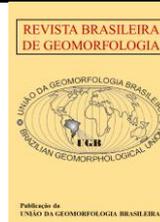




<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664



Artigo de Pesquisa

Mapeamento de superfícies de aplanamento no centro-norte da Amazônia

Mapping of planation surfaces in the north-central Amazon

José Roberto A. Mantovani¹, Guilherme Taitson Bueno²

¹ UNESP/ICT, Desastres Naturais, São José dos Campos-SP, Brasil. E-mail. j.mantovani@unesp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7051-5304>

² UFG/IESA, Geografia, Goiás-GO, Brasil. E-mail. gtaitson@ufg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4259-7354>

Recebido: 16/02/2024; Aceito: 22/11/2024; Publicado: 03/12/2024

Resumo: Neste trabalho propõe-se identificar as superfícies de aplanamento e seus relevos dissecados na Amazônia, partindo das terras altas da divisa entre Brasil, Venezuela e Guiana até próximo ao eixo do Rio Amazonas. Foi também avaliada sua relação com as formações superficiais associadas. Os dados de entrada para execução do algoritmo utilizado, foram gerados por meio de técnicas de geoprocessamento, o que permitiu a identificação de cinco superfícies de aplanamento: uma superfície cimeira, que foi associada à superfície Gondwana, entre 855 e 2.745 m; uma segunda superfície (525 a 854 m), associada à superfície Pós-Gondwana; uma terceira superfície, entre 279 e 524 m, associada à superfície Sul-Americana; uma quarta superfície, entre 114 e 278 m, associada à superfície Velhas I (*Early Velhas*), e uma quinta superfície, associada à superfície Velhas II (*Late Velhas*). Nas três primeiras superfícies predominam os solos pouco espessos, cuja presença foi atribuída à erosão das formações de superficiais originais com exposição da rocha ou de lateritos. As duas superfícies inferiores apresentam maior diversidade de solos em função, principalmente, da heterogeneidade das condições hidrológicas, áreas sob condições de drenagem deficiente. Além dos Latossolos e Argissolos, dominantes, encontram-se Espodosolos, Plintossolos, Gleissolos e Planossolos.

Palavras-chave: Superfícies de aplanamento; Geoprocessamento; Formações superficiais; Amazônia.

Abstract: In this work it is proposed to identify the planation surfaces and their dissected reliefs in the Amazon, starting from highlands on border between Brazil, Venezuela and Guyana to close to the axis of Amazon River. Its relationship with associated surface formations was also evaluated. The input data for running the algorithm used were generated using geoprocessing techniques, that allowed the identification of five planation surfaces: a summit surface, which was associated with the Gondwana surface, between 855 and 2,745 m; a second surface (525 to 854 m), associated with the Post-Gondwana surface; a third surface, between 279 and 524 m, associated with the South American surface; a fourth surface, between 114 and 278 m, associated with Velhas I surface (*Early Velhas*), and a fifth surface, associated with Velhas II surface (*Late Velhas*). On the first three surfaces, thin soils predominate, the presence of which was attributed to the erosion of original surface formations with exposure of rock or laterites. The two lower surfaces present greater soil diversity mainly due to the heterogeneity of hydrological conditions, areas with poor drainage conditions. In addition to the dominant Oxisols and Argisols, there are Spodosols, Plintisols, Gleisols and Planosols.

Keywords: Planation surfaces; Geoprocessing; Surface formations; Amazon.

1. Introdução

Tema central na geomorfologia até o início do século XX, as superfícies de aplanamento perderam importância relativa para estudos com foco em escalas espaciais e temporais mais restritas (OLLIER, 2000). Entretanto, a existência inquestionável de superfícies planas em diferentes posições altimétricas ou na forma de relevos relictuais, associadas a dinâmicas pretéritas, mostra que os relevos ajustados ao funcionamento bioclimático e morfoestrutural atuais não são a regra e que escalas temporais e espaciais mais abrangentes não podem ser negligenciadas. A gênese da atual paisagem geomorfológica do estado do Amazonas remonta ao evento de fragmentação do Cráton Amazônico no início do Paleozoico e à individualização dos escudos das Guianas e Sul-Amazônico (DANTAS e MAIA, 2010). Entre esses dois escudos foi gerada uma sinéclise de direção aproximada E-W, onde foi implantada a grande Bacia Sedimentar do Amazonas (NASCIMENTO et al., 1976), a qual sofreu uma fase de preenchimento desde o Eopaleozoico até o Cretáceo, quando foram depositados os arenitos da Formação Alter do Chão.

Franco et al., (1975), responsáveis pela seção de Geomorfologia dos primeiros volumes do Projeto RADAM sobre a região, identificaram dois níveis de aplanamento sobre as rochas do Escudo das Guianas, no centro-norte da Amazônia brasileira: o primeiro, mais antigo, corresponde aos topos das rochas do Grupo Roraima, na divisa com a Venezuela, na forma de relevos residuais que atingem os 1500 m, contornados por pedimentos. Segundo esses autores, trata-se dos restos de um antigo aplanamento, o mais alto e mais nitidamente identificável no Brasil. O segundo nível corresponde ao Pediplano Rio Branco-Rio Negro, que se separa do nível superior por uma zona de dissecação em cristas ravinadas. O Pediplano Rio Branco-Rio Negro apresenta relevos aplanados ou dissecados em colinas, de grande abrangência espacial e altitudes em torno dos 150 m, que ocupam a maior parte do Escudo das Guianas no Estado de Roraima e no norte do Estado do Amazonas. Dantas e Maia (2010) reconhecem as superfícies identificadas por Franco et al., (1975), por eles denominadas respectivamente Planalto do Divisor Amazonas-Orenoco e Superfícies Aplanadas do Norte da Amazônia, mas acrescentam, para a parte NE do Estado do Amazonas (ao norte do Lago de Balbina), a unidade do Planalto Residual do Norte da Amazônia. Essa unidade se apresenta como um planalto profundamente erodido, na forma de colinas e curtos platôs com topos de até 400 m de altitude (DANTAS e MAIA, 2010).

Vários autores definiram uma sucessão de superfícies de aplanamento para o Escudo da Guiana, incluindo King (1962) para a região amazônica, Choubert (1957) na Guiana Francesa, Pollack (1983) e Aleva (1984) no Suriname. As superfícies são mais desenvolvidas ao longo da borda do Norte e do Sul do Escudo e variam em elevação, sendo o ponto mais alto na parte central do Escudo, ao longo de um eixo NW-SE, que separa a bacia Amazônica das bacias hidrográficas costeiras do Norte. No lado norte do Escudo, todas as superfícies de aplanamento possuem uma configuração monoclinal, que as faz mergulhar em direção ao nível do mar.

Na Venezuela existe uma região conhecida como “*Gran-Sabana*” (SCHUBERT e HUBER, 1990; BRICEÑO e SCHUBERT, 1990), ao norte do Pacaraima. A “*Gran-Sabana*” é uma área plana, mas também existem várias áreas de planaltos de “*Tepuí*”, notavelmente o “*Maciço de Chimanta*”. Os “*Tepuis*” são planaltos controlados pela estrutura geológica, que nesse caso são estratos sedimentares proterozoicos horizontais. Os “*Tepuis*” são comumente considerados como formados pela erosão diferencial desses estratos. Schubert e Huber (1990) propõem que a evolução das superfícies de aplanamento na região que se estende da *GranSabana* até o vale do Orinoco ocorreu por repetidos aplanamentos e recuo de escarpas, durante o Fanerozoico.

Rabassa (2014), baseado em Schubert et al., (1986) e em Clapperton (1993), identifica 6 superfícies de erosão no Maciço da Guiana, no norte da Amazônia: a superfície “*Auyán Tepuí*”, encontrada apenas na Venezuela, situada entre 2000 e 2900 m, possivelmente mesozoica; a superfície “*Gondwana*”, situada entre 900 e 1200 m, também mesozoica; a superfície “*Sul-Americana*”, situada entre 600 e 700 m, eocênica; a superfície Velhas I (*Early Velhas*),

entre 200 e 450 m, oligo-miocênica; a superfície Velhas II (*Late Velhas*), entre 80 e 150 m, plio-pleistocênica; e a superfície “Paraguaçu”, entre 0 e 50 m, holocênica.

Bardossy e Freyssinet (2002), baseados em King (1962), Bardossy e Aleva (1990) e Tardy e Roquin (1998) encontraram as mesmas superfícies de Rabassa (2014) no Estado do Amapá, excetuando-se a “*Auyán Tepui*” e a Gondwana: “Sul-Americana”, a 200 m de altitude, do Paleoceno-Eoceno; Velhas I (*Early Velhas*), entre 5 e 100 m, do Mioceno inferior/Oligoceno; Velhas II (*Late Velhas*), entre 5 e 70 m, do Mioceno; “Paraguaçu”, entre 5 e 50 m, do Quaternário. Vasconcelos et al., (1994) estimaram, pela técnica do $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sobre óxidos de Mn, que o intemperismo do regolito associado à superfície “Sul-Americana”, em Carajás-PA, teve início há pelo menos 70 Ma (Cretáceo superior). Allard et al., (2018) dataram caolinitas e goethitas pelas técnicas de RPE e de (U-Th)/He e encontraram idades entre 1,7 Ma (Pleistoceno) e 16,7 Ma (Mioceno) para lateritos situados sobre a superfície Velhas II (*Late Velhas*) e ao nível da água de rios da bacia do Rio Negro-AM.

A identificação e localização das superfícies de aplanamento da região amazônica pode ser um ponto de partida para compreensão da distribuição dos tipos de formações superficiais (solos, sedimentos, lateritos) e dos tipos de paisagens daquela região. Neste estudo das superfícies de aplanamento da região amazônica partiu-se do princípio de que a atual paisagem amazônica é derivada do reafeiçoamento, sob diferentes paleoclimas e sob o clima atual, de um relevo composto por antigas superfícies aplanadas que se situam em diferentes níveis topográficos. Por terem diferentes idades, suas formações superficiais não devem apresentar as mesmas características, diferindo quanto à sua maturidade, propriedades físicas e químicas e quanto à concentração residual de minerais ou elementos químicos de valor econômico acumulados sob a alteração supérgena (MELFI e PEDRO, 1977; THOMAS, 1994; VALADÃO, 2009; RIBEIRO e RIBEIRO, 2010).

Nas regiões tectonicamente estáveis do globo, as superfícies de aplanamento apresentam comumente distribuição altimétrica escalonada, sendo as superfícies mais elevadas as mais antigas e as menos elevadas as mais jovens (KING, 1956). A dissecação das superfícies de aplanamento pela incisão fluvial constrói novos relevos, que devem ser necessariamente mais jovens que as superfícies aplanadas de que derivaram. Suas formações superficiais são também mais jovens do que as das superfícies situadas em nível altimétrico superior (OLLIER e PAIN, 2000; CAMPY e MACAIRE, 2003). Levando essas premissas em consideração, este estudo foi norteado pelas seguintes questões científicas: o mapeamento semiautomatizado baseado em estratificação altimétrica permitiria identificar satisfatoriamente as principais superfícies de aplanamento de uma região tectonicamente estável e apresentaria coerência com as superfícies reconhecidas na literatura? A distribuição espacial das superfícies de aplanamento mapeadas por estratificação altimétrica de uma região apresentaria relação com a distribuição espacial dos tipos de formações superficiais regionais (solos, lateritos, aluviões, ocorrências de minérios)?

Assim, visando contribuir com estudos da região amazônica, nesta pesquisa partiu-se do princípio de que a identificação e o mapeamento das superfícies de aplanamento fornecem um ordenamento do relevo e permitem inferir a distribuição das formações superficiais, além de possibilitar um melhor entendimento da gênese e da evolução da paisagem. Portanto, o objetivo deste trabalho foi mapear de forma semiautomatizada as superfícies de aplanamento e relevos dissecados associados, buscando verificar sua relação com a distribuição dos tipos regionais de formações superficiais (solos, ocorrências de minérios e lateritos).

2. Área de Estudo

A área estudada compreende uma faixa N-S com aproximadamente 236.000 km², entre os limites norte da Bacia Amazônica, na Venezuela e Guiana, e os limites sul do Escudo das Guianas, no Brasil, próximo ao eixo dos rios Negro e Amazonas (Figura 1). Optou-se por excluir os substratos geológicos da Bacia Sedimentar do Amazonas, por apresentarem camadas inclinadas para o sul (rumo ao eixo da bacia) e relevos de cuevas em sua

borda norte (IBGE, 2006), o que limitaria a aplicação do método baseado na estratificação altimétrica. Esta região apresenta representantes de todas as superfícies de aplanamento amazônicas, compreendendo desde a superfície mais baixa sobre o Escudo das Guianas, até remanescentes bastante dissecadas, que são considerados remanescentes da superfície Gondwana, nas terras elevadas do município de Pacaraima-RR e do sudeste da Venezuela e sudoeste da Guiana.

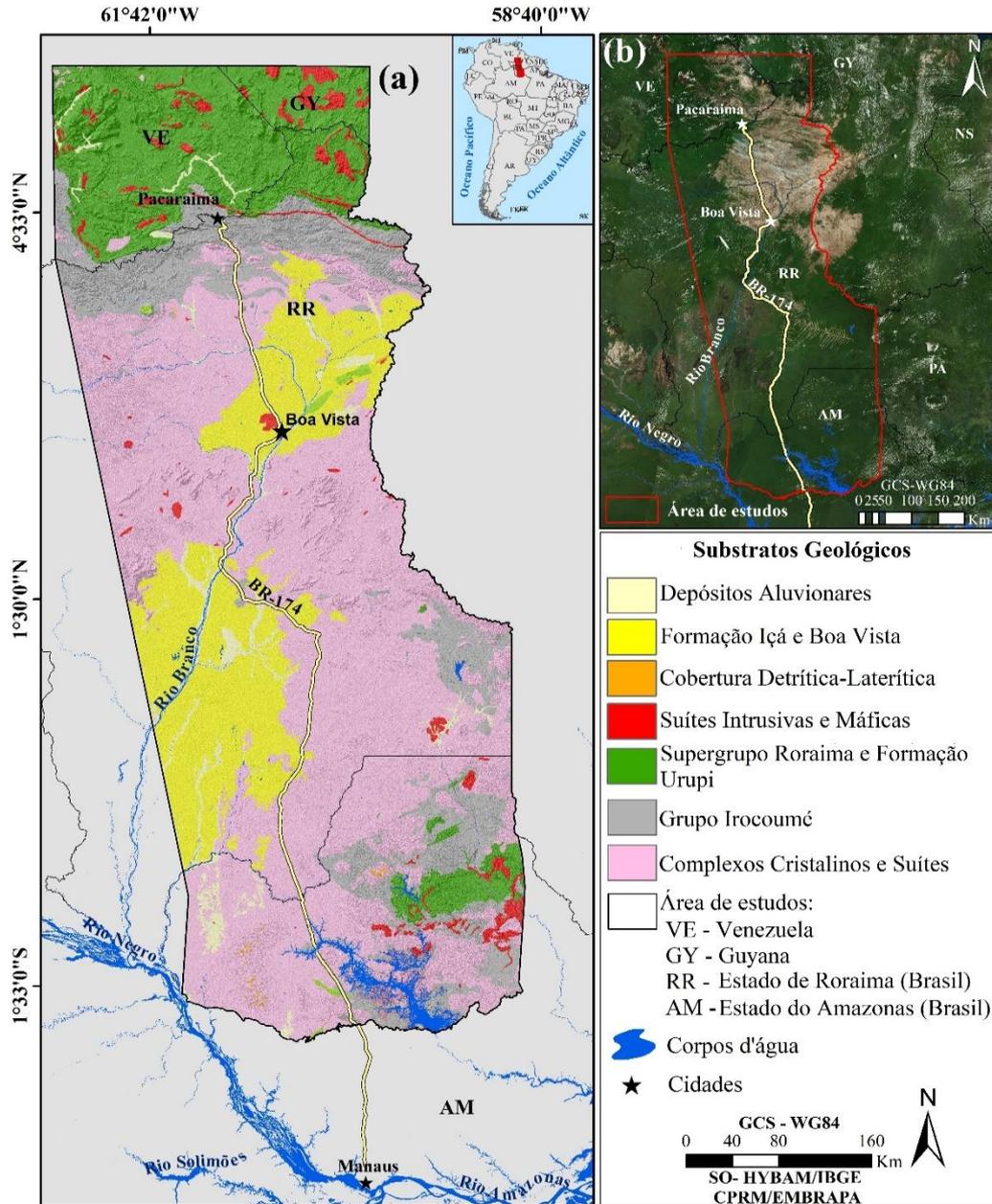


Figura 1. Localização da área de estudos; a) mapa de substratos geológicos simplificado; b) situação geográfica.

A área de estudo integra a unidade geológica morfoestrutural: de terrenos mesoproterozoicos do Escudo das Guianas (Domínio Uatumã-Anauá), nas partes centro-leste e norte da área de estudos, representados 1.1) pelas rochas básicas intrusivas do Grupo Irocoumé (riolitos, dacitos e andesitos); 1.2) pelas rochas dos complexos cristalinos e de suítes intrusivas (granodioritos e monzogranitos da Suíte Intrusiva Água Branca; gnaisses e migmatitos do Complexo Jauaperi; sieno-granitos e monzogranitos da Suíte Intrusiva Mapuera; basaltos e diques de diabásio da Formação Seringa) 1.3) pelos quartzo-arenitos da Formação Urupi e quartzo-arenitos e arcósios do

Supergrupo Roraima (Formações Canaima e Guaiquinima) (CPRM, 2006; HASUI, 2012; USGS, 1997); 2) uma extensa cobertura sedimentar pleistocênica, que se depositou sobre o substrato rochoso paleo e mesoproterozoico, compreendendo a parte NW da Bacia sedimentar do Solimões, no setor centro-oeste da área de estudos (Formações Içá e Boa Vista). Coberturas detrito-lateríticas eo-oligocênicas capeiam remanescentes de relevos tabulares sobre as rochas mais antigas, enquanto depósitos aluviais holocênicos encontram-se ao longo da rede de drenagem atual, por toda a área de estudos.

2. Materiais e Métodos

Os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos de acordo com as etapas descritas do fluxograma da Figura 2.

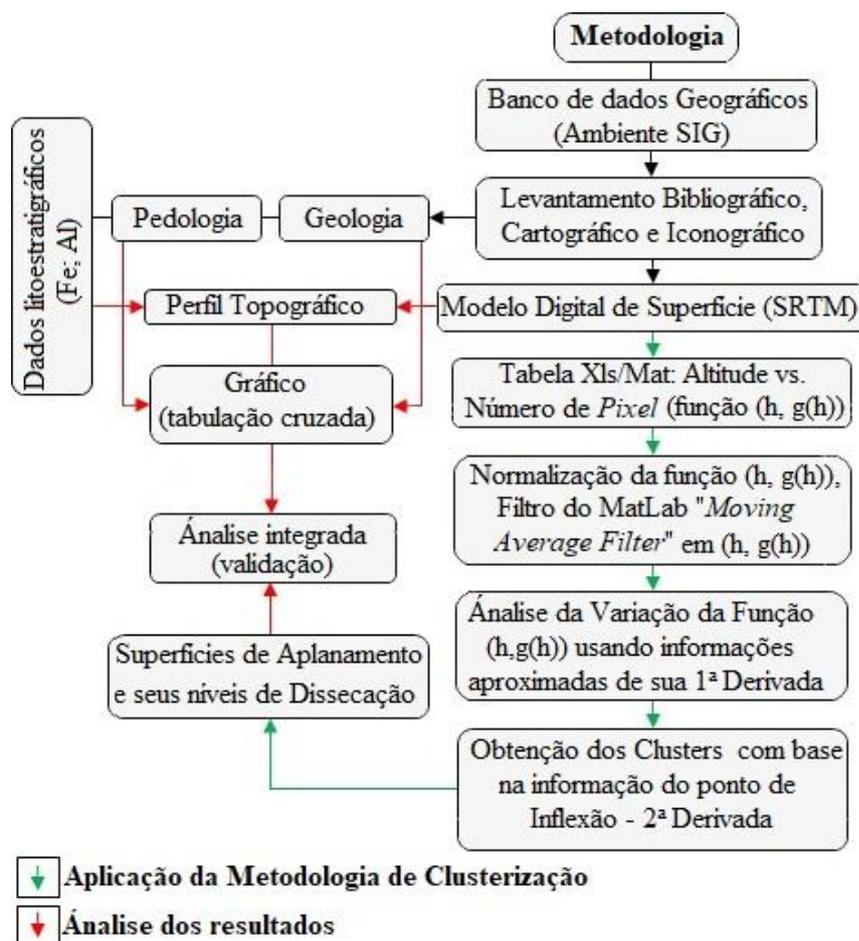


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Envolvendo o nível compilatório, a etapa inicial da pesquisa consistiu no levantamento de informações bibliográficas, cartográficas e iconográficas referente à área de estudo. Consistiram-se nas informações primárias referentes ao mapa temático de pedologia e geologia, na escala 1: 1.000.000, do projeto RADAMBRASIL (folhas SA.20 – Manaus, NA.20-Boa Vista, NA.21-Tumucumaque e NB-21-Roraima) (BRASIL, 1977), somadas aos dados dos mapas de geodiversidade estaduais da Amazônia (2009) e Roraima (2011), com escala de publicação de 1:800.000. Para os países situados na divisa da área de estudo, foram usados os mapas temáticos de geologia da Venezuela, com escala de publicação de 1:500.000 (USGS, 2006) e a carta geológica da região Caribenha (Guiana), com escala de publicação 1:2.500.000 (USGS, 1980).

Também foram utilizados dados lito estratigráficos de recursos minerais e ocorrências de perfis de solos do estado do Amazonas e Roraima, disponibilizados pelo Geobank da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), pelo IBGE (Instituto brasileiro de Geografia e Estatística) e pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), com um total de 228 amostras de solos, filtrados até o segundo nível categórico. À essas amostras, foram selecionados 54 perfis que continham coberturas detrito-lateríticas e lateritos (Fe e Al), acrescido de 4 dados lito estratigráficos de metais ferrosos (Fe) e 3 ocorrências de metais de Bauxita (Al). As informações referentes às estradas e rede de drenagem foram utilizadas na escala de 1:100.000, do SO-HYBAM (*Geodynamical, hydrological and biogeochemical control of erosion/alteration and material transport in the Amazon, Orinoco and Congo basins*).

Os materiais iconográficos consistiram em imagens do modelo de elevação digital usando dados SRTM disponíveis no site da ASF (Alaska Satellite Facility), reamostradas (up sampled) para 30 m para tamanho de pixel de 12,5 m com altitude ortométrica (modelo geóide EGM96), convertidas para altitude geométrica (elipsoidal). Como o número de cenas utilizadas para preencher a área de estudo foi elevado (aproximadamente 130 imagens), elas não serão aqui discriminadas.

Para validação e análise dos resultados também foram construídos perfis topográficos para analisar todos os compartimentos mapeados juntamente com gráficos de tabulação cruzada com a distribuição dos tipos de solo, substratos geológicas e amostras dos perfis de solos.

2.1 Aplicação da Metodologia de Clusterização para região Centro-Norte da AM

A metodologia de mapeamento utilizada é detalhada em Mantovani e Bueno (2022). Ela permite determinar, de forma semi-automatizada, os aglomerados representativos das superfícies de aplainamento e as faixas de altitude dos relevos resultantes da dissecação dessas superfícies. A frequência de pixels por altitude para a área estudada produziu uma função não linear: $(g(h))$, onde g (número de pixels) é uma função de h (altitude), conforme ilustrado na Figura 3.

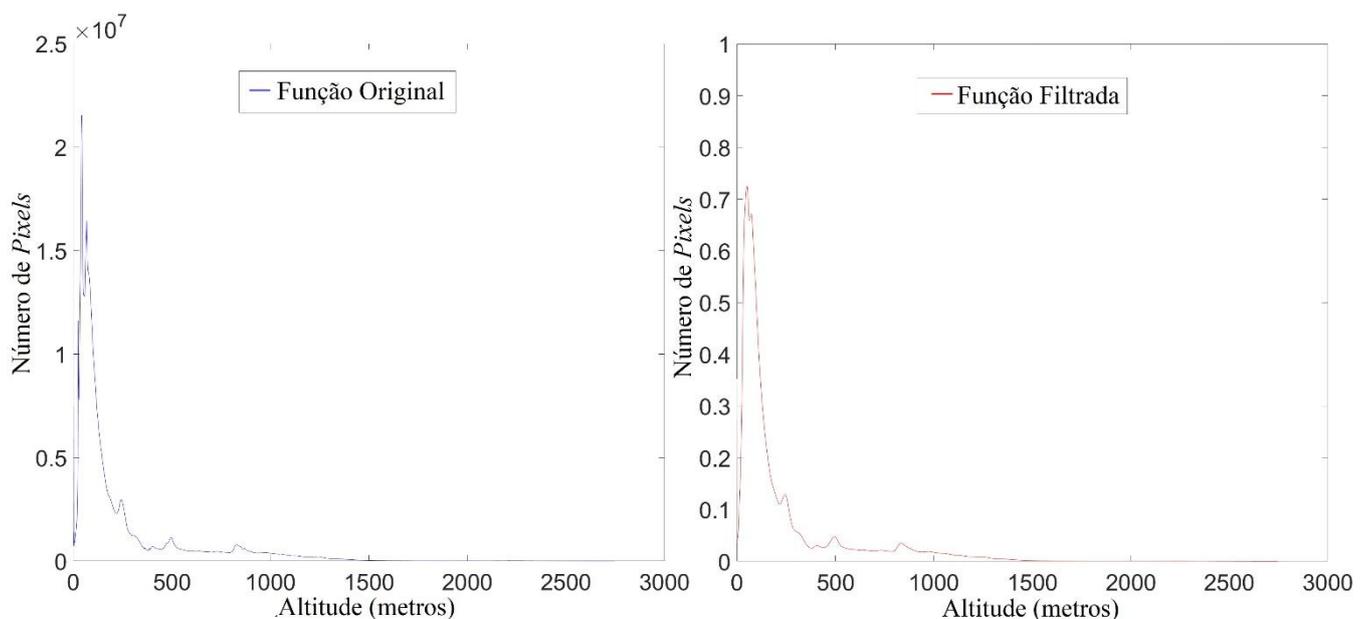


Figura 3. Número de *pixels* vs. altitude normalizados fornecidos pelo algoritmo para área de estudos (função original e função filtrada).

O método de mapeamento baseia-se na classificação não supervisionada da frequência de pixels para cada valor de elevação de uma área. Considera que altas frequências de pixels (picos no gráfico) indicam remanescentes de superfícies de aplainamento e que os segmentos com baixas frequências de *pixels* (altimetricamente abaixo de um pico ou entre picos) estão associados aos relevos dissecados da superfície de aplainamento localizados imediatamente acima. Assim, no método proposto, cada *pixel* é necessariamente atribuído a alguma superfície de aplainamento, pertencente ou às partes preservadas desta superfície ou às suas partes dissecadas (MANTOVANI E BUENO, 2022).

Foi construído um mosaico com as cenas do sensor SRTM. O algoritmo “Fill-Sinks” foi utilizado para preencher depressões espúrias, atribuindo novos valores aos *pixels* com anomalias, com base em informações dos vizinhos mais próximos (WANG e LIU, 2006). O mosaico DEM gerado foi composto por 2 colunas (Altitude/Pixel), com 2.728 linhas. A elevação variou de 0 a 2.745 m com uma média de 238 m. Posteriormente, a tabela de atributos com as informações de altitude vs. *pixel* foi exportada em um arquivo “xlsx” (EXCEL), para ser convertida em um arquivo “MAT” para leitura no *software* MatLab (MATrix LABoratory).

As principais etapas para aplicação do algoritmo de agrupamento são:

1. Leitura da base de dados da área de estudo: Tabela (xlsx) de altitude pelo número de *pixels*. Esta base de dados compõe a função original com vários ruídos de aquisição;
2. Definição do parâmetro, tamanho da janela de amostragem W , relativo à base dados;
3. Normalização da função altitude pelo número de *pixels*, e realização de sua filtragem usando o filtro de média móvel para eliminar as pequenas variações de medição e aquisição do sinal, obtendo-se a função $g(h)$. Na filtragem desta função, ocorre um deslocamento no eixo das abcissas de valor igual à metade da janela $(\frac{W}{2})$ entre a função originalmente definida pela base de dados e a função filtrada. Este deslocamento no valor das altitudes é eliminado nesta etapa e as funções, original e a filtrada, são colocadas em fase.
4. Colocação da função do sinal filtrado $g(h)$ na mesma referência de altitude da função original;
5. Determinação das funções distâncias ortogonais $d_1(h)$ e $d_2(h)$, dividindo a curva da função $g(h)$ em segmentos de comprimentos de tamanho igual à janela W , para obter a função $d_1(h)$ e a metade do tamanho da janela $(\frac{W}{2})$, para obter a função $d_2(h)$;
6. Obtenção da função $d(h) = d_1(h) + d_2(h)$. Esta função $d(h)$ representa indiretamente a primeira derivada de $g(h)$, e permite determinar a concavidade da função $g(h)$;
7. Efetuação do agrupamento inicial A_i^l , fazendo uma varredura na função $d(h)$. A partir do ponto inicial H_0 do domínio de $d(h)$, faz-se uma varredura no sentido crescente do domínio de $d(h)$ até encontrar o seu primeiro zero, o ponto H_1 , definindo-se então o primeiro *Cluster* A_1^l , formado pelas altitudes que compreendem o intervalo $\Omega_1 = [H_0, H_1]$. O segundo *Cluster* é obtido a partir de H_1 até encontrar o próximo zero de $d(h)$, o ponto H_2 , definindo-se o segundo *Cluster* A_2^l com altitudes que compreendem o intervalo $\Omega_2 = [H_1, H_2]$. Este procedimento é efetuado até encontrar o último valor de altitude válido e obter desta forma o último *Cluster*.
8. Realização do ajuste fino dos intervalos do agrupamento inicial:
 - Obtenção da função equivalente à derivada da função $d(h)$ para determinar os pontos em seu domínio em que ela é máxima e os pontos de inflexão (mudança de sinal). Os *Clusters* são definidos pelos conjuntos de alturas, h , compreendidos entre dois pontos de inflexão de $g(h)$.
 - No primeiro *Cluster*, A_1^l , a partir de H_0 , determinação do primeiro ponto de zero, H'_1 , da função $d'(h)$, que é o valor onde $d(h)$ é máximo (ou mínimo). A partir de H'_1 , continuar a varredura no domínio de

$d'(h)$ até encontrar um ponto de máximo (ou mínimo), que corresponde ao limite do *Cluster* A_1^l . O novo *Cluster* é então redefinido como sendo A_1 com o novo intervalo $\Omega_1 = [H_0, H_1^l]$. No caso em que $d(h) > 0$, ocorre um ajuste através da redução do intervalo Ω_1 , e os pontos do domínio compreendidos entre H_1^l e H_1 passam a fazer parte do *Cluster* A_2 . Prosseguindo com o procedimento de ajuste, determina-se o próximo *Cluster* em que $d(h) > 0$ e o ponto onde ocorre o seu máximo, $d'(H_2^l) = 0$. O *Cluster* A_2 é redefinido como sendo as altitudes do conjunto $\Omega_2 = [H_1^l, H_2^l]$. No caso do *Cluster* A_i^l , em que $d(h) < 0$, ocorre um ajuste do intervalo através do aumento do seu número de pontos.

De acordo com Mantovani e Bueno (2022), o único parâmetro que necessita ser calibrado no algoritmo proposto é o tamanho da janela, W , (em metros). Considerando que a base de dados adquirida para áreas de estudos na Região Centro-Norte da Amazônia foi obtida da mesma forma que a base de dados para a área situada ao norte de Minas Gerais, adotada para a elaboração e validação do algoritmo proposto em Mantovani e Bueno (2022), com as mesmas condições de testes (ruídos e precisão), também utilizou-se a janela $W=27$ para a aplicação da metodologia na região Centro-Norte da Amazônia.

3. Resultados

No gráfico da Figura 4 apresentam-se os resultados obtidos pelo agrupamento dos *Clusters* por meio do algoritmo utilizado. Cada concavidade do gráfico representa uma assinatura geométrica diferente na configuração das superfícies de aplanamento, não fornecendo, entretanto, nenhuma informação sobre as suas distribuições espaciais (pois não se trata de uma função linear em função da distância, estando distribuída aleatoriamente em toda a área de estudo) (Mantovani e Bueno, 2022). As maiores concentrações de *pixels* indicam possíveis superfícies aplanadas preservadas.

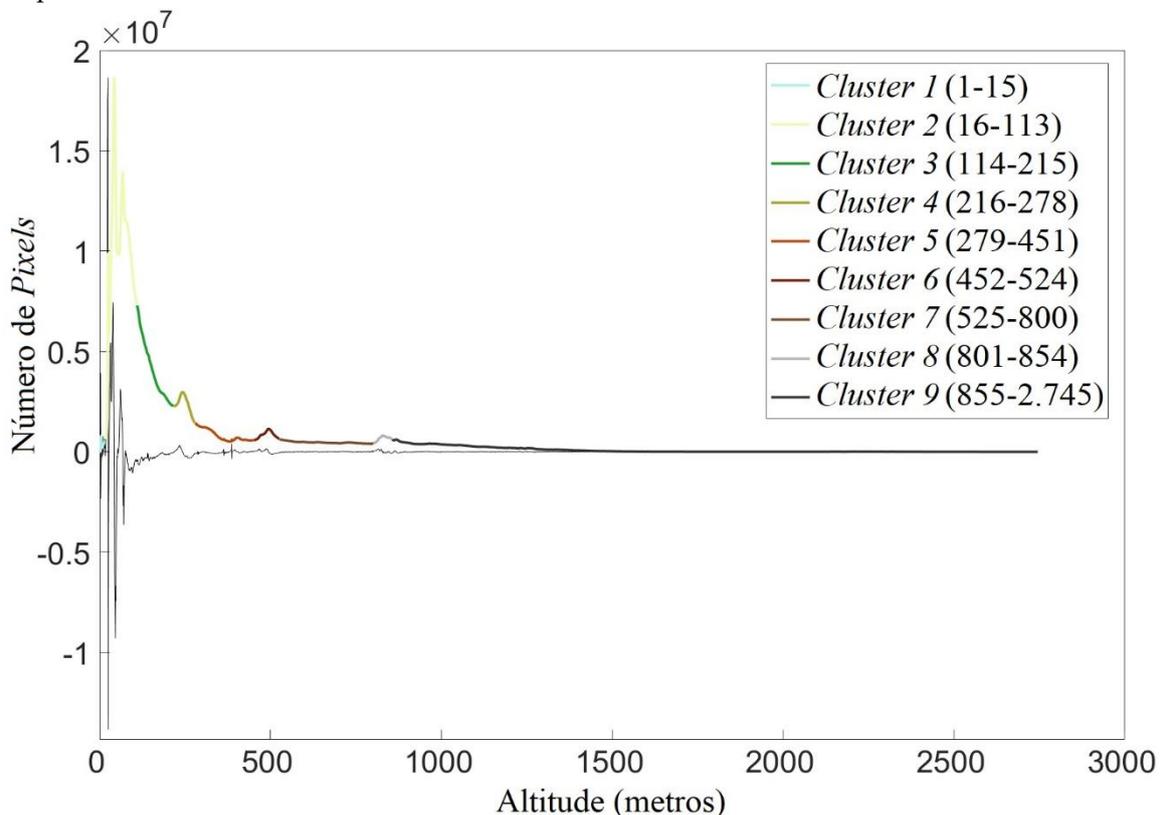


Figura 4. Agrupamento dos *Clusters* da região Centro-Norte da Amazônia.

No gráfico da Figura 4, os *Clusters* "C2", "C4", "C6" e "C8" correspondem aos picos de maior frequência. Embora o *Cluster* "C5" represente também um pico, o algoritmo de agrupamento não considerou esta pequena variação, porque o tamanho especificado para a janela "W" significa que pequenas variações da função não são capturadas pelo algoritmo de agrupamento, de modo a obter a representação da área como um todo. Isso evita a formação de *Clusters* que podem resultar de erros de amostragem e precisão da metodologia para obtenção dos dados (MANTOVANI e BUENO, 2022).

O *Cluster* "C2" apresenta a maior concentração de *pixels*, porém não corresponde à área de maior abrangência espacial; por outro lado, é a superfície mais aplanada da área de estudo. O *Cluster* "C4" corresponde à segunda superfície aplanada mais preservada, seguida dos *clusters* "C6" e "C8", que apresentam o mesmo comportamento. Os *Clusters* "C1", "C3", "C5", "C7" e "C9" são obtidos considerando a mudança no comportamento da função, baseada na análise de seus pontos de inflexão e sua concavidade. Para determinar estes pontos e a concavidade utiliza-se a informação dos sinais da primeira e da segunda derivadas, que possibilitaram verificar que a função $g(h)$ apresentou um comportamento mais suave para estas altitudes, ou seja, apresenta variação no número de *pixels* em diferentes intervalos de altitude, o que se pode atribuir à parte dissecada das superfícies (MANTOVANI e BUENO, 2022). Baseado nos resultados obtidos no gráfico da Figura 4, a metodologia aplicada delimitou para a área 9 *Clusters*, compreendendo os seguintes intervalos altimétricos: *Cluster* 1: 1-15 m; *Cluster* 2: 16-113 m; *Cluster* 3: 114-215 m; *Cluster* 4: 216-278 m, *Cluster* 5: 279-451 m; *Cluster* 6: 452-524 m; *Cluster* 7: 525-800 m; *Cluster* 8: 801-854 m e *Cluster* 9: 855-2741 m (Figura 5).

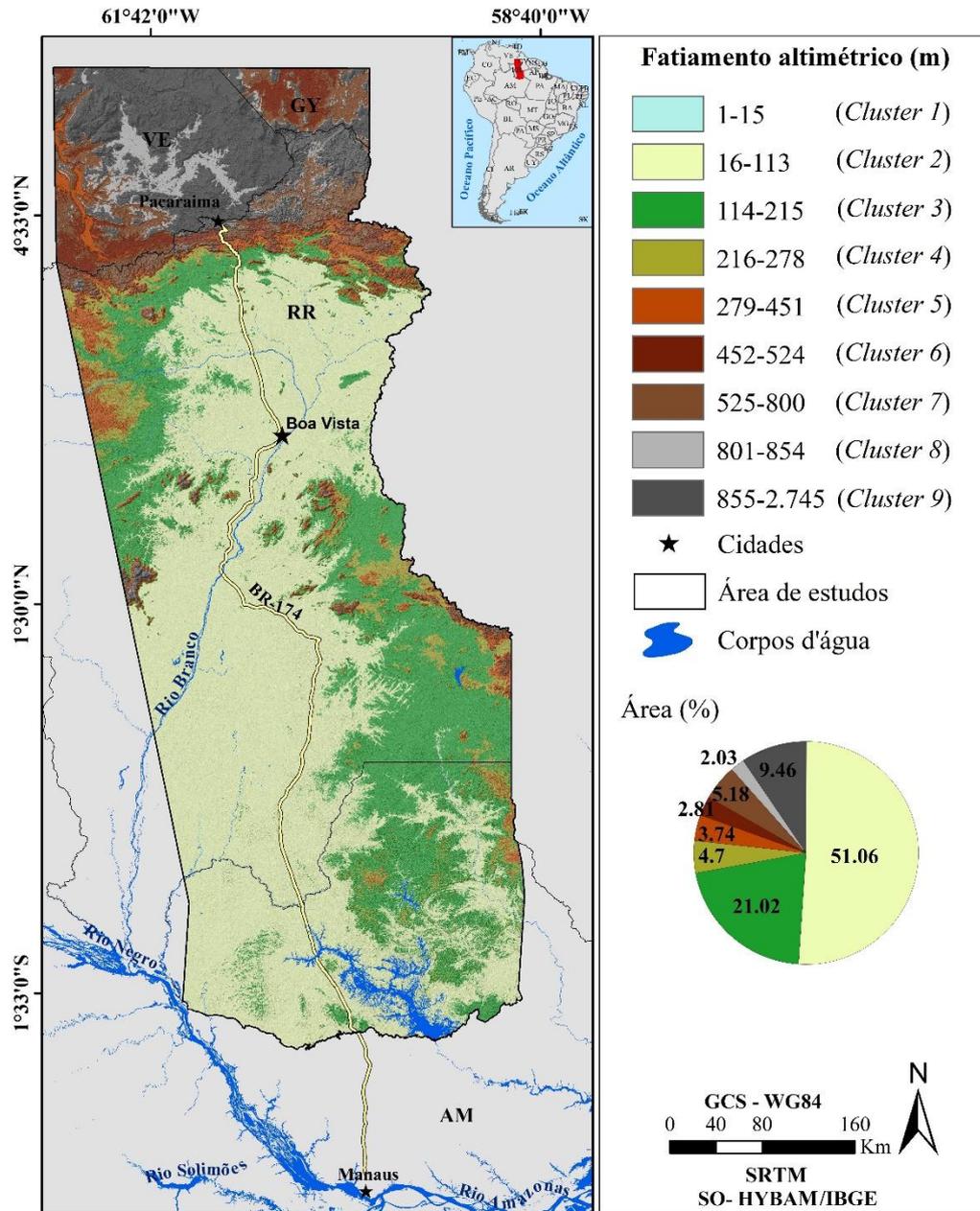


Figura 5. Fatiamento altimétrico com base nos Clusters determinados pelo algoritmo.

Após a identificação dos Clusters e extração dos valores correspondentes de altitude para cada superfície de aplanamento identificada, os intervalos altimétricos entre elas foram considerados áreas resultantes da dissecação da superfície imediatamente superior (MANTOVANI e BUENO, 2022).

Os "Clusters 1 e 2" foram considerados componentes de uma mesma superfície de aplanamento (Superfície 5), a mais baixa e mais recente, sendo o "Cluster 1" representante da área dissecada dessa superfície e, o "Cluster 2", representante de sua área plana preservada. O "Cluster 3" foi considerado área dissecada da Superfície 4 e o "Cluster 4" área plana preservada dessa superfície. O "Cluster 5" foi considerado área dissecada da Superfície 3 e o "Cluster 6" seus remanescentes planos. O "Cluster 7", seguindo a mesma lógica, corresponde à área dissecada da Superfície 2 e, o "Cluster 8", a área plana preservada dessa superfície. A Superfície 1, a mais elevada, apresenta apenas relevos dissecados (Cluster 9) não havendo, na área de estudos, relictos preservados de seu relevo

aplanado. Assim, a configuração do mapa das superfícies de aplanamento apresenta cinco superfícies, sendo a Superfície 5 considerada a mais jovem e a Superfície 1 a mais antiga (Figura 5; Figura 6).

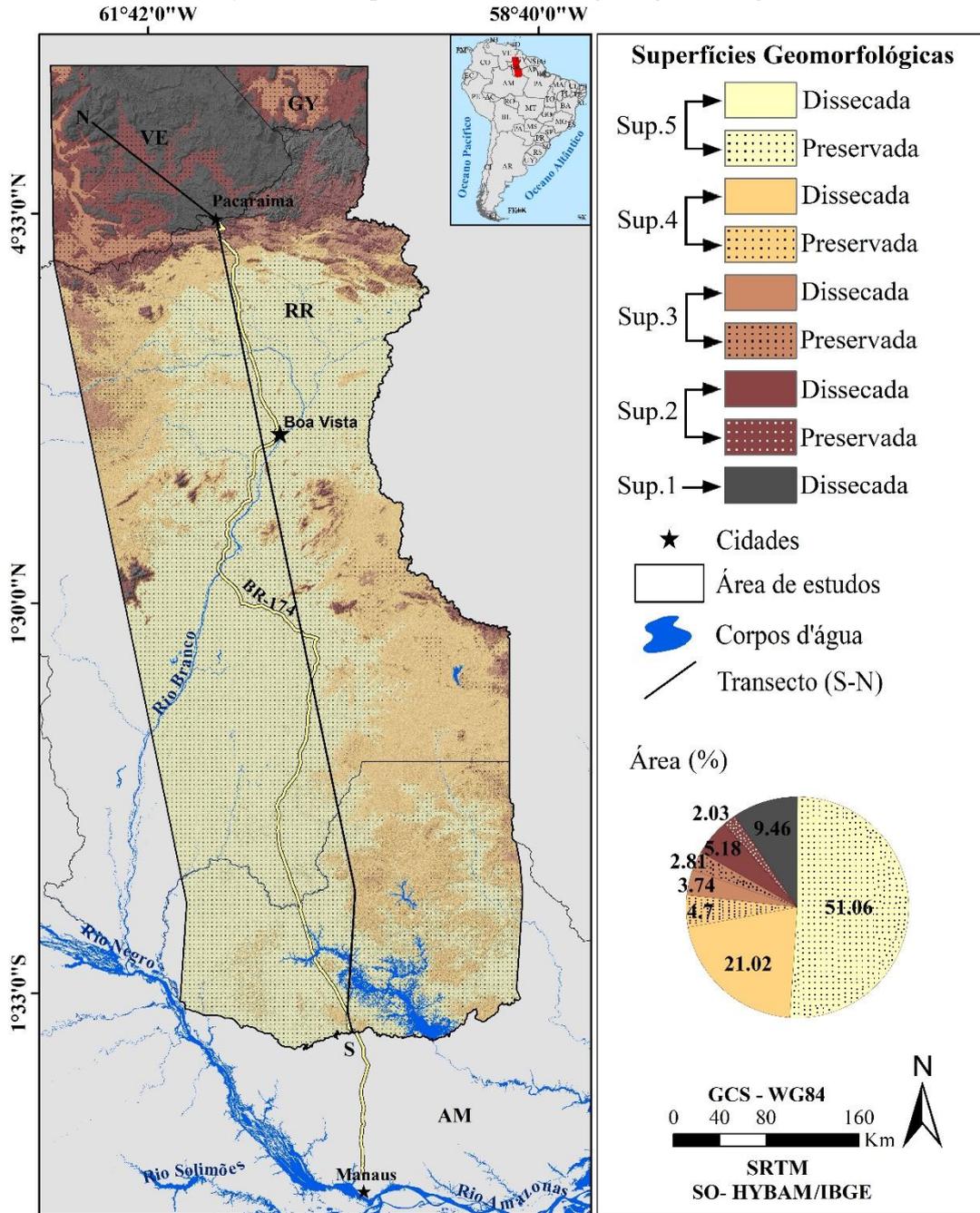


Figura 5. Mapa das superfícies de aplanamento (relevos planos preservados e seus níveis de dissecção).

A classe de maior altitude, situada entre 855 e 2.745 m, foi considerada como sendo composta pelos relevos dissecados da antiga superfície Gondwana, que ocupam o extremo norte da área mapeada, essencialmente em território venezuelano, além de aparecerem em pontos dispersos no centro-oeste da área, sempre sobre o Escudo das Guianas. Não foram encontrados remanescentes aplanados dessa superfície na área mapeada. Briceño e Schubert (1990) e Rabassa (2014), com base em Schubert et al., (1986) e em Clapperton (1993), dividem essa faixa altimétrica em duas superfícies: uma de cimeira, entre 2000 e 2900 m, denominada *Ayuán-Tepui* (Venezuela), e outra mais abaixo, entre 900 e 1200 m, denominada Kamarata-Pacaraima (Venezuela) ou Gondwana (Brasil). Para a área aqui estudada, o algoritmo identificou automaticamente apenas uma superfície. Em mapa que representou

uma compilação da distribuição espacial de mais de 50 pontos de informação sobre formações superficiais e níveis de aplanamento nas Guianas, Suriname, Venezuela e norte do Brasil, Bardossy e Aleva (1990) indicam um ponto denominado *Pakaraima peak* (2040 m), presente na área de estudo deste trabalho, e o associam à superfície cimeira (*Summit level*). Essa superfície cimeira é correlacionada por esses autores à superfície Gondwana. A superfície Gondwana é considerada de idade Mesozoica por Bardossy e Aleva (1990) e Mesozoica ou anterior por Prasad (1983). Para King (1962), é considerada do Cretáceo ou mais antiga. Nesta pesquisa, optamos por considerar os relevos entre 875 e 2785 m como remanescentes dissecados de uma única superfície (Gondwana). É importante afirmar que a amplitude altimétrica observada no interior dos *clusters* associados a cada superfície de aplanamento não pode ser atribuída apenas ao processo de dissecação, uma vez que as superfícies comumente apresentam um decaimento altimétrico original em alguma direção (Braun, 1971), e que a região setentrional da Amazônia foi reconhecidamente afetada por pulsos de atividade neotectônica (Costa et al., 1996). Esses autores identificaram dois pulsos neotectônicos principais, um Miocênico, que teria afetado os platôs com lateritos maduros, comumente associados à Superfície Sul-Americana (Costa, 1991) e outro pleistocênico, que afetou também as superfícies com lateritos imaturos (Costa et al., 1996).

A segunda classe em altitude (525 – 854 m) foi considerada correspondente aos níveis aplanados residuais e dissecados da superfície Pós-Gondwana. Ocorre de forma claramente embutida nos remanescentes dissecados da Superfície Gondwana, em território venezuelano, nas bordas das terras altas do norte da área mapeada, como patamares escalonados acima das superfícies de altitude inferior, e como áreas esparsas em meio às superfícies de altitude inferior, na parte central da área mapeada, sempre no Escudo das Guianas (Figuras 9 e 10). A superfície Pós-Gondwana, proposta por King (1956; 1962), não foi identificada no Escudo das Guianas por Prasad (1983), Bardossy e Aleva (1990) e Rabassa (2014), embora Rossetti (2004) tenha constatado uma superfície (denominada S1), elaborada no Mesozoico superior e, portanto, mais antiga que a superfície Sul-Americana, na parte nordeste da Amazônia brasileira. Optou-se aqui por discriminar essa superfície pelo fato de ela constituir um nível de aplanamento nítido, distinto tanto dos relevos dissecados de altitude superior (Gondwana), quanto da superfície de aplanamento inferior (Sul-Americana), de identidade bastante conhecida na literatura em função de seu grau de aplanamento, de sua grande abrangência espacial e das características de suas formações superficiais. A primeira e a segunda classes em altitude, acima descritas, se enquadram na unidade de relevo denominada Planalto do Divisor Amazonas-Orenoco por Dantas e Maia (2010).

A terceira classe em altitude (279 – 524 m) aparece no mapa de forma embutida na superfície superior (Pós-Gondwana); nas bordas das terras altas do norte da área mapeada, como patamares escalonados abaixo da superfície superior e acima das superfícies de altitude inferior, e como áreas pontuais ou mais contínuas por todo o Escudo das Guianas (Figuras 10 e 11). Bardossy e Aleva (1990) identificaram a Superfície Sul-Americana no Brasil na Serra do Navio (350 m) e nos Montes Tartarugal (200 m), ambos no Amapá, e consideraram essa superfície como correlativa ao *Main bauxitic level*, no Suriname. Esses autores mapearam um ponto representativo desse nível que se localiza na parte centro-leste da área do presente estudo (a aproximadamente 2° 30'N e 60°W), no Escudo das Guianas. Costa (1991) considera os topos dos morros da região de Pitinga (centro sul da área deste estudo, a aproximadamente 280 m de altitude), como pertencentes à superfície Sul-Americana. Segundo esse autor, os morros de Pitinga, assim como outros sítios minerários como Trombetas e Paragominas, apresentam uma cobertura laterítica madura, espessa, com concentração supergênica de Al e Fe, que teria se formado ao longo de períodos de até 30 Ma, durante o Eoceno-Oligoceno. Essa superfície de aplanamento enquadra-se na unidade de relevo denominada Planalto Residual do Norte da Amazônia, na proposta de Dantas e Maia (2010), formada por colinas com topos de até 400 m de altitude.

Prasad (1983 citado por ALEVA, 1979) considera o evento de intemperismo do Eoceno-Oligoceno como o mais intenso da América do Sul, responsável pela elaboração dos perfis lateríticos mais espessos. Aleva (1994) propõe que o “*main laterite-bauxite level*” teria se estabelecido no Escudo das Guianas entre 25 e 50 Ma atrás. Rossetti (2004), por sua vez, indica o intervalo entre 27 e 63 Ma atrás para a formação dos materiais lateríticos e bauxíticos associados à superfície Sul Americana. Rabassa (2014) indica idade Eocênica para as formações superficiais da superfície Sul Americana, embora atribua a ela altitudes entre 600 e 700 m. Vasconcelos et al., (1994) associaram os topos lateríticos da região de Carajás (em torno de 600 m) à superfície Sul-Americana e encontraram idades superiores a 60 Ma (datação por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) para óxidos de Mn neoformados, indicando que o intemperismo associado a essa superfície pode ter se iniciado ainda no Cretáceo.

A quarta classe de altitude (114 – 278 m) é de grande abrangência espacial na área mapeada, localizando-se de forma contínua preferencialmente nas partes centro-leste e na parte centro-noroeste. Essa superfície foi associada no presente trabalho à superfície *Early Velhas* de Bardossy e Aleva (1990), que aqui foi denominada “*Velhas I*”. Esses autores identificam em seu mapa uma ocorrência dessa superfície nos domínios da área do presente estudo, situada sobre o Escudo das Guianas, aproximadamente a 2°N e 60°W. Ainda segundo esses autores, essa superfície teria se estabelecido entre o Oligoceno e o Mioceno superior e seria associada ao *Foot Hill Level*, no Suriname. Aleva (1994), entretanto, propõe que esse último nível tenha se estabelecido há 10 Ma. Rossetti (2014) situa essa superfície entre 15 e 23 Ma, para o NE da Amazônia brasileira. Costa (1991) considera que os relevos associados às superfícies mais recentes do que a superfície Sul-Americana apresentam apenas perfis lateríticos imaturos.

A quinta e última classe de altitude (1 – 113 m) aparece preferencialmente nos setores central, sudoeste e sul da área mapeada. Ocupa, em continuidade lateral, tanto áreas amplas do Escudo das Guianas, quanto os sedimentos inconsolidados das Formação Içá e Boa Vista, mais recentes. Na Figura 3, gráfico de agrupamento, o *Cluster 2* (remanescentes aplanados dessa superfície) apresenta dois máximos. Isso sugere a presença de dois patamares, o que pode ter duas explicações: influência da neotectônica na região, já observada por Franco et al., (1975), Costa et al., (1996) e Rossetti et al., (2014), implicando na movimentação diferencial de blocos e basculamentos; o fato deste nível aplanado ser formado do ponto de vista genético por duas superfícies, embora em continuidade lateral: uma superfície resultante de aplanamento geomorfológico, como as demais, e uma superfície resultante de deposição sedimentar (sedimentos ainda inconsolidados, quartenários, das Formações Içá e Boa Vista (CPRM, 2006).

Essa superfície de aplanamento (1 – 113 m) foi associada à superfície *Late Velhas*, de Bardossy e Aleva (1990), que aqui será denominada “*Velhas II*”. Esses autores indicam em seu mapa uma ocorrência pontual da superfície *Late Velhas* na área de estudos do presente trabalho, no contato entre a Formação Içá e o Escudo das Guianas, a aproximadamente 3°30'S e 60°30'W, associando-a ao *Pediplain Level* identificado no Suriname. Propõem, ainda, que essa superfície teria sido elaborada entre 20 e 2 Ma. Rossetti (2004) identifica essa superfície no NE da Amazônia brasileira e lhe atribui idade entre 10 e 5 Ma. Allard et al., (2018) dataram minerais de caulinita e goethita amostrados em *duricrusts* sobre topos planos de colinas do Escudo das Guianas, ao norte das cidades de São Gabriel da Cachoeira e Santa Isabel do Rio Negro, em altitudes entre 60 e 90 m. Foram obtidas idades entre 0,9 e 12,7 Ma.

Embora sugerida por vários autores (ex: Theveniaut e Freyssinet, 2002, para o Amapá, entre 5 e 50 m de altitude, holocênica; Rabassa, 2014, para o Escudo das Guianas, entre 0 e 50 m de altitude, holocênica; Rossetti, 2004, para o NE da Amazônia brasileira, plio-pleistocênica), nesse trabalho nenhuma superfície identificada foi associada à superfície Paraguaçu. Seguindo as propostas de King (1956) e de Bardossy e Aleva (1990), considera-se que a superfície Paraguaçu está associada aos vales da atual rede de drenagem, tendo sido aqui englobada pela unidade representada pelas áreas dissecadas da superfície *Velhas II (Late Velhas)* (Figura 3, *Cluster 1*).

Nas Figuras 7 e 8 ilustra-se o perfil topográfico traçado de Sul a Norte (S-N) e o mapa com a reconstituição das superfícies propostas, abrangendo todos os compartimentos mapeados.

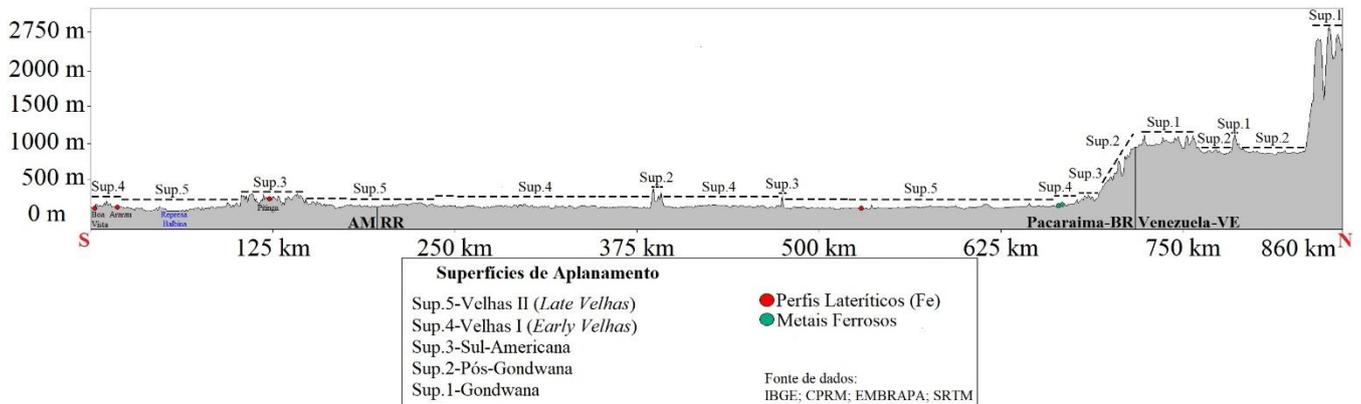


Figura 7. Perfil topográfico (Sul-Norte).

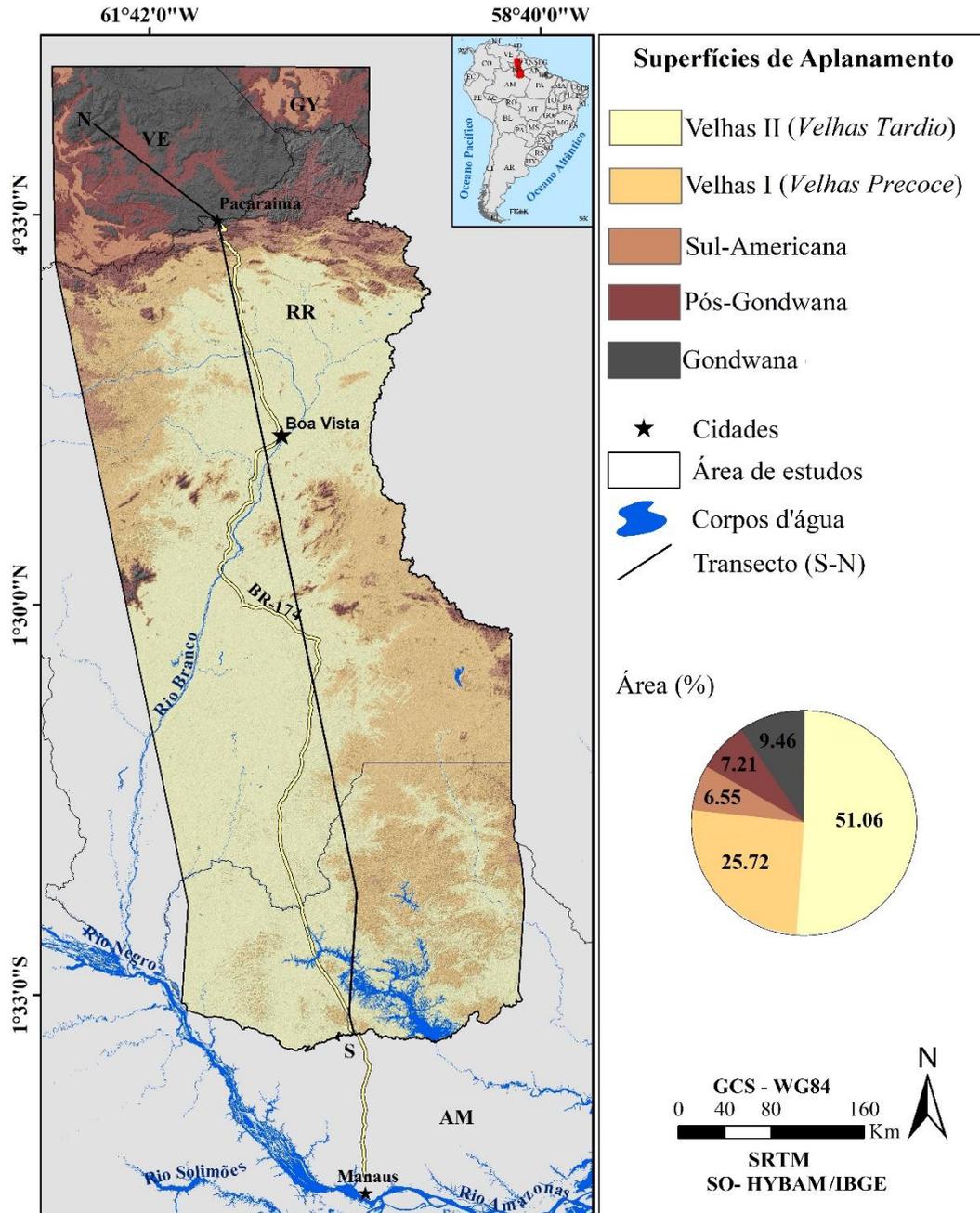


Figura 8. Mapa de Reconstituição das superfícies de aplanamento.

Na Figura 9 apresenta-se a distribuição dos principais tipos de solos e ocorrências de minérios de Fe e Al na área de estudos (IBGE, 2006; CPRM, 2009; 2011), enquanto as figuras 10 e 11, apresentam gráficos, respectivamente, com a distribuição dos tipos de solo e as superfícies de aplanamento identificadas. Observa-se que nas superfícies 1, 2 e 3 (Gondwana, Pós-Gondwana e Sul-Americana) prevalecem os Neossolos Litólicos. Interpretou-se aqui que a presença destes solos sobre as duas superfícies mais elevadas se deve à erosão das formações superficiais previamente existentes deixando, na maioria das vezes, as rochas do Escudo das Guianas expostas ou cobertas por solos jovens e rasos (DANTAS e MAIA, 2010). Os materiais lateríticos bauxíticos encontram-se distribuídos no Escudo das Guianas, no extremo norte, quase na divisa com a Venezuela, sobre relevos associados às superfícies Sul-Americana e Pós-Gondwana. Trata-se de perfis lateríticos maduros (COSTA, 1991), com maiores concentrações relativas de metais de interesse econômico.

Na superfície 3 (Sul-Americana) os Neossolos Litólicos também são o solo dominante. Entretanto, nessa superfície, os registros de Neossolos Litólicos foram associados sobretudo à presença de solos pouco desenvolvidos sobre as crostas lateríticas (lateritos maduros, conforme Costa, 1991). Aleva (1994) e Bigarella et al., (1996), apresentam exemplos de perfis que tinham originalmente suas crostas lateríticas cobertas por solos espessos e que, após truncamento por erosão, passaram a ter o material endurecido exposto à superfície. Os topos da Serra de Carajás (PA), também considerados representativos da superfície Sul-Americana (VASCONCELOS et al., 2002), são capeados por crostas ferruginosas e mapeados pela CPRM (2009; 2011) como sendo cobertos por Neossolos Litólicos, em associação como Argissolos e Cambissolos ou como áreas de afloramentos de rocha. Assim como em Carajás, são encontrados nos domínios dessa superfície na área estudada perfis lateríticos maduros (COSTA, 1991), com ocorrências de metais aluminosos e ferrosos de interesse econômico.

No nível dissecado dessa superfície de aplanamento (Superfície 3 – Figura 10), de relevo de colinas, os Neossolos Litólicos ainda predominam, mas os Argissolos vermelhos e os Latossolos vermelhos se tornam mais representativos do que nas superfícies 1 e 2. A formação dessas coberturas móveis (Argissolos vermelhos e Latossolos vermelhos) pode estar associada ao processo de dismantelamento geoquímico dos materiais lateríticos endurecidos, conforme propõe Tardy (1993) para as couraças ferruginosas quando submetidas a ambientes de floresta úmida, sob relevos de “meia-laranja”. A cor vermelha desses solos é indicativa de que condições de boa drenagem prevalecem nesses relevos sobrelevados.

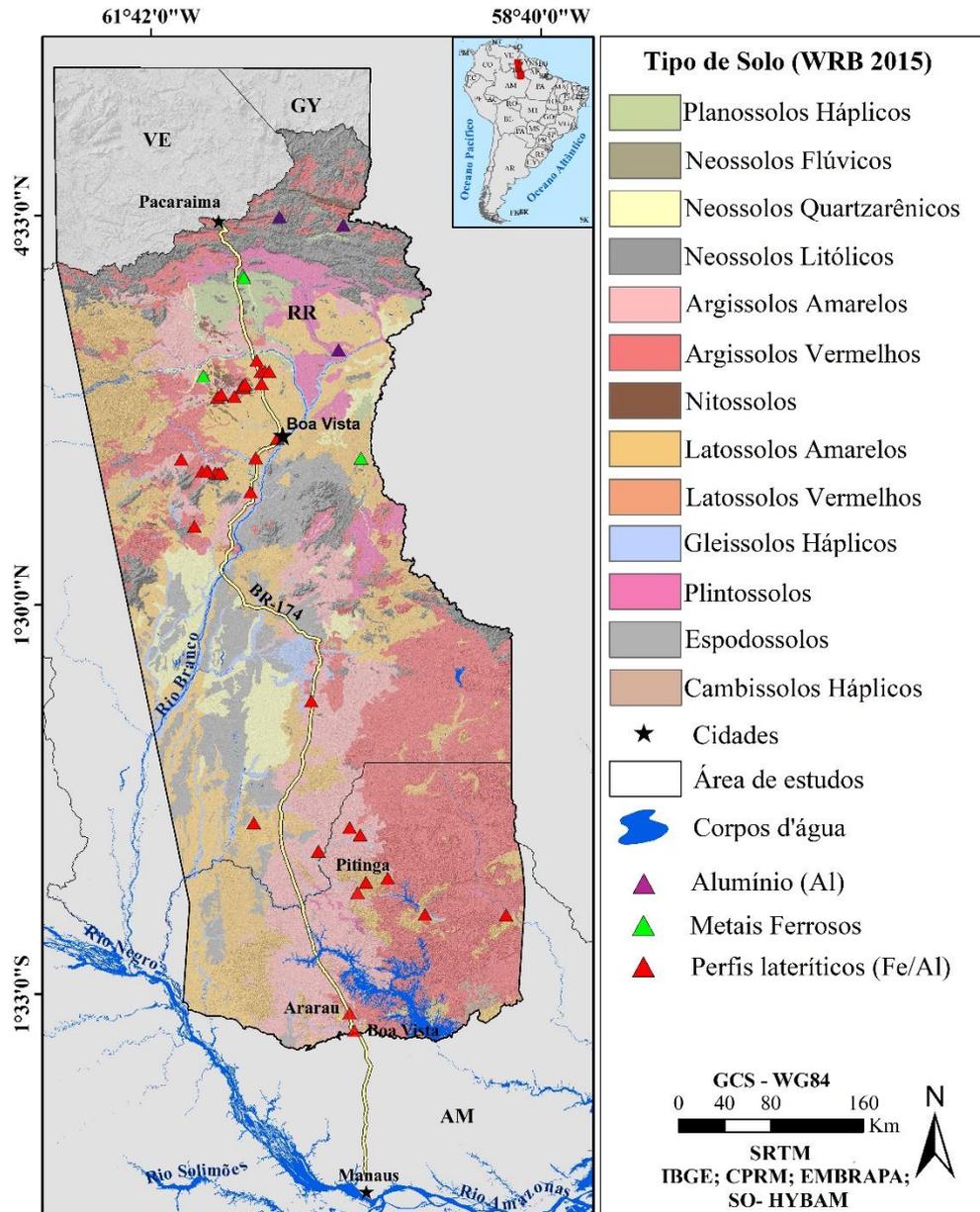


Figura 9. Mapa pedológico e de ocorrências de minérios de Fe e Al na porção brasileira da área de estudos.

Na superfície 4 (Velhas I - *Early Velhas*) os Neossolos Litólicos diminuem muito em abrangência espacial, ocupando cerca de 20% dos relevos aplanados e cerca de 7% dos relevos dissecados. Considerando que nessa superfície os lateritos são imaturos (COSTA, 1991), é possível que esses Neossolos estejam relacionados às ocorrências de crostas ferruginosas pouco desenvolvidas, (regionalmente denominadas “piçarreiras”) ou a afloramentos rochosos nas bordas dos topos aplanados ou nas vertentes. Os solos dominantes nos remanescentes aplanados dessa superfície são os Argissolos e os Latossolos, ambos ocupando 38% da área, sempre vermelhos, devidos às condições de drenagem mais favoráveis das posições mais elevadas. Nas áreas dissecadas dessa superfície os Argissolos vermelhos dominam sobre os Latossolos, o que é compatível com relevos mais ondulados, em que o componente de drenagem lateral ganha importância sobre o vertical (VIEIRA e SANTOS, 1987). Entretanto, o aumento dos percentuais de Argissolos amarelos, Latossolos amarelos e Plintossolos já indica condições de drenagem menos eficientes, mesmo nas áreas dissecadas dessa superfície.

A superfície 5 (Velhas II - Late Velhas) é a que apresenta a maior heterogeneidade de tipos de solos, principalmente em seus níveis aplanados preservados. Predominam os Latossolos amarelos, seguidos dos Argissolos amarelos, Espodosolos, Argissolos vermelhos, Latossolos vermelhos, Neossolos quartzarênicos e Gleissolos (Figura 10). Na Figura 11 (ocorrências descritas de perfis de solo disponíveis (CPRM, EMBRAPA, IBGE) essa ordem é modificada, mas fica explícita a heterogeneidade de solos. Solos com matizes mais amarelados (Latosolos e Argissolos), com cores mais pálidas, acinzentadas ou escuras (Neossolos Quartzarênicos, Espodosolos, Gleissolos), e com segregação do Fe (Plintossolos) indicam que ambientes moderada e imperfeitamente drenados ocorrem em grandes áreas dos remanescentes aplanados dessa superfície. As ocorrências minerais se resumem a perfis lateríticos imaturos (Costa, 1991), ferruginosos (“piçarreiras”), como os estudados e datados por Allard et al., (2018), a 60 e a 90 m de altitude, nos municípios de Santa Isabel do Rio Negro e São Gabriel da Cachoeira, sobre o Escudo das Guianas. Na parte dissecada dessa superfície de aplanamento, ao longo dos vales da atual rede de drenagem (vertentes, terraços e várzeas), predominam os Latossolos amarelos (55%), seguidos pelos Gleissolos (12%) e Neossolos flúvicos (4%).

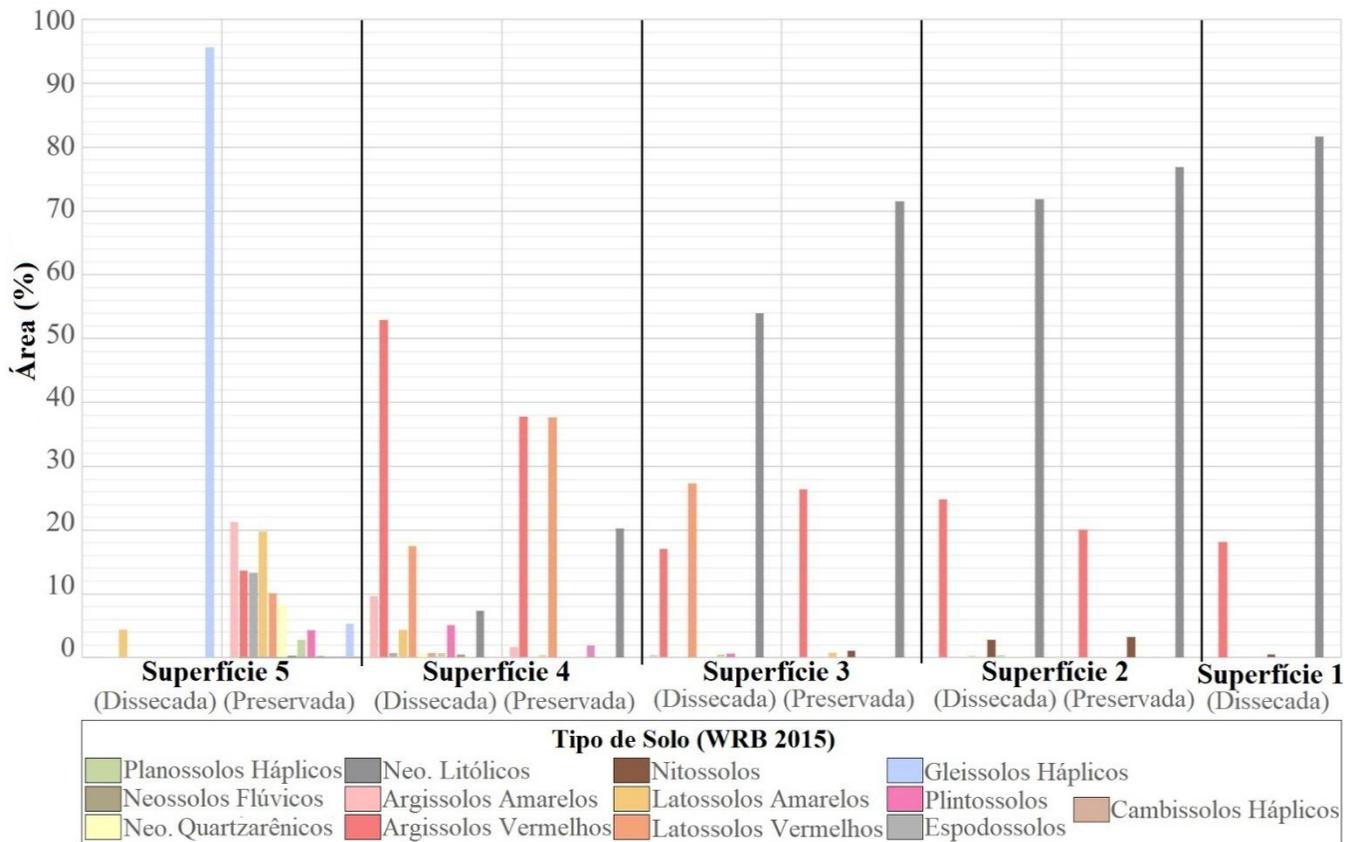


Figura 10. Gráfico da distribuição dos tipos de solo sobre as superfícies de aplanamento (preservadas e dissecadas).

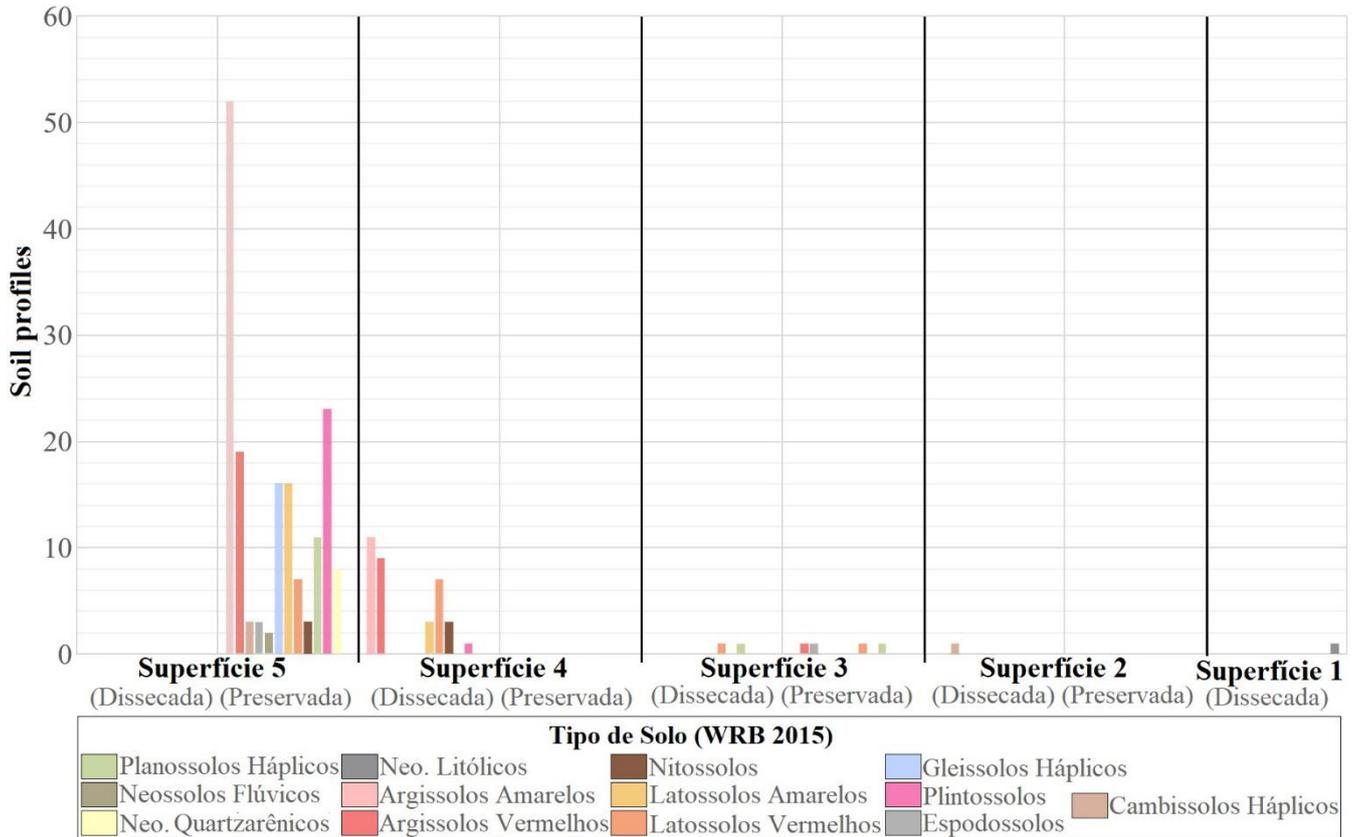


Figura 11. Gráfico da distribuição dos perfis de solo sobre as superfícies de aplanamento (preservadas e dissecadas).

As superfícies 1 e 2 (Gondwana e Pós-Gondwana) e as áreas planas remanescentes da Superfície 3 (Sul Americana) têm como substrato geológico os quartzitos, arenitos e arcóseos do Supergrupo Roraima e da Formação Urupi. Verifica-se, portanto, que as superfícies de aplanamento mais elevadas são sustentadas por rochas de maior resistência à erosão. As áreas dissecadas da superfície 3 (Sul Americana) têm como substrato os granitos e gnaisses do embasamento cristalino, assim como os dacitos, riolitos e andesitos dos Grupos Iricoumé e Surumu, que são sotopostos ao Supergrupo Roraima. A superfície 4 (Velhas I - *Early Velhas*) foi elaborada predominantemente sobre esses mesmos grupos de rochas do Escudo das Guianas. Esse substrato geológico também predomina nas áreas dissecadas dessa superfície. A Superfície 5 (Velhas II - *Late Velhas*) tem como substrato tanto o Escudo das Guianas quanto as Formações Içá e Boa Vista. Considerando-se que a fase final de aplanamento do ciclo Velhas II é considerada pliocênica (BARDOSSY e ALEVA, 1990; ROSSETTI, 2004), o nivelamento altimétrico dessa superfície tem duas vias genéticas: nas áreas onde o substrato geológico são as rochas do Escudo das Guianas, a gênese do nível de aplanamento foi de natureza erosiva, possivelmente por etchplanação (DANTAS e MAIA, 2010), resultando no truncamento de diferentes litologias, assim como ocorreu para as superfícies mais antigas. Para as áreas cujo substrato são as Formações Içá e Boa Vista, o nivelamento altimétrico reflete a sedimentação em ambiente flúvio-lacustre com ocorrência de megaleques (ROSSETI et al., 2016), sobre a superfície previamente aplanada por erosão, conforme proposto por Campbell et al., (2006) para a Formação Madre de Deus, correlativa à Formação Içá na Amazônia Ocidental. Portanto, embora configure em seu conjunto uma superfície aproximadamente plana,

apenas parte da Superfície 5 – a parte elaborada por truncamento do substrato geológico por erosão – deve ser considerada conceitualmente uma superfície de aplanamento.

A relação entre superfícies de aplanamento e grupos litológicos apresentada no Gráfico 3 é comparável àquela encontrada por Schubert e Huber (1990, citados por OLLIER, 2000) em seu estudo na Venezuela: as superfícies de aplanamento mais elevadas são sustentadas pelas rochas meta-sedimentares do Grupo Roraima; a superfície de aplanamento intermediária tem como substrato as rochas ígneas-metamórficas do embasamento cristalino e as superfícies de menor altitude têm como substrato formações geológicas sedimentares continentais e sedimentos aluviais. Na Figura 12 apresenta-se o gráfico apresenta o percentual que cada substrato geológico ocupa na área de cada superfície de aplanamento identificada e mapeada.

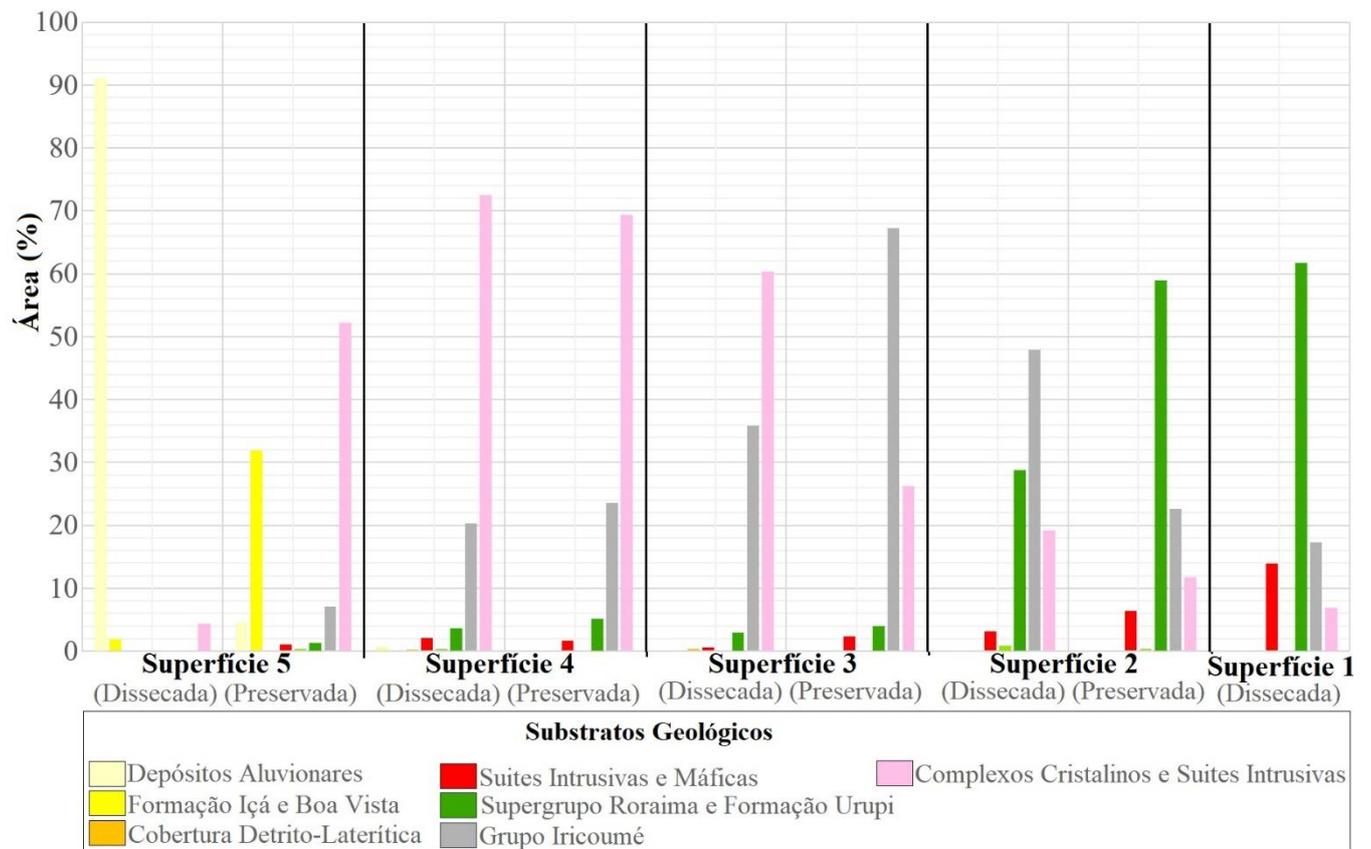


Figura 12. Gráfico da distribuição dos substratos geológicos sobre as superfícies de aplanamento (preservadas e dissecadas).

4. Discussão

A partir dos estudos e da metodologia aplicada identificaram-se cinco superfícies de aplanamento sobre o Escudo das Guianas, na faixa que se estende das terras altas da divisa entre Brasil, Venezuela e Guiana até o contato com as rochas da bacia sedimentar do Amazonas. Essas superfícies foram aqui denominadas conforme King (1956) e Bardossy e Aleva (1990): uma superfície cimeira, denominada superfície Gondwana (KING, 1956), entre 855 e 2.745 m; uma segunda superfície (525 a 854 m), denominada Pós-Gondwana (KING, 1956); uma terceira superfície, entre 279 e 524 m, denominada Sul-Americana (KING, 1956); uma quarta superfície, entre 114 e 278 m, denominada Velhas I (*Early Velhas*, conforme Bardossy e Aleva, 1990), e uma quinta superfície, denominada Velhas II (*Late*

Velhas), conforme Bardossy e Aleva, 1990). Para cada superfície foram mapeadas áreas aplanadas, remanescentes, e áreas dissecadas.

A distribuição espacial das superfícies de aplanamento apresentou boa correlação com a distribuição espacial das formações superficiais para a mesma área. Nas três primeiras superfícies predominam os solos jovens, cuja presença foi atribuída à erosão das formações superficiais e exposição da rocha, no caso das duas superfícies superiores, e ao truncamento dos perfis por erosão e exposição das crostas ferruginosas maduras (COSTA, 1991), no caso da Superfície Sul-Americana. Os solos mais profundos aumentam gradativamente em representatividade espacial da superfície cimeira à superfície Sul-Americana, predominando os Argissolos. Na superfície Sul-Americana são registradas concentrações supergênicas de metais de interesse econômico, o que reflete seu extenso período de intemperismo sob condições de clima úmido. As duas superfícies inferiores apresentam maior diversidade de solos, em função do aumento das áreas aplanadas sob condições de drenagem mais deficientes (Espodosolos, Plintossolos, Gleissolos, Planossolos), além dos Latossolos e Argissolos, que são dominantes. Mas esses solos são menos espessos, seja porque estão associados a superfícies de aplainamento mais jovens, seja porque se desenvolveram a partir de substratos geológicos mais jovens (formações sedimentares Içá e Boa Vista). Da mesma forma, houve significativa correlação entre superfícies de aplanamento e substrato geológico. As duas superfícies mais elevadas (Gondwana e Pós-Gondwana) são sustentadas por quartzitos e arenitos, o que pode explicar sua permanência em altitudes elevadas por maior resistência à erosão. As superfícies Sul-Americana e Velhas I foram elaboradas sobre as granitos e gnaisses do embasamento cristalino. Entretanto, na Superfície Sul-Americana os perfis lateríticos são mais espessos, com lateritos, o que dificulta a erosão e contribui para a permanência das áreas residuais planas. Na superfície mais recente, Velhas II, o substrato geológico é composto tanto pelas rochas do Escudo das Guianas quanto pelos sedimentos inconsolidados das Formações Içá e Boa Vista e por aluviões.

5. Conclusões

A estruturação, a distribuição espacial e os substratos geológicos (rochas, formações superficiais) das paisagens da Amazônia brasileira continuam pouco conhecidos, apesar do cenário de crescente pressão pela ocupação e pela exploração dos recursos naturais da região. O desenvolvimento de trabalhos que objetivam pesquisar as características físicas e geográficas da região amazônica é extremamente complexo. Além da extensão territorial, do difícil acesso (carência de vias, custo elevado dos trabalhos de campo, condições climáticas muitas vezes adversas, etc.), há uma grande heterogeneidade quanto às paisagens naturais, representada pela diversidade de tipos de cobertura vegetal, e que é influenciada principalmente por diferentes tipos de formações superficiais, sob diferentes condições hidrológicas. Por outro lado, há nos últimos anos um importante desenvolvimento dos produtos do sensoriamento remoto e das técnicas de geoprocessamento. Associados a conceitos matemáticos básicos, foi possível propor um mapa das superfícies de aplanamento e de seus níveis de dissecção no centro-norte da Amazônia, validadas por meio das informações das formações superficiais e seus materiais, e associando essas superfícies com as idades a elas atribuída pela literatura revisada.

Verificou-se, portanto, que a metodologia usada para o mapeamento apresentou resultados coerentes com as superfícies de aplanamento e suas faixas altimétricas apontadas na literatura geomorfológica. Resultados como este podem auxiliar na compreensão da organização dos relevos e no conhecimento da distribuição das formações superficiais e dos tipos de rocha da região. Além disso, confirmou-se a hipótese de que há significativa relação entre a distribuição das superfícies de aplanamento e a distribuição dos tipos de solos e das ocorrências de minérios supergênicos. O acoplamento desses produtos com dados de geocronologia das formações superficiais e rochas associadas a essas superfícies forneceria informações mais precisas sobre a gênese das paisagens pretéritas e atuais

da Amazônia. Verificou-se, portanto, que a proposta de mapeamento apresentou resultados coerentes e inéditos sobre a distribuição das superfícies de aplanamento na Amazônia.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

Contribuição dos Autores: José Roberto Mantovani: Levantamento, estruturação do banco de dados geográficos, tratamento das informações Geográficas, além do desenvolvimento e implementação e validação da metodologia proposta no estudo, por meio de geoprocessamento e cartografia digital, confecção dos mapas e das figuras, análise dos dados, desenvolvimento de software e revisão textual. Guilherme Taitson Bueno: Avaliação e sistematização estrutural do texto e comparação da metodologia com outras disponíveis na literatura especializada, também foi responsável pela concepção metodológica do desenvolvimento do software, avaliação dos resultados e revisão geral do texto e das figuras.

Agradecimentos: Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior – CAPES através do financiamento da Tese de Doutorado.

Referências

1. ALEVA, G.J.J. Bauxite and other duricrust in Surinam: A review. *Geologie en Mijnbouw* 58, 321-336, 1979.
2. ALEVA, G.J.J. Lateritization, bauxitization and cyclic landscape development in the Guiana Shield. In: Jacob, L. (Ed.), *Bauxite. Proc. 1984 Bauxite Symposium, Los Angeles, CA. A.I.M.E.*, 142, 297-318, 1984.
3. ALEVA, G.J.J. Laterites. *Concepts, Geology, Morphology and Chemistry*. ISRIC, Wageningen. p.3, 1994.
4. ALLARD, T.H.; GAUTHERON C.; RIFFEL S.B.; BALAN E.; SOARES B.F.; PINNA-JAMME R.; DERYCKE A.; MORIN G.; BUENO G.; NASCIMENTO N.R. Combined dating of goethites and kaolinities from ferruginous duricrusts. *Deciphering the Late Neogene erosion history of Central Amazonia. Chemical Geology*, 479, p. 136–150, 2018.
5. BARDOSSY, G., ALEVA, G.J.J. Lateritic bauxites. *Dev. Econ. Geol.* 27, p. 624, 1990.
6. BRAUN, O.P.G. Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, IBGE, 32 (3), 1971, p. 3-39.
7. BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E.; HERMANN, M. L. P.; MENDONÇA, M.; SANTOS, G. F.; CARVALHO, S. M. C.; COITINHO, J. B. L. *Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais*. Vol. II. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996.
8. BRICEÑO, H. Q., and Schubert, C. 1990. *Geomorphology of the Gran Sabana, Guayana Shield, southeastern Venezuela: Geomorphology*, v. 3, p. 125-141.
9. BRASIL, Ministério das Minas e Energias. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso potencial da terra. Folhas SA.20 – Manaus, NA.20-Boa Vista, NA.21-Tumucumaque e NB-21-Roraima. Rio de Janeiro, 1977.
10. CAMPY, M.; MACAIRE, J. J. *Géologie des formations superficielles: géodynamique, faciès, utilisation*. Paris: Marron, p. 433, 1989.
11. CAMPBELL Jr., K.E.; FRAILEY, C.D.; ROMERO-PITTMAN. L. 2006. The Pan-Amazonian Ucayali Peneplain, late Neogene sedimentation in Amazonia, and the birth of the modern Amazon River system. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239: 166-219.
12. CLAPPERTON, C. M. *Quaternary Geology and Geomorphology of south America*. Elsevier: Amsterdam. 1993.
13. COSTA, J.B.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; FERREIRA, C.R.P.; BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*, 4(2), 1996, p. 23-44.
14. CPRM. *Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas: sistema de informações geográficas (SIG)*. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil: integração, atualização e difusão de dados da geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais. Rio de Janeiro: CPRM, 2009.
15. CORREIA, A. H. et al. Projeto Radiografia da Amazônia: Metodologia de Produção Cartográfica com Imagens SAR (Bandas X e P). In: *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia*. Aracaju, SE: [s.n.], 2010.
16. COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991.
17. CHOUBERT, B. *Essai sur la geomorphologie de la Guyane. Memoire, Carte geologique detaillee de la France: Departement de la Guyane*. Imprimerie Nationale, Paris, 43 pp. 1957.

18. CPRM. Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas: sistema de informações geográficas (SIG). Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil: integração, atualização e difusão de dados da geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais. Rio de Janeiro: CPRM, 2009.
19. DANTAS, M. E., MAIA, M. A. M. Compartimentação Geomorfológica, In: Maia MAM, Marmos JL (eds) Geodiversidade do estado do Amazonas. CPRM, Manaus, p. 275,2010.
20. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 353, 2018.
21. FRANCO, E. M. S.; DEL'ARCO, J. O.; RIVETTI, M. Geomorfologia da folha NA.20 (Boa Vista) e parte das folhas NA.21 (Tumucumaque), NB.20 (Roraima) e NB.21. In: DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Projeto RadamBrasil: levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: DNPM, p.139-180. v. 8,1975.
22. HASUI Y, C.D.R., ALMEIDA F.F.M. DE BARTORELLI, A. Geologia do Brasil. São Paulo, Ed. Beca, p. 900, 2012.
23. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de unidades de relevo do Brasil. Escala: 1:5.000.000, 2006.
24. JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY (JAXA). ALOS/PALSAR Level 1.1/1.5 product Format description <English Version>. NEB-070062A, p.156, 2008.
25. KING, L. A geomorfologia do Brasil oriental. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro: IBGE. v. 2, n. 18, p. 147-265, 1956.
26. KING, L.C. Morphology of the Earth. Oliver and Boyd, London, p.699, 1962.
27. MANTOVANI, J. R., & BUENO, G. T. (2022). Uma proposta metodológica para o mapeamento de superfícies de aplanamento. Revista Brasileira De Geomorfologia, 23(2), 1456–1480. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i2.2094>.
28. MELFI, A.J. & PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. 1. Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. R. Bras. Geoc., 7:271-286, 1977.
29. NASCIMENTO D.A.; MAURO, C.A.; GARCIA, M.G.L. Geomorfologia. Folha AS.21 – Santarém. In: Projeto RadamBrasil (Levantamento de Recursos Naturais). MME/DNPM, Rio de Janeiro, 10: 131-181, 1976.
30. OLLIER C.; PAIN C. The origin of mountains. London: Routledge, p. 400, 2000.
31. PRASAD, G. A review of the early Tertiary bauxite event in South America, Africa and India. j. Afr. Earth Sci, 1983, 1305-1314.
32. POLLACK, H.R. Land surfaces and lateritization in Suriname. In: Melfi, A.J., Carvalho, A. (Eds.), Proc. 2nd Int. Semin. on Lateritization Processes, Sao Paulo, Brazil, pp. 295-308, 1983.
33. RABASSA J. Some Concepts on Gondwana Landscapes: Long-Term Landscape Evolution, Genesis, Distribution and Age. IN: RABASSA J.; OLLIER C. (Eds.). Gondwana Landscapes in southern South America - Argentina, Uruguay and southern Brazil. Dordrecht: Springer, p. 9-46, 2014.
34. ROSSETTI, D. F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. Sedimentary Geology 169, p. 151–174, 2004.
35. ROSSETTI, D. F.; COHEN, M. C. L.; BERTANI, T. C.; HAYAKAWA, E. H.; PAZ, J. D. S.; CASTRO, D. F.; FRIAES, Y. Late Quaternary fluvial terrace evolution in the main southern Amazonian tributary. Catena, v. 116, p. 19–37, 2014.
36. ROSSETTI D.F., MOLINA E.C. and CREMON E.H. Genesis of the largest Amazonian wetland in northern Brazil inferred by morphology and gravity anomalies. J South Am Earth Sci 69, 2016, p. 1-10.
37. RIBEIRO L.F.B.; RIBEIRO, M.C.S. Palaeosurfaces mapping and associated supergene copper deposits identification as mineral exploration tool. Itapeva and Ribeirão Branco region - Ribeira Valley, State of São Paulo, Brazil. Geociências, v. 29, n. 4, p. 519-526.
38. SCHUBERT, C.; SPOHN, T.; REYNOLDS, R. T.; SCHELLMANN, W. Geochemical principles of lateritic nickel ore formation, In: Melfi, A. J. (Eds.), International Seminar on Lateritisation Processes, SãoPaulo, Brazil, 119-135, 1986.
39. SCHUBERT, C.; HUBER, O. La Grand Sabana: Panorámica de una región. Caracas: Langoven, 107 p., 1990
40. TARDY, Y. Pétrologiedeslatérites et dessolstropicaux. Paris, Masson, p. 461, 1993.
41. TARDY, Y. ROQUIN, C. Dérive dès continents: Paléoclimats et altérations tropicales. Orléans, Éditions BRGM, p. 473, 1998.
42. THOMAS, M. F. Geomorphology in the tropics. New Jersey: John Wiley & Sons, p. 460, 1994.
43. THEVENIAUT H.; FREYSSINET Ph. Timing of lateritization on the Guiana Shield: synthesis of paleomagnetic results from French Guiana and Suriname. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 178, p. 91-117, 2002.
44. VASCONCELOS P.M.; RENNE P.R.; BRIMHALL G.H.; BECKER T.A. Direct dating of weathering phenomena by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K-Ar analysis of supergene K-Mn oxides. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 58, No. 6., p. 1635-1665. 1994.
45. USGS. Geology and Resource Assessment of the Venezuelan Guayana Shield, 1997, 1:500.000

46. VASCONCELOS, P.M.; ONOE, A.T.; KAWASHITA, K.; SOARES, A.J., TEIXEIRA, W. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology at the Instituto de Geociências, USP: instrumentation, analytical procedures, and calibration, *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 74(2), 297-342, 2002.
47. VASCONCELO, P.M.; CARMO, I. O. Calibrating denudation chronology through $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ weathering geochronology. *Earth-Science Reviews* 179 411-435, 2018.
48. VALADÃO, R. C. Geodinâmica de Superfícies de Aplainamento, Denudação Continental e Tectônica Ativa como condicionantes da Megageomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 10. 77-90. 10.20502/rbg.v10i2.132, 2009.
49. VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p. 416, 1987.
50. WANG, L.; LIU, H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 1, p. 193-213, 2006. doi: <https://doi.org/10.1080/13658810500433453>.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.