Universidade Federal de Rondônia
Núcleo de Ciências e Tecnologia
Departamento de Geografia
Programa de Pós-Graduação em Geografia

ISABEL LEONOR IZA ECHEVERRIA HERRERA

GEOMORFOLOGIA, MORFOPEDOLOGIA E MAPEAMENTO DO REGOLITO NO NORTE DO ESTADO DE RONDÔNIA

Porto Velho
2019

ISABEL LEONOR IZA ECHEVERRIA HERRERA

GEOMORFOLOGIA, MORFOPEDOLOGIA E MAPEAMENTO DO REGOLITO NO NORTE DO ESTADO DE RONDÔNIA

Tese de Doutorado apresentada ao curso de Doutorado em Geografia PPGG - Programa de Pós-Graduação em Geografia, como um dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Linha de Pesquisa: Paisagem, Processos do Meio Físico e Gestão Ambiental - PMG.

Porto velho

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

H565g Herrera, Isabel Leonor Iza.

Geomorfologia, morfopedologia e mapamento do regolito no norte do Estado de Rondônia / Isabel Leonor Iza Herrera. -- Porto Velho, RO, 2019.

125 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho

Tese (Doutorado em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Crostas lateríticas. 2.Intemperismo. 3.Gamaespectrometria. 4.Perfil laterítico. 5.Etchplanação. I. Silva Filho, Eliomar Pereira da . II. Título.

CDU 911

Bibliotecário(a) Edoneia Sampaio S. Miranda CRB 947/11

ISABEL LEONOR IZA ECHEVERRIA HERRERA

GEOMORFOLOGIA, MORFOPEDOLOGIA E MAPEAMENTO DO REGOLITO NO NORTE DO ESTADO DE RONDÔNIA

Banca Examinadora:

_____
Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho: Orientador

_____
Prof. Dra. Siane Cristhina Pedroso Guimarães
Examinadora Interna

_____
Prof. Dr. João Paulo Assis Gobo
Examinador Interno

_____
Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa
Examinadora externa

_____
Prof. Dr. Norton Roberto Caetano
Examinador Externo

Porto velho

2019

PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO
E DOUTORADO EM GEOGRAFIA
Ambiente e Território na Pan-Amazônia

Ministério da Educação - MEC
Universidade Federal de Rondônia - UNIR
Núcleo de Ciências Exatas e da Terra - NCET
Departamento de Geografia – DGEO/UNIR
Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Geografia – PPGG/UNIR

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TESE

Isabel Leonor Iza Echeverria Herrera

A Banca de Defesa de Tese presidida pelo Orientador e Presidente **Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho** e constituída pelos examinadores: **Profa. Dra. Siane Cristhina Pedroso Guimarães** – Examinadora Interna/PPGG/UNIR, **Prof. Dr. João Paulo Assis Gobo** – Examinador Interno/PPGG/UNIR, **Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa** – Examinadora Externa/SIPAM (via Skype) e **Prof. Dr. Norton Roberto Caetano** - Examinador Externo - Departamento Matemática/UNIR, reuniram-se em 05 de dezembro de 2019, às 14h, no Auditório Milton Santos/CEGEA/UNIR/Bloco 1T, Campus de Porto Velho/RO, para avaliar a Tese intitulada: "***Geomorfologia, Morfopedologia e Mapeamento do Regolito no Norte do Estado de Rondônia***" da doutoranda **Isabel Leonor Iza Echeverria Herrera**, matrícula **20162001424**. Após a explanação da pós-graduanda e arguição pela Banca Examinadora, a referida **TESE** foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Programa de Pós-Graduação em Geografia foi considerada APROVADA. A Candidata terá o prazo de até 90 dias para fazer as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua tese, sob pena de invalidação, pelo Colegiado, do processo de Defesa, conforme preceitua o § 3º do artigo 83 do Regimento Interno do PPGG, uma vez que o curso só finaliza com a entrega da Tese revisada e a comprovação do cumprimento dos demais créditos, conforme Regimento Interno.

Porto Velho-RO, 05 de dezembro de 2019.

Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho
Orientador/Presidente

Profa. Dra. Siane Cristhina Pedroso Guimarães
Examinadora Interna/PPGG/UNIR

Prof. Dr. João Paulo Assis Gobo
Examinador Interno/PPGG/UNIR

Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa
Examinadora Externa/SIPAM (via Skype)

Prof. Dr. Norton Roberto Caetano
Examinador Externo - Departamento Matemática/UNIR

Dedico este trabalho à minha família, quem com muita paciência me ajudou, me esperou, me apoiou. Em especial ao meu guia, meu pilar, meu tudo. Para você Edgar Romeo.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me permitir estar aqui com os que amo e poder fazer deste sonho uma realidade.

À minha família pelo apoio e por me aturar sentada neste computador por tantas horas.

Ao meu Romeo, pela luz no fim do túnel, no meio, no início, enfim, por ser a luz no meu caminho, meu guia, meu mentor, meu pilar de apoio, meu ombro de conforto, meu dicionário geológico, meu tudo.

Ao meu Prof. Orientador Eliomar, pela oportunidade ousada de me ter como orientanda de doutorado. Saiba que você e sua família estão nas minhas orações.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos de doutorado.

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil, departamento DISEGE, por disponibilizar parte dos dados usados nesta pesquisa.

A Antônio José Teixeira Guerra pelo pioneirismo no estudo das crostas lateríticas no estado de Rondônia, fato que incentivou o desenvolvimento desse trabalho e contribuiu para a compreensão da evolução geomorfológica da área de estudo.

A Salem, pela ajuda na reta final.

Às minhas amizades de apoio em Porto Velho: Vanessa Salgado, Grazielly Teles, Francielle Ferreira, Melissa Pinheiro, obrigada pelo apoio incondicional.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram com o desenvolvimento desta pesquisa.

ISABEL LEONOR IZA ECHEVERRIA HERRERA: Geomorfologia, morfopedologia e mapeamento do regolito no norte do estado de Rondônia. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR. Porto Velho, 2019.

Resumo

O regolito é conhecido como manto de alteração e constitui-se em materiais intemperizados que recobrem a superfície do planeta (formações superficiais). Nele estão inseridos os solos (autóctones e alóctones), sedimentos, colúvios, alúvios, saprolitos, crostas lateríticas, etc. e, portanto, tem forte relação com aspectos geomorfológicos, pedológicos e de uso e ocupação do solo, especialmente com áreas associadas a agricultura, pecuária, recursos minerais, risco geológico, entre outros. O estudo do regolito tem permitido a compreensão dos processos supergênicos e constitui uma ferramenta de apoio para geologia ambiental, mapeamento geológico, exploração mineral, ecologia do solo, estudo de águas subterrâneas, geomorfologia, evolução da paisagem, entre outros. Neste sentido, o objetivo do trabalho é integrar dados multifonte no intuito de mapear o regolito, buscando compreender melhor a distribuição dos materiais regolíticos e os processos modeladores da paisagem, dando ênfase às crostas lateríticas (petroplintita) e latossolos associados e interpretações sobre a evolução da paisagem. O procedimento para mapear o regolito incluiu a integração de dados aerogeofísicos com os mapas geológico, altimétricos (SRTM), geomorfológico e de solos, assim como dados de campo. A interpretação de dados de geoquímica e a comparação com os dados do sudeste de Rondônia mostrou valores de Al_2O_3 maiores para a área de estudo. O mapa do regolito se mostrou útil para determinar áreas potenciais de extração de materiais de insumo para a construção civil (cascalho laterítico, areia, argila, brita, etc.). O mapa do regolito mostrou 8 unidades regolíticas como latossolos, crostas lateríticas, sedimentos aluvionares e afloramentos rochosos, todas associadas às diferentes formas de relevo, além de ter contribuído com a atualização do mapa de solos. Também contribuiu com a análise geomorfológica da área, levando à divisão de quatro compartimentos morfopedogenéticos: I) porção noroeste da área na margem esquerda do rio Madeira, onde o relevo é suavemente ondulado com altitudes abaixo de 110 m, com exposição de crostas lateríticas não associadas a platôs; II) região centro-oeste da área limitada a oeste pelo rio Madeira e a leste pelo rio Candeias, sendo uma extensão plana coberta por latossolos com exposição de crostas lateríticas em platôs com desníveis de até 30 m e padrão de drenagem retangular; III) porção central da área limitada pelos rios Candeias a oeste e rio Preto do Candeias a leste correspondente a uma área plana extensa coberta por latossolos e raras exposições de crostas lateríticas, apresentando padrão de drenagem paralelo; e IV) região leste da área, sendo uma extensão plana coberta por latossolos de altitudes abaixo de 120 m com exposição de crostas lateríticas em platôs com desníveis de até 50 m e padrão de drenagem retangular. Essas interpretações geomorfológicas contribuíram com a identificação de pelo menos duas superfícies geomorfológicas: uma paleosuperfície (mais antiga) com crostas lateríticas ocorrendo em altitudes cerca de 150 m e com desníveis de até 50 m, e uma mais jovem (atual) com latossolos vermelhos, e/ou amarelos ocorrendo em altitudes abaixo de 120 m, levando a uma interpretação de formação de superfícies de aplainamento assim como proposto pela teoria de etchplanação.

Palavras chave: crostas lateríticas; intemperismo; gamaespectrometria; perfil laterítico; etchplanação.

Abstract

The regolith is known as alteration mantle and consists of weathered materials that cover the planet's surface (surface formations). It holds soils (allochthonous or autochthonous), sediments, colluvium, alluvium, saproliths, lateritic duricrusts, etc., and therefore, it has a strong relationship with geomorphology, pedology and aspects related to urban land use and occupancy, especially with areas associated to agriculture, livestock, mineral resources, areas of geological risks, etc. The study of the regolith has allowed the comprehension of the supergenic processes and is a support tool for environmental geology, geological mapping, mineral exploration, soil ecology, underground water study, geomorphology, landscape evolution, among others, in an integrated way. In this sense, the objective of this work is to integrate multisource data to map the regolith, seeking a better understanding of the distribution of the regolithic material and of the landscape modelling processes, emphasizing the lateritic duricrusts (petroplintite) and associated oxisols and interpretations about the landscape evolution. The procedure to map the regolith included the integration of airborne geophysical data with thematic maps such as geological, altimetry (SRTM), geomorphologic and soils, as well as field data. The interpretation of geochemical data and the comparison with data form the southeast portion of the state of Rondônia showed higher values of Al_2O_3 for the area under study, indicating that the evolution of the lateritic duricrusts was longer (more ancient) or the weathering process was more intense in the study area. The regolith map showed to be useful for the determination of potential areas for exploration of resources for civil construction (lateritic gravel, sand, clay, crushed stone, etc.). Such map showed 8 regolithic units as oxisols, lateritic duricrusts, alluvial sediments and rocky outcrops, all associated to the different landforms, besides contributing with the refinement of the soil map. It also aided with the geomorphological analysis of the area, leading to the division in four morphopedogenic compartments: I) northwest region of the area on the left margin of the Madeira river, where the relief is slightly undulated with altitudes below 110 m, with exposition of lateritic duricrusts not associated to plateaus; II) central-west portion of the area limited on the west by the Madeira river and on the east by the Candeias river, being an extensive area covered by oxisols with the exposition of lateritic duricrusts on plateaus with altitude differences of up to 30 m, with a rectangular drainage pattern; III).central portion of the area limited by the Candeias river on the west and the Preto do Candeias river on the east corresponding to an extensive plain area covered by oxisols and rare expositions of lateritic duricrusts, with a parallel drainage pattern; and IV) east region of the area, with an extensive plain area covered with oxisols on altitudes below 120 m with exposition of lateritic duricrusts on plateaus with altitude differences of up to 50 m, with a rectangular drainage pattern. These geomorphological interpretations contributed with the identification of at least two geomorphological surfaces: a paleosurface (the most ancient) with lateritic duricrusts occurring on altitudes around 150 m and with altitude differences of up to 50 m, and a younger surface (present) with red, yellow-red and/or yellow oxisols occurring on altitudes below 120 m, leading to an interpretation of formation of planation surfaces as proposed by the etchplanation theory.

Keywords: lateritic duricrusts; weathering; gamma-ray spectrometry; lateritic profile; etchplanation.

LISTA DE SIGLAS

ANM – Agência Nacional de Mineração

ASA – Amplitude do Sinal Analítico

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CIA – Índice de Alteração Química

CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DISEGE – Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica

DNPM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

ETR – Elementos terras raras

GSWA – Serviço Geológico da Austrália Ocidental (*Geological Survey of Western Australia*)

IBGE – Instituo Brasileiro de Geografia e Estatística

ICP-MS – *Inductively coupled plasma mass spectrometry* (Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente)

IL – Índice Laterítico

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

PS – Paleosuperfície

RED – Residual, Erosional e Deposicional

RGB – *Red-Green-Blue* Vermelho-Verde-Azul

RTMAP – Mapa do regolito-formas de relevo

SEDAM – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração

SOTRO – Solos e Terrenos de Rondônia

SR – Superfície Rebaixada

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

UHE – Usina Hidrelétrica

UNIR – Universidade Federal de Rondônia

WIP – Índice de Intemperismo de Parker

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Áreas do conhecimento relacionadas com a geografia. Modificado de Petersen et al. (2015). 20
Figura 2 – Fluxo da relação sociedade/natureza. Modificado de Ross (2006)..... 21
Figura 3 – Localização da área de estudo com a representação dos pontos de coleta de amostra e em verde a subárea utilizada para a confecção do mapa IL. 25
Figura 4 – Mapa geomorfológico simplificado da área, modificado de Rondônia, (2002). 27
Figura 5 – Mapa de solos da área de estudo. Modificado de Rondônia, (2002). 27
Figura 6 – Mapa geológico, modificado de Quadros e Rizzotto, (2007). 28
Figura 7 – A) alteração do embasamento, passando por diferentes fases, formando regolito (solos de diferentes tipos, crosta laterítica, etc.) Modificado de Wilford (2011). B) detalhe do perfil laterítico. Modelo modificado de Anand e Butt (1988); Anand *et al*. (1989); e Eggleton (2001). 30
Figura 8 – Distribuição e profundidade do regolito e associação ao clima (Modificado de Taylor e Eggleton, 2001 e Strakhov (1967)..... 31
Figura 9 – Distribuição geográfica das zonas morfoclimáticas atuais, modificado de Büdel (1982) e sua relação com as formações lateríticas (bauxíticas) dominantemente cenozoicas e atuais..... 35
Figura 10 – Modelo Davisiano (1899). A) rebaixamento vertical contínuo das vertentes (downwearing), a linha verde representa o momento inicial e a linha preta a fase final de aplainamento. B) As linhas verticais representam a altitude média do modelado em relação ao nível do mar, nos diferentes momentos 1, 2, 3 e 4 (1 é a fase final do soerguimento, quando se inicia a fase de erosão, 2 é a fase em que a diferença de cotas entre os interflúvios e os fundos de vale é maior causado pela erosão dos canais fluviais, 3-4 fase em que a denudação é mais lenta por ter uma energia mais reduzida nos canais fluviais). A linha verde representa a altitude média dos interflúvios e a linha azul corresponde à altitude média dos fundos de vale. Modificado de Davis (1899) apud Salgado (2007). 43
Figura 11 – Teoria de aplainamento de Penck (1924). A) S_0 representa a superfície inicial antes do primeiro soerguimento e h_0 a altitude inicial da S_0. B) Formação do primeiro degrau: S_1 representa a superfície incorporada ao soerguimento com nível base b, h_1 é o soerguimento total, a' é a escarpa que delimita S_0 da S_1. C) Formação do segundo degrau: S_2 é a superfície incorporada ao soerguimento, com nível base c separada da S_1 pela escarpa b' e h_2 é o soerguimento total. D) Formação do terceiro degrau: incorporação da S_3 ao soerguimento com nível base q separada da S_2 pela escarpa c' e h_3 representa o soerguimento total. E) Visão tridimensional da situação D mostrando relevo em escadaria. R_1, R_2 e R_3 são as principais redes de drenagens. Modificado de Penck (1924). 44
Figura 12 – Evolução geomorfológica de áreas soerguidas e falhadas em regiões de clima com tendência à aridez. A) Fase final do soerguimento; B) Formação de pedimentos detríticos na base das encostas; e C) Aplainamento da área por retração das vertentes. Modificado de King (1953)..... 46
Figura 13 – Teoria de Etchplanação de Büdel. A relativa calmaria tectônica em conjunto com clima tropical úmido, criam as condições ideais para o aplainamento da superfície. A) B) e C) mostram os diferentes estágios do aplainamento. Modificado de Büdel (1982). 47
Figura 14 – Dupla discordância que gera aplainamentos. D1: Discordância geológica. D2: Discordância pedológica. Modificado de Millot (1983). 48
Figura 15 – Fluxograma de procedimentos realizados nesse trabalho. * Dados de aerogeofísica (Gama = Gamaespectrometria; Mag = Magnetometria) *Descrição de afloramentos, paisagem, relevo, etc.. 58
Figura 16 – A) Horizonte pisolítico/nodular desmantelado (cascalho laterítico), ponto UI-007; e B) Crostas lateríticas (horizonte com estrutura colunar), ponto UI-001. Fotos: Isabel I. E. Herrera. 60
Figura 17 – Amostras de lateritos ferruginosos destacando os aspectos macroscópicos, compostas essencialmente por hematita, goethita caulinita e subordinadamente quartzo. A) e B) Textura Vermiforme, pontos UI-017 e UI-009 respectivamente; C), D), E), F) Textura pisolítica/nodular, pontos UI-014, UI-024, UI-004 e UI-005, respectivamente, (localização das amostras vide Figura 3). Fotos: Isabel I. E. Herrera. 62

Figura 18 – A), C), E) Amostras com exposição de pisólitos. B) Detalhe dos pisólitos (A) com núcleo avermelhado hematítico e córtice amarelado goethítico, ponto UI-003; D) Detalhe dos pisólitos (C) com núcleo amarelado com caulinita e goethita e córtice com intercalação de hematita e goethita, ponto UI-004; e F) Detalhe dos pisólitos (E) com núcleo avermelhado hematítico e córtice com intercalação de hematita e goethita, ponto UI-004. Fotos: Isabel I. E. Herrera. 63
Figura 19 – A) Gráfico de Fe_2O_3 vs SiO_2, mostrando relação inversa. B) Gráfico de Al_2O_3 vs SiO_2, mostrando relação diretamente proporcional. 64
Figura 20 – Gráfico de ETR normalizados pelo Condrito (Taylor e McLennan, 1985). 65
Figura 21 – Ternário SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3, Schellmann (1983) com os respectivos graus de lateritização. 66
Figura 22 – Gráficos ternários. A) ETR-CoCrNi-ScYZr. B) Al_2O_3-Fe_2O_3-($CaO+K_2O+MgO+Na_2O$)*100 67
Figura 23 – Gráfico de índices de alteração química com dados de Rondônia e de outros lugares do mundo. 68
Figura 24 – Mapa de índice laterítico, ressaltando áreas com alto e baixo potencial para a ocorrência de crostas lateríticas e respectivas crostas identificadas por Herrera, *et al.* (2017). 69
Figura 25 – Mapa da amplitude do sinal analítico e das crostas identificadas por Herrera *et al*. (2017), evidenciando os padrões magnéticos (intensidade do magnetismo) das fontes das crostas lateríticas. 70
Figura 26 – Mapa do regolito confeccionado a partir da integração das bases geológica (Quadros e Rizzotto, 2007; Oliveira e Filho, 2013), geomorfológica (Rondônia, 2002), de solos (Rondônia, 2002), e aerogeofísica (CPRM, 2010) com suporte dos dados de campo. Escala 1:250.000. 73
Figura 27 – Alguns dos principais constituintes do regolito observados em campo: Latossolo amarelo, pontos DI-013 e DI-024, respectivamente (A e B) crosta laterítica, ponto DI-038 (C) e embasamento rochoso, ponto DI-061 (D). Fotos: Isabel I. E. Herrera. 74
Figura 28 – Proposta de atualização do mapa de solos de Rondônia (2002). 75
Figura 29 – Traçado das drenagens. A) Mapa da área; B) Padrão dendrítico na margem esquerda do rio Madeira; C) Padrão retangular na porção oeste na margem direita do rio Madeira, D) Padrão paralelo na porção central da área; e E) Padrão retangular e radial do tipo centrífugo na porção sudeste da área. 79
Figura 30 – A) Mapa ternário (K, eTh, eU) da área destacando as áreas de crostas lateríticas identificadas por Herrera *et al*. (2017). 1-12 localização dos perfis altimétricos das vertentes mais expressivas (vide figura 37); B) Tipos de vertentes destacando em vermelho o mais comum na área de estudo, modificado de Troeh (1965 apud Christofoletti, 1980). C) Modelo de vertente gerado para a área de estudo, especialmente para a margem direita do rio Madeira, evidenciando os aspectos pedológicos (regolito) e gamaespectrométricos. 81
Figura 31 – Inclinação de aproximadamente 45º das estruturas colunares em um afloramento na porção sudeste da área de estudo, ponto UI-014. Fotos: Isabel I. E. Herrera. 84
Figura 32 – Evidências de material ferroso (formação ferrífera) na base do afloramento (Porção sudeste da área de estudo). A) Visão geral do afloramento. B) Material magnético colhido no afloramento. C) Detalhe da formação ferrífera. Ponto UI-014. Fotos: Isabel I. E. Herrera. 84
Figura 33 – Mapa da área destacando os diferentes compartimentos morfopedogenéticos. 85
Figura 34 – Perfil laterítico A) Paisagem da área com destaque à presença de platôs. B) Detalhe de encosta com perfil laterítico. Ambas fotos no ponto UI-014. C e D) Crosta laterítica com colunas inclinadas e fraturadas, pontos UI-009 e UI-010, respectivamente. Fotos: Isabel I. E. Herrera. 87
Figura 35 – Perfil altimétrico de diversos platôs, mostrando, de forma geral, a forma côncava da encosta. Em azul, a linha que marca a paleosuperfície (PS) controlada pelas crostas lateríticas em níveis altimétricos acima de 120 m, variando até 200 m; em vermelho a linha que marca a superfície erosional rebaixada (SR) com altitudes variando entre 90 e 120 m (localização dos perfis na Figura 30). 88
Figura 36 – Cachoeira do Rio Preto do Candeias. A) e B) Vista para leste, ponto DI-019. Fotos: Isabel L.I.E. Herrera. 91

Figura 37 – Modelo evolutivo da paisagem. PS = Paleosuperfície; SR = Superfície rebaixada. Abaixo, modelo genético do perfil laterítico, modificado de Anand (2002). F1 = Foto das crostas lateríticas do compartimento morfopedogenético II, ponto UI-009; F2 = Foto das crostas lateríticas do compartimento morfopedogenético IV, ponto UI-014. Fotos: Isabel I. E. Herrera. CM = Compartimento morfopedogenético..... 94
Figura 38 – Sugestão de atualização do mapa geomorfológico incluindo as informações das superfícies geomorfológicas identificadas neste trabalho. Modificado de Rondônia (2002)..... 95
Figura 39 – Mapa de uso e ocupação do solo com priorização de áreas de acordo com o seu uso racional, adaptado de Rondônia (2002)..... 97

Sumário

1. INTRODUÇÃO 17
1.1 Justificativa e Objetivos 21
1.2 Estrutura da Tese 24
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 25
2.1. Localização 25
2.2. Hidrografia 26
2.3. Geomorfologia, Solos e Geologia 26
3. REFERENCIAL TEÓRICO 29
3.1 O Regolito e a Geografia Física 29
3.2 Mapeamentos Regionais Temáticos 37
3.3 Integração Multifonte e Mapeamento do Regolito 39
3.4 Teorias de formação de Superfícies de Aplainamento 43
3.4.1 Teoria de Peneplanação: W.M. Davis 43
3.4.2 Superfície Primária (primärrumpf) e da Escada de Piemonte: W. PENCK 44
3.4.3 Teoria da Pediplanação: L.C. King 45
3.4.4 Teoria da Etchplanação: J. Büdel 46
3.4.5 Teoria do aplainamento por mudanças climáticas: G. Millot 47
4. MATERIAIS E MÉTODOS 49
4.1 Levantamento Bibliográfico e Atividades de Campo 49
4.2. Dados de Modelo Digital de Elevação – Shuttle Radar Topography Mission – SRTM 50
4.3 Litogeoquímica das Crostas Lateríticas 50
4.4 Dados Aerogeofísicos 51
4.4.1 Índice Laterítico 52
4.4.2 Dados de Aeromagnetometria 54
4.5 Mapeamento do Regolito 54
4.6 Aspectos Pedológicos 56
4.7 Aspectos Morfopedogenéticos 56
4.8 Superfícies Geomorfológicas 57
4.9 Aspectos preliminares de Uso e Ocupação do Solo 57
5. RESULTADOS 59
5.1. Descrição dos Perfis Lateríticos 59
5.1.1 Aspectos Macroscópicos das Crostas Lateríticas 61
5.1.2 Litogeoquímica das Crostas Lateríticas 63
5.2 Aerogeofísica (gamaespectrometria e magnetometria) 68
5.2.1 Índice Laterítico 68

5.2.2 Magnetometria e Fonte das Crostas Lateríticas 69
5.3 Mapa do Regolito 71
5.4 Morfopedogênese 75
5.4.1 Aspectos Pedológicos 75
5.4.2 Aspectos Geomorfológicos 75
5.5 Evolução da Paisagem 86
5.5.1 Superfícies Geomorfológicas 86
5.5.2 Modelo de evolução da paisagem 90
5.6 Aspectos preliminares sobre o Uso e Ocupação do Solo 95
6. DISCUSSÕES 98
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 103
REFERÊNCIAS 105
APÊNDICE 1 120
APÊNDICE 2 123
APÊNDICE 3 124

1. INTRODUÇÃO

A partir dos anos 1940 e 1950 a geografia passou por um processo de reestruturação, destacando os problemas de interação e de circulação; o recurso à economia espacial; a mobilização de métodos quantitativos de análise. De acordo com Claval (2011), apesar de emprestar conceitos e modos de raciocínio de outras disciplinas (economia, matemática, geologia, etc.) "...o que trazem de original é a realização de toda uma nova metodologia para validar as deduções teóricas, sendo de acordo com as normas do positivismo lógico."

Nesse aspecto, o final da década de 60 marcou as primeiras referências ao quantitativismo. A procura de uma linguagem matemática em geografia foi resultado de uma busca de cientificismo que já havia sido buscado em outras perspectivas e ocasiões. Tudo obtido por combinação entre análises de sistema, modelos e o uso de estatística.

Claval (2011) é categórico em afirmar que houve mudança na concepção do espaço geográfico para os geógrafos em meados do século XX. O espaço se transformou em um conjunto de distâncias e superfícies. Para o autor, os geógrafos procuram tornar a sua disciplina aplicável, emprestando conceitos básicos da economia espacial. De acordo com o autor "A nova geografia faz-se quantitativa. Esse novo tipo de *démarche* permite à geografia estabelecer leis."

Por outro lado, Milton Santos (2004 e 2006) coloca a possibilidade de trabalhar com duas categorias: a configuração territorial e as relações sociais. Neste mesmo diapasão, Dollfus (1991) afirma que o espaço geográfico pode ser visto como o sistema de relações, algumas determinadas a partir dos dados do meio físico (rochas, clima, vegetação) e outras provenientes das sociedades humanas, responsáveis pela organização do espaço em função da densidade demográfica, da organização social e econômica. Para o autor, o uso da matemática se faz cada vez mais necessária, não apenas para o estabelecimento de correlações, mas também para a determinação de inter-relações.

Dollfus (1991) descreve um espaço mutável:

> "A fisionomia da Terra está em perpétua transformação. Toda paisagem que reflete uma porção do espaço ostenta as marcas de um passado mais ou menos remoto, apagado ou modificado de maneira desigual, mas sempre presente. É um palimpsesto onde a análise das sucessivas heranças permite que se rastreiem as evoluções. O espaço geográfico se acha impregnado de história. Isto o diferencia dos espaços econômicos os quais, as mais das vezes, descuram o estendal histórico. A aparência desse espaço concreto e localizável pode ser descrita: é a paisagem."

O autor afirma que a paisagem pode ser agrupada em 3 categorias: paisagem natural, ou meio no qual não houve intervenção humana; paisagem modificada, ou meio no qual a intervenção humana influencia o espaço. Neste caso podendo ser uma espécie de transição de paisagens natural para paisagens organizadas ou destruição permanente; e paisagens organizadas, ou de ação meditada ou consciente, no qual o espaço é organizado procurando aproveitar os recursos disponíveis. O objeto desta pesquisa se enquadra em todas as categorias, na medida em que os recursos disponíveis, sejam em paisagens naturais ou modificadas, são analisados para contribuir na implantação de paisagens organizadas.

Para Milton Santos (2004) a chamada "Nova Geografia" se manifestou, sobretudo por meio da quantificação. Assim, a expressão "geografia quantitativa" utilizada para exprimir a existência de uma geografia nova, introduziu certo mal-estar e confusão. De acordo com o autor, a expressão "geografia matemática" ou "quantitativa" pode ser aplicada a qualquer paradigma da geografia, seja novo ou antigo, mesmo aos que não são mais válidos para nenhuma escola, e considera a quantificação um instrumento, afirmando que a aplicação das matemáticas à geografia permite trabalhar com a evolução espacial por meio de estágios sucessivos, porém é incapaz de inferir o que há entre um estágio e outro. Em outras palavras, trabalha com resultados, mas omite processos. Adicionalmente, Milton Santos (2004) também afirma que quando os modelos matemáticos são relacionados ao espaço, sofrem fraqueza fundamental pois não é possível apreender o tempo no seu movimento, e quando se fala de processo, fala-se também de tempo.

Para Ullman (1973) "os métodos quantitativos, podem ser utilizados na maior parte das abordagens em geografia, mas eles mesmos não constituem a geografia, eles seriam uma condição desejável, mas não suficiente". O autor considera ainda que a geografia matemática pode reproduzir apenas fotografias de alguns momentos. No lugar, deve-se fazer estudos regionais que se interessem pelas diferenciações espaciais por intermédio das inter-relações entre os dados da natureza e as sociedades humanas para assim obter estudos do espaço das sociedades em movimento.

Christofoletti (1980) afirma que as análises morfométricas, realizadas com o objetivo de medir as formas de relevo usando processos sistemáticos e racionais, foram bem-sucedidas no final do século XIX. Portanto, o emprego de métodos quantitativos em geomorfologia não seria novidade. Neste sentido, para complementar o estudo geográfico, de acordo com autor, há a necessidade de integrar os resultados do espaço físico com aspectos sócio-econômicos, constituindo-se assim na integração entre o espaço humano e a relação com os aspectos físicos, biológicos, etc.

Os trabalhos de Tricart (1976; 1982) e Bertrand (1968) enquadram a geomorfologia no âmbito da geografia física, estando dessa forma inseridos nas propostas de georrelevo de Kügler (1976, apud ABREU, 1983). Nesse contexto, trabalha-se com a essência da forma, sua dinâmica e o papel que o relevo representa, em face das ações antrópicas. Tricart (1976) propõe a análise integrada do meio ambiente e Bertrand (1968) expressa a compreensão do relevo na interação com os outros elementos físico, biológico e antrópico, dentro do conceito de paisagem (SUERTEGARAY, 1999).

Para Penteado (1981), a geografia estuda tanto fenômenos físicos quanto humanos ocupando o campo intermediário entre as ciências sociais e físicas. A autora considera ainda que essa inter-relação entre campos permite que a geografia utilize dados, materiais e informações de disciplinas afins, com o objetivo de ampliar e propiciar o estudo e a combinação das relações, como por exemplo física e social, que conformam várias regiões da terra.

Para Petersen *et al.* (2015), a geografia é geralmente considerada uma ciência espacial (ciência do espaço locacional), contudo, hoje distingue-se de outras ciências em razão de sua definição e seu objetivo central que pode incluir o estudo de qualquer tópico de análise científica dos processos naturais e/ou humanos na Terra. O autor destaca que a geografia física estuda os processos e as características de formação da Terra, incluindo as atividades humanas que interferem no meio ambiente, usando uma abordagem holística (estuda os fenômenos tanto naturais quanto humanos, que sejam relevantes para a compreensão do nosso planeta), Figura 1. Para Claval (2009), a geografia humana enfoca fundamentalmente as relações que se estabelecem entre os grupos humanos e os ecossistemas dos espaços onde vivem.

Adicionalmente, Christofoletti (1980) distingue, dentro do universo geomorfológico, quatro variáveis importantes para a compreensão das formas de relevo: o sistema climático, biogeográfico, geológico e antrópico. O autor afirma ainda que no último sistema, consciente ou inadvertidamente, o homem produz modificações sensíveis nos processos e nas formas, por meio de influências destruidoras ou controladoras sobre os sistemas em sequência. O autor complementa afirmando que por meio do mecanismo de retroalimentação, o sistema geomorfológico também atua sobre eles e cita como exemplo a transferência de detritos de áreas mais elevadas para mais baixas ocasionando rebaixamento da topografia e redistribuição de sedimentos.

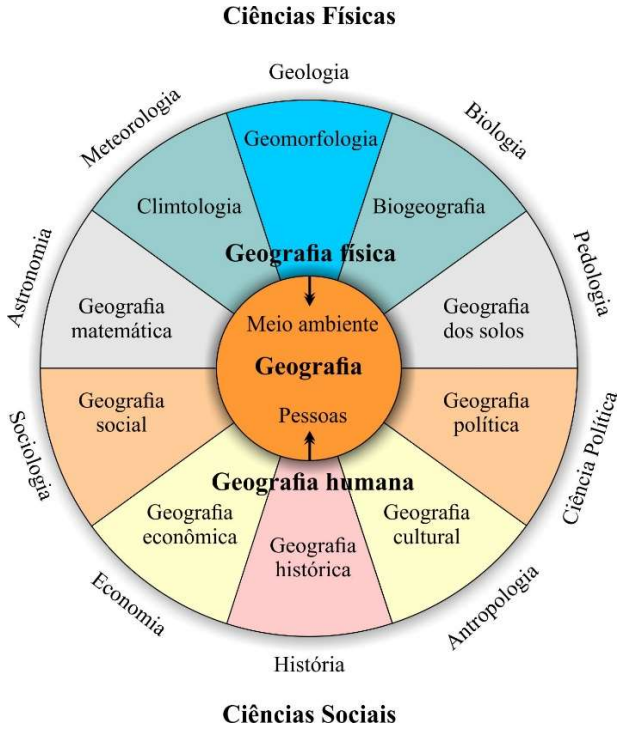


Figura 1 – Áreas do conhecimento relacionadas com a geografia. Modificado de Petersen *et al*. (2015).

No que diz respeito aos modelos, Milton Santos (2004) os define de duas formas: a) como o conjunto de sistemas locais tomados em um mesmo tempo e em lugares diferentes no interior de um mesmo espaço, também chamado modelo descritivo; ou b) pode ser construído a partir da simulação da evolução no tempo dos sistemas locais, tendo como resultado, outro sistema local, também definido como modelo evolutivo. Por outro lado, os modelos com caráter previsional levarão em conta os modelos evolutivos e descritivos com o objetivo de compreender as dinâmicas horizontais e verticais, ou seja, os mecanismos e as tendências sem os quais não seria possível criar modelos de previsão.

Butt e Zeegers (1992) ao estudar os modelos de clima, ambientes geomorfológicos e de geoquímica, afirmam que existem similaridades entre as formas de relevo e o regolito devido à sua origem comum. A superfície terrestre é afetada por qualquer alteração das condições de formação, sejam por forças de tectônica, climática, vegetal ou inclusive antropomórficas. Os autores destacam ainda que, embora a natureza e intensidade dos processos dependam da zona climática, os seus efeitos nas couraças ou crostas lateríticas em um etchplano produzem terrenos com aspectos geomorfológicos comuns.

Ross (2006) destaca que não é permitido o entendimento da dinâmica e da gênese dos solos, por exemplo, sem que se conheça o clima, o relevo, a litologia e seus respectivos arranjos estruturais, ou a análise da fauna sem a associação à flora a qual, por sua vez, não pode ser entendida sem o conhecimento do clima, da dinâmica das águas, tipos de solos e assim

sucessivamente. Todo esse complexo de variáveis tem como interface principal as sociedades humanas. (Figura 2).

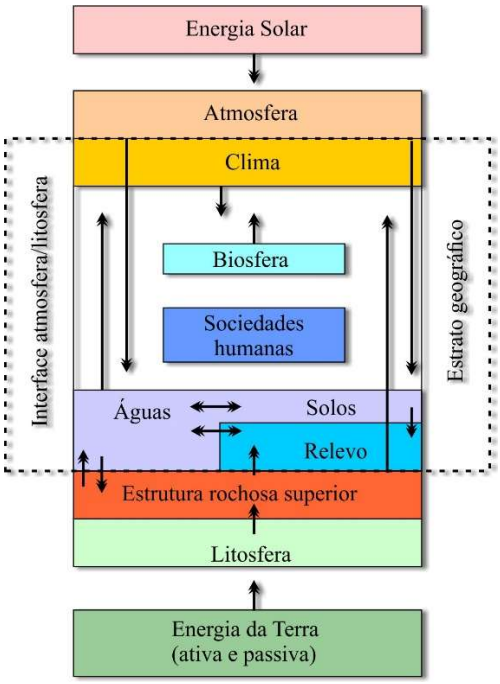


Figura 2 – Fluxo da relação sociedade/natureza. Modificado de Ross (2006).

1.1 Justificativa e Objetivos

Os mapeamentos geomorfológicos e a sua representação cartográfica adequada são instrumentos fundamentais para a compreensão da dinâmica de evolução da paisagem. Por outro lado, compreender as formas de apropriação da paisagem pelos diferentes grupos sociais fornece elementos para uma educação que evidencie os riscos e conflitos ambientais das diversas formas de uso do solo (CASTRO e SILVA, 2014).

Nesse mesmo eixo, Casseti (1991), ao abordar o "Significado do Relevo no Estudo Ambiental" evidencia o relevo como componente do estrato geográfico refletindo as interações naturais e sociais. Assim, o autor destaca que a geomorfologia, responsável pela compreensão do comportamento do relevo, "procura evidenciar de uma forma dinâmica, as derivações ambientais resultantes do processo de apropriação e transformação do relevo ou de suas interfaces pelo homem" dando assim significado social à geomorfologia, sendo de interesse para as ciências geográficas (ARAÚJO, 2018).

Da mesma forma, é importante destacar que o estudo do meio físico é necessário, pois tem sido o suporte das sociedades e das atividades humanas (PEDROSA, 1994; SLAYMAKER, 2000). Para Pedrosa (2014), o estudo do meio físico e o entendimento dos seus processos conduz a uma gestão mais racional e correta do território, sendo capaz de prever

perigos e desenvolver sistema de resiliência. Notadamente, a atividade humana é cada vez mais um elemento, mas também importante fator que influencia o balanço "estabilidade-instabilidade" das vertentes e, por isso, é igualmente destacada.

De acordo com o GSWA (2013), o entendimento da distribuição e idade dos diferentes tipos de regolitos pode fornecer informações importantes relacionadas à evolução da paisagem (geomorfologia) e alterações climáticas. O mapeamento do regolito é utilizado amplamente fora do Brasil (CHURCHWARD, 1977; CHAN *et al.,* 1986; CHAN, *et al.*, 1992; PAIN *et al,* 1994; CRAIG, 2001; LAU, 2005; ARHIN *et al.*, 2015; WILFORD *et al.*, 2016; METELKA *et al.*, 2018; entre outros), com esses objetivos além de outras aplicações, tais como, exploração mineral, hidrologia, gestão de recursos minerais, assim como no uso e ocupação do solo, etc. (SCOTT e PAIN, 2008).

Segundo Vitte (2011), vivemos um paradoxo, pois apesar de ter grandes avanços teóricos e metodológicos na geomorfologia brasileira com os estudos ambientais, ainda há declínio nos cursos de geografia e pós-graduação em geografia em relação à existência de trabalhos de geomorfologia vinculados à gênese do relevo.

Por outro lado, segundo o autor, o surgimento de paradigmas de neotectônica na geologia e as novas técnicas de datação de rochas e sedimentos começam a questionar os modelos geomorfológicos, precisando assim de estudos genéticos vinculados à geologia, tais como estudos de geoquímica e geotectônica, questionando muitas vezes a idade relativa das formas de relevo ou até mesmo dos aplainamentos. Assim, essa preocupação com a geoquímica é importante, destacando também a Teoria de Etchplanação, que fundamenta novos estudos regionais de geomorfologia no Brasil.

Nesse sentido, há clara relação entre os estudos geomorfológicos, pedogenéticos, de manto de alteração e as atividades antrópicas, pois todos estão em interação cotidiana e direta. Assim, o estudo do regolito constitui-se em uma ferramenta robusta na avaliação do meio físico e pode prover informações importantes no entendimento da interação entre o homem e o espaço.

Dessa forma, o entendimento da evolução e desenvolvimento do regolito é de fundamental importância. Além de ser um dos locais de interação entre o espaço e o homem, estudo importante para a geografia, ele constitui também um dos principais meios de desenvolvimento sócio-econômico. A identificação de seus materiais em superfície é útil para o desenvolvimento de atividades apropriadas e uso mais proveitoso. Em todo caso, no Brasil há raríssimos registros de trabalhos voltados para o mapeamento do regolito (BRANDÃO, 2009; MEDEIROS FILHO, 2002, MEDEIROS FILHO *et al.*, 2007; IZA *et al.*, 2018). Atualmente no norte do estado de Rondônia não há registro de mapeamento do regolito e de estudos que

integrem os aspectos geomorfológicos, formações superficiais, sua descrição e cartografia, e considerações sobre a evolução da paisagem.

Nesse aspecto, foram propostas primeiramente três hipóteses centrais para nortear o trabalho, tal como seguem:

- Os perfis lateríticos podem se desenvolver em diferentes tipos de rochas, gerando produtos de alteração muito similares macroscopicamente, mas distintos quimicamente;
- Os espessos perfis de alteração (lateríticos) permitem gerar um marco de correlação geomorfológica nas áreas analisadas, permitindo reconstituir superfícies geomórficas; e
- O mapeamento do regolito e a integração multifonte podem contribuir para interpretações do meio físico e favorecer análises integradas.

Nesse diapasão, o objetivo geral deste trabalho é descrever e mapear os aspectos geomorfológicos e morfopedogenéticos de forma integrada, por meio do mapeamento do regolito, em uma área no norte do estado de Rondônia. A ideia é buscar compreender melhor a distribuição dos materiais regolíticos e os processos modeladores da paisagem, dando ênfase às crostas lateríticas (petroplintita) e latossolos associados e sugerir atualizações no mapa de solos, assim como, interpretações geomorfológicas sobre a evolução da paisagem. Dentre os objetivos específicos destacam-se:

1) Descrever os perfis lateríticos, os aspectos macroscópicos das crostas lateríticas com base em dados de campo e geoquímica, assim como, os aspectos morfopedogenéticos e altimétricos;
2) Confeccionar o mapa previsional do índice laterítico para determinar as áreas potenciais para a ocorrência de perfis lateriticos completos e definir as prováveis rochas fonte das crostas lateríticas a partir de dados de aerogeofísica e geoquímica;
3) Confeccionar um modelo de vertentes para a área;
4) Cartografar de forma inédita o regolito laterítico na porção norte do estado de Rondônia (extremo sudoeste da Amazônia Brasileira);
5) Aplicar os resultados obtidos na atualização do mapa de solos e fornecer subsídios e informações para futuras análises de uso e ocupação do solo e do uso racional da terra; e
6) Identificar eventuais superfícies geomorfológicas e confeccionar um modelo evolutivo da paisagem.

1.2 Estrutura da Tese

A tese foi organizada em 7 capítulos, sendo o primeiro a introdução, onde foi abordada a importância do tema estudado no campo da geografia. O segundo capítulo aborda a caracterização fisiográfica da área, destacando os mapas existentes de geomorfologia, geologia e solos, fundamentais para a confecção do mapa do regolito. O terceiro capítulo constitui-se no referencial teórico, onde destacam-se os trabalhos realizados referentes ao tema na área de estudo e em outras áreas, com o fim de expor o embasamento teórico e as técnicas utilizadas. O quarto capítulo trata sobre os materiais e métodos utilizados. Já o quinto apresenta os resultados obtidos durante a pesquisa e o sexto corresponde às discussões. Por fim, o capítulo 7 expõe às considerações finais.

Durante a realização do Doutorado, foi publicado um artigo A1 na Revista Brasileira de Geomorfologia, como primeira autora, diretamente relacionado ao escopo deste trabalho, tal como segue:

1. Técnica Booleana Aplicada à Identificação de Crostas Lateríticas no Sudoeste da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.18, no.2, p.411-425, 2017 (doi: 10.20502/rbg.v18i2.1182)

Também foi submetido à mesma revista um segundo artigo, tal como segue:

2. Mapeamento do regolito laterítico e aspectos morfopedogenéticos da porção norte do estado de Rondônia.

Outros trabalhos foram publicados com a participação co-autoral (2ª autora) e, apesar de estarem relacionados a outras áreas de estudo, utilizaram técnicas similares aplicadas neste trabalho ou tem relação direta com os trabalhos desenvolvidos nesta pesquisa, tal como seguem:

3. Áreas de Inundação da Bacia do Igarapé Belmont na Cidade de Porto Velho - Rondônia. In: XIX Encontro Nacional de Geógrafos - ENG, 2018, João Pessoa - PB. Anais Eletrônicos. SANTOS, S.L.M.; SILVA FILHO, E. P.; HERRERA, I.L.I.E

4. Integration of Geochemical e Geophysical Data to Characterize and Map Lateritic Regolith: An Example in the Brazilian Amazon. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, 19, 2018. IZA, E.R.H.F.; HORBE, A.M.C.; CASTRO, C.C.; HERRERA, I.L.I.E.

Adicionalmente será publicado o livro "Catálogo de Crostas Lateríticas do Estado de Rondônia", contendo fotos das ocorrências de crostas lateríticas visitadas durante a pesquisa de mestrado e doutorado. O mesmo encontra-se em fase de elaboração.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização

A área de estudo está localizada no norte do estado de Rondônia, entre as coordenadas geográficas -9º09’00” e -8º44’52” de latitude sul, e -64º07’05” e -63º18’00” de longitude oeste, tem aproximadamente 4.000 km^2 e envolve os municípios de Porto Velho, Candeias do Jamari e Jamari (Figura 3). A subárea utilizada para a confecção do mapa do Índice Laterítico (IL) está localizada, entre as coordenadas geográficas -9º10’50” e -8º44’50” de latitude sul, e -64º07’05” e -63º49’12” de longitude oeste, e tem 970 km^2. Os mapas confeccionados e apresentados estão referenciados no datum WGS84 e usam sistema de coordenadas geográficas.

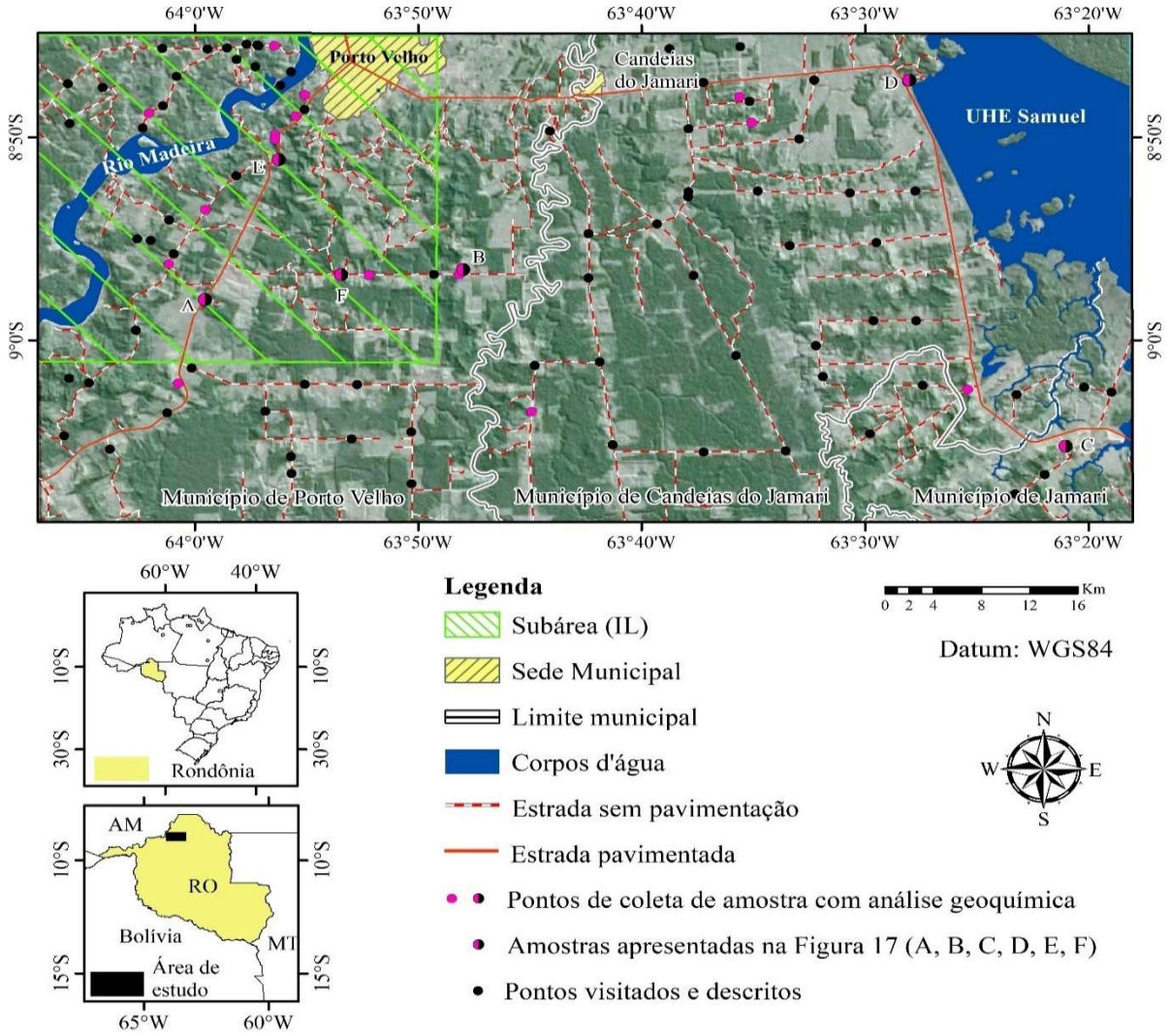


Figura 3 – Localização da área de estudo com a representação dos pontos de coleta de amostra e em verde a subárea utilizada para a confecção do mapa IL.

2.2. Hidrografia

A maior parte da área de estudo, na margem direita do rio Madeira, está inserida na bacia hidrográfica Jamari. As regiões próximas ao rio Madeira e a margem esquerda do mesmo rio estão inseridas na bacia hidrográfica Madeira. Os principais rios da área de estudo são os rios Madeira, Candeias e o rio Preto do Candeias (Figura 4). O rio Madeira divide a área em duas porções diferenciadas pela geomorfologia e geologia, entre outros aspectos. A margem direita será doravante definida como a margem onde localiza-se a cidade de Porto Velho (margem direita em relação à jusante) e a margem esquerda a margem oposta (margem esquerda em relação à jusante). O padrão de drenagem é predominantemente dendrítico, localmente apresentando confluências em ângulos retos (padrão retangular). De forma subordinada, na porção central da área, entre o rio Candeias e Rio Preto do Candeias, ocorre o padrão paralelo notadamente seguindo o sentido SE-NW e radial centrífugo na porção sudeste da área.

2.3. Geomorfologia, Solos e Geologia

Os dados de geomorfologia sumarizados aqui foram baseados nas observações de Rondônia (2002), IBGE (2013) e Melo *et al.* (1978), corroborados por Herrera (2016) e observados em campo durante a realização desse trabalho. A área de estudo apresenta dois domínios geomorfológicos diferentes: a) margem direita do Rio Madeira, com unidades de dissecação homogênea com formas de relevo de topos tabulares, com densidade de drenagem muito baixa em altitudes entre 120 e 200 m, e unidades de planícies com altitudes de 120 m; b) margem esquerda do rio Madeira, de dissecação homogênea com formas de relevo de topos convexos, esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente em sedimentos, com densidade de drenagem baixa, ocorrendo em altitudes entre 80 e 110 m (Figura 4).

Em termos pedológicos, a área está coberta por uma variedade de latossolos e cambissolos. A margem esquerda do rio Madeira está majoritariamente coberta por latossolos amarelos distróficos bem drenados e argilosos a francos. Nessa região também há a ocorrência de cambissolos distróficos bem drenados e argilosos nas proximidades do rio Madeira. Já na margem direita, há maior variedade de latossolos. Na porção sudeste da área e em uma região restrita no nordeste, próximo à Usina Hidrelétrica de Samuel, há ocorrência de latossolos vermelhos escuros eutróficos bem drenados e argilosos. Na porção central e oeste, há latossolos vermelho-amarelos, distróficos bem drenados e argilosos a francos. No sul-sudoeste ocorrem cambissolos com texturas similares aos da margem esquerda do rio Madeira (distróficos, bem drenados e argilosos). Na porção sul, sudeste e nas proximidades da cidade de Candeias do Jamari, ocorrem latossolos amarelos distróficos bem drenados e argilosos a francos (Figura 5).

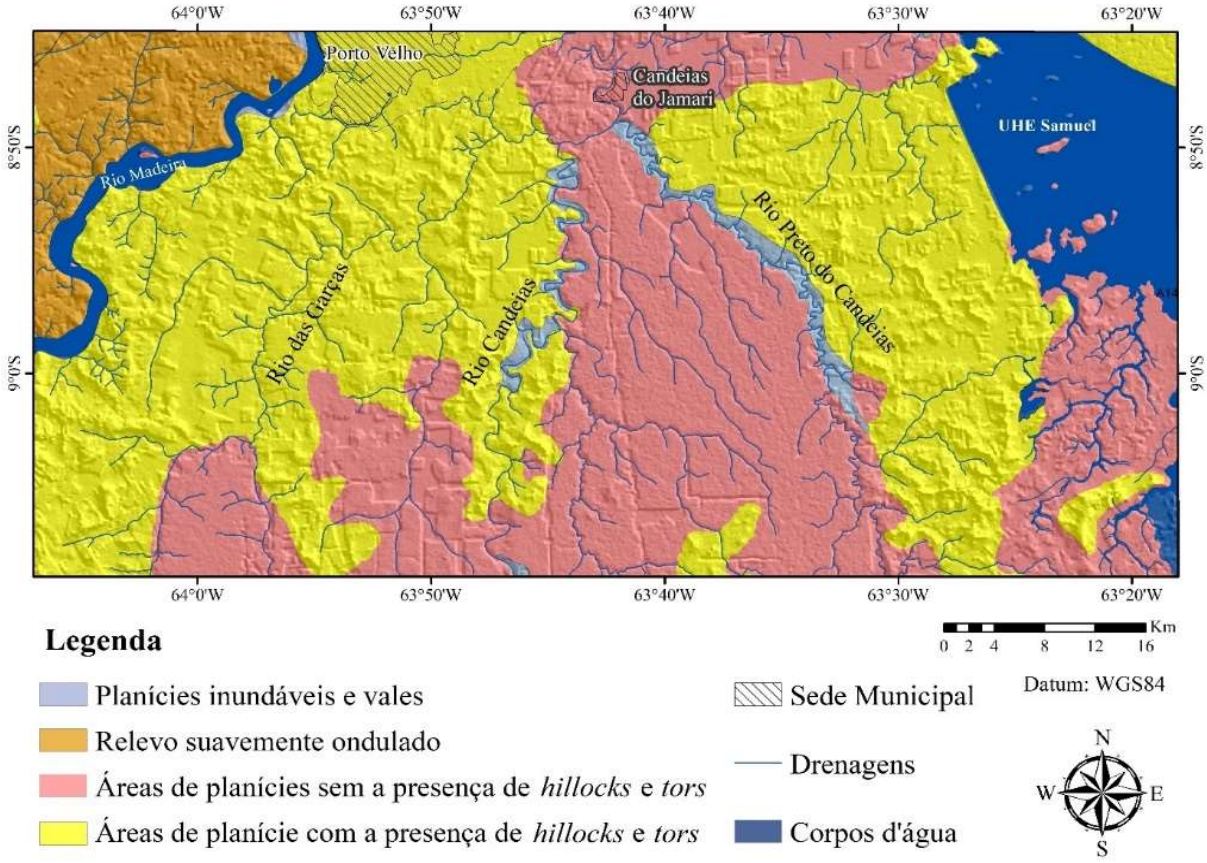


Figura 4 – Mapa geomorfológico simplificado da área, modificado de Rondônia, (2002).

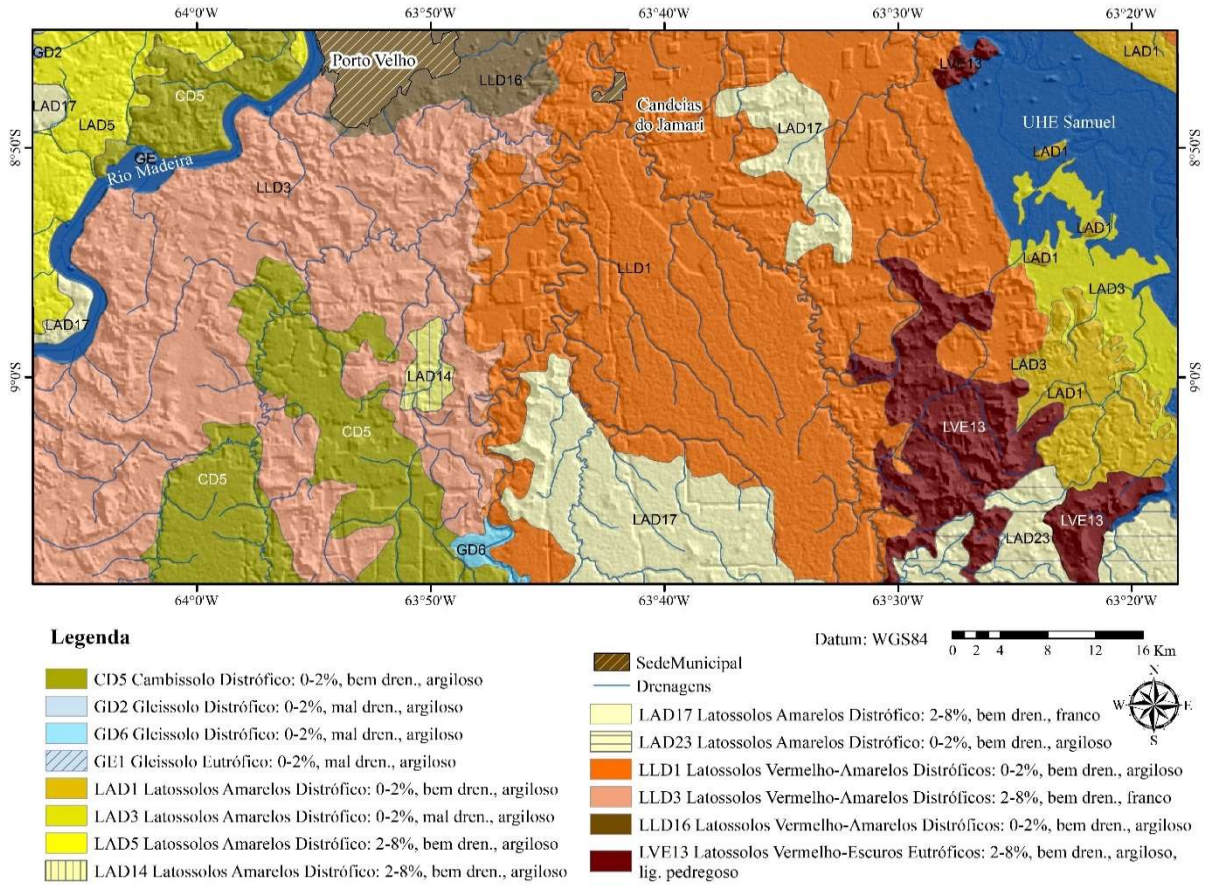


Figura 5 – Mapa de solos da área de estudo. Modificado de Rondônia, (2002).

Em termos geológicos, a área de estudo está localizada no sudoeste do cráton amazônico, nos domínios da província Rondônia-Juruena (QUADROS e RIZZOTTO, 2007), mais exatamente, no Domínio Jamari (região centro-ocidental de Rondônia). Este domínio é composto por tonalitos, quartzo-dioritos, granitos, anfibolitos e rochas supracrustais subordinadas, com rochas ortoderivadas com idades entre 1,76 e 1,73 Ga. A unidade geológica mais antiga é o Complexo Jamari, constituído por quartzo-dioritos e ortognaisses tonalíticos (QUADROS e RIZZOTTO, 2007). Em todo caso, a ocorrência é restrita, há pequenos afloramentos localizados na porção sudeste e noroeste da área. Também ocorrem suítes intrusivas, tais como a Serra da Providência, constituída por sieno e monzogranitos, charnockito, mangerito, e rochas máficas associadas, com idades entre 1606 ± 24 Ma (U-Pb), e 1532 ± 5 Ma (BETTENCOURT *et al*. 1999); e a Santo Antônio, constituída por monzogranito e sienogranito com idade de cristalização de 1358 ± 2 Ma (RIZZOTTO E QUADROS, 2005)

A unidade denominada coberturas detrito-lateríticas é composta por crostas lateríticas ferruginosas, com perfis completos ou não, e depósitos resultantes de seu desmantelamento. As crostas sustentam parte do relevo, formando platôs em áreas onde a porção superior do perfil é mais endurecida. A porção superior dos perfis é, em geral, colunar/concrecionário. Nas encostas aflora a parte intermediária dos perfis lateríticos, caraterizada por horizonte mosqueado parcialmente coberto por colúvios/alúvios areno-argilosos (Figura 6).

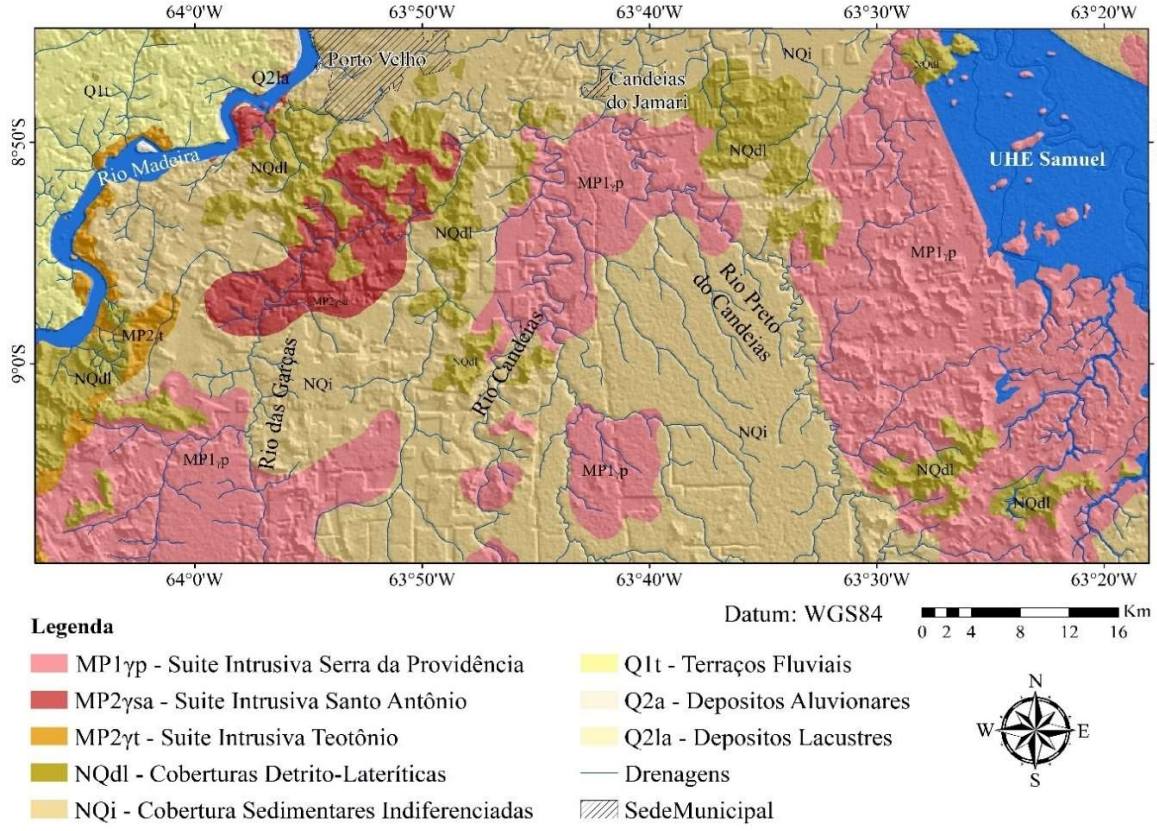


Figura 6 – Mapa geológico, modificado de Quadros e Rizzotto, (2007).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O Regolito e a Geografia Física

O termo regolito vem do latim *reghos* que significa cobertura e *lithos* rocha, denotando literalmente a cobertura da rocha. O termo foi introduzido por Merrill em 1897, e engloba todo material inconsolidado ou pouco coeso que cobre o embasamento rochoso independente de sua espessura e origem. Este material pode ser derivado diretamente das rochas subjacentes ou pode ser transportado pelo vento, água, gelo e depositado em outras áreas. O termo foi redefinido por Eggleton em 2001 como:

> "Toda cobertura não consolidada ou secundariamente recimentada que cobre o leito de rocha, que se formou por intemperismo, erosão ou transporte e/ou deposição de material mais antigo. O regolito, assim, inclui rochas do embasamento fraturadas e intemperizadas, saprólitos, acumulações orgânicas, material vulcânico, depósitos glaciais, colúvio, alúvio, sedimentos evaporíticos, depósitos eólicos e água subterrânea."

De modo geral, o regolito pode ser definido como o material contido entre a rocha sã e o ar, considerando assim rochas intemperizadas (saprolito), solos (pedolito), material vulcânico, sedimentos, gases, água e biota. Dessa forma, tem forte relação com aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo, especialmente com áreas associadas a agricultura, pecuária, recursos minerais, áreas de risco geológico, etc. Por outro lado, o estudo do relevo e do solo são importantes para a escolha de lugares propícios para a construção de casas, prédios, fábricas, estradas, aeroportos, pontes, plantações, pastagens etc.

Scott e Pain (2008) afirmam que o regolito está composto por rochas fisicamente fragmentadas e quimicamente alteradas. As rochas, quando alteradas moderada a intensamente, formam perfis que apresentam embasamento progressivamente mais alterado em direção à superfície (Figura 7).

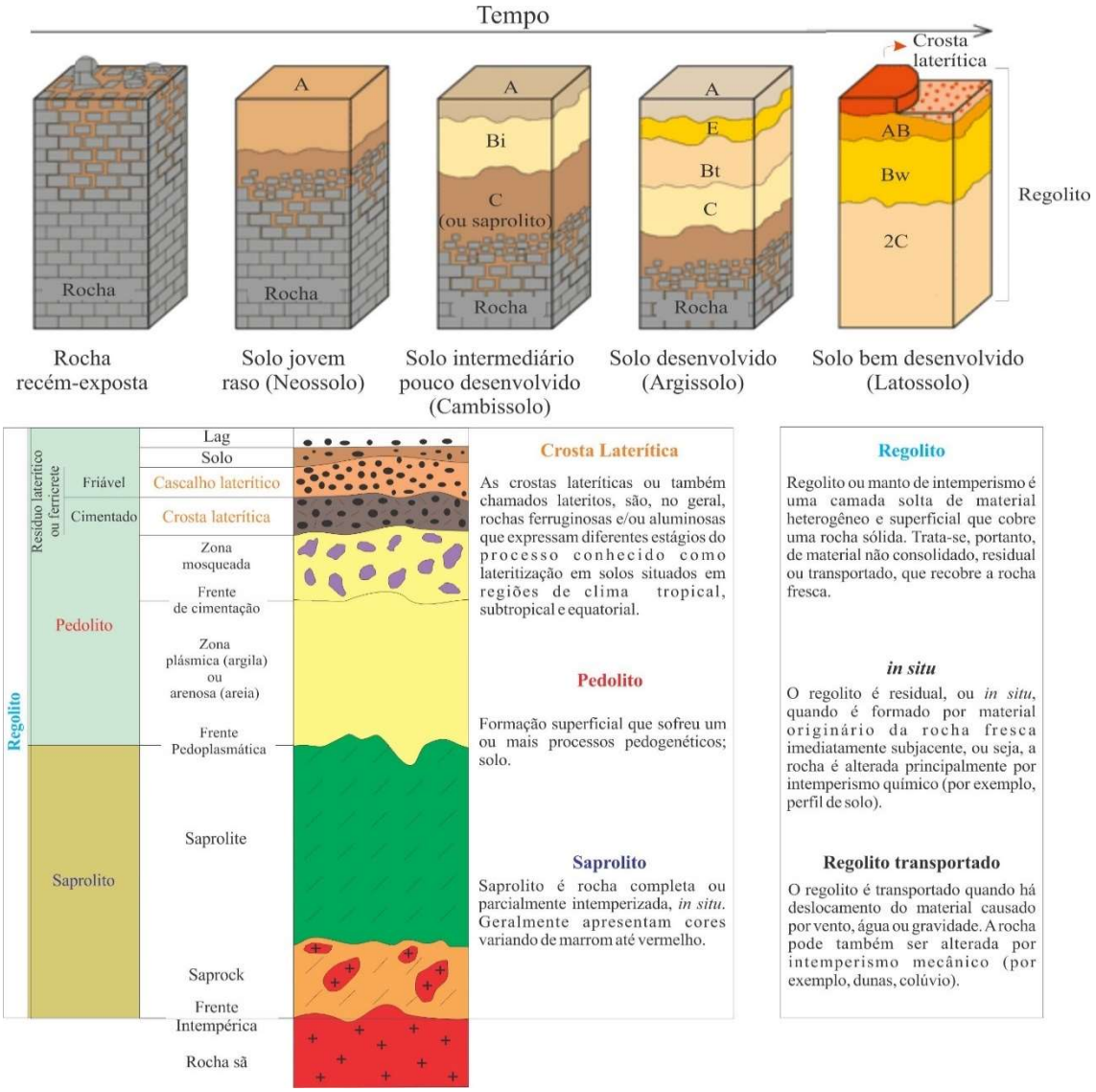


Figura 7 – A) alteração do embasamento, passando por diferentes fases, formando regolito (solos de diferentes tipos, crosta laterítica, etc.) Modificado de Wilford (2011). B) detalhe do perfil laterítico. Modelo modificado de Anand e Butt (1988); Anand *et al*. (1989); e Eggleton (2001).

A formação do regolito, assim como a sua profundidade, está associada ao clima e/ou ambiente, tal como explicado por Strakhov (1967), onde as maiores profundidades ocorrem nas áreas cobertas por florestas próximas à linha do equador. Nessas áreas, há maiores temperaturas, altas taxas de pluviosidade e florestas densas, tal como na Amazônia, que por ter as condições ideais, apresenta grande área de espesso regolito (Figura 8). Tardy e Roquin (1992) afirmam:

> "Os lateritos estão espalhados na Austrália, Índia, Burma (hoje Myanmar), Brasil e África Intertropical. Nestas regiões, o embasamento se encontra geralmente intemperizado em profundidades de mais de 10 m alcançando até 150 m, dependendo da idade de lateritização, atividade tectônica regional, clima e natureza dos materiais fonte. Apesar de uma certa homogeneidade na composição mineralógica e química, oferecem grande variedade de cores, texturas e facies

> petrográficas que podem não necessariamente refletir a rocha fonte das quais derivam. Na maior parte dos escudos Brasileiro e Africano, um manto laterítico muito espesso foi formado continuamente por mais de 100 Ma (King, 1957, 1962; Michel, 1973). No geral, os lateritos são formações reliquiares, não necessariamente fósseis, mas que têm evoluído e continuam evoluindo sob vários climas tropicais, mudando ou flutuando de equatorial, tropical úmido para semiárido. Como consequência da complexidade da história climática, os mecanismos de formação e destruição de perfis lateríticos e de paisagens são geralmente difíceis de decifrar."

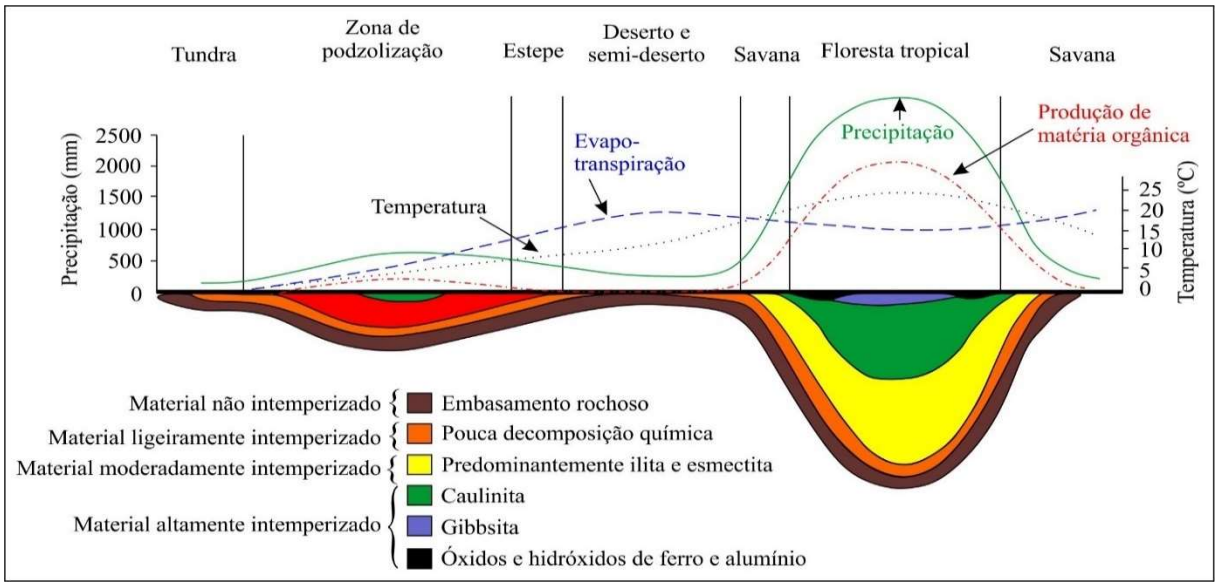


Figura 8 – Distribuição e profundidade do regolito e associação ao clima (Modificado de Taylor e Eggleton, 2001 e Strakhov (1967).

O estudo do regolito não se limita apenas à geologia, geomorfologia e pedologia, mas também para aplicação em diversas ciências onde os objetos de estudo encontram-se em interação com ele. Por exemplo, segundo Taylor e Eggleton (2001), a ecologia, que relaciona a energia e o movimento de materiais entre organismos e seu ambiente natural, depende do estudo do regolito, da atmosfera e da hidrosfera. De acordo com os autores, o regolito fornece os nutrientes essenciais para as plantas (incluindo o fosfato, enxofre, potássio, cálcio e elementos traços) e apoio para as raízes, além de armazenar a água necessária para o crescimento delas. A agricultura e manejo da terra também dependem das características do regolito. Quando existe alternância de climas secos e úmidos, há flutuação do lençol freático, os sais são movimentados para a superfície, que traz como consequência a degradação e erosão do solo, diminuindo drasticamente a produtividade da terra (TAYLOR e EGGLETON, 2001).

Pope (2013), afirma que os subprodutos do intemperismo fazem parte do ambiente geomórfico e que os solos são influenciados pela geomorfologia, ou seja, são parte dela, sendo

assim peça importante para o entendimento dos processos geomorfológicos. O autor destaca que o solo é resíduo do intemperismo, e forma parte da interface Terra-atmosfera-biosfera.

Adicionalmente, Pope (2013), abordando o intemperismo nos trópicos e os processos extratropicais relacionados, destaca, entre outros aspectos, as formas de relevo positivas. O autor ressalta que os *inselbergs, tors* e platôs, são resistentes principalmente por motivos estruturais e litológicos e afirma ainda que as formas de relevo supracitadas têm sido o foco de muitas pesquisas de geomorfologia tropical (BÜDEL, 1982; DIAS FERREIRA, 1997; QUEIROZ NETO, 2000; ÁVILA e CARVALHO, 2012; MARQUES NETO, 2014).

O mapeamento do regolito tem sido realizado de forma sistemática na Austrália, onde grande parte do território é coberto por espesso manto de alteração. Neste país, por exemplo, o mapeamento do regolito é de grande importância, pois as rochas afloram em menos de 15% da área total do território (SCOTT e PAIN, 2008). Similarmente, a Amazônia está coberta por perfil laterítico (solos e crostas lateríticas) (BARDOSSY e ALEVA, 1990; COSTA, 1991, 2007; LACERDA FILHO *et al.*, 2004; REIS *et al.,* 2006; QUADROS e RIZZOTTO, 2007; VASQUEZ e ROSA-COSTA, 2008; KLEIN e SOUSA, 2012; ADAMY, 2015), e outros materiais constituintes do regolito, fazendo do referido mapa um produto útil e necessário para diversas aplicações, tais como, na identificação de áreas para fornecimento de material para a construção de estradas, fabricação de tijolos, material para cimentos, (areia, argila, cascalho, etc.), mas também para o planejamento de construção de edificações.

De acordo com o manual técnico de geomorfologia (IBGE, 2009) as bases e os princípios da cartografia geomorfológica são fundamentados em uma base geológica como elemento essencial; fixação, delimitação e descrição precisas das formas de relevo em si mesmas; fixação da altimetria, representação dos domínios morfoclimáticos e morfoestruturais; representação da dinâmica de evolução geomorfológica atual; e não menos importante, a cartografia das formações superficiais, ou seja, o mapeamento do regolito.

Ainda de acordo com o IBGE (2009), as formações superficiais “abrangem toda a cobertura de material decomposto sobrejacente à rocha sã”. Podem ser autóctones, compreendendo os solos residuais e saprólitos intemperizados *in situ*, ou alóctones, resultantes da ação dos processos erosivo-deposicionais sobre os mantos de alteração (SCISLEWSKI, 2003). A maior parte dessas formações remonta ao Cenozoico e está relacionada às condições ecológicas da época de sua formação. Seu estudo permite conhecer os sistemas morfogenéticos do passado, fornecendo elementos essenciais para a interpretação evolutiva da paisagem, uma vez que são formações associadas a formas de relevo e a processos específicos de determinado sistema morfoclimático (PENTEADO, 1980).

É importante fazer uma observação em relação aos diferentes conceitos abordados até agora. Por um lado, Eggleton (2001) define o regolito de forma abrangente, incluindo não apenas o material alterado acima da rocha sã e solos, mas também matéria orgânica, águas subterrâneas, material vulcânico, depósitos glaciares, etc. Por sua vez, Merrill (1897) coloca uma definição mais conservadora, onde o regolito é conformado por todo material inconsolidado ou pouco coeso que cobre o embasamento rochoso independente de sua espessura e origem, seja ele *in situ*, ou transportado. Este conceito é similar ao de formações superficiais proposto pelo IBGE (2009) que as define como a cobertura de material decomposto sobrejacente à rocha sã. Por sua vez, os materiais intemperizados *in situ* são os chamados perfis lateríticos que, quando completos e em estágio avançado, incluem as crostas lateríticas.

Neto (2001) avaliando as formações superficiais no Brasil afirma que:

> "Duas grandes tendências manifestaram-se no Brasil no estudo das formações superficiais, nem sempre convergentes, porém ambas tentando distinguir as autóctones das alóctones: a dos pedólogos, porque as formações superficiais representam os materiais de origem dos solos, e a dos geomorfólogos/geólogos, porque podem representar testemunhos dos processos responsáveis pela elaboração do relevo."

O autor afirma que é necessário lembrar que os caminhos trilhados por pedólogos e geomorfólogos no estudo das formações superficiais não convergem pelo fato de terem pontos de partida, procedimentos e objetivos diferentes. Nesse sentido, o mapeamento do regolito se destaca pois une em um produto diversas informações (solo, geomorfologia, geologia, etc.).

Na origem das formações superficiais, Scislewski (2003) destaca também os processos geoquímicos e pedológicos de interesse para a compreensão da gênese das coberturas detrito-lateríticas. As crostas lateríticas, que representam parte do regolito, são reflexo do paleoclima e suas características particulares são úteis para o refinamento e atualização de mapas, tais como, geológico, geomorfológico, de uso e ocupação do solo, etc. Todas estas informações complementam as de caráter qualitativo na investigação da evolução do relevo.

Torres *et al.* (2012) consideram que o estudo dos paleossolos é de interesse da paleopedologia e da geomorfologia na medida em que podem marcar superfícies geomorfológicas, sendo elementos importantes na reconstrução paleogeográfica e paleoambiental e, portanto, no próprio estudo do regolito. Os autores destacam também o estudo dos latossolos preservados nos topos de chapadas ou em terrenos de baixa atividade erosiva por vezes lateritizados, que podem ser importantes marcadores de superfícies geomórficas.

No que diz respeito à pedogênese, Penteado (1980) afirma que o clima controla os processos de intemperismo por meio das temperaturas e as precipitações, e indiretamente, por meio da cobertura vegetal. Neste caso, o resultado da atuação desses fatores é o desenvolvimento de solos. Adicionalmente, a autora afirma que a intensidade da lixiviação é indiretamente função da temperatura e quantidade de água infiltrada. No que diz respeito às relações entre pedogênese e morfogênese, a evolução morfopedogenética se faz em relações de causa e efeito com a evolução dos solos. Neste sentido, os solos refletem um equilíbrio frágil entre relevo, clima e vegetação.

Penteado (1980) abordou, entre outros aspectos, as propriedades geomorfológicas nas rochas e sua influência no relevo e destacou os processos exógenos na elaboração da paisagem, com ênfase ao intemperismo químico, mecânico e pedogênese. A autora afirma que:

> "A intensidade do intemperismo é altamente dependente de numerosos fatores, os quais incluem tamanho das partículas da rocha, permeabilidade do manto rochoso, posição do nível hidrostático, relevo, temperatura, composição e quantidade de água subterrânea, oxigênio e outros gases no sistema, macro e micro flora e fauna presente, superfície exposta da rocha e sua modificação pelo intemperismo mecânico assim como solubilidade relativa das rochas originais e dos materiais intemperizados".

Nesse sentido, o estudo do regolito tem permitido assim a compreensão dos processos supergênicos e constitui ferramenta de apoio para geologia ambiental, mapeamento geológico, exploração mineral, ecologia do solo, estudo de águas subterrâneas, geomorfologia, evolução da paisagem, uso e ocupação do solo, entre outros, de forma integrada (PAIN e OLLIER, 1995; OLLIER e PAIN, 1996; WILFORD *et al.,* 1997; TAYLOR e EGGLETON, 2001; EGGLETON, 2001; CLARKE, 2003; ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004; ACKERMAN, 2005; ZANI *et al.*, 2005; CARRINO *et al.,* 2011; WILFORD, 2012; IZA *et al.,* 2016a; IZA *et al*., 2016b; HERRERA *et al*., 2016a; HERRERA, 2016). Desse modo, ao estudar o regolito e a lateritização é possível também obter importantes dados sobre a evolução do Cenozoico e sobre as mudanças climáticas naturais que ocorreram na Terra e os aspectos morfológicos associados.

Por exemplo o IBGE (2009) afirma que:

> "...Com base no conhecimento do tipo de relevo, da evolução das vertentes e da dinâmica fluvial é possível proceder uma análise integrada do ambiente, tendo como base a avaliação do relevo ou avaliação morfodinâmica da paisagem. Esta avaliação identifica categorias de relevo em função de suas características e sua dinâmica atual, bem como os efeitos das atividades antrópicas e sua reciprocidade sobre a morfodinâmica. Nela é considerada a interação do relevo com outras

> variáveis ambientais como a rocha, o solo, a cobertura vegetal, além do clima e da hidrologia...”

Por sua vez, os perfis lateríticos (regolito *in situ*) são considerados produtos geológicos resultantes dos processos de lateritização, formados pelo intemperismo tropical e paleotropical a partir de qualquer tipo de rocha exposta à superfície, denominados coletivamente de formações lateríticas (COSTA, 2007), constituindo assim fração importante do regolito. As formações lateríticas cenozoicas são frequentemente encontradas no grande cinturão intertropical atual, situado entre 30º Sul e 30º Norte do Equador (Figura 9)**.** Entretanto, as já conhecidas mundialmente estendem-se além deste cinturão, sendo encontradas em várias regiões, aparentemente imprevisíveis para estas rochas que, no entanto, estão indicando que foram, ao tempo de sua formação, palco de clima tropical a subtropical. Perfis lateríticos têm sido encontrados na Rússia cobertos por rochas sedimentares, carvão e derrames basálticos, no deserto de Israel, Grécia e na Turquia, metamorfizados (COSTA, 2007).

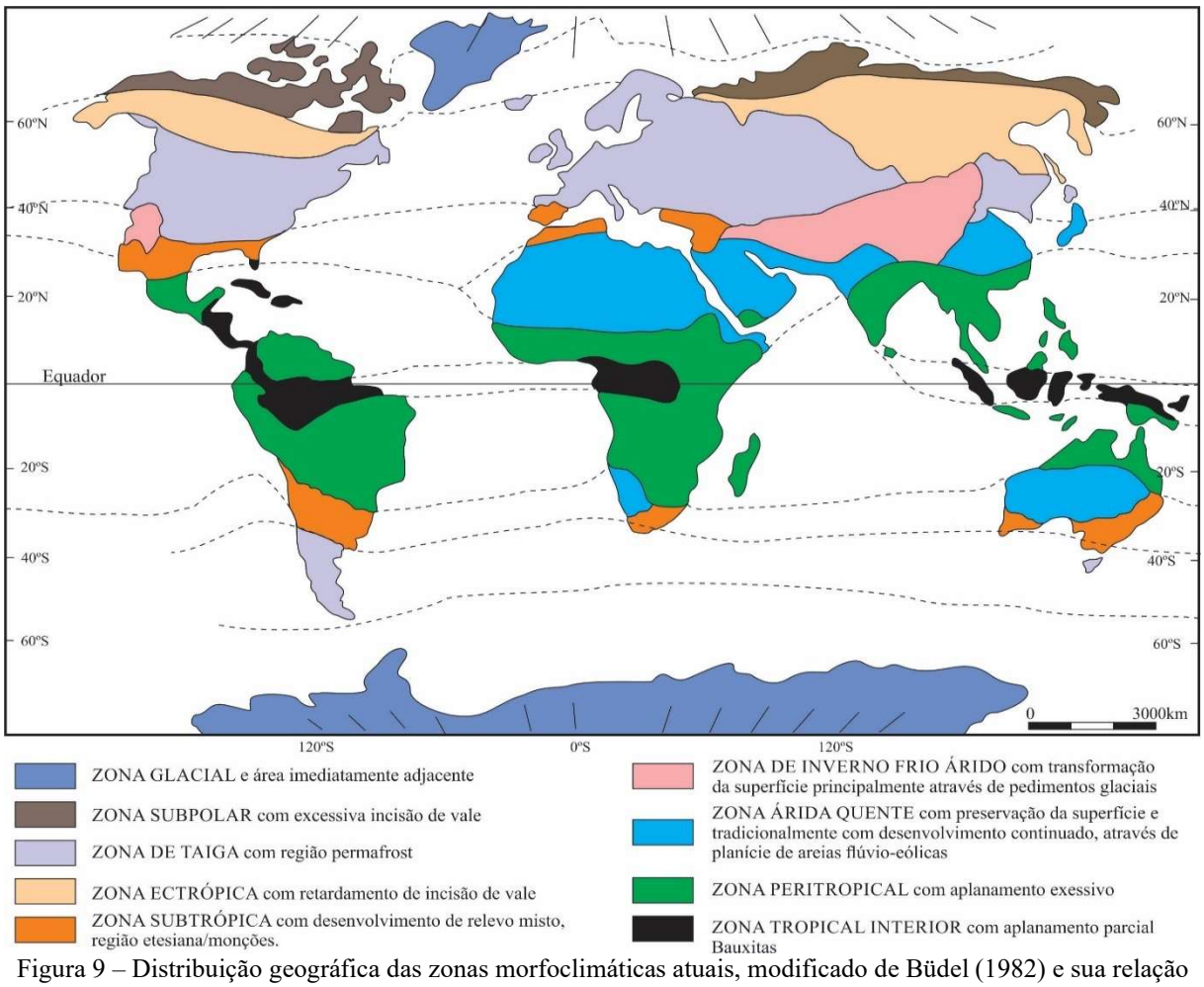


Figura 9 – Distribuição geográfica das zonas morfoclimáticas atuais, modificado de Büdel (1982) e sua relação com as formações lateríticas (bauxíticas) dominantemente cenozoicas e atuais.

Ao longo da história geológica da Terra o intemperismo foi um processo importante. Notadamente, em condições de clima tropical úmido as crostas lateríticas são os representantes mais notáveis do intemperismo, contudo, somente os registros mais recentes estão preservados devido às intensas transformações ocorridas na superfície da Terra (DENNEN e NORTON, 1977; ALEVA, 1981; KRONBERG *et al*., 1982; NAHON *et al*., 1989; BARDOSSY e ALEVA, 1989; TARDY e ROQUIN, 1998). Na Amazônia, assim como ao longo do cinturão intertropical, as crostas lateríticas estão relacionadas ao Cenozoico (LUCAS *et al*., 1989; BOULANGÉ e CARVALHO, 1997; COSTA 1997; HORBE e COSTA 1999; KOTSCHOUBEY *et al*., 2005; HORBE e COSTA 2005).

No que tange à evolução de vertentes e solos, Penteado (1980) discute a relação do equilíbrio e desequilíbrio bioclimático (bioestasia e resistasia, respectivamente), e destaca que a análise morfológica dos perfis de solo é de total interesse para a geomorfologia, pois os tipos e a evolução dos perfis indicam a natureza dos processos morfogenéticos atuantes, fornecendo ainda informações a respeito da ação paleoclimática. Neste sentido, o estudo e reconhecimento dos solos permite reconstituições paleomorfogenéticas. A autora discute ainda o papel das couraças (crostas lateríticas) na morfologia e afirma que elas têm papel importante no relevo e nos processos morfogenéticos da zona tropical.

Bigarella *et al.* (1996), estudando a estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais (intemperismo biológico, pedogênese, lateritização, bauxitização e concentração de bens minerais), baseados nas proposições de Thomas (1974) consideram que as formas de terreno associadas aos lateritos compreendem diversos aspectos, decisivos em estudos geomorfológicos e com impacto a interação com o homem (vertentes, escarpas, chapadas, etc.).

De forma complementar o IBGE (2009) afirma que:

> "A existência de diferentes propostas de classificação de declividade revela o interesse no estabelecimento de critérios que sejam capazes de orientar o uso adequado do relevo, possibilitando a identificação de áreas suscetíveis aos processos erosivos e a movimentos de massa. Informações a respeito do declive das vertentes por si só são de considerável importância, tendo em vista a possibilidade de indicar fatores crítico e restritivo a determinados usos, como é o caso da rede viária e da agricultura. De particular interesse, tem sido a utilização da declividade como fator regulador da ocupação nas áreas urbanas, fato que pode ser constatado nos limites estabelecidos nos planos diretores e amparados na legislação ambiental. Inúmeros institutos de pesquisa desenvolvem estudos permanentes a respeito da dinâmica das vertentes, sobretudo em áreas consideradas de risco à ocorrência de movimentos de massa, associados a declives acentuados e à presença de material de menor resistência aos agentes erosivos".

Em suma, é na superfície da terra, onde o regolito ocorre, que acontecem grande parte das relações sociais, e por isso requer atenção especial por parte de diversas disciplinas relacionadas às geociências, inclusive à própria geografia.

Essencialmente, o estudo do regolito é realizado a partir da integração de dados multifonte, fato frequente em diversos países do mundo. Entretanto, grande parte dos estudos geomorfológicos, geológicos, pedológicos, geofísicos são realizados, de forma isolada no país. No sudoeste da Amazônia há diversos trabalhos regionais de cunho temático realizados a partir da década de 70 (MELO *et al.*, 1978; RONDÔNIA, 2002; IBGE, 2013; QUADROS e RIZZOTTO, 2007; OLIVEIRA e FILHO, 2013); porém existem raríssimos trabalhos de integração multitemática (geofísica, altimetria, geologia, solos, pedologia, etc.), sendo notório na região de estudo o trabalho de Araújo *et al.* (1978) que realizaram o mapeamento de uso potencial da terra para o Projeto RadamBrasil.

3.2 Mapeamentos Regionais Temáticos

Existem diversos trabalhos geomorfológicos realizados no estado de Rondônia, a maioria em escalas de 1:500.000 ou 1:1.000.000. Melo *et al*. (1978) realizaram o mapeamento geomorfológico da folha SC.20 Porto Velho, além de discutir e estabelecer uma metodologia adequada para mapeamento baseados em imagem de radar. Os autores analisaram a compartimentação do relevo em função de sua evolução e revela a existência de três superfícies pediplanadas na área de estudo, sendo a primeira o Topo, que constitui o truncamento do topo da serra dos Pacaás Novos e entendida como pós-cretácica; a segunda Intermediária que secciona a serra Moreira Cabral e tida como terciária; e a última Rebaixada que compreende toda a superfície rebaixada e datada como neopleistocênica. Adicionalmente referiram-se a efeitos de tectônica tardia interferindo na disposição e evolução da drenagem e reconstitui os diferentes processos morfogenéticos que se instalaram a partir do Neo-Pleistoceno. Os autores identificaram diversas unidades geomorfológicas, contudo, a que coincide com a área de estudo é denominada Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental) que consiste em extensas áreas aplainadas ainda conservadas (Ep) e relevos dissecados em interflúvios tabulares.

Araújo *et al*. (1978) afirmam que o mapa de Uso Potencial da Terra proporciona a descrição da distribuição das classes, das limitações e das possibilidades naturais para as atividades de exploração de madeira, exploração mineral, lavoura e criação de gado em pasto plantado, extrativismo vegetal e criação de gado em pastos naturais. Os autores realizaram o mapeamento e a análise do uso potencial da terra utilizando mapas e elementos disponíveis por distintos órgãos, tais como, o mapa geomorfológico, imagens de radar, mapa exploratório de

solos, bioclimático e fitoecológico, sendo assim um mapa temático gerado a partir de dados multifonte.

Rondônia (2002), por exemplo, ao realizar o mapeamento geomorfológico na escala 1:1.000.000, definiu a compartimentação das unidades do relevo regional, buscando compreender a dinâmica da paisagem, ou seja, as transformações que ocorrem ao longo do tempo e espaço. O autor procurou apresentar as formas de relevo por meio de uma classificação que permitiu o reconhecimento da gênese das formas, bem como suas características morfológicas e morfométricas. Para a análise das diferentes unidades geomorfológicas foram interpretadas imagens de satélite e posteriormente correlacionadas com a litologia e tipos de solo com o objetivo de aprimorar as informações relacionadas à estrutura superficial da paisagem. As unidades geomorfológicas mais relevantes identificadas pelos autores foram, na área de estudo, os terraços altos não dissecados formados por depósitos antigos de origem fluvial, unidade denudacional 2210 com relevo plano e evidências de couraças ferruginosas, denudacional 2211 de dissecação baixa e nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors* e a unidade denudacional 2212 de dissecação baixa e muitos *tors* e *hillocks* residuais.

Rondônia (2002) também elaborou o mapa de solos na escala 1:250.000 com o objetivo de esboçar o panorama dos solos, tendo por base a digitalização do mapa de unidades SOTRO (Solos e Terrenos de Rondônia delimitados diretamente sobre imagens de satélite LANDSAT TM). Na fase posterior, foram realizadas etapas de campo que permitiram a delimitação final das unidades separadas por interpretação e classificação, além de viabilizar a coleta de amostras para análises físicas e químicas. As principais unidades identificadas pelos autores foram Cambissolos, Gleissolos e Latossolos, sendo este último o mais extenso na região, apresentando grande diversidade de tipos de acordo com a cor, textura e teores percentuais de Fe_2O_3.

Quadros e Rizzotto (2007) realizaram o mapeamento geológico do estado de Rondônia, iniciando com o levantamento bibliográfico sobre a geologia da região, constando dados de diferentes órgãos federais e estaduais e empresas de mineração com resultados registrados anualmente no DNPM, mapas geológicos executados entre 1970 e 1990, assim como o Mapa Geológico e de Recursos Minerais de Rondônia de Scandolara *et al.* (1999), entre outros mapas. Posteriormente, foram realizadas etapas de campo para solucionar problemas estratigráficos em áreas com ausência de dados, assim como para o levantamento e descrição de seções geológicas contínuas em estradas. As principais unidades geológicas identificadas pelos autores foram as Suítes Intrusivas Serra da Providência, Santo Antônio e Teotônio, Terraços Fluviais, Depósitos Aluvionares e Lacustres, assim como Coberturas Detrito-Lateríticas e Coberturas Sedimentares indiferenciadas.

IBGE (2013) fez o reconhecimento geomorfológico da área, e identificou 4 unidades geomorfológicas principais: Planície Amazônica, Depressão do Ituxi-Jari, Depressão de Porto Velho, Depressão do Madeira-Ji-Paraná e Planaltos Residuais do Madeira-Ji-Paraná.

Para realizar o diagnóstico técnico-econômico sobre os principais insumos minerais utilizados pela construção civil, Oliveira e Filho (2013) fizeram o levantamento de dados pré-existentes de geologia, recursos minerais, uso e ocupação do solo, áreas de conservação ambiental, etc. Como resultado apresentam um mapa geológico atualizado, assim como diversos mapas temáticos, tais como, o mapa de potencial mineral e de uso e ocupação do solo. Entre as principais unidades geológicas identificadas estão os sedimentos aluvionares, sedimentos lacustres, planícies fluviais, coberturas sedimentares indiferenciadas, coberturas detrito-lateríticas com ou sem horizontes mosqueados e granitoides. Já para o mapa de uso e ocupação do solo, as unidades identificadas foram de vegetação, áreas do Plano Diretor Participativo do Município de Porto Velho e unidades representando áreas de exploração de insumos para uso na construção civil.

Palmeira *et al.* (2018) realizaram o mapeamento geológico da Folha Ariquemes que tem recobrimento parcial com a porção sul da área de estudo. As principais unidades geológicas mapeadas pelos autores incluem a Suíte Intrusiva Teotônio, a Suíte Serra da Providência, crostas lateríticas nodular/pisolíticas e coberturas sedimentares indiferenciadas.

3.3 Integração Multifonte e Mapeamento do Regolito

A integração multifonte é um dos preceitos básicos do estudo do regolito, e seus resultados podem ser úteis para o planejamento urbano e rural. Portanto, é de grande importância a interação e contribuição de diferentes áreas de estudo, tais como biologia, hidrologia, geologia, entre outros. Para Petersen *et al.* (2015) as tecnologias empregadas para entender melhor a geografia física estão em franca evolução, e neste aspecto, os modelos previsionais baseados em dados multifonte (geofísica, geomorfologia, geologia, pedologia, etc.) têm ganhado cada vez mais espaço (WILFORD *et al*., 1997; CARRINO *et al.*, 2011; WILFORD *et al*., 2012; METELKA, 2011; MARTELET *et al*., 2013; IZA *et al*., 2016a; IZA *et al.,* 2016b; HERRERA *et al*., 2016a; HERRERA, 2016; ALBUQUERQUE, 2018) e constituem-se em ferramentas robustas na descrição da paisagem e dos processos associados.

Por outro lado, a necessidade de compreensão da distribuição espacial dos solos e da sua dinâmica requer a integração dos estudos pedológicos com outros ramos do conhecimento (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005). A abordagem integrada de geomorfologia, pedologia, geologia, etc., foi desenvolvida por diversos autores (MILNE, 1935; NYE, 1955; OLLIER,

1959; BUTLER e HUTTON, 1956; BUTLER, 1959; STEPHENS, 1961, entre outros). Contudo, há ainda muito a se entender sobre a relação entre o solo e o relevo, o que justifica um dos principais objetivos dos estudos de integração da geomorfologia, estratigrafia e hidrologia, que é obter melhor entendimento dos atributos e da distribuição dos solos na paisagem (BIRKELAND, 1990).

Guerra e Cunha (1994) afirmam que há certa independência da geomorfologia como ciência, entretanto, essa posição é insuficiente para encobrir os profundos laços de origem que a ligam à geografia e geologia. Nesse mesmo diapasão, Bigarella (2007), abordando aspectos da geomorfologia estrutural, compartimentação do relevo e depósitos correlativos, destaca, entre outros aspectos, o significado paleográfico e paleoclimático dos depósitos rudáceos evidenciando, portanto, a forte relação entre geomorfologia e geologia em especial em estudos de evolução do modelado. As duas últimas citações corroboram a necessidade da integração multifonte e de estudos correlatos.

Taylor e Butt (1998) afirmam que o entendimento do desenvolvimento e evolução do regolito é relevante, pois pode conduzir ao descobrimento de jazidas de Al, Fe, Mn, Ni, Cu, e minerais industriais, como caulinita, areias monazíticas e elementos terras raras (TAYLOR e BUTT, 1998). Segundo os referidos autores, também pode haver enriquecimento secundário de sistemas mineralizados, como depósitos de ouro, cobre e urânio supergênicos.

Por sua vez, Taylor e Eggleton (2001) afirmam que o mapeamento do regolito pode ser útil para o registro de informação sobre a natureza e distribuição dos seus respectivos materiais constituintes, no fornecimento de mapas de aplicação específica, como por exemplo, parâmetros geológicos de engenharia do regolito, no auxílio da visualização da distribuição espacial das crostas lateríticas, canais de drenagem, etc. e como base de grande parte das pesquisas e estudos pedológicos, geomorfológicos, de recursos minerais, etc. Adicionalmente, os referidos autores afirmam que o estudo das crostas lateríticas permite a compreensão da evolução da paisagem em termos paleoclimáticos.

Para Colin *et al.* (2004), os lateritos são objeto de pesquisas cientificas multiabordagens e multiescalas que requerem estudos multidisciplinares integrados. De acordo com Anand e Paine (2002), o mapeamento do regolito comumente considera a integração de dados multifonte, tais como, aerogeofísica, geoquímica, modelos digitais de elevação (altimetria), mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos, de solos, etc.

Por sua vez, Lau (2005) fez o mapeamento do regolito (formas de relevo-regolito) em uma região no sudeste da Austrália utilizando dados multifonte, integração de imagens

aerogeofísicas, modelos digitais de elevação, mapas de distribuição mineral e análises espectrais e de difração de raios-X.

Notadamente, dados de aerogeofísica para a identificação de materiais regolíticos têm sido usados por outros autores, tais como Wilford *et al*. (1997, 2007, 2012), Carrino *et al.* (2011), Arhin *et al.* (2015), Iza *et al.* (2016a), Herrera *et al.* (2017), Albuquerque (2018) entre outros. Wilford *et al.* (1997) identificou materiais regolíticos integrando dados de aerogeofísica e dados de altimetria para Austrália.

Wilford *et al.* (2007) usou técnicas digitais de delimitação de formas de relevo e as combinou com informações de intensidade de intemperismo/profundidade do regolito derivadas a partir de dados de aerogeofísica e modelos digitais de elevação para prever a distribuição espacial de tipos de solo e informação geral do regolito, e assim atualizar mapas de solos e formas de relevo.

Wilford *et al.* (2012) desenvolveu o índice de intensidade de intemperismo para Austrália, permitindo assim entender melhor o regolito. Por sua vez, Iza *et al.* (2016a) identificou superfícies de aplanamento por meio da identificação de áreas com potencial para a ocorrência de crostas lateríticas utilizando dados gamaespectrométricos e de relevo.

Arhin *et al.* (2015) gerou o mapa do regolito na região norte de Gana utilizando dados multifonte. Os autores combinaram diferentes bandas de satélite com o intuito de discriminar unidades ferruginosas das não-ferruginosas, regolito residual, etc., e utilizaram dados de SRTM (geomorfologia) para delimitar áreas residuais e aluviais.

Wilford *et al.* (2016) destaca a importância da profundidade do regolito para a exploração mineral. Os autores usaram dados de poço disponíveis, e aplicaram uma predição de mapa baseado em uma correlação ambiental que usa variáveis espaciais, tais como análises do terreno, clima e dados radiométricos. O mapa final é consistente com áreas conhecidas de intemperismo profundo e de acumulação de sedimentos recentes, e fornecem estimativas em áreas com poucos dados de poços.

Metelka *et al.* (2018), utilizaram dados multifonte (dados aerogamaespectrométricos, SRTM, imagens de sensoriamento remoto, dados de radar polarimétricos) e aplicaram técnicas de redes neurais para o mapeamento automatizado do regolito em uma região de Burkina Faso. Os autores obtiveram excelentes resultados, detalhando de forma mais exata as crostas lateríticas da região e demonstraram o potencial do aprendizado de máquina para o mapeamento do regolito.

No Brasil existem poucos trabalhos de mapeamento do regolito (BRANDÃO, 2009; MEDEIROS FILHO, 2002; MEDEIROS FILHO *et al.*, 2007; IZA *et al.*, 2018), portanto, a

técnica ainda se encontra em fase inicial de execução. Neste trabalho os procedimentos realizados são pioneiros no norte do estado de Rondônia, especialmente por utilizar a integração de dados multifonte.

Alguns trabalhos, tais como, os de Medeiros Filho (2002) e Medeiros Filho *et al.* (2007) mapearam o regolito identificando diferentes regimes geomorfológicos e seus diferentes materiais em superfície em diversas áreas no estado do Pará.

Por sua vez, Carrino *et al.* (2011) aplicou técnicas de estatística multivariada a dados gamaespectrométricos para caracterizar o espesso regolito em uma área ao leste do estado Amazonas (Região central da Amazônia Brasileira). Os referidos autores associaram altos valores de eTh, e eTh/K e baixos valores de K e K/eU a platôs lateríticos e destacaram a importância da técnica para a prospecção mineral.

Albuquerque (2018) integrou dados multifonte para a identificação de áreas favoráveis para a ocorrência de crostas lateríticas no sudeste do estado do Amazonas ratificando o potencial dos lateritos como ferramenta de mapeamento e prospecção e para auxiliar na interpretação da evolução geomorfológica.

Por fim, Iza *et al.* (2018) realizou estudos geoquímicos e geofísicos para mapear o regolito em uma área no sudeste de Rondônia, obtendo resultados pioneiros na região (mapa do regolito) ao apresentar um mapa previsional do índice de intensidade de intemperismo (III) e o índice laterítico (IL) que foram úteis para a identificação das unidades regolíticas.

Por outro lado, Bandeira *et al*. (2018), Pfaltzgraff *et al.* (2018) e Lacerda *et al.* (2018) publicaram mapas de geodiversidade da Ilha de São Luis, MA, da Região Metropolitana de Recife e do Distrito Federal, respectivamente, que tiveram como uma das bases analisadas o mapa de formações superficiais. Os referidos produtos apresentam informações relacionadas aos padrões de relevo associados a cada unidade e os materiais associados às formações superficiais.

Apesar da expressividade do regolito laterítico, da existência de dados aerogeofísicos de alta resolução recentes, e de outros produtos cartográficos, não há registro de caracterização e/ou estudo do regolito/intemperismo de forma sistematizada no norte do estado de Rondônia. Além disso, há na área de estudo, intensa ocupação humana registrada nas últimas décadas, e, portanto, existe a necessidade do uso ordenado do solo, além da utilização racional dos recursos não renováveis, evidenciando a importância de estudos regionais que considerem a integração multifonte.

3.4 Teorias de formação de Superfícies de Aplainamento

3.4.1 Teoria de Peneplanação: W.M. Davis

Davis (1899) afirma que existem três variáveis que se inter-relacionam para dar como resultado a paisagem: estrutura, processo e tempo. Segundo o autor, o início do ciclo de evolução do relevo começa com o rápido soerguimento continental em relação aos oceanos (tectônica), situação que cria condições para que o relevo seja moldado por processos erosivos (Figura 10A). Em outras palavras, há dois momentos diferenciados na evolução da paisagem: a) processo de movimentos de tectônica e b) erosão. Este último desenvolve-se em climas úmidos, considerando que a presença de água permite o desgaste intenso em rochas e, como consequência, do relevo. Nesse modelo, a grande diferença de altitude entre os interflúvios e o fundo do vale faz com que os cursos fluviais tenham alta energia e o processo erosivo seja agressivo no fundo dos vales (DAVIS, 1899). Com o tempo, a energia dos cursos fluviais tende a diminuir devido a redução da diferença de altitude entre os interflúvios e o fundo do vale, até alcançar a fase de rebaixamento continental quase completo. No final, tem-se uma superfície plana, suavemente ondulada chamada Peneplano (DAVIS, 1899), Figura 10B.

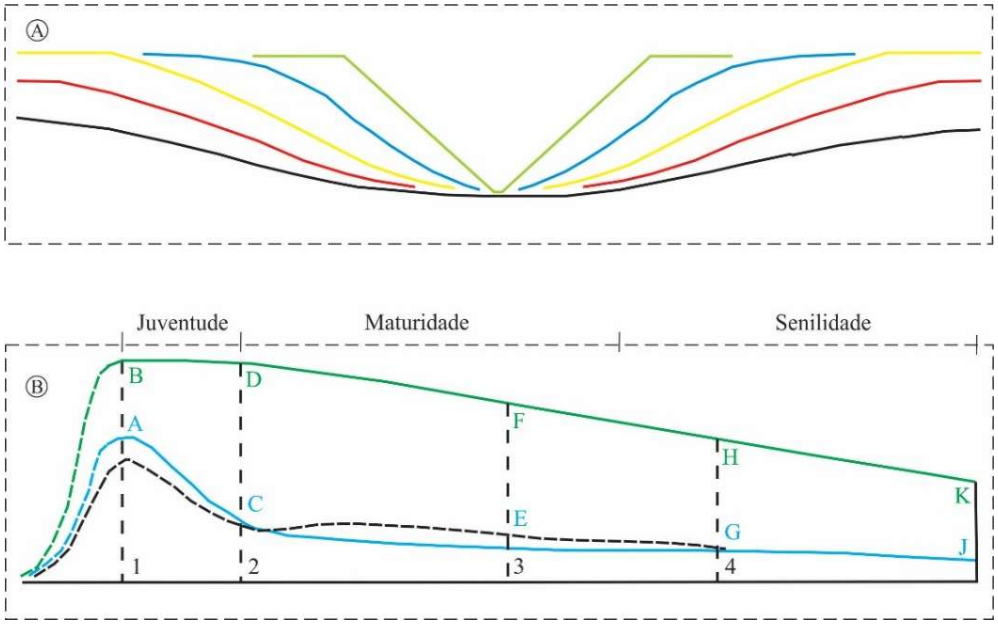


Figura 10 – Modelo Davisiano (1899). A) rebaixamento vertical contínuo das vertentes (*downwearing*), a linha verde representa o momento inicial e a linha preta a fase final de aplainamento. B) As linhas verticais representam a altitude média do modelado em relação ao nível do mar, nos diferentes momentos 1, 2, 3 e 4 (1 é a fase final do soerguimento, quando se inicia a fase de erosão, 2 é a fase em que a diferença de cotas entre os interflúvios e os fundos de vale é maior causado pela erosão dos canais fluviais, 3-4 fase em que a denudação é mais lenta por ter uma energia mais reduzida nos canais fluviais). A linha verde representa a altitude média dos interflúvios e a linha azul corresponde à altitude média dos fundos de vale. Modificado de Davis (1899) apud Salgado (2007).

3.4.2 Superfície Primária (primärrumpf) e da Escada de Piemonte: W. PENCK

Para Penck (1924), a paisagem é modelada pela relação entre forças endógenas, responsáveis pelas elevações e enrugamento do relevo, e forças exógenas, responsáveis pelo rebaixamento e modelado aplainado dessas elevações. O autor destaca, em contraposição à teoria davisiana, que existem níveis de base locais para os processos denudacionais, e não apenas a existência do nível oceânico como nível base.

A evolução do modelado começa com o soerguimento de uma superfície quase plana (primärrumpf). Esse soerguimento é concentrado em uma área central criando um domo. Quando o processo tectônico enfraquece, o processo erosivo cria duas superfícies: uma mais elevada, próxima ao centro do domo, e outra na região periférica, ocorrendo o escarpamento entre as duas superfícies, testemunhando a existência de dois soerguimentos distintos. Assim, a alternância de períodos de soerguimento e quietude tectônica resulta em um relevo em forma de escada (PENCK, 1924), Figura 11. Nesse modelo, as vertentes evoluem por retração lateral e logo por rebaixamento vertical. Penck (1924) afirma que o clima e o tipo de rocha são importantes, porém não tanto quanto para alterar significativamente a evolução da paisagem.

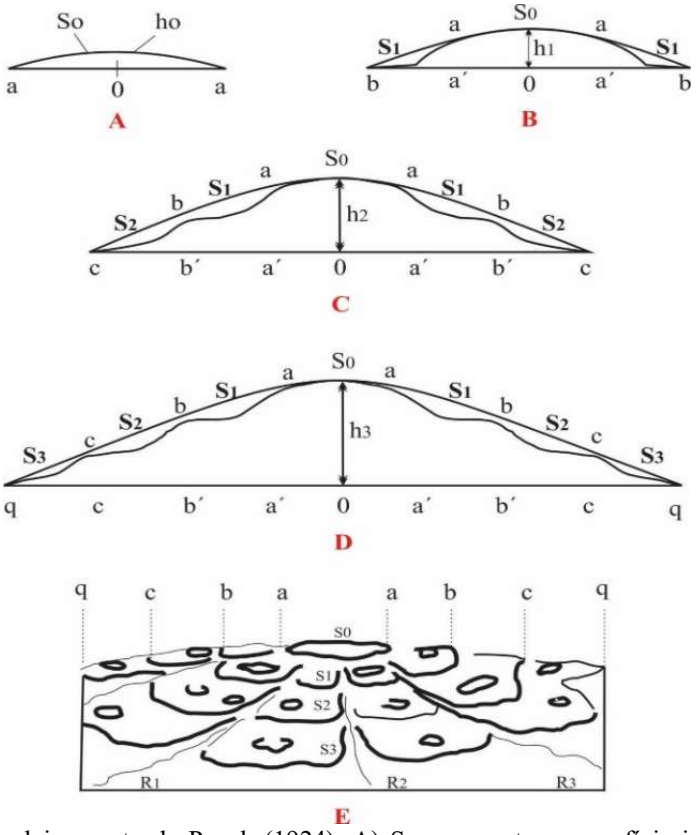


Figura 11 – Teoria de aplainamento de Penck (1924). A) S_0 representa a superfície inicial antes do primeiro soerguimento e h_0 a altitude inicial da S_0. B) Formação do primeiro degrau: S_1 representa a superfície incorporada ao soerguimento com nível base b, h_1 é o soerguimento total, a' é a escarpa que delimita S_0 da S_1. C) Formação do segundo degrau: S_2 é a superfície incorporada ao soerguimento, com nível base c separada da S_1 pela escarpa b' e h_2 é o soerguimento total. D) Formação do terceiro degrau: incorporação da S_3 ao soerguimento com nível base q separada da S_2 pela escarpa c' e h_3 representa o soerguimento total. E) Visão tridimensional da situação D mostrando relevo em escadaria. R_1, R_2 e R_3 são as principais redes de drenagens. Modificado de Penck (1924).

Para W.M. Davis (1899), o relevo se definia em função da geologia, dos processos e do tempo e não tinha articulação com a climatologia. Em contrapartida, para W. Penck os fatores climáticos são amplamente integrados na sua teoria, valorizando assim o estudo dos processos (SILVA, 2008). Por um lado, Davis (1899) define ciclos geográficos: um soerguimento relativamente rápido, seguido de ações erosivas sobre o relevo, resultando na dissecação e consequente redução da sua topografia criando uma superfície aplainada durante uma fase de quietude tectônica. Um novo soerguimento daria início a um novo ciclo dando passo aos processos erosivos. Contudo, segundo Silva (2008), houve limitações em relação a sua aplicabilidade em áreas onde o clima não fosse temperado. Assim, surgiram novas teorias que trouxeram à tona a importância do clima no modelado do relevo, como é o caso da teoria de Penck (1953), formulada em contraposição da teoria davisiana.

Para Penck, o processo não é cíclico, mas sim uma interação de dois fatores em conjunto: o levantamento crustal lento e a denudação (SILVA, 2008), ou seja, o balanço entre fatores endógenos e exógenos. De forma resumida, segundo Saadi (1998), Davis coloca uma evolução cíclica com tectônica descontínua, enquanto o modelo de Penck trata uma evolução acíclica com tectônica contínua.

3.4.3 Teoria da Pediplanação: L.C. King

A grande diferença desse modelo é a atuação do clima como peça fundamental para a formação de aplanamentos. Para King (1953) os aplanamentos ocorrem em regiões submetidas não apenas a relativa calmaria tectônica, mas também a condições climáticas que tendem à aridez. Essas condições climáticas são necessárias, porque se caracterizam por terem fraca cobertura vegetal e chuvas esporádicas porém fortes.

Segundo King (1953) o processo se inicia com a incisão fluvial causada pelo soerguimento subcontinental em uma área árida ou semiárida, seguido de rebaixamento dos leitos até uma cota de equilíbrio, que dá início ao processo de alargamento dos vales fluviais. Em conjunto se inicia também o processo de retração lateral das vertentes, que, para o autor, não é o trabalho fluvial e sim os processos erosivos nas vertentes que geram amplas superfícies aplainadas.

Nesse modelo destaca-se a formação de *inselbergs* causados pela resistência ao processo erosivo de algumas vertentes. Como resultado existem duas superfícies de aplainamento de idades diferentes, a de menor cota e menor idade, e a de maior cota preservada nos topos residuais resistentes ao processo de erosão (King, 1953), Figura 12.

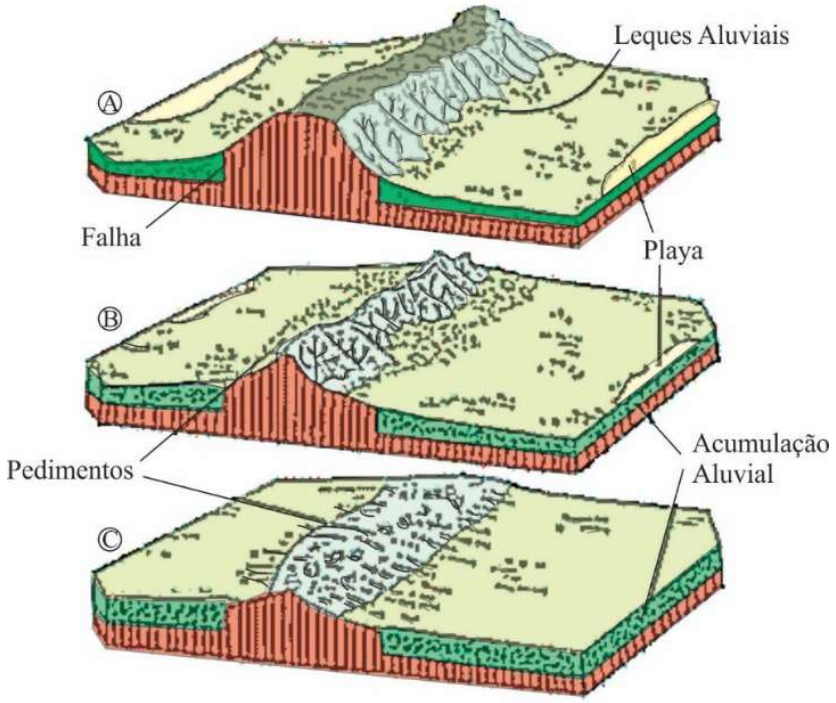


Figura 12 – Evolução geomorfológica de áreas soerguidas e falhadas em regiões de clima com tendência à aridez. A) Fase final do soerguimento; B) Formação de pedimentos detríticos na base das encostas; e C) Aplainamento da área por retração das vertentes. Modificado de King (1953).

3.4.4 Teoria da Etchplanação: J. Büdel

Por sua vez, o modelo proposto por Büdel (1982) baseia-se na junção de relativa quietude tectônica com a existência de condições climáticas tropicais semiúmidas. O autor prevê que regiões tropicais com períodos de chuvas de 6 a 9 meses de duração e com estabilidade tectônica se constituem em áreas ideais para a formação de superfícies de aplainamento. Nessas condições, o intermperismo químico é intenso durante o ano todo, o que permite a criação de um espesso manto intempérico. Esse manto intempérico é exposto aos processos mecânicos de transporte de material (erosão e rebaixamento das vertentes).

Entretanto, a relativa quietude tectônica proposta não é total, podendo ocorrer pequenos soerguimentos, que podem gerar escarpamentos e degraus nas superfícies aplainadas. É importante destacar que as diferenças de resistência ao intemperismo dos blocos litosféricos têm um papel importante, pois os blocos menos resistentes serão denundados mais rapidamente podendo se apresentarem mais rebaixados, enquanto que os blocos mais resistentes tendem a sofrer menos intemperismo e, ao serem exumados pela erosão superficial, geram relevos residuais, como é o caso das crostas lateríticas, Figura 13.

É importante destacar que, segundo Vitte (2005), o conceito de etchplanação é aplicado para áreas tropicais com climas sazonais bem marcados: uma estação de chuva que traz o

aprofundamento da alteração e uma estação seca que ocasiona a erosão superficial mais intensa, promovendo o aplainamento.

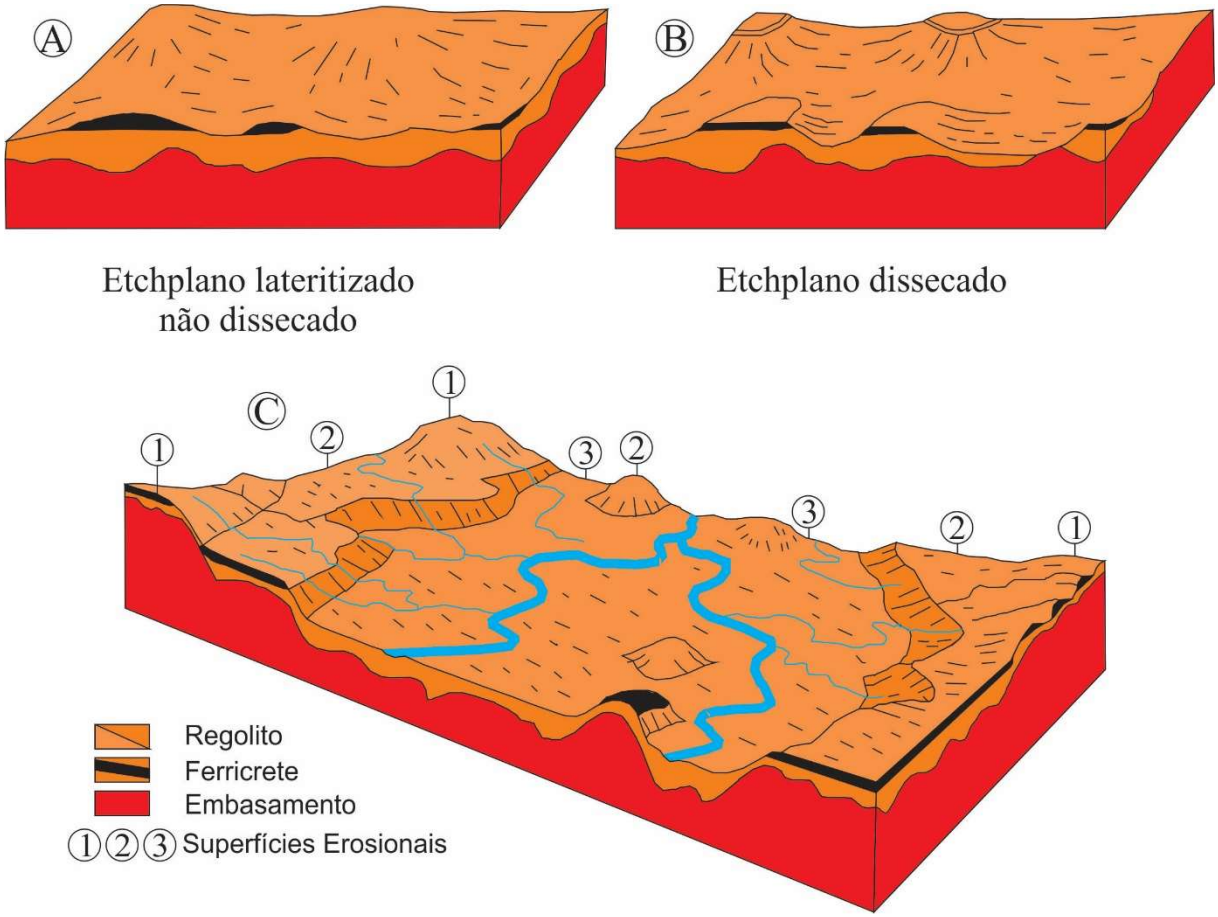


Figura 13 – Teoria de Etchplanação de Büdel. A relativa calmaria tectônica em conjunto com clima tropical úmido, criam as condições ideais para o aplainamento da superfície. A) B) e C) mostram os diferentes estágios do aplainamento. Modificado de Büdel (1982).

3.4.5 Teoria do aplainamento por mudanças climáticas: G. Millot

Nessa teoria, Millot (1983) conclui que as superfícies aplainadas não podem ser atribuídas apenas à erosão fluvial, más também a condições climáticas sucessivas ao longo do tempo geológico (clima úmido prolongado resultando em intenso processo de alteração seguido de clima árido ou semiárido).

Durante o clima árido ou semiárido há três processos: intemperismo da rocha em subsuperfície, transformação do material anteriormente alterado e erosão superficial. Millot (1983), conjuntamente coloca três superfícies associadas: uma discordância geológica (contato entre a rocha e a frente do intemperismo), uma discordância pedológica (superfície de alteração pedogenética) e a superfície exposta ou de aplainamento, Figura 14.

Esses processos têm como objetivo preparar o material para a ação de processos posteriores. Para Millot (1983) a ação do intemperismo não é suficiente para aplainar o relevo, mas é necessário para a preparação do material para as ações mecânicas superficiais, que são capazes de gerar aplainamentos, especialmente em climas áridos. Assim, o aplainamento do relevo acontece pela sucessão de climas úmidos (preparação do material por meio do intemperismo) e de climas áridos (por meio da erosão mecânica superficial capaz de aplainar o relevo).

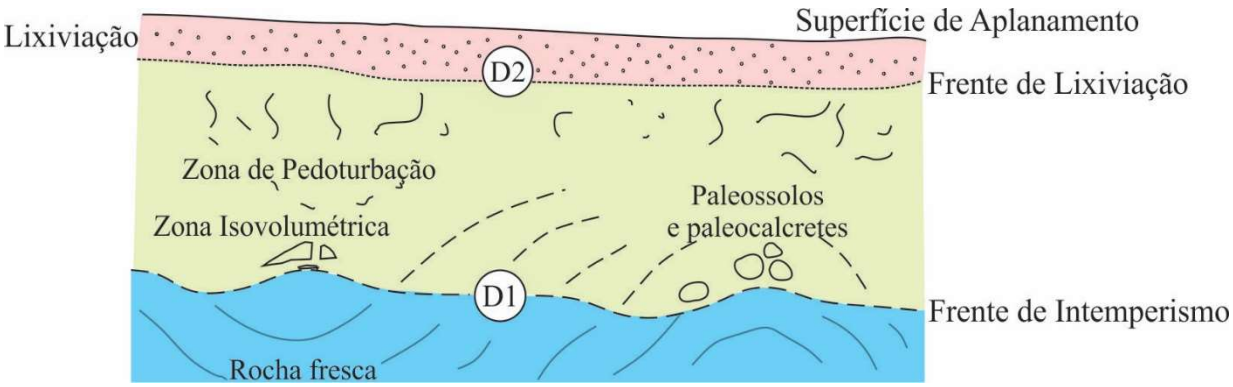


Figura 14 – Dupla discordância que gera aplainamentos. D1: Discordância geológica. D2: Discordância pedológica. Modificado de Millot (1983).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo sistemático que tem como objetivo a edificação do conhecimento e assim a geração de novos conhecimentos é denominado de pesquisa. O objetivo principal é servir não apenas o indivíduo, mas a sociedade como um todo. Este trabalho caracteriza-se em uma pesquisa descritiva e explicativa. É descritiva, pois realiza o estudo, a análise, mas também o registro e interpretação dos fatos. Por outro lado, é também explicativa, pois além de realizar os procedimentos supracitados também estrutura e define modelos teóricos, relaciona hipóteses considerando uma visão mais ampla do espaço, o que permitiu a geração de novas hipóteses e proposições. O trabalho envolve tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos com predominância dos primeiros e trabalha essencialmente com fontes primárias e subordinadamente com fontes secundárias.

Nesse ponto de vista, os materiais utilizados neste trabalho incluem dados de aerogeofísica disponibilizados pela DISEGE (Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica) do Serviço Geológico do Brasil-CPRM (CPRM, 2010), dados de crostas lateríticas identificadas e mapeadas na região por Herrera *et al.* (2017) cuja delimitação foi realizada com validação de campo, mapas geológico (QUADROS e RIZZOTTO, 2007), geomorfológico e de solos (RONDÔNIA, 2002) e dados de altimetria (SRTM), associados a trabalhos de campo. A pesquisa baseou-se na integração, análise e interpretação de dados pretéritos, em conjunto com os dados de descrição e verificação obtidos em campo (afloramentos de solos, rochas, descrições geomorfológicas, etc.). Esses dados foram integrados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), utilizando o software ArcGis 10.3 da ESRI, com o objetivo de confeccionar o mapa do regolito e obter melhor entendimento sobre a origem e evolução das crostas lateríticas, sobre o comportamento do intemperismo na região e sobre os aspectos morfopedogenéticos da área de estudo.

4.1 Levantamento Bibliográfico e Atividades de Campo

A primeira fase do trabalho constou no levantamento bibliográfico referente a área de estudo e correlacionados ao tema da pesquisa. O resultado permitiu a delimitação de um quadro geral de conhecimento da área que auxiliou e direcionou as fases posteriores da pesquisa.

Dentre as principais lacunas observadas destacam-se a pequena quantidade de descrições das crostas no norte do estado de Rondônia, inexistência de cartografia do regolito e de trabalhos de integração multifonte relacionados à evolução da paisagem, raros dados

geoquímicos das crostas lateríticas e ausência de aplicação de dados geofísicos voltados ao estudo do regolito no norte de Rondônia.

Desse modo, foram realizadas atividades de campo com o objetivo de visitar os diferentes pontos, tanto de ocorrência de crostas lateríticas não visitadas na pesquisa de mestrado, quanto de diferentes materiais em superfície. O intuito foi realizar descrições dos perfis lateríticos, dos materiais observados (solos, rocha, etc.) e a geomorfologia associada (platôs, planícies, presença de *tors* e *hillocks*, etc.), totalizando 100 pontos visitados.

A descrição geomorfológica considerou a classificação do IBGE, dando ênfase no terceiro táxon geomorfológico, e as vertentes a classificação de Troeh (1965) apresentada por Christofoletti (1980). Os trabalhos de campo foram realizados no período de 30 de julho de 2016 até 07 de setembro de 2016, onde foram coletadas 22 amostras de crostas lateríticas, conforme Figura 3. Dessas 22 amostras, 19 foram enviadas para laboratório para análise geoquímica por serem as mais representativas da área.

4.2. Dados de Modelo Digital de Elevação – Shuttle Radar Topography Mission – SRTM

Os dados do MDE NASA-SRTM-(2000), com resolução espacial de 90 metros, foram utilizados para extração de cotas e definição dos principais intervalos relacionados a ocorrências de crostas lateríticas e às respectivas formas de relevo. As interpretações e avaliações das drenagens também foram apoiadas pelas referidas imagens.

4.3 Litogeoquímica das Crostas Lateríticas

As 19 amostras das crostas lateríticas foram analisadas com o objetivo de avaliar aspectos relacionados à composição química. A preparação e a análise geoquímica das amostras foram realizadas pela ALS Geochemistry localizada em Minas Gerais. A preparação incluiu a britagem e moagem para realização da análise química por ICP-MS que avaliou os seguintes elementos: Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cu, Cr, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr, além da análise de elementos terras raras. Os óxidos maiores foram analisados por fluorescência de raios-X e por fusão de metaborato e tetraborato de lítio, procedimentos amplamente utilizados na análise química de rochas e solos.

Os resultados geoquímicos obtidos na área de estudo foram correlacionados com a geoquímica das crostas lateríticas estudadas no sul de Rondônia (Iza, 2017) e com a geoquímica de crostas analisadas na Amazônia (Castro, 2015) e de outras partes do mundo (HARRISON, 1934; HILL *et al.*, 2000; WIMPENNY *et al*., 2007; CORNELIUS *et al.,* 2007; GIORGIS *et al.,*

2014; XIAO *et al*., 2014; ASGHAR CALAGARI *et al*., 2015). Na análise foram utilizados gráficos binários e ternários com o intuito de tentar discriminar subgrupos e seus respectivos padrões geoquímicos das amostras analisadas. Utilizou-se também a correlação entre o CIA e o WIP. O CIA, ou Índice de Alteração Química de Nesbit e Young (1982), é um índice que avalia a transformação dos feldspatos em argila, ou seja, é útil quando é considerada a alteração de feldspatos no processo intempérico. Já o WIP ou Índice de Intemperismo de Parker (1970), proposto para rochas silicáticas, considera a mobilidade individual dos elementos e é calculado a partir do conteúdo de álcalis. Apesar de ter aplicabilidade limitada em solos residuais maduros (o seu cálculo inclui apenas os elementos alcalinos e alcalinos terrosos móveis) o WIP ainda contribui na avaliação de alterações menores de álcalis. Nesse aspecto o objetivo é comparar os respectivos padrões geoquímicos e índices de alteração (CIA e WIP).

Os índices CIA e WIP são calculados usando as seguintes fórmulas, respectivamente:

$$CIA = 100x\left[\frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O}\right]$$

$$WIP = 100\,x\left[\left(\frac{2Na_2O}{0{,}35}\right) + \left(\frac{MgO}{0{,}90}\right) + \left(\frac{2K_2O}{0{,}25}\right) + \left(\frac{CaO}{0{,}70}\right)\right]$$

4.4 Dados Aerogeofísicos

Os dados de aerogeofísica (gamaespectrometria e magnetrometria) foram aqueles adquiridos pela FUGRO para o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) no projeto Rondônia Central (CPRM, 2010). A gamaespectrometria mede as concentrações de series de radioisótopos de urânio, tório e potássio em profundidades de até 45 cm independente do material aflorante (solo, rocha, material alterado, etc) (GREGORY e HORWOOD, 1961; DICKSON e SCOTT, 1997).

A aerogamaespectrometria (K, eTh, eU) é utilizada largamente no mapeamento geológico, mapeamento do regolito, e pesquisa mineral, devido a sua capacidade de diferenciar assinaturas radiométricas de diferentes litologias (*e.g.* MCQUEEN e CRAIG, 1995; WILFORD *et al.,* 1997; MINTY, 1997; SCOTT e PAIN, 2008; CARRINO, *et al.*, 2009, 2011; MINTY, 2011; WILFORD, 2012 e 2013; ARHIN *et al*., 2015; HERRERA *et al.*, 2016ª; BOISSIEU *et al.*, 2018; IZA *et al.*, 2018; ALBUQUERQUE 2018).

De acordo com Minty (1997), de forma geral, o U, Th e K são os únicos elementos que ocorrem naturalmente e produzem raios gama com suficiente energia e intensidade para serem

medidos por aerogamaespectrometria. O mapa ternário aerogamaespectrométrico (RGB: vermelho para K; verde para Th e azul para U) é utilizado para a identificação de diferentes materiais superficiais e considera as diferentes proporções entre os respectivos elementos.

Wilford *et al.* (1997) afirma que as respostas radiométricas são relativamente bem entendidas quando relacionadas a materiais rochosos, porém a resposta em materiais regolíticos é menos conhecida, e destaca que as crostas lateríticas ferruginosas, particularmente aquelas desenvolvidas sobre *greenstones* são radiométricamente escurecidas em tal diagrama ternário.

Na magnetometria são medidas as variações na intensidade no campo magnético terrestre em subsuperfície (REITZ e MILFORD, 1966). A amplitude do Sinal Analítico (ASA) é calculada combinando as derivadas de primeira ordem vertical e horizontal da anomalia magnética, e delimitam os domínios mais ou menos magnéticos sem a influência das camadas mais superficiais (ROEST *et al*., 1992).

É importante destacar que os dados de aerogeofísica utilizados neste trabalho são os primeiros dados de aerogeofísica de alta resolução disponibilizados para a região, e foram cedidos pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM (DISEGE), para o desenvolvimento dos trabalhos, portanto, os resultados obtidos nesta pesquisa representam a primeira integração multifonte com dados geofísicos com excelente nível de detalhe considerando os aspectos regionais focados no regolito laterítico.

4.4.1 Índice Laterítico

O comportamento dos diversos elementos químicos diante do intemperismo é variável e depende de vários fatores, tais como, tempo, pH, oxiredução, clima, entre outras condicionantes (WEDEPOHL, 1969; BUTT e ZEEGERS, 1992; COSTA, 2007). Há tendência de comportamento quando se consideram os elementos na rocha sã e seus respectivos produtos (solos espessos, crosta laterítica, etc.).

De acordo com Wedepohl, (1969), Minty (1997), Dickson e Scott (1997), Wilford *et al*. (1997), Wilford (2002), em ambiente supergênico, a concentração de K diminui com o aumento do intemperismo devido à sua alta solubilidade, tendendo a ser lixiviado de minerais primários (*e.g.* micas, K-feldspatos) ou ser absorvido em argilominerais. Por outro lado, o K tende pode ser imóvel apenas em condições muito oxidantes e simultaneamente com pH acima de 9,5 (TAKENO, 2005).

Quando liberado de minerais pelo intemperismo o U é mais móvel em condições oxidantes, mas precipita em condições redutoras. Nesta última condição apenas em situações onde o pH é < 4 ele volta a ser móvel. Dickson e Scott (1997) afirmam ainda que a mobilidade

do U pode ser modificada pela adsorção em argilominerais, coloides, óxidos e hidróxidos ferro. Nestes dois últimos casos há forte relação com a formação das crostas lateríticas ferruginosas. Embora possa se tornar móvel em combinação com complexos orgânicos em solos e água subterrânea, o Th tende a se concentrar no regolito, por meio de minerais resistatos e óxidos de ferro. Apenas em condições de pH abaixo de 3 o Th torna-se móvel (TAKENO, 2005).

Dickson e Scott (1997) afirmam ainda que o calcrete, ferricrete, pisólitos e gossans (produtos resultantes de intenso intemperismo) tem cada um, assinatura geoquímica própria e mostra que nesses materiais os valores médios de K são baixos e da ordem de <0,6% (pisólitos), e os de U e Th variam entre 2 e 130 ppm, evidenciando altas razões Th/K e U/K.

Dauth (1997), Wilford *et al*. (1997), Carrino *et al*. (2011) além de outros autores, consideram, deste modo, que as razões eTh/K e eU/K são úteis na determinação de áreas potenciais para ocorrência de regolito espesso, solos, ferricrete, etc. Assim o índice laterítico (IL) desenvolvido por Iza (2017) considera a relação direta entre a taxa de intemperismo e Th e U, e inversa com o K. Tal índice foi aplicado neste trabalho com a finalidade de identificar as áreas com alto grau de intemperismo e com maior probabilidade de ocorrência de crostas laterítcas. A base teórica e as premissas utilizadas na elaboração do referido índice foram obtidas a partir de diversos trabalhos, tais como Boyle (1982), Wilford *et al.* (1997), Dickson e Scott (1997), Dauth (1997), Isles e Rankin (2000), Minty (2011), Carrino *et al.* (2011) e Wilford (2012).

A subárea utilizada para o cálculo do índice laterítico corresponde a uma área menor do que a área deste trabalho, que inclui a margem esquerda do rio Madeira e uma região ao sul da cidade de Porto Velho na margem direita. A escolha da subárea baseou-se na proximidade da cidade de Porto Velho e os aspectos geomorfológicos (formas de relevo, ocorrências de crostas, etc.). Nesse aspecto, também se consideraram os padrões de comportamento gamaespectrométrico similares das crostas lateríticas próximas de Porto Velho (margem direita do Rio Madeira) e das crostas presentes na margem esquerda, apesar de seus distintos contextos geomorfológicos.

Além disso, existe maior densidade de ocorrência de crostas lateríticas na região detalhada permitindo assim uma percepção mais nítida dos atributos estudados. Utilizou-se, portanto, o produto das razões com maiores correlações para ressaltar as áreas favoráveis à ocorrência de crostas (IZA, 2017), segundo a equação 2:

$$\text{Eq.2:} \quad IL = (eTh/K) \times (eU/K) = (eTh \times eU)/K^2$$

Onde: IL é o índice laterítico; eTh é o canal do tório; eU é o canal do urânio e K é o canal do potássio.

O IL contribui para determinar as áreas potenciais para a ocorrência de perfis lateríticos completos, ou seja, com a presença de crostas lateríticas.

4.4.2 Dados de Aeromagnetometria

Os dados gamaespectrométricos do projeto Rondônia Central foram usados por Herrera *et al.* (2017) para a identificação de áreas potenciais para a ocorrência de crostas lateríticas. Adicionalmente, os dados de aeromagnetometria foram utilizados nesse trabalho com o objetivo de avaliar a provável origem das crostas lateríticas (fontes mais ou menos magnéticas). Para esse objetivo, utilizou-se a Amplitude do Sinal Analítico (ASA) que permite o posicionamento de corpos com diferentes intensidades de magnetismo, pois compreende uma função simétrica em que os picos do sinal analítico estão centrados nas bordas das anomalias magnéticas segundo Nabighian (1972; 1974) e Roest *et al.* (1992). Os dados do mapa ASA foram divididos em duas classes: menos magnético contendo os dados com sinal menos intenso (valores abaixo da média), indicando rochas menos magnéticas; e mais magnéticos contendo os dados com sinal analítico mais intenso (valores acima da média), indicando rochas mais magnéticas.

Esses dados foram correlacionados com as áreas delimitadas por Herrera *et al.* (2017), como de alto potencial para a ocorrência de crostas lateríticas. Por meio de álgebra de imagens (álgebra de mapas) foi obtida uma terceira imagem com 2 classes finais. A primeira classe representa as áreas potenciais para a ocorrência de crostas lateríticas e simultaneamente alta intensidade magnética. A segunda representa as áreas potenciais para a ocorrência de crostas lateríticas e simultaneamente baixa intensidade magnética. As interpretações obtidas permitiram a delimitação das áreas com crostas lateríticas e fontes com tendências mais máficas ou mais félsicas de acordo com cada classe.

O objetivo da análise da magnetometria correlacionada com as crostas lateríticas é contribuir com a identificação das possíveis rochas fontes das áreas de ocorrência de crostas e assim compreender os aspectos relacionados à resistência das respectivas rochas aos processos de intemperismo e erosão assim como com a interpretação metalogenética, entre outros.

4.5 Mapeamento do Regolito

O procedimento para mapear o regolito incluiu o cruzamento de dados aerogeofísicos, especialmente os gamaespectrométricos e os aeromagnetométricos, com os mapas geológico de Quadros e Rizzotto (2007), altimétricos (SRTM), geomorfológico de Rondônia (2002) e o de solos de Rondônia (2002), assim como dados de campo. As fontes utilizadas para o

mapeamento do regolito incluíram, além das supracitadas, os dados de Herrera *et al.* (2017), que identificaram as crostas lateríticas na área utilizando dados de aerogamaespectrometria, por meio da técnica booleana, mais especificamente pelo método *Index Overlay*. A similaridade entre os atributos observados em cada ponto de descrição contribuiu para definir as diferentes unidades regolíticas presentes no mapa.

Na Austrália, de acordo com Pain e Kilgour (2003), dois esquemas para a realização do mapa do regolito têm sido sistematicamente usados. O primeiro chamado (**RED**) que classifica as unidades em três diferentes regimes: **R**esidual, **E**rosional e **D**eposicional, de acordo com o processo de formação do regolito. O segundo esquema (regolito-formas de relevo / RTMAP) classifica as unidades de acordo com o material dominante na superfície e suas respectivas formas de relevo. É importante destacar que a partir do mapa RTMAP é possível reclassificar as unidades para o sistema RED, devido à informação detalhada contida no mapa RTMAP, porém a partir do RED não é possível reclassificar para o sistema RTMAP, pois as informações no sistema RED não são suficientes para a reclassificação (PAIN e KILGOUR, 2003). Nesse sentido, fica claro que não há padronização de procedimentos, ou mesmo uma única metodologia de mapeamento do regolito. Neste trabalho optou-se por utilizar essencialmente o esquema RTMAP (PAIN *et al*., 1991, 2001; GOZZARD, 2004; SCOTT e PAIN, 2008; atualizada em 2013 pelo GSWA). Desse modo, as unidades observadas foram divididas nos seguintes grupos: a) regolito *in situ*, (perfil laterítico) que inclui solos residuais e crostas lateríticas assim como rocha alterada (saprólito); b) regolito transportado, que inclui, na área de estudo, depósitos aluvionares; e c) embasamento não alterado (rocha aflorante).

Assim, para a confecção do mapa, considerou-se a revisão mais recente (GSWA, 2013), onde as unidades contêm um código primário que representa o ambiente/processo, um código secundário que representa o tipo de material e um terceiro código, ou modificador, que representa o grau de endurecimento do material (0 a 3, sendo 0 material inconsolidado e 3 material endurecido). Abaixo segue um exemplo da sigla correspondente para planície de inundação, composto por areias com grau de endurecimento 0 (material inconsolidado).

Onde: as letras maiúsculas representam a forma de relevo (no exemplo, forma de relevo aluvionar), as letras minúsculas representam o tipo de regolito (no exemplo, areias e argilas) e o número representa o grau de endurecimento (no exemplo, material inconsolidado).

4.6 Aspectos Pedológicos

Os dados pedológicos utilizados como base foram àqueles apresentados pela SEDAM (RONDÔNIA, 2002). As visitas em campo incluíram descrições preliminares dos solos observados que por sua vez contribuíram com a verificação dos dados dos mapas mencionados acima e com as análises posteriores.

Na fase inicial da pesquisa realizada durante o curso de mestrado, a identificação das áreas de alta probabilidade de ocorrência de crostas lateríticas contribuiu com o refinamento e melhoramento de mapas existentes, como por exemplo, os mapas geológico, geomorfológico e de aptidão agrícola. Da mesma forma, os resultados desta pesquisa (mapeamento do regolito e integração multifonte) contribuíram com a atualização do mapa de solos apresentado por Rondônia (2002).

4.7 Aspectos Morfopedogenéticos

Os compartimentos morfopedogenéticos foram identificados por meio da análise dos dados multifonte integrados inicialmente, apoiado com dados de campo. Essa integração foi realizada em ambiente GIS no programa ArcGIS. A ocorrência de crostas lateríticas foi analisada considerando os aspectos geomorfológicos, geológicos, pedológicos, altimétricos e gamaespectrométricos.

Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais os quais podem ser influenciados pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência dessa litologia ou pela evolução geomorfológica da região (CHRISTOFOLETTI, 1980). Desse modo, foi realizada a análise dos padrões de drenagem da região, utilizando imagens de sensoriamento remoto (ALOS PALSAR e SRTM). A imagem SRTM foi utilizada para criar o relevo sombreado da região que também serviu de apoio para fazer o traçado das drenagens. Após esse traçado foram comparados os padrões de drenagens da área de estudo com os padrões já existentes na literatura, o que contribuiu também com a divisão dos compartimentos morfopedogenéticos. Os compartimentos foram definidos de acordo com os parâmetros já mencionados, onde cada um apresenta um padrão morfopedogenético característico.

Os desníveis altimétricos mais expressivos da área foram mapeados usando as áreas de ocorrência de crostas lateríticas identificadas por Herrera *et al.* (2017), pois as principais vertentes da área estão associadas a elas. Esses desníveis foram analisados considerando os aspectos aerogeofísicos e de altimetria e assim gerado o modelo de vertente para a área de estudo, especialmente para a margem direita do rio Madeira.

4.8 Superfícies Geomorfológicas

Inicialmente, diversos perfis topográficos das vertentes mais expressivas da região foram confeccionados com o fim de avaliar as cotas altimétricas dos topos das bases das vertentes que contribuíram com a interpretação da evolução da paisagem.

Os dados de altimetria, em conjunto com os dados de solos, de geomorfologia e com as observações de campo foram avaliados e correlacionados com os dados existentes na literatura sobre neotectônica, aos modelos de aplainamento e às superfícies geomorfológicas discutidas na região norte do Estado de Rondônia.

A partir dessas interpretações, foi gerado o modelo evolutivo da paisagem que contribuiu com a interpretação/identificação das superfícies geomorfológicas (paleorrelevo).

4.9 Aspectos preliminares de Uso e Ocupação do Solo

De acordo com Rondônia (2010)

> "A demanda de recursos naturais, as restrições e ofertas ambientais e as ações antrópicas encerram um grande desafio: materializar o processo de compatibilização entre desenvolvimento, conservação e preservação do meio ambiente, como forma de propiciar o desenvolvimento sustentável na região Amazônica".

Nesse sentido, em 1988 foi criado o ZONEAMENTO SÓCIOECONÔMICO E ECOLÓGICO DO ESTADO DE RONDÔNIA com o objetivo de aperfeiçoar o uso do espaço e orientar as políticas públicas. Neste trabalho apenas com o objetivo de demonstrar o potencial de uso do mapa do regolito e demais produtos gerados (IL, etc.), os resultados foram correlacionados com os mapas geológico e de uso e ocupação do solo de Oliveira e Filho (2013), Rondônia (2002), e dados do INCRA e da ANM (SIGMINE, 2019). A ideia foi discutir de forma preliminar os aspectos relacionados a extração de materiais de insumo para a construção civil, áreas de assentamentos já existentes e os aspectos do regolito subjacente. A Figura 15 mostra os procedimentos seguidos e os materiais utilizados neste trabalho.

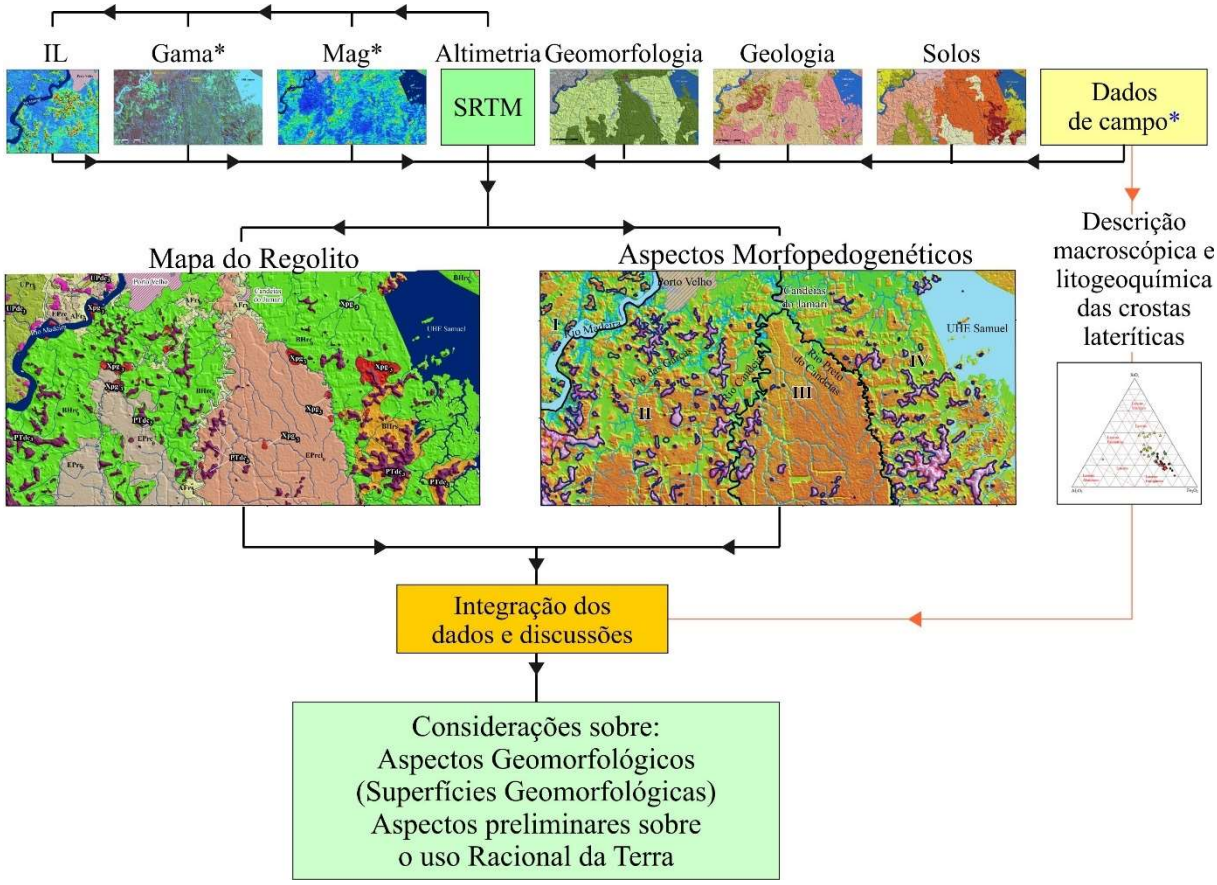


Figura 15 – Fluxograma de procedimentos realizados nesse trabalho. * Dados de aerogeofísica (Gama = Gamaespectrometria; Mag = Magnetometria) *Descrição de afloramentos, paisagem, relevo, etc.

5. RESULTADOS

5.1. Descrição dos Perfis Lateríticos

As crostas lateríticas formam majoritariamente platôs e ocupam aproximadamente 7% da área de estudo. De modo geral, as atividades de campo permitiram a descrição não apenas dos latossolos, cambissolos, entre outros de menor expressão, mas de todo o perfil laterítico e seus respectivos horizontes.

Em termos gerais, os perfis podem ser completos ou incompletos sendo tipicamente ferruginosos, e de acordo com o grau de evolução descrito por Costa (1991), são invariavelmente imaturos por não apresentarem horizonte aluminoso. Quadros e Rizzotto (2007), Oliveira e Costa (2006), Castro (2015), Iza *et al.* (2016a) e Iza (2017) corroboram esses resultados na medida em que descrevem apenas perfis imaturos no estado de Rondônia. Castro (2015), descrevendo crostas lateríticas no norte de Rondônia, afirma que a ausência de crosta bauxítica (horizonte aluminoso) é típica de perfis pouco evoluídos, indicando que a lateritização da área se desenvolveu a partir do Plio-Pleistoceno, época da segunda fase de lateritização na Amazônia (COSTA, 1997; KOTSCHOUBEY *et al.*, 2005).

Dentre os principais horizontes descritos, destacam-se o pisolítico/nodular, o horizonte colunar, horizonte mosqueado e saprolito. Na área de estudo o horizonte pisolítico/nodular (Figura 16A), localizado na porção superior do perfil, é composto tipicamente por cascalho laterítico incoeso (nódulos e pisólitos) formados a partir do desmantelamento físico das crostas subjacentes, com espessuras variáveis de até um metro. Rodrigues *et al.* (1980) registrou diversas ocorrências de crostas lateríticas no estado de Rondônia. Na área de estudo, ratificando parcialmente os resultados apresentados neste trabalho, o autor identificou latossolos com concreções lateríticas sotopostos a granitos/gnaisses do embasamento.

A composição predominante é de óxidos e oxi-hidroxidos de ferro e subordinadamente de hidróxidos de alumínio suportados por matriz argilosa. Vale destacar que, em condições de clima árido, a crosta laterítica é preservada e as paleosuperfícies de aplanamento são mantidas. Por outro lado, de acordo com Horbe e Costa (1997, 1999 e 2005), a imposição de regime permanentemente úmido traz como consequência a diminuição da flutuação do nível freático, evitando a formação do horizonte mosqueado, acelerando a degradação da crosta laterítica, favorecendo assim a geração de latossolos na superfície. Dessa forma, sugere-se a alternância de clima quente úmido e quente seco (ao longo da formação das crostas) e mais recentemente a forte atuação de um clima quente e úmido, o que justifica a ampla formação de crostas

lateríticas e o posterior desmantelamento do topo das mesmas formando horizontes concrecionários e solos associados.

A crosta laterítica (horizonte ferruginoso colunar) (Figura 16B) ocorre imediatamente abaixo do horizonte pisolítico nodular (desmantelado), apresenta estrutura colunar de até 4 metros de altura, com paleocanais intercolunares preenchidos por material argiloso e pisolítico. Em alguns casos, o horizonte colunar ocorre sem nenhuma cobertura de solo ou produtos do seu desmantelamento. Sua composição predominante é de óxidos e oxi-hidroxidos de ferro similar ao horizonte pisolítico nodular.

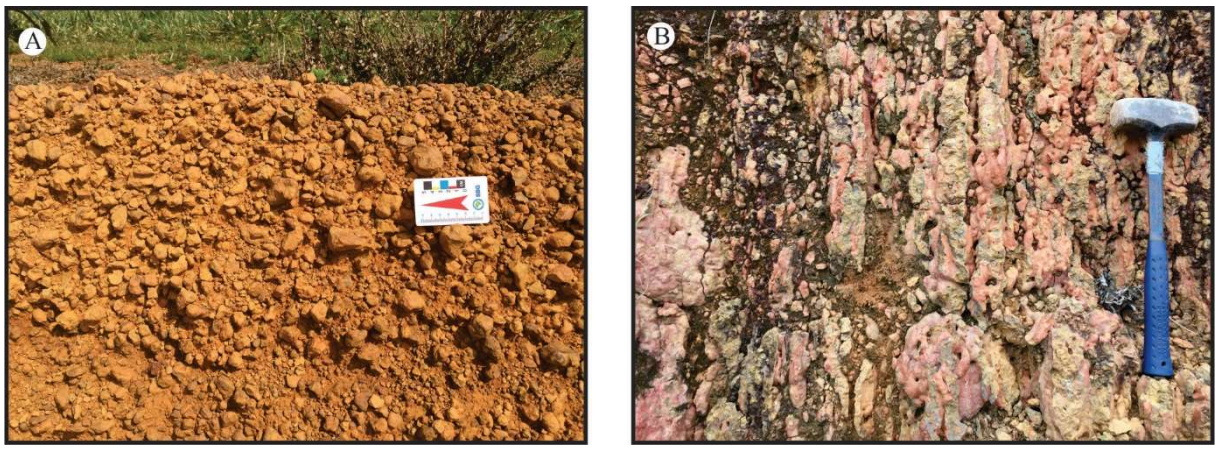


Figura 16 – A) Horizonte pisolítico/nodular desmantelado (cascalho laterítico), ponto UI-007; e B) Crostas lateríticas (horizonte com estrutura colunar), ponto UI-001. Fotos: Isabel I. E. Herrera.

O horizonte mosqueado está localizado logo abaixo do horizonte ferruginoso colunar. É pouco expressivo na área de estudo, não cartografável em escalas menores que 1:100.000, e está constituído por material argiloso. Apresenta manchas avermelhadas de material ferroso cercadas por argila esbranquiçada (caulinita). Sua espessura pode variar até 2 m na área estudada. Em todo caso, Oliveira e Costa (2006) descrevem a presença de horizontes mosqueados de até 7 m de espessura, em áreas próximas a Porto Velho.

O saprólito ocorre de forma restrita na área de estudo. Está localizado na parte inferior do perfil e é constituído pela rocha com avançado grau de alteração. As exposições são raras, pois estão normalmente recobertos pelo pedolito (solos). Observou-se, nas cercanias de Porto Velho, raros afloramentos de saprólito de rocha granítica onde se observaram cristais de feldspato em avançado estágio de caulinização, e matriz totalmente alterada com raros veios de quartzo preservados, de espessura de cerca de 10 cm. Desse modo, o perfil laterítico da área mostra uma típica sequência de horizontes: saprólito, horizonte mosqueado e crosta, assim como proposto por Costa (1991) e Lucas e Chauvel (1992).

5.1.1 Aspectos Macroscópicos das Crostas Lateríticas

As crostas lateríticas estão, no geral, constituídas por oxi-hidróxidos de ferro, como por exemplo, hematita, goethita e maghemita, oxi-hidróxidos de alumínio, (gibbsita e boemita) e argilominerais (caulinita e halloysita) (COSTA, 2010). Segundo o autor, o quartzo também pode estar presente, mas sendo considerado mineral resistente e não mineral neoformado. Na área de estudo as crostas são constituídas essencialmente por hematita, goethita, caulinita, por vezes gibbisita e quartzo. Na Figura 17 podemos observar os aspectos macroscópicos das crostas lateríticas coletadas em campo, majoritariamente apresentando texturas nodulares a pisolíticas e vermiformes.

Os nódulos/pisólitos têm, no geral, entre alguns milímetros até dois centímetros de diâmetro. Podem ter tons avermelhados escuros no centro e mais claros nos córtices, tipicamente relacionados a óxidos e hidróxidos de ferro (hematita e goethita, respectivamente) Figura 18B e F. Em outros casos são constituídos por goethita e circundados por matriz avermelhada constituída majoritariamente por hematita e subordinadamente caulinita (argilo-mineral de alumínio), com tons esbranquiçados, Figura 18D. O quartzo também ocorre de forma subordinada, porém não como mineral neoformado, mas como resistato. A ocorrência de córtices é frequente e no geral têm entre 1 e 3 mm de espessura. Invariavelmente mostram alternância submilimétricas a milimétricas de níveis amarelados (goethita) e avermelhados (hematita). O apêndice 1 exibe a listagem dos pontos visitados com suas respectivas coordenadas e descrições resumidas. O apêndice 2 mostra a localização das amostras coletadas na área.

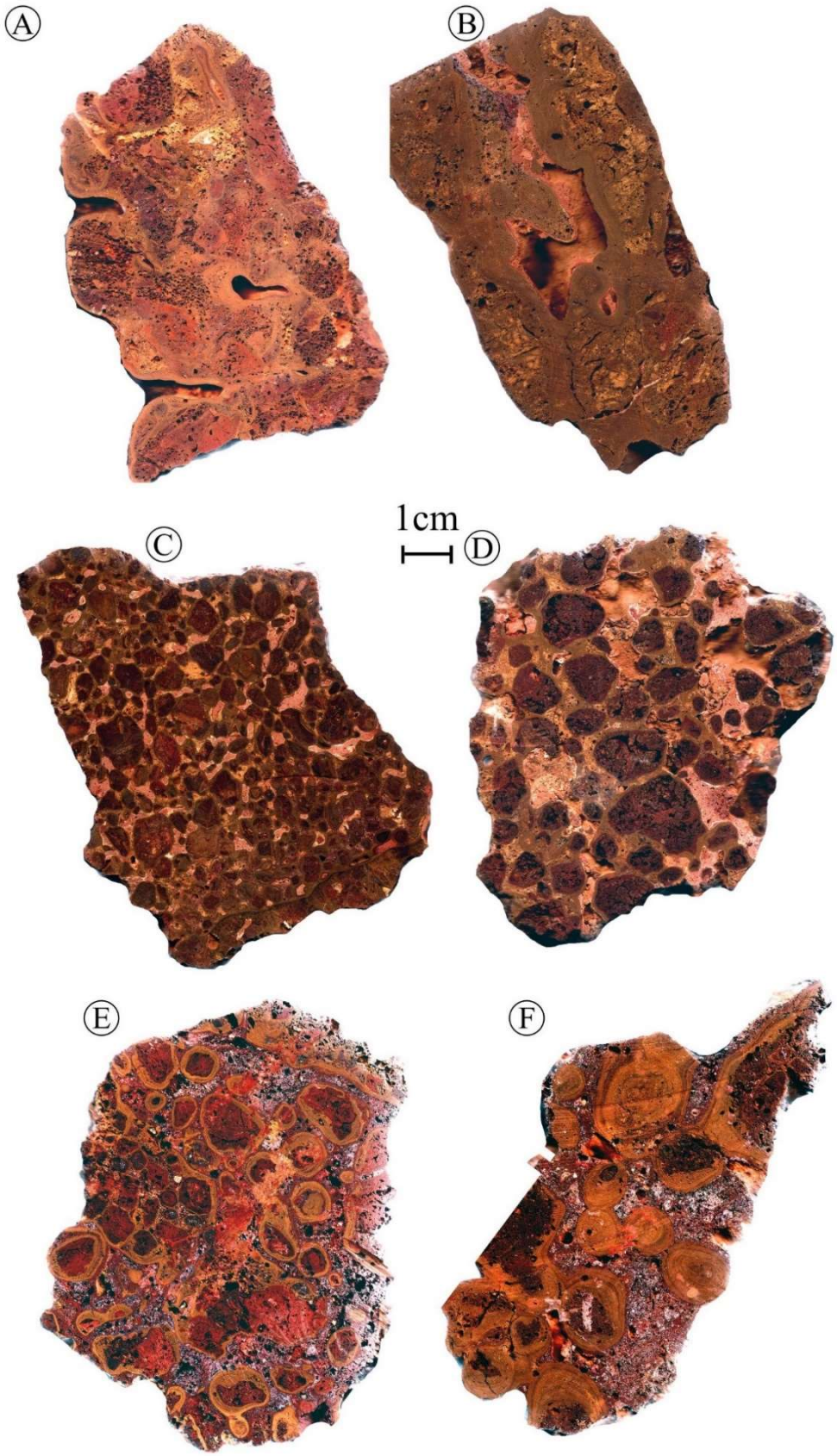


Figura 17 – Amostras de lateritos ferruginosos destacando os aspectos macroscópicos, compostas essencialmente por hematita, goethita caulinita e subordinadamente quartzo. A) e B) Textura Vermiforme, pontos UI-017 e UI-009 respectivamente; C), D), E), F) Textura pisolítica/nodular, pontos UI-014, UI-024, UI-004 e UI-005, respectivamente, (localização das amostras vide Figura 3). Fotos: Isabel I. E. Herrera.

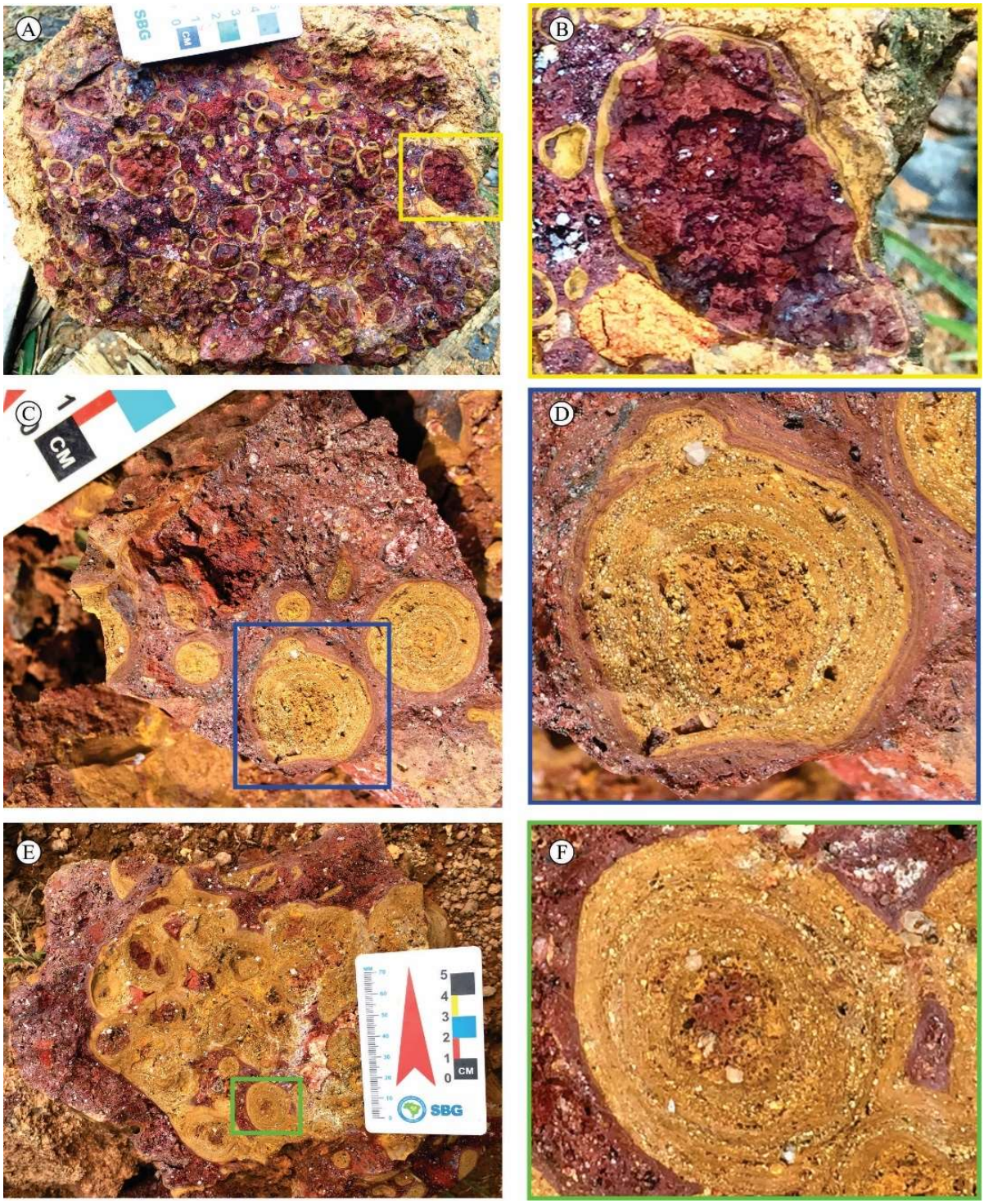


Figura 18 – A), C), E) Amostras com exposição de pisólitos. B) Detalhe dos pisólitos (A) com núcleo avermelhado hematítico e córtice amarelado goethítico, ponto UI-003; D) Detalhe dos pisólitos (C) com núcleo amarelado com caulinita e goethita e córtice com intercalação de hematita e goethita, ponto UI-004; e F) Detalhe dos pisólitos (E) com núcleo avermelhado hematítico e córtice com intercalação de hematita e goethita, ponto UI-004. Fotos: Isabel I. E. Herrera.

5.1.2 Litogeoquímica das Crostas Lateríticas

Com o objetivo de comparar os resultados litogeoquímicos deste trabalho (19 amostras) foram avaliados e integrados os dados geoquímicos das crostas lateríticas do sul do estado de

Rondônia (35 amostras coletadas por Iza, 2017), e 5 amostras do norte de Rondônia coletadas por Castro (2015), totalizando a comparação entre 59 amostras.

Os resultados obtidos nas 19 amostras coletadas destacam valores de Al_2O_3 variando entre aproximadamente 11 e 24% e valores de Fe_2O_3 entre 33 e 68%. Os valores de SiO_2 variam aproximadamente entre 9 e 28% e apresentam correlação inversa com os valores de ferro, Figura 19A, enquanto a relação do SiO_2 com o Al_2O_3 é diretamente proporcional, Figura 19B. No caso do TiO_2 o maior valor registrado foi de 1,17%, exatamente na mesma amostra que apresenta os maiores valores de Fe_2O_3 (68%). Os demais óxidos (BaO, CaO, K_2O, MgO, MnO, Na_2O, P_2O_5, SrO e Cr_2O_3) apresentam valores abaixo do limite de detecção ou muito baixos sendo, portanto, pouco expressivos.

Esse comportamento de proporcionalidade inversa entre os valores de ferro e sílica e direta entre os valores de alumínio e sílica é similar ao das amostras de Iza (2017) e de Castro (2015). As percentagens de óxido de ferro e de óxido de alumínio das amostras deste trabalho são similares às respectivas percentagens das amostras da superfície superior de Iza (2017) e de Castro (2015).

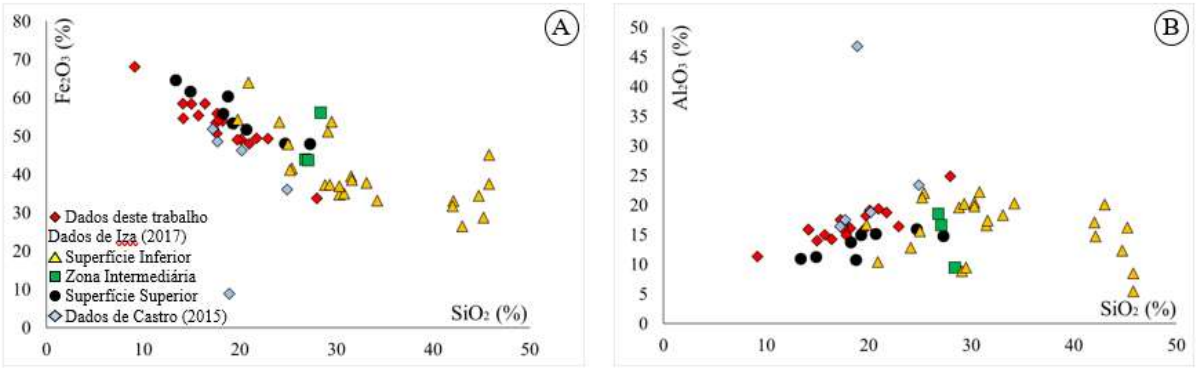


Figura 19 – A) Gráfico de Fe_2O_3 vs SiO_2, mostrando relação inversa. B) Gráfico de Al_2O_3 vs SiO_2, mostrando relação diretamente proporcional.

Os elementos terras raras tem concentrações média de 175,51 ppm, valor muito mais alto do que aqueles observados por Iza (2017), 52,4 para a superfície superior e 72,9 para a superfície inferior. Há enriquecimento de elementos leves em relação aos pesados (4,36). Esses resultados são similares aos observados na zona intermediária e na superfície inferior de Iza (2017) que apresentaram respectivamente 4,3 e 3,22, Figura 20.

Fleet (1984) afirma que durante o processo intempérico existe certa mobilização dos ETR, porém sua rápida reprecipitação ou reincorporação em minerais secundários faz com que tais elementos sejam considerados pouco móveis.

Palmeira *et al.* (2018), ao realizar o mapeamento geológico e de recursos minerais da Folha Ariquemes (adjacente à área de estudo), analisa, entre outros aspectos, os dados de litoquímica de amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência. Os autores destacam padrões ETR altos para os granitos, charnockitos e mangeritos (rochas ácidas) com razões de ETR leves x pesados similares aos registrados nesse trabalho. Por sua vez, Quadros *et al.* (2011) identificaram e analisaram, entre outros aspectos, os dados litoquímicos de amostras da Suíte Intrusiva Serra da Providência.

Ambos os padrões de ETR observados são similares aos observados neste trabalho. Os resultados mostraram assinaturas geoquímicas compatíveis com granitos (conteúdo elevado de ETR leves e conteúdo moderado de ETR pesados). Em todo caso, os maiores valores de ETR assim como os resultados aerogeofísicos (ASA) ratificam a relação entre as crostas lateríticas e rochas fonte ácidas (granitoides) no norte de Rondônia.

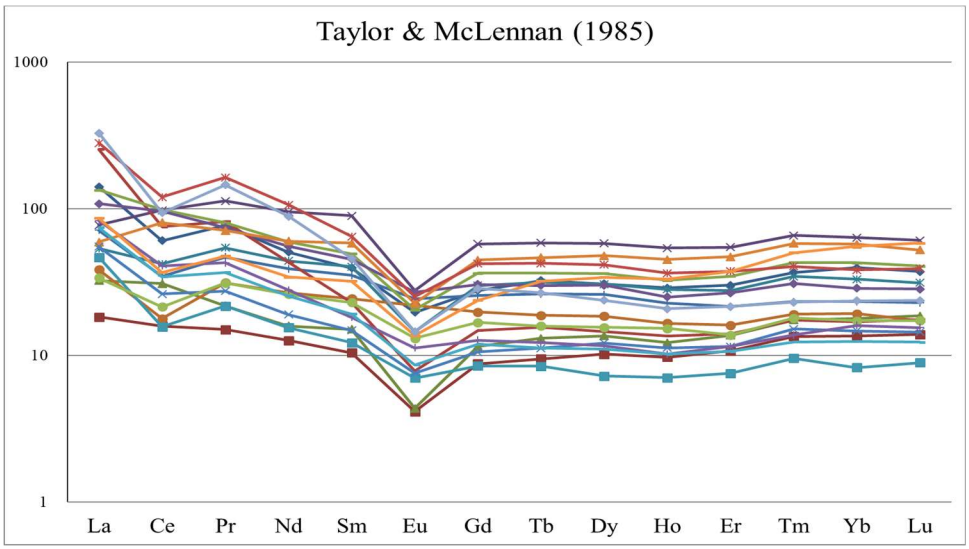


Figura 20 – Gráfico de ETR normalizados pelo Condrito (Taylor e McLennan, 1985).

No diagrama ternário SiO_2- Al_2O_3- Fe_2O_3, Figura 21, as amostras desse trabalho apresentam maiores valores de Fe_2O_3 em detrimento do SiO_2 quando comparadas aos dados gerais de Iza (2017), entretanto, quando comparadas apenas com a Superfície Superior do referido autor e os dados de Castro (2015) os resultados são similares. Em relação ao Al_2O_3, os valores são ligeiramente maiores quando comparados com a superfície superior de Iza (2017) e com os resultados de Castro (2015). Neste último, há uma amostra anômala com valor de Al_2O_3 duas a três vezes superior (~60%) ao conjunto geral de amostras. Nesse diagrama (Figura 21) observa-se que todas as amostras dessa pesquisa, estão classificadas como laterito ferruginoso e relacionadas a lateritização intensa, com exceção de uma classificada como laterito caolinítico (lateritização moderada), (DURY, 1969; SCHELLMANN, 1981 e 1983).

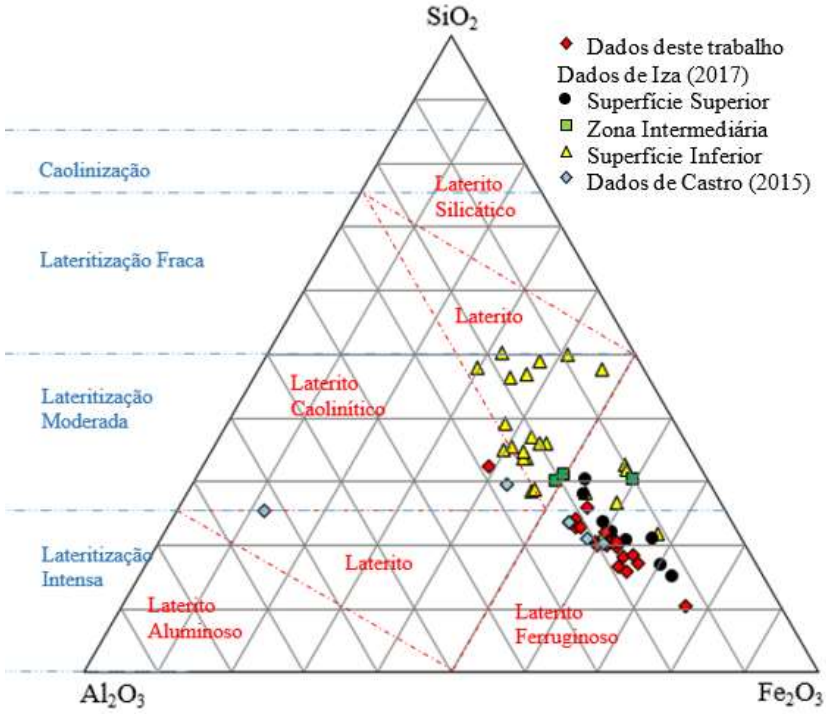


Figura 21 – Ternário SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3, Schellmann (1983) com os respectivos graus de lateritização.

De acordo com Costa (2007), associações altas de elementos tais como Cr, Mn, Ni, Co combinados com associações com teores mais baixos de ETR, Sc, Y, Zr, Nb (Ta), Rb, Th são típicos indicadores de formações lateríticas derivadas de rochas ultramáficas. Por outro lado, associações com teores mais elevados de Zr, Y, (Sc), Nb (Ta), ETR e Th exibem consideráveis afinidades com as rochas alcalinas. Desse modo, o diagrama ETR-CoCrNi-ScYZr, Figura 22A, foi confeccionado com o objetivo de destacar eventuais assembleias de amostras com tendências mais máficas ou félsicas. Os resultados observados no referido diagrama mostram que as amostras têm predominantemente valores de Sc,Y, Zr e ETR mais altos e teores mais baixos de Co, Cr e Ni, ou seja, com tendências félsicas, inclusive quando comparadas com as amostras do sul do estado de Rondônia, (Iza, 2017). Em todo caso, observa-se um grupo de pelo menos duas amostras com valores mais altos de Co, Cr e Ni interpretados com tendências mais máficas. Para as amostras de Castro (2015), não foi possível fazer a avaliação no referido diagrama, pois o conjunto de dados não continha valores para cromo. O diagrama Al_2O_3- Fe_2O_3-$(CaO+K_2O+MgO+Na_2O)*100$, Figura 22B, destaca que as amostras de crostas lateríticas deste trabalho têm valores de álcalis mais baixos quando comparados com as crostas lateríticas do sul do estado de Rondônia, Iza (2017), porém as amostras de Castro (2015) apresentam os menores valores de álcalis.

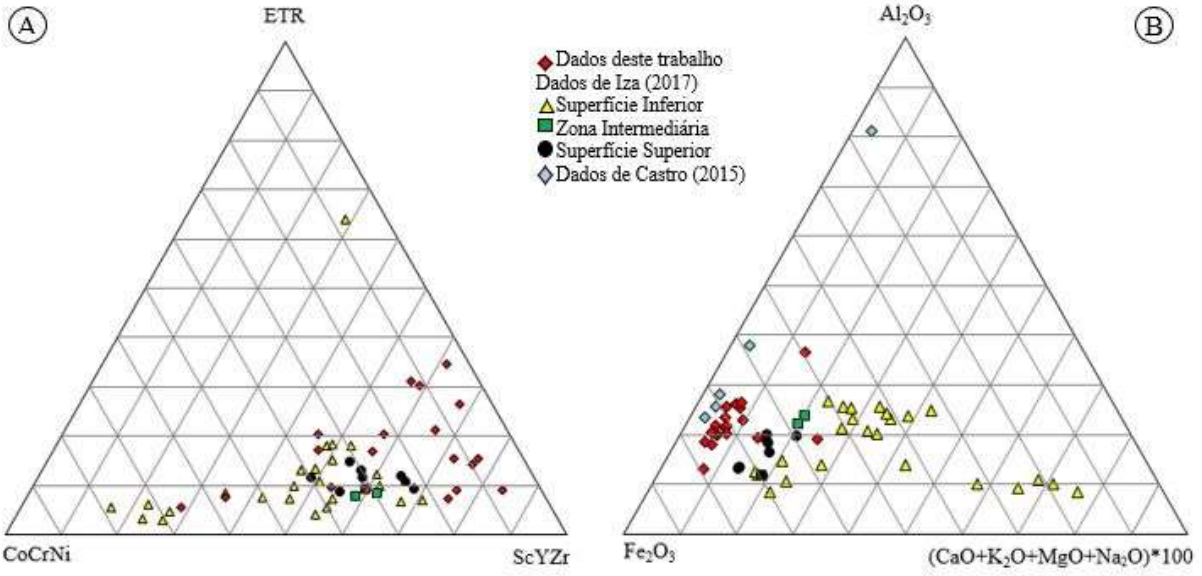


Figura 22 – Gráficos ternários. A) ETR-CoCrNi-ScYZr. B) Al_2O_3-Fe_2O_3-(CaO+K_2O+MgO+Na_2O)*100

O diagrama CIA vs WIP, Figura 23, representa a correlação entre dois índices químicos de intemperismo no qual foram inseridas amostras deste trabalho e de diversas partes do mundo. As crostas deste trabalho têm alto índice de intemperismo o que corrobora os resultados observados no ternário Al_2O_3- Fe_2O_3-(CaO+K_2O+MgO+Na_2O)*100. Em todo caso, esses resultados são relativamente similares aos obtidos no sul de Rondônia (IZA, 2017), no norte de Rondônia (CASTRO 2015), na Índia (WIMPENNY *et al*. 2007; laterito bidar) e em Burquina Faso (GIORGIS *et al.* 2014).

As análises supracitadas não permitiram separar padrões geoquímicos de acordo com os aspectos geomorfológicos. Em todo caso as amostras com maiores valores de álcalis e menores de Fe_2O_3 estão localizadas adjacentes à cidade de Porto Velho (ao sul) em cotas de aproximadamente 110 m, enquanto os maiores valores de Fe_2O_3 foram encontrados na porção sudeste em cotas de 150 m.

Notadamente os valores de SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3 e álcalis (CaO+MgO+Na_2O+K_2O) para os granitos da Suíte Intrusiva Serra da Providência, Teotônio e Santo Antônio, de acordo com (PAYOLLA, 1994; QUADROS e RIZZOTTO, 2007; QUADROS, *et al.*, 2011; PALMEIRA, *et al.*, 2018) mostram discrepâncias significativas com os valores registrados nas crostas lateríticas. Estes resultados evidenciam que o processo intempérico na área de estudo foi intenso o suficiente para enriquecer em até 16 vezes os teores de Fe_2O_3 e empobrecer em até 24 vezes os álcalis, Tabela 1.

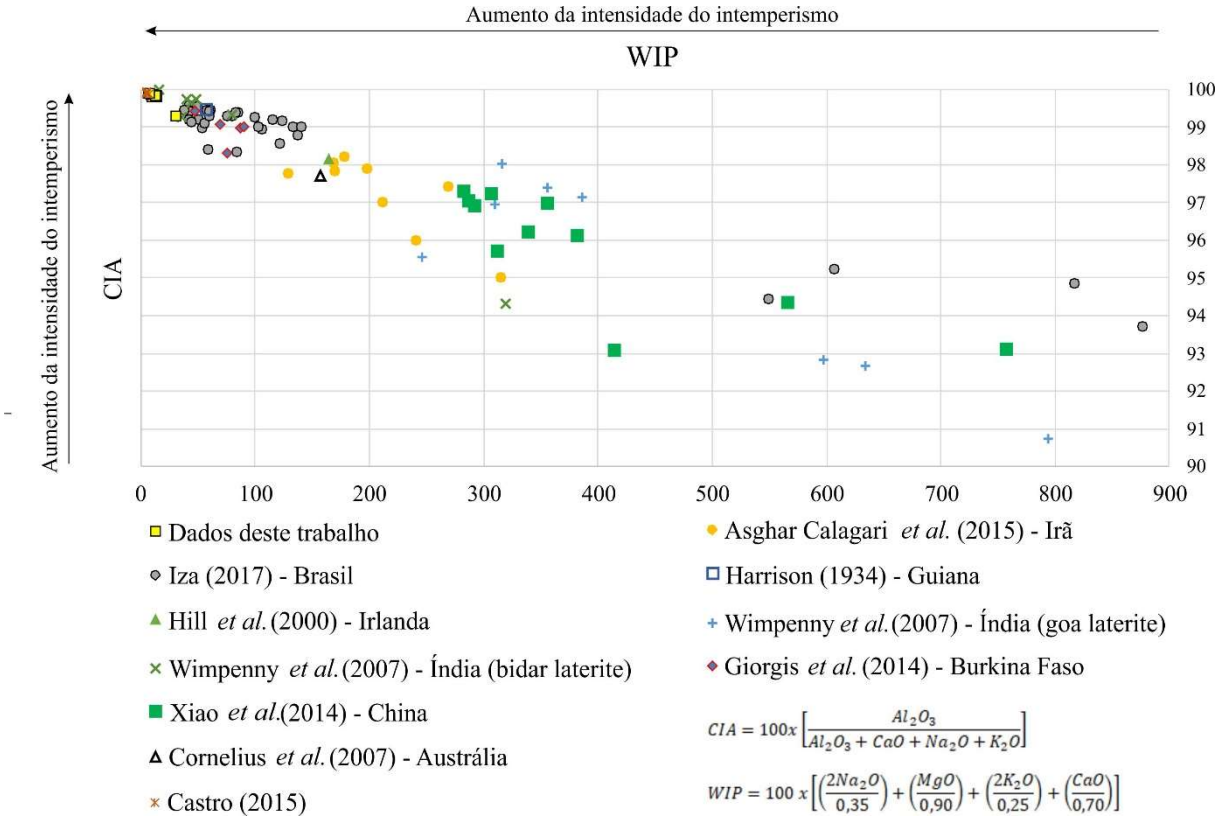


Figura 23 – Gráfico de índices de alteração química com dados de Rondônia e de outros lugares do mundo.

Tabela 1 - Fator de enriquecimento ou empobrecimento (-) de óxidos nas crostas lateríticas.

	Rocha	Crosta laterítica	Fator
SiO_2	60 - 76%.	9.14 – 27,96	- 3 a 6 x
Fe_2O_3	2,03 - 6,40%	33.78 – 68,08	11 a 16 x
Al_2O_3	11,53 - 14,02%	11,34 – 24,85	0 a 1,7 x
$CaO+MgO+Na_2O+K_2O$	8 - 12%.	<0,5	- 24 x

5.2 Aerogeofísica (gamaespectrometria e magnetometria)

5.2.1 Índice Laterítico

O mapa do índice laterítico destacou áreas de alto índice (cor verde na Figura 24), que coincidem em grande parte com as áreas de crostas lateríticas identificadas por Herrera *et al.* (2017). É importante ressaltar que para a margem direita do rio Madeira, essas áreas encontram-se em altitudes acima de 120 m, enquanto as áreas ressaltadas na margem esquerda não têm associação direta com a altitude, mas sim com altos valores de Th e Th/K, o que também discrimina áreas de alto nível de intemperismo. As áreas em marrom representam tendências

de baixo índice laterítico, e coincidem em grande parte com áreas sem a presença de crostas lateríticas, tal como observado em campo.

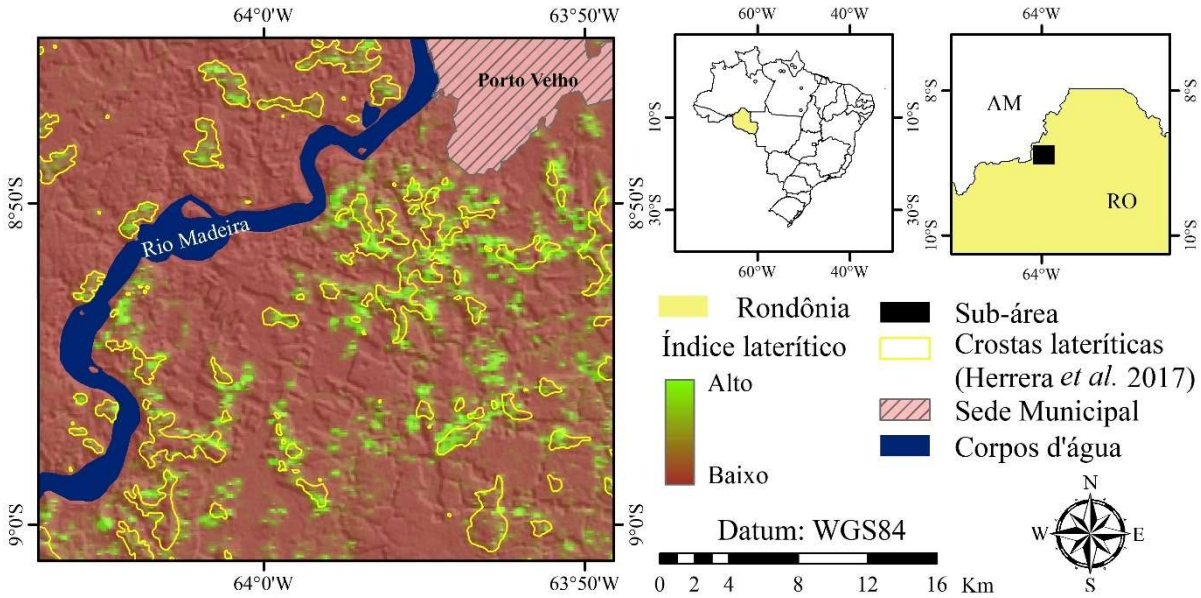


Figura 24 – Mapa de índice laterítico, ressaltando áreas com alto e baixo potencial para a ocorrência de crostas lateríticas e respectivas crostas identificadas por Herrera, *et al.* (2017).

5.2.2 Magnetometria e Fonte das Crostas Lateríticas

A aeromagnetometria auxiliou na avaliação do tipo de rochas fonte associadas às crostas lateríticas, pois ela reflete informações magnetométricas dos materiais em profundidade (centenas de metros a alguns quilômetros). Os níveis de intensidade de magnetismo (altos e baixos) foram associados a rochas mais ou menos magnéticas (tendências mais básicas, associadas a materiais granitoides; ou ácidas associadas a materiais como diabásio/basaltos, respectivamente). A Figura 25 representa a amplitude do sinal analítico (ASA) da área, onde é possível observar regiões menos magnéticas, representadas em azul, e regiões mais magnéticas representadas em rosa. As regiões em azul são coincidentes com domínios graníticos, enquanto as rosadas e esverdeadas destacam corpos máficos, alguns em forma alongadas (N-S; SW-NE), sugerindo a presença de diques máficos.

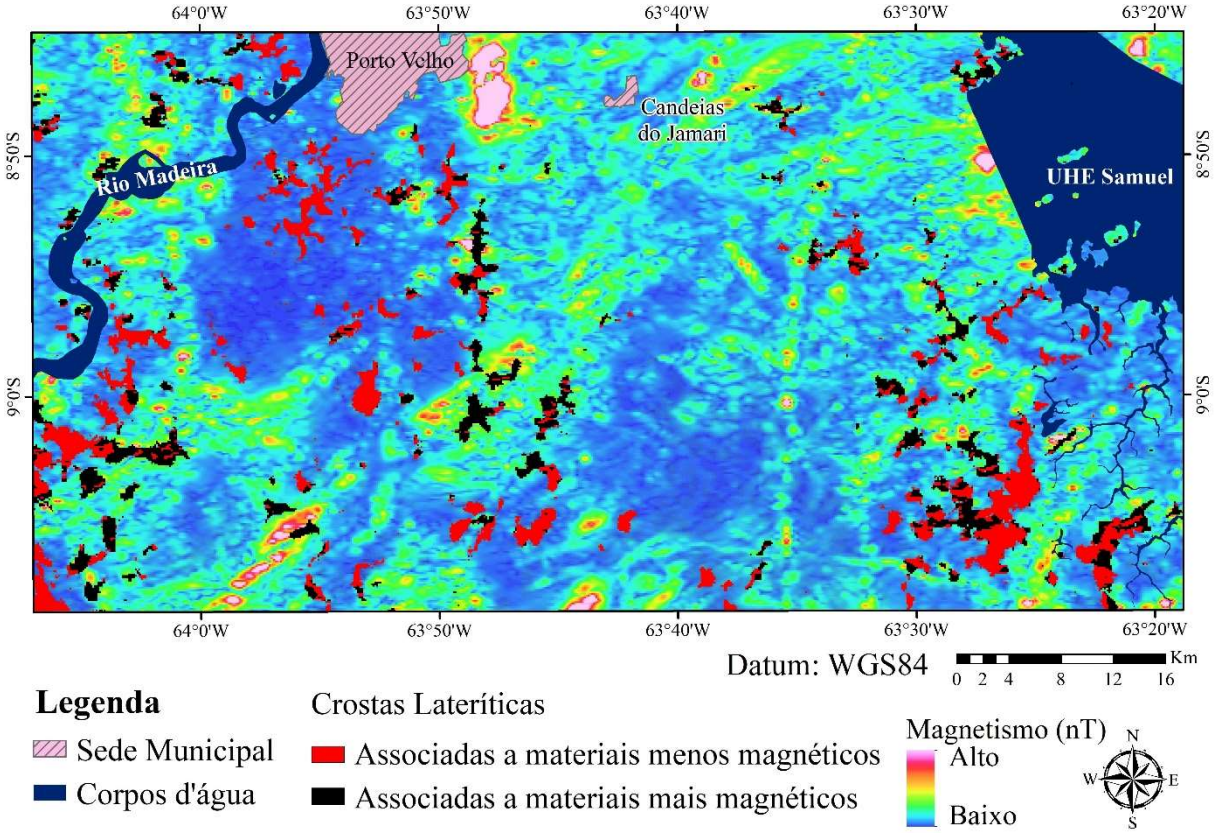


Figura 25 – Mapa da amplitude do sinal analítico e das crostas identificadas por Herrera *et al*. (2017), evidenciando os padrões magnéticos (intensidade do magnetismo) das fontes das crostas lateríticas.

Na mesma imagem observa-se a sobreposição das áreas potenciais para ocorrência de crostas lateríticas identificadas por Herrera *et al*. (2017). As áreas mostradas em vermelho correspondem às crostas associadas a rocha fonte menos magnética, já as áreas mostradas em preto correspondem às crostas associadas a rocha fonte mais magnética.

É importante destacar que as fontes das crostas lateríticas podem dar indício de presença de certos recursos minerais supergênicos em superfície. Nesse sentido, a delimitação das áreas com perfis lateríticos completos e sua associação com as respectivas rochas-fonte contribuem para o planejamento e determinação do potencial mineral. As crostas com potencial mineral associado a rochas máficas podem ter concentrações importantes de Ni, Cu, Co, etc. As crostas associadas a fontes félsicas podem ter teores significativos de Al, Sn, P, ETR, etc.

Na área de estudo há prevalência de rochas fontes graníticas (félsicas) que indicam a predominância de potencial para associações geoquímicas anômalas relacionadas a estes tipos de rochas. Por outro lado, há também crostas com fonte com forte tendência magnética indicando também a possibilidade de perfis lateríticos com associações geoquímicas relacionadas a esse tipo de rocha. No geral, estas últimas associações estão vinculadas, em grande parte, ao conjunto de diques máficos de direção N-S / SW-NE.

5.3 Mapa do Regolito

No mapeamento do regolito foram identificados 8 materiais representados por latossolos, cambissolos, crostas lateríticas, rocha e sedimentos aluvionares. O regolito *in situ* está representado por unidades com diferentes níveis de intemperismo: perfis lateríticos completos ou truncados, e por solos variando desde cambissolos húmicos até grande variedade de latossolos (amarelos, vermelho-amarelos e vermelhos escuros), por vezes associados às crostas lateríticas subjacentes; e embasamento pouco ou nada intemperizado, representado por afloramentos graníticos. O regolito transportado está representado por sedimentos aluvionares associados aos principais rios da região.

As unidades representadas no mapa seguiram a classificação proposta pelo GSWA (2013). A Tabela 2 mostra os diferentes códigos usados para representar as diferentes formas de relevo e a composição do regolito. A combinação de uma forma de relevo com um tipo de material, em conjunto com um modificador indicando o nível de endurecimento, resulta nas diferentes unidades representadas no mapa.

Tabela 2 – Códigos das unidades de mapeamento do regolito utilizados/identificadas neste trabalho.

Tipo de forma de relevo	Código	Tipo de Regolito	Código	*Nível de Endurecimento	Código
Forma de relevo aluvionar	AL	Argilas	c	Material Inconsolidado	0
Relevo Ondulado	UP	Crosta laterítica	dc	Material Friável	1
Platôs	PT	Granitos	pg	Material endurecido	2
Planície erosional sem *tors* e *hillocks*	EP	Areias e argilas	sc	Material muito endurecido	3
Planície erosional com *tors* e *hillocks*	EX	Solo residual	rt		
Afloramento rochoso	X				

* Nível de endurecimento: 0 (material inconsolidado) a 3 (material endurecido). Os códigos 1 e 2 não foram identificados em campo.

As unidades representadas no mapa do regolito (Figura 26) estão descritas a seguir:

- $UPrt_0$: Latossolos amarelos (LA) constituídos por materiais argilosos e francos, distróficos. Estão localizados na região noroeste da área, na margem esquerda do rio Madeira, com presença de crostas lateríticas associadas a relevo suavemente ondulado. Estes latossolos ocorrem em um domínio onde não são registrados platôs ou desníveis topográficos significativos (<5 m).
- $EXrt_0$: Latossolos vermelhos escuros (LVd), amarelos (LA) vermelho-amarelos (LVA) constituídos por materiais francos e argilosos, distróficos e, no geral, bem drenados. Estão localizados na regiões centro-oeste (nas proximidades de Porto Velho) e sudeste, e no nordeste, próximo à hidrelétrica de Samuel. Neste domínio ocorrem ainda *tors* e *hillocks* que sobressaem

em uma superfície plana com altitudes de 120 m constituindo a mais expressiva superfície da área, em termos de extensão.

- $EPrt_0$: Latossolos vermelho-amarelos (LVAd) constituídos por materiais argilosos, distróficos e bem drenados, encontram-se na porção central e centro-leste da área, envolvendo a cidade de Candeias do Jamari. Esse domínio é caracterizado por uma superfície plana com altitudes de 120 m onde não foram observados *inselbergs*, *tors* e/ou *hillocks*.
- EPc_0: Cambissolos (CXbd) constituídos por materiais argilosos, distróficos e bem drenados. Encontram-se na região sul e em uma área restrita na margem esquerda do rio Madeira. Neste domínio, com altitudes de 120 m, não foram observados *inselbergs*, *tors* ou *hillocks*.
- $PTdc_3$: Crostas lateríticas ferruginosas (FFc), com estruturas colunares, e comumente texturas pisolíticas/nodulares, contendo frequentemente horizonte desmantelado, muitas vezes recoberto por latossolos. Em diversos afloramentos, as crostas apresentam-se basculadas, fato evidenciado por deslocamentos das estruturas colunares de até 45º, especialmente aquelas localizadas na margem direita do rio Madeira, associadas a platôs com diferenças altimétricas de até 50 m, variando sua exposição entre 120 até 180 m de altitude.
- $UPdc_3$: Crostas lateríticas ferruginosas (FFc) com estruturas colunares e texturas pisolíticas/nodulares, vermiformes, associadas a relevo suavemente ondulado, localizadas na margem esquerda do rio Madeira.
- $ALsc_0$: Sedimentos aluvionares associados, em grande parte, aos principais rios da região, tais como o Rio Madeira e seus afluentes, Rio das Garças e o Rio Candeias. Na área de estudo, estes sedimentos ocorrem não apenas nos leitos e margens de canais fluviais atuais, mas também em paleocanais, e correspondem a amplo ambiente deposicional, onde são observados grandes depósitos arenosos e/ou argilosos.
- Xpg: Afloramentos rochosos (AR) correspondentes a granitos porfiríticos das Suítes Intrusivas Santo Antônio e Serra da Providência. Em ambos os casos, a textura é grossa, equigranular a porfirítica, por vezes apresentando textura rapakivi.

Essas unidades foram cartografadas de acordo com a escala de trabalho, assim, os colúvios associados às encostas dos platôs não foram cartografados. A Figura 27 mostra alguns dos principais materiais observados em campo e representados no mapa do regolito.

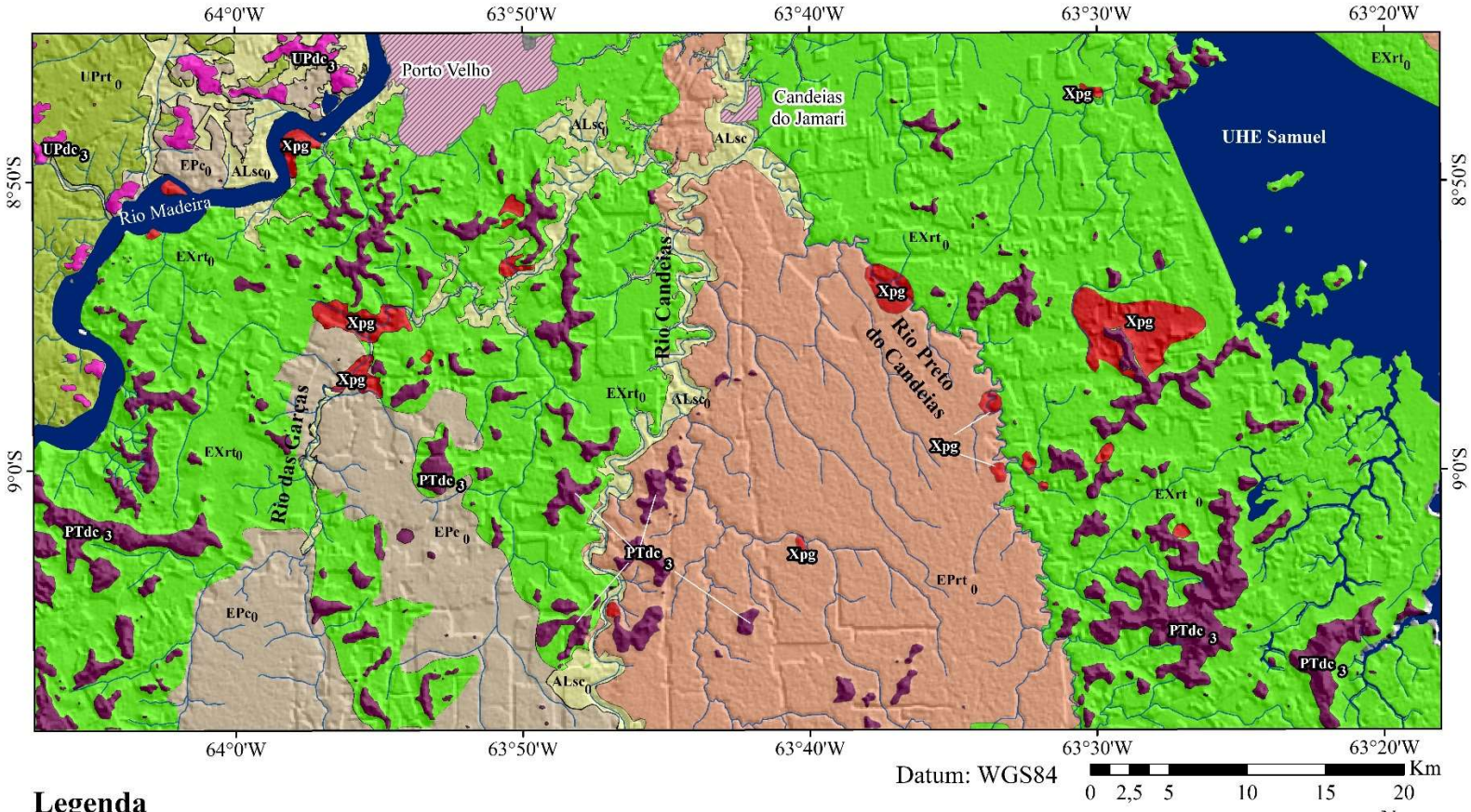


Figura 26 – Mapa do regolito confeccionado a partir da integração das bases geológica (Quadros e Rizzotto, 2007; Oliveira e Filho, 2013), geomorfológica (Rondônia, 2002), de solos (Rondônia, 2002), e aerogeofísica (CPRM, 2010) com suporte dos dados de campo. Escala 1:250.000.

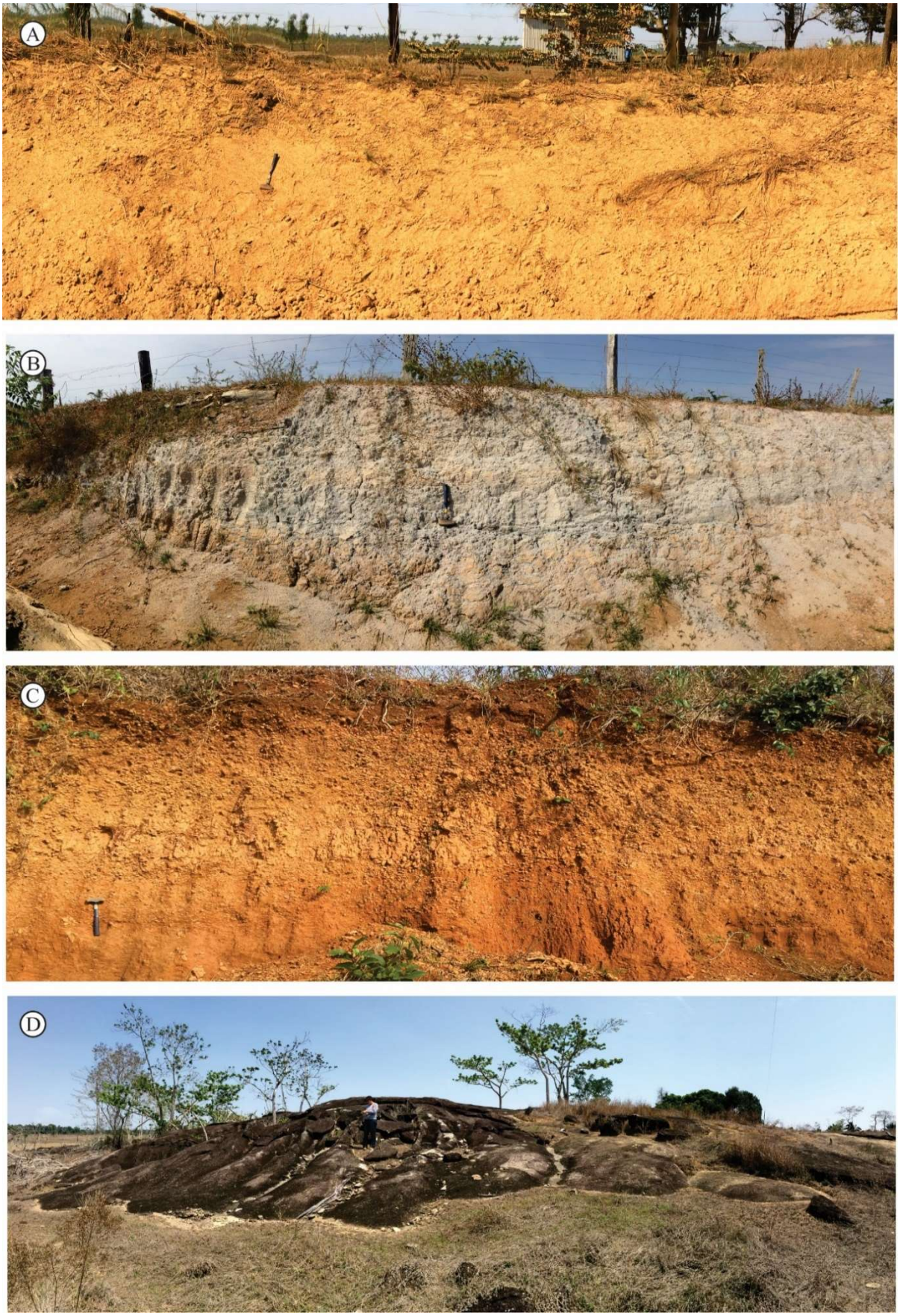


Figura 27 – Alguns dos principais constituintes do regolito observados em campo: Latossolo amarelo, pontos DI-013 e DI-024, respectivamente (A e B) crosta laterítica, ponto DI-038 (C) e embasamento rochoso, ponto DI-061 (D). Fotos: Isabel I. E. Herrera.

5.4 Morfopedogênese

5.4.1 Aspectos Pedológicos

Em termos pedológicos, a área está amplamente coberta por solos, mais especificamente latossolos, e crostas lateríticas (plintossolos pétricos). Notadamente o mapa pedológico apresentado por Rondônia (2002), menciona a presença de plintita endurecida ou lateritos, normalmente com baixa capacidade de troca iônica e fertilidade, contudo, essas unidades não são destacadas no mapa apresentado. Assim, sugere-se a inclusão das áreas de ocorrência de crostas lateríticas descritas e analisadas nesse trabalho que correspondem pedologicamente a plintossolos pétricos, principalmente do tipo concrecionário, conforme proposto na Figura 28.

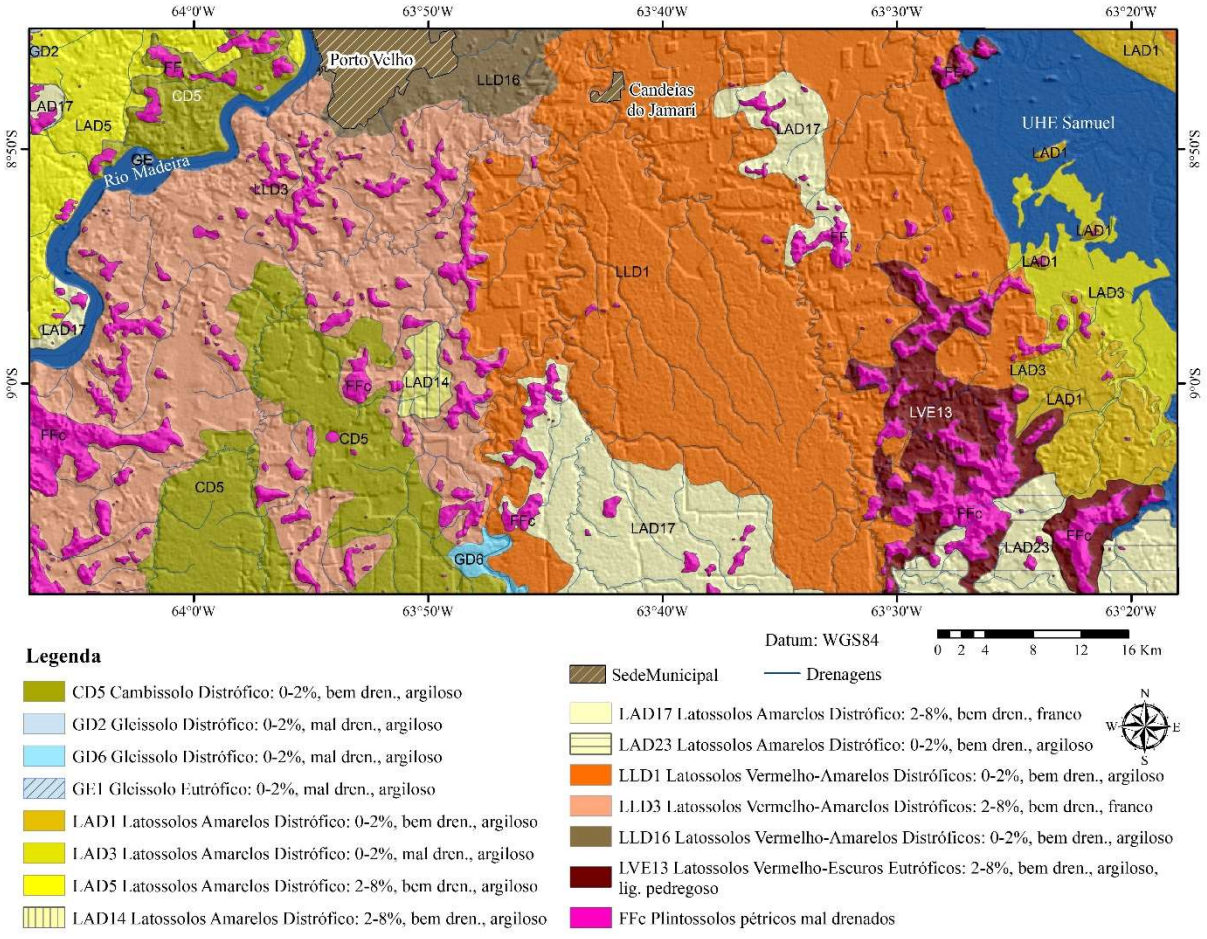


Figura 28 – Proposta de atualização do mapa de solos de Rondônia (2002).

5.4.2 Aspectos Geomorfológicos

Em termos geomorfológicos, existem diversos trabalhos de mapeamento na área de estudo, sendo os mais importantes os de Melo *et al*. (1978), Rondônia (2002) e IBGE (2013).

Segundo Melo *et al.* (1978), a área de estudo encontra-se inserida no Planalto Rebaixado da Amazônia (Ocidental) o qual constitui extensa área aplainada e conservada, com trechos de dissecação suaves, dando origem a interflúvios tabulares.

Esses resultados foram ratificados por este trabalho, mas dados de campo permitiram o reconhecimento de outros aspectos geomorfológicos, não identificados anteriormente, possivelmente pela limitação da escala de trabalho utilizada. Para a margem direita do rio Madeira as unidades mais destacadas, estão localizadas entre 80 m e 200 m de altitude, e têm dissecação baixa e com densidade de drenagem média.

A porção central da área, localizada entre os rios Candeias e rio Preto do Candeias, compõe uma área extensa e plana com ausência de *inselbergs* e *tors* e com rara presença de platôs lateríticos, especialmente localizados na margem direita do rio Candeias. Nesta região o padrão de drenagem observado é do tipo paralelo. Este tipo de padrão pode ser associado à presença de controles estruturais, de falhas paralelas ou lineamentos topográficos paralelos.

Por outo lado, nas áreas a leste do rio Preto do Candeias e a oeste do rio Candeias observam-se muitos *tors* e *hillocks* e frequente presença de platôs lateríticos. Nesta área o padrão de drenagem observado é do tipo retangular (aspecto ortogonal causado pelas bruscas alterações retangulares nos cursos fluviais). Este padrão é resultado da existência de falhas, sistema de juntas ou diaclases. Esse mesmo padrão de drenagem pode ser observado na porção oeste da área entre os rios Madeira e Rio das Garças.

Em todo caso, a margem direita do rio Madeira foi descrita por IBGE (2013) como Depressão de Porto Velho, que está representada por áreas de dissecação homogênea e topos tabulares. Essas últimas feições estão fortemente associadas aos platôs lateríticos identificados e descritos neste trabalho. Por sua vez, nesta mesma área, Rondônia (2002) não destaca a presença de platôs nem de couraças ferruginosas, de acordo com Herrera (2016).

Na margem esquerda do rio Madeira, as altitudes variam entre 80 e 110 m com relevo suavemente ondulado, constituindo áreas de terraços altos não dissecados, além de crostas lateríticas. Nas adjacências do rio Madeira há frequentes depósitos de origem fluvial, representados por sedimentos arenosos e argilosos. Este domínio tem densidade de drenagem média, podendo ser baixa nas áreas de ocorrência de crostas lateríticas. De acordo com IBGE (2013), esse domínio está inserido na Depressão do Ituxi-Jari, representado por áreas de dissecação homogênea com topos convexos com densidades de drenagens baixa e média. Por sua vez, Rondônia (2002) descreve a presença de couraças ferruginosas em uma área restrita no extremo noroeste da área (margem esquerda do rio Madeira), não representando de forma plena

as ocorrências de crostas lateríticas nessa região. Esse trabalho identificou e descreveu diversas ocorrências de crostas lateríticas nesse domínio (Figura 33).

Como mencionado anteriormente, grande parte da área de estudo está coberta por latossolos amarelos, vermelho-amarelos e vermelhos escuros, onde existem afloramentos rochosos restritos e ocorrência de cambissolos na porção sudoeste da área e em uma porção restrita na margem esquerda do rio Madeira; Herrera *et al.* (2016a) destacaram a altitude de ocorrência destas crostas, mais especificamente, entre 120 e 150 m, na porção oeste na margem direita do rio Madeira, e acima de 150 m na porção sudeste da área.

5.4.2.1 Padrões de Drenagens

Segundo Christofoletti (1980), o arranjo espacial dos cursos fluviais pode ser influenciado por diversos fatores (disposição das camadas rochosas, resistência dessas litologias, natureza do material ou evolução geomorfológica) e é chamado de padrão de drenagem. Os cursos fluviais foram traçados usando as imagens de altimetria e analisados utilizando os padrões de drenagens já existentes na literatura.

Na Figura 29A observa-se o mapa com as drenagens traçadas para a área de estudo. Foram observados quatro padrões principais, são eles: dendrítico, retangular, paralelo e radial centrifuga. No geral há predomínio das três últimas e frequentemente há ocorrência de mais de um padrão em uma mesma bacia hidrográfica. Nesse sentido há nítido controle estrutural (geológico) das drenagens.

O primeiro padrão foi observado na margem esquerda do rio Madeira, Figura 29B, e classificado como dendrítico. Esse padrão caracteriza-se pelo desenvolvimento em formato de "árvore". De acordo com Christofoletti (1980) a corrente principal corresponde ao tronco da árvore enquanto os tributários representam os ramos. Os ângulos formados entre os ramos e o curso principal não chegam a ser retos. Na área de estudo este padrão está associado ao canal principal de direção aproximada N-S.

O segundo padrão foi observado na porção leste da área de estudo, na margem direita do rio Madeira, Figura 29C, sendo do tipo retangular. Neste caso, os cursos fluviais têm aspecto ortogonal (retangular), causado pela influência exercida por sistemas de falhas, juntas ou diaclases (CHRISTOFOLETTI, 1980). Esse resultado é similar ao observado por Silva (2013) na mesma região. O canal principal (rio das Garças) tem orientação geral SW-NE, mas os canais tributários ora apresentam direção SW-NE, ora NW-SE.

O terceiro padrão observado foi identificado na região central da área, entre os rios Candeias e Preto do Candeias, Figura 29D. Foi classificado como do tipo paralelo, no qual os

cursos de água escoam paralelamente uns aos outros, de forma similar a um rabo de cavalo. De acordo com Christofoletti (1980), esse formato é causado possivelmente por controles estruturais ou pela presença de vertentes com declividades acentuadas. Os canais que apresentam essa configuração são majoritariamente os tributários da margem esquerda do rio Preto do Candeias e da margem direita do rio Candeias. A direção geral desses tributários é SE-NW. Silva (2013) não descreveu o referido padrão em seu trabalho.

Por fim, na porção a leste do rio Preto do Candeias, na região leste da área de estudo, foi observado o padrão de drenagem radial do tipo centrífugo. Os canais que apresentam este padrão são aqueles da margem direita do rio Preto do Candeias e os tributários do Igarapé São Marcos, este último importante tributário do rio Jamari.

Neste padrão, os rios estão dispostos como raios de uma roda e divergem a partir de um ponto central mais elevado, segundo Christofoletti (1980), Figura 29E. É importante destacar que o interflúvio mais proeminente da área ocorre exatamente neste domínio (porção SE da área) onde também ocorre o mais expressivo afloramento de crosta laterítica da região. Neste caso, este padrão drenagem está associado, portanto, ao platô laterítico que se eleva com diferença altimétrica de aproximadamente 50 m.

Os padrões de drenagem supracitados podem frequentemente estar associados a outros padrões. No caso do segundo padrão (retangular) há também o padrão radial do tipo centrífugo onde o interflúvio é muito menos proeminente do que aquele observado na porção SE da área. Neste caso há pequenas elevações com desníveis máximos de 30 m em alguns casos com crosta laterítica associada. Já no caso do quarto padrão (radial centrífugo) observado na porção SE da área há também ocorrência de tributários com padrão retangular, neste caso menos proeminentes do que aqueles observados na porção oeste da área ao sul da cidade de Porto Velho.

Em termos gerais, a rede hidrográfica da área de estudo, apresenta padrões relacionados aos aspectos geológicos estruturais e geomorfológicos. Os padrões observados têm, em parte, correlação com os resultados de Silva (2013) e Leal *et al.* (1978). De acordo com este último autor, as direções NE-SW, bem como NW-SE, correspondem ao sistema de falhas paralelo dos lineamentos estruturais regionais Madeira-Quatorze de Abril e Araras, respectivamente.

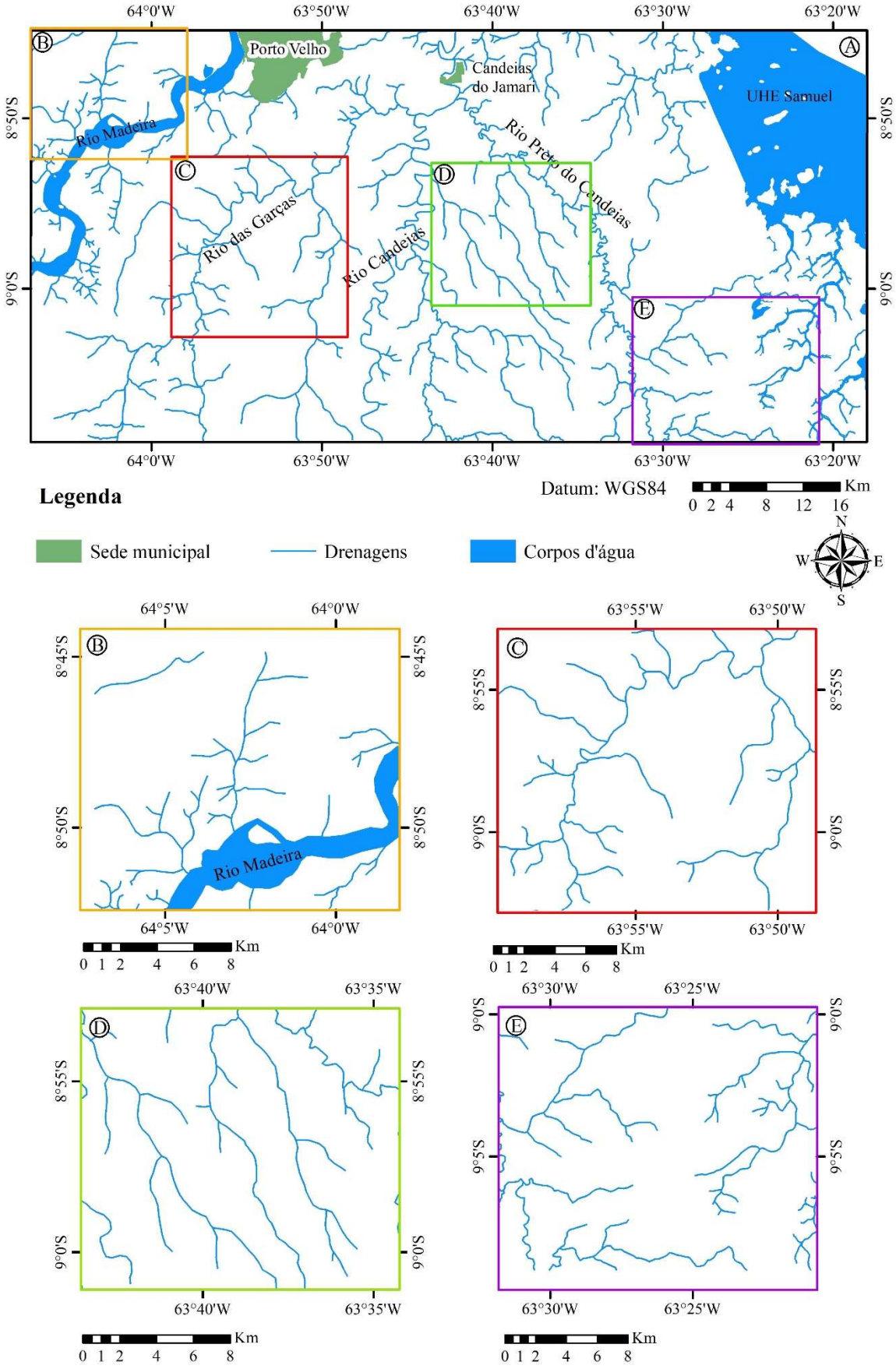


Figura 29 – Traçado das drenagens. A) Mapa da área; B) Padrão dendrítico na margem esquerda do rio Madeira; C) Padrão retangular na porção oeste na margem direita do rio Madeira, D) Padrão paralelo na porção central da área; e E) Padrão retangular e radial do tipo centrífugo na porção sudeste da área.

5.4.2.2 Aerogamaespectrometria e Altimetria

Os dados de geomorfologia e altimetria foram correlacionados com os dados de aerogramaespectrometria no intuito de avaliar os padrões radiométricos, os materiais aflorantes e as formas de relevo associadas. Em termos geomorfológicos os desníveis mais proeminentes da área estão associados aos platôs lateríticos com diferenças altimétricas de 30 m (localmente 50 m). Na região de convexidade nos topos das vertentes, o material aflorante são as crostas lateríticas (horizonte colunar e/ou pisolítico/nodular). Já para os segmentos, ou encostas, os ângulos são de aproximadamente 15º, onde aflora material laterítico, horizonte mosqueado, ou há a presença de colúvio, por vezes composto pelas próprias crostas lateríticas desmanteladas. As regiões de concavidade estão normalmente cobertas por material de colúvio, latossolos, rochas aflorantes, etc.

Os dados gamaespectrométricos destacam razões Th/K e U/K e valores de K próximos a zero para as crostas lateríticas localizadas nas proximidades de Porto Velho associadas a platôs (topos ou região de convexidade) com altitudes acima de 120 m, e para as crostas lateríticas localizadas na margem esquerda do rio Madeira (HERRERA *et al.*, 2016b). Quando o material aflorante nas concavidades é de crosta laterítica, seja colunar ou desmantelada, as respostas radiométricas são similares às descritas anteriormente. Já para os afloramentos rochosos, as respostas são diferentes, tendo altos valores de Th, U e K quando com tendências ácidas e valores baixos de Th, U e K quando com tendências básicas (Figura 30A).

Notadamente, as crostas lateríticas e latossolos associados à convexidade das encostas, apresentam maiores valores de Th, U e menores valores de K, comportamento tipicamente observado em diversas crostas lateríticas do mundo (Figura 23, Figura 30). Por sua vez, os latossolos associados à planície (120 m de altitude), vinculados à concavidade das vertentes, têm maiores valores de K e intermediários de Th, provavelmente devido à própria evolução do perfil e da influência dos materiais oriundos das vertentes associadas.

Outro padrão de resposta diferente é relacionado aos cambissolos que apresentam valores intermediários de K e baixos valores de Th e U (tendência), também normalmente presentes nas áreas de concavidades das vertentes. De acordo com Vieira (1975), este solo é constituído por horizonte B incipiente (horizonte câmbico) não hidromórfico, apresentando certo grau de desenvolvimento, porém não o suficiente para decompor completamente os minerais primários de fácil alteração. Apesar de expor o material originário bastante alterado, não apresentam acumulação em quantidade significativa de óxido de ferro, argila e humus para serem considerados como solos com B argílico, fato que provavelmente justifica o seu padrão gamaespectrométrico.

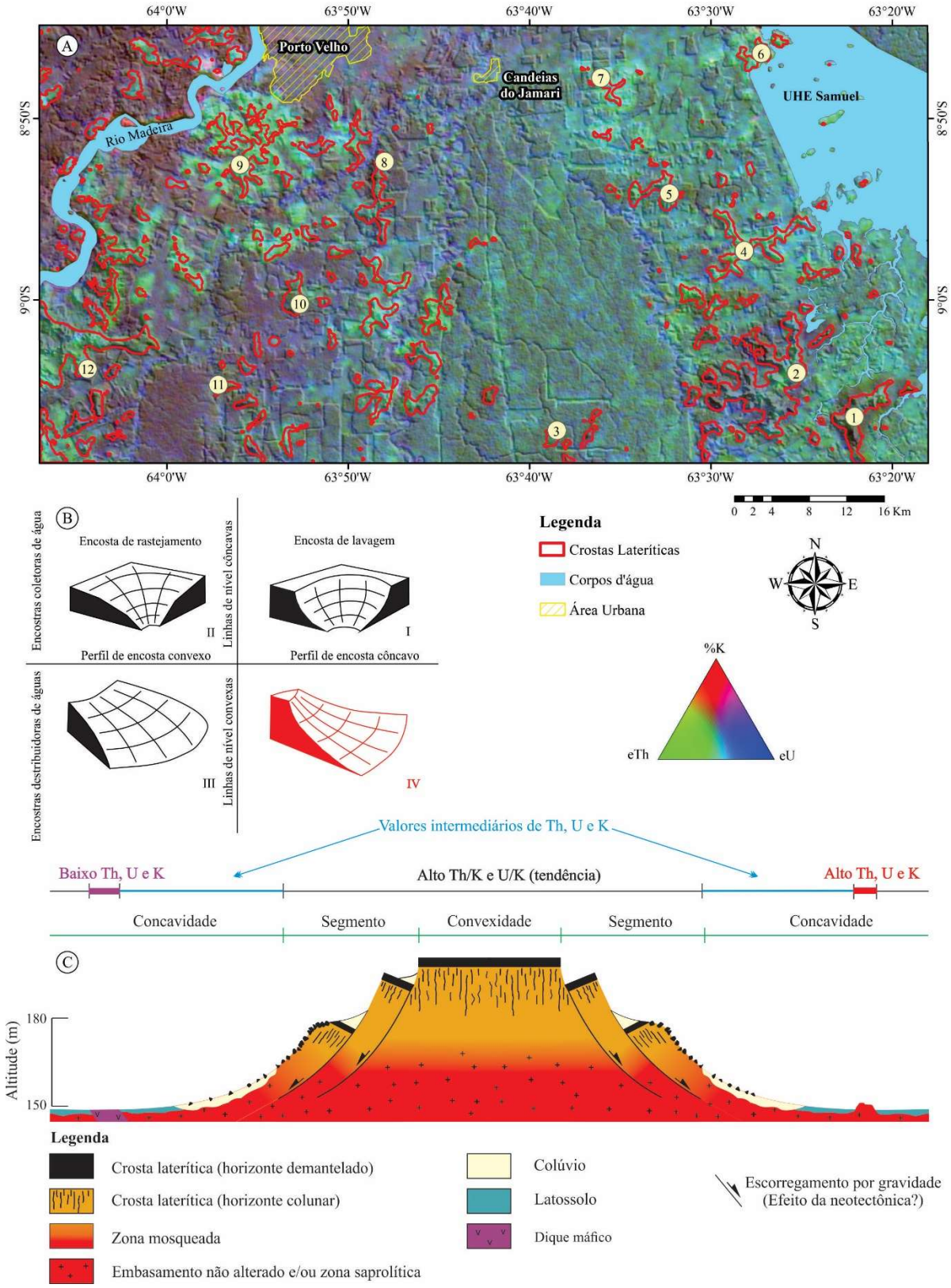


Figura 30 – A) Mapa ternário (K, eTh, eU) da área destacando as áreas de crostas lateríticas identificadas por Herrera *et al*. (2017). 1-12 localização dos perfis altimétricos das vertentes mais expressivas (vide figura 37); B) Tipos de vertentes destacando em vermelho o mais comum na área de estudo, modificado de Troeh (1965 apud Christofoletti, 1980). C) Modelo de vertente gerado para a área de estudo, especialmente para a margem direita do rio Madeira, evidenciando os aspectos pedológicos (regolito) e gamaespectrométricos.

A Figura 30B representa os tipos de vertentes apresentadas por Troeh (1965) em Christofoletti (1980). Uma avaliação preliminar de campo sugere forma côncava nas vertentes da área, do tipo IV, ou seja, vertentes com perfil de encosta côncavo com linhas de nível convexas. São os tipos de encostas distribuidoras de água (divergentes).

A Figura 30C representa um modelo com a integração dos resultados apresentados por Herrera *et al.* (2016a), por Herrera *et al.* (2016b) e por este trabalho e destaca os aspectos relacionados às vertentes, os principais materiais constituintes e os padrões de resposta gamaespectrométricos associados. Notadamente as áreas destacadas em vermelho na Figura 30A representam, a distribuição das crostas lateríticas e das respectivas vertentes presentes na área de estudo com as crostas ocorrendo no topo de platôs com desníveis de até 50 m.

5.4.2.3 Compartimentação Morfopedogenética

Os resultados apresentados acima (aspectos pedológicos, geomorfologia, padrões de drenagens, aerogamespectrometria e altimetria), em conjunto com as descrições de campo, permitiram dividir a área de estudo em quatro principais compartimentos morfopedogenéticos, são eles:

Compartimento I – Porção noroeste da área limitado ao leste pelo rio Madeira. O relevo é suavemente ondulado, altitudes entre 80 e 110 m, com exposição de crostas lateríticas, evidenciando o processo de intemperismo. Grande parte da região está coberta por latossolos amarelos argilosos e francos, distróficos e bem drenados. Nesta região, as vertentes não são expressivas por ser uma área com relevo suavemente ondulado sem a presença de platôs, *tors* ou *hillocks*. O padrão de drenagem observado é do tipo dendrítico.

Compartimento II – Região central da área, limitada a oeste pelo rio Madeira e a leste pelo rio Candeias. Corresponde a uma região plana, coberta por latossolos amarelos e vermelho-amarelos argilosos e francos, distróficos e bem drenados, com altitudes menores que 120 m, com exposição de crostas lateríticas entre 120 e 150 m de altitude, evidenciando os processos intempéricos presentes na região. Essas crostas lateríticas estão associadas a platôs que se levantam com diferenças de altitudes de até 30 m. Esta diferencia de altitude resulta do processo erosivo presente na região, pois as crostas lateríticas, por serem mais resistentes a processos erosivos, representam estruturas reliquiares. Por fim, as vertentes nesta região estão presentes com ângulos entre 15º e 25º, com material laterítico por vezes desmantelado. O padrão de drenagem observado nesta região é do tipo retangular, que pode ter sido o resultado de falhamentos presentes na região que, em conjunto com a presença de

cachoeiras, como aquela discutida por Guerra (1952, 1953), podem sugerir atuação tectônica /neotectônica.

Compartimento III – Região central da área, limitada a oeste pelo rio Candeias e a leste pelo rio Preto do Candeias. Constitui-se em uma região plana coberta por latossolos vermelho-amarelos e amarelos, com presença esporádica de *inselbergs* e *tors*, e raras exposições de crostas lateríticas. Essa característica plana é o resultado de processos erosivos na região. O padrão de drenagem observado neste compartimento é do tipo paralelo que pode ser o resultado de falhas paralelas ou de lineamentos topográficos paralelos.

Compartimento IV – Região leste da área, limitada a oeste pelo rio Preto do Candeias. Corresponde a uma região plana, coberta por latossolos vermelho-amarelos argilosos e francos, distróficos e bem drenados e por latossolos vermelhos escuros de material argiloso e ligeiramente pedregoso, eutrófico e bem drenados, com altitudes menores que 120 m, com exposição de crostas lateríticas acima de 150 m de altitude evidenciando os processos intempéricos presentes na região. Essas crostas lateríticas estão associadas a platôs, com diferenças de níveis altimétricos de até 50 m, sugerindo fortes processos erosivos na região, nos quais as crostas lateríticas, por serem mais resistentes à erosão, se mantiveram nessas cotas representando relevos reliquiares. As vertentes são mais expressivas nesta região, com ângulos de aproximadamente 25º, onde por vezes aflora a crosta laterítica, eventualmente recoberta por colúvio (evidência de processos erosivos). O padrão de drenagem observado é a combinação do tipo retangular e radial centrifugo que, em conjunto com a presença de cachoeiras como a do rio Preto do Candeias, indicam a presença de falhamentos (tectônica). Nessa região, o platô laterítico tem desnível altimétrico de aproximadamente 50 m. Outro indício da possível presença da neotectônica neste compartimento é o tombamento das crostas com estruturas colunares. A Figura 31 mostra a indicação da inclinação de 45º das estruturas colunares. É importante destacar que inicialmente a formação dessas estruturas é dada pela percolação vertical da água e lixiviação dos elementos mais solúveis durante o processo de lateritização e o fato de encontrá-las com inclinação de quase 45º indica condição de anormalidade, possivelmente como resultado de neotectônica. Por outro lado, as cotas altimétricas diferenciadas nessa região podem estar relacionadas também a litologia fonte das crostas, neste caso a formação ferrífera, que é mais resistente aos processos erosivos, se mantendo em cotas mais elevadas (Figura 32). A Figura 33, mostra o mapa com a divisão dos compartimentos morfopedogenéticos descritos acima.

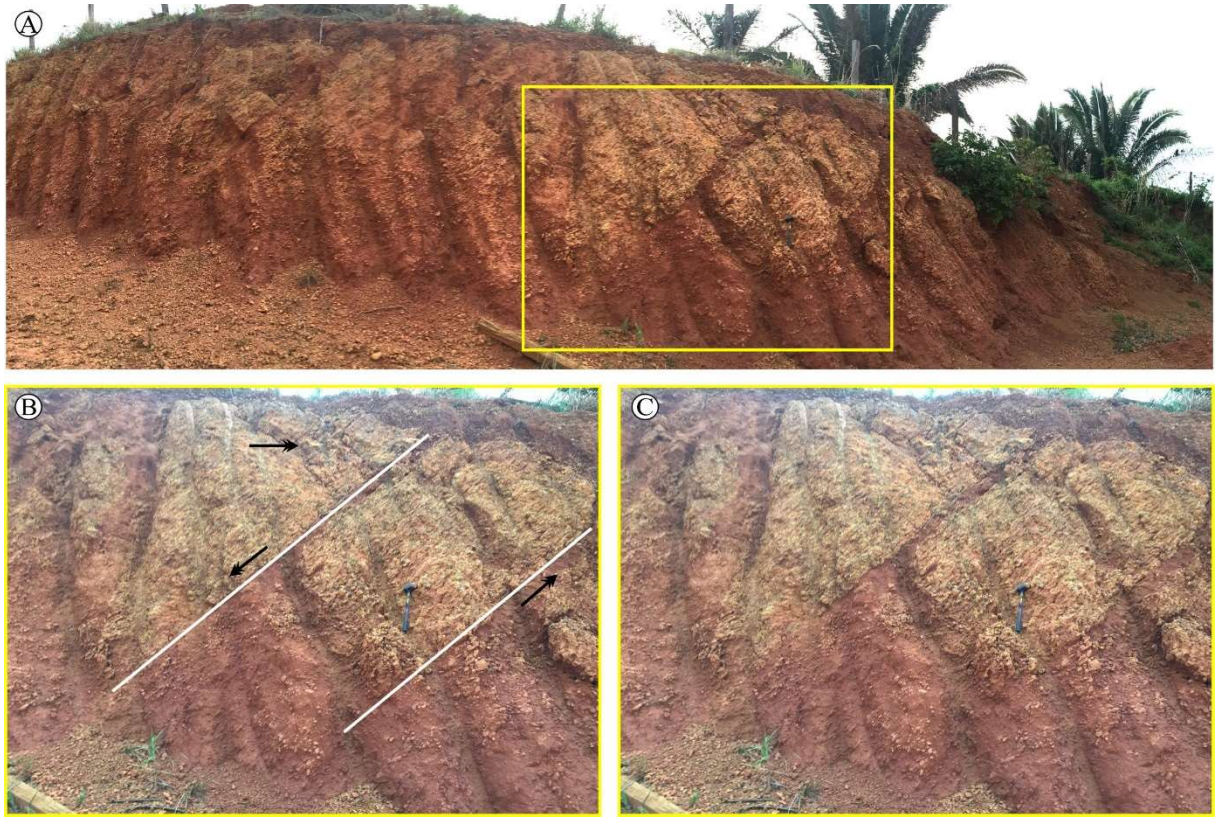
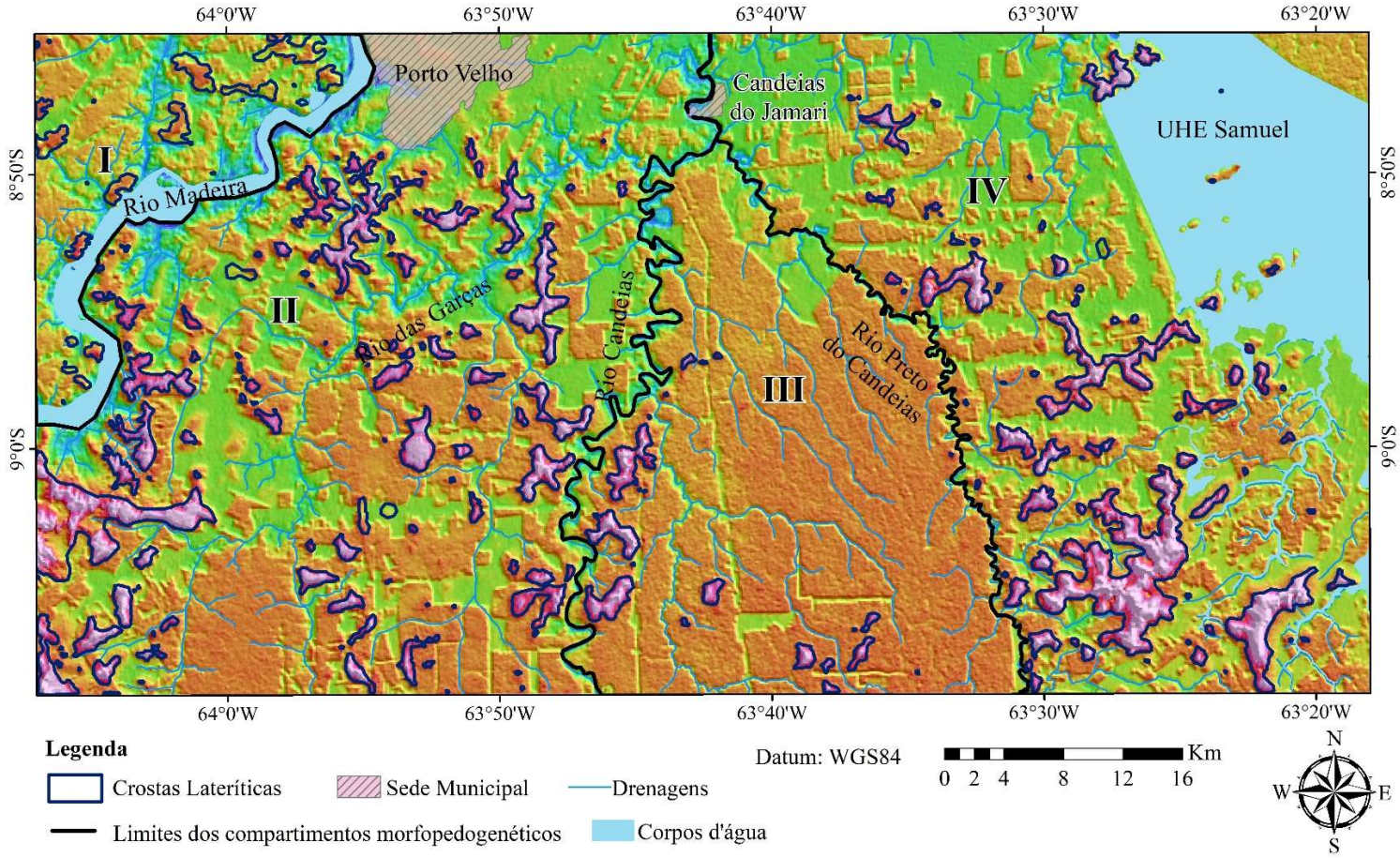


Figura 31 – Inclinação de aproximadamente 45º das estruturas colunares em um afloramento na porção sudeste da área de estudo, ponto UI-014. Fotos: Isabel I. E. Herrera.

Figura 32 – Evidências de material ferroso (formação ferrífera) na base do afloramento (Porção sudeste da área de estudo). A) Visão geral do afloramento. B) Material magnético colhido no afloramento. C) Detalhe da formação ferrífera. Ponto UI-014. Fotos: Isabel I. E. Herrera.



Compartimento I - Relevo suavemente ondulado, com altitudes entre 80 e 110 m, com presença crostas lateríticas e drenagem do tipo dendrítica.

Compartimento II - Relevo plano, com altitudes de 120 m, com crostas lateríticas associadas a platôs (altitudes entre 120 e 150 m) e padrão de drenagem do tipo retangular.

Compartimento III - Relevo plano, com altitudes menores que 120 m, com raras crostas lateríticas e drenagem do tipo paralelo.

Compartimento IV - Relevo plano com altitudes menores que 120 m, com crostas lateríticas acima de 150 m de altitude e padrao de drenagem do tipo radial centrífugo.

Figura 33 – Mapa da área destacando os diferentes compartimentos morfopedogenéticos.

5.5 Evolução da Paisagem

5.5.1 Superfícies Geomorfológicas

A análise dos dados de altimetria, dos mapas temáticos, das crostas lateríticas e das encostas da área permitiu sugerir a existência de duas superfícies geomorfológicas. A primeira superfície é provavelmente mais antiga e é representada pelo topo dos platôs constituídos por crostas lateríticas (plintossolo pétrico), doravante denominada paleosuperfície (PS); e a segunda é representada pelo atual nível base constituída por uma ampla superfície com ocorrência de latossolos, doravante denominada superfície rebaixada (SR).

Na área de estudo, as crostas estão associadas a aplanamentos com posterior fase erosiva. A superfície de ocorrência das crostas lateríticas encontra-se dissecada, provavelmente como resultado do soerguimento tectônico (rebaixamento do nível de base), originando diversos platôs (paleosuperfície reliquiar, PS) (Figura 34A e B). A superfície determinada pelas crostas (PS) ocorre predominantemente a 150 m de altitude na porção central da área de estudo (compartimento morfopedogenético II), entretanto na porção sudeste as crostas ocorrem em altitudes entre 150 e 200 m (compartimento morfopedogenético IV). Em escala de afloramento, as crostas apresentam frequentemente basculamento de aproximadamente 45º, e por vezes fraturamento das colunas com deslocamentos centimétricos, efeito que pode ser resultado de parte dos movimentos verticais e horizontais derivados de neotectônica, Figura 34C e D.

A Figura 35 mostra diversos perfis altimétricos evidenciando as altitudes associadas à base das encostas e aos topos dos platôs, destacando a presença das duas superfícies geomorfológicas supracitadas. A PS é controlada por crostas lateríticas nos topos dos platôs em altitudes em torno de 150 m, e uma superfície base rebaixada SR ocorrendo em altitudes entre 110 e 120 m. Notadamente na porção sudeste da área há crostas lateríticas com altitudes de cerca de 180 m com desníveis para a SR de até 50 m. A localização desses perfis está referenciada no mapa da Figura 30.

De acordo com Melo *et al.* (1978), na porção norte do estado de Rondônia, há três níveis de pediplanação na área: o primeiro truncando o topo da serra dos Pacaás Novos de idade pós-cretácica com altitudes entre 700 e 1000 m; o segundo secionando a Serra Moreira Cabral de idade terciária com altitude média de 400 m; e o último compreendendo toda a superfície rebaixada com idade neopleistocênica, no curso baixo do rio Machado.

Figura 34 – Perfil laterítico A) Paisagem da área com destaque à presença de platôs. B) Detalhe de encosta com perfil laterítico. Ambas fotos no ponto UI-014. C e D) Crosta laterítica com colunas inclinadas e fraturadas, pontos UI-009 e UI-010, respectivamente. Fotos: Isabel I. E. Herrera.

Ao comparar as superfícies identificadas neste trabalho com as superfícies mencionadas por Melo *et al.* (1978), pode-se concluir que a área de estudo está inserida no nível de pediplanação rebaixado. A superfície rebaixada trata-se de uma extensa superfície cuja principal característica é a planura do relevo, embora, segundo os autores, em diversas áreas já se encontre dissecada. Neste sentido a SR (superfície identificada neste trabalho) é correlata a superfície rebaixada de Melo *et al.* (1978). Por outro lado, a PS identificada e descrita neste trabalho não foi destacada pelos referidos autores, provavelmente devido às diferentes escalas de trabalho. Contudo, a PS pode ser correlata à superfície "Nível Velhas Novo - Laterito" (180-200 m bauxita nodular, Trometas, Pará), Tabela 3.

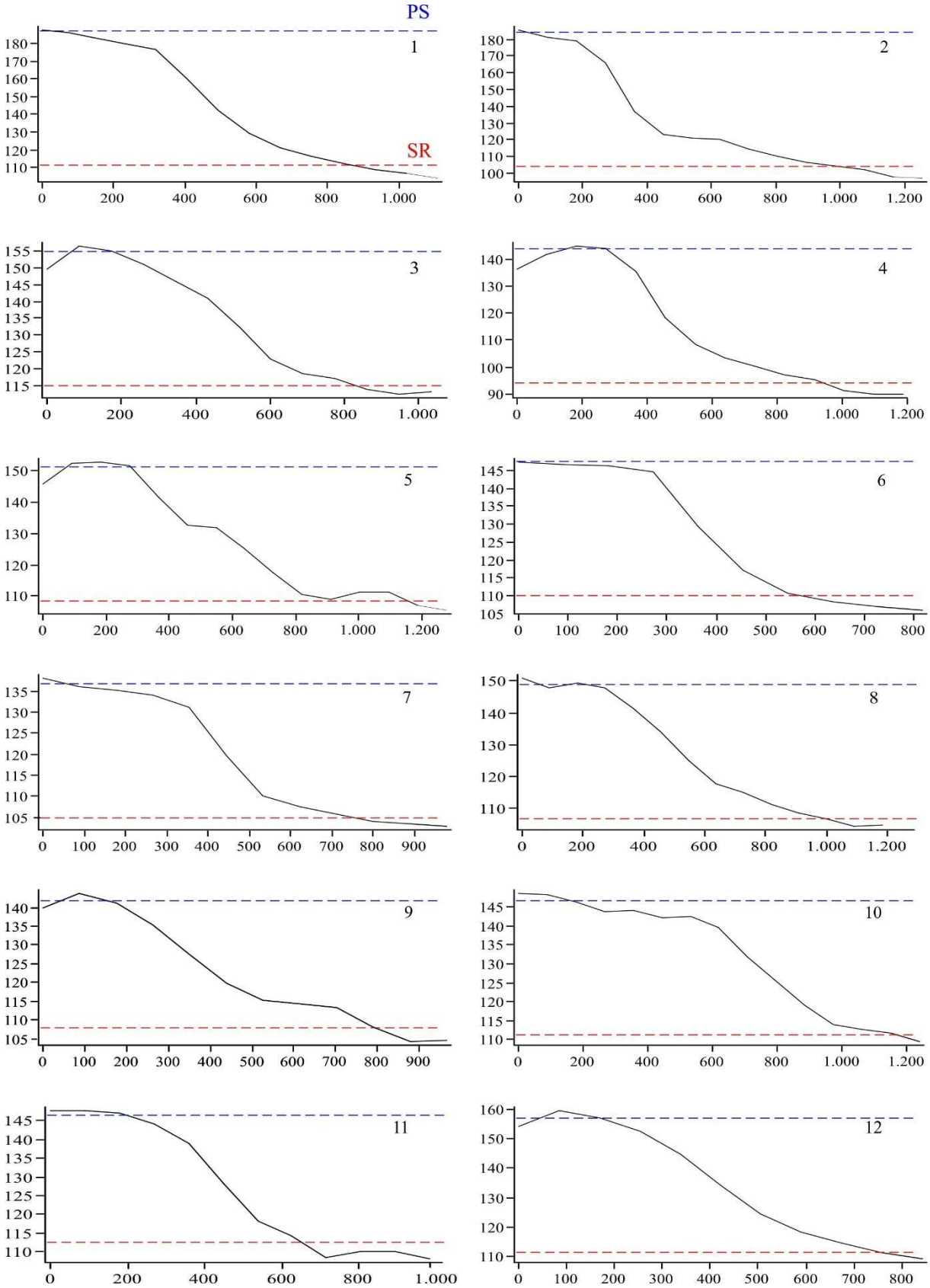
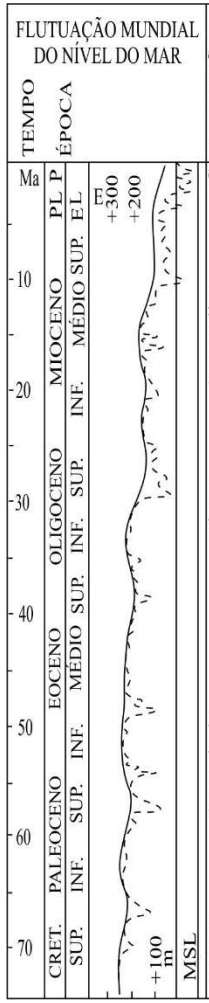


Figura 35 – Perfil altimétrico de diversos platôs, mostrando, de forma geral, a forma côncava da encosta. Em azul, a linha que marca a paleosuperfície (PS) controlada pelas crostas lateríticas em níveis altimétricos acima de 120 m, variando até 200 m; em vermelho a linha que marca a superfície erosional rebaixada (SR) com altitudes variando entre 90 e 120 m (localização dos perfis na Figura 30).

Tabela 3 - Quadro evolutivo segundo as superfícies de aplanamento desde o Cretáceo Superior até o presente. À esquerda a escala do tempo em Ma, Períodos, Épocas, indicação de flutuação do nível do mar, Formações, polens, regressão-transgressão e clima. Adaptado de Bárdossy e Aleva (1990 apud Costa, 2010).



SURINAME	GUIANA	GUIANA FRANCESA	VENEZUELA	BRASIL	RONDÔNIA	
					MELO *et al.* (1978)	DADOS DESTA PESQUISA
NÍVEL WALLEY FLOOR 0 - 40 m Ao longo dos rios, pode ser extenivo	MAZARUNI (Mc Connel, 1968) 75 - 90 m fundo dos vales picíclico? = Ireng - Tukutu of Sinha (1968)	QUARTO PENEPLANO	SUPERFÍCIE ALUVIAL ORINOCO 0-50m	NÍVEL PARAGUAÇÚ -5 - 50m Amapá	NÍVEL APLAINAMENTO DA SUPERFÍCIE REBAIXADA Baixo curso do Rio Machado	NÍVEL APLAINAMENTO DA SUPERFÍCIE REBAIXADA 0 - 120 m NÍVEL APLAINAMENTO PALEOSUPERFÍCIE - LATERITO 120 - 200 m
NÍVEL DE PEDIPLANO - LATERITO 50 - 150m amplamente desenvolvido Kwakoegron 100 m Tibiti falls 60 m	RUPUNNI (Mc Connel, 1968) - LATERITO 100 - 180 (- 250) m superfície de amplo desenvolvimento Savana do norte e central. Mattew Ridge (Mn)	TERCEIRO PENEPLANO - LATERITO 150 - 180 m 200 - 260 m	NÍVEL LOS LLANOS 80 - 150 m savana NÍVEL MÉDIO CARONI - LATERITO 200 - 350 m	NÍVEL VELHAS NOVO - LATERITO 100 m Rio Branco 5 - 70 m Amapá 180 - 200 m bauxita nodular, Trombetas, Pará		
NÍVEL FOOTHILL - LATERITO Montes Lely 390 m Montes Bakhuis 200 m Área Kwakoegron e inselberga 280 m	KAIETEUR - LATERITO (Bleackley, 1964) 215 - 300 m - 400 - 600 m Nível intermediário Pakaraima KUYUNINI (Bérrangé, 1977) 230 - 260 m	SEGUNDO PENEPLANO - BAUXITA 300 - 370 montes Kaw, nível mais constante	NÍVEL INTERMEDIÁRIO 400 - 500 m Los Guaicas? Cerro Bolívar (fe)	NÍVEL VELHAS - VELHO BAUXITA 400 m Rio Branco 180 m Trombetas 5 - 100 m Paradão e Forte Macapá, Amapá	NÍVEL APLAINAMENTO INTERMEDIÁRIO 400 m Serra Moreira Cabral, Rondônia	
NÍVEL PRINCIPAL DE BAUXITA Montes Lely 690 m Montes Nassau 570 m Montes Barkhuis 400 m Moengo 40 - 100 m Onverdacht 0 - 30 m	KOPINANG - BAUXITA (McConnel, 1968) 650 - 750 m Monte Pakaraima nível principal ORONOQUE - LATERITO (Bérrangé, 1977) 275 - 305 m superfície convexa com insilberg (Sinha, 1968)	PRIMEIRO PENEPLANO - BAUXITA 500 - 750 m Montes La Trinité, Lucifer, etc.	NÍVEL NURIA - BAUXITA 600 - 700 m Nuria, Pijiguaos, Los Guaicas? Cerro Bolívar (Fe)	NÍVEL SUL AMERICANO - LATERITO 600 m Rio Branco 350 m Serra do Navio (Mn) 200 m Serras de Tartarugal, Amapá	NÍVEL APLAINAMENTO DO TOPO 700 - 1000 m Serra do Pacaás Novo, Rondônia	
NÍVEL SUMMIT 1000 m Wilhelmina, Emma, van Asch van Wijck, Table Mountain	KANUKU (Sinha, 1968) - LATERITO 950 m Envolta do monte Kanuku e picos ao longo dos divisores		NÍVEL KAMARATA - LATERITO 900 - 1000 m Gran Sabana, Roraima Platôu	NÍVEL GONDWANA		

5.5.2 Modelo de evolução da paisagem

Na área de estudo, de acordo com os dados apresentados, houve importante atuação dos processos de intemperismo e erosão. O resultado do processo de intemperismo é materializado pela ampla exposição do regolito em grande parte representado por perfis lateríticos frequentemente completos. O processo de erosão é nitidamente observado pelo truncamento dos perfis lateríticos e pelo registro de interflúvios majoritariamente constituídos por platôs lateríticos com desníveis altimétricos de dezenas de metros.

Tal como apresentado no capítulo 5.1 as crostas representam a alternância de períodos quentes e úmidos; e quentes secos (semiáridos). Essa asserção é ratificada pela ocorrência de nódulos hematíticos com córtices goethíticos, por exemplo. Apesar da importante e significativa atuação do processo intempérico e ampla ocorrência do regolito, houve na área provável atuação de processos tectônicos materializados pelo registro na rede de drenagem, rios com cachoeiras, falhamentos em crostas lateríticas e até, tal como registrado por Guerra (1953), cachoeiras sobre crostas lateríticas.

No que diz respeito à evolução paleoclimática e instalação da drenagem, Melo *et al.* (1978), afirmam, entre outros aspectos que:

> "[...] Em contrapartida, a presença de crostas ferruginosas nos solos dessas áreas, bem como na parte sul da Folha e ao longo da BR-364, desde Porto Velho até Rondônia (Jí-Paraná), indica um tipo climático a duas estações durante o período de formação desse aplainamento. Assim, o Pediplano Neopleistocênico foi elaborado em condições de semiaridez, o que põe a drenagem atual como um fato posterior ao aplainamento, portanto de idade holocênica."

Dessa forma, as possíveis variações climáticas ocorridas na região contribuíram com a evolução do perfil laterítico, mas, por outro lado, a instabilidade provocada pela neotectônica induziu até os dias atuais a atuação do processo erosivo que tende a aplanar a região e destruir os platôs lateríticos da paleosuperfície (PS).

Adicionalmente, Melo *et al.* (1978), por exemplo, destacam a atuação da tectônica na Superfície Rebaixada e enfatiza que a maioria dos rios da área apresentam trechos encachoeirados (como exemplo, a cachoeira do Rio Preto do Candeias, Figura 36) e vários dos quais não constituem planícies, indicando que a drenagem exerce importante trabalho de aprofundamento do talvegue por meio da erosão linear.

Figura 36 – Cachoeira do Rio Preto do Candeias. A) e B) Vista para leste, ponto DI-019. Fotos: Isabel L.I.E. Herrera.

Os autores complementam afirmando que “é mais provável, portanto, que tenha ocorrido movimento de soerguimento na área. Em função da extensão do fenômeno é possível que esse soerguimento tenha tido caráter generalizado, talvez do tipo epirogenético”.

Entre outras conclusões, Melo *et al.* (1978) afirmam que as cachoeiras e corredeiras são consideradas como níveis de base locais concluindo, portanto, sobre a existência de soerguimento tectônico na área, responsável pelo encaixamento da drenagem. Isto confirma ainda a proposição de Guerra (1953) no que tange à possibilidade de existência de fenômenos de epigenia em caráter abrangente. Os autores avaliaram ainda diversos padrões de drenagem e aspectos relacionados aos depósitos fluviais e afirmaram que “as evidências de uma atuação tectônica relacionada ao período de instalação da drenagem são, portanto, numerosas. Elas indicam soerguimento geral da área e mostram a existência de certo controle estrutural na disposição da drenagem.”

Melo *et al.* (1978) consideram as interferências tectônicas de idade holocênica. Essa asserção é coerente com os registros tectônicos observados nas crostas lateríticas, estas últimas de idade provável mais antiga que o holoceno (provavelmente neógenas). Para os autores, a

instalação da drenagem atual no Holoceno evidencia o advento do clima úmido, que atua até o momento. Assim, a existência de relevos dissecados no Pediplano Neopleistocênico é indicativa de retomada de erosão na área, efetuada por processos de dissecação relacionados ao início de instalação da drenagem. Esse efeito também é registrado nos perfis lateríticos que ocorrem nos interflúvios da área e comumente apresentam horizontes concrecionários/desmantelados.

Em todo caso, a atuação da neotectônica foi provavelmente heterogênea o que provocou o soerguimento diferencial entre as crostas dos compartimentos morfopedogenéticos II e IV. Outro possível motivo pela diferença de cotas entre essas crostas lateríticas é o material presente no compartimento morfopedogenético IV, como por exemplo, a formação ferrífera constituinte do embasamento, diferente do material do compartimento II, fazendo com que o processo erosivo tenha sido diferenciado pela resistência do material (Figura 32).

Dantas e Adamy (2010) afirmam que os perfis lateríticos do estado de Rondônia são demarcados por baixos platôs lateríticos que estão ressaltados por volta de 30 a 80 m acima das superfícies aplainadas devido à erosão diferencial. Segundo os autores, as crostas ferruginosas, muito resistentes à erosão, formam cornijas que sustentam o topo desses baixos platôs. Autores como King (1956), Braun (1970), Mamede (1996), Ambrosi *et al.* (1986), Bui *et al*. (1990) e Zeese (1996) ratificam a importância das crostas lateríticas no modelamento do relevo no momento em que destacam que as superfícies de aplainamento são geralmente capeadas por "couraças lateríticas" e que desempenham importante função na manutenção desta feição geomorfológica (NASCIMENTO, 2011). Já para Castro (2015), o processo de erosão e esculpimento da paisagem são claros na região estudada e cita como evidência, por exemplo, o esculpimento da Chapada dos Parecis (ALMEIDA, 1967) e os falhamentos associados a reativações tectônicas que ocorreram durante o Neógeno e Quaternário (DANTAS e ADAMY, 2010).

Diversos autores (GUERRA, 1952 e 1953; MELO *et al.*, 1978; SOUZA FILHO *et al.,* 1999; SCANDOLARA, 1999; OLIVEIRA e COSTA, 2006; NASCIMENTO, 2009; DANTAS e ADAMY, 2010, entre outros), ratificam as asserções supracitadas e afirmam que o desenvolvimento geomorfológico e pedológico da área foi provavelmente acompanhado e controlado por aspectos tectônicos responsáveis por diversos efeitos registrados, inclusive nas crostas lateríticas.

Por exemplo, Guerra (1952 e 1953) destaca o efeito da neotectônica sobre as crostas lateríticas nas adjacências da cidade de Porto Velho. O autor descreve a existência de uma queda d'água, também registrada durante a fase de campo desta pesquisa, produzida pelo afloramento de um laterito maciço e complementa descrevendo margens abruptas, constituídas de lateritos,

ao longo do igarapé dos Tanques. Em termos geomorfológicos, o autor ressalta a baixa erodibilidade das crostas afirmando que a cidade de Porto Velho permaneceu “alta” por ser uma área coberta por crostas lateríticas. Em termos regionais, a própria existência dos platôs lateríticos em níveis de até 30 metros (localmente até 50 m) acima do atual nível base, assim como o encaixe das drenagens, são fortes indícios da atuação da neotectônica na área de estudo.

Para Costa (1991), os lateritos da Amazônia devem ter sido formados durante o estabelecimento da Superfície de Aplainamento Sul-Americana, e os lateritos imaturos durante o Quaternário (Pleistoceno) por ocasião da superfície de aplainamento Paraguaçu/Mazarini. Essa afirmação condiz com a primeira fase do modelo evolutivo apresentado neste trabalho.

Desse modo, o modelo de evolução da área pode ser em grande parte explicado por meio da combinação dos modelos de etchplanação de Büdel (1982) e de Millot (1983). Houve dessa forma intensa atuação do intemperismo especialmente em períodos de clima quente e úmido, alternância com climas quentes e secos (semiáridos) que permitiram a formação dos perfis lateríticos e das crostas lateríticas combinados com atuação de neotectônica. O resultado atual é dissecação do relevo e formação de interflúvios com perfis lateríticos e a formação, na área de estudo, de duas superfícies de aplanamento (PS e SR). O modelo evolutivo da paisagem proposto por este trabalho (Figura 37) destaca no primeiro momento o embasamento rochoso submetido ao processo intempérico que por sua vez induziu o início da formação do perfil laterítico e posterior atuação da neotectônica.

A Figura 38 mostra a sugestão de inclusão da unidade geomorfológica S110 Superfície tabular com ferricrete *cap rock* como parte da paleosuperfície identificada neste trabalho. É importante destacar que a área de estudo representa um recorte do mapa geomorfológico de Rondônia (2002). Dessa forma, as altitudes da superfície de aplanamento nível III foram ajustadas para a área de estudo (<120 m).

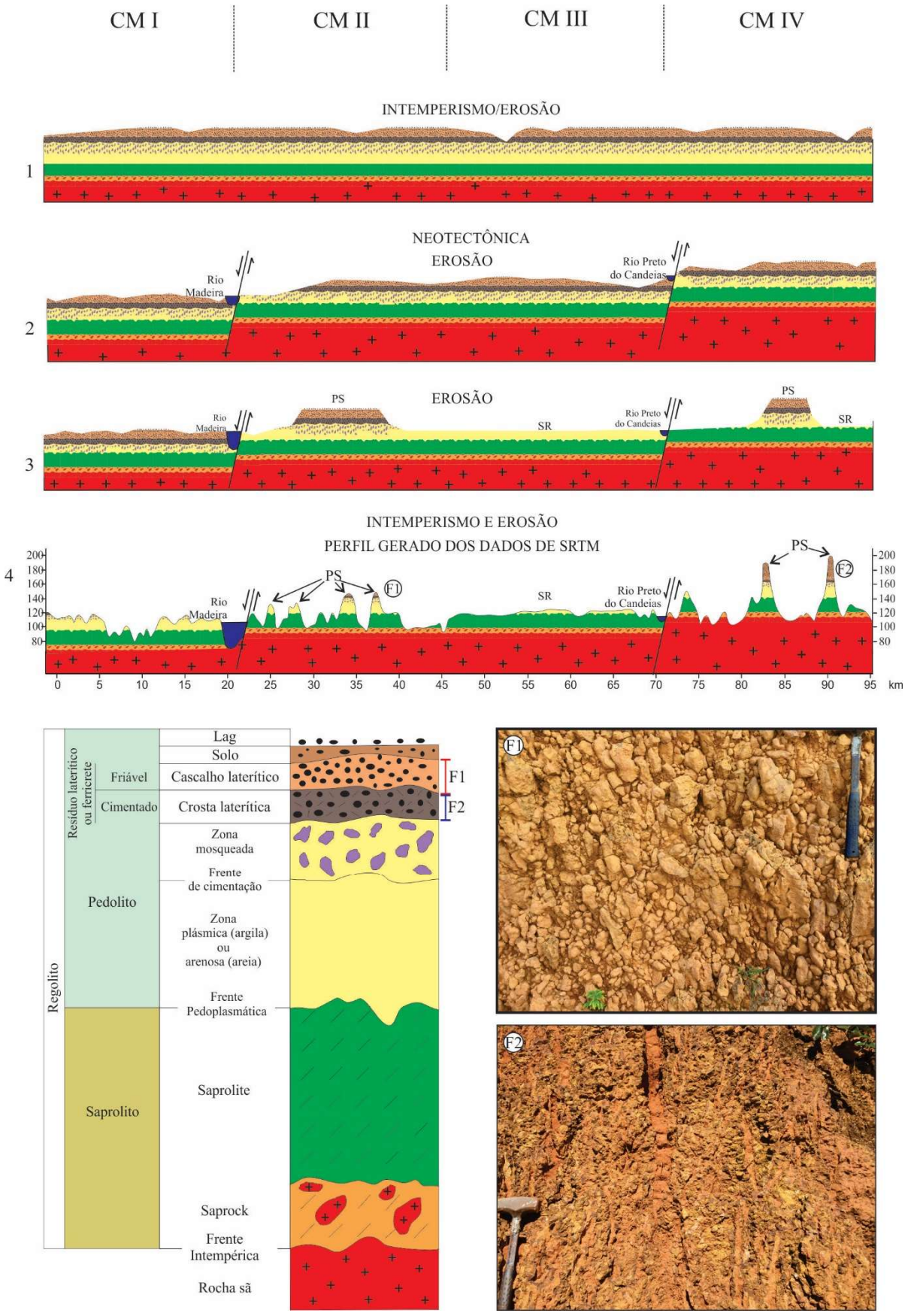


Figura 37 – Modelo evolutivo da paisagem. PS = Paleosuperfície; SR = Superfície rebaixada. Abaixo, modelo genético do perfil laterítico, modificado de Anand (2002). F1 = Foto das crostas lateríticas do compartimento morfopedogenético II, ponto UI-009; F2 = Foto das crostas lateríticas do compartimento morfopedogenético IV, ponto UI-014. Fotos: Isabel I. E. Herrera. CM = Compartimento morfopedogenético.

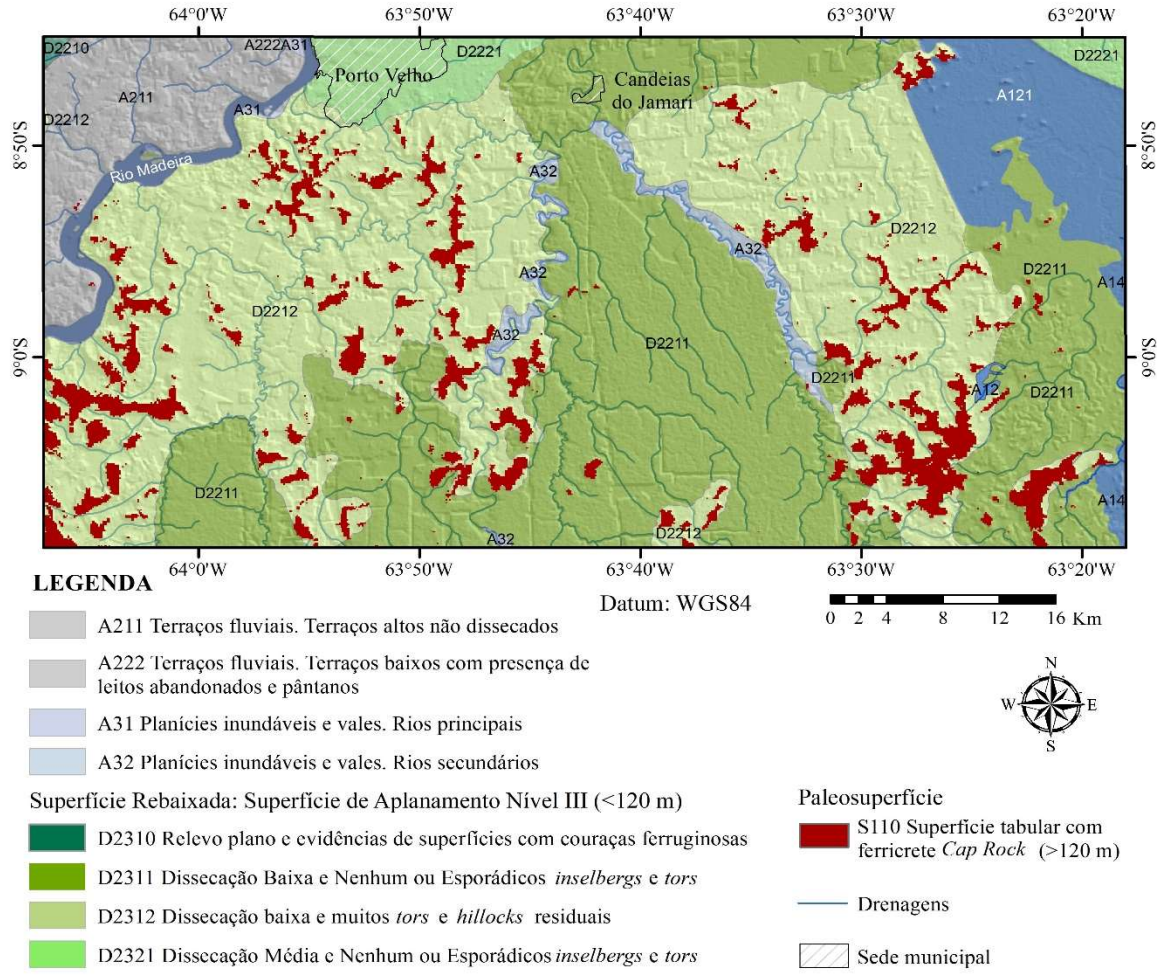


Figura 38 – Sugestão de atualização do mapa geomorfológico incluindo as informações das superfícies geomorfológicas identificadas neste trabalho. Modificado de Rondônia (2002).

5.6 Aspectos preliminares sobre o Uso e Ocupação do Solo

O mapa de uso e ocupação do solo é uma ferramenta que pode ajudar no crescimento econômico da região, pois as informações contidas nele facilitam o entendimento dos recursos naturais expostos e sua distribuição espacial. De acordo com o apresentado no capítulo 1, Milton Santos (2004 e 2006) propõe a avaliação da configuração territorial e as relações sociais. Christofoletti (1980) afirma, neste mesmo sentido que há a necessidade de integrar os resultados do espaço físico com aspectos sócio-econômicos. Assim, o mapa do regolito, além das informações de materiais expostos (formações superficiais) também contém informações sobre a geomorfologia presente que auxilia no planejamento do uso e ocupação do solo assim como no aproveitamento dos recursos naturais.

O mapa de uso e ocupação do solo de Rondônia (2002) apresentado na Figura 39 mostra a sobreposição das áreas de assentamento apresentadas pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2014), assim como as unidades de conservação, além de mostrar áreas de extração mineral (água mineral, argila, ouro, areia e granito, SIGMINE 2019).

O referido mapa também mostra as áreas com sugestões para o uso racional da terra baseado nos resultados deste trabalho (mapa do regolito). Apesar de ter diretrizes apontando para a ocupação das áreas próximas à cidade de Porto Velho, o Plano Diretor do município não considerou áreas para fins de exploração de materiais destinados à construção civil. Assim, fica evidente a necessidade de ter um mapeamento e uma fiscalização contínua e real do uso e ocupação do solo com o fim de ter melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis e uso racional do território sob sua influência.

É importante lembrar que as crostas apresentam baixa fertilidade e, na área de estudo, elas estão expostas nos topos dos platôs. Essas condições podem dificultar as atividades de agricultura ao haver a necessidade de correção do solo (utilização de fertilizantes), que encarece o processo, assim como a dificuldade do manejo da terra (o arado torna-se difícil pelo fato das crostas serem material endurecido). Além das condições do solo, a própria estruturação geomorfológica dificulta a utilização de maquinária em áreas com desníveis topográficos notáveis, como é o caso dos platôs lateríticos da área. Essas áreas seriam então consideradas como terras de aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo A, B ou C, tal como sugerido por Herrera (2016), baseada na classificação de Rondônia (2002).

Dessa forma, devem-se priorizar essas áreas para a extração de cascalho laterítico, útil para a construção civil e atividades pecuárias, e evitar a estruturação de Planos de Assentamento. Nesse sentido, as áreas a serem priorizadas para a estruturação de assentamentos são aquelas onde as condições para a utilização do terreno sejam mais adequadas, por exemplo: 1) as planícies, pois facilitam os deslocamentos de máquinas e equipamentos; 2) áreas onde o solo seja de fácil tratamento, tanto para o arado quanto para a utilização de fertilizantes em menor quantidade, e que permita fácil acesso ao lençol freático, etc. 3) áreas onde a aptidão agrícola definida seja de pelo menos aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo, tal como sugerido por Rondônia (2002).

Por outro lado, de acordo com a Figura 39, as áreas cinzas apresentam as melhores exposições de rochas graníticas e por este motivo foram consideradas com maior potencial para estudos de viabilidade para uso como brita. As áreas em laranja apresentam grandes exposições de cascalho laterítico, frequentemente utilizado como sub-base para pavimentação de estradas, e como material de empréstimo (aterro), e por esse motivo foram consideradas como prioritárias para estudos de viabilidade para seu uso na construção civil. Por fim, as áreas em amarelo claro apresentam exposições (associadas aos principais rios da região) de areias e argilas utilizadas para a confecção de cerâmicas (tijolos, etc.), cimento e concreto, por isso foram consideradas como prioritárias para estudos de viabilidade para uso na construção civil.

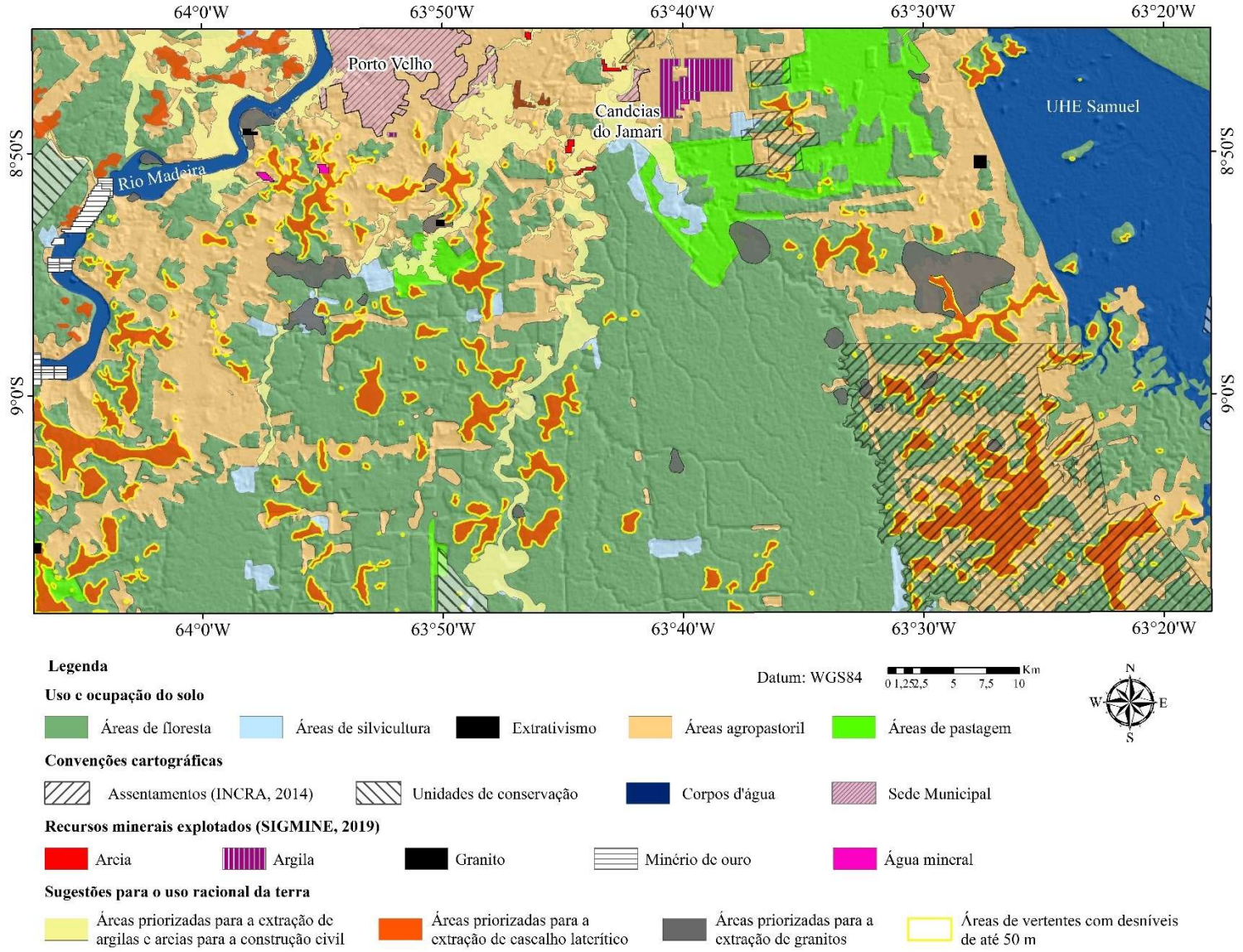


Figura 39 – Mapa de uso e ocupação do solo com priorização de áreas de acordo com o seu uso racional, adaptado de Rondônia (2002).

6. DISCUSSÕES

Os trabalhos de campo e a integração multifonte em ambiente SIG permitiram realizar algumas considerações, sugestões e interpretações sobre o meio físico, geomorfologia e aspectos preliminares de uso e ocupação do solo.

O mapeamento do regolito permitiu a identificação das áreas com crostas lateríticas, solos, sedimentos, etc., a geomorfologia associada e descrição mais detalhada do perfil laterítico da área, entre outros resultados. Nesse sentido, fica evidente a predominância de áreas residuais fortemente relacionadas à formação do perfil laterítico. Esses domínios são representados por platôs (PS) e planícies (SR) com presença de crostas lateríticas (colunar, horizonte desmantelado), latossolos e cambissolos, respectivamente. O domínio deposicional (transportado) é representado, na escala de estudo, pelos sedimentos aluvionares associados à planície de inundação do rio Madeira e rio Candeias. O embasamento inalterado ocorre de forma restrita e é representado majoritariamente por rochas graníticas das suítes intrusivas Santo Antônio e Serra da Providência. Os afloramentos rochosos são, portanto, raros e quando existentes tem no geral dimensões que variam desde poucos metros a poucas dezenas de metros em alguns casos formando *hillocks* e *tors* e em escala de afloramento ocorrem sob a forma de matacões e por vezes em lajedos.

As crostas lateríticas ocupam cerca de 6,5% da área e são responsáveis pela preservação do paleorrelevo com cotas entre 120 e 150 m e entre 150 e 200 m. Em termos paleoclimáticos registram alternância de climas quentes e secos e quentes e úmidos, sendo, portanto, testemunhos dessa alternância climática na região de estudo (HORBE e COSTA, 1997; VALETON, 1972; BARDOSSY e ALEVA, 1990; BEAUVAIS, 1999; ANAND e PAINE, 2002; BITOM *et al*., 2003; ESPINDOLA e DANIEL, 2008; HORBE, 2014; ALBUQUERQUE e HORBE, 2015). Essa asserção é corroborada, entre outros aspectos, pela alternância de delgadas camadas que envolvem os nódulos e pisolitos das crostas lareríticas. Essas camadas são constituídas por hematita, representantes de fases mais secas, e de goethita, representante de fases mais úmidas.

A superfície determinada pelo topo dos morros testemunhos das ocorrências de crostas lateríticas permite afirmar a existência (na margem direita do rio Madeira) de pelo menos uma paleosuperfície localizada entre 30 e 50 m acima da atual. Desse modo o resultado é o registro de pelo menos duas superfícies: a mais antiga (PS) com crostas lateríticas ocorrendo em altitudes acima de 120 m e com desníveis de até 50 m; e a mais jovem (SR), também

considerada a superfície base ou rebaixada, com latossolos vermelhos e/ou amarelos ocorrendo em altitudes abaixo de 120 m.

O mapa do regolito também permitiu a avaliação integrada dos aspectos morfopedogenéticos, das ocorrências de crostas lateríticas e das encostas associadas. As principais vertentes estão relacionadas a estas feições e tem inclinações médias de cerca de 15º especialmente nos compartimentos morfopedogenéticos II e IV. Nos compartimentos I e III as vertentes são inexistentes ou inexpressivas. No geral, as vertentes, são do tipo IV de acordo com Troeh, (1965), ou seja, côncavas divergentes, possivelmente por terem crostas lateríticas no topo (mais resistente à erosão) e encostas (parte intermediária do perfil laterítico) menos resistentes à erosão, resultando assim na sua forma final.

Nota-se regionalmente que as principais encostas da área em termos de desnível entre a convexidade e a concavidade estão relacionadas às ocorrências de crostas lateríticas. Esse é outro aspecto que deve ser levado em consideração, pois como afirmado anteriormente, o crescimento desordenado para sul, implicará em habitações em áreas com desníveis locais importantes (até 30 m), ampliando assim as atuais áreas de risco mapeadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SILVA e MENDONÇA, 2016).

Em termos geomorfológicos, a discrepância nas altitudes das superfícies está provavelmente associada à neotectônica registrada por Guerra (1952, 1953), Melo *et al.* (1978), Souza Filho *et al.* (1999) e Nascimento *et al.* (2012). Neste trabalho os principais indícios observados foram basculamentos de até 45º das crostas colunares, falhas com deslocamentos centimétricos nas crostas e rios com cachoeiras tais como o rio Preto do Candeias, o Igarapé dos Tanques e o próprio rio Madeira.

Outro aspecto importante avaliado foi a presença de confluências em ângulos retos no padrão dendrítico que representam anomalias relacionadas aos aspectos estruturais, tal como proposto por Christofoletti (1980). O autor afirma ainda que a ocorrência do padrão de drenagem paralelo indica a presença de vertentes de declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais paralelos. Esse padrão foi identificado na porção central da área entre os rios Candeias e Preto do Candeias, sugerindo a existência de falhamentos e, portanto, a ação da neotectônica na área. Adicionalmente, é possível afirmar que um importante processo erosivo atua na área até os dias atuais e é responsável pelo esculpimento da paisagem, encaixe das drenagens e formação dos platôs lateríticos nos interflúvios.

Os dados gamaespectrométricos destacam altas razões Th/K e U/K nos topos dos platôs (Figura 30) ratificando a presença das crostas lateríticas, enquanto os domínios de concavidade das vertentes tendem a ter razões mais baixas. Nesse sentido, os padrões de resposta observados

contribuíram para a análise, estudo e cartografia na medida em que discrimina os seus materiais constituintes (crostas lateríticas, solos, etc.). Em outras palavras a PS, apresenta IL (Índice Laterítico) com maiores valores (altos valores de Th e U e baixos de K) do que a SR.

Nesse sentido, os dados aerogeofísicos apresentados, em especial o índice laterítico e o mapa de fontes de crostas lateríticas (Figura 24 e Figura 25), permitiram identificar com maior precisão as áreas de ocorrências de crostas lateríticas (perfis lateríticos completos) e indicar relativamente os níveis de intemperismo da área e sugerir os tipos de rocha fonte das crostas. Os resultados advindos das prováveis fontes das crostas lateríticas (dados aerogeofísicos) quando comparados com os dados geoquímicos são coerentes e convergentes. Os resultados aerogeofísicos (aeromagnetometria, crostas lateríticas sobrepostas a materiais menos magnéticos – com tendências ácidas) e padrão de comportamento dos ETR (geoquímica, enriquecimento dos ETR leves em relação aos pesados) indicam rochas fonte com tendências ácidas (granitoides). As áreas mapeadas como de alto potencial para a ocorrência de crostas lateríticas (altas razões Th/K e U/K), sobrepostas aos dados magnetométricos (ASA) indicaram que elas têm fontes derivadas de rochas com alta e baixa intensidade magnética, com prevalência desta última, indicando fontes com tendências félsicas. Os dados geológicos, associados às interpretações aerogeofísicas indicam que as crostas têm como rocha fonte, em grande parte, os granitos das suítes intrusivas Santo Antônio e Serra da Providência. Esses resultados implicam na restrição da probabilidade de ocorrência de alguns bens minerais e direcionamento para outros.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é que as áreas com crostas lateríticas apresentam descontinuidades laterais formando assim corpos com dimensões limitadas (platôs isolados) (Figura 30C) e invariavelmente encostas côncavas. Esses corpos como afirmado anteriormente tem diferença de nível de até 50 metros o que implica em afirmar que o lençol freático, caso exista, é restrito lateralmente (baixa continuidade lateral). Essa asserção é particularmente verdadeira até as cotas do nível base atual ou rebaixado (SR).

Os diversos aspectos neotectônicos discutidos (pequenos soerguimentos responsáveis pela existência de escarpamentos e degraus nas superfícies aplainadas, presença de diversas cachoeiras na região como evidência de pequenos soerguimentos, segundo Melo *et al.,* 1978 e Guerra, 1952 e 1953), a própria existência das crostas lateríticas (indicadoras de forte intemperismo na região e alternância de climas úmidos quentes e secos), a presença delas em altitudes com diferenças de até 50 m em relação ao nível base (inversão do relevo), e o clima presente na área (similar à afirmação de Vitte, 2005) sugere a composição da teoria de

aplainamento por mudanças climáticas de Millot (1983) com a teoria de etchplanação proposto por Büdel (1982) para a área de estudo.

A alternância de climas úmidos e secos propicia a formação das crostas lateríticas, que coincide com a proposta de Millot (1983), no qual há um clima úmido prolongado alterando o material em superfície preparando-o para a seguinte fase, seguido de clima árido e seco onde os processos erosivos são mais intensos. Por outro lado, na teoria de etchplanação de Büdel, onde as condições climáticas tropicais em conjunto com movimentos tectônicos pequenos propiciam o aplainamento de superfícies. Nesta última teoria apresentam-se duas superfícies principais: uma superfície exumada de lavagem, onde ocorrem os processos de mecânicos de escoamento pluvial (equivalente à PS neste trabalho), e uma superfície basal de intemperismo (equivalente à SR na presente pesquisa) extremamente irregular onde a rocha é lixiviada e predomina a denudação química. É importante destacar que Büdel afirma que os materiais mais resistentes, tais como as crostas lateríticas, tendem a gerar relevos residuais.

O mapa do regolito também permitiu avaliar as áreas potenciais para a ocorrência de argila, areia, cascalho e brita. Nos dois primeiros casos as margens dos principais rios da área (rio Madeira, Candeias, Preto do Candeias e das Garças) são potencialmente as mais promissoras para estes recursos minerais. Deve haver, portanto, atenção redobrada quanto a esses insumos já que estas áreas são extremamente sensíveis e protegidas por lei. As áreas de extração de brita estão vinculadas aos afloramentos rochosos, alguns localizados a sul de Porto Velho. Caso a cidade mantenha a tendência de crescimento para sul os setores alternativos mais promissores são aqueles localizados na porção centro-sudeste onde há maiores exposições do embasamento, tal como evidenciado no mapa do regolito (Figura 26). Isso poderá garantir vida útil maior e provavelmente impactará menos no desenvolvimento e planejamento das cidades de Porto Velho e Candeias do Jamari.

O uso da argila aplicada à indústria cimenteira (argila pozolânica) tem grande potencial na área. Este tipo de material tem sílica reativa e pode ser encontrado, por exemplo, nos horizontes intermediários do perfil laterítico, tal como as argilas cauliníticas encontradas no pedolito, mais especificamente, na zona pedoplasmática. Nesse sentido mapas mais detalhados do regolito podem contribuir ainda mais com a delimitação de eventuais jazidas. Vale destacar que na porção norte da área já há uma mina onde é extraída argila com essa finalidade mostrando assim o potencial para esse bem mineral.

As crostas lateríticas na área de estudo são expressivas e apresentam grande potencial para a exploração de insumos para a construção civil. Della Justina (1994) afirma que há dezenas de frentes de lavra nas cercanias de Porto Velho com essa finalidade. Atualmente é

notável que o crescimento da cidade de Porto Velho tem tendência para sul, e nessa região há importantes ocorrências de crostas lateríticas. Na área como um todo elas ocupam aproximadamente 361 km^2, além de terem espessura média aflorante de 2,5 m (cálculo conservador e incluindo o horizonte concrecionário). Esses resultados permitem estimar um volume aproximado de 1,35 x 10^8 m^3 de reservas de cascalho laterítico para a área de estudo. Nesse aspecto, há necessidade de considerar áreas prioritárias para moradia e outras para extração do bem mineral tão importante para o desenvolvimento da cidade de forma a ponderar o melhor custo benefício, em outras palavras o melhor uso do solo.

Os teores de diversas minas no Brasil apontam valores médios de extração de 47% para o Al_2O_3 e de cerca de 9% para o P_2O_5 (KULAIF, 2009; BRASIL, 2018). Os dados geoquímicos das crostas mostram que não há valores significativos de Al_2O_3 (variam de 11,34 a 19,34%, tendo apenas um valor anômalo de 24,85%) (Apêndice 3), P_2O_5, ou qualquer outro elemento químico que justificasse sua extração, além daquela para construção civil. Os dados apresentados comprovam que não há crostas aluminosas ou fosfáticas na área de estudo, o que mostra que o perfil laterítico, de acordo com Costa (1991), é imaturo ao contrário de outras ocorrências na Amazônia que apresentam perfis maturos (com horizonte aluminoso).

Em todo caso, os valores de Al_2O_3 são maiores do que os observados no sul do estado de Rondônia por Iza (2017). Essas asserções também têm implicações importantes na agricultura, pois áreas com ocorrência de crostas lateríticas além de dificultar a aragem do solo exigem o uso amplo de corretivos, ambas as situações indesejáveis na agricultura, especialmente em assentamentos rurais (agricultura familiar). De acordo com Marques *et al.* (2014), os plintossolos tem potencial entre médio e baixo para agricultura e apresenta baixa fertilidade natural, drenagem imperfeita a má, pedregosidade e camadas de impedimento; e baixa disponibilidade de água quando concrecionário. Outros autores ratificam essa asserção (MCNEIL, 1972; NOGUEIRA, 1985; COSTA, 2007; CHANDRASEKARAN *et al.*, 2010). Ocasionalmente as crostas são utilizadas como substrato para culturas agrícolas de ciclo curto e pastagem; e mais amplamente na pecuária extensiva e preservação ambiental.

Notadamente na área de estudo há pelo menos um caso de assentamento (assentamento Vale do Jamari) parcialmente posicionado sobre extensa área de ocorrência de crosta laterítica (porção sudeste da área). Esse caso é considerado indesejável já que esses assentamentos têm como um dos objetivos o incentivo à agricultura. Situação similar é encontrada no assentamento Joana D'Arc localizado na margem esquerda do rio Madeira, fora da área de estudo (adjacente a porção oeste).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração multifonte em ambiente SIG, e o mapeamento do regolito permitiram avaliações dos aspectos geomorfológicos, de recursos minerais, e sua relação com o uso da terra. Os principais avanços desta pesquisa foram:

1) Descrição dos perfis lateríticos e dos aspectos macroscópicos das crostas lateríticas com base em dados de campo e geoquímica, assim como os aspectos morfopedogenéticos e altimétricos associados;
2) Elaboração do mapa previsional do índice laterítico e definição das prováveis rochas fonte das crostas lateríticas a partir de dados de aerogeofísica;
3) Cartografia inédita do regolito laterítico na porção norte do estado de Rondônia (extremo sul da Amazônia Brasileira);
4) Identificação de duas superfícies geomorfológicas, sendo a mais antiga determinada pelo topo dos platôs lateríticos (PS), esta última ainda não registrada na literatura, e a mais jovem pelo nível base atual rebaixado (SR); e
5) Atualização do mapa de solos e considerações preliminares sobre o uso e ocupação do solo na área de estudo;

É importante destacar que os mapas já existentes, como o geológico, geomorfológico e de solos representam apenas parte do conjunto de fatores presentes na superfície. Assim, o mapa geológico fornece apenas informações sobre o material geológico, fazendo interpretações generalizadas pela integração de observações em campo. Por sua vez, o mapa geomorfológico fornece informações sobre as formas de relevo sem mencionar, na maioria das vezes, o material presente. Similarmente o mapa de solos fornece informações sobre materiais de solo em superfície sem fazer referência, por exemplo, a afloramentos rochosos. Dessa forma, o mapa do regolito, ao integrar esses dados, forneceu uma visão mais fiel e integrada da paisagem (superfície), incluindo informações mais detalhadas sobre materiais (independente da origem) e formas de relevo associadas.

Estudos futuros mais detalhados sobre a correlação das crostas lateríticas com a neotectônica (estudos de estrutural) devem ser realizados, pois elas são testemunhos importantes do paleoclima e representam antigas superfícies de aplainamento. Nesse sentido, estudos geocronológicos em crostas lateríticas utilizando o método U-Th/He podem ajudar a

definir a idade de formação, o que contribuirá na avaliação da história intempérica da área, assim como dos aspectos da neotectônica e de forma mais ampla a evolução da paisagem.

No norte de Rondônia há grande ocorrência de granitos que naturalmente apresentam maiores valores de Th e U, elementos radioativos que tem grande impacto na saúde humana. A ocorrência de crostas lateríticas derivadas dessas rochas contribui para concentrar ainda mais esses elementos. Desse modo, a afirmação de que as crostas têm em grande parte origem félsica abre naturalmente caminho para estudos futuros, por exemplo, relacionados a avalição da água subterrânea, os teores desses elementos e o impacto a saúde humana local, tais como, os índices de câncer e outras doenças.

Por outro lado, é importante destacar que a alta correlação entre as crostas identificadas por Herrera *et al.* (2017) e o IL faz deste produto uma ferramenta útil para a identificação de áreas com alta probabilidade de ocorrência de crostas lateríticas ou de produtos de alto grau de alteração, ferramentas consideradas importantes na elaboração do mapa do regolito.

A realização de ensaios mecânicos em crostas lateríticas, assim como estudos de resistência e desempenho na compactação, podem ser extremamente úteis no aproveitamento dos recursos disponíveis na região.

Por fim sugere-se o uso de imagens de satélites em trabalhos futuros com o intuito de ter mais uma ferramenta para a identificação de diferentes materiais, como por exemplo, materiais ferrosos com a finalidade de ratificar e/ou refinar alguns dos resultados obtidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABREU, A.A. A teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo: Instituto Geológico, Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais, v. 4, n. 1/2, p. 5-53, 1983.

ACKERMAN, B.R. **Regolith geochemical exploration in the Girilambone District of New South Wales**. Tese de doutorado, School of Earth and Environmental Sciences, University of Wollongong, 2005.

ADAMY, A. **Geodiversidade do estado do Acre.** Levantamento da Geodiversidade. Porto Velho: CPRM. 324 p. Programa Geologia do Brasil-PGB. 2015.

ALBUQUERQUE, M.F.S. **O Contexto Laterítico do Sudeste do Estado do Amazonas:** Uma Abordagem Mineralógica, Geoquímica, Aerogeofísica e Geocronológica, Brasília. 2018. Tese (Programa de Pós-graduação em Geologia) – Universidade de Brasília.

ALBUQUERQUE, M.F.S.; HORBE, A.M.C. Mineralogia, geoquímica e evolução da lateritização em Apuí, sudeste do Amazonas. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, p. 569-590, 2015.

ALEVA, G.J.J. Essential difference between the bauxite deposits along the southern and northern edges of the Guiana shield South America. **Economic Geology** 76, 1142 – 1152, 1981.

ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro: **BOLETIM DNPM/DGM**, 36, 1967.

AMBROSI, J. P.; NAHON, D.; HERBILLON, A. J. The epigenetic replacement of kaolinite by hematite in laterite -- petrographic evidence and the mechanisms involved. **Geoderma**, v37, 283-294, 1986.

ANAND, R. R.; BUTT, C.R.M. The terminology and classification of the deeply weathered regolith. CSIRO Australia, Division of Exploration Geoscience, Perth. **Discussion paper**, 1988.

ANAND, R.R.; SMITH, R.E.; INNES, J.; CHURCHWARD, H.M. Exploration geochemistry about the Mt Gibson gold deposits, Western Australia. **Restricted Report 20R**, CSIRO Australia, Division of Exploration Geoscience, Perth, 1989.

ANAND, R.R; PAINE, M. Regolith geology of the Yilgarn Craton, Western Australia: implications for exploration. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 49, 3-62, 2002.

ARAÚJO, H.M.: Resenha CASSETI, Valter. Ambiente e Apropriação do Relevo. **Revista GeoNordeste**, [S.l.], n. 1, p. 115-116, dez. 2018. ISSN 2318-2695. Disponível em: <https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/10589>.

ARAÚJO, M.P.; BENEVENUTO, F.S.; BEZERRA, E.C. – Uso Potencial da Terra da folha SC.20-Porto Velho. In: BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC.20-Porto Velho. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral (Levantamento de Recursos Naturais, 16), 1978.

ARHIN, E.; JENKIN, G.R.T.; CUNNINGHAM, D.; NUDE, P. Regolith Mapping deeply weathered terrain in Savannah regions of the Birimian Lawra Greenstone Belt, Ghana. **Journal of Geochemical Exploration**, 159, 194-207, 2015.

ASGHAR CALAGARI A., KANGARANI FARAHANI, F., ABEDINI, A. Geochemical characteristics of a laterite: the Jurassic Zan Deposit, Iran. **Acta Geodynamica et Geomaterialia**, 12, (177), 67–77, 2015. doi: 10.13168/AGG.2015.0001

ÁVILA, F. F.; CARVALHO, V. L. M. Morfogênese, Pedogênese e Etchplanação: Análise Integrada dos Aspectos Geoquímicos, Mineralógicos e Micromorfológicos dos Solos de uma Topossequência na Depressão de Gouveia - Serra do Espinhaço - Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, (Abr-Jun) p.223-233, 2012.

BANDEIRA, I.C.N.; BARROS, J.S.; FILHO, J.M.O.; TEIXEIRA, S.G.; SIMÕES, P.M.L. **Mapa de geodiversidade da Ilha de São Luis, MA.** CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 2018. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Produtos-para-Download---Levantamento-da-Geodiversidade-5411.html> Acesso em 15 Ago 2019.

BARDOSSY, G.; ALEVA, G. J. J. The Amazon Basin: a discussion review. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ICSOBA, 6, Poços de Caldas. **Travaux ICSOBA**. Poços de Caldas: L'Académic Yugoslave des Sciences et des Arts, v. 19, p. 445-458, 1989.

BARDOSSY, G. E ALEVA, G., J., J. Lateritic bauxites. **Developments in Economic Geology**, Elsevier, Amsterdam, 27, 1990. 624 p.

BEAUVIS, A. Geochemical balance of lateritization processes and climatic signatures in weathering profiles overlain by ferricrete in Central Africa. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 63(23/24): 3939-3957, 1999.

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Révue Geographique des Pyrenées et du Sud-Ouest, Toulouse**, França: Universite de Toulouse, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.

BETTENCOURT, J.S; TOSDAL, R.M.; LEITE J.R., W.B.; PAYOLLA, B.L. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian Craton, Brazil-I. Reconnaissance U-PB geochronology and regional implications. **Precambrian Research**, v.95, p.41- 67, 1999.

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.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BIRKELAND, P.W. Soil-geomorphic research—a selective overview. In: Kneupfer, P.L.K., McFadden, L.D. (Eds.), **Soils and Landscape Evolution**. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands, Geomorphology, vol. 3, pp. 207 – 224, 1990.

BITOM, D.; VOLKOFF, B.; ABOSSOLO-ANGUE, M. Evolution and alteration in situ of a massive iron duricrust in Central Africa. Journal of African Earth Sciences, 37:89-101, 2003.

BOISSIEU, F.; SEVIN, B.; CUDAHY, T.; MANGEAS, M.; CHEVREL, S.; ONG, C.; RODGER, A.; MAURIZOT, P.; LAUKAMP, C.; LAU, I.; TOURAIVANE, T.; CLUZEL, D.; DESPINOY, M. Regolith-geology mapping with support vector machine: A case study over weathered Ni-bearing peridotites, New Caledonia. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 64, p. 377-385, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.05.012

BOULANGÉ, B.; CARVALHO, A. The bauxite of Porto Trombetas. In. CARVALHO A.; BOULANGÉ B.; MELFI A.J.; LUCAS Y. (eds). **Brazilian Bauxites**, São Paulo, USP/FAPESP/ORSTOM, p. 55-73. 1997.

BOYLE, R.W. **Geochemical prospecting for thorium and uranium deposits**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982.

BRANDÃO, F.J.V. **Mapeamento de regolito e exploração geoguímica de cobre na região de Mara Rosa, Goiás.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, FUJB.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro**: Principais Substâncias Metálicas / Coord. Geral Wagner Fernandes Pinheiro, Osvaldo Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa – Brasília: DNPM, 2018. 33 p.: il. Ano Base 2016

BRAUN, O.P.G. Contribuição à geomorfologia do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v.3 (32): 3-39, 1970.

BÜDEL, J. **Climatic geomorphology**. Princeton: Princeton University Press, 1982.

BUI, E.N.; DIXON, J.B.; SHADFAN, H.; WILDING, L.P. Geomorphic features and associated iron oxides of the Dallol Bosso of Niger (West Africa). **Catena**, v.17, n.1, p. 41-54, 1990.

BUTLER, B.E. Periodic phenomena in landscapes as a basis for soil studies. **Soil Publications C.S.I.R.O. Aust**., 14, 1959.

BUTLER, B. E.; HUTTON, J. L. Parna in the Riverine Plain of south-eastern Australia and the soils thereon. **Australian Journal of Agricultural Research**, 7: 536-53, 1956.

BUTT, C.R.M; ZEEGERS, H. Climate, geomorphological environment and Geochemical Dispersion Models. In: BUTT, C.R.M.; ZEEGERS, H. (ed) **Regolith Exploration in Tropical and Subtropical Terrains.** Amsterdam: Elsevier, 1992.

CARRINO, T. A.; SILVA, A.M.; BOTELHO, N.F.; SILVA, A.A.C. Detecção de ocorrências de coberturas supergênicas a partir de imagens altimétricas e gamaespectrométricas: os alvos do extremo leste do Amazonas **Anais** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, p. 3197-3204, 2009.

CARRINO, T. A.; SILVA, A.M.; BOTELHO, N.F.; SILVA, A.A.C. Discriminação de áreas de espesso regolito do leste do Estado do Amazonas usando estatística multivariada, algoritmo hiperespectral e modelagem de dados espaciais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 1, p. 155-172, 2011.

CASSETI, Valter. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASTRO, R.T. **A Lateritização na Amazônia Ocidental:** Sul de Roraima e Norte e Noroeste de Rondônia, Manaus. 2015. Dissertação (Pós-graduação em Geociências) – Universidade Federal do Amazonas.

CASTRO, C.M.; SILVA, T.M. Apropriação do relevo e paisagens tecnogênicas: discussões acerca do ensino da geomorfologia com base em exemplos cariocas e fluminenses. **Terrae Didática**, 10-2:81-90, 2014. DOI: https://doi.org/10.20396/td.v10i2.8637367

CHAN, R.A, CRAIG, M.A, D'ADDARIO, G.W.; GIBSON, D.L.; OLLIER, C.D.; TAYLOR, G. **The Regolith Terrain Map of Australia 1:5 000 000**. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics: Canberra, 1986.

CHAN, R.A.; CRAIG, M.A.; HAZELL, M.S.; OLLIER, C.D. Kalgoorlie Regolith Terrain Map and Commentary, Sheet SH51, Western Australia, 1:1.000.000 Regolith Series, **Australian Geological Survey Organisation Record,** 1992.

CHANDRASEKARAN, B.; ANNADURAI, K.; SOMASUNDARAM, E. **A textbook of Agronomy**. New Delhi: New Age International (P) Limited, Publishers, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHURCHWARD, H.M. **Landforms, regoliths and soils of the Sandstone-Mt Keith area, Western Australia**: CSIRO Division of Land Resources Management, Land Resources Management Series No. 2, 22p., 1977.

CLARKE, J. The occurrence and significance of biogenic opal in the regolith. **Earth Science Reviews** 60:175–194, 2003.

CLAVAL, P. A revolução pós funcionalista e as concepções atuais da geografia. In: Mendonça, F.; Kozel, S. **Elementos de Epistemologia da Geografia Contemporânea.** Curitiba: Ed. UFPR, 2009.

CLAVAL, P. **Epistemologia da Geografia**. Florianópolis: Editora UFSC, 2011.

COLIN, F.; BEAUVAIS, A.; AMBROSI, J.P.; NAHON, D. **Les latérites en environnement topical, source de métaux d'intérêt économique**. Actes des Assises de la Recherche Française dans le Pacifique – Nouméa, 2004.

CORNELIUS, M., ROBERTSON, I.D.M., CORNELIUS, A.J., MORRIS, P.A. **Laterite geochemical database for the Western Yilgarn Craton**, Western Australia. Perth: Department of Industry and Resources, 2007.

COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, 21, 146-160, 1991.

COSTA, ML. Lateritization as a major process of ore deposit formation in the Amazon region. **Exploration and Mining Geology**, 6, 79-104. 1997.

COSTA, M. L. da. Introdução ao intemperismo laterítico e à laterização. In: LICHT, O. A. B.; MELLO, C. S. B. de; SILVA, C. R. da (Eds.). **Prospecção geoquímica**: depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás. Rio de Janeiro: SBGq;CPRM, 2007. p. 199-244.

COSTA, M.L. Introdução ao intemperismo laterítico e à laterização. **Anais.** Simexmin, 2010.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Rondônia Central**: relatório final de levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Engenharia e Prospecções; Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas, 27 v. 1, 2010.

CRAIG, M. A. Regolith mapping for geochemical exploration in the Yilgarn Craton, Western AustraliA. **Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis**, Vol. 1, pp. 383–390, 2001.

DANTAS, M.E.; ADAMY, A. Compartimentação Geomorfológica. In: Adamy, A. (Org). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho. CPRM, p. 37-54, 2010.

DAUTH, C. Airborne magnetic, radiometric and satellite imagery for regolith mapping in the Yilgran Craton of Western Australia. **Exploration Geophysics**, 28: 199-203, 1997. DOI: 10.1071/EG997199.

DAVIS, W. M. The geographical cicle. **The Geographical Journal**, London: Royal Geographical Society, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899. Disponível em: <http://www.ugb. org.br/home/artigos/classicos/Davis_1899.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

DELLA JUSTINA, E.E. **Retrato Social da Exploração de Recursos Minerais no Município de Porto Velho-Rondônia**: O caso dos lateritos.1994. Monografia (Especialização em Geografia) – Amazônia, questão Regional e Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 1994.

DENNEN, W.D.; NORTON, H.A. Geology and geochemistry of bauxite deposits in the lower Amazon basin. **Econ. Geol**., 72:82-89, 1977.

DIAS FERREIRA, R.P. **Solos e Morfogênese em São Pedro, SP**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

DOLLFUS, O. **O espaço geográfico** 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

DURY, G.H. Rational descriptive classification of duricrust. **Earth Science Journal**, 3, 77-86, 1969.

EGGLETON, R.A. **The Regolith Glossary**, CRC LEME Perth, 2001.

ESPINDOLA, C., R.; DANIEL, L. A. Lateritas e solos lateríticos no Brasil. **Boletim Técnico da FATEC**-SP-BT/ 24 – pág. 21 a 24, 2008.

FLEET, A.J. Aqueous and sedimentary geochemistry of the rare earth elements. In: Henderson, P. (Ed) **Rare Earth Elements Geomchemistry.** Elsevier Science Pubs., Amsterdam, p. 343-373, 1984.

GIORGIS, I., BONETTO, S., GIUSTETTO, R., LAWANE, A., PANTET, A., ROSSETTI, P., THOMASSIN, J., VINAI, R. The lateritic profile of Balkouin, Burkina Faso: Geochemistry, mineralogy and genesis. **Journal of African Earth Sciences**, 90, 31–48, 2014. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2013.11.006.

GOZZARD, J.R. Part 2: Predictive regolith-landform mapping in SEG 2004 Workshop 1, How to look at, in and through the regolith for efficient predictive mineral discoveries, **Workshop notes**: Perth, Western Australia, SEG 2004, 163p.

GREGORY A. F.; HORWOOD J. L. **A laboratory study of gamma-ray spectra at the surface of rocks**. Ottawa: Department of Energy, Mines and Resources, (Mines Branch Research Report, 85). 1961.

GSWA - GEOLOGICAL SURVEY OF WESTERN AUSTRALIA. **A revised classification system for regolith in Western Australia**, and the recommended approach to regolith mapping: Geological Survey of Western Australia, Record 2013, 26p.

GUERRA A.T. Formação de lateritos sob a floresta equatorial amazônica (Território Federal do Guaporé). **Revista Brasileira de Geografia**, 4, 33-52, 1952.

GUERRA, A.T. Observações geográficas sobre o Território do Guaporé. **Revista Brasileira de Geografia**, 2, 183-302, 1953.

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

HARRISON, J. B. The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions: Harpenden, England, **Imperial Bureau of Soil Science**, Rothamsted Experimental Station, 1934.

HERRERA, I.L.I.E. **Utilização de Dados Altimétricos, Geomorfológicos eGamaespectrométricos para a Identificação de Crostas Lateríticas em uma área da Porção Norte do Estado de Rondônia**. 2016. Dissertação (Pós-graduação em Geografia) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho.

HERRERA, I.L.I.E; FILHO, E.P.S.; IZA, E.R.H.F.; HORBE, A.M.C. Cartografia Geológica e Geomorfológica de Crostas Lateríticas na porção Norte do Estado de Rondônia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, no.1, p. 177-190, 2016a. (doi: 10.20502/rbg.v17i1.880).

HERRERA, I.L.I.E.; FILHO, E.P.S.; IZA, E.R.H.F.; HORBE, A.M.C. Utilização de dados gamaespectrométricos no apoio à cartografia geomorfológica. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 11, Maringá. **Anais**, 2016b. UGB: União de Geomorfologia Brasileira.

HERRERA, I.L.I.E.; IZA, E.R.H.F.; FILHO, E.P.S.; HORBE, A.M.C.; SANTOS, S.L.M.; CABRAL, L.N. Técnica Booleana Aplicada à Identificação De Crostas Lateríticas no Sudoeste da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.18, no.2, p.411-425, 2017 (doi: 10.20502/rbg.v18i2.1182)

HILL, I.G., WORDEN, R.H., MEIGHAN, I.G. Geochemical evolution of a palaeolaterite: the Interbasaltic Formation, Northern Ireland. **Chemical Geology**, 166(1-2): 65-84, 2000. doi: 10.1016/S0009-2541(99)00179-5.

HORBE A.M.C.; COSTA M.L. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas silicoferruginosas. **Acta Amazônica**, 27(4):241-256. 1997.

HORBE A.M.C.; COSTA M.L. Relações genéticas entre Latossolos e crostas lateríticas aluminosas e aluminoferruginosas na região de Paragominas - Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, 29(4):477- 504. 1999.

HORBE A.M.C.; COSTA, M.L. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia, **Geoderma**, 126: 225-239. 2005.

HORBE A.M.C. Idades paleomagnéticas de crostas lateríticas da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Ciências Naturais, 9:93-104, 2014.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009.

IBGE. **Mapas interativos**. 2013. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_interativos/> Acessado em: 20 de junho de 2015.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Mapa de localização de assentamentos.** 2014. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/servicos/licitacoes-editais-e-pregoes/anteriores/file/922-mapa-localizacao-de-assentamentos>

ISLES, D.; RANKIN, L. **Geological Interpretation and exploration targeting from aeromagnetic data**. Workshop, Brasília:ADIMB, 2000.

IZA, E.R.H.F.; HORBE, A.M.C.; SILVA, A.M. Boolean and fuzzy methods for identifying lateritic regoliths in the Brazilian Amazon using gamma-ray spectrometric and topographic data. **Geoderma**, 269, 27-38, 2016a. Doi: 10.1016/j.geoderma.2016.01.037

IZA, E.R.H.F.; HORBE, A.M.C.; HERRERA, I.L.I.E. Use of gamma spectrometric and altimetric data to map lateritic crusts on the Western portion of the Brazilian Amazon. **Anais do VII SImpósio Brasileiro de Exploração Mineral –** Simexmin. Ouro Preto, Minas Gerais – Brasil, 2016b.

IZA, E.R.H.F. **Coberturas lateríticas do SW do cráton amazônico**: aspectos geofísicos e geoquímicos, Brasília, 2017. Tese (Programa de Pós-graduação em Geologia) – Universidade de Brasília.

IZA, E.R.H.F.; HORBE, A.M.C.; CASTRO, C.C.; HERRERA, I.L.I.E. Integration of Geochemical e Geophysical Data to Characterize and Map Lateritic Regolith: An Example in the Brazilian Amazon. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, 19, 2018. DOI: https://doi.org/10.1029/2017GC007352.

KING, L. C. Canons of Landscapes Evolution. **Bulletin of the Geology Society of America**, Washington DC, v. 64, n.7, p. 721-732, 1953.

KING, L.E. A geomorfologia do Brasil central. **Revista Brasileira de Geografia**, v.2 (18): 147-265, 1956.

KING, L.C. The geomorphology of Africa, I. Erosion surfaces and their mode of origin. **Sci. Prog**. London, 45, 672-681, 1957.

KING, L. C. **The Morphology of the Earth. A Study and Synthesis of World Scenery**. Oliver and Boyd, Edinburgh/London, 1962, 699 pp.

KLEIN, E.L.; SOUSA, C.S. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do Estado do Maranhão**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Maranhão-escala 1:1.000.000. Belém: CPRM. 151 p. Programa Geologia do Brasil-PGB. 2012.

KOTSCHOUBEY, B.; CALAF, M.J.C.; LOBATO, A.C.C.; LEITE, A.S.; AZEVEDO, C.H.D. Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da provincial bauxitífera de Paragominas, Noroeste da Baica do Grajaú, Nordeste do Pará/Oeste do Maranhão. In: O. J. Marini, E. T. Queiroz & B. W. Ramos (eds.) – **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília-DF: ADIMB. 691-782, 2005.

KRONBERG, B.I.; FIFE, W.S.; MCKINNON, B.J.; COUSTON, J.F.; STILIANIDI FILHO, B.; NASH, R.A. Model for bauxite formation: Paragominas (Brazil). **Chemical Geology** 35, 311 – 320, 1982.

KÜGLER, H. Zur Aufgaben der geomorphologischen Forschung und Kartierung in der DDR. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, V. 120, n. 2, p. 154-160, 1976.

KULAIF, Y. **Relatório Técnico 53**: Perfil do Fosfato PROJETO ESTAL: PROJETO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA AO SETOR DE ENERGIA, Ministério de Energia e Minas, 2009

LACERDA FILHO, J.V.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C.R.; OLIVEIRA, C.C.; ALBUQUERQUE, M.C. **Geologia e recursos minerais do Estado de Mato Grosso**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Mato Grosso -escala 1:1.000.000. Cuiabá: CPRM. 252p. Programa Integração, atualização e difusão de dados da Geologia do Brasil. 2004.

LACERDA, A.F.; MORAES, J.M.; ROCHA, M.G.; FERNANDES, R.L.G. **Mapa de geodiversidade do Distrito Federal.** CPRM- Serviço Geológico do Brasil. 2018. Disponível em: < http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Produtos-para-Download---Levantamento-da-Geodiversidade-5411.html> Acesso em 15 Ago 2019.

LAU, I. Regolith-landform and mineralogical mapping of the White Dam Prospect, eastern Olary Domain, South Australia, using integrated remote sensing and spectral techniques. 2005. Tese (Doutorado em Geologia) – Adelaide University, Adelaide – Australia.

LEAL, J.W.L; SILVA, G.H.; SANTOS, D.B.; TEIXEIRA, W.; LIMA, M.I.C., FERNANDES, C.A.C.; PINTO, A.C. Geologia da folha SC.20-Porto Velho. In: BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC.20-Porto Velho. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral (Levantamento de Recursos Naturais, 16), 1978.

LUCAS Y.; KOBILSEK, B.; CHAUVEL, A. Structure, genesis and present evolution of amazonian bauxites developed on sediments. **Anais Inter. Cong. ICSOBA**, Poços de Caldas, 22:81-94, 1989.

LUCAS, Y.; CHAUVEL, A. Soil formantion in tropically weathered terrains. In: BUTT, C. R. M.; H., Zeegers (Org.). **Regolith Exploration Geochemistry in tropical and sub-tropical terrains**. Amsterdam: Elsevier, 1992. v. 4. p. 57-76. (Handbook of Geochemical Exploration).

MAMEDE, L.O. O significado das coberturas terciárias nas chapadas da região Centro-oeste. **Sociedade e Natureza**, ano 3, n. 15, p. 26-29, 1996.

MARQUES NETO, R. As superfícies geomorfológicas e a evolução do relevo brasileiro: Transcurso das ideias e correspondências no sul de Minas Gerais, sudeste do Brasil. R. **Ra'e Ga** -Curitiba, v.31, p.267-295, 2014.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAUJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da. **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa. 2014.

MARTELET, G.; DRUFIN, S.; TOURLIERE, B.; SABY, N.; PERRIN, J.; DEPARIS, J.; PROGNON, F.; JOLIVET, C.; RATIÉ, C.; ARROUAYS, D. Regional Regolith Parameter Prediction Using the Proxy of Airborne Gamma Ray Spectrometry, **Vadose Zone Journal**, 12(4), 2013.

MCNEIL, M. Lateritic Soils in distinct Tropical Environments: Southern Sudan and Brazil. In: FARVAR, T., MILTON, J. (eds) **The Careless Technology**: Ecology and International Development, Garden City: The Natural History Press,1972.

MCQUEEN K.G.; CRAIG, M. A. Developments and New Approaches in Regolith Mapping. Centre for Australian Regolith Studies. **Occasional Publication** no. 3. Australian National University University of Canberra, 1995.

MEDEIROS FILHO, C. A. **Prospecção Geoquímica e Mapeamento de Regolito na Região de Carajás, Estado do Pará**, Belém. 2002. Dissertação (Centro de Geociências) – Universidade Federal do Pará.

MEDEIROS FILHO, C. A.; ALVES, F.R.; CÂMARA, J. S.; SOUSA, J. T.; PANTOJA, M. N. Mapeamento de Regolitos nos Alvos Japiim e Furnas Sul. VALE, **Relatório Interno**, 2007.

MELO, D.P.; COSTA, R.C.R.; NATALI FILHO, T. - Geomorfologia da folha SC.20-Porto Velho. In: BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC.20-Porto Velho. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral (Levantamento de Recursos Naturais, 16), 1978.

MERRILL, G. P. **Treatise on Rocks, Weathering and Soils.** Macmillan, New York, 1897.

METELKA, V. **Geophysical and remote sensing methodologies applied to the analysis of regolith and geology in Burkina Faso, West Africa**. Tese de Doutorado, University of Toulouse III and Charles University in Prague, 2011.

METELKA, V.; BARATOUX, L.; JESSELL, M.W.; BARTH, A.; JEZEK, J.; NABA, S. Automated regolith landform mapping using airborne geophysics and remote sensing data, Burkina Faso, West Africa. **Remote Sensing of Environment**, 2018. DOI: 10.1016/j.rse.2017.08.004.

MICHEL, P. Les bassins des fleuves Senegal et Gambie. Etude gComorphologique. **Mémoires de l'ORSTOM**, Paris 63, 1973.

MILLOT, G.. Planation of Continents by Intertropical Weathering and Pedogenetic Processes. In: MELFI, J. A., CARVALHO, A. (eds.) Laterisation Processes. São Paulo: IG-USP, 1983, p. 53- 63.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Londres, **Soil Research**, Suppl. Proc. Int. Soc. Soil Sci. IV(3):183-198, 1935.

MINTY, B. R. S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 39-50, 1997.

MINTY, B. Short note: on the use of radioelements ratios to enhance gamma-ray spectrometric data. **Exploration Geophysics**, 42(1), 116-120, 2011.

NABIGHIAN, M.N. The Analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use for Automated Anomaly Interpretation. **Geophysics**, 37, 507-517, 1972. http://dx.doi.org/10.1190/1.1440276

NABIGHIAN, M.N. Additional comments on the analytic signal of twodimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: **Geophysics**, 39, 85-92, 1974.

NAHON, D.; MELFI, A.; CONTE, C.N. Présence d'um viex système de cuirasses ferrugineuses latèritiques em Amazonie du Sud. As transformation in Situ em Latossols Sous la Forêt équatoriale actualle 308. C.R. **Académie des Sciences**, Paris, pp. 755 – 760, 1989.

NASCIMENTO, R.O. **Evolução de um perfil laterítico no domo estrutural de Sobradinho** – Distrito Federal, Uberlândia, 2011. Tese (Programa de Pós-graduação em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia.

NASCIMENTO, T.C.N. A **natureza dos materiais lateríticos entre Porto Velho e morrinhos: relação morfológica e aplicação**, Porto Velho, 2009. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Rondônia.

NASCIMENTO, T.C.N., MANIESI, V., ADAMY, A., NOGUEIRA, A., A natureza e aplicação dos materiais lateriticos na área urbana e entorno de Porto Velho. **Revista geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.11 – 19, 2012.

NESBITT, H.W., YOUNG, G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. **Nature**. 299. 715-717, 1982.

NETO, J.P.Q. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 22 (I/2), 65-78, 2001.

NOGUEIRA, J. Lateritas. **Boletim Técnico**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 46 p, 1985.

NYE, P.H. Some soil forming processes in the humid tropics, IV. The action of the soil fauna. **Journal of Soil Science**, 6: 73—83, 1955.

OLIVEIRA, J. G. F.; COSTA, M. L. Caracterização geológica de um perfil laterítico imaturo na região de Porto Velho-Rondônia. In: IX Simpósio de Geologia da Amazônia, 2006, Belém-PA. **Trabalhos apresentados**, 2006. Belém: SBG-NÚCLEO NORTE, p. 01-04.

OLIVEIRA, C.E.S.; FILHO, R.S. **Informe de Recursos Minerais:** Projeto Materiais de Construção Civil da Folha Porto Velho. Porto Velho: CPRM. 2013.

OLLIER, C. D. A Two-cycle Theory of Tropical Pedology. **Soil Science**, 10, 137-48, 1959.

OLLIER, C.D.; PAIN, C.F. **Regolith, soils and landforms**. John Wiley and Sons, New York. 1996.

PAIN C.F.; OLLIER C.D. Regolith stratigraphy: principles and problems. AGSO **Journal of Australian Geology and Geophysics** 16(3), 197-202, 1995.

PAIN, C.; CHAN, R.; CRAIG, M.; HAZELL, M.; KAMPRAD, J.; WILFORD, J. RTMAP BMR. Regolith Database Field Handbook. Bureau of Mineral Resources, **Geology and Geophysics Australia**, Record, 1991/29, 1991.

PAIN, C.F.; WILFORD, J.R.; DOHRENWEND, J.C. **Regolith-landforms of the Ebagoola** 1:250 000 sheet (SD54-12), North Queensland: Canberra, Australian Geological Survey Organisation, Record, 1994.

PAIN C.F.; CRAIG M.A.; GIBSON D.L.; WILFORD J.R. Regolith-landform mapping: an Australian approach. In: BOBROWSKY P.T. (ed). **Geoenvironmental mapping, method, theory and practice**. A.A. Balkema, Swets and Zeitlinger Publishers, The Netherlands, 29-56, 2001.

PAIN, C.; KILGOUR, P. Regolith Mapping – a discussion. In: ROACH, I.C. (Ed.), **Advances in Regolith**. CRC LEME Geoscience Australia, Canberra, p. 309-313, 2003.

PALMEIRA, L.C.M.; ROCHA, J.M.A.C.; CASTRO, C.C.; SCANDOLARA, J.E. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Ariquemes SD.20-V-D**. CPRM: Porto Velho, 2018.

PARKER, A. An index of Weathering for Silicate Rocks. **Geological Magazine**, 107, 501-504, 1970.

PAYOLLA, B.L. **As rochas graníticas e sieníticas das cachoeiras Teotônio e Santo Antônio, rio Madeira, Porto Velho, Rondônia**: geologia, petrografia e geoquímica. M.Sc. Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

PEDROSA, A.S. As actividades humanas e os processos erosivos. O exemplo da Serra do Marão. **Territorium**, Coimbra, p. 23-34, 1994.

PEDROSA, A.S. A geomorfologia perante a ciência geográfica: algumas reflexões. **Soc. & Nat**., Uberlândia, 26 (3): 409-417, 2014.

PENCK, W. **Morphological analisys of landforms: a contribution to physical geology**. London: MacMillan, 1953. First edition:1924.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

PENTEADO, M. Mª. **Geografia e Planejamento**: A geomorfologia no contexto social. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1981.

PETERSEN, J.F.; SACK, D.; GABLER, R.E. **Fundamentos de Geografia Física**. Cengage Learning, São Paulo, 2015.

PFALTZGRAFF, P.A.S.; TORRES, F.S.M.; VALENÇA, R.F.; DANTAS, M.E.; DIAS, G.P.; COSTA, M.R.; BORBA, A.L.S. **Mapa de geodiversidade da Região Metropolitana de Recife.** CPRM-Serviço Geológico do Brasil. 2018. Disponível em: < http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20596> Acesso em 15 Ago 2019.

POPE G.A. Overview of Weathering and Soils Geomorphology. In: John F. Shroder (ed.) **Treatise on Geomorphology**, Volume 4, pp. 1-11. San Diego: Academic Press, 2013.

QUADROS, M.L.E.S.; PALMEIRA, L.C.M.; CASTRO, C.C. **Geologia e Recursos Minerais da Folha Rio Machadinho SD.20-X-C**. CPRM: Porto Velho, 2011.

QUADROS, M.L. do E.S.; RIZZOTTO, G.J. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia-escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM. 116 p. Programa Geologia do Brasil-PGB. 2007.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. **Rev. Bras. de Geomorfologia**. Rio de Janeiro, ano 1 nº. 1, p. 59-67, 2000

REIS, N.J.; ALMEIDA, M.E.; RIKER, S.L.; FERREIRA, A.L. **Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Amazonas-escala 1:1.000.000. Manaus: CPRM. 153p. Programa Integração, atualização e difusão de dados da Geologia do Brasil. 2006.

REITZ, J.R.; MILFORD, F.J. **Foundations of Eletromagnetic Theory**, Addison-Wesley: Reading, 1966.

RIZZOTTO, G.J; QUADROS, M.L do E.S. Geologia do sudoeste do Craton Amazônico. In. HORBE, A.M.C.; SOUZA, V da S. (Coords.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, v.4, p 69-84, 2005.

RODRIGUES, T.E., PALMIERI, F.; CAMARGO, M.N.; JACOMINE, P.K.T.; OLMOS, J.I.L.; DOS SANTOS, R.D.; DA SILVA, J.M.L.; DOS SANTOS, P.L. Estudo expedito de solos do Território Federal de Rondônia para fins de classificação, correlação e legenda preliminar. **Boletim Técnico** Embrapa, Rio de Janeiro, 1980.

ROEST, W.R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, **Geophysics**, 57, 116-125, 1992.

RONDÔNIA, Secretaria de Estado do Planejamento. Plano agroflorestal e Pecuario de Rondônia – **PLANAFLORO** (bando de dados geográfico). Porto Velho, 2002. Disponível em: Acessado em 20 de junho de 2015.

RONDÔNIA, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. **Zoneamento Socio-Econômico Ecológico do Estado de Rondônia**. Planejamento para o desenvolvimento Sustentável e Proteção Ambiental. Porto Velho: Sedam, 2010.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SAADI, A. Modelos Morfogenéticos e a Tectônica Global: Reflexões Conciliadoras. **Geonomos**. Belo Horizonte, 6 (2): 55-63, 1998.

SALGADO, A.A.R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Geografias**, 3(1), 64-78, 2007.

SANTOS, M. **Por uma geografia nova**: Da Crítica da Geografia a uma Geografia Crítica. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço**: Técnica e Tempo, Razão e Emoção.4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SCANDOLARA, J.E. A neotectônica no Estado de Rondônia e adjacências: esboço preliminar e aspectos evolutivos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6. Manaus, **Boletim de Resumos Expandidos**. Mananus: SBG-Núcleo Norte, p.301-304. 1999.

SCANDOLARA, J.E., RIZZOTTO, G.J., BAHIA, R.B.C., QUADROS, M.L.E.S., AMORIM, J.L., DALL'IGNA, L.G. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia**: texto explicativo e mapa geológico na escala 1:1,000,000. Programa Levantamentos Geológicos do Brasil. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Brasília, Brasil, 1999.

SCHELLMAN, W. Considerations on the definition and classification of laterites. Proc. Int. **Seminar on Lateritisation Processes**. Trivandrum, Proceedings, 1-10, 1981.

SCHELLMANN, W. A new definition of laterite. **Geological Survey of India, Memoirs**, 120, 1-7, 1983.

SCILEWSKI, G. Formações superficiais. In: SILVA, C..R. (Coord). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**. Fase 1. Rio de Janeiro: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI, 2003. Disponível em: < http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/5044> Acesso em: mai. 2019.

SCOTT, K., PAIN, C. **Regolith Science**. Melbourne: Csiro Publishing, 2008.

SIGMINE. **Sistema de Informações Geográficas da Informação**. 2019. Disponível em: < http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/> Acessado em: 27 de junho de 2019.

SILVA, M.F. **Análise morfoestrutural da folha Porto Velho Sc20 V-B-V, como subsídio a delimitação de traçados de estradas e rodovias**. 2013. Dissertação (Pós-graduação em Geografia) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho.

SILVA, M. L. Uma abordagem sobre J. Hutton, W. M. Davis e W. Penck como expoentes na sistematização da geomorfologia. In: VII Simposio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. **Anais Do VII Sinageo**. Belo Horizonte, 2008.

SILVA, J.A.; MENDONÇA, R.R**. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes**: Porto Velho, Rondônia. Porto Velho, CPRM, 2016.

SLAYMAKER, O. **Geomorphology, Human Activity and Global Environmental Change**. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2000.

SOUZA FILHO, P.W.M.; QUADROS, M.L.E.S.; SCANDOLARA, J.E.; SILVA, E.P.; REIS, M.R. Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré-Alto Madeira, Rondônia-Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Vol.29, n.4, p.469-476. 1999.

STEPHENS, C.G. The Soil Landscapes of Australia. **CSIRO Australia Soil Publication**, 18, 1961.

STRAKHOV, N.M. **Principles of lithogenesis**. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1967.

SUERTEGARAY, D. M. A. Tempo geomorfológico interfaces geomorfológicas. **Geosul**, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, v. 14, n. 27, p. 75-78, nov. 1999.

TAKENO, N. Atlas of Eh-pH Diagrams. Intercomparison of Thermodynamic Databases. **Geological Survey of Japan Open File Report** No. 419, 2005. (National Institute of

Advanced Industrial Science and Technology Research Center for Deep Geological Environments). https://www.gsj.jp/researches/openfile/ openfile2005/openfile0419.html.

TARDY, Y.; ROQUIN, C. Geochemistry and evolution of lateritic landscapes. In: MARTINI, I.P. & CHESWORTH, W. Weathering Soils & Paleosols. Guelf, Elsevier, p.407-433, 1992.

TARDY, Y.; ROQUIN, C. **Dérive des continents**: Paléoclimats et alterations tropicales. Orléans, BRGM, 1998.

TAYLOR, G.; BUTT, C.R.M. The Australian regolith and mineral exploration. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**, 17(4), 55-67, 1998.

TAYLOR, G.; EGGLETON, R. A. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester: John Wiley, 2001.

TAYLOR, S.R.; MCLENNAN, S.M. **The Continental Crust**; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell, Oxford. 312, 1985.

THOMAS, M. F. **Tropical geomorphology: a study of weathering and landform development in warm climates**. New York: John Wiley & Sons, 1974

TORRES, F.T.P., MARQUES NETO, R.; MENEZES, S. B. **Introdução à Geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TRICART, J. A Geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, 34 (251). p.15-42. 1976.

TRICART, J. Paisagem e ecologia. Inter-fácies: **escritos e documentos**, São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, n. 76, p. 1-55, 1982.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Sciences**, 263, pp.616-627, 1965.

ULLMAN, E.I. Ecology and Spatial Analysis, a comment on the James D. Clarkson article published in the A.A.A.G., vol 60, 1970. In: **Annals of the Association of American Geographers 2**, vol 63, 1973.

VALETON I. **Bauxites. Development in Soil Science 1**. Amsterdam, Elsevier, 244 p, 1972.

VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do Estado do Pará**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Pará-escala 1:1.000.000. Belém: CPRM. 329 p. Programa Geologia do Brasil-PGB. 2008.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.145-192, 2005.

VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do Solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975.

VITTE, A.C. As bacias de drenagem e o modelado terrestre: algumas reflexões. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**/ Universidade de São Paulo. 2005.

VITTE, A.C. A construção da Geomorfologia no Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.3, p.91-108, 2011.

WEDEPOHL, K.H. 1969 **Handbook of Geochemistry**. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 578.

WILFORD, J. R.; BIERWIRTH, P.N.; CRAIG, M.A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v.17(2), 201-216, 1997.

WILFORD, J. R. Airborne Gamma-Ray Spectrometry. In. Papp. E (editor). **Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration**, CRCLEME. Open File Report 144, pp 46-52, 2002.

WILFORD, J.R.; MURPHY, B.; SUMMERELL, G. Delineating regolith materials using multi-scaled terrain attributes and gamma-ray imagery – applications for updating soil-landscape maps and managing dryland salinity. In: OXLEY, L., KULASIRI, D. (Eds.), MODSIM 2007 **International Congress on Modelling and Simulation**: and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2007.

WILFORD, J.A. New framework provides new insights into an old continent. **Ausgeo News**, Issue 101, 2011.

WILFORD, J. A weathering intensive index for the Australian continent using airborne gamma-ray spectrometry and digital terrain analysis. **Geoderma**, 183-184, 124-142, 2012. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.12.022

WILFORD, J.R. **New regolith mapping aproaches for old australian landscapes**. PhD thesis, The University of Adelaide. South Australia, 2013.

WILFORD, J.R.; SEARLE, R.; THOMAS, M.; PAGENDAM, D.; GRUNDY, M.J. A regolith depth map of the Australian Continent. **Geoderma,** 266, 1-13, 2016.

WIMPENNY, J., GANNOUN, A., BURTON, K.W., WIDDOWSON, K., JAMES, R.H., GÍSLASON, S.R. Rhenium and osmium isotope and elemental behavious accompanying laterite formation in the Deccan Region of India. **Earth and Planetary Science Letters**, 261, 239–258, 2007. doi: 10.1016/j.epsl.2007.06.028.

XIAO, W., HONGBING, J., SHIJIE, W., HUASHUO, C., CHANGSHUN, S. The formation of representative lateritic weathering covers in south-central Guangxi (Southern China). **Catena**, 118, 55-72, 2014. doi:10.1016/j.catena.2014.01.019.

ZANI, H.; SOUZA FILHO, E.; SANTOS, G.B. Uso de Mapa de Isópaca de Regolito para o Planejamento Urbano de Maringá. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. São Paulo, São Paulo – Brasil, 2005.

ZEESE, R. Tertiary weathering profiles in central Nigeria as indicators of paleoenvironmental conditions, **Geomorphology**, v. 16, p. 61-70, 1996.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: oficina de Textos, 2004.

APÊNDICE 1

Coordenadas dos pontos visitados com presença de crostas lateríticas.

Nome	Lat	Long	UTM x	UTM y	Observação
UI-001	-8,79844	-63,9181	399033,5	9027308,3	Crosta laterítica margem direita
UI-002	-8,83079	-63,9402	396612,3	9023724,7	Crosta laterítica margem direita
UI-003	-8,83478	-63,9404	396581,1	9023283,9	Crosta laterítica margem direita
UI-004	-8,85141	-63,9373	396928,5	9021446,2	Crosta laterítica margem direita
UI-005	-8,94598	-63,8907	402081,4	9011001,4	Crosta laterítica margem direita
UI-006	-8,94622	-63,8703	404328,8	9010981	Crosta laterítica margem direita
UI-007	-8,94594	-63,8216	409683,2	9011024,3	Crosta laterítica margem direita
UI-008	-8,94599	-63,8027	411761,7	9011022,4	Crosta laterítica margem direita
UI-009	-8,94169	-63,7997	412085,6	9011499,5	Crosta laterítica margem direita
UI-010	-8,82123	-63,5846	435717,2	9024861,7	Crosta laterítica margem direita
UI-011	-8,80378	-63,5863	435520,8	9026791	Crosta laterítica margem direita
UI-012	-8,79989	-63,5936	434717,3	9027219,1	Crosta laterítica margem direita
UI-013	-8,81067	-63,9183	399007,8	9025955,3	Crosta laterítica margem direita
UI-014	-9,08684	-63,3502	461515	8995528,3	Crosta laterítica margem direita
UI-015	-9,08936	-64,0635	383131,3	8995097,5	Crosta laterítica margem direita
UI-016	-9,03519	-64,0126	388710,9	9001103	Crosta laterítica margem direita
UI-017	-8,96778	-63,9931	390825,9	9008562,1	Crosta laterítica margem direita
UI-018	-8,96639	-63,9925	390895,1	9008716,5	Crosta laterítica margem direita
UI-019	-8,81581	-63,9247	398310,5	9025386	Crosta laterítica margem direita
UI-020	-8,81067	-63,9183	399007,8	9025955,3	Crosta laterítica margem direita
UI-021	-9,04018	-63,4232	453490,1	9000678,3	Crosta laterítica margem direita
UI-022	-8,78773	-63,4685	448480	9028583,1	Crosta laterítica margem direita
UI-023	-8,78646	-63,4669	448656,4	9028724	Crosta laterítica margem direita
UI-024	-8,78619	-63,4667	448668,9	9028753,5	Crosta laterítica margem direita
UI-025	-8,78836	-63,6206	431741,7	9028490	Crosta laterítica margem direita
UI-026	-8,7575	-63,9535	395127,8	9031824,9	Crosta laterítica margem esquerda
UI-027	-8,76045	-64,0245	387317,9	9031478,5	Crosta laterítica margem esquerda
UI-028	-8,72994	-63,9642	393938,7	9034869,7	Crosta laterítica margem esquerda
DI-001	-8,75693	-63,9615	394245,9	9031885,4	Latossolo marrom escuro avermelhado associado com fragmentos de crostas (pode ser da estrada)
DI-002	-8,75826	-63,9526	395226,3	9031741,6	Crosta laterítica ferruginosa colunar. Ponto de extração de cascalho laterítico.
DI-003	-8,75796	-63,9407	396526,8	9031777,5	Crosta laterítica pisolítica e colunar. Horizonte desmantelado. Presença de caulinita, goethita e hematita
DI-004	-8,77954	-63,9282	397911,3	9029395	Material associado a deposito fluvial. Areia média a fina. Cor 10YR 7//3
DI-005	-8,7906	-63,9361	397041,2	9028170	Morro laterítico recunertos por nódulos e pisólitos associado a latossolo
DI-006	-8,76935	-63,9689	393431,9	9030510,5	Latossolo. Areia argilosa. Cor 10YR 7//4
DI-007	-8,77537	-63,955	394968,9	9029849,1	Latossolo transportado fluvial
DI-008	-8,76003	-63,9761	392635	9031539,2	Crosta laterítica em planta, pisolítica. Magnetita, hematita e goethita. Cor 10/r 4//4 - 4//6
DI-009	-8,78339	-64,0137	388507,8	9028945,2	Areia media. Latossolo com pisólitos. Cor 5YR 7//4

Coordenadas dos pontos visitados com presença de crostas lateríticas.

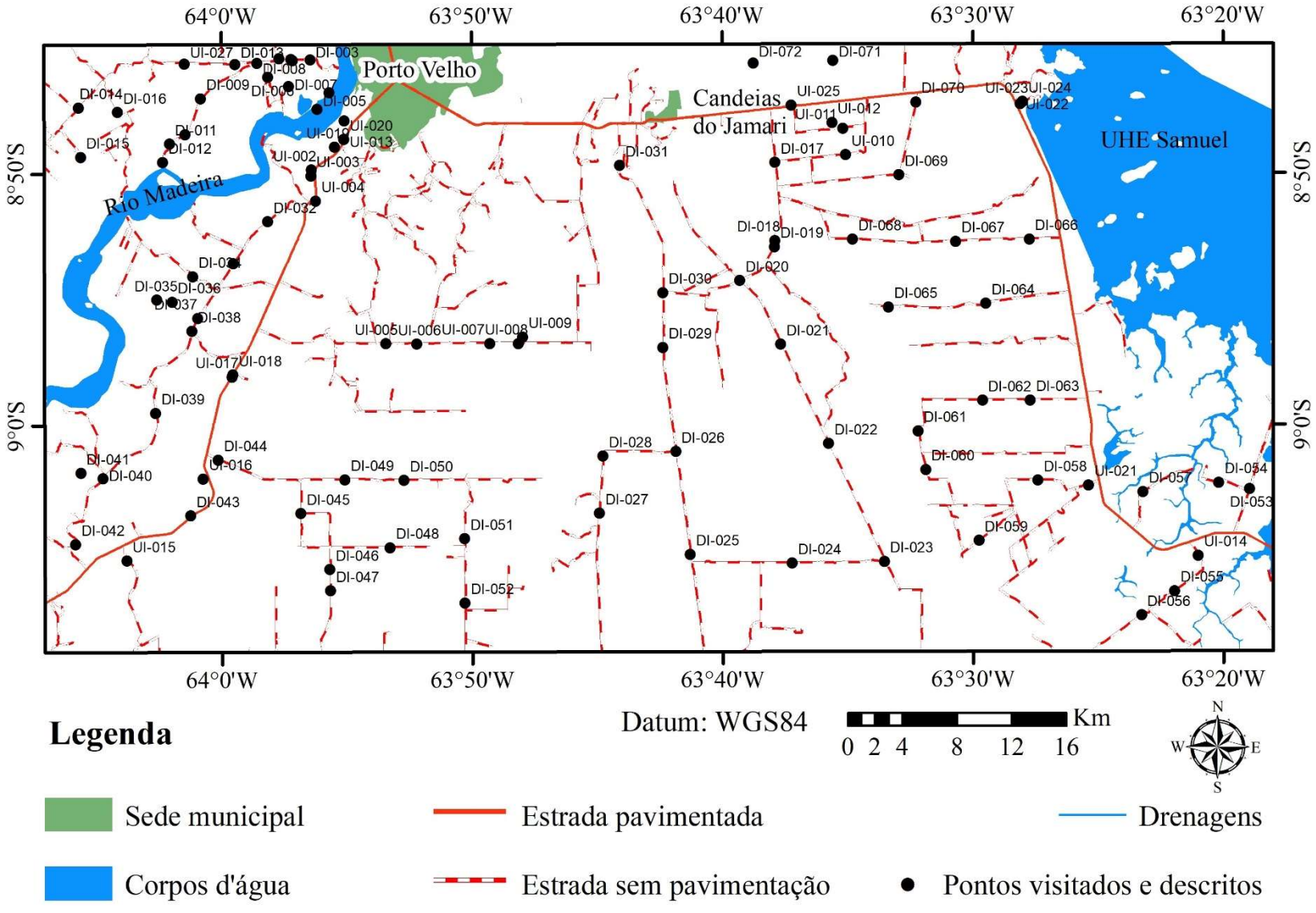
Nome	Lat	Long	UTM x	UTM y	Observação
DI-010	-8,80731	-64,0239	387390,9	9026296,6	Crosta laterítica pisolítica nodular. Magnetita. Eventuais quebras de relevo pouco expressivo.
DI-011	-8,81343	-64,0344	386246,7	9025617	Crostas laterítica pisolítica desmantelada
DI-012	-8,82554	-64,039	385737	9024276,1	Solo. Areia fina. Magnetita. Cor 7.5YR 6//6
DI-013	-8,76085	-63,9908	391026,3	9031444,4	Latossolo Cor 2.5YR 6//4 Grano fino a grosso. Presença de magnetita
DI-014	-8,7894	-64,0948	379585,5	9028255	Latossolo cor 10YR7//4. Grano fino a grosso.
DI-015	-8,82205	-64,0935	379738,9	9024645,6	Latossolo Cor 7.YR 6//8 Grano fino a medio
DI-016	-8,79239	-64,069	382432,9	9027932,9	Latossolo Cor 10YR 7//4 Grano fino a medio.
DI-017	-8,82627	-63,6316	430547,7	9024295,7	Latossolo 2,5 YR 6//4 areia fina a media
DI-018	-8,87806	-63,6318	430533,8	9018569,8	Crosta laterítica em morrote
DI-019	-8,88221	-63,6319	430522,2	9018110,8	Corpos Graníticos rapakivi Serra da Providencia
DI-020	-8,90458	-63,6551	427975,6	9015633,9	Latossolo magnetita 2,5YR 6//4 areia fina a media
DI-021	-8,94674	-63,6279	430968,9	9010977,5	Latossolo 10R 5//1 areia media
DI-022	-9,01253	-63,5963	434464,3	9003708,9	Latossolo 10R 5//1 areia media
DI-023	-9,09065	-63,5591	438556,5	8995078	Latossolo 10 YR 7//4 Argiloso. Relevo plano
DI-024	-9,09171	-63,6204	431823,9	8994950,5	Latossolo 2.5 YR 5//1. Plano
DI-025	-9,08585	-63,6883	424359,4	8995584,4	Latossolo 10 YR 7//2 Relevo plano, areia fina a media
DI-026	-9,01773	-63,6979	423293,5	9003114	Latossolo 7.5 YR 6//3
DI-027	-9,0585	-63,7488	417702,2	8998595,9	Crosta laterítica pisolítica nodular, colunar, coluvionar, horizonte desmantelado. Presença de hematita e goethita. Afloramentos proximos de granitos finos
DI-028	-9,02066	-63,7464	417963,6	9002780,1	Latossolo Amarelo 7.5YR 6//2areia media a grossa
DI-029	-8,94881	-63,7063	422355,2	9010732,8	Crosta laterítica pisolítica, desmantelado.
DI-030	-8,91253	-63,7063	422347,9	9014744,4	Latossolo 10YR 7//4 Areia fina a media
DI-031	-8,82816	-63,735	419177,8	9024066	Latossolo 7.5YR 7//2
DI-032	-8,86497	-63,9691	393433,4	9019937,3	Latossolo 7.5YR6//3. Areia media. Relevo plano a levemente ondulado. Presença de magnetita
DI-033	-8,89272	-63,9921	390915,3	9016862,9	Crosta laterítica colunar, ,horizonte desmantelado no topo. Evidencia de neotectonica??? Hematita, goethita, caulinita e gibsita e quartzo subordinado. Pisolitos e nodulos
DI-034	-8,90127	-64,0192	387945	9015908,7	Latossolo 5YR6//8 Areia media
DI-035	-8,91672	-64,0431	385311,7	9014192,8	Latossolo (orgânico-mexido) 2.5Y6//3 Areia fina, presença de magnetita
DI-036	-8,91811	-64,0329	386435,6	9014042,8	Latossolo 5YR6//6. Areia media, relevo levemente ondulado
DI-037	-8,92893	-64,0158	388318	9012851,7	Latossolo marrom, crostas proximas
DI-038	-8,93739	-64,0197	387894,2	9011914,6	Crosta laterítica colunar nodular, presença de magnetita, hematita e goethita, quartzo subordinado, horizonte desmantelado, horizonte argiloso na base do afloramento, grandes blocos colunares
DI-039	-8,99163	-64,0441	385228,3	9005910,3	Latossolo, areia grossa 7.5YR6//4
DI-040	-9,03487	-64,0791	381395,8	9001116,8	Latossolo areia media
DI-041	-9,0313	-64,0939	379763,2	9001507,7	Crosta laterítica sem foto
DI-042	-9,07841	-64,0976	379375,2	8996296,2	Crosta lateritica em planta

Coordenadas dos pontos visitados com presença de crostas lateríticas.

Nome	Lat	Long	UTM x	UTM y	Observação
DI-043	-9,05963	-64,0208	387817,7	8998397,7	Latossolo (organico-mexido) 5YR4//3, Areia media relevo levemente ondulado
DI-044	-9,02278	-64,0024	389820,3	9002478,1	Latossolo 5YR5//8 presenca de magnetita
DI-045	-9,05835	-63,9475	395863,6	8998561,6	Crosta laterítica
DI-046	-9,09535	-63,9283	397989,7	8994476	Crosta lateritica colunar vertical
DI-047	-9,10941	-63,928	398024,5	8992921,3	Latossolo 10YR6//3 areia fina
DI-048	-9,08111	-63,8883	402381,3	8996061,6	Latossolo 10YR7//3 Areia fina
DI-049	-9,03605	-63,9181	399090,4	9001035,8	Crosta lateritica
DI-050	-9,03644	-63,8789	403402,9	9001003,1	Latossolo endurecido 5YR7//2 Areia fina
DI-051	-9,07521	-63,8385	407849,1	8996726,3	Latossolo areia media a grossa 7.5YR6//2
DI-052	-9,11771	-63,8385	407867,3	8992027,5	Latossolo, areia grossa 7.5YR6//3, pouco magnético
DI-053	-9,0427	-63,3159	465281,6	9000411,9	Latossolo Magnetita, 5YR6//1, Areia fina a grossa, relevo plano
DI-054	-9,03856	-63,3364	463033,1	9000867,6	Crosta laterítica pisolítica nodular. Horizonte desmantelado, latossolo? Recoberto por uma camada de até 30 cm de crosta ferruginosa desmantelada. Paraderivada? Material fino sedoso? Fragmentos centimétricos raros de quartzo com magnetita. Morrote de 50 m de diâmetro. Presença de caulinita, veios de quartzo. Goethita. Ponto antigo de extração
DI-055	-9,11029	-63,3658	459810,1	8992934,6	Crosta laterítica ferruginosa vermiforme. Hematita, caulinita, gibsita, mafica ultramafica? Colunar. Presença de magnetita
DI-056	-9,12625	-63,3879	457382	8991166,6	Latossolo pouco magnético. Relevo plano. 10YR7//2 Areia media
DI-057	-9,04457	-63,3868	457488,7	9000197,3	Latossolo magnetico, 10YR6//6. Areia fina a media. Relevo plano
DI-058	-9,03701	-63,4568	449792,3	9001025,1	Rocha granítica Textura rapakivi. Granito grosso, veios apliticos (quartzo) Predomina latossolo. Trama de fluxo magmático
DI-059	-9,07677	-63,4961	445481,5	8996623,1	Latossolo magnetico 5YR6//8. Areia fina a media Relevo levemente ondulado
DI-060	-9,02981	-63,5315	441580,6	9001809,4	Latossolo pouco magnético. Areia fina 7.5YR6//4 Relevo plano.
DI-061	-9,00432	-63,5366	441017,2	9004627,1	Sienogranito. Granito grosso Extensa área, magnetita. Feldspatos 4 cm prismáticos, cristais arredondados, ovoides. Cinza. Afloramento lajedo com matacões.
DI-062	-8,98401	-63,4936	445739,6	9006879,6	Cizalhamento? Granito rapakivi milonitico magnetico
DI-063	-8,98397	-63,4618	449235,9	9006888	Latossolo 7.5YR6//2 Areia fina a media Relevo plano
DI-064	-8,91981	-63,4915	445968	9013977,1	Granito magnético
DI-065	-8,92222	-63,5562	438849,6	9013700,6	Latossolo pouco magnetico. 7.5YR6//3. Areia media a grossa. Relevo plano
DI-066	-8,87736	-63,4624	449157,4	9018675	Latossolo com cascalho laterítico de até 5 cm de espessura morrote de 50 m de diametro.
DI-067	-8,87885	-63,5113	443782,6	9018502,8	Latossolo 2.5YR7//3. Areia fina a media. Relevo plano
DI-068	-8,87732	-63,58	436231,8	9018661,1	Latossolo 5YR7//1. Areia media a grossa. Relevo plano
DI-069	-8,83459	-63,5491	439621,7	9023390,6	Latossolo 7.5YR7//1 Areia media
DI-070	-8,78643	-63,5378	440850,5	9028717,2	Latossolo pouco magnetico 5YR6//4 Areia fina. Relevo plano
DI-071	-8,75883	-63,593	434774,7	9031759	Latossolo 5YR6//3 Areia media Relevo plano
DI-072	-8,76056	-63,646	428948,5	9031558,8	Latossolo 10YR6//3 areia media Relevo plano

APÊNDICE 2

Mapa dos pontos visitados com presença de crostas lateríticas.



APÊNDICE 3

Amostras analisadas na ALS (Minas Gerais), ETR normalizados ao condrito; Eu/Eu* ¼´[EuN/(SmN+GdN)/2]; LOI ¼ perda ao fogo; principais elementos em peso, % e elementos traço em ppm

Amostra	UI-01	UI-02	UI-03	UI-04	UI-05	UI-08	UI-09	UI-10	UI-12	UI-14
SiO_2	17,61	27,96	21,74	19,50	18,22	14,98	15,72	22,91	20,11	17,26
TiO2	0,90	0,52	0,55	0,55	0,62	0,82	0,70	0,67	0,78	0,94
Al_2O_3	17,12	24,85	18,75	15,80	16,10	13,97	15,00	16,42	19,11	17,52
Fe_2O_3	50,71	33,78	49,40	53,18	54,00	58,34	55,36	49,34	49,13	51,91
CaO	0,11	0,04	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
K_2O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01
P_2O_5	0,15	0,03	0,04	0,04	0,05	0,10	0,21	0,10	0,06	0,11
MgO	0,10	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04
Na_2O	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
LOI	13,18	12,05	9,29	10,39	11,06	12,45	12,79	11,30	11,43	12,85
Total	99,89	99,28	99,82	99,51	100,08	100,70	99,82	100,78	100,66	100,66
Fe_2O_3/Al_2O_3	2,96	1,36	2,63	3,37	3,35	4,18	3,69	3,00	2,57	2,96
Fe_2O_3/ SiO_2	2,88	1,21	2,27	2,73	2,96	3,89	3,52	2,15	2,44	3,01
Al_2O_3/SiO_2	0,97	0,89	0,86	0,81	0,88	0,93	0,95	0,72	0,95	1,02
Ag	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
As	18,30	26,10	17,50	18,20	18,20	4,00	6,30	7,40	9,80	35,00
Ba	13,40	3,20	5,10	6,20	5,90	9,30	15,70	64,60	32,90	30,60
Bi	0,42	0,70	0,94	0,53	1,27	0,35	0,17	0,24	0,74	0,24
Co	9,00	2,00	<1	<1	<1	4,00	6,00	<1	4,00	18,00
Cd	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cr	400,00	120,00	270,00	120,00	120,00	140,00	200,00	50,00	280,00	350,00
Cs	0,06	0,02	0,07	0,06	0,07	0,03	0,06	0,06	0,09	0,14
Cu	106,00	3,00	8,00	13,00	18,00	18,00	23,00	10,00	15,00	252,00
Ga	36,80	54,60	106,00	45,50	67,80	63,80	42,90	29,30	125,50	70,40
Ge	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hf	14,10	14,40	14,60	14,10	18,00	17,40	10,80	15,90	18,60	11,50
In	0,27	0,45	0,68	0,33	0,64	0,35	0,21	0,17	0,63	0,39
Mo	8,00	5,00	12,00	14,00	18,00	9,00	5,00	8,00	13,00	7,00
Nb	27,70	25,30	31,80	31,60	33,80	21,60	15,80	26,60	26,80	28,50
Ni	31,00	<1	1,00	<1	<1	1,00	7,00	2,00	3,00	20,00
Pb	25,00	19,00	52,00	98,00	54,00	21,00	18,00	30,00	41,00	44,00
Rb	0,60	0,20	0,50	0,70	0,50	0,40	0,50	0,80	0,50	0,90
Sn	12,00	7,00	11,00	8,00	9,00	3,00	2,00	6,00	31,00	4,00
Sr	8,40	1,40	3,50	3,60	3,70	3,90	6,80	24,30	10,20	12,20
Sb	0,54	0,90	1,07	0,69	0,85	0,30	0,19	0,23	0,62	3,51
Sc	53,70	11,10	14,50	18,70	20,30	30,90	34,30	16,60	36,50	56,80
Th	56,90	54,70	118,50	124,50	89,80	24,70	19,15	106,00	196,50	26,00
Ta	2,00	1,70	2,20	2,50	2,20	1,30	0,90	1,90	1,80	1,40
Te	0,23	0,26	0,25	0,20	0,25	0,15	0,11	0,19	0,20	0,13
U	35,60	10,10	8,37	18,05	15,90	9,09	6,63	11,25	14,00	14,45
V	994,00	416,00	499,00	679,00	608,00	653,00	501,00	181,00	643,00	1160,00
W	5,00	3,00	4,00	3,00	6,00	2,00	2,00	2,00	6,00	3,00
Y	35,10	18,40	20,50	67,70	37,20	24,50	28,20	20,30	44,50	36,20
Zn	100,00	4,00	14,00	26,00	45,00	89,00	116,00	41,00	51,00	129,00
Zr	512,00	504,00	489,00	480,00	659,00	676,00	412,00	563,00	666,00	449,00
La	141,14	18,26	32,43	77,38	53,41	38,42	71,39	254,77	134,33	18,26
Ce	60,50	15,88	30,83	97,81	42,01	17,87	34,69	75,34	98,54	96,13
Pr	77,01	15,04	21,82	113,14	54,31	31,31	46,86	81,75	80,29	74,09
Nd	50,63	12,66	15,89	95,08	44,02	26,72	38,96	43,32	59,63	55,41
Sm	39,52	10,43	15,06	89,61	40,26	24,37	35,11	22,99	49,35	45,24
Eu	19,66	4,14	4,37	27,59	14,60	21,95	24,37	7,82	20,46	26,90
Gd	27,78	8,79	11,54	57,52	30,03	19,77	25,72	14,84	36,44	30,56
Tb	32,41	9,48	13,10	58,45	31,38	18,79	26,21	15,52	36,55	30,00
Dy	30,71	10,18	13,60	58,01	30,58	18,50	26,06	14,57	36,22	30,05
Ho	28,79	9,75	12,22	53,94	28,20	16,57	22,68	13,63	32,55	25,03
Er	30,08	10,72	13,69	54,62	27,79	16,06	21,53	14,06	34,74	26,71
Tm	36,80	13,48	17,42	65,73	34,55	19,10	23,31	17,42	42,98	30,90
Yb	39,64	13,63	17,86	63,51	33,10	19,23	23,23	17,02	42,74	28,75
Lu	37,27	13,91	18,64	60,89	31,23	17,32	22,83	17,59	40,68	28,35
ETR	211,67	50,74	79,23	309,89	151,72	87,74	137,82	234,75	262,35	234,67
ETRL	167,09	35,73	59,55	228,20	109,11	62,03	103,75	213,59	210,18	194,04
ETRP	44,58	15,01	19,68	81,69	42,61	25,71	34,07	21,16	52,17	40,63
ETRL/ETRP	3,75	2,38	3,03	2,79	2,56	2,41	3,05	10,09	4,03	4,78
Eu/Eu*	0,59	0,43	0,33	0,38	0,42	1,00	0,81	0,42	0,48	0,72
Ce/Ce*	0,58	0,96	1,16	1,05	0,78	0,52	0,60	0,52	0,95	1,07
La_N/Yb_N	3,56	1,34	1,82	1,22	1,61	2,00	3,07	14,97	3,14	3,76

Amostras analisadas na ALS (Minas Gerais), ETR normalizados ao condrito; Eu/Eu* ¼´[EuN/(SmN+GdN)/2]; LOI ¼ perda ao fogo; principais elementos em peso, % e elementos traço em ppm

Amostra	UI-16	UI-17	UI-21	UI-24	DI-003	DI-011	DI-027	DI-033	DI-038
SiO_2	14,16	17,53	9,14	20,95	14,10	17,64	16,38	19,76	17,82
TiO2	0,77	0,59	1,17	1,03	0,78	1,24	0,63	0,75	0,63
Al_2O_3	15,84	16,34	11,34	19,34	15,93	15,66	14,24	18,17	14,94
Fe_2O_3	54,59	53,47	68,08	47,98	58,44	55,90	58,51	49,03	54,29
CaO	0,04	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
K_2O	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P_2O_5	0,11	0,06	0,19	0,08	0,09	0,11	0,08	0,08	0,13
MgO	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Na_2O	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
LOI	13,52	12,04	11,05	10,95	10,57	10,24	10,71	11,16	12,48
Total	99,10	100,08	101,03	100,38	99,95	100,85	100,58	98,98	100,32
Fe_2O_3/Al_2O_3	3,45	3,27	6,00	2,48	3,67	3,57	4,11	2,70	3,63
Fe_2O_3/ SiO_2	3,86	3,05	7,45	2,29	4,14	3,17	3,57	2,48	3,05
Al_2O_3/SiO_2	1,12	0,93	1,24	0,92	1,13	0,89	0,87	0,92	0,84
Ag	<0,5	0,70	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,50	<0,5
As	17,90	39,40	38,30	9,30	12,50	38,70	9,20	20,80	11,90
Ba	6,50	6,50	7,30	62,70	3,90	25,90	18,70	11,30	65,00
Bi	0,15	0,85	0,80	0,56	0,65	0,36	0,35	1,74	0,11
Co	22,00	<1	2,00	<1	11,00	<1	<1	<1	<1
Cd	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cr	400,00	140,00	320,00	140,00	960,00	90,00	70,00	80,00	40,00
Cs	0,07	0,10	0,06	0,09	0,06	0,15	0,05	0,08	0,06
Cu	115,00	16,00	30,00	9,00	77,00	22,00	9,00	31,00	14,00
Ga	33,10	69,60	42,00	52,30	61,60	34,70	35,70	71,20	39,10
Ge	<5	<5	<5	<5	<5	6,00	<5	<5	<5
Hf	6,50	17,60	10,90	17,90	10,00	25,10	14,20	17,10	14,90
In	0,17	0,68	0,33	0,38	0,30	0,22	0,29	1,10	0,28
Mo	2,00	17,00	8,00	9,00	14,00	9,00	11,00	19,00	10,00
Nb	11,90	35,90	16,30	36,30	14,10	51,00	21,90	51,40	38,10
Ni	40,00	<1	5,00	2,00	25,00	<1	<1	2,00	<1
Pb	16,00	49,00	26,00	71,00	26,00	21,00	46,00	94,00	23,00
Rb	0,30	0,40	0,30	0,60	0,30	0,80	0,70	0,70	0,30
Sn	2,00	11,00	5,00	6,00	5,00	7,00	5,00	19,00	3,00
Sr	4,60	3,80	5,00	36,50	1,60	14,50	7,60	6,30	38,90
Sb	1,31	0,77	1,44	0,35	1,24	0,29	0,31	1,02	0,49
Sc	60,40	24,90	43,10	26,70	39,90	15,90	18,30	24,40	22,20
Th	11,60	84,90	26,20	73,40	31,60	28,10	91,90	64,80	32,50
Ta	0,80	2,40	1,20	2,10	1,20	3,40	1,60	4,00	2,30
Te	0,28	0,25	0,15	0,17	0,08	0,05	0,13	0,15	0,12
U	3,61	17,50	8,41	10,85	7,07	6,97	7,67	36,50	9,01
V	796,00	588,00	979,00	485,00	1140,00	223,00	562,00	257,00	161,00
W	1,00	5,00	10,00	4,00	5,00	4,00	2,00	10,00	3,00
Y	12,30	55,50	17,50	51,70	23,50	18,70	15,30	49,20	27,70
Zn	107,00	70,00	68,00	85,00	35,00	73,00	24,00	134,00	160,00
Zr	235,00	657,00	403,00	674,00	375,00	1070,00	538,00	732,00	566,00
La	46,59	59,40	55,04	280,65	33,79	82,83	74,39	86,10	328,34
Ce	15,67	80,56	26,23	120,17	21,42	40,86	34,38	36,78	94,04
Pr	21,68	71,02	27,52	163,50	31,17	42,77	36,86	47,66	145,62
Nd	15,47	60,20	18,99	106,47	26,16	27,85	25,46	34,18	88,89
Sm	12,21	58,44	14,85	64,72	22,94	18,18	19,18	32,08	45,89
Eu	7,01	22,64	7,59	25,17	13,10	11,26	8,62	13,68	14,48
Gd	8,50	44,61	10,56	42,32	16,80	12,68	11,96	23,82	28,59
Tb	8,45	46,38	11,21	42,41	15,86	12,24	11,21	32,07	26,72
Dy	7,24	47,90	12,15	41,60	15,56	11,65	11,05	34,12	23,78
Ho	7,05	45,01	11,28	36,31	15,28	10,22	10,22	33,02	20,80
Er	7,55	46,99	11,49	37,47	13,78	11,53	10,64	37,47	21,57
Tm	9,55	58,15	15,17	40,45	17,98	13,76	12,36	50,28	23,03
Yb	8,27	57,26	14,68	38,23	17,22	16,01	12,46	55,65	23,59
Lu	8,92	52,49	14,44	39,11	17,32	15,49	12,34	58,27	23,62
ETR	60,56	235,29	83,72	389,33	84,50	118,16	104,57	158,33	339,58
ETRL	49,50	166,90	66,66	333,24	62,21	100,34	88,53	106,23	305,51
ETRP	11,06	68,39	17,06	56,09	22,29	17,82	16,04	52,10	34,07
ETRL/ETRP	4,48	2,44	3,91	5,94	2,79	5,63	5,52	2,04	8,97
Eu/Eu*	0,69	0,44	0,61	0,48	0,67	0,74	0,57	0,49	0,40
Ce/Ce*	0,49	1,24	0,67	0,56	0,66	0,69	0,66	0,57	0,43
La_N/Yb_N	5,64	1,04	3,75	7,34	1,96	5,17	5,97	1,55	13,92