22. APLAINAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ: DE MODELOS POLICÍCLICO À MORFOTECTÔNICA QUATERNÁRIA

Marcel Hideyuki Fumiya[1], Edivando Vitor do Couto[1] & Leonardo José Cordeiro Santos[2]

[1] Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco H dos Santos, 100 - Centro Politécnico - Bloco Setor de Ciências da Terra, CEP: 81531-980, Curitiba – Paraná, Brasil; e-mails: marcel.hideyuki@gmail.com, santos.ufpr@gmail.com

[2] Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Via Rosalina Maria dos Santos, 1233, Campo Mourão, Paraná, CEP: 87301-899 – Curitiba – Paraná, Brasil, e-mail: edivandocouto@gmail.com

---

Resumo: No Noroeste do Paraná (Brasil), dentre as formas do modelado que se encontram na paisagem de colinas amplas e suaves, destacam-se: superfícies de erosão, morros residuais e inselbergs. A respeito dessas feições morfológicas, variados estudos foram desenvolvidos em períodos histórico e tecnológico distintos. Nesse âmbito, será apresenta-se, neste estudo, uma discussão a respeito do desenvolvimento de estudos do relevo no Noroeste do Paraná, a partir do modelo policíclico de evolução da paisagem, mapeamento de superfícies aplainadas, via imagens de radar (projeto Radam Brasil), até recentes dados geocronológicos, morfotectônica e inversão do relevo. Observa-se que as três últimas abordagens auxiliaram no entendimento mais detalhado sobre os processos geomorfológicos que esculturaram e esculturam o modelado da área analisada, e alteram, parcialmente, a explicação da evolução do relevo, previamente estipulada (pediplanação) para o Noroeste do Paraná.

Palavras-Chave: Pediplanação, Morfotectônica, Geocronologia, Inversão de Relevo, Noroeste do Paraná.

Abstract: In the Northwest of Paraná (Brazil), among the shapes of the model that stand out in the landscape of wide and smooth landform are: erosion surfaces, residual hills and inselbergs. Regarding these morphological features, several studies were developed in different historical and technological periods. In this context, a discussion will be presented regarding the development of relief studies in the Northwest of Paraná from the polycyclic model of landscape evolution, mapping of planed surfaces via radar images (Radam Brasil project) to recent geochronological, morphotectonic and relief inversion data. The last three approaches helped in a more detailed understanding of the geomorphological processes that sculpted and sculpted the

modeled area analyzed, and partially modified the explanation of the evolution of the previously stipulated relief (pediplanation) for the Northwest of Paraná.

Keywords: Pediplanation, morphotectonics, geochronology, relief inversion, Northwest of Paraná.

Tema: Geomorfologia do Quaternário

1. INTRODUÇÃO

As teorias geomorfológicas fazem parte de um campo conceitual importante para o estudo da Geomorfologia. Os diversos postulados, desde o início dos estudos geomorfológicos sistematizados (século XIX) até a atualidade (século XXI), são de extrema relevância para melhor se compreender a evolução da paisagem. Um desses temas, de ampla discussão na geomorfologia, remete à gênese e aos processos que elaboraram ou elaboram as superfícies de erosão.

Essas superfícies são produto da denudação em um único tipo de rocha ou em diferentes tipos de rochas e uma variedade de estrutura geológica, resultando na geração de níveis aplainados diferenciados.

Para o estudo dessas feições geomorfológicas, diversos modelos hipotéticos de evolução são apresentados (DAVIS, 1899; PENCK, 1924; KING, 1953; BÜDEL, 1957; BIGARELLA, 1965). Tais modelos apresentam um ponto em comum - terem estimado as idades destas superfícies por análise de seus depósitos correlativos e pela correlação com eventos de formação das unidades geológicas (magmatismo, sedimentação), sem dispor de ferramentas que pudessem mensurar exatamente a idade dessas superfícies e, consequentemente, a estabilidade delas no "tempo geológico".

Contudo, nos últimos sessenta anos, o desenvolvimento tecnológico e o surgimento de novos isótopos radioativos e cosmogênicos (36Cl, 26Al ,10Be, 3He, 53Mn, 40Ar/39Ar e (U-Th)/He), aplicados a estudos geológico-geomorfológicos, têm auxiliado na melhor compreensão e no preenchimento de lacunas a respeito dos processos, responsáveis pela elaboração de tais superfícies (VASCONCELOS et al., 1992).

Desse modo, a cronologia de cristalização dos minerais supérgenos por 40Ar/39Ar e (U-Th)/He, denominada "geocronologia de intemperismo"1 associada a isótopos cosmogênicos, permitiu avaliar a relação entre presença de mantos de intemperismo com duricrust e idade mínima das formas de relevo (VASCONCELOS et al., 1992, 1994a-b, 2018, 2019; SHUSTER et al., 2012; MONTEIRO et al., 2014). Por essa perspectiva, foi possível testar a validade de modelos clássicos de evolução do modelado: Davis (1899); Penck (1924); King (1953); Büdel (1957); e Bigarella (1965).

[1]Geocronologia de intemperismo: busca estabelecer eventos de precipitação de minerais supérgenos por reações químicas de baixa temperatura (temperatura ambiente) (VASCONCELOS, 1999a).

Estudos por geocronologia de intemperismo e aplainamentos em escala local e regional são diversos: Dugald River – Austrália (VASCONCELOS e CONORY, 2006); depósitos maganesífero de Tamboa em Burkina Faso – África (HÉNOCQUE et al., 1998; COLIN et al., 2005; BEAUVAIS et al., 2008); e no platô de Mysore e Traps do sul da Índia (BONNET et al., 2014). Tais pesquisas demonstram que a idade das assembleias de minerais supérgenos varia de acordo com a altitude, ou seja, superfícies mais elevadas e pouco dissecadas apresentam minerais supérgenos mais antigos.

No território brasileiro, Vasconcelos e Carmo (2018) utilizaram a geocronologia de intemperismo por $^{40}Ar/^{39}Ar$ para o estudo de datações de superfícies de erosão, e a termocronologia por traço de fissão para definir fases de soerguimento episódico no Cenozóico. E assim, conseguiram atestar a viabilidade de modelos clássicos de evolução da paisagem, no Sudeste do Brasil (Quadrilátero Ferrífero e as planícies litorâneas).

Esses resultados revelam que superfícies mais altas apresentam maior antiguidade (70 Ma) que superfícies de elevação mais baixas (13-0.8 Ma), e que a diferença altimétrica decorre de soerguimento episódico (VASCONCELOS e CARMO, 2018). Portanto, no caso observado por Vasconcelos e Carmo (2018), o modelo compatível com os resultados geocronológicos regionais é o mesmo postulado por King (1953), o qual concebe origem tectônica para as interrupções dos ciclos de aplainamento, em que a elevação e a erosão são episódicas, e o recuo de escarpas é o processo dominante na esculturação do modelado.

Assim, baseado na abordagem morfotectônica e geocronológica, neste capítulo realiza-se uma revisão histórica sobre os modelos de formação de superfícies de erosão, utilizados para explicar a esculturação do relevo do Noroeste do Paraná, no decorrer do século XX. Além disso, busca-se, ainda, apresentar debates com as novas perspectivas, a partir dos isótopos cosmogênicos-radiogênicos, tectônica recente[2] e inversão do relevo (COUTO, 2015, 2018; FUMIYA, 2017, 2020), durante a primeira década do século XXI.

Tais abordagens (isótopos cosmogênicos, tectônica recente e inversão do relevo) mudaram, parcialmente, as perspectivas geomorfológicas anteriores, no Noroeste do Paraná, onde a esculturação Quaternária do relevo não é atrelada, de forma exclusiva, a processos de aplainamento, mas também a mudanças de níveis de base. Desse mesmo modo, observam-se alguns depósitos na forma de *stone line*, composto por ferricretes, em colinas e morrotes, que são resultado de inversão de relevo (escala local), também consequência da mudança do nível de base.

Assim, estrutura-se esse capítulo em cinco tópicos, a partir desta introdução:

1. Modelo policíclico e Pediplanos no Noroeste do Paraná - serão apresentadas as mudanças paradigmáticas que a abordagem, via modelo de evolução policíclica, trouxe aos estudos geomorfológicos brasileiros na década de 1960, e como esse modo

[2] Tectônica recente, neste trabalho, designa processos de atividade tectônica contemporânea. A temporalidade da tectônica limita-se ao Cenozoico Tardio (DICTIONARY OF EARTH SCIENCE OXFORD, 2008).

de interpretar transformações da paisagem foi utilizado no Noroeste do Paraná, na década de 1980;

2. Mudanças de nível de base em zona de confluência dos rios Ivaí e Paraná: taxas de denudação pelo isótopo cosmogênico ^{10}Be e métricas fluviais pelo método Chi - serão apresentados os dados provenientes da análise morfotectônica quaternária (evidências), o provável encaixe em falhas do canal do rio Paraná, e suas possíveis influências nas taxas de denudação nos últimos 1,35 Ma, além da instabilidade causada no sistema como um todo, resultando na reorganização fluvial para alcançar o novo nível de base e, consequentemente, desencadeando transformações nas organizações ambientais (formas de relevo, solo etc.);
3. Gênese de ferricretes e inversão de relevo no Noroeste do Paraná - a partir do estudo da origem do ferricrete (modo de acumulação) e sua explicação sobre a posição atual na paisagem (topo de colina e morrote), serão abordadas as possíveis relações dessas acumulações com as transformações recentes do modelado;
4. Relação entre morfotectonica-^{10}Be e gênese de ferricrete - inversão de relevo - serão agregados os dados expostos e explanados sobre a dinâmica morfogenética da paisagem no Quaternário, desencadeada pela incisão do nível de base regional, e suas consequências na esculturação do modelado, além dos processos de inversão de relevo, responsável, provavelmente, pela posição atual dos ferricretes (topo de colina e morrote) e seu desmantelamento na forma de *stone line*;
5. Debate entre modelo policíclico da paisagem e morfotectônica/gênese de ferricrete - por fim, serão expostas as considerações finais possíveis da presente compilação de dados sobre o Noroeste do Paraná e as transformações do relevo no Quaternário. Considera-se que a abordagem, exclusivamente, por aplainamento (modelo policíclico) não é adequada à análise do modelado na área abordada e que outras análises, além da morfológica ou cronoestratigráfica, são necessárias para a compreensão da totalidade, considerando sua complexidade e multiplicidade. Nesse sentido, a geocronologia e a morfometria moderna (métricas fluviais) estão auxiliando na melhor caracterização dos processos espaço-temporal, dos quais os que estudos geomorfológicos necessitam. É com imenso prazer que convidamos os associados para participar do livro "Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira" editado pela União de Geomorfologia do Brasil. O livro possui como objetivo apresentar revisões da literatura e os avanços do conhecimento no campo da geomorfologia, enfatizando o estado da arte sobre o tema. O capítulo pode ter no máximo 30 páginas, contando com as figuras e referências bibliográficas.

2. MODELO POLICÍCLICO E PEDIPLANOS NO NOROESTE DO PARANÁ

O conceito de pediplanização, proposto pelo inglês Lester King (1956) para o desenvolvimento das superfícies aplainadas no Brasil, influenciou as pesquisas geomorfológicas brasileiras na década de 1950. Porém, mesmo trabalhando no país a convite do IBGE, King não conseguiu explicar a presença de paleopavimentos detríticos e rudáceos em meio tropical no Brasil (VITTE, 2008).

Tal problemática tornou-se passível de solução com o advento de estudos sobre reconstituições climáticas pretéritas, a partir de sedimentos marinhos (DAMUTH e FAIRBRIDGE, 1970), onde se constatou a presença de depósitos de climas secos no

Quaternário, na fachada atlântica brasileira. Com isso, Damuth e Fairbridge (1970) conseguiram esquematizar os prováveis comportamentos das correntes frias por ocasião dos períodos glaciários e dos períodos interglaciários, na América do Sul.

Na perspectiva da influência de variações climáticas sobre o modelado da zona tropical, o trabalho do pedólogo e geoquímico Erhart (1966) sobre a teoria da resistasia e biostasia também influenciou, fortemente, os trabalhos da geomorfologia tropical.

Análogo ao que ecologistas denominam de "clímax", as fases de biostasia são caracterizadas pelo alto nível de estabilidade do ambiente, correspondente, portanto, ao desenvolvimento máximo do meio. Tal ambiente, caracteriza-se por lenta dissecação do relevo com acentuado processo de alteração química da rocha, geração de solos profundos e mamelonização do relevo (ERHART, 1966).

Por outro lado, a resistasia estaria relacionada a ambientes com dinâmica de morfogênese mais intensa, decorrente a ruptura do equilíbrio climático, com transição do úmido para relativamente seco e mudança de cobertura vegetal florestal para savana. Com isso, haveria a remoção dos sedimentos das vertentes, ocasionando alto nível de dissecação do relevo (predominância da erosão lateral sobre a vertical) (ERHART, 1966).

Assim, em função dos novos dados sobre reconstituição de condições ambientais pretéritas e da proposta de novos modelos teóricos, como a Teoria da Pediplanação e da Bio-Resistasia, esses forneceram subsídios para que os geomorfólogos brasileiros pudessem entender a pedimentação-pediplanação em ambiente tropical.

Desse modo, a partir dos modelos da pediplanação, bio-resistasia e dados paleoclimáticos, Bigarella et al. (1965) propõem um modelo de evolução para modelados tropicais, em que uma área passa da fase de tropicalidade (biostasia) para uma fase de aridez profunda (resistasia). Foi assim, portanto, que se procurou demonstrar a complexidade do relevo no ambiente tropical quando ocorrem oscilações climáticas de úmido para seco e vice-versa.

As *stone lines*, presentes em meio ao solo, nesse caso, seriam produto da desagregação de núcleos rochosos em fase de semiaridez (BIGARELLA et al., 1965), transportadas em superfície, primeiro, a partir da ação de erosão superficial e, posteriormente, seriam recobertas por sedimentos carreados de áreas mais altas. Nesse modelo de pediplanação, os geomorfólogos brasileiros (AB'SABER, 1959, 1960, 1961, 1969; BIGARELLA et al., 1964, 1965) identificavam e resolviam o problema sobre a presença de paleopavimentos detríticos e rudáceos em ambiente tropical (VITTE, 2008).

A partir desse conhecimento acerca dos processos geomorfológicos e seu significado, ocorrente na zona tropical do Brasil, Bigarella et al. (1965) propuseram um modelo de evolução policíclica do relevo, distinto do proposto por King (1956). Nesse modelo as superfícies contemporâneas podem se desenvolver em alvéolos a altitudes bastante variadas, evoluindo na dependência direta de *knickpoints* mantidos pela rede de drenagem (AB'SABER e BIGARELLA, 1961).

Desse modo, o aparecimento de níveis mais recentes de aplainamento não terá caráter regressivo (remontante), como preconizado por King (1956), sendo o critério

puramente altimétrico insuficiente para a datação e correlação entre os diferentes níveis aplainados. Para Bigarella et al. (1965), a evolução do aplainamento é policíclica, sendo condicionada por oscilações climáticas, variando de condições de semiaridez para curtas condições de clima mais úmido, ao longo da história geológica e mudanças do nível de base.

Outrossim, a partir do modelo de evolução policíclica da paisagem, Bigarella et al. (1965) identificaram a existência de três Pediplanos (Pd_3, Pd_2, Pd_1) em diferentes altitudes, desde o Nordeste do Brasil até o rio da Prata. Tais superfícies de erosão estão relacionadas a processos erosivos intensos, ao longo do Cenozoico e deformações estruturais por dobramentos, responsáveis por falhamentos, ocorridos no Brasil oriental, e pela reversão da drenagem em direção a oeste.

A idade dos pediplanos (BIGARELLA et al., 1965) se apresenta da mais antiga para a mais recente, isto é, na ordem decrescente $Pd_3 \rightarrow Pd_1$. A temporalidade da elaboração do Pd_3, considerada como Cretáceo-Eoceno, em algumas regiões do Paraná, se apresenta como parte de cimeira de antigos planaltos, representados por remanescentes retrabalhados em alguns maciços elevados no reverso continental da Serra do Mar e reversos da Serrinha e da Serra da Esperança.

Para o Pd_2, atribui-se o período de esculturação ao Terciário Médio, sendo formado, geralmente, por grandes e antigos alvéolos dissecados, correspondentes à fase mais antiga de formação de compartimentos alveolares nas terras elevadas do Brasil Sudeste e Meridional (BIGARELLA et al., 2003).

O aplainamento do Pd1 é atribuído ao Quaternário, considerado o mais recente entre os pediplanos. No interior do Brasil, ele se apresenta na forma de depressões interplanáltica. Seus remanescentes, apesar de não apresentarem continuidade espacial, podem ser observados desde o Rio Grande do Sul até o Amazonas, recebendo designações regionais: superfície de Chãs e Tabuleiro, em Pernambuco; de Neógena, em São Paulo; de Curitiba, no Paraná; da Campanha, no Rio Grande do Sul; e de Montevidéu, no Uruguai (BIGARELLA et al., 2003).

Sob a ocorrência do Pd_1, também é possível identificar pedimentos embutidos a essa superfície (depósitos rudáceos), como o P_3, P_2 e P_1, sendo a origem desses pedimentos associada à aridificação do ambiente, relacionado a glaciações quaternárias.

O P_3 é correlativo à elaboração do Pd_1, já P_2 e P_1 (Glaciação *Kansas* e *Ilinoian* respectivamente) são posteriores ao Pd_1, e continuaram o alargamento dos alvéolos iniciados pela elaboração do Pd_1 em períodos semiáridos. A pedimentação do P_2 e P_1 resultou na deposição da Formação Iqueririm na região do município catarinense de Garuva, próximo à divisa entre Paraná e Santa Catarina, entre outras deposições de formações sedimentares no território brasileiro (BIGARELLA, MARQUES e AB'SABER, 1961; BIGARELLA, MOUSINHO e SILVA, 1965; BIGARELLA et al., 2003).

A partir da proposição do modelo de evolução policíclico da paisagem e do estabelecimento da cronologia dos diferentes pediplanos em território brasileiro, Justus

(1985) fez a experiência, aplicando-o em áreas de embasamento dos arenitos do Grupo Caiuá, no Noroeste do Paraná, por imagens de radar (projeto Radam Brasil). Assim, pode-se constatar a ocorrência de dois níveis aplainados: Superfícies Interplanáltica I e II. E, ainda, uma terceira unidade: atuais áreas de acumulação de sedimentos - planícies de inundação (Figura 1).

A superfície interplanáltica II (SPII) é caracterizada por modelados de aplainamento degradado inumado e de dissecação grosseira à média, com presença de relevos residuais na forma de colinas e morrotes, inferiores a 30 m de altura, mantidos por linhas de pedra, compostos por ferricretes (Figura 1 B-C), principalmente nos interflúvios entre as bacias dos rios Ivaí e Piquiri (JUSTUS, 1985; FUMIYA et al., 2016).

A superfície interplanáltica I (SPI) é caracterizada por compartimentos de interdenudação beira-rio, abertos pelo entalhamento vertical da drenagem e alargados por degradação lateral (JUSTUS, 1985).

Assim, a superfície do Pd_0 corresponde a compartimentos de interdenudação "beira-rio", abertos pelo entalhe vertical da drenagem e alargados por processos de degradação lateral, formando modelado de aplainamento retocado e inumado. O alargamento desses compartimentos ocorreu, principalmente, a montante de áreas de barramento da drenagem entre a desembocadura do rio Ivaí com o rio Paraná (BIGARELLA, 2003).

Além das superfícies mapeadas por Justus (1985), são encontradas feições reliquiares na forma de *inselbergs* (Figura 1 D-E) isolados, que se destacam na paisagem (Três Morrinhos, Morro do Diabo, morros na Fazenda Santa Ida e da Floresta). A resistência à denudação dessas feições é relacionada a processos de silicificação hidrotermal (Figura 1 E) de provável idade Aptiano-Eoceno, entre 87-60 Ma (ALMEIDA e MELO, 1981), enquanto a origem hidrotermal do cimento silicoso é evidenciada por análise de inclusões fluidas (MARTIN, 2017).

Para Fernandes et al. (2012), os *inselbergs* silicificados são feições testemunhos de uma história de intensa denudação do relevo do Cretáceo Superior até o presente. Antes, em uma análise sedimentológica dos arenitos do Grupo Caiuá, Fernandes (1992) identificou duas superfícies aplainadas na região de Umuarama: a primeira, em altitudes entre 440 e 478m; a segunda, entre altitudes de 330 e 360m. Justus (1985), por sua vez, em ambas as superfícies, constatou a presença de *stone lines* de ferricretes, capeando feições residuais de relevo.

O modelo de evolução policíclica no Noroeste do Paraná é reforçado, pelo menos para o Quaternário Tardio, no qual estudos de dados *proxy* (pólen, fitólito) e datações de materiais (LOE e ^{14}C) confirmam que, no mínimo, desde 40 mil anos AP predominaram condições climáticas mais secas na região, com curtos períodos de clima úmido (JABUR, 1992; STEVAUX, 1993, 1994, 2000; PESSENDA et al., 1996; GUERREIRO, 2011; LUZ, 2014).

Assim sendo, a interpretação para a esculturação do modelado no Noroeste do Paraná, durante o século XX, foi desenvolvido à luz do modelo policíclico com foco em condições secas, via análises *in loco* e por sensoriamento remoto (Radar – RADAM

Brasil). Contudo, apesar da predominância do paradigma da pediplanação, no início do século XXI, foi inserida a análise tectônica recente (SANTOS et al., 2008; FRANCO et al., 2008; SOUZA JR, 2012), observando-se gradual mudança na explanação dos processos e modelos de formação do relevo no Noroeste do Paraná.

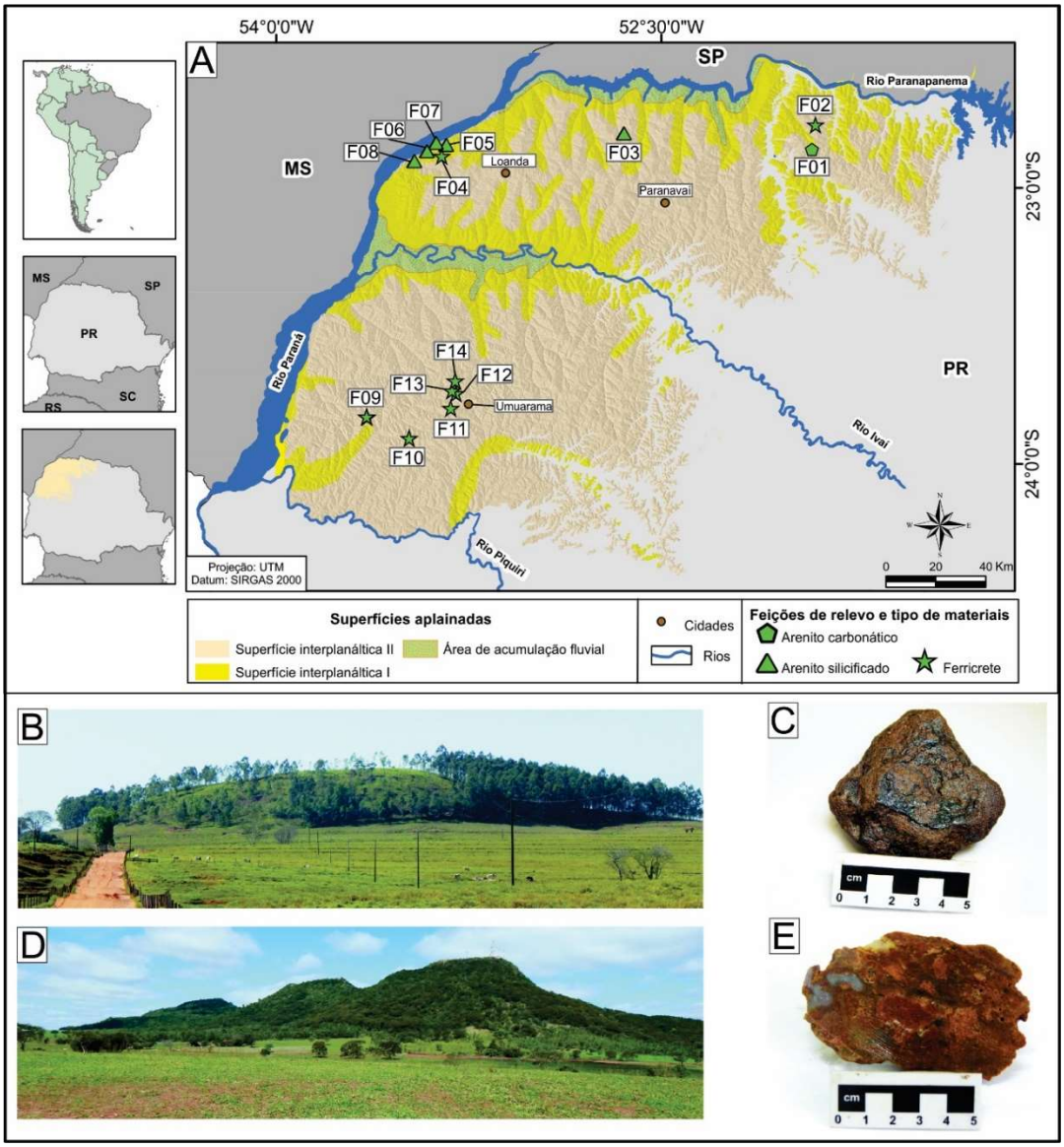

Figura 1. A) Enquadramento do Noroeste do Paraná e superfícies de aplainamento no Noroeste do Paraná. B) Morrote (F13) sustentado por *stone line*, composto por ferricrete. C) Fragmento de ferricrete. D) Morro sustentado por arenito silicificado. E) Arenito silicificado. Fonte: Justus (1985) e Fumiya (2017).

A aplicação de outras técnicas, como o isótopo cosmogênico ^{10}Be e a análise de métricas de gradiente fluvial a partir do método Chi (COUTO et al., 2018), culminou por comprovar a intensificação do denudamento da atual paisagem erosiva como produto da mudança de nível de base de origem tectônica.

No que se refere à origem de *stone lines* compostas por ferricretes, que sustentam colinas e morrotes, antes atribuída a produto da pediplanação, obteve-se nova explicação,

a partir da análise da gênese dos ferricrete e posição atual, qual seja, como produto de inversão de relevo no Quaternário (FUMIYA, 2017).

Nos próximos dois tópicos serão apresentadas a abordagem da denudação recente via isótopo cosmogênico/métricas fluviais e a gênese de ferricretes/inversão de relevo; no tópico final, será realizado debate entre dados, a partir de paradigmas da pediplanação e a morfogênese desencadeada pela tectônica recente via mudança do nível de base.

3. MUDANÇAS DE NÍVEL DE BASE EM ZONA DE CONFLUÊNCIA DOS RIOS IVAÍ E PARANÁ: TAXAS DE DENUDAÇÃO POR ^{10}Be E MÉTRICAS DE FLUVIAL PELO MÉTODO CHI

No Noroeste do Paraná, a planície aluvial da bacia hidrográfica do rio Ivaí é uma das unidades fisiográficas, amplamente, analisada no aspecto sedimentológico e paleoambiental, principalmente em seu curso inferior, denominado de baixo curso do Ivaí - BIV (Figura 2). Esse trecho abrange área de, cerca de, 14.000 km^2 e apresenta baixo gradiente altimétrico (SOUZA et al., 2013).

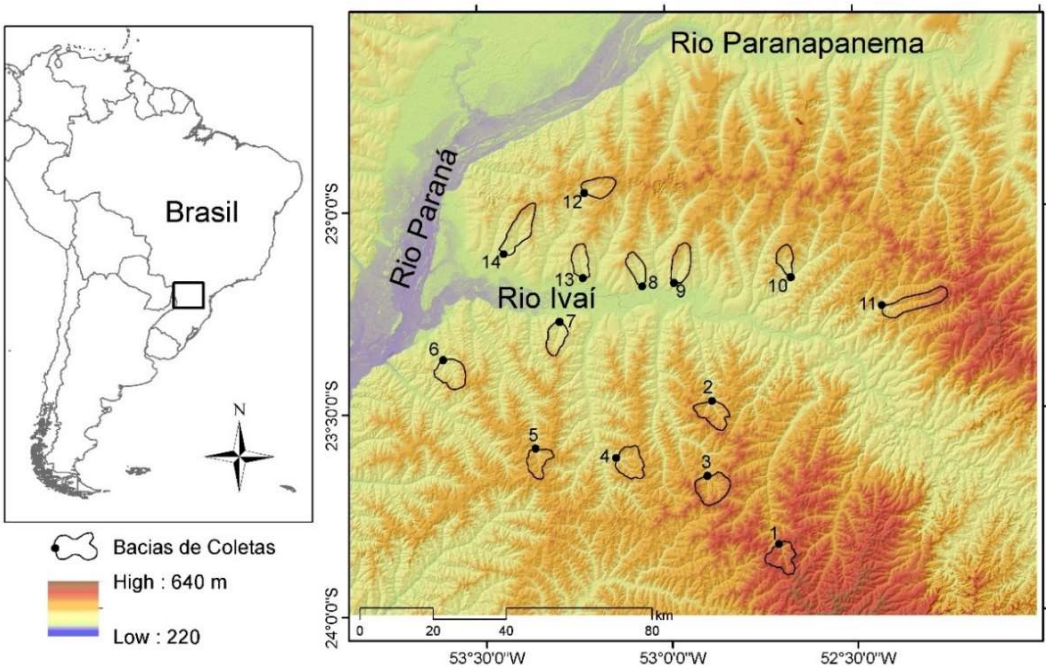

Figura 2. A) Localização das bacias hidrográficas onde foram coletadas amostras de sedimentos fluviais no baixo curso do Ivaí, para detecção do isótopo cosmogênico berílio 10, e mensuração de taxas de denudação do relevo no Quaternário. Fonte: Couto, 2015.

A planície aluvial do BIV é formada por um conjunto de depósitos com mais de 20m de espessura, formados, de modo dominante, por pelitos, subordinadamente de areia fina, com delgadas e descontínuas camadas de cascalho e areia grossa, depositadas, em discordância erosiva, sobre arenitos do Grupo Caiuá (SANTOS et al., 2008).

O desenvolvimento da planície aluvial do rio Ivaí, ao longo do Quaternário, é marcado por mudanças de ambiente úmido para seco e vice-versa (Quadro 1). O registro sedimentar desses ambientes pretéritos está resguardado na forma de feições fluviais

(paleocanais, terraços, planícies), que preservam microfósseis (diatomáceas, espícula de esponja, fitólitos), os quais permitem inferir a predominância de vegetação tipo campos, no Pleistoceno Superior (RASBOLD et al., 2010).

Destaca-se, contudo, que feições morfológicas no BIV (terraço, leque aluvial) não são consideradas formas desenvolvidas, exclusivamente por mudanças entre ambientes (úmido e seco) no Quaternário. Alguns autores atribuem a geração dessas formas também aos efeitos da tectônica recente (SANTOS et al., 2008; FRANCO et al., 2008; SOUZA JR, 2013; COUTO, 2018).

Franco et al. (2008), por dados batimétricos na confluência do rio Ivaí, propõem que ocorreu atuação da tectônica recente, causando seu entalhe no Holoceno, e que, de 3000-1500 anos AP, durante a fase de aridez, ocorreu incremento de carga de fundo do rio Paraná e barramento da confluência do rio Ivaí (configuração atual). Para Souza Junior (2012), no BIV, ocorre soerguimento de blocos de sul para norte, estando a margem esquerda do BIV submetida a processos mais intenso de basculamento.

Assim, mesmo nas zonas de confluência, localizadas em áreas cratônicas estáveis e quiescentes, demonstra-se que a morfogênese é complexa e dinâmica, uma vez que a atividade tectônica tem efeitos notáveis ao longo do tempo (DIXON et al., 2018). Alterações e ajustes morfológicos nas zonas de confluência podem causar alterações regionais do nível base, além de criar pontos com maior incisão no talvegue do rio ou modificar a dinâmica de esculturação do relevo (MOSLEY, 1976; BEST, 1988; MIALL e JONES, 2003; ULLAH et al., 2015).

Nessa perspectiva de mudanças do nível de base na zona de confluência do BIV, Couto et al. (2018) buscaram compreender os efeitos das incisões fluviais na drenagem e os reflexos denudacionais no Quaternário, nos afluentes das margens do BIV (Figura 2).

Para alcançar tal proposta, Couto et al., (2015; 2018) realizaram o reconhecimento e mapeamento de evidências morfológicas resultados da incisão fluvial (Figura 3 A), além de utilizarem a métrica fluvial Chi (PERRON e ROYDEN 2012), para indicar a direção da migração dos divisores das bacias Piquiri-Ivaí-Paranapanema. De modo complementar às análises morfométricas, foram mensuradas taxas de denudação Quaternária, a partir do isótopo cosmogênico Berílio 10 (^{10}Be), em sedimentos fluviais de pequenas bacias hidrográficas, nas margens direita e esquerda do BIV (Figura 2).

Os resultados demonstram que a rede hidrográfica do BIV apresenta morfologias típicas de rearranjo de drenagem, cujas características predominantes são: knickpoints; cotovelos de captura; baixo divisores; vales decapitados e vales secos (Figura 3A).

Em geral, feições características do rearranjo das drenagens, como cotovelos de captura e baixos divisores, estão localizadas, principalmente, na margem esquerda do BIV (Figura 3A). Já na margem direita, os baixos divisores e canais decapitados estão localizados ao lado do limite das bacias, associadas, principalmente, a eventos de erosão acelerada, provavelmente mais recente, formando feições erosivas (voçorocas).

Quadro 1 - Síntese de trabalhos sobre a evolução de paleoambientes na planície aluvial do rio Ivaí. Fonte: Fumiya, 2017.

Autor	Pesquisa desenvolvida	Síntese dos resultados
GUERREIRO (2011)	Evolução geomorfológica dos terraços da margem esquerda do alto rio Paraná Local: Terraço do rio Paraná (margem esquerda) próximo à cidade de Querência do Norte	Identificou 5 fases de evolução dos terraços do rio Paraná (margem esquerda): 1°: Construção de ampla planície fluvial entre 150.000 a 42.000 anos AP. 2°: Rebaixamento do nível de base e elaboração do terraço do rio Paraná (margem esquerda) entre 50.000 a 42.000 anos AP. 3°: Construção de ampla planície de inundação entre 42.000 a 8.000 ano AP. 4°: Queda do nível de base e incisão do canal, com a elaboração do terraço do Ivaí por volta de 8.000 anos AP e construção de leques aluviais. 5°: Construção da planície atual do rio Ivaí, a partir de 6.000 anos AP.
MORAIS (2010)	Evolução da planície de inundação e confluência do rio Ivaí e rio Paraná na região do Pontal do Tigre, Icaraíma-PR Local: Zona de confluência rio Ivaí-Paraná	Deslocamento do talvegue (abandono de paleocanais) e mudança do padrão de canal do rio Paraná, são fatores que possibilitaram a migração da confluência Paraná-Ivaí, pelo menos desde 23.400 anos AP. Isso implica que a posição original da confluência seria a 6 km da posição atual.
RASBOLD (2010)	Utilização de fitólitos em reconstrução paleoambiental do Holoceno Tardio no Noroeste do estado do Paraná Local: Querência do Norte	Foram analisados materiais de um leque aluvial no Córrego Juriti, com foco em microfósseis (fitólitos), e constatou-se, que no início da formação do leque, a cobertura vegetal era predominantemente de campos, modificando para florestas possivelmente no Holoceno Tardio.
GUERREIRO (2011)	Evolução geomorfológica dos terraços da margem esquerda do alto rio Paraná Local: Terraço do rio Paraná (margem esquerda), próximo à cidade de Querência do Norte	Atribuição da origem do leque aluvial do Córrego Juriti a melhoria climática no Holoceno (*optimum climaticum*), em 7.540 anos.
MARCOTTI (2012)	Considerações sobre o ambiente no Pleistoceno Tardio e Holoceno na região do baixo curdo do rio Ivaí Local: Municípios de Icaraíma e Santa Mônica-PR	Pelas análises de fitólitos, espícula de esponja e geocronologia (C^{14}), detectou dois ambientes: o primeiro a transição de seco para úmido em 22.009 anos AP e o segundo ambiente mais úmido que o anterior em 850 anos AP.
SANTOS (2013)	Paleogeografia e paleoambientes do baixo curso do rio Ivaí-PR Local: baixo curso do Ivaí, próximo a cidade de Douradina	Mudanças ambientais no Quaternário Tardio. Migração do canal do Ivaí ao longo do Pleistoceno: canal ativo em 19.900 anos, indicando ambiente de alta energia, concordante com dados de Berbet (2012), Morais (2010) e Guerreiro (2011). Em 13.250 anos, o ambiente fluvial alterou para planície de inundação (menor energia) com provável intercalação entre ambiente mais seco e úmido. No início do Holoceno, 10.195 anos AP (calibrado), houve condições ligeiramente mais secas que a atual, contudo sob domínio de floresta (provável refúgio). No Holoceno Médio, em 5.963 anos AP (calibrado) ocorreu aumento da cobertura arbórea e mudanças para condições mais úmidas (*optimum climaticum*) semelhantes à paisagem atual.

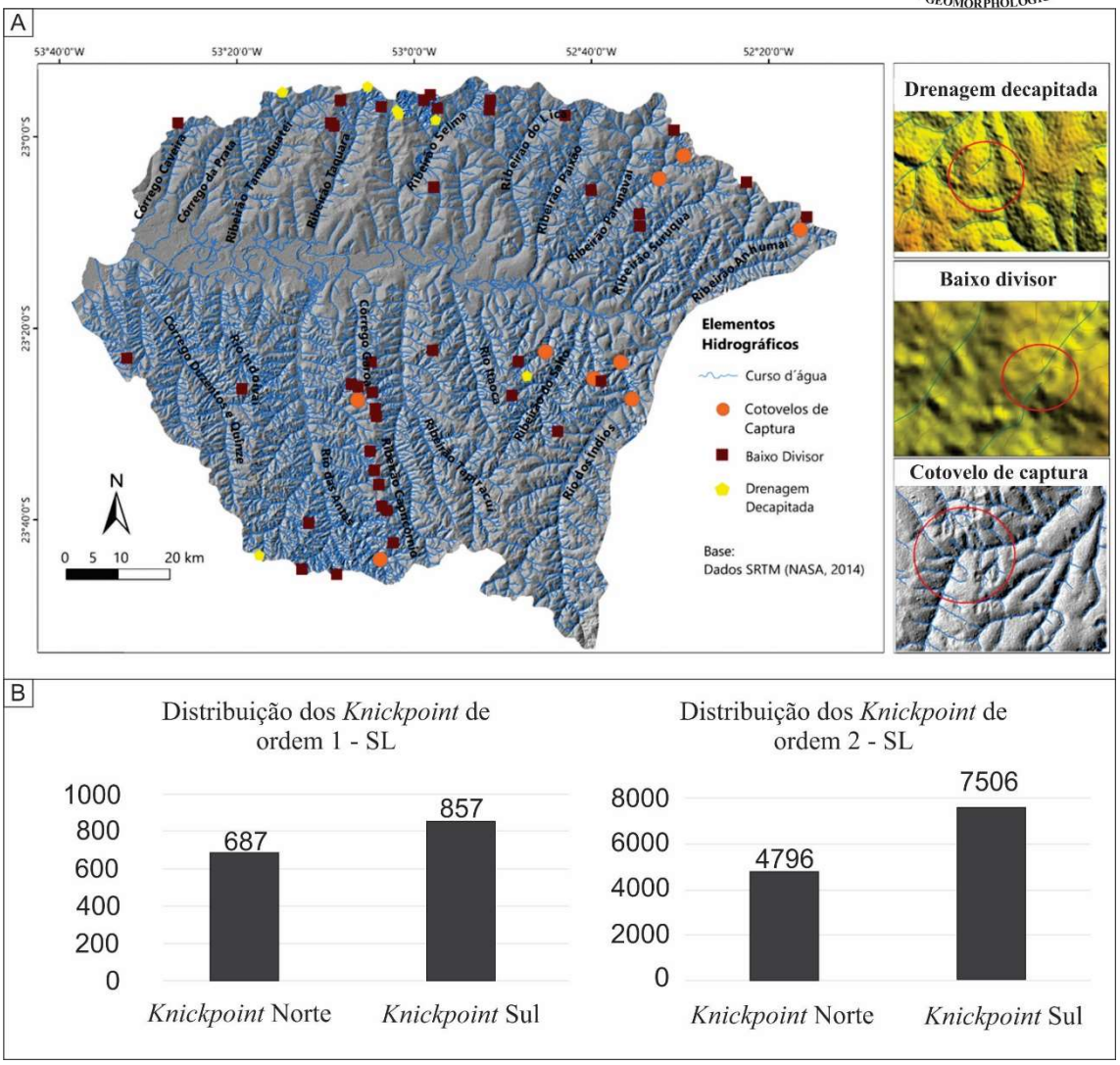

Figura 3. A) Elementos indicativos de possível rearranjo da drenagem no Baixo Ivaí. B) Distribuição de *knickpoints* de primeira e segunda ordem, nas margens direita e esquerda do Baixo Ivaí. Fonte: Couto, 2015.

Para complementar os indicativos de rearranjo de drenagem em escala regional (Figura 3 A), métricas fluviais pelo método Chi foram geradas a partir do SRTM arco 1 segundo (30 m), expressas em valores χ. Nesse índice, rios com valores χ maiores indicam suscetibilidade das bacias hidrográficas à perda de área, por exemplo, entre dois divisores hidrográficos opostos, em que canais com maiores valores χ tendem a ser capturados por aqueles com valores de χ menores (COUTO et al., 2018).

Ainda de acordo com Couto et al. (2018), na margem esquerda, os valores χ apontam maior poder erosivo dos divisores BIV em relação aos divisores de bacia do Piquiri, bem como da bacia hidrográfica de Ribeirão do Veado, que flui diretamente para o rio Paraná. Valores χ para a margem direita do BIV mostram que as cabeceiras se comportam como vítimas da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, que avança em direção ao BIV, explicando o fato de que a margem direita do BIV é mais curta que a margem esquerda.

A reorganização da drenagem foi evidenciada, também, pelo reconhecimento de 541 *knickpoints* (Figura 3 B) em bacias de primeira ordem, estando tais anomalias associadas a alterações no perfil longitudinal dos canais de drenagem, devido a movimentações tectônicas. Isso mostra que as duas margens do BIV estão em desarranjo, contudo, na margem esquerda, o rejuvenescimento fluvial é mais intenso.

Como resposta a esse rejuvenescimento do sistema fluvial registra-se a presença de canais íngremes e elevações residuais em toda a área de estudo, mais, marcadamente, na margem esquerda do BIV.

Para confirmar as evidências morfológicas (captura de drenagem, baixos divisores) e os dados de valores χ (métrica fluvial Chi), Couto et al. (2018) realizaram a mensuração de taxas de denudação por concentrações do isótopo cosmogênico ^{10}Be, a partir de sedimentos fluviais. A coleta de sedimentos deu-se em 14 bacias, localizadas em ambas as margens do BIV (Figura 2).

As taxas de denudação por ^{10}Be na margem esquerda do BIV apresentaram valores de 7,98 m Myr^{-1} a 16,25 m Myr^{-1} (Figura 4 A), e resultaram em uma taxa de denudação média de 10,9 m Myr^{-1} (±2,7) (n = 7) para a margem esquerda. Quanto à margem direita do BIV, os valores variaram de 3,90 m Myr^{-1} a 7,56 m Myr^{-1} (Figura 4 A), resultando em uma taxa média de denudação de 6,4 m Myr-1 (±1,3) (n = 7).

Na margem esquerda, a distância entre as cabeceiras de drenagem e o talvegue do rio Ivaí é 30 km mais extensa que as da margem direita do BIV (Figura 4 B). Essa diferença implica maior denudação na margem esquerda, que é 4 m Myr-1 maior, em relação à margem direita, explicando-se, assim, a assimetria entre as margens do BIV, indicada por Souza Junior (2012).

Constata-se que existe forte correlação $\rho = 0,75$ e $p < 0,0017$ entre a distância do ponto amostral nos afluentes e o canal principal do rio Ivaí, que pode ser expressa com uma regressão linear $R^2 = 0,63$, e pela equação $y = 0,1314x + 5.4756$ (Figura 4 B). Isso demonstra que há, também, uma dependência da denudação regressiva com a distância dos divisores e o talvegue principal (rio Ivaí).

Essa dependência parece estar fortemente relacionada ao rebaixamento do nível de base regional, resultado do encaixe em falhas do rio Paraná, provavelmente no Quaternário (MAACK, 1968; STEVAUX, 1994; FRANCO et al., 2008; FORTES et al., 2005). A mudança do nível de base regional (rio Paraná) resultou na reorganização da rede de drenagem a montante do BIV, alterando os perfis longitudinais para ajustar o equilíbrio, com a incisão do talvegue e formando perfis convexos e retilíneos, típicos de paisagens transicionais ou resultados de atividade tectônica recente, onde os antigos *knickpoints* são reativados, e novos *knickpoints* aparecem a montante do canal (Figura 4 B).

A incisão tende a fazer com que as cabeceiras de drenagem rebaixem os divisores por intensa denudação e, consequentemente, ocorra a captura das bacias adjacentes observadas no BIV por meio dos valores χ (COUTO et al., 2018).

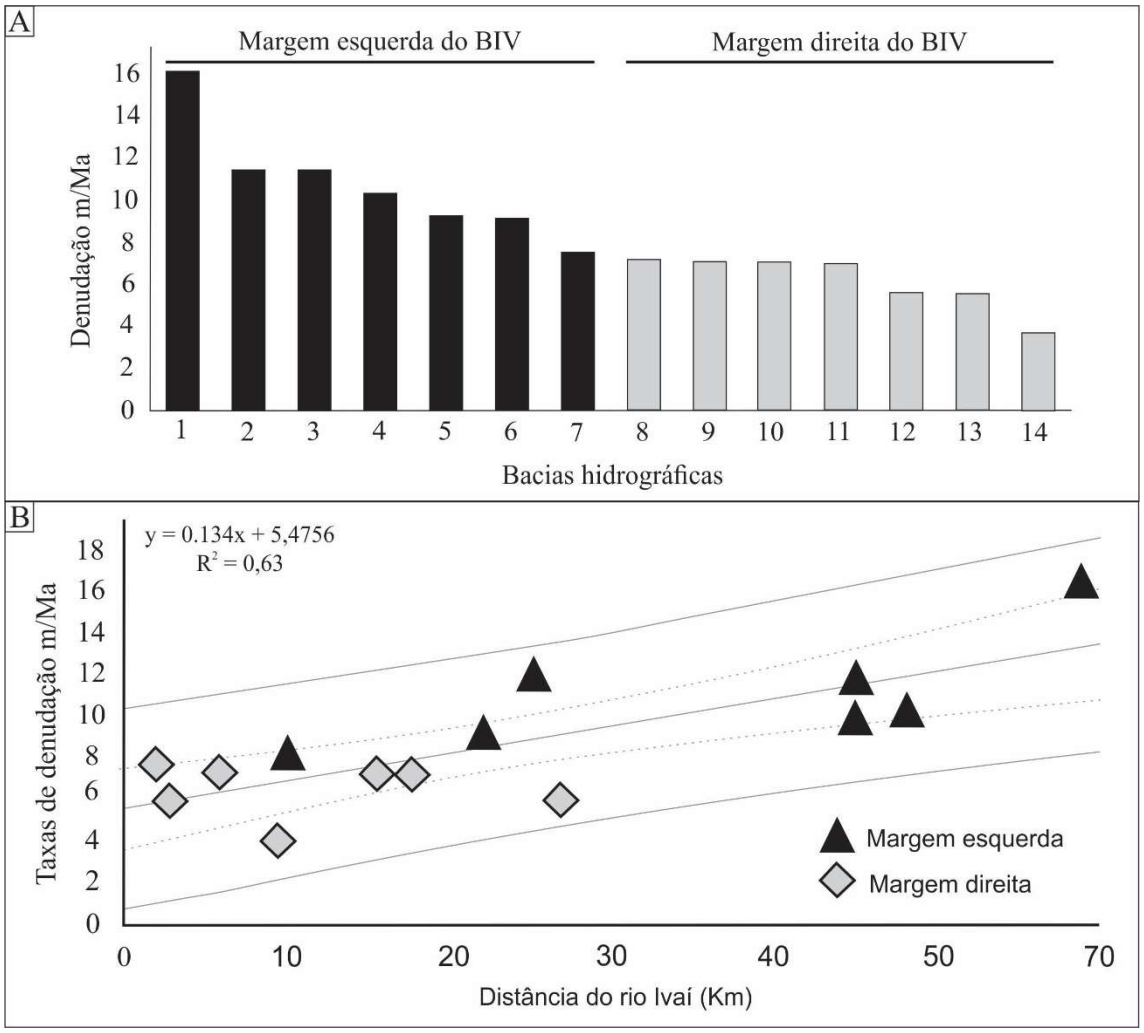

Figura 4. A) Taxas de denudação por isótopo cosmogênico 10Be das quatorze bacias analisadas. B) Taxas de denudação em função de distâncias das bacias amostradas e do talvegue do rio Ivaí. Fonte: Couto et al., 2018. Adaptação: Fumiya, 2021.

A partir dos dados apresentados, é possível constatar que, em consequência das mudanças no nível de base na zona de confluência entre os rios Paraná-Ivaí, a rede de drenagem no BIV está em processo contínuo de rearranjo fluvial, conforme indicado por Souza Filho (1993), Stevaux (1993), Franco et al. (2008), Cremon (2009) e Morais et al. (2016). Essa mudança não alterou somente a morfologia dos canais adjacentes, mas também das cabeceiras dos afluentes do BIV.

Tal processo aumentou a incisão do canal, provocou a migração das áreas de cabeceira e, consequentemente, aumentou as taxas de denudação, como evidenciado pelo isótopo cosmogênico ^{10}Be. Além disso, os resultados indicam que a evolução da drenagem BIV ocorreu de forma diferente para as duas margens: as taxas de denudação da margem esquerda foram mais agressivas e os rios responderam a esse processo ampliando suas áreas de drenagem via captura fluvial. Por outro lado, as taxas de denudação da margem direita foram significativamente menores, e não foram registrados rearranjos da drenagem.

Portanto, como os rios ainda necessitam atingir o nível de base, a amplitude altimétrica tende a aumentar, e os vales aprofundarão à medida que a distância do nível de base aumentar, o que, por sua vez, resultará em uma dissecação mais rápida das bacias hidrográfica. Esses resultados demonstram que os afluentes do BIV acima da área de confluência Ivaí-Paraná ainda respondem aos ajustes do nível de base com o aumento das taxas erosivas e maior incisão dos leitos.

Assim, neste estudo, demonstra-se que mudanças do nível de base e reorganização fluvial são questões importantes, além de indicarem diferentes estágios da evolução da paisagem, seja de estado estável, de instabilidade ou mesmo de transição.

Além disso, por causa da incisão dos canais em busca de ajuste, verifica-se a ocorrência da migração de *knickpoints* antigos, e estabelecem-se novos *knickpoint*s, até que o perfil fluvial atinja o equilíbrio. Sendo assim, a integração entre índices morfométricos e isótopos cosmogênico permitiu analisar mudanças da zona de confluência dos rios Ivaí e Paraná (Sul do Brasil), no Quaternário.

4. GÊNESE DE FERRICRETES E INVERSÃO DE RELEVO NO NOROESTE DO PARANÁ

Na região Noroeste do Paraná, existem registros de depósitos correlativos, como indicado por Justus (1985), que verificou a presença de fragmentos de *duricrust* ferruginoso, mobilizados ao longo de encostas, e organizados, no presente, na forma de *stone line*. Ainda, segundo Justus (1985), os fragmentos de *duricrust* resultam de processos de aplainamento do relevo e sustentam feições morfológicas de pequenas elevações, como morrotes e colinas (até 30 m de altura), que se diferenciam na paisagem de relevo suave, característico da região.

Contudo, observa-se que a origem dos *duricrusts* ferruginosos (gênese), de ocorrência no Noroeste do Paraná, assim como a relação deles com processos denudacionais não foi claramente determinada. Nesse sentido, para demonstrar a existência de relações entre a esculturação de colinas e morrotes com *duricrust* e as instabilidades geradas pela incisão do nível de base do rio Paraná no Quaternário, será apresentado um conjunto de evidências e análises, como apresentado no tópico 3 (métricas fluviais e isótopos cosmogênicos ^{10}Be).

Além disso, para estabelecer uma apresentação sequencial dos fatos no estudo das feições residuais de relevo com a esculturação do modelado, foram estabelecidas três etapas de análise, consistindo em: identificação das áreas de ocorrência de morrotes e colinas com *duricrust*; procedimentos analíticos em laboratório; e associações entre *duricrust*-feição residual de relevo-dinâmica de transformação do modelado.

No primeiro momento, para compreensão das feições com *duricrust* e da dinâmica de transformação da paisagem, foi necessário identificar a localização de tais formas residuais do relevo, no Noroeste do Paraná, via índice morfométrico, no caso, o Índice de Concentração da Rugosidade (SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014). Pela identificação prévia e posterior constatação *in loco,* foram realizadas as caracterizações e descrições

morfológicas em perfis de intemperismo com *duricrust* ferruginoso, visando identificar feições de relevo, que tornassem possível relacioná-los a sua origem, e transformações do modelado ao longo do tempo, principalmente no Quaternário.

A segunda etapa baseou-se na análise de quatro procedimentos analíticos laboratoriais: Micromorfologia, Fluorescência de Raio-X, Difração de Raio-X, e geocronologia por Luminescência Opticamente Estimulada. A Micromorfologia foi utilizada para se obter a descrição das feições pedológicas microscópicas nos perfis de intemperismo e, a partir dela, estabelecer a possível ordem cronológica dos eventos de alteração e precipitação desses minerais (principalmente os óxi-hidróxido de ferro), e sua relação com o desenvolvimento dos horizontes.

Já a análise por Fluorescência de Raio-X (FRX) possibilitou determinar a composição química e os teores dos elementos (%); enquanto a Difração de Raio-X permitiu a identificação mineral dos materiais analisados. Associados os dados de FRX e DRX, foi proposto um modo de acumulação de ferro, isto é, relativa ou absoluta.

Dados geocronológicos, advindos do método de Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), permitiu o estabelecimento dos prováveis períodos de mobilização dos *duricrusts* ferruginosos (desmantelamento) em topo de colinas e morrotes.

Na terceira etapa, por fim, todos os dados apresentados e as evidências foram associados para a elaboração de um quadro de compreensão da gênese dos *duricrusts*/esculturações de feições residuais do relevo e a relação com dados de trabalhos regionais a respeito da morfotectônica quaternária e isótopos cosmogênicos de Berílio 10 (^{10}Be).

Todos esses dados expostos anteriormente, iniciando pela seleção das feições sustentadas por *duricrust*, descrição morfológica da organização dos horizontes e camadas, e a seleção de perfil para análise detalhada no estudo da gênese de *duricrust* ferruginoso e transformações do modelado, serão apresentados a seguir.

Visando identificar as feições residuais sustentadas por materiais mais resistentes à denudação (morros, morrotes e colinas), Fumiya et al. (2016) utilizaram o Índice de Concentração da Rugosidade, a fim de distinguir áreas que apresentam maior dissecação (feições residuais) em relação a colinas amplas do entorno. O uso desse índice permitiu a seleção prévia, em laboratório, de 14 formas residuais de relevo para o estudo (Figura 5).

A averiguação do tipo de material, responsável pela manutenção das feições geomorfológicas na paisagem, foi realizada *in loco*, onde se constatou a presença de três tipos de materiais: arenitos com cimento carbonático (Figura 5 – F01); arenitos com cimento silicático (Figura 5 – F03, F05-08); e *duricrust* com cimento ferruginoso (Figura 5 – F02, F04, F09-14).

Os tipos de cimento, em diferentes tipos de rochas e *duricrust* ferruginoso presentes nas feições de relevo, apresentam distintas origens, sendo: os cimentos silicáticos (Figura 6 –A2), de origem hidrotermal (FERNANDES et al., 1993, MARTIN, 2017); os cimentos carbonáticos (Figura 6 –B2), de origem de ambiente árido (FERNANDES et al., 1994); e os *duricrusts* ferruginosos (Figura 6 - C2), de origem pedogenética (JUSTUS, 1985).

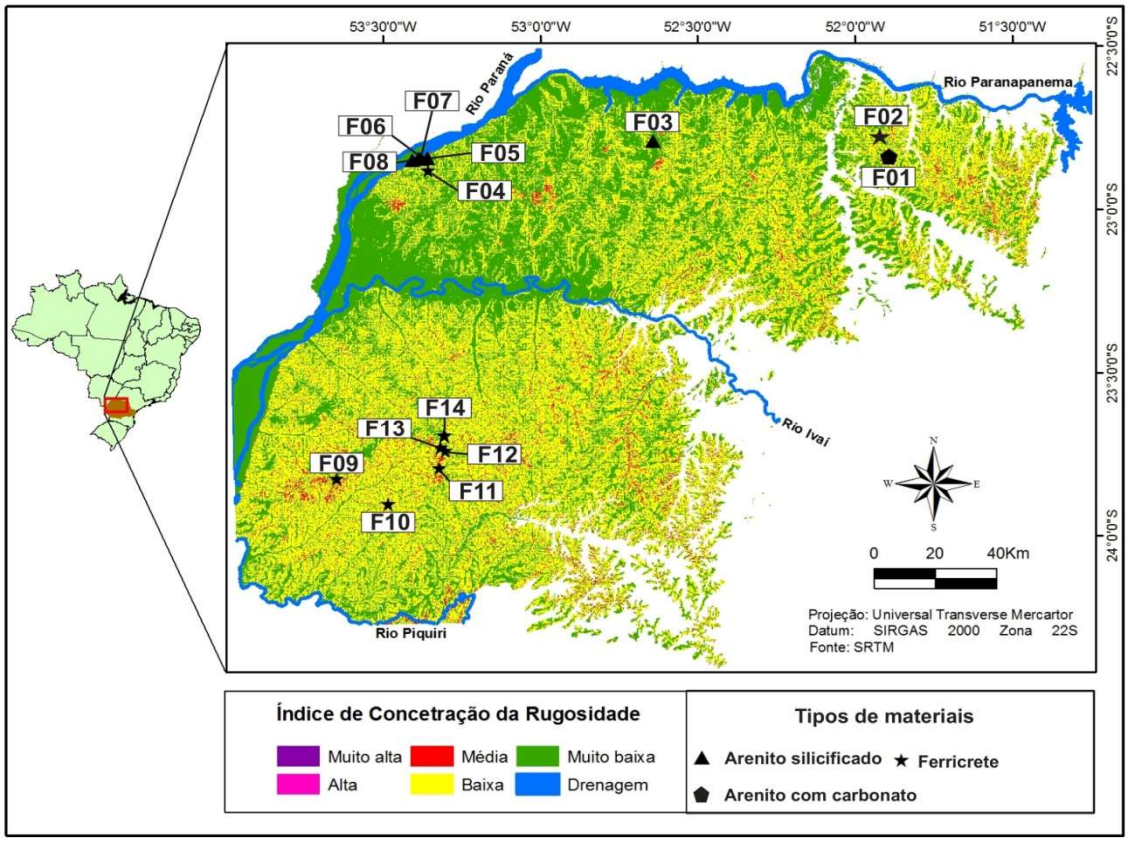

Figura 5. Enquadramento da área de estudo e valores de Índice de Concentração da Rugosidade, localização das feições morfológicas locais, na área de ocorrência do Grupo Caiuá no Noroeste do Paraná. Fonte: Fumiya, 2017.

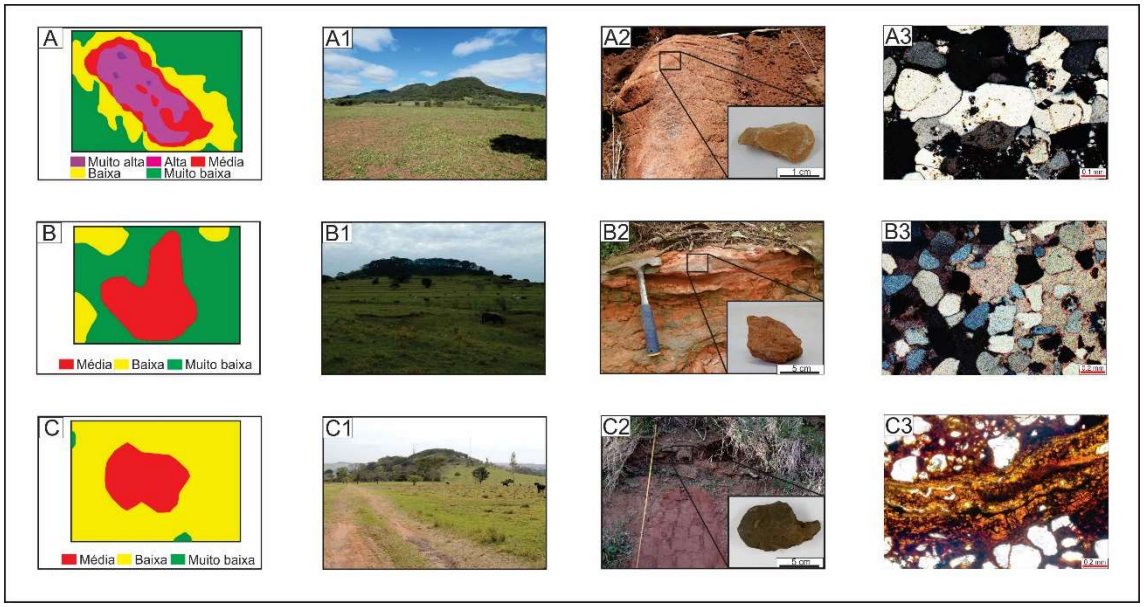

Figura 6. Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) e feições de relevo. A) ICR de morrote. A1) Fotografia do morro. A2) Arenito silicificado. A3) Fotomicrografia de arenito silicificado de textura sintaxial (LP). B) ICR de morrote. B1) Fotografia de morrote. B2) Fotografia de arenito carbonático. B3) Fotomicrografia de arenito carbonático de textura poiquilotópica (LP). C) ICR de colina. C1) Fotografia de colina. C2) Fotografia de ferricrete. C3) Fotomicrografia de ferricrete, impregnação do fundo matricial por ferro e evidência de preenchimento de fissura por ferro/manganês (LP). Legenda: Luz polarizada (LP). Fonte: Fumiya et al., 2019.

Tais características foram confirmadas por análises micromorfológicas, em que se constatou que o cimento silicático envolve os grãos detríticos de quartzo em textura sintaxial (Figura 6 – A3); o cimento carbonático, em textura poiquilotópica (Figura 6 – B3); e o cimento ferruginoso, que impregna o fundo matricial (Figura 6 – C3).

Pelas constatações em campo, optou-se por analisar 11 feições de relevo sustentado ou que apresentassem abundância de *duricrust* ferruginoso, estando essas formas concentradas em duas regiões: próxima ao rio Paraná (Figura 5 – F04-08), e no divisor entre as bacias dos rios Ivaí e Piquiri (Figura 5 – F09-14). Com base nesse reconhecimento, realizou-se a descrição dos materiais presentes nessas feições, em cortes e perfis.

Sequencialmente, a partir da análise morfológica dos *duricrusts* ferruginosos, constatou-se que existem dois tipos de disposição: mobilizado (alóctone) e *in situ* (autóctone).

*Duricrust*s ferruginosos alóctone apresentam-se na forma de *stone line*, compostos por fragmentos de angulosos a subangulosos, e são os predominantes (Figura 7 A, B-B2), presentes em 10 feições de relevo (colinas e morrotes).

A única feição que apresenta *duricrust* ferruginoso autóctone é a denominada na F14 (Figura 7 A, C-C2), localizada na bacia do Ivaí. Nessa feição, o horizonte ferruginoso é contínuo e não aparenta mobilização ou indícios de descontinuidade erosiva, observando-se também um *horizonte* mosqueado, abaixo do *duricrust* ferruginoso, com transição gradual. A associação entre esses fatos pode indicar que o material dessa feição esteja em situação *in situ*, contrastando a ausência de organização (caótica) dos outros perfis analisados.

Pelas observações, *in loco*, dos *duricrusts* ferruginosos, presentes em morrotes e colinas, selecionou-se o perfil F14 (Figura 7 – F14), representativo do grupo autóctone, por ser este o único sem aparente mobilização do material e com melhores condições de preservação dentre os perfis analisados. Além disso, é um perfil sem sinais de desmantelamento, ou seja, é o remanescente que, provavelmente, melhor preservou os processos formadores originais de acumulação de ferro.

Pelas análises laboratoriais empregadas (micromorfologia, DRX, FRX), objetivou-se esclarecer algumas questões indagadas por observações, em campo, sobre os perfis, dentre as quais, ressaltam-se:

1. A quais fases de ferruginização os *duricrusts* foram submetidos até sua completa formação?
2. Qual foi o modo de acumulação do ferro (relativa ou absoluta)?
3. Como evoluíram os perfis desde a sua formação até a sua configuração atual em *stone line* (Figura 7 F04-F13)?

Na análise dos processos que originaram o *duricrust*, pela perspectiva da micromorfologia dos horizontes do perfil F14 (Figura 8 A), reconheceu-se uma diversidade de feições ferruginosas goethíticas: nódulos (Figura 8 A1-A2), cimento (Figura 8 A3), e revestimentos e preenchimentos (Figura 8 A5-A6).

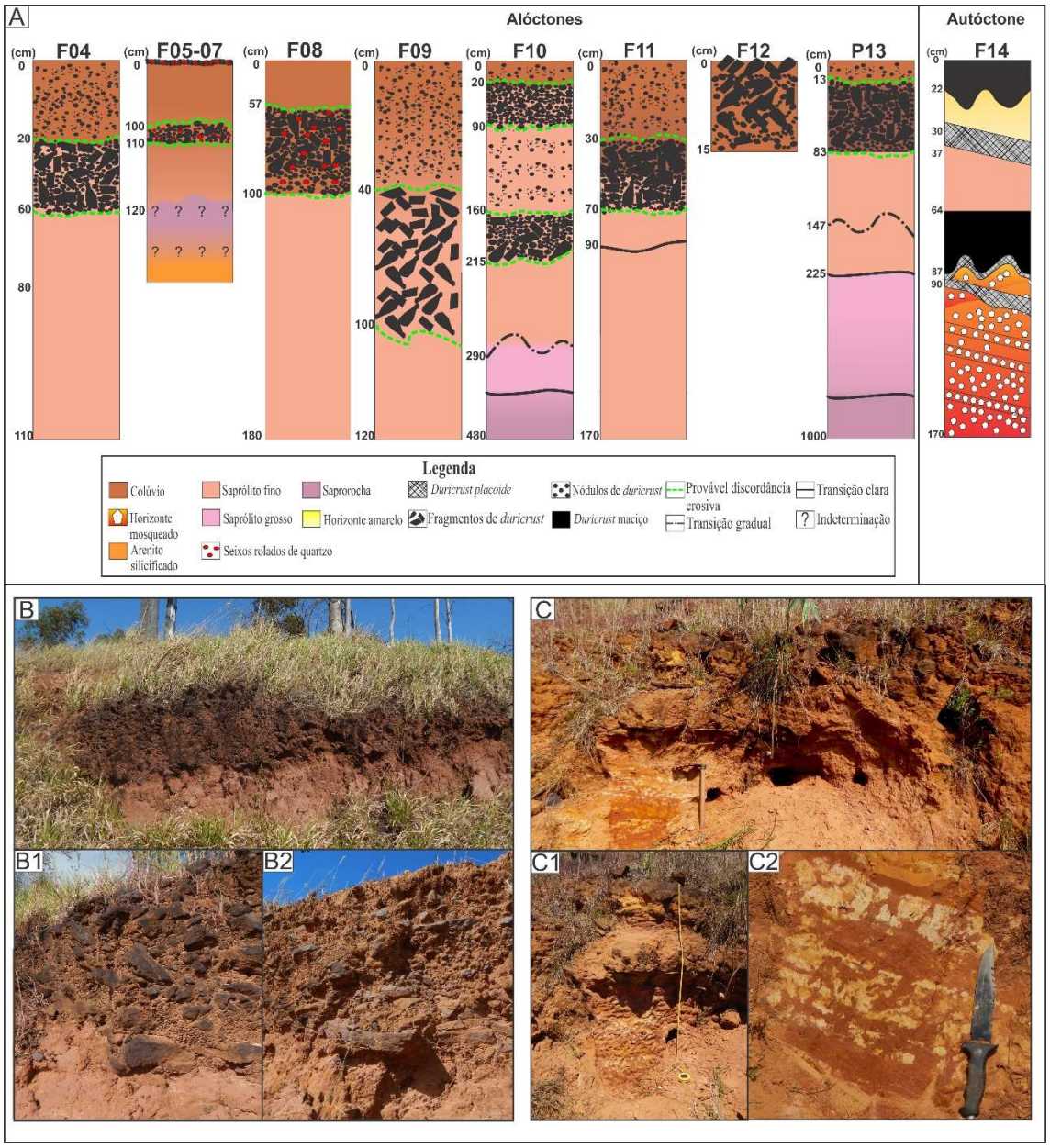

Figura 7. A) Ilustrações da organização dos *duricrust*s ferruginosos, analisados em diferentes feições de relevo. B-B2) Fotografia da *stone line*, composta por *duricrust* ferruginoso. C-C1) Fotografia de *duricrust* ferruginoso autóctone. C2) Detalhe do horizonte mosqueado. Fonte: Adaptado de Fumiya et al., 2019.

Pela identificação das feições ferruginosas nos horizontes, incluindo o *duricrust* ferruginoso, foram identificadas três fases de precipitação das goethitas, em ordem cronológica decrescente: nódulo de hematita→nódulo e cimento de goethita→revestimento de goethita. Essas diferentes morfologias das goethitas demonstram que a formação do *duricrust* não ficou atrelada à única fase ou período de cristalização do ferro, mas a diversos.

Ainda pela micromorfologia, não se constatou a presença de minerais primários alteráveis (piroxênio, biotita, entre outros), que poderiam fornecer o ferro ao desenvolvimento do *duricrust*.

No caso específico, o *duricrust* resultou da cimentação do fundo matricial (Figura 8 A2), por prováveis soluções, possivelmente, ricas em ferro; tendo os horizontes uma composição mineral, formada por: quartzo, caulinita e goethita (Figura 8 B e C).

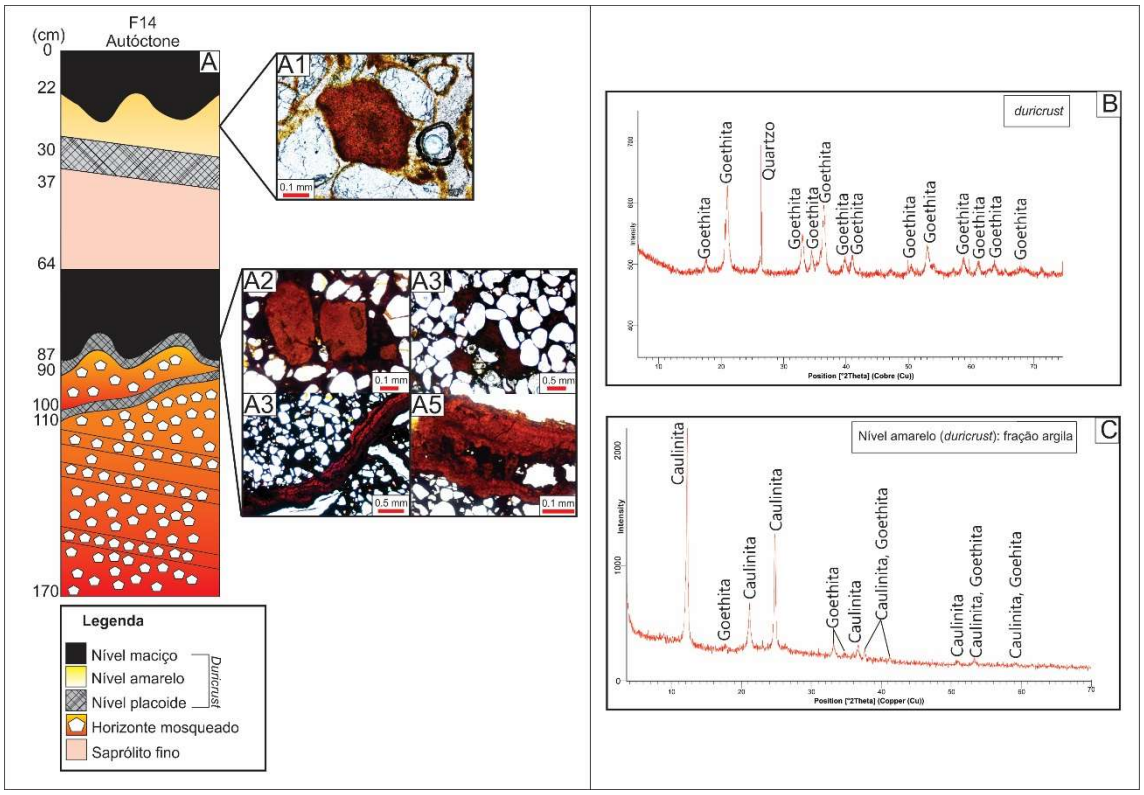

Figura 8. A) Ilustração do perfil 14 – autóctone. A1-A5) Fotomicrografias de horizontes e *duricrust*. A1-A2) Nódulo de goethita (LT). A3) Cimento de goethita (LT). A4-A5) Revestimentos de goethita **em** fissuras (LT). B) Difração de raio-X de revestimento, composta por goethita. Legenda: Luz transmitida (LT). Fonte: Fumiya, 2017.

Dados de química por FRX (Tabela 1) demonstraram aumento abrupto do elemento ferro no horizonte ferruginoso (*duricrust*), com concentração superior ao horizonte saprolítico (até 40 vezes). Esse aumento pode ser indicativo de que a fonte do ferro no *duricrust* seja por aporte lateral pretérito (paleotopografia). Assim sendo, o enriquecimento nos *duricrusts* não apresentam relações cogenéticas com o saprólito (enriquecimento relativo), caracterizando inconformidade "química" entre os horizontes, como já identificado em outras regiões do planeta (OLLIER et al., 1990; SCHWARZ, 1994; BOURMAN e OLLIER, 2002; DEQUINCEY et al., 2002).

Dessa forma, associando dados de micromorfologia, DRX e FRX, propôs-se o modo acumulação absoluta para a gênese dos perfis com *duricrust*, no qual se designa a classificação genética dos horizontes ferruginosos analisados como ferricretes, na concepção de Widdowson (2007).

Com relação ao estabelecimento da cronologia por LOE para episódios de mobilização dos materiais (desmantelamento), registrados em discordâncias erosivas nas feições F04, F10 e F13 (Figura 5, 7), as análises indicaram idades do Pleistoceno Superior

(16.309 ± 2.830 anos - 10.298 ±2.384 anos), e demonstraram que a mobilização dos perfis com ferricretes é recente (Pleistoceno Superior).

Tabela 1. Resultados químicos por FRX dos horizontes do perfil P14.

				Composição química (óxidos %)												
		Prof. (cm)	Perda ao fogo (%)	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5	TiO_2	SO_3	K_2O	MnO	MgO	ZnO_2	ZrO_2	V_2O_5	Na_2O
Horizonte *duricrust*	Maciço	0-20	4,40	52,9	39,3	2,1	1	<0,1	-	0,1	0,1	-	-	-	-	0,1
	Amarelo	23-30	2,15	84,4	7,3	5,6	0,3	0,2	<0,1	<0,1		-	-	<0,1	-	-
Horizonte *duricrust*		50-83	3,03	70,7	22,6	2,8	0,4	0,2	<0,1	-	<0,1	-	<0,1	<0,1	0,1	-
Horizonte mosqueado		101-145	1,6	87,8	3,9	5,9	0,1	0,5	<0,1	-	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	-
		157	1,65	84	5,7	7,8	0,2	0,4	<0,1	<0,1		<0,1	-	<0,1	<0,1	-

Fonte: Fumiya, 2017.

Dessa forma, pelo conjunto de dados no estudo da gênese dos ferricretes (micromorfologia, DRX, LOE, FRX), propôs-se um modelo que represente a sua evolução até a configuração atual (Figura 9).

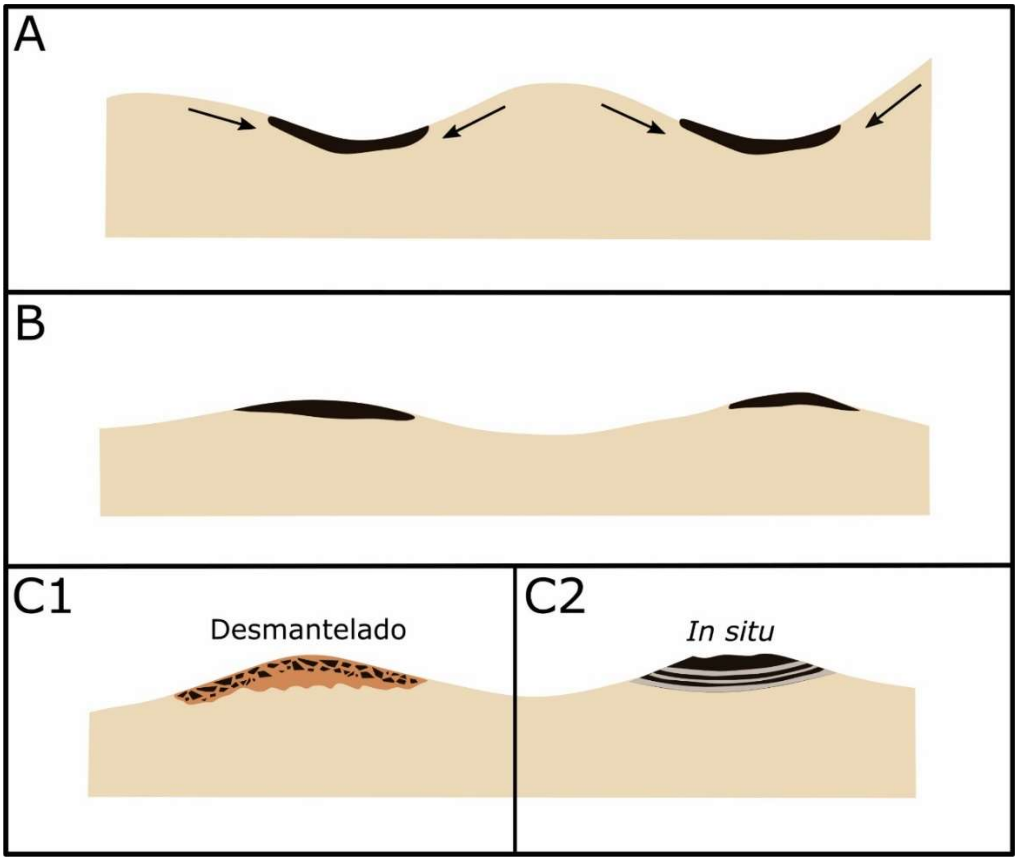

Figura 9 - Modelo hipotético de formação dos ferricretes, no Noroeste do Paraná. A) Solubilização, exportação lateral do ferro (Fe^{2+}) em cabeceiras de drenagem. B) Inversão de relevo (escala local). C1) Desmantelamento do perfil com ferricrete, no mínimo, em 10.298 anos (LOE). C2). Remanescente, parcialmente, erodido de ferricrete autóctone, como observado na feição F14. Fonte: Fumiya, 2017. Ilustração: Renata Cunha.

De acordo com esse modelo hipotético, na primeira fase, teria ocorrido a solubilização e exportação lateral e vertical do ferro (Fe^{2+}) pelo lençol freático, como também a formação dos ferricretes nas partes mais baixas da paisagem, no caso específico, em cabeceiras de drenagem (Figura 9 A). Na segunda fase, ocorreria a denudação do material circundante (arenitos e solos) e a permanência dos perfis com ferricretes, que teria gerado um processo de inversão de relevo em escala local (Figura 9 B). Já, na terceira fase, teria ocorrido o desmantelamento da maior parte dos perfis com ferricretes (Figura 9 C1) e a rara preservação de perfis autóctones em topo de colinas e morrotes (Figura 9 C2).

5. RELAÇÃO ENTRE DADOS MORFOTECTÔNICOS-^{10}Be E GÊNESE DE FERRICRETE-INVERSÃO DE RELEVO

No Noroeste do Paraná, diversos dados convergem para a transformação do modelado no Quaternário, a partir de processos denudacionais. O rebaixamento recente do relevo é associado a dois fatores principais: paleoambientes mais secos; e possível influência tectônica no Quaternário, na mudança do nível de base do Ivaí (SOUZA FILHO, 1993; STEVAUX, 1993, 1994, 2000; FRANCO et al., 2008; SALLUN et al., 2007, 2010; MORAIS et al., 2016; COUTO et al., 2018).

Dados de isótopos cosmogênicos de ^{10}Be (COUTO et al., 2018) indicam diferenças de taxas de denudação entre as margens do BIV (Figura 10 A). As taxas de denudação são associadas aos efeitos do aprofundamento do nível de base do rio Ivaí, no Quaternário, o qual, por sua vez, obedece ao nível do rio Paraná (regional), que se encaixou em falhas tectônicas (Sete Quedas), também ocorridas, provavelmente, no Quaternário (MAACK, 1968; SOUZA FILHO, 1993; STEVAUX, 1993).

A mudança do nível de base do rio Ivaí foi responsável pelo ajuste dos níveis de base na rede de drenagem do BIV, sendo que a margem esquerda, devido a soerguimento de bloco diferencial (SOUZA JR, 2012), foi mais afetada pela incisão. Como consequência, houve maior entalhamento da rede de drenagem para o alcance do novo nível de base (rio Ivaí), rebaixamento e migração dos divisores (principalmente à margem esquerda), intensificação dos processos erosivos e avanço de Argissolos em sistemas de transformação pedológica, principalmente na margem esquerda (NAKASHIMA, 2000; GASPARETTO, 1999).

Nesse contexto denudacional, o desmantelamento dos ferricretes, localizados na margem esquerda do BIV, indica possível relação com os distúrbios no sistema, em função da mudança do nível de base do rio Ivaí. Verifica-se isso, pois a mobilização dos perfis apresenta idades mínimas entre 16.309 ± 2.830 anos - 10.298 ±2.384 anos (LOE), ou seja, ocorreu em períodos recentes, concordando com a proposta apresentada por Couto et al. (2018).

Observa-se, ainda, que, provavelmente, o desmantelamento dos ferricretes ocorreu em resposta ao entalhamento das cabeceiras de drenagem, no alcance do novo nível de

base (rio Ivaí), onde sub-bacias hidrográficas, próximas aos perfis analisados, apresentam taxas de denudação entre 9.06 a 10.05 m.Ma^{-1} (Figura 10 B).

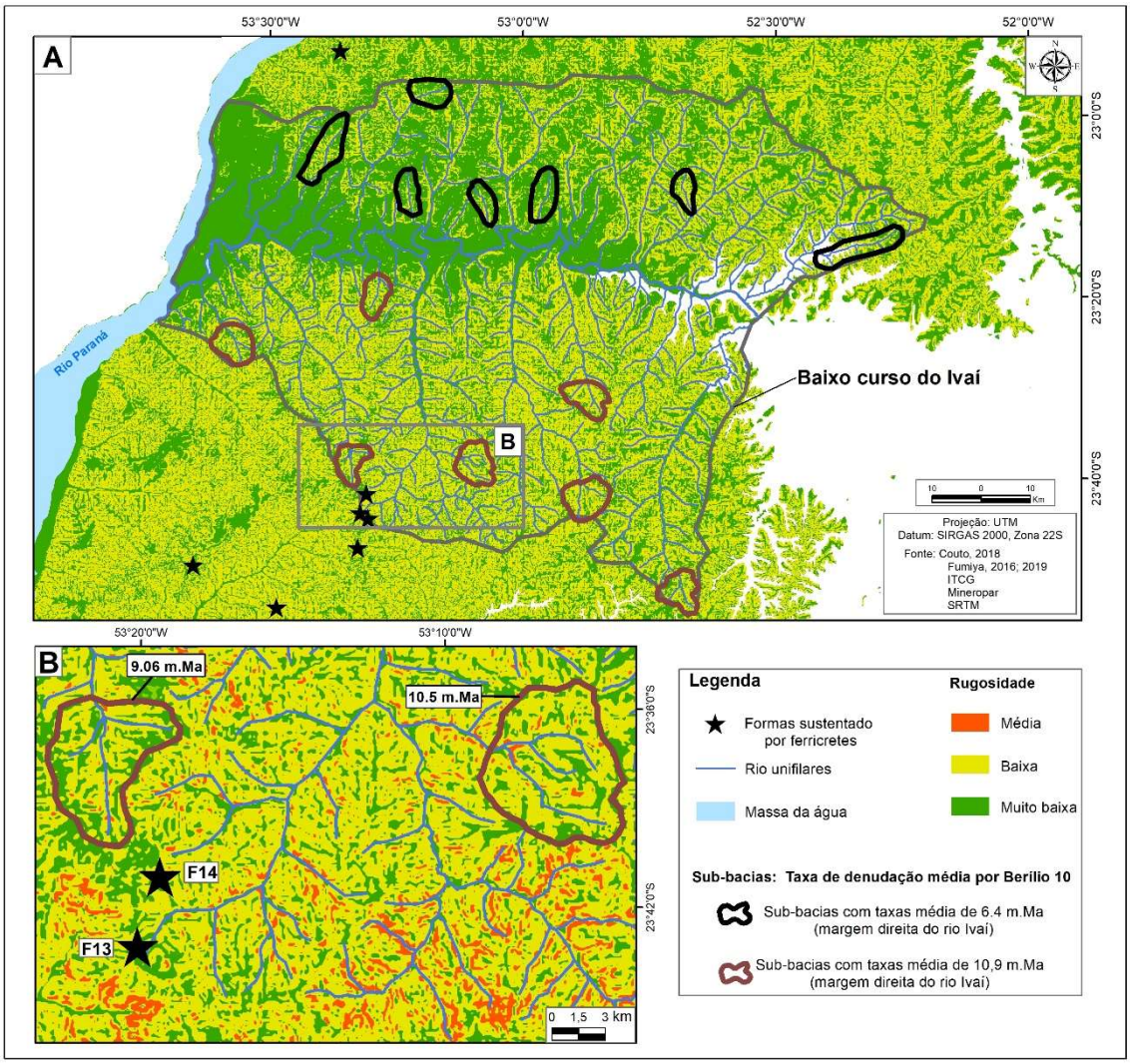

Figura 10. A) Sub-bacias do baixo Ivaí, onde foram quantificadas taxa de denudação pelo isótopo ^{10}Be, rugosidade do relevo e identificadas feições de relevo mantidas por ferricretes. B) Feições de relevo, mantidas por ferricretes em divisores de água no baixo curso do rio Ivaí, e sub-bacia com taxas de denudação por ^{10}Be. Fonte: Fumiya et al., 2021.

Pela abordagem paleoambiental, Sallun e Suguio (2010), usando o método de datação por Luminescência Oticamente Estimulada (LOE), estabeleceram a cronologia aproximada dos eventos de coluvionamento generalizado por rastejo, ao longo do Quaternário, no alto rio Paraná, incluindo o Noroeste do Paraná. Constataram, então, dois períodos principais: o primeiro entre 0,12 Ma a 0,13 Ma; e o segundo entre 0,013 Ma a 0,064 Ma. Esses períodos estão relacionados com fase de transição entre glacial e interglacial, nos estágios isotópicos 2-4 e 5-6; enquanto registros de coluvionamento entre 1 Ma a 0,13 Ma são raros, indicando prováveis fases de estabilidade e quiescência tectônica.

Informações sobre paleoambientes do BIV também corroboram os dados LOE de Sallun e Suguio (2010). Estudos paleoambientais em sedimentos na planície do rio Ivaí, constataram que, do Pleistoceno Médio (150.000 anos) ao Holoceno (8.000 anos), houve predominância de ambientes mais secos que o atual, com predomínio de vegetação tipo campos (JABUR, 1992; GUERREIRO, 2011; RASBOLD et al., 2010; MARCOTTI, 2012; SANTOS, 2013).

Dados de geocronologia de intemperismo por (U-Th-Sm)/He em goethitas sob superfícies interplanáltica I e II (Figura 1 A), também reforçam essa interpretação. Segundo esses dados, os ferricretes apresentam provável início da cristalização de goethitas em 3,67 milhões de anos (Ma), significando tempo mínimo da presença deles, na paisagem, desde o Plioceno (FUMIYA, 2021). O último registro de precipitação de goethitas foi há 0,13 Ma, período em que, provavelmente, ocorreu a interrupção de fluxo lateral de ferro, e se iniciaram o processo de inversão e relevo e a migração dos divisores da margem esquerda do baixo Ivaí (BIV), em resposta a mudanças do nível de base do rio Paraná.

Desse modo, pelas evidências observadas, supõe-se que os ferricretes são testemunhas de períodos de estabilidade geomorfológica (ferruginização), e de instabilidade, com perturbações recentes do sistema (desmantelamento e migração de divisores), podendo ser utilizados como um tipo de dado proxy, indicador de transformações do relevo no Noroeste do Paraná.

Esses resultados, considerados também em outros estudos (COUTO et al., 2018; SALLUN e SUGUIO, 2000), permitem que, no presente trabalho, seja proposto um modelo de transformação da paisagem no Noroeste do Paraná, com foco no BIV. O modelo contempla três fases de esculturação do relevo e se baseou na inter-relação entre os estudos da morfotectônica, transformações pedológicas, inversão dos ferricretes e geocronologia (LOE, (U-Th-Sm)/He e ^{10}Be), e será descrito a seguir:

Fase 1:

Considerada como desestabilização e denudação da paisagem e aplainamento no Plioceno. Essa denudação pode ter induzido a instalação de fluxos laterais de água e transportado ferro em solução (Fe^{2+}), para partes baixas da paisagem, no referido caso, as cabeceiras de drenagem, permitindo o desenvolvimento dos ferricretes.

Fase 2:

Nesta fase, ocorreu o aprofundamento do nível de base do rio Ivaí no Pleistoceno Superior (0,13 Ma), e, a partir desse momento, intensificou a denudação até o presente, principalmente na margem esquerda do BIV. O aumento na intensidade da denudação resultou na migração dos divisores da margem esquerda do BIV, expôs os ferricretes gerados em cabeceiras de drenagem (erosão diferencial), e gerou a inversão de relevo. Ocorreu, também, o início e a evolução dos Argissolos, por transformação pedológica lateral (NAKASHIMA, 2000; GASPARETTO, 1999).

Fase 3:

A última fase, representativa do cenário atual, exibe as seguintes características para a margem esquerda do BIV: desmantelamento generalizado dos ferricretes e avanço remontante dos Argissolos em relação à fase anterior, alcançando até a média vertente (entre cotas de 400 a 300 m) e rara preservação de ferricretes autóctones. Para a margem direita, porém, embora com menor taxa de denudação, ainda não permitiu o amplo desenvolvimento de colinas e morrotes sustentados por ferricretes e Argissolos expressivos nas encostas.

6. CONSIDERAÇÃO FINAL: DEBATE ENTRE MORFOTECTÔNICA, INVERSÃO DE RELEVO, GEOCRONOLOGIA E O MODELO POLICÍCLICO DA PAISAGEM

Na história da geomorfologia brasileira, segundo Vitte (2008), a concepção da elaboração de superfícies aplainadas apresenta duas grandes matrizes epistemológicas:

- A primeira compreende desde o final do século XIX até a década de 1950, em que o paradigma dominante era o "Ciclo Geográfico da Erosão" elaborado por Davis (1899).
- A segunda consiste no advento da teoria da Pediplanação (KING, 1953), e sua adaptação às condições intertropicais do Brasil a partir do Modelo Policíclico do Relevo, e a posteriores proposições de métodos para análise do relevo (AB'SABER, 1969), e da teoria dos Refúgios Florestais (AB'SABER 1979; VANZOLINI, 1981, 1992), que auxiliam o modelo policíclico.

É nesse contexto do paradigma da Pediplanação que, no século XX, foi interpretada a esculturação do relevo no Noroeste do Paraná, via interpretação morfológica por imagens de radar (RADAM Brasil), análise *in loco* de materiais resultantes dos processos geomorfológicos e relacionados ao aplainamento. Como exemplo dos produtos desses processos geomorfológicos, têm-se os depósitos correlativos, os quais são relacionados a colúvios em encostas, zonas de transição entre unidades morfológicas e *stone lines*, compostas por ferricretes em divisores do Ivaí-Piquiri.

No entanto, como exposto antes, análises mais detalhadas dos materiais com foco na gênese dos ferricretes, apontam que a posição atual dessas concentrações ferruginosas é produto de inversão de relevo (0,016 Ma a 0,010 Ma). E essa inversão, por sua vez, é causada pelo encaixamento do talvegue do rio Paraná no Quaternário, que gera, como resposta nos tributários do BIV, o rejuvenescimento do sistema fluvial, a intensificação da denudação e a migração dos divisores.

Por conseguinte, não é possível, na relação direta, atribuir *stone line* composta por ferricrete como produto do aplainamento, visto ser ela produto de inversão de relevo e não de depósito correlativo de origem exclusiva ao aplainamento.

Têm-se, portanto, diversos dados que convergem para a transformação do modelado no Quaternário, a partir de processos denudacionais, resultados da mudança do nível de base.

Outro dado de importância à análise da cronologia de superfície de erosão refere-se ao estabelecimento das idades de cristalização das goethitas, contidas nos ferricrete (U-Th-Sm)/He), cujos minerais supérgenos indicam a presença desse horizonte há, no mínimo, 3.67 Ma na paisagem. Essa idade pode estar relacionada a períodos de denudação da paisagem bem como, provavelmente, ao aplainamento, o que tornou possível estabelecer zonas convergentes para o fluxo de ferro em solução (cabeceiras de drenagem ou *dales*), que permitiu sua concentração até 0,13 Ma.

Desse modo, é possível que a idade de superfícies aplainadas no Noroeste do Paraná remonte ao Plioceno ou até mais antigo, e seu reafeiçoamento a partir do Pleistoceno Superior (0,13 Ma) até o presente, tenha sido causado pela mudança do nível de base do rio Paraná, de origem provavelmente tectônica no Quaternário.

Demonstra-se, assim, a partir do presente estudo, que a associação entre modelos clássicos de evolução da paisagem, no referido caso o modelo policíclico, e a abordagem morfotectônica, gênese de ferricretes e geocronologia, permitem o refinamento de processos acerca da caracterização dos processos geomorfológicos pretéritos, responsáveis pela esculturação de formas de relevo, no Noroeste do Paraná.

Nesse sentido, a análise morfotectônica associada à geocronologia (isotópica e cosmogênica) permite uma abordagem numérica e cronológica adequada para análise de superfícies terrestres nas escalas locais e regionais. E, ainda, deve melhorar a capacidade de testar a confiabilidade dos clássicos modelos de evolução da paisagem, amplamente abandonados, mas não refutados (VASCONCELOS e CARMO, 2018).

Como exemplo dessa renovação nos debates perante os modelos de aplainamento no Brasil, a partir da morfotectônica e geocronologia (radioisotópica e cosmogênica), é possível citar as unidades geomorfológicas da Serra de Carajás (VASCONCELOS et al., 1994; MONTEIRO et al., 2018) e do Sudeste do Brasil – Quadrilátero Ferrífero (VASCONCELOS e CARMO, 2018), que se esculturam de acordo com o modelo de King (1953).

Já no Nordeste do Brasil, o princípio do relevo escalonado não é aplicável extensivamente, visto que processos tectônicos distensivos são os mais ocorrentes nessa região, no Cenozóico, não permitindo, por sua vez, a evolução de superfícies escalonadas (LIMA, 2008; PEULVAST e SALES, 2000).

A vista disso, o modelo policíclico e o método de análise do relevo (cronoestratigrafia), na década de 1960, foram fundamentais para se construir um paradigma na geomorfologia brasileira, exercendo forte influência nas pesquisas geomorfológicas do Brasil, até o presente. Mesmo porque nada mais relevante foi construído em termos teóricos e metodológicos para se buscar análises mais precisas e profundas sobre a gênese do relevo brasileiro (VITTE, 2011).

Na fase atual de um dos ramos de estudo da geomorfologia brasileira (século XXI), ocorre a retomada da avaliação para a veracidade dos modelos de evolução da paisagem só foi possível devido ao desenvolvimento tecnológico dos últimos 70 anos e ao surgimento de novos procedimentos para detecção de isótopos radioativos e cosmogênicos (^{36}Cl, ^{26}Al ,^{10}Be, ^{3}He, ^{53}Mn, $^{40}Ar/^{39}Ar$ e (U-Th)/He), aplicados a estudos geológico-geomorfológico. E que tem auxiliado na melhor compreensão e no preenchimento de lacunas a respeito dos processos espaço-temporal, responsáveis pela elaboração das formas de relevo terrestre (VASCONCELOS et al., 1992).

Outra questão nos debates geomorfológicos do século XXI é a análise dos efeitos tectônicos recentes, cada vez mais aceita na geologia e geomorfologia brasileiras. Com essa matriz interpretativa, não apenas passa-se a questionar a tectônica em áreas cratônicas, mas também a se redefinir impactos no relevo brasileiro, agora em nível de escala local e regional (VITTE, 2011). Sendo assim, torna-se possível responder aos questionamentos do modelo policíclico de Aziz-Bigarella, apresentados na década de 1990, como foi o caso apresentado no Noroeste do Paraná, em que foi possível propor um quadro cronológico para formas de relevo pretérito e efeitos tectônicos no Quaternário, que desencadearam processos de reorganização do sistema fluvial, inversão do relevo e transformações pedológicas com avanço remontante de Argissolos em encostas, principalmente na margem sul do BIV. Dessa forma, confere-se que continuam ocorrendo adaptações de todo o sistema (relevo, drenagem, solos) perante as novas condições de incisão do talvegue dos rios Paraná-Ivaí, no Noroeste do Paraná.

Referências Bibliográficas

AB'SABER, A. N. A geomorfologia a serviço das pesquisas do quaternário. **Geomorfologia**, v. 18, p. 1-23,1969.

AB'SABER, A. N. Pavimentos detríticos atuais e subatuais das caatingas brasileiras. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v.2, p.48-49, 1959.

AB'SABER, A. N. Posições das superfícies aplainadas no planalto brasileiro. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v.3, p.52-54, 1960.

AB'SABER, A. N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, v.18, p.1-23, 1969.

AB'SABER, A. N.; BIGARELLA, J. J. Superfícies aplainadas do primeiro planalto do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, nº4/5, p.116-125, 1961.

AB'SABER, A. N.; BROWN Jr, K. S. Ice-age Forest refuges and evolutions in the neotropics: correlation of paleoclimatological, geomorphological and pedological data with modern biological endemism. **Paleoclimas**, nº5, 1979.

AB'SABER, A.N. Revisão dos conhecimentos sobre horizonte subsuperficial de cascalhos inhumados no Brasil oriental**. Boletim da Universidade do Paraná**, Geografia física, nº2, 32p., 1961.

ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A Bacia do Paraná e o vulcanismo Mesozóico. In: Mapa Geológico do Estado de São Paulo, **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo** S/A, escala 1:500.000, v.1, 46-81p, 1981.

ALMEIDA, F.M.F. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, v.41, 169-263p., 1964.

BEAUVAIS, A.; RUFFET, G.; HÉNROCQUE, O.; COLIN, F. Chemical and physical erosion rhythms of the West African Cenozoic morphogenesis: The 39Ar-40Ar dating of supergene K-Mn oxides. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v. 113, 2008.

BEST, J. L. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. **Sedimentology**, v.35, p.481-498, 1988.

BIGARELLA, J. J. Variações climáticas no Quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**, n°10, 211-231, 1964.

BIGARELLA, J. J.. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: editora UFSC, v.3, 2003.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**. Curitiba: UFPR, n°16 e 17, 1965b.

BIGARELLA, J.J.; MARQUES, P.L.; AB'SABER, A. N. Ocorrência de pedimentos remanescentes nas fraldas da Serra do Iqueririm (GARUVA, SC). **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n°4/5, p.82-93, 1961.

BONNET, N. J.; BEAUVAIS, A.; ARNAUD, N.; CHARDON, D.; JAYANANDA, M. First $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of intense Late Paleogene lateritic weathering in Penisular India. **Earth and Planetary Science Letters**, v.386, 126-137p, 2014.

BOURMAN, R. P., OLLIER, C. D. A critique of the Shellmann definition and classification of laterite. **Catena**. 47, 117-13, 2002.

BÜDEL, J. Die doppeleten Einebnugsflächen in den feuchten Tropen. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Stuttgart, n°1, p.201-288, 1957.

COLIN, F.; MOULE, F. FÉRAUD, G.; FLICOTEAUX, R. Ages and lateritic weathering rate in northern Brazil deduced from cryptomelane $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.68, p.439-439, 2004.

COUTO, E. V. **Evolução denudacional de longo prazo e a relação solo-relevo no Noroeste do Paraná.** Tese (Doutorado) - UFPR, Curitiba, 113p, 2015.

COUTO, E. V.; SANTOS, L. J. C.; SORDI, M. V.; BOULÈS, D.; BRAUCHER, R.; SALGADO, A. A. R.; LÉANNI, L. Changes of the base levels in the Ivaí and Paraná Rivers confluence zone (Southern Brazil): Denudational reflexes in the evolution of the upstream drainage network. **Zeitschrift für Geomorphologie**, vol. 62/1, p.23-40, 2018.

CREMON, E. H. **Leques aluviais na calha do rio Paraná: morfometria e relações geomorfológicas**. Monografia do curso de Geografia. UEM, Maringá-PR, 2009.

DAMUTH, J. E.; FAIRBRIDGE, R. W. Equatorial atlantic deep-sea arkosic sands and ice-age aridy in tropical South America. **Geology Society of America Bulletin**, nº81, 1970.

DAVIS W. M. The geographical cycle. **Geography Journal**. nº14(5): 481-504, 1899.

DEQUINCEY, O., CHABAUX, F., CLAUER, N., SIGMARSSON, O., LIEWIG, N., LEPRUN, J. C. Chemical mobilizations in laterites: evidence from trace elements and

^{238}U-^{234}U-^{230}Th desequilibria**. Geochimica et Cosmochimica** Acta. 66, 1197-1210, 2002.

DICTIONARY OF SCIENCES. ALLABY, M. (ed.), 3rd ed, Oxford: Oxford University Press, p.661, 2008.

DIXON, S. J.; SAMBROOK SMITH, G. H.; BEST, J. L.; NICHOLAS, A.P.; BULL, J. M., VARDY, M. E.; SARKER, M. H.; GOODBRED, S. The plataform mobility of river channel confluence: insights from analysis of remotely sensed imagery. **Earth Science Review**, v.176, p.1-18, 2018.

ERHART, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos**. Notícia Geomorfológica**, Ano VI, nº 11, p. 51-58, 1966.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, 1992.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, nº3, p.164-176, 1994.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M.; BRANDT NETO, M. Silicificação hidrotermal neocretáceo na porção meridional da Bacia Bauru. **Revista do Instituto Geológico**, v.14(2), p.19-26, 1993.

FERNANDES, L. A.; COUTO, E. V.; SANTOS, L. J. C. Três Morrinhos, Terra Rica, PR, Arenitos silicificados de dunas do Deserto Caiuá testemunho nível de superfície de aplainamento K-T. In: WINGE, M. et al. (edit/org.). Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. vol.III. Brasília. **Serviço Geológico do Brasil – CPRM**, v.3, p.69-87, 2012.

FORTES, E.; VOLKMER, S.; STEVAUX, J. C. Neotectonics and channel evolution of the lower Ivinhema river: a right-bank tributary of upper Paraná river, Brazil. **Geomorphology**, v.70, p.325-338, 2005.

FRANCO, A. L. M.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; STEVAUX, J. C. Hipótese sobre os condicionantes e neotectônico do barramento natural da foz do rio Ivaí (PR/MS) com base em levantamento ecobatimétrico. **Revista de Geociências**, v.7, p.78-86, 2008.

FUMIYA, M. H. **Gênese dos ferricretes e sua relação com transformações da paisagem no Noroeste do Paraná.** Tese (doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 164p., 2017.

FUMIYA, M. H., SANTOS, L. J. C., RIFFEL, S. B. Morphostratigraphy of ferruginous duricrusts in the Northwest of Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 20, 707-717, 2019.

FUMIYA, M. H.; SANTOS, L. C. J.; RIFFEL, S. B. **Genesis of the ferricretes and relief inversion during the Quaternary in North-west Paraná**. Catena, submitted, 2021.

FUMIYA, M. H.; SANTOS, L. J. C. Datação por (U-Th-Sm)/He em ferricretes no Noroeste do Paraná. In: **XII Simpósio Nacional de Geomorfologia**, submetido, 2021 (Submetido).

FUMIYA, M. H.; SANTOS, L. J. C.; MANGUEIRA, C. G.; COUTO, E. V. C. Emprego do Índice de Concentração da rugosidade para a identificação de feições morfológicas associadas às crostas ferruginosas no Noroeste do Paraná**. Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol.17, n.3, p.465-480, 2016.

GASPARETTO, N. V. L. **As formações superficiais do Noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá.** Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 172p., 1999.

GUERREIRO, R. L. **Evolução geomorfológica e paleoambiental dos terraços do alto rio Paraná na área de confluência com o rio Ivaí.** Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 70p., 2011.

HÉNOCQUE, O.; RUFFET, G.; COLIN, F.; FÉRAUD, G. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of West African lateritic cryptomelanes. **Geochimica et Cosmochimica Acta,** v.62, p.2739-2756, 1998.

JABUR, I. C. **Análise paleoambiental do Quaternário superior na bacia do alto Paraná**. Tese (doutorado), Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1992.

JUSTUS, J. O. **Subsídios para interpretação morfogenética através da utilização de imagens de radar**. Dissertação (Mestrado), Departamento de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1985.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental**. Revista Brasileira de Geociências**, v.18, nº2, p.147-265, 1956.

KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. **Bulletin of the Geology Society of America, v**.64(7), 721-732p, 1953.

LUZ, L. D. **Aspectos paleoambientais do quaternário superior na região de Campo Mourão, Paraná.** Dissertação (Mestrado), Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2014.

MAACK, R. **Geografia física do Paraná**. CODEPAR, UFPR, 350p., 1968.

MARCOTTI, T. C. B. **Paleogeografia do Pleistoceno Tardio e Holoceno na região do baixo curso do rio Ivaí - Icaraíma e Santa Mônica/PR**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação Mestrado em Geografia da UEM, 62p., 2012.

MARTIN, C. M. **Gênese da silicificação de arenitos neocreotáceos da Bacia Bauru por análise de inclusões fluidas em cimentos**. Trabalho de conclusão de curso (TCC), Setor Ciências da Terra – Geologia, Universidade Federal do Paraná, 2017.

MIALL, A.D.; JONES, B.G. Fluvial architecture of Hawkesbury sandstone (Triassic) near Sydeney, Australia. **Journal of Sedimentary Research**, v.73, p.531-545, 2003.

MONTEIRO, H. S.; VASCONCELOS, P. M. P.; FARLEY, K. A. A combined (U-Th)/He and cosmogenic ^{3}He record of landscape armoring by biogeochemical iron cycling. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, vol.123, p.298-323, 2018.

MORAIS, E. S. de; SANTOS, M. L. dos; CREMON, E.; STEVAUX, J. C. Floodplain evolution in a confluence zone: Paraná and Ivaí rivers, Brazil. **Geomorphology**, v.257, p.1-9, 2016.

MORAIS, E. S. **Evolução da planície de inundação e confluência do rio Ivaí e rio Paraná na região do Pontal do Tigre, Icaraíma-PR: Uma abordagem Geomorfológica**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação Mestrado em Geografia da UEM, 65p., 2010.

MOSLEY, M. P. A experimental study of channel confluences. **The Jornal of Geology**, v.84, p.535-562, 1976.

NAKASHIMA, P. **Sistema pedológico da região Noroeste do estado do Paraná: Distribuição e subsídio para o controle da erosão**. Tese (Doutorado), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 162p., 2000.

OLLIER, C. D., GALLOWAY, R. W. The laterite profile, ferricrete and unconformity. **Catena**. 17, 97-109, 1990.

PENCK, W. Die **Morphgischa Analyse I Engelhorn's Nachaf (1924). Translated: Mophological analisys of landforms: a contribuition to physical geology**. London, 429p, 1953.

PERRON, J. T.; ROYDEN, L. An integral approach to bedrock river profile analysis. **Earth Surface Process and Landform**, v.38, p.570-576, 2012.

PESSENDA, L. C. R.; VALENCIA, E. P. E.; CAMARGO, P. B.; TELLES, E. C. C.; MARTINELLI, L. A.; CERRI, C. C.; ARAVENA, R.; ROZABSKI, K. Natural radiocarborn measurements in Brazilian soil developed on basic rock. **Radiocarbon**. Ney Haven, vol.38. nº2, 203-208p, 1996b.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. **Dispositivos morfo-estruturais e evolução morfotectônica da margem passiva transformante do Nordeste brasileiro**. III Simpósio Nacional de Geomorfologia, Campinas, 2000.

RASBOLD, G. G.; GUERREIRO, R. L.; PAROLIN, M.; STEVAUX, J. C. Utilização de fitólito em reconstrução paleoambiental do Holoceno Tardio no Noroeste do estado do Paraná. In**: XII Reunião regional de paleontologia dos estados do Paraná e Santa Catarina – Paleo PR/SC**, 2010.

SALLUN, A. E. M.; SUGUIO, K. Quaternary colluvial episodes (Upper Paraná River Hydrographic Basin, Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências** (impresso), v.82, p.701-715, 2010.

SALLUN, A. E. M.; SUGUIO, K.; STEVAUX, J.C. Proposição formal do alogrupo alto rio Paraná (SP, PR e MS). São Paulo: **Geologia USP – Série Científica**, v.7, p.49-70, 2007.

SAMPAIO, T. V. M.; AUSGUSTIN, C. H. R. R. Índice de Concentração da Rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio à cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15(1), p. 47-60, 2014.

SANTOS, J. C. A. **Paleogeografia e paleoambientes do baixo curso do rio Ivaí-PR**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação Mestrado em Geografia da UEM, 84p., 2013.

SANTOS, M. L.; STEVAUX, J. C.; GASPARETTO, N. V. L.; SOUZA FILHO, E. E. Geologia e geomorfologia da planície aluvial do rio Ivaí-PR**. Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.1, p.23-34, 2008.

SCHWARZ, T. Ferricrete and relief inversion: an example from Central Sudan. **Catena**. 21, 257-268, 1994.

SOUZA FILHO, E. E. **Aspecto da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR)**. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, USP, São Paulo: 224p., 1993.

SOUZA JUNIOR, M. D. **Efeitos tectônicos na formação da paisagem da bacia hidrográfica do rio Ivaí, curso inferior**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação Mestrado em Geografia da UEM, 100p., 2012.

SOUZA JUNIOR, M. D., SANTOS M. L., SALAMUNI, E., STEVAUX, J. C.; MORALES, N. Análise morfotectônica da bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR, curso inferior. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** v.14, p.213–220, 2013.

STEVAUX, J. C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Paraná River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, v.72, p.73-85, 2000.

STEVAUX, J. C. **O rio Paraná: geomorfogênese, sedimentologia e evolução Quaternária de seu curso superior**. Tese (Doutorado), nstituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

STEVAUX, J. C. The Upper Paraná River (Brazil) geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. In: **Quaternary International**, v.21, p.143-161, 1994.

ULLAH, M. S.; BHATTACHARYA, J. P.; DUPRE, W. R. Confluence scours versus incised valley: examples from Creaceous Ferron Notom Delta, Southeastern Utah, USA. **Journal of Sedimentary Research**, v.85, p.445-458, 2015.

VANZOLINI, P. E. Paleoclimas e especiação em animais da América do Sul tropical. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.6, p.41-65, 1992.

VANZOLINI, P. E.; WILIAMS, E. E. The vanishing refuge: a mecanismo for ecogeographic speciation. **Papéis avulsos Zoologia**, São Paulo, v.34(23), p.251-255, 1981.

VASCONCELOS, P. M.; CARMO, I. de O. Calibrating denudation chronology through $^{40}Ar/^{39}Ar$ weathering geochronology. **Earth-Science Reviews**, v. 179, p. 411-435, 2018.

VASCONCELOS, P. M.; CONORY, M. Geochronology of weathering and landscape evolution. Dulgald River valley, NW Queensland Australia. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.67, p.2913-2930, 2003.

VASCONCELOS, P. M.; FARLEY, K. A.; STONE, J.; PIACENTINI, T.; FIFIELD, L. K. Stranded landscape in the humid tropics: Earth's oldest land surface. **Earth and Planetary Science Letters,** 519, 152-164, 2019.

VASCONCELOS, P. M.; RENNE, P.R.; BRIMHALL, G.H.; BECKER, T.A. Analysis of supergene jarosite and alunite: implications to the paleoweathering history of the western USA and West Africa. **Geochimica et Cosmochimica**, v.58, p.401-420, 1994b.

VASCONCELOS, P. M.; RENNE, P.R.; BRIMHALL, G.H.; BECKER, T.A. Direct dating of weathering phenomena by $^{40}Ar/^{39}Ar$ and K-Ar analysis of supergene K-Mn oxides. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.58, p.1635-1665, 1994a.

VASCONCELOS, P. M.; TIM, A. B.; RENNE, P. R.; BRIMHALL, G. H. Age and duration of Weathering by ^{40}K-^{40}Ar and $^{40}Ar/^{39}Ar$ analysis of potassium-manganese oxides. **Science**, v.258, 451-455p, 1992.

VITTE, A. C. A construção da geomorfologia brasileira: as transformações paradigmáticas e o estudo do relevo. **Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, v.12, nº2, p.36-45, 2008.

VITTE, A. C. A construção da geomorfologia no Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** v.12, p.91-118, 2011.

WIDDOWSON, M. **Laterite and ferricrete**. In: Nash, D. J.; MacLAREN, S. J. (Eds.). Geochemical sediments and landscape. Blackwell. Malden, p. 46-94, 2007.