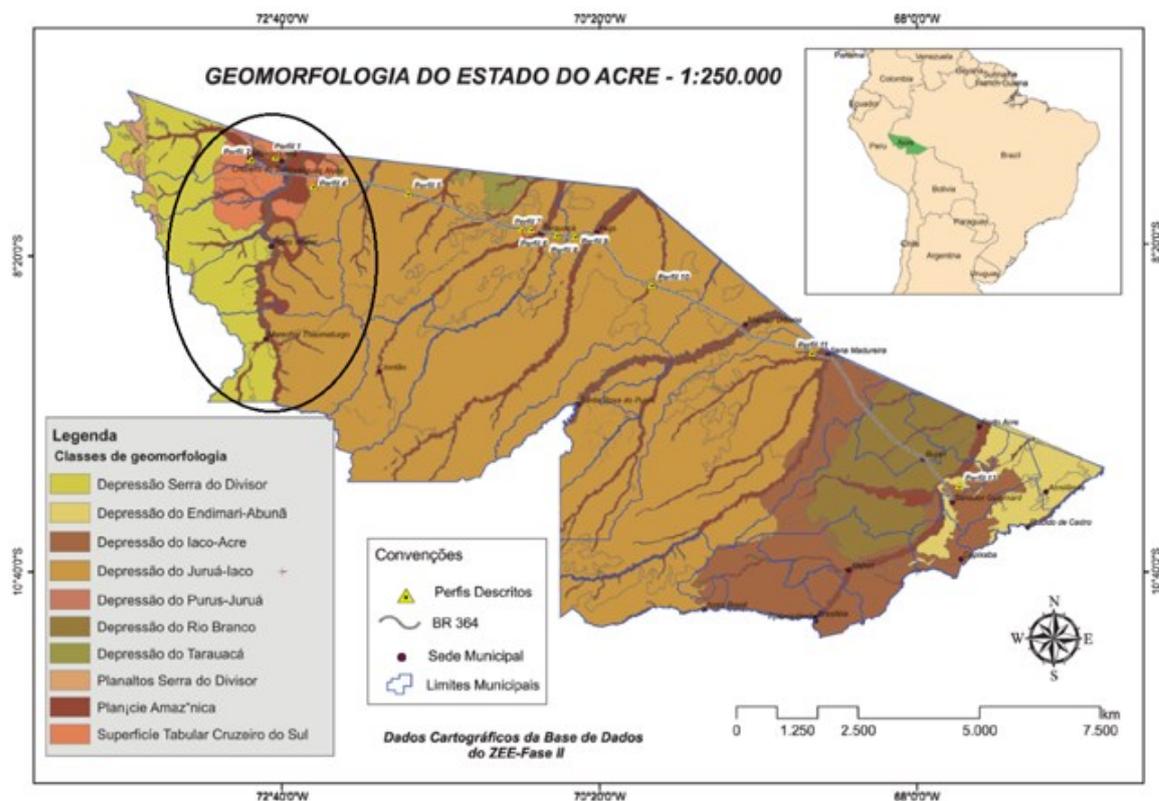
De acordo com Acre (2010), a região do Alto Juruá mostra-se dividida por seis das nove unidades geomorfológicas existentes no Acre: Planície Amazônica, Depressão do Laco-Acre, Depressão do Juruá-Laco, Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul, Planaltos Residuais da Serra do Divisor e Depressão Marginal à Serra do Divisor, (Figura 10).

Figura 9 - Mapa Geomorfológico do Alto Juruá.



Fonte: adaptado de ACRE (2010).

Figura 10: Mapa Geomorfológico do estado do Acre.



Fonte: adaptado de Acre (2010).

Os rios do estado do Acre apresentam grande importância socioeconômica tornando-se a única via de acesso aos municípios em alguns casos, visto que, em torno deles, se originaram a maioria das cidades e povoados do estado.

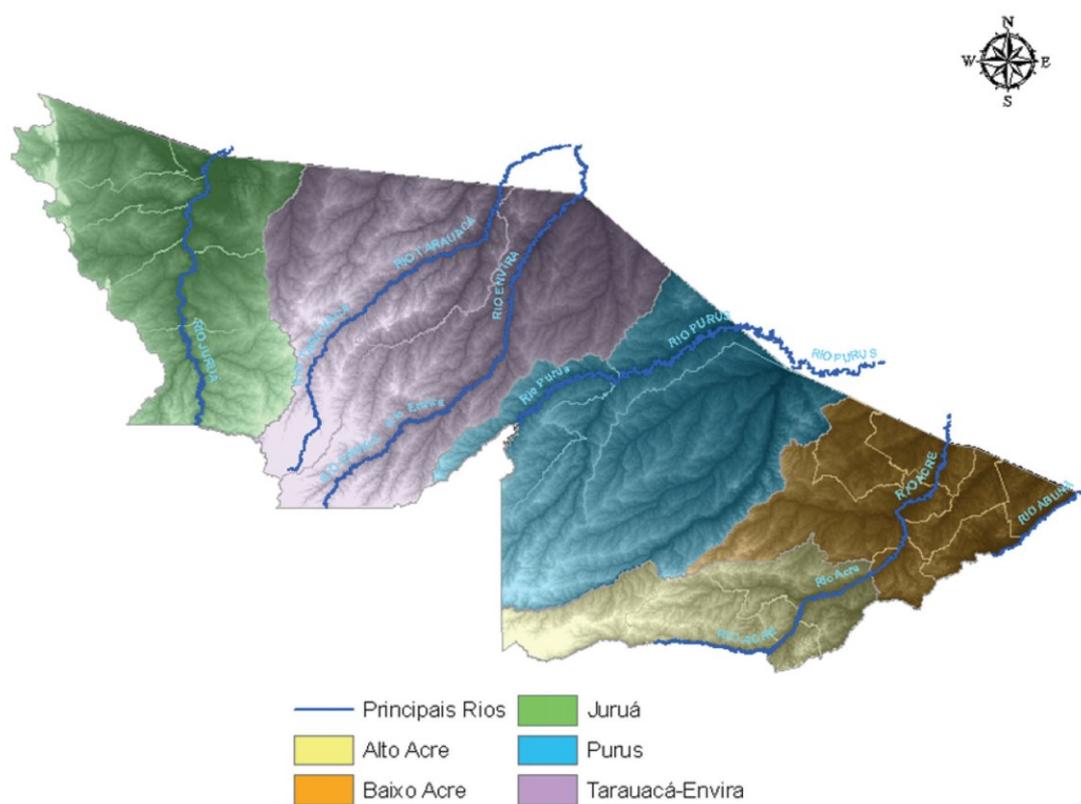
O rio Juruá, em conjunto com os rios Purus, Tarauacá-Envira e Acre, compõem os principais sistemas de drenagem do estado do Acre, formando a denominada Bacia do Acre, (Figura 11). Em função do relevo do estado ser predominantemente plano, os rios são extremamente meandrosos, típicos de planície, ocorrendo cachoeiras e corredeiras somente na Serra do Divisor (ACRE, 2006). Os sistemas fluviais da Bacia do Acre apresentam cursos de direção Sudoeste-Nordeste com afluentes vindos de direção Sudoeste, sugerindo um basculamento e regime de falhas em efeito dominó. O controle de falhamentos ou fraturamentos na drenagem amazônica é identificado pelo padrão ortogonal e assimétrico das drenagens e terraços dos rios de distintos tamanhos (ACRE, 2012).

O regime hidrológico da bacia hidrográfica do rio Juruá, assim como de todos os rios da região, com cheias rápidas provoca o extravasamento nas margens convexas dos meandros, o que facilita a mudança da geomorfologia dos mesmos. Além disso, a vegetação no seu entorno que possui raízes superficiais cai sobre o leito fluvial juntamente com o deslizamento das margens fato que se apresenta como outro fenômeno muito comum na região (ACRE, 2006). O potencial erosivo somado à forte carga sedimentar, em suspensão, entulham os rios dificultando a recarga hídrica e o próprio intemperismo químico (ACRE, 2010), além de provocar a migração do leito.

As várzeas ativas e dinâmicas do Acre, pouco estáveis no Holoceno, estão longe de alcançar estabilidade, e mostram-se como bons indicadores paleoclimáticos, pois revelam uma instabilidade nas atuais condições de precipitação (ACRE, 2010). Esse quadro só pode ser compreendido e reconstruído considerando as oscilações do nível do mar que acompanharam as mudanças climáticas. Os níveis do mar elevados ou em elevação durante períodos interglaciais podem ter represado a carga sedimentar que descia dos Andes (ACRE, 2010).

De acordo com ACRE (2010), a Bacia do Acre, durante o Holoceno, sob regime tectônico, provavelmente alçou paleoníveis fluviolacustres em cotas maiores que aquelas afetadas pela elevação marinha. A extensão e duração dos paleolagos ficaram assim dependentes da tectônica que soerguia os blocos no Plio-Pleistoceno e do mar, em ascensão pós-glacial, que tendia a retardar a erosão e formar pantanais ou lagos. Esta bacia insere-se no vasto triângulo formado entre o rio Madeira, rio Japurá e a borda oriental dos Andes, constituindo uma unidade morfológica de grande extensão da região do Alto Amazonas (ACRE, 2012). No Acre, esta bacia abrange oito municípios: Mâncio Lima, Rodrigues Alves, Cruzeiro do Sul, Porto Walter, Marechal Thaumaturgo, Jordão, Tarauacá e quase toda a área do município de Feijó. Somente cinco primeiros estão dentro da área de estudos. Caracterizado como rio de planície com sinuosidade em praticamente todo seu percurso, o Juruá é considerado um dos mais sinuosos do mundo. Por onde passa constitui-se no principal canal de comunicação dos municípios acreanos com os amazônicos, e é um dos mais antigos caminhos da ocupação e abastecimento do Vale do Juruá (ACRE, 2012).

Figura 11 - Principais Rios do Acre.

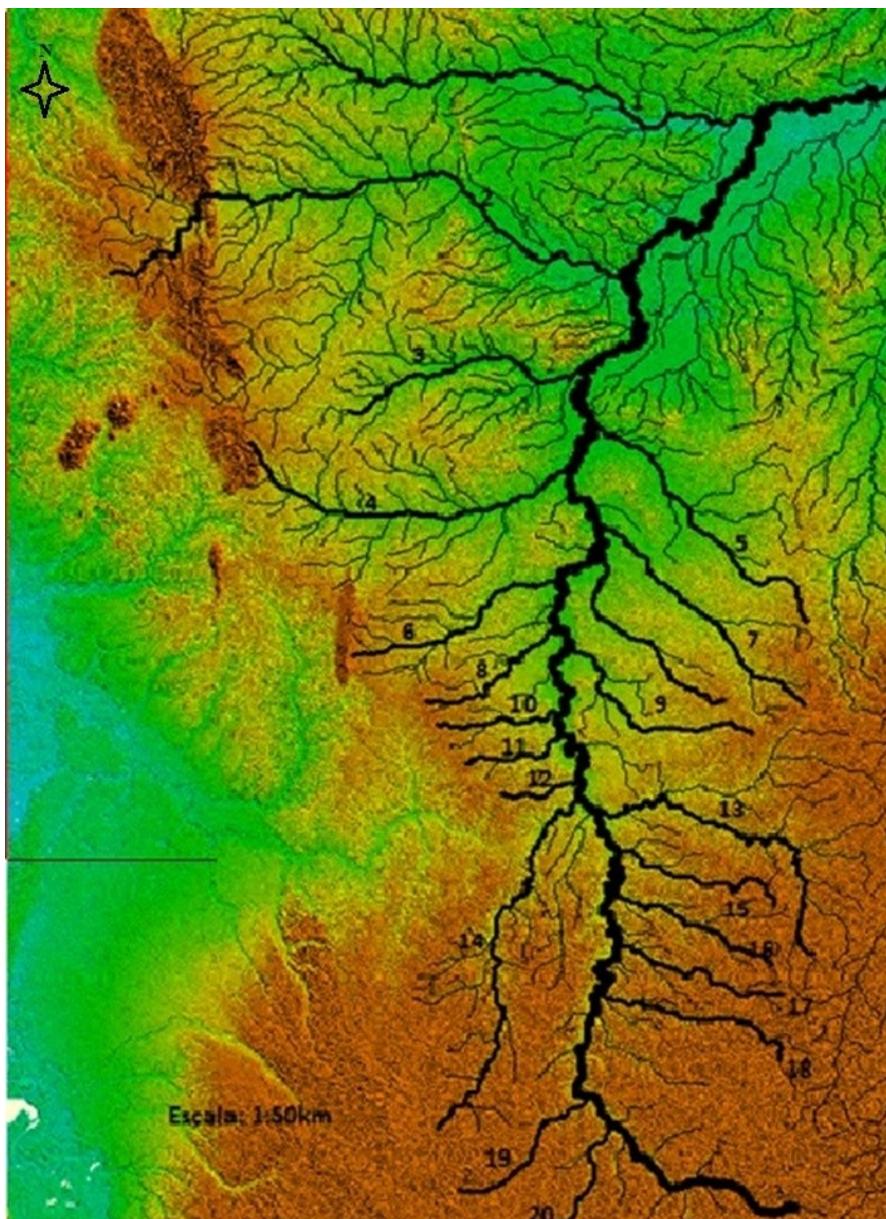


Fonte: Base de dados do ZEE (ACRE, 2006).

O Alto Juruá possui em sua margem direita nove afluentes: rio Breu, rio Caipora, rio Acuriá, rio Tejo, rio Grajaú, Igarapé São João, Igarapé Natal, Igarapé Humaitá e Rio Valparaíso. Há outros onze afluentes pela margem esquerda: rio Amônia, rio Aparição, rio São Luiz, rio Paratati, rio das Minas, rio Arara, rio Ouro Preto, rio Juruá-Mirim, rio Paraná dos Mouras e rio Mõa, todos no estado do Acre (ACRE, 2012). Ainda se insere na área de estudos o Rio Ipixuna, também afluente da margem esquerda, já no estado do Amazonas (Figura 12).

Os rios desta bacia são classificados como “rios de água branca”, devido à coloração amarelada de suas águas, resultante do transporte elevado de material em suspensão (ACRE, 2006).

Figura 12 - Principais afluentes do Rio Juruá inseridos na área de estudo (1- Rio Ipixuna; 2- Rio Môa; 3- Rio Paraná dos Mouras ou Paraná das Viúvas; 4 – Rio Juruá-Mirim; 5 – Rio Valparaíso; 6 – Rio Ouro Preto; 7 – Igarapé Humaitá; 8 – Rio das Minas; 9 – Rio Grajaú; 10- Rio Paratati; 11 - Rio São Luiz; 12 – Rio Aparição; 13 – Rio Tejo; 14 – Rio Amônia; 15 – Rio Acuriá; 16 – Igarapé São João; 17 – Igarapé Caipora; 18 – Rio Breu; 19 – Rio Pucaurco (Peru) e 20 – Rio Dorado (Peru).

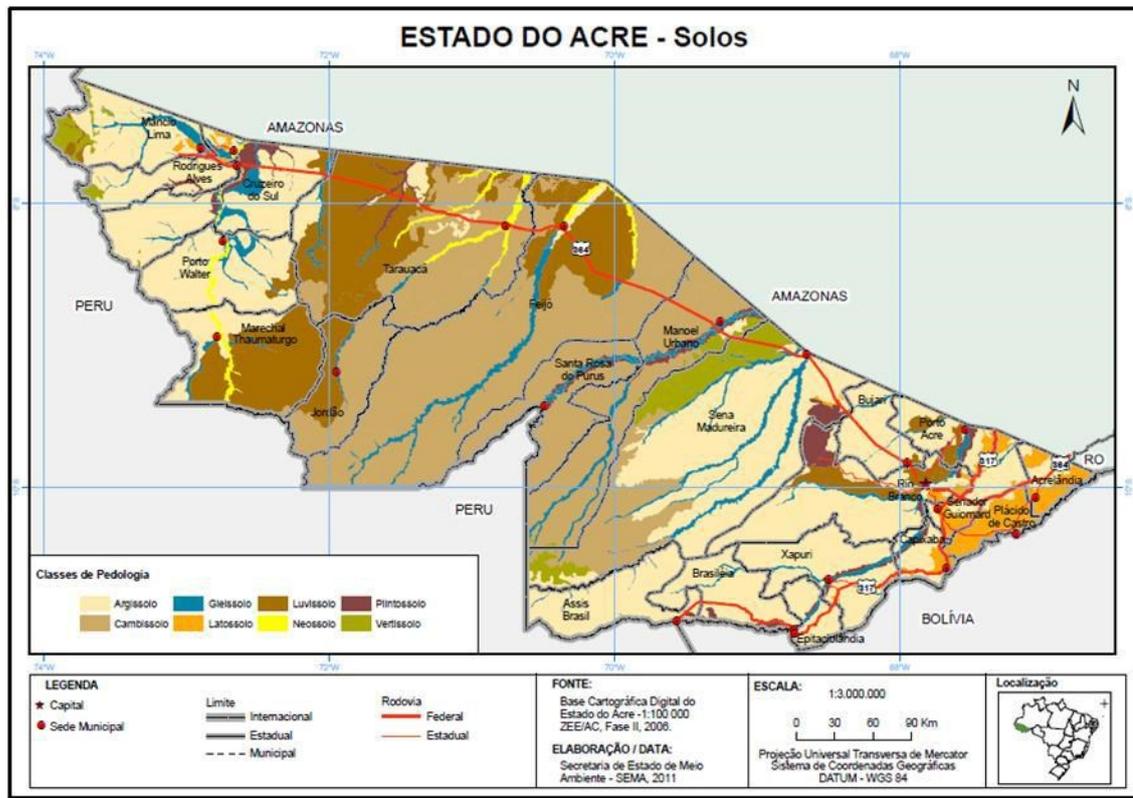


Fonte: Adaptações realizadas pelo autor - ANA/SISTEMA HIDROWEB (2015).

Os principais solos do Acre, em ordem decrescente de expressão territorial, são: Argissolos, Cambissolos, Luvisolos, Gleissolos, Latossolos, Vertissolos, Plintossolos e Neossolos (Figura 13).

A área de estudo em questão apresenta uma grande diversidade de solos, desde mais jovens (Vertissolos) até mais intemperizados (Latosolos). Como ordem de solo predominante na regional, são encontrados os Argissolos, com 65%, seguidos pelos Luvisolos, com 19%. Os Gleissolos e Neossolos Flúvicos também se destacam na região, principalmente nos municípios de Cruzeiro do Sul e Mâncio Lima, com suas extensas áreas de várzeas e o grande domínio de Luvisolos, em Marechal Thaumaturgo (AMARAL, 2006), são encontradas também pequenas manchas de Latossolos.

Figura 13 - Solos do estado do Acre.



Fonte: adaptado de ACRE, 2012. Escala: 1:30km.

MATERIAIS E MÉTODOS

Além de pesquisa bibliográfica para um embasamento teórico, os procedimentos metodológicos foram baseados no processamento digital e análise de imagens Landsat 7 (2015), modelo digital de elevação proveniente dos dados SRTM através do Global Mapper e observações em imagem do Google Earth (2016).

Inicialmente realizou-se um levantamento de informações básicas como a aquisição de material bibliográfico, imagens de sensores remotos, cartas topográficas e mapas temáticos (mapa geológico e geomorfológico) utilizados como base de apoio para conhecimento regional, buscando as informações necessárias para o desenvolvimento das etapas de análises necessárias como interpretação de imagens de sensores remotos. Esses dados foram disponibilizados pelo projeto RADAMBRASIL, pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente - SEMA e pelo projeto de Zoneamento do ACRE.

A extração de paleocanais bem como o mapeamento dos terraços holocênicos se deu através da utilização de modelos digitais de elevação SRTM, cuja análise e processamento dos dados foram executados no aplicativo Global Mapper 9.0. A partir do método exploratório, paletas de cores foram associadas a diferentes conjuntos de valores de elevação, a fim de ressaltar as morfologias de interesse, conforme metodologia já aplicada por Rossetti e Valeriano (2007), Mantelli *et al.* (2009) e Hayakawa *et al.* (2010 a).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

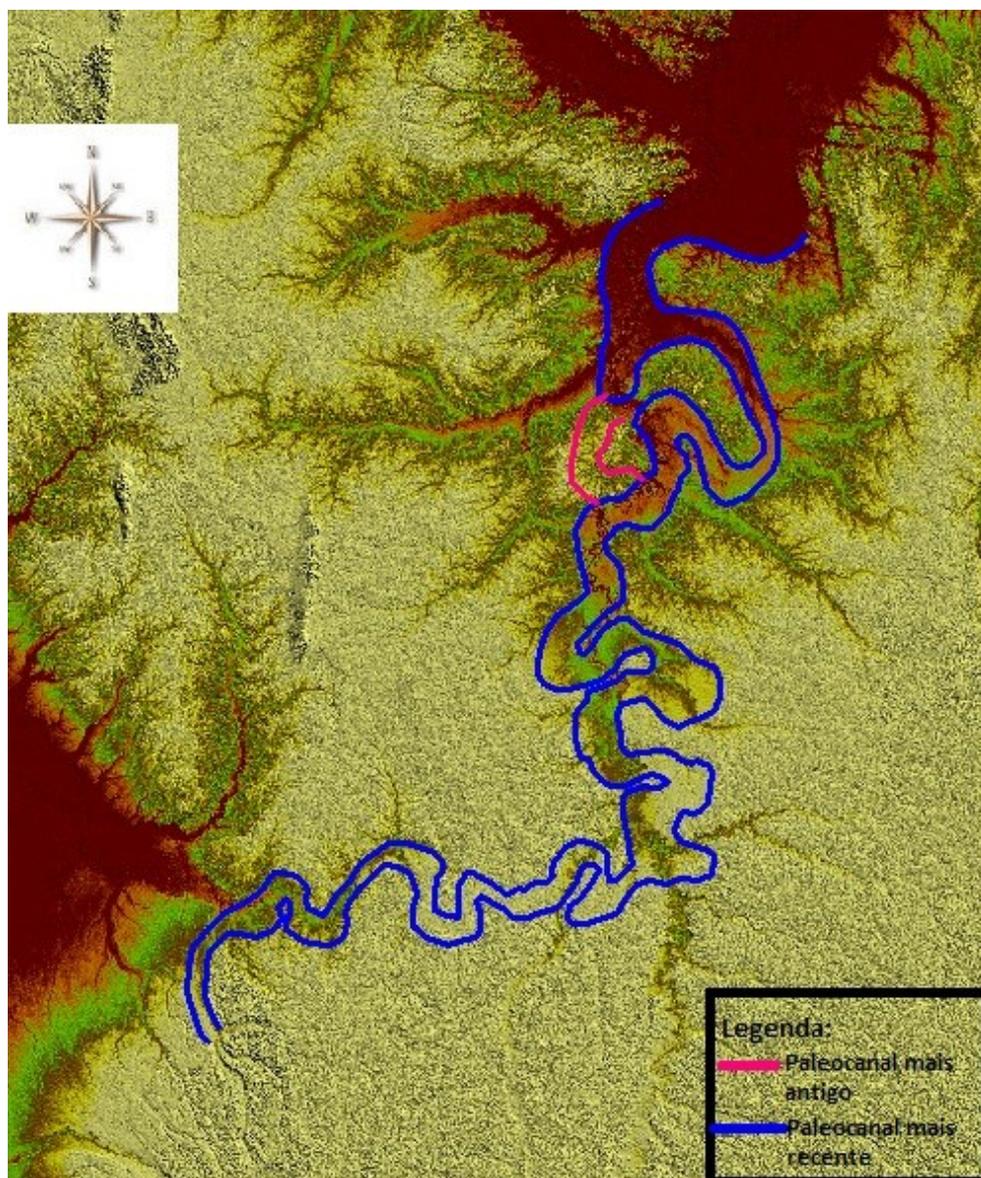
A identificação e o mapeamento das paleomorfologias fornecem importantes informações para estudos de evolução de sistemas fluviais, como reconstituição paleogeográfica de redes de drenagem a partir de paleocanais preservados na paisagem atual. Em regiões amazônicas, feições paleomorfológicas quaternárias podem ser ressaltadas por contrastes vegetacionais e/ou topográficos, facilitando seu reconhecimento a partir de dados de sensoriamento remoto, visto a escala geográfica destas feições

(ROSSETTI *et al.*, 2008). Neste estudo em questão o uso de Sensoriamento Remoto foi imprescindível para as análises de detecção das paleomorfologias. Complementarmente às investigações sedimentológicas em campo, estudos de paleomorfologias são baseados na análise morfológica destas feições. Morfologias de paleocanais, por exemplo, podem fornecer indícios sobre o regime de vazão, sedimentos e morfologia em antigos sistemas fluviais a partir da análise de suas dimensões, forma e padrões de drenagem (BEZERRA, 2003). De acordo com estudo dos padrões de drenagem na área de estudo foram revelados inúmeros canais retilíneos, que se destacam das demais drenagens, definindo lineamentos morfoestruturais.

Os depósitos quaternários, em regiões amazônicas, possibilitam oportunidade ímpar para se estudar o seu passado recente. Mesmo sendo ampla sua distribuição superficial, são poucos os afloramentos que permitem analisar tais estratos, com observações geralmente restritas a exposições ao longo das margens de rios. No restante da área, a densa cobertura vegetal, a topografia suave e as vias de acesso terrestre restritas têm limitado os estudos.

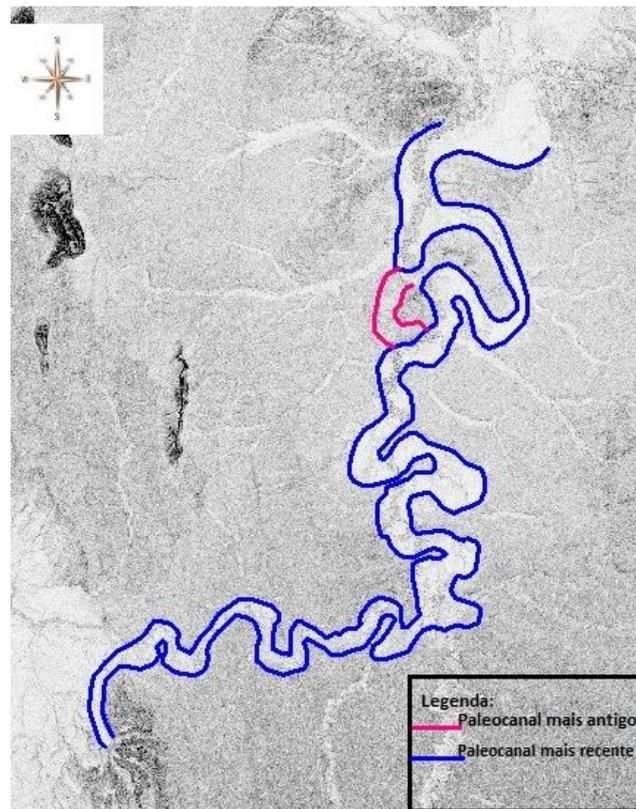
As mudanças na paisagem da região do Alto Juruá ocorreram em épocas distintas, de acordo com a análise dos canais abandonados observados nas imagens. Isso se percebe em especial no tributário abandonado da margem esquerda onde já não se consegue diferenciar sua reflectância com o seu entorno, (Figuras 13 e 14).

Figura 14 - Paleomorfologia no Alto Juruá.



Fonte: Dados/SRTM – Escala: 1:25.000.

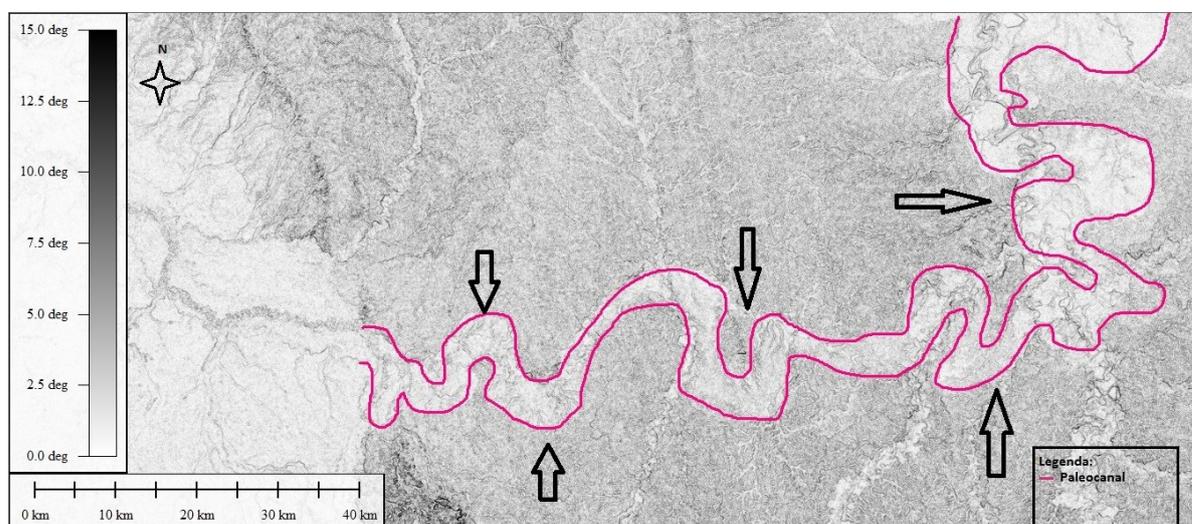
Figura 15 - Paleomorfologia no Alto Juruá.



Fonte: Dados/SRTM - Escala 1:10.000.

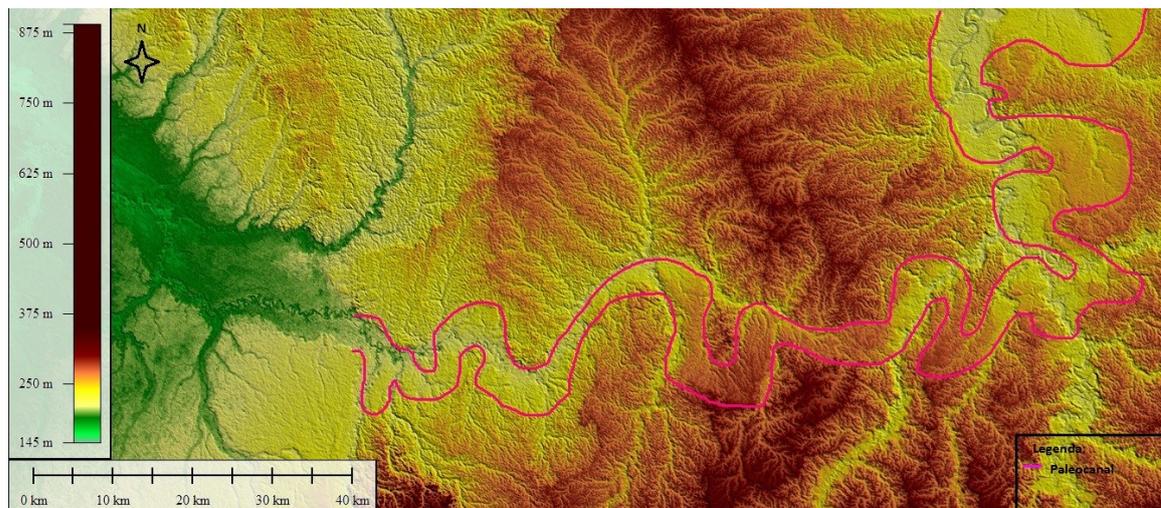
Na região próxima a Marechal Thaumaturgo foi observada a principal mudança de curso do rio Juruá, ou seja, há indícios que nesta região o rio em algum período Geológico tenha sofrido uma das suas principais transformações. De acordo com as imagens nota-se que ele perdeu um de seus principais afluentes, ou sua antiga nascente já que o paleocanal é de uma extensão maior que sua atual nascente (Figuras 15 e 16).

Figura 16 - Canal abandonado apresentando curvas e voltas abruptas em ângulos de 90°, em forma de cotovelo, caracterizando assim anomalias de drenagem.



Fonte: Dados SRTM.

Figura 17 - Canal abandonado na região de Marechal Thaumaturgo

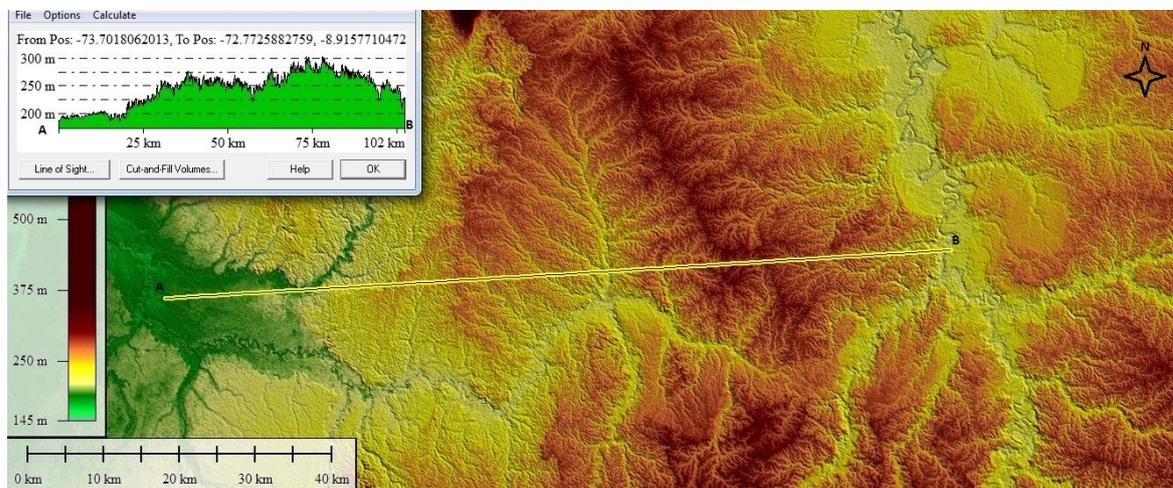


Fonte: Dados SRTM.

Os paleocanais possuem formas sinuosas e meandrantas. Anomalias de drenagem também podem ser reconhecidas no sistema de paleodrenagem, o que é indicada por frequentes mudanças bruscas na direção dos paleocanais, configurando desvios em ângulo reto.

Verifica-se uma elevação no relevo exatamente na região onde se observou que houve uma ruptura do curso d'água como mostra a Figura 17.

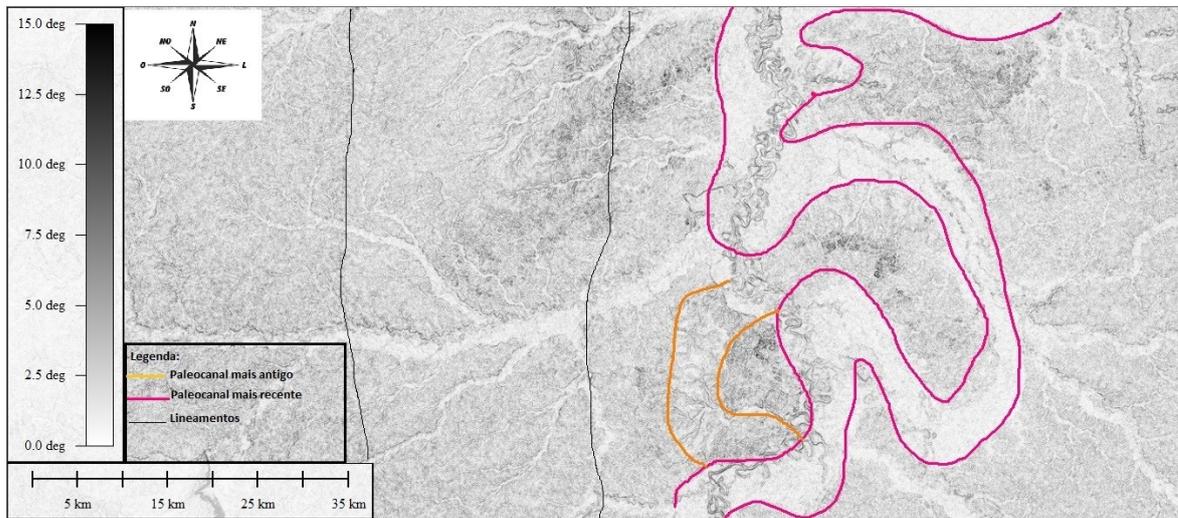
Figura 18 - Perfil do relevo na região de Marechal Thaumaturgo



Fonte: Dados SRTM.

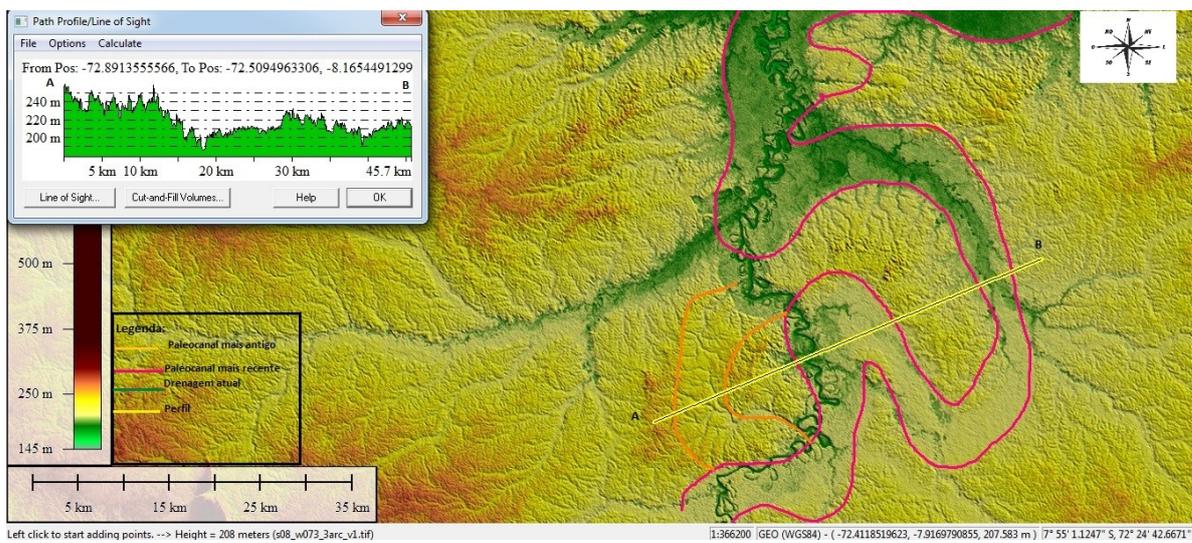
O mesmo acontece com as feições encontradas próximas ao município de Cruzeiro do Sul onde o rio mudou seu curso bruscamente num passado pretérito o que provavelmente tenha ocorrido em dois estágios (Figuras 18, 19, 20 e 21).

Figura 19 - Canal abandonado apresentando trecho anômalo com curvas expressivas próximo á Cruzeiro do Sul e Porto Valter – AC.



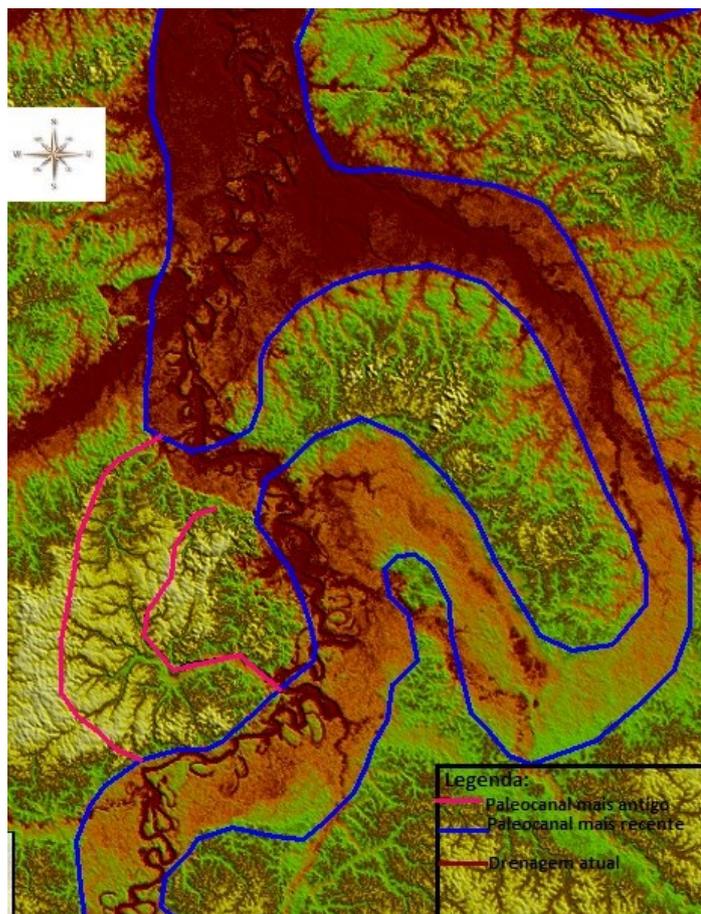
Fonte: Dados SRTM.

Figura 20 - Canal abandonado apresentando trecho anômalo com curvas expressivas próximo á Cruzeiro do Sul e Porto Valter – AC.



Fonte: Dados SRTM.

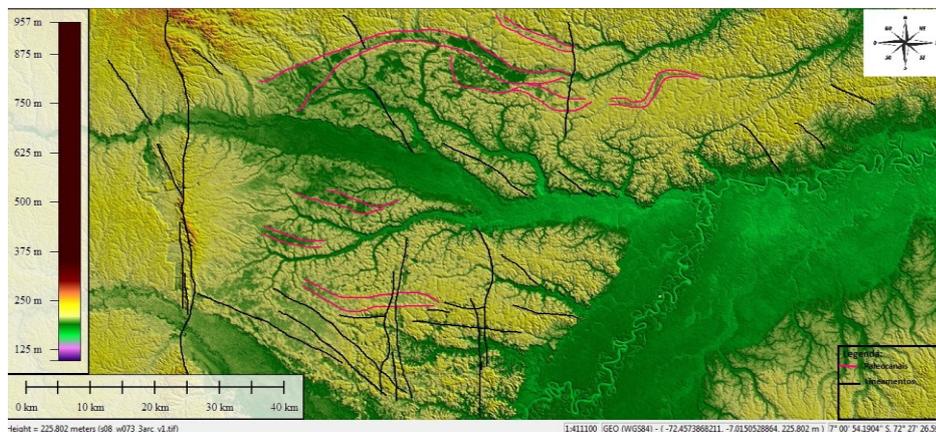
Figura 21 - Presença de paleocanal próximo aos municípios de Cruzeiro do Sul e Porto Valter - AC.



Fonte: Dados SRTM – Escala: 1:5000.

Segundo Bishop (1982) um canal fluvial tende a seguir o caminho mais fácil e que acompanhe a declividade regional. Sendo assim, a identificação da ocorrência de um trecho do canal com fluxo que discorde da declividade, sugere a imposição de um desvio que pode estar associado a uma litologia distinta ou a estruturas que podem, por sua vez, correlacionar-se a eventos neotectônicos.

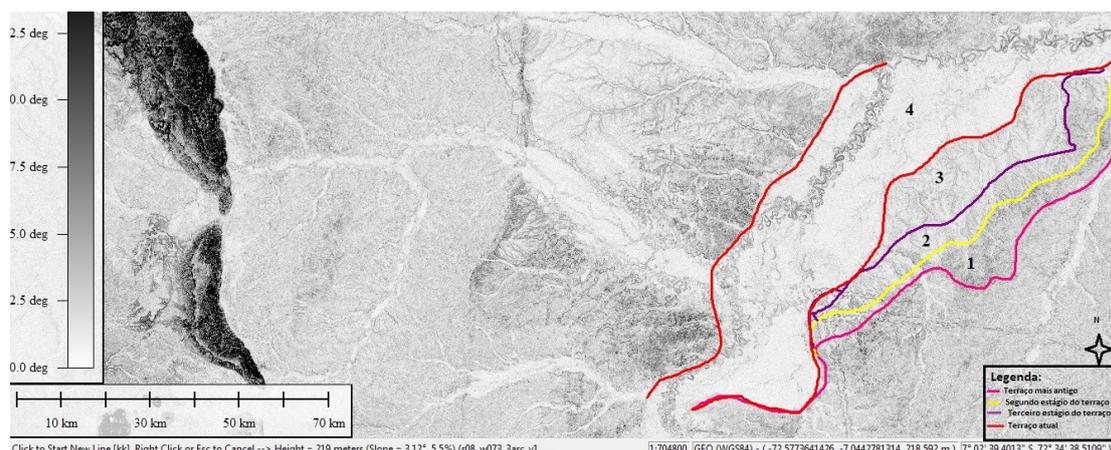
Figura 22 – Paleocanais na região de Cruzeiro do Sul e Mâncio Lima.



Fonte: Dados SRTM.

De acordo com dados SRTM, foram identificados 4 níveis de terraços, Holocênicos e Pleistocênicos na região de Cruzeiro do Sul, como mostra a Figura 22. Estes terrenos são caracterizados por inúmeras marcas de paleodrenagem em sua superfície na forma de paleovales e meandros colmatados. Esta unidade é constituída por planícies fluviais e fluviolacustres elaboradas em sedimentos aluviais recentes e correspondem às várzeas permanentemente alagadas e inundáveis do rio Juruá. A superfície do relevo é caracterizada por diversas linhas de crescimento de meandros, cicatrizes e marcas de meandros semicirculares, bem como uma variedade de lagos e aluviões fluviolacustres

Figura 23 – Terraços Holocenos na região de Cruzeiro do Sul.



Fonte: Dados SRTM.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise das imagens (figuras), foi possível mapear as paleodrenagens ao longo da Bacia do rio Juruá na região denominada Alto Juruá. Os resultados da análise com apoio de dados de sensoriamento remoto permitiu concluir que na região há grande incidência de paleocanais expressivos, na maioria apresentando trechos anômalos com curvas sinuosas e meandranças. Alguns canais abandonados apresentam curvas e voltas abruptas em ângulos de 90°, em forma de cotovelo, caracterizando assim anomalias de drenagem. De acordo com as imagens chegou-se a conclusão que o rio Juruá apresentava um curso totalmente distinto do seu atual curso, com direção diferente e sua provável nascente a oeste tendo seu curso invertido com o soergimento da Serra do Divisor o que pode ter dado o surgimento da Laguna Imiriá no Peru. Conclui-se que levando em consideração sua antiga fisionomia, no passado pretérito o rio Juruá pode ter sido muito mais extenso que o atual curso.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE): aspectos socioeconômicos e ocupação territorial. Fase I. Escala 1:1.000.000. SECTMA, Rio Branco, vol. II, 2000.

ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE): Fase II. Escala 1:250.000. SEMA, Rio Branco, 2006.

ACRE. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre. Zoneamento ecológico-econômico do Acre: fase II: documento síntese: escala 1:250.000. SEMA, Rio Branco, 2ª edição, p.354, 2010.

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Plano estadual de recursos hídricos do Acre - Rio Branco: SEMA, p.243, 2012.

AMARAL, E.F. Estratificação de ambientes para a gestão ambiental e transferência de conhecimento, Estado do Acre, Amazônia Ocidental. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. (Tese de doutorado).

BEZERRA, P.E.L. Análise estrutural da Drenagem. IBGE. Belém. 2003.

BISHOP, P. Stability or change: a review of ideas on ancient drainage in eastern New South Wales. *Australian Geographer*, p. 219-230, 1982. <https://doi.org/10.1080/00049188208702820>

CAVALCANTE, L.M. Aspectos geológicos do estado do Acre e implicações na evolução da paisagem / Luciana Mendes Cavalcante. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2006.

COX, R.T. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. *Geological Society of America Bulletin*, p. 571-581, 1994. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1994\)106<0571:AODBSA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106<0571:AODBSA>2.3.CO;2)

CUNHA, F. Morfologia e neotectonismo do rio Amazonas. *Anais do 3 Simpósio de Geologia da Amazônia*, Belém, pp. 193-210, 1991.

ETCHEBEHERE, M.L.C. & SAAD, A.R. Fácies e associações de fácies em depósitos neoquaternários de terraço na bacia do Rio do Peixe, região ocidental paulista. *Geociências*, 2003.

FEIJO, F. J.; SOUZA, R. G. Bacia do Acre. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8, n. 1, p. 9-16, 1994.

FRAILEY, C.D., Lavinia, E.L., Rancy, A. & Pereira de Souza, J. A proposed Pleistocene/Holocene lake in the Amazon Basin and its significance to Amazonian geology and biogeography. *Acta Amazonica*, p.119 - 143, 1988. <https://doi.org/10.1590/1809-43921988183143>

GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.) *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1994.

HAYAKAWA, E.H.; ZANI, H.; ANDRADES FILHO, C.D.O.; BERTANI, T.C.; ROSSETTI, D.D.F. Identificação de paleocanais na Bacia Amazônica a partir de dados de Sensoriamento Remoto. *Revista de Geografia*, v. Especial, n. 1, p. 20-32, 2010b.

HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; STEEGE, H. ter; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; EVINK, J.; SANMARTIN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C. L.; FIGUEIREDO, J. P.; JARAMILLO, C.; RIFF, D.; NEGRI, F. R.; HOOGHIEMSTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; SARKINEN, T.; ANTONELLI, A. Amazonia through time: andean uplift, climate change, landscape evolution and biodiversity. *Science*, v. 330, n. 6006, p. 927-31, 12 nov. 2010. <https://doi.org/10.1126/science.1194585>

KRONBERG, B. I.; FRALICK; BENCHIMOL. Late quaternary sedimentation and palaeohydrology in the Acreforeland basin, SW Amazonia. *Basin Research*, v. 10, n. 3, p. 311-323, 1998. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.1998.00067.x>

LATRUBESSE, E. M.; RANCY, A. Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late Quaternary: the Moa an Ipixuna river basins, Brazil. *Quaternary International*, v. 72, p. 67-72, 2000. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(00\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(00)00022-7)

MANTELLI, L.R.; ROSSETTI, D.F.; ALBUQUERQUE, P.G.; VALERIANO, M.M. Applying SRTM digital elevation model to unravel Quaternary drainage in forested areas in northeastern Amazonia. *Computers & Geosciences*, v. 35, p. 2331-2337, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.04.011>

ROSSETTI, D. D. F.; VALERIANO, M. M. Evolution of the lowest amazon basin modeled from the integration of geological and SRTM topographic data. *Catena*, v. 70, n. 2, p. 253-265, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.08.009>

ROSSETTI, D. F.; GOES, A. M. Late quaternary drainage dynamics in northern brazil based on the study of a large paleochannel from southwestern marajó island. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 80, n. 3, p. 1-15, 2008. ROSSETTI, D. F. Multiple remote sensing techniques as a tool for reconstructing late Quaternary drainage in the Amazon lowland. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 35, p. 1234-1239, 2010. <https://doi.org/10.1002/esp.1996>

SALAMUNI, E.; Ebert, H.D. & Hasui, Y. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Revista Brasileira de Geociências*, p. 469-478, 2004. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2004344469478>

STERNBERG, H. O. Vales tectônicos na planície amazônica. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 4, p. 511-531, 1950. <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html> . Acesso em: 27/11/2019.

Recebido em: 23/11/2017

Aceito para publicação em: 16/12/2019