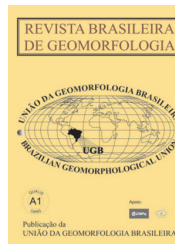


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 3 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1644>



### MAPEAMENTO DO REGOLITO LATERÍTICO E ASPECTOS MORFOPEDOGENÉTICOS DA PORÇÃO NORTE DO ESTADO DE RONDÔNIA

### LATERITIC REGOLITH MAPPING AND MORPHO-PEDOGENIC ASPECTS OF THE NORTH PORTION OF THE STATE OF RONDÔNIA

**Isabel Leonor Iza Echeverria Herrera**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia  
Br 364, km 9,5, Porto Velho, Rondônia. CEP: 76.801-059. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7354-9385>*

*E-mail: isaiza@gmail.com*

**Eliomar Pereira da Silva Filho**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia  
Br 364, km 9,5, Porto Velho, Rondônia. CEP: 76.801-059. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6271-8435>*

*E-mail: eliomarfilho@uol.com.br*

**Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza**

*Serviço Geológico do Brasil - CPRM  
Av. Ulysses Guimarães, 2862, Salvador, Bahia. CEP 41.213-000. Brasil*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9152-4816>*

*E-mail: edgar.iza@cprm.gov.br*

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
22/04/2019

Aceito (Accepted):  
28/04/2020

#### Palavras-chave:

Crosta Laterítica; Gamaespectrometria; Magnetometria; eTh/K.

#### Keywords:

Lateritic Duricrusts; Gamma Spectrometry; Magnetometry; eTh/K.

#### Resumo:

O mapeamento do regolito é utilizado amplamente com o objetivo de compreender aspectos da evolução da paisagem, exploração mineral e aspectos hidrológicos, sendo útil também para soluções de manejo da terra e solo, entre outras diversas aplicações. Assim, o objetivo do trabalho é integrar dados multifonte no intuito de mapear o regolito, buscando melhor compreensão da sua distribuição dos materiais regolíticos e dos processos modeladores da paisagem. Em termos morfopedogenéticos, a área foi dividida em 4 compartimentos: Compartimento I, região noroeste, na margem esquerda do rio Madeira, coberta por latossolos em altitudes entre 80 e 110 m com exposição de crostas lateríticas associadas a relevo suavemente ondulado; Compartimento II, região centro-oeste da área de estudo, coberta por latossolos em altitudes menores que 120 m e exposição de crostas lateríticas entre 120 e 150 m de altitude; Compartimento III, porção central da área com uma extensa área plana com altitudes de até 120 m com raras exposições de crostas lateríticas; e Compartimento IV, região leste coberta por latossolos com altitudes menores que 150 m e exposição de crostas lateríticas acima de 150m.

O cruzamento dos dados gamaspectrométricos (crostas lateríticas) com os dados aeromagnetométricos propiciou a identificação das possíveis rochas fontes das crostas lateríticas, havendo associação tanto com rochas com tendências mais magnéticas, relacionadas a litologias básicas quanto a rochas com tendências menos magnéticas, relacionadas a litologias félsicas. Por fim, o mapeamento do regolito contribuiu para a identificação de 8 unidades regolíticas presentes na área, sendo elas latossolos associados a relevo suavemente ondulado, latossolos argilosos associados a planícies sem a presença de morrotes e afloramentos de matações rochosos, latossolos arenosos associados a planícies com a presença de afloramentos de matações rochosos, morrotes e platôs, cambissolos associados a planícies, crostas lateríticas associadas a relevo suavemente ondulado, crostas lateríticas associadas a platôs, sedimentos aluvionares associados a planícies de inundação e afloramentos rochosos graníticos. Estes resultados mostraram-se úteis para interpretações geomorfológicas, assim como na identificação de áreas mais ou menos favoráveis para a agricultura, considerando sua respectiva fertilidade, e para a construção civil, considerando a utilidade do cascalho laterítico, podendo também contribuir em estudos voltados para o planejamento urbano/rural, por destacar a ocorrência de materiais superficiais assim como as respectivas formas de relevo associadas.

### **Abstract:**

Regolith mapping is widely used to understand aspects of the landscape evolution, mineral exploration, and hydrological features, being also useful to provide solutions to land and soil management, among other applications. The objective of this paper is to integrate multisource data in order to map the regolith, to get a better understanding of the distribution and the processes involved in landscape evolution. In morpho-pedogenetic terms, the area was divided in 4 compartments: Compartment I, northwest side, on the left margin of the Madeira river, covered by oxisols in altitudes between 80 and 110 m, with lateritic duricrusts exposed associated to undulated relief; Compartment II, central-east portion of the area, covered by oxisols located in altitudes below 120 m with lateritic duricrusts exposed between 120 m and 150 m of altitude; Compartment III, central region of the area, with oxisols with altitudes of up to 120 m, with rare exposition of lateritic duricrusts; and Compartment IV, east region covered by oxisols located in altitudes below 150 m with lateritic duricrusts exposed above 150 m of altitude. The crossing of the gamma spectrometric and aeromagnetometric data propitiated the identification of the possible source rocks that originated the lateritic duricrusts, having duricrusts associated to more magnetic rocks, related to basic lithology, and duricrusts associated to less magnetic rocks, related to felsic lithology. Finally, the regolith mapping helped to identify 8 regolith units, being clayey oxisols associated to undulated relief, clayey oxisols associated to plains without the presence of tors and hillocks, sandy oxisols associated to lateritic plateaus, inceptisols associated to plains, lateritic duricrusts associated to undulated relief, lateritic duricrusts associated to plateaus, alluvial sediments, associated to fluvial terraces and rocky outcrops. These results showed to be useful for geomorphic interpretations, as well as for the identification of favorable areas for agriculture, considering the corresponding fertility, and also for civil construction, considering the utility of lateritic gravel, being also useful as a support for the definition of studies for urban/rural planning, because it highlights superficial material, as well as the respective landforms.

### **1. Introdução**

O termo regolito está relacionado a todo material sobreposto à rocha sã. Neste sentido, a zona de alteração imediatamente sotoposta à rocha (saprolito), assim como a zona argilosa, mosqueada, a crosta laterítica, o solo sotoposto (pedolito), e todo e qualquer material resultante do processo de alteração da rocha submetido ou não aos processos de erosão, transporte e deposição, são constituintes do regolito. Outros exemplos incluem colúvio, alúvio, sedimentos evaporíticos, depósitos glaciares, acumulações orgânicas, depósitos eólicos etc. (SCOTT e PAIN, 2008).

O mapeamento do regolito é utilizado amplamente com o objetivo de compreender aspectos da evolução da paisagem (geologia, geomorfologia, solos etc.), exploração mineral, aspectos hidrológicos e qualquer outra atividade que possa contribuir com o entendimento dos problemas e soluções na gestão territorial e no manejo da terra e do solo (SCOTT e PAIN, 2008). 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, entre outros. Adicionalmente, os referidos autores afirmam que o estudo das crostas lateríticas permite a compreensão da evolução da paisagem em termos paleoclimáticos.

De acordo com Anand e Paine (2002), o mapeamento do regolito considera a integração de dados multifonte, tais como aerogeofísica, geoquímica, modelos digitais de elevação (altimetria), mapas geológicos, topográficos, geomorfológicos, de solos etc. O mapa final destaca, portanto, os materiais superficiais e sua relação com os três principais regimes: Residual, Ero-sional e Depositional (RED).

Na Austrália, por exemplo, o mapeamento do regolito é de grande importância, pois as rochas afloram em menos de 15% da área total do território, sendo amplamente coberto por regolito de espessura variável (SCOTT e PAIN, 2008). Similarmente, a Amazônia tem uma área extensa coberta por perfil laterítico (solos e crostas lateríticas), materiais constituintes do regolito, fazendo do referido mapa um produto útil e necessário para diversas aplicações.

Dessa forma, o objetivo do trabalho é integrar dados multifonte no intuito de mapear o regolito, buscando uma melhor compreensão da distribuição dos materiais regolíticos e dos processos modeladores da paisagem, dando ênfase às crostas lateríticas (plintossolos) e latossolos associados. Dentre os objetivos específicos destacam-se a cartografia inédita do regolito laterítico na porção norte do estado de Rondônia (extremo sul da Amazônia Brasileira); a descrição preliminar dos aspectos morfopedogenéticos e de vertentes com ênfase na importância das crostas lateríticas no modelamento da paisagem e a definição das suas prováveis rochas fonte baseado em dados geofísicos.

## **2. Localização, Geologia, Geomorfologia e Pedologia**

A área de estudo está localizada na porção norte do estado de Rondônia, entre as coordenadas geográficas de latitude  $-9^{\circ}9'0''$  e  $-8^{\circ}44'52''$  e longitude  $-64^{\circ}7'5''$  e  $-63^{\circ}18'00''$ , tem aproximadamente 4.000 km<sup>2</sup>, e envolve os municípios de Porto Velho, Candeias e Jamari. Os rios mais importantes da área são o rio Madeira, o rio

Candeias e o rio Preto do Candeias, e secundariamente o rio das Garças (Figura 1).

A área de estudo está localizada na porção sudoeste do Cráton Amazônico, nos domínios da Província Rondônia-Juruena, mais exatamente, no Domínio Jamari localizado na região centro-ocidental de Rondônia (QUADROS e RIZZOTTO, 2007). Este domínio é composto por tonalitos, quartzo-dioritos, granitos, anfíbolitos e rochas supracrustais subordinadas, com rochas ortoderivadas com idades entre 1,76 e 1,73 Ga (U-Pb). Na área deste trabalho, a unidade geológica mais antiga é o Complexo Jamari, constituído por quartzo-dioríticos 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, não cartografáveis em escalas de menor detalhe do que 1:100.000. Também ocorrem suítes intrusivas, tais como a Serra da Providência, constituída por sieno e monzogranitos, charnockito, mangerito, e rochas máficas associadas, com idades entre  $1606 \pm 24$  Ma (U-Pb), e  $1532 \pm 5$  Ma (U-Pb) (BETTENCOURT *et al.*, 1999); e a Suíte Intrusiva Santo Antônio, constituída por monzogranito grosso, equigranular a porfirítico e sienogranito com eventuais texturas rapakivi e anti-rapakivi. A idade de cristalização interpretada por Rizzotto e Quadros (2005) foi de  $1358 \pm 2$  Ma (U-Pb). A suíte intrusiva Teotônio ocorre de forma restrita, e é composta por granitos bandados, sienitos e sienogranitos com idades de cristalização de  $1387 \pm 16$  Ma (U-Pb) (TOSDAL *et al.*, 1995).

A unidade denominada coberturas detrito-lateríticas, regionalmente mapeada por Quadros e Rizzotto (2007), está composta por crostas lateríticas ferruginosas, com perfis completos ou não, e depósitos resultantes de seu desmantelamento. Na área de estudo também ocorre a unidade denominada coberturas sedimentares indiferenciadas igualmente mapeada pelos autores. Esta unidade, além de outros materiais, também apresenta crostas lateríticas. A primeira ocupa uma área de 10,72%, já a segunda ocupa 37,93% totalizando 48,65% da área de estudo, com ocorrência de perfis lateríticos. As crostas lateríticas sustentam grande parte do relevo, formando platôs em áreas onde a porção superior do perfil é mais endurecida e com maior incisão da drenagem. A porção superior dos perfis é, em geral, colunar/concrecionário. Nas encostas aflora a parte intermediária dos perfis lateríticos, caracterizada por horizonte mosqueado parcialmente coberto por colúvios/alúvios areno-argilosos.

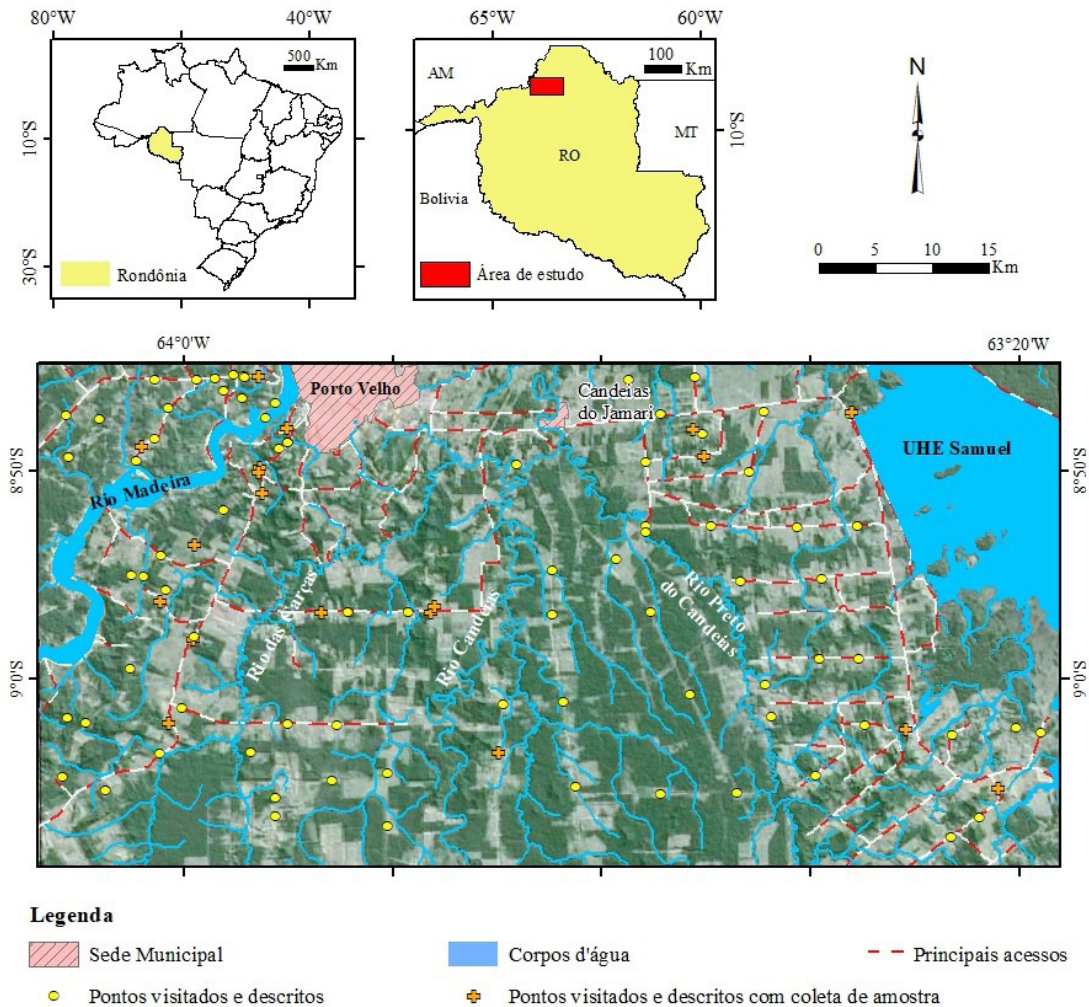


Figura 1 – Mapa de localização da área e respectivos pontos visitados e de coleta de amostras. Imagem Google Earth (2015) sobreposta ao relevo sombreado.

Em termos geomorfológicos, a área de estudo apresenta dois domínios diferentes: a) margem direita do Rio Madeira, de dissecação homogênea com formas de relevo de topos tabulares, com densidade de drenagem muito baixa em altitudes entre 120 e 200 m; b) margem esquerda do rio Madeira, de dissecação homogênea com relevo suavemente ondulado de topos convexos, esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente em sedimentos, com densidade de drenagem baixa, e altitudes entre 80 e 110 m.

Em termos pedológicos, a área está coberta por uma variedade de latossolos, desde latossolos vermelhos eutróficos, passando por latossolos vermelho-amarelos distróficos, até latossolos amarelos distróficos, em grande parte com crostas lateríticas associadas. Essas crostas formam platôs de acordo com Herrera *et al.* (2016a) e ocorrem em altitudes acima de 120 m.

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1 Dados Aerogeofísicos

Os dados de aerogeofísica (gamaespectrometria e magnetometria) foram aqueles adquiridos pela FUGRO para a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) no projeto Rondônia Central (CPRM, 2010). Na gamaespectrometria são medidas as concentrações de potássio e series de radioisótopos de urânio e tório em profundidades de até 45 cm (GREGORY e HORWOOD, 1961; DICKSON e SCOTT, 1997). Na magnetometria são medidas as variações na intensidade no campo magnético terrestre (REITZ e MILFORD, 1966).

Dados de aerogeofísica para a identificação de materiais regolíticos têm sido usados por outros autores, tais como Wilford *et al.* (1997, 2012), Carrino *et al.* (2011), Iza *et al.* (2016), Herrera *et al.* (2017),

Iza *et al.* (2018), Albuquerque (2018), Herrera (2019), Albuquerque, *et al.* (2020), Iza *et al.* (2020), entre outros. Wilford *et al.* (1997) identificou materiais regolíticos integrando dados de aerogeofísica e dados de altimetria para Austrália. O autor afirma que os dados de gamaespectrometria são bem entendidos quando são relacionados a rochas, porém, a resposta gamaespectrométrica é menos conhecida quando relacionada a regolitos. 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.

Wilford *et al.* (2010) desenvolveu o índice de intensidade de intemperismo para Austrália, permitindo assim um melhor entendimento do regolito. Por sua vez, Iza *et al.* (2016) identificou superfícies de aplanamento por meio da identificação de áreas com potencial para a ocorrência de crostas lateríticas utilizando dados gamaespectrométricos.

Os dados gamaespectrométricos do projeto Rondônia Central (CPRM, 2010) foram usados por Herrera *et al.* (2017) para a identificação de áreas potenciais para a ocorrência de crostas lateríticas, enquanto que os dados de aeromagnetometria foram utilizados nesse trabalho com o objetivo de se avaliar a origem das crostas lateríticas (fontes mais ou menos magnéticas). Para esse fim, utilizou-se o gradiente total que permite o posicionamento de corpos magnéticos, pois compreende uma função simétrica em que os picos do gradiente total estão centrados nas bordas das anomalias magnéticas segundo Nabighian (1972, 1974) e Roest *et al.* (1992). Dessa forma, o gradiente total foi dividido em duas classes: menos magnético contendo os dados com sinal menos intenso, indicando rochas menos magnéticas; e mais magnéticos contendo os dados com gradiente total mais intenso, 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 obtida. Os dados geofísicos foram tratados inicialmente usando o software Oasis Montaj 9.2 (Geosoft) com apoio do Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

### 3.2 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.

Na etapa de campo foram visitados e descritos 100 pontos escolhidos de acordo com aspectos representativos relacionados a geologia (rocha), geomorfologia (feições geomorfológicas) e pedologia (exposição do perfil etc.). Esses pontos foram distribuídos em toda a área de acordo com a Figura 1. As descrições focaram no tipo de perfil (residual ou transportado) e nos seus respectivos materiais constituintes (solos, rocha etc.). Em 19 desses pontos, com perfis residuais mais representativos, foram coletadas amostras para descrição macroscópica onde se avaliaram estrutura, textura etc.

Adicionalmente, os dados utilizados para o mapeamento do regolito incluíram, além das fontes supracitadas, os dados de Herrera *et al.* (2017), que identificaram 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 presentes no mapa. O procedimento de integração dos dados foi realizado em ambiente SIG utilizando o software ArcGIS 10.3 da ESRI (licença corporativa) com apoio do Serviço Geológico do Brasil.

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: Residual, Erosional e Depositional, 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 de um mapa RTMAP é possível reclassificar as unidades para o sistema RED, devido à informação detalhada no 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 – Serviço Geológico da Austrália Ocidental). Desse modo, as unidades observadas foram divididas nos seguintes grupos: a) regolito *in*

*situ*, que inclui solos residuais e crostas lateríticas assim como saprólito; b) regolito transportado, que inclui, na escala utilizada, depósitos aluvionares; e c) Embasamento rochoso que inclui afloramentos rochosos.

Assim, para a realização do mapa, considerou-se a revisão mais recente da nomenclatura do regolito, onde as unidades contêm um código primário que representa o ambiente/processo, um código secundário que representa o tipo do regolito 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). Por exemplo, a sigla AFRs<sub>0</sub> corresponde a planície de inundação, composto por areias com grau de endurecimento 0 (material inconsolidado). A Figura 2 mostra os procedimentos seguidos e os materiais utilizados neste trabalho.

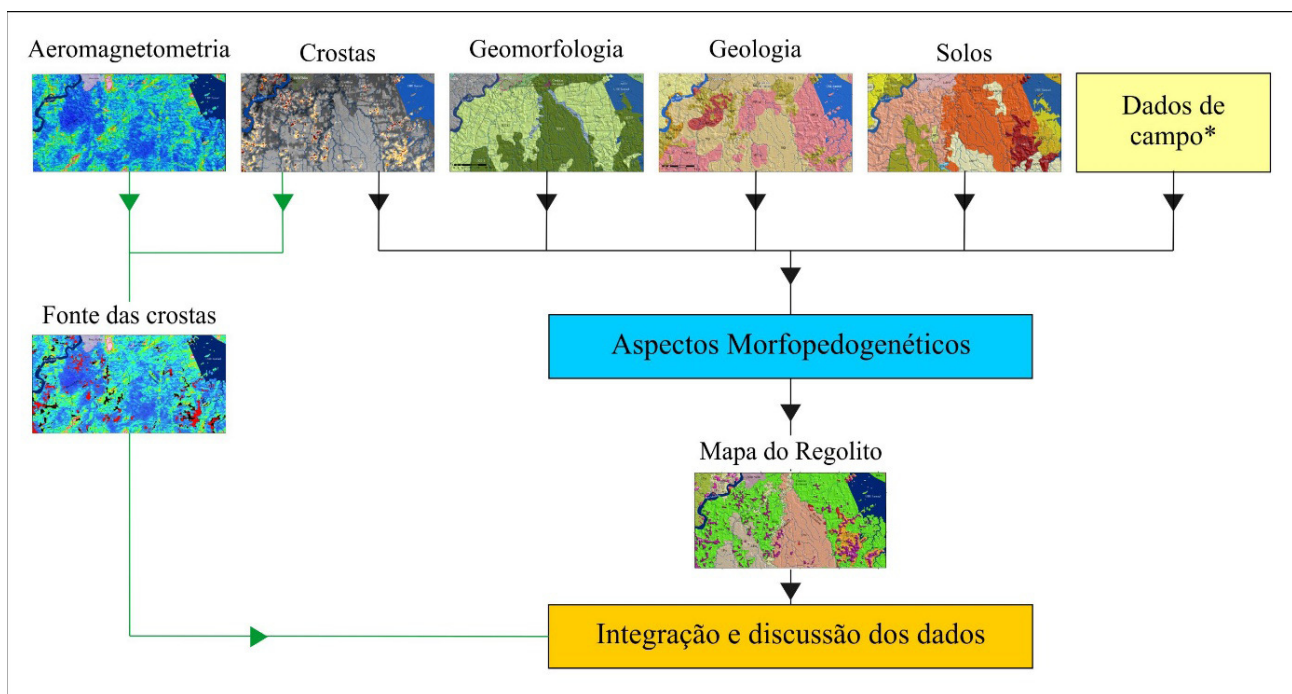


Figura 2 – Fluxograma de procedimentos realizados nesse trabalho. \*Descrição de afloramentos, paisagem, relevo etc.

## 4. Resultado

### 4.1 Aspectos Morfopedogenéticos

De modo geral, as atividades de campo permitiram a descrição não apenas dos solos (latossolos, cambissolos), mas de todo o perfil laterítico e seus respectivos horizontes subjacentes. 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 classificados como

imaturos por não apresentarem horizonte aluminoso. Quadros e Rizzoto (2007), Oliveira e Costa (2006), Castro (2015), Iza *et al.* (2016) 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; KOTCHOUBEY *et al.*, 2005; QUADROS e RIZZOTTO, 2007).

Dentre os principais horizontes descritos, destacam-se o pisolítico/nodular, o horizonte colunar, horizonte mosqueado e saprólito. Na área de estudo, o horizonte nodular/pisolítico (Figura 3A), localizado na porção superior do perfil, é composto por cascalho laterítico (nódulos e pisólitos) formados a partir da desagregação física das crostas subjacentes. A composição predominante é de óxidos e Oxi-hidróxidos de ferro e subordinadamente de hidróxidos de alumínio suportados por matriz argilosa. Em alguns afloramentos este horizonte encontra-se coberto por latossolos. De acordo com Horbe e Costa (1997, 1999, 2005), a imposição de regime permanentemente úmido traz como consequência 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 que a forte atuação de um clima úmido e quente na área estudada, resultou no desmantelamento do topo das crostas formando horizontes concrecionários e solos associados.

A crosta laterítica (horizonte ferruginoso colunar) (Figura 3B), nos perfis completos, ocorre imediatamente abaixo do horizonte pisolítico/nodular, é composta por material vertical a subvertical endurecido constituindo estruturas colunares 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-hidróxidos de ferro similar ao horizonte pisolítico/nodular.

O horizonte mosqueado está localizado logo abaixo do horizonte ferruginoso colunar. É pouco expressivo na área de estudo, não cartografáveis em escalas de menor detalhe do que 1:100.000, e está constituído por material argiloso. Sua principal característica é a presença de manchas avermelhadas de material ferroso cercadas por argila esbranquiçada. 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, não identificadas neste trabalho.

O saprólito, pouco expressivo na área de estudo, está localizado na parte inferior do perfil e é constituído pela rocha com avançado grau de alteração. Na área

de estudo observou-se, nas cercanias de Porto Velho, raros afloramentos de saprólito de rocha granítica onde notaram-se cristais de feldspato em avançado estágio de caulinição, e matriz totalmente alterada com raros veios de quartzo preservados, de espessura de cerca de 10 cm.

De forma geral, as crostas lateríticas apresentam forte resistência à erosão e são responsáveis pelo controle topográfico da área, ocorrendo nos topos dos platôs, especialmente na margem direita 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 leste da área. Dantas e Adamy (2010), corroborando os resultados supracitados, 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 “courças lateríticas” e que desempenham importante função na manutenção desta feição geomorfológica (NASCIMENTO, 2011).

Em nível de afloramento, as crostas lateríticas da área apresentam frequentemente basculamento de 45°, efeito que pode ser o resultado de parte dos movimentos verticais e horizontais derivados de neotectônica, Figura 4. Guerra (1952 e 1953), também 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 acima do atual nível base, assim como o encaixe de drenagens, evidenciam o papel da neotectônica na área de estudo.

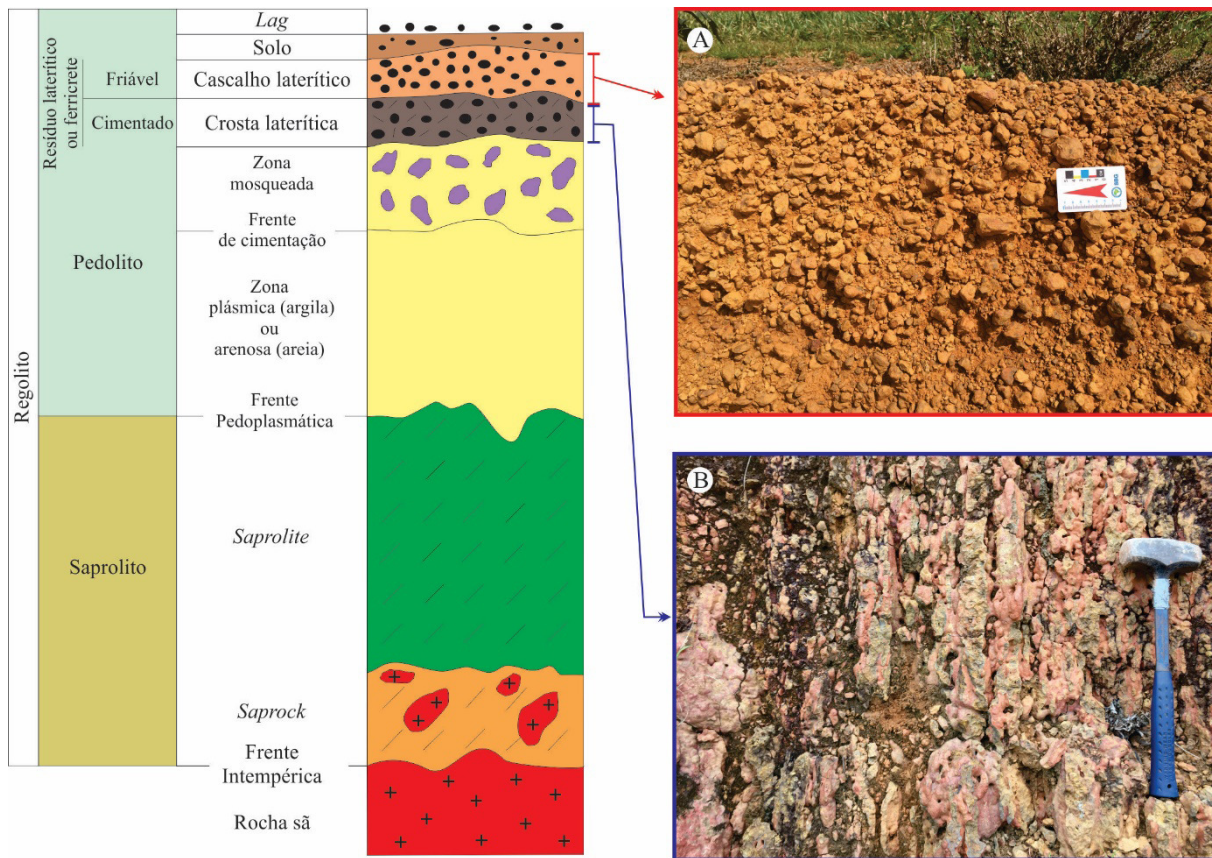


Figura 3 – Perfil laterítico completo típico da área de estudo, destacando os diversos horizontes. A) Horizonte pisolítico/nodular (cascalho laterítico), e B) Crostas lateríticas (horizonte de estrutura colunar). Modificado de Anand and Butt (1988); Anad et al. (1989); Eggleton (2001).

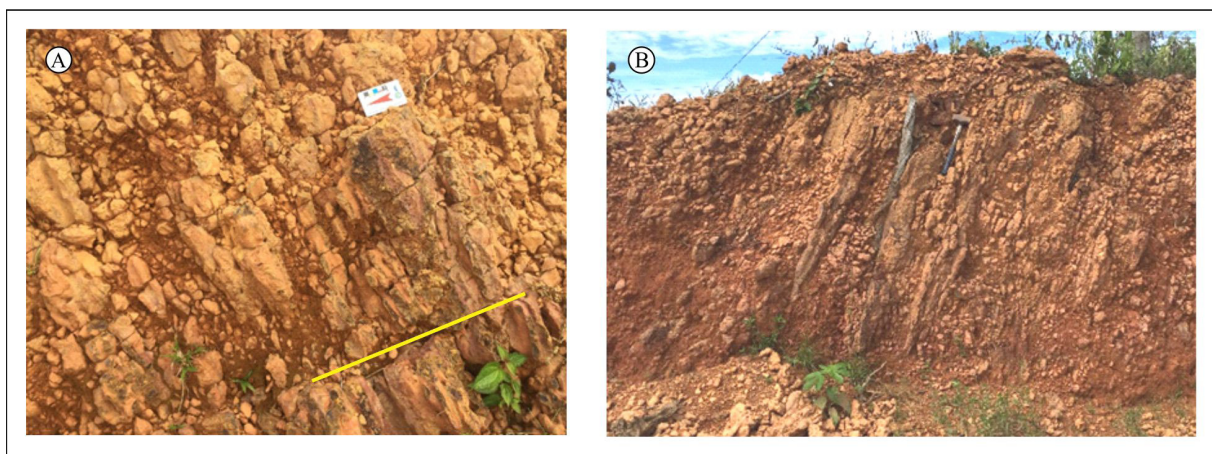


Figura 4 – Perfil laterítico A) Crosta laterítica com colunas incluídas e fraturadas. B) Crosta laterítica com evidências de basculamento.

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) a qual constitui extenso domínio

aplainado e conservado, com trechos de dissecação suaves, dando origem a interflúvios tabulares.

A avaliação geomorfológica realizada neste trabalho considerou inicialmente as feições observadas e localização em relação ao rio Madeira. 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 com densidade de drenagem baixa. O material em superfície está composto principalmente por latossolos amarelos, além de exposição de crostas lateríticas. Nas adjacências do rio Madeira há frequentes depósitos de origem fluvial, representados por sedimentos arenosos e argilosos. 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, não representando de forma plena as ocorrências de crostas lateríticas, identificadas nesse trabalho.

Para a margem direita do rio Madeira, as unidades mais destacadas, estão localizadas entre 80m e 200 m de altitude, e têm dissecação baixa e com densidade de drenagem muito baixa. Essa região foi descrita por IBGE (2013) como Depressão de Porto Velho, que está representada por áreas de dissecação homogênea e tabulares. Essas últimas feições estão fortemente associadas aos platôs lateríticos descritos neste trabalho. Por sua vez, na margem direita do rio Madeira, Rondônia (2002), não destaca a presença de platôs nem de couraças ferruginosas.

A porção centro-oeste (oeste do rio Candeias e leste do rio Madeira) constitui um domínio com feições geomorfológicas particulares. É caracterizada por região plana com altitudes de até 120 m, coberta por latossolos amarelos e vermelho-amarelos argilosos e francos bem drenados e cambissolo. Há presença de feições sobressalentes (platôs, morrotes e afloramentos de matações rochosos) que podem alcançar 150 m de altitude (diferença altimétrica de até 30 m). Essas feições são cobertas por material laterítico e apresentam vertentes com ângulos entre 15° e 25°.

A porção central da área, localizada entre os rios Candeias e rio Preto do Candeias, constitui extenso domínio plano coberto por latossolos vermelho-amarelos argilosos bem drenados, com esporádica presença de *inselbergs* e afloramentos de matações rochosos e rara exposição de platôs lateríticos, especialmente localizados a leste do rio Candeias.

Por fim, na região a leste do rio Preto do Candeias (domínio leste da área de estudo) observa-se uma

área plana, coberta por latossolos vermelho-amarelo argilosos e francos e vermelho escuros argilosos e ligeiramente pedregosos, com altitudes abaixo de 150 m. Há ocorrências de pequenos afloramentos rochosos (20 x 20 m), e pequenas colinas associadas e frequente presença de platôs lateríticos com altitudes de até 200 m (diferenças altimétricas de até 50 m), apresentando densidade de drenagem muito baixa. As vertentes são mais expressivas neste domínio com ângulos de cerca de 25° onde por vezes aflora material laterítico.

Esse último domínio apresenta feições geomorfológicas similares àquelas da porção centro-oeste da área (entre os rios Madeira e Candeias), sendo elas diferenciadas apenas pelas altitudes de exposição dos platôs lateríticos. Em termos pedológicos, os dois domínios apresentam material similar, diferenciando apenas a presença de latossolos vermelhos escuros na porção leste da área de estudo.

É na margem direita onde estão localizadas as vertentes mais proeminentes da área de estudo (domínios centro-oeste, entre os rios Madeira e Candeias e leste do rio Preto do Candeias). Elas estão associadas aos platôs lateríticos com desníveis de até 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 25°, onde aflora material laterítico, horizonte mosqueado, ou há a presença de colúvio, por vezes composto por resíduos das crostas lateríticas. As regiões de concavidade estão normalmente cobertas por material de colúvio, latossolos, rochas aflorantes etc.

Os resultados de Herrera *et al.* (2016b) destacam altos valores das razões eTh/K e eU/K e valores de K próximos a zero para as crostas lateríticas localizadas nas proximidades de Porto Velho associadas a platôs com altitudes acima de 120 m, e para as crostas lateríticas localizadas na margem esquerda do rio Madeira. Por sua vez, quando o material aflorante nas encostas ou nas concavidades é de crosta laterítica, seja colunar ou desmantelada, as respostas gamaespectrométricas são similares às descritas anteriormente. Já para os afloramentos rochosos, as respostas são diferentes, tendo altos valores de eTh, eU e K quando com tendências ácidas e valores baixos de eTh, eU e K quando com tendências básicas (Figura 5).

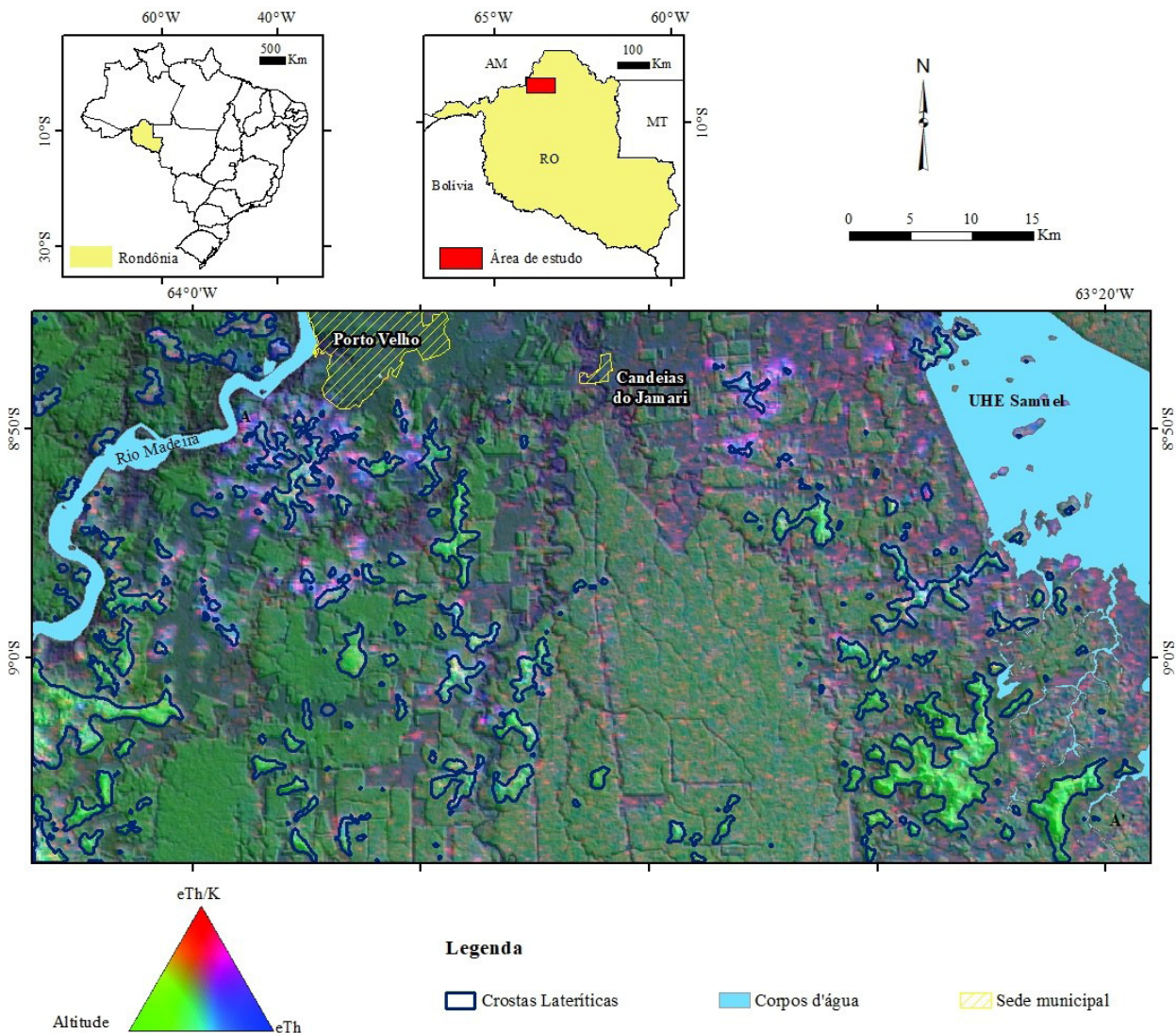


Figura 5 – Mapa de padrões de resposta gamaespectrométrica sobreposto ao relevo sombreado, destacando o padrão para a ocorrência de crostas lateríticas com contorno azul escuro. Modificado de Herrera et al. (2016b). Dados gerados a partir do Projeto Aerogeofísico Rondônia Central (CPRM, 2010).

Notadamente, as crostas lateríticas e latossolos associados à convexidade das vertentes, apresentam maiores valores de  $eTh$ ,  $eU$  e menores valores de  $K$ . Por sua vez, os latossolos associados à superfície plana (120 m de altitude), vinculados à concavidade das vertentes, têm maiores valores de  $K$  e intermediários de  $eTh$ . Outro padrão de resposta diferente é relacionado aos cambissolos que apresentam valores intermediários de  $K$  e baixos valores de  $eTh$  e  $eU$ , também normalmente presentes nas áreas de concavidades das vertentes. De acordo com Vieira (1975) este solo tem horizonte B incipiente (horizonte câmbico) não hidromórfico, apresentando certo grau de desenvolvimento, porém não o

suficiente para decompor completamente os minerais primários de fácil intemperização. Apesar de apresentar o material originário já bastante alterado, não possuem acumulação em quantidade significativa de óxido de ferro, argila e húmus para serem considerados como solos com B argílico, fato que provavelmente justifica o seu padrão gamaespectrométrico.

A Figura 6 representa um modelo com a integração dos resultados apresentados por Herrera *et al.* (2016a), por Herrera *et al.* (2016b) e por este trabalho, destacando os aspectos relacionados às vertentes, os principais materiais constituintes e os padrões de resposta gamaespectrométricos associados.

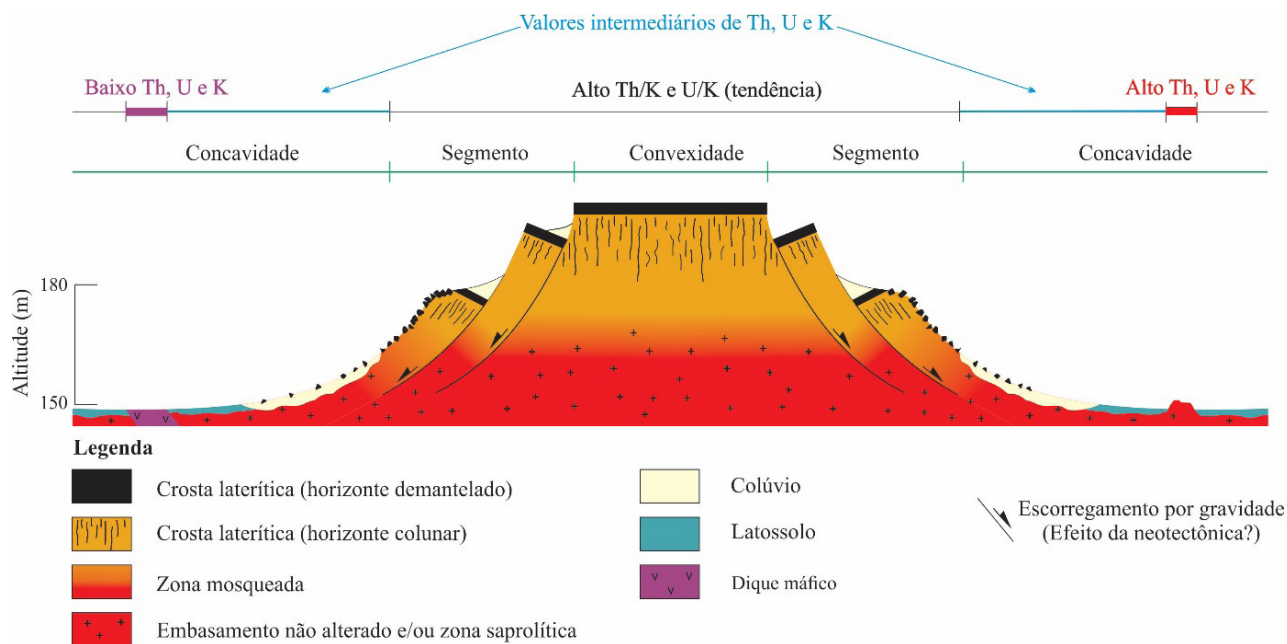


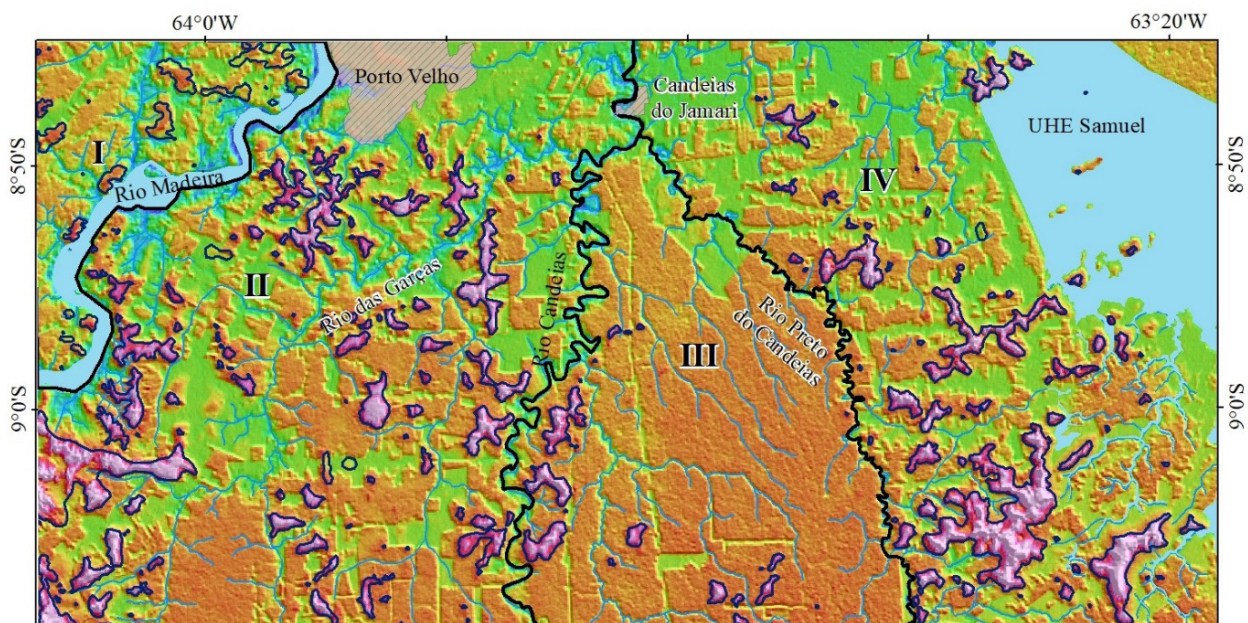
Figura 6 – Modelo de vertente da porção sudeste da área evidenciando os aspectos pedológicos (regolito) e gamaespectrométricos. Modificado de Taylor e Eggleton (2001) e Christofolletti (1980).

Os resultados apresentados acima (aspectos pedológicos, geomorfologia, aerogamespectrometria e altimetria), em conjunto com as descrições de campo, associadas aos domínios com características particu-

lares, permitiram dividir a área de estudo em quatro principais compartimentos morfopedogenéticos, tal como mostrado na Tabela 1:

**Tabela 1: Compartimentos morfopedogenéticos.**

Compartimento	I	II	III	IV
Límites	Entre o limite oeste da área e rio Madeira	Entre os rios Madeira e Candeias	Entre os rios Candeias e Preto do Candeias	Entre o rio Preto do Candeias e limite leste da área
Relevo	Suavemente ondulado	Planície com platôs lateríticos	Planície	Planície com platôs lateríticos
Altitudes	80-110 m	Planície: <120m Platôs: 120-150m	<120m	Planície: <150m Platôs: 150-180m
Feições sobres-salentes	-	Platôs	Raros <i>inselbergs</i> e afloramentos de matações rochosos	<i>Inselbergs</i> , morrotes e platôs
Material aflorante	Latossolos amarelos, depósitos fluviais e crostas lateríticas.	Planície: Latossolos amarelos e vermelho-amarelos, cambissolos Platôs: crostas lateríticas	Latossolos amarelos e vermelho-amarelos	Planície: Latossolos vermelho-amarelos e vermelho escuro Platôs: crostas lateríticas
Crostas lateríticas	Associadas a relevo suavemente ondulado	Associadas a platôs	Raras exposições associadas a platôs	Associadas a platôs
Diferenças altimétricas	-	30 m	-	50 m
Densidade de drenagem	Baixa	Muito baixa	Baixa	Muito baixa
Vertentes	Sem vertentes (<5°)	15 – 25°	Sem vertentes (<5°)	25°



**Legenda**

— Limites dos compartimentos morfopedogenéticos

**Compartimento I** - Região de relevo suavemente ondulado, com altitudes entre 80 e 110 m, com presença de afloramentos de crostas lateríticas, limitado a leste pelo rio Madeira. O padrão de drenagem observado é do tipo dendrítico.

**Compartimento II** - Região plana, com altitudes de 120 m, com exposição de crostas lateríticas associadas a platôs que têm diferenças de altitudes de até 30 m, limitada pelo rio Candeias a leste e pelo rio Madeira a Oeste. O padrão de drenagem observado é do tipo retangular.

**Compartimento III** - Região plana, limitada a leste pelo rio Preto do Candeias e a oeste pelo rio Candeias, com altitudes menores que 120 m, com raras exposições de crostas lateríticas. O padrão de drenagem observado é do tipo paralelo.

**Compartimento IV** - Região plana, limitada a oeste pelo rio Preto do Candeias, com altitudes menores que 120 m, com exposição de crostas lateríticas acima de 150 m de altitude. O padrao de drenagem observado é do tipo radial centrifugo.

□ Crostas Lateríticas

▨ Sede municipal

■ Corpos d'água

— Drenagens

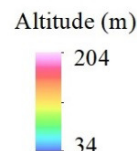


Figura 7 – Mapa da área destacando os diferentes compartimentos morfopedogenéticos sobreposto ao modelo digital de elevação (SRTM).

**4.2 Aspectos Magnetométricos e Geológicos**

A aeromagnetometria auxiliou na avaliação do tipo de rochas fonte associadas às crostas lateríticas, pois ela reflete informações magnetométricas dos materiais em profundidade. Os níveis de intensidade de magnetismo (altos e baixos) foram associados a rochas mais ou menos magnéticas (tendências mais básicas, associadas a materiais com granitoides; ou ácidas associadas a materiais como diabásio/basaltos, respectivamente). A Figura 8 representa o gradiente total 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 regiões com tons rosa e verde destacam corpos máficos, alguns em forma alongadas, sugerindo a presença de diques.

Na mesma imagem observa-se a sobreposição das áreas potenciais para ocorrência de crosta laterítica identificadas por Herrera *et al.* (2017) com o gradiente total. 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.

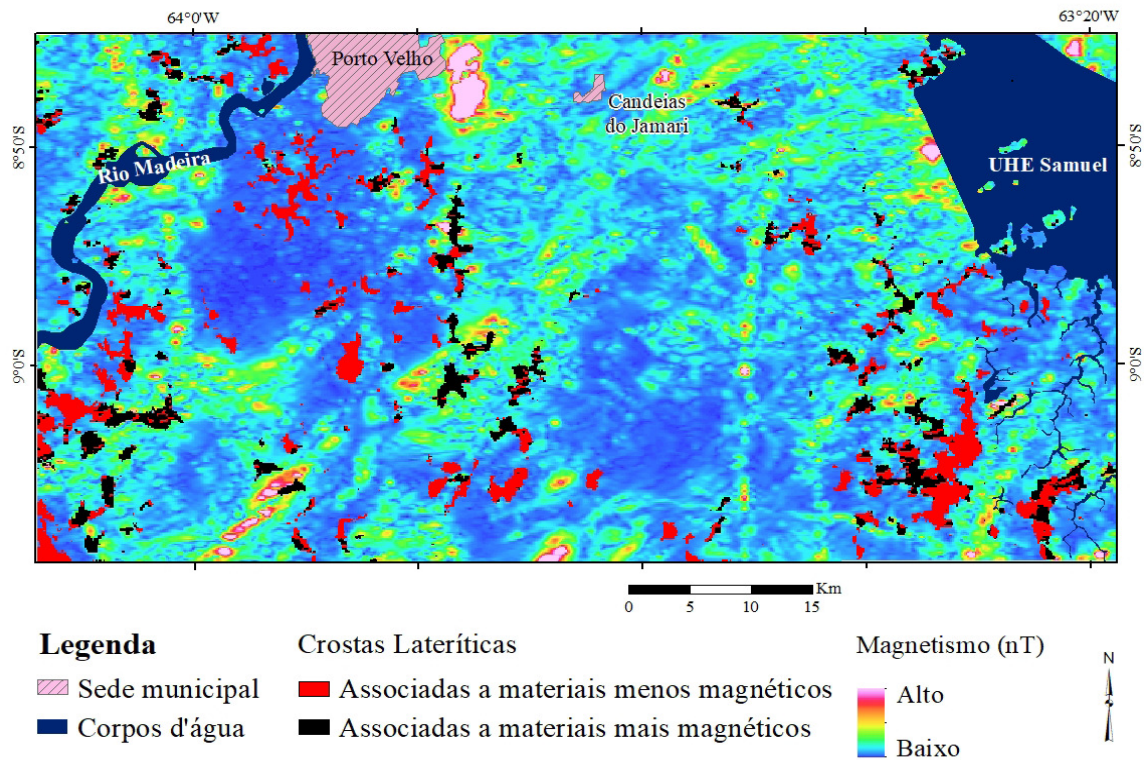


Figura 8 – Mapa das crostas identificadas por Herrera et al. (2017) sobrepostas ao gradiente total. Dados gerados a partir do Projeto Aerogeofísico Rondônia Central (CPRM, 2010).

### 4.3 Mapa do Regolito

No mapeamento do regolito foram identificados 8 materiais representados por uma variedade de latossolos, cambissolos, crostas lateríticas, rocha e sedimentos aluvionares. A maior parte da área está coberta por latossolos divididos em latossolos amarelos, vermelho-amarelos e vermelhos escuros.

O regolito *in situ* está representado por unidades do embasamento com diferentes níveis de intemperismo: embasamento altamente intemperizado, representado por perfis lateríticos completos ou truncados, assim como por solos variando desde cambissolos húmicos até diferentes

variedades de latossolos, já especificados anteriormente, por vezes associados às crostas lateríticas subjacentes; aos principais rios da região. O embasamento pouco ou nada intemperizado é representado por afloramento rochoso de granitos. 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 regolito, 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.

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 afloramentos de matacões rochosos e morrotes.	EP	Areias e argilas	sc	Material muito endurecido	3
Planície erosional com afloramentos de matacões rochosos e morrotes.	EX	Solo residual	rt		
Afloramento rochoso	X				

As unidades representadas no mapa do regolito estão descritas a seguir:

- UPrt<sub>0</sub>: 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<sub>0</sub>: Latossolos vermelhos escuros (LVd), amarelos (LA) vermelho-amarelos (LVA) constituídos por materiais francos e argilosos, distróficos e, no geral, bem drenados. Estão localizados nas regiões centro-oeste (nas proximidades de Porto Velho) e sudeste, e no nordeste, próximo à hidrelétrica de Samuel. Neste domínio ocorrem ainda afloramentos de matações rochosos e morrotes que sobressaem em uma superfície plana com altitudes de 120 m constituindo a mais expressiva superfície da área, em termos de extensão.

- EPrt<sub>0</sub>: 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 superfície plana com altitudes de 120 m onde não foram observados *inselbergs*, afloramentos de matações rochosos e/ou morrotes.

- EPc<sub>0</sub>: 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 até 120 m, não foram observados *inselbergs*, afloramentos de matações rochosos ou morrotes.

- PTdc<sub>3</sub>: 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 45°, especialmente aquelas localizadas na margem direita do rio Madeira. Estão associadas a platôs com diferenças altimétricas de até 50 m, variando sua exposição entre 120 até 180 m de altitude.

- UPdc<sub>3</sub>: 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<sub>0</sub>: Sedimentos aluvionares associados, em grande parte, aos principais rios da região, tais como o Rio Madeira e seus afluentes, Rio das Garças e 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 8 mostra alguns dos principais materiais observados em campo e representados no mapa do regolito. A integração multifonte permitiu a confecção do mapa do regolito seguindo, de forma geral, os procedimentos propostos por Anand e Paine (2002). Desse modo, o mapa do regolito (Figura 9) permitiu a visualização dos materiais em superfície (Figura 10) e sua relação com a geomorfologia da área.

#### 4.4 Aspectos Preliminares do Uso e Ocupação da Terra

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. Milton Santos (2004, 2006) propõe a avaliação da configuração territorial e as relações sociais. Christofolletti (1980) afirma, neste mesmo sentido, que há necessidade de integrar os resultados do espaço físico com aspectos socioeconômicos. Assim, o mapa do regolito, além das informações de materiais expostos (formações superficiais) contém simultaneamente informações sobre a geomorfologia, que pode auxiliar 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 11 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.

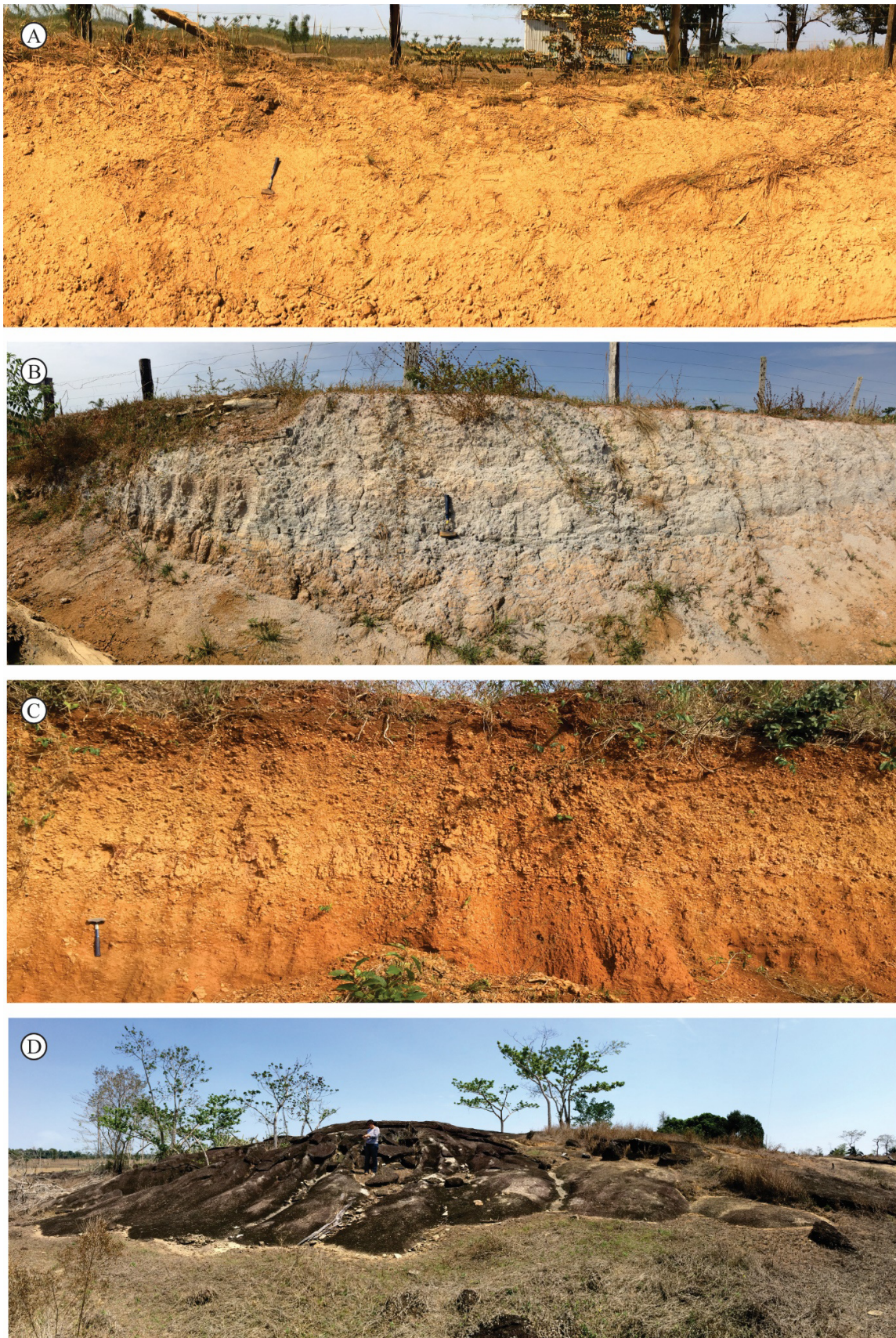


Figura 10 – Alguns dos principais constituintes do regolito observados em campo: Latossolo vermelho (A), latossolo amarelo (B) crosta laterítica (C). Embasamento rochoso (D).

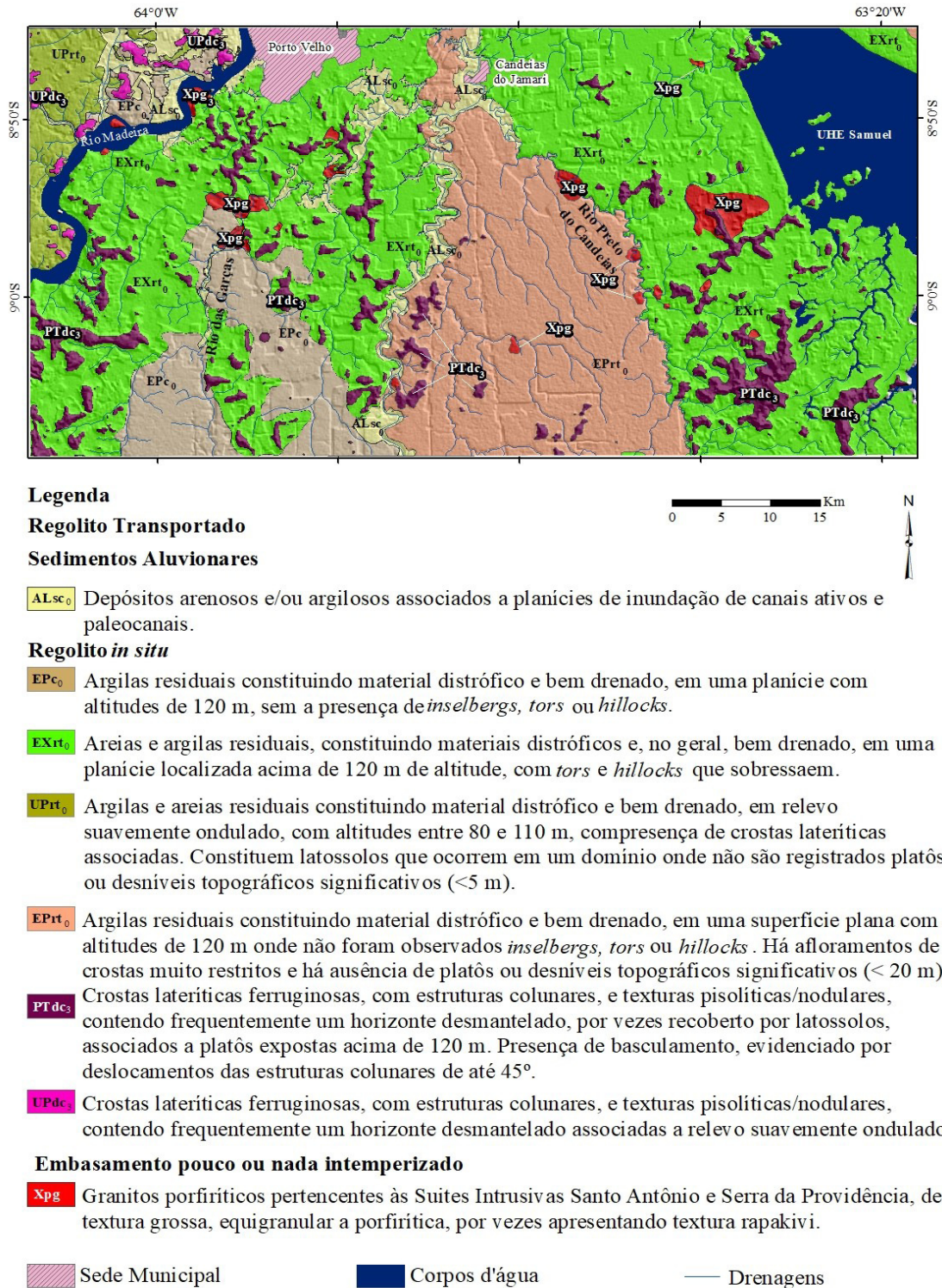


Figura 9 – Mapa do regolito confeccionado a partir da integração das bases geológica (QUADROS e RIZZOTTO, 2007), geomorfológica (RONDÔNIA, 2002), de solos (RONDÔNIA, 2002), e aerogeofísica (CPRM, 2010) com o suporte dos dados de campo.

Por outro lado, 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 materiais endurecidos). Além das condições do solo, a própria estruturação geomorfológica dificulta a utilização de maquinaria em áreas com desniveis topográficos notáveis, como é o caso dos platôs lateríticos da



área. Essas áreas deveriam ser 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 11, 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. Assim, fica evidente a necessidade de ter um mapeamento e 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. É importante destacar que todo aproveitamento e eventual exploração devem estar respaldados pelos aspectos legais e em equilíbrio com o meio ambiente.

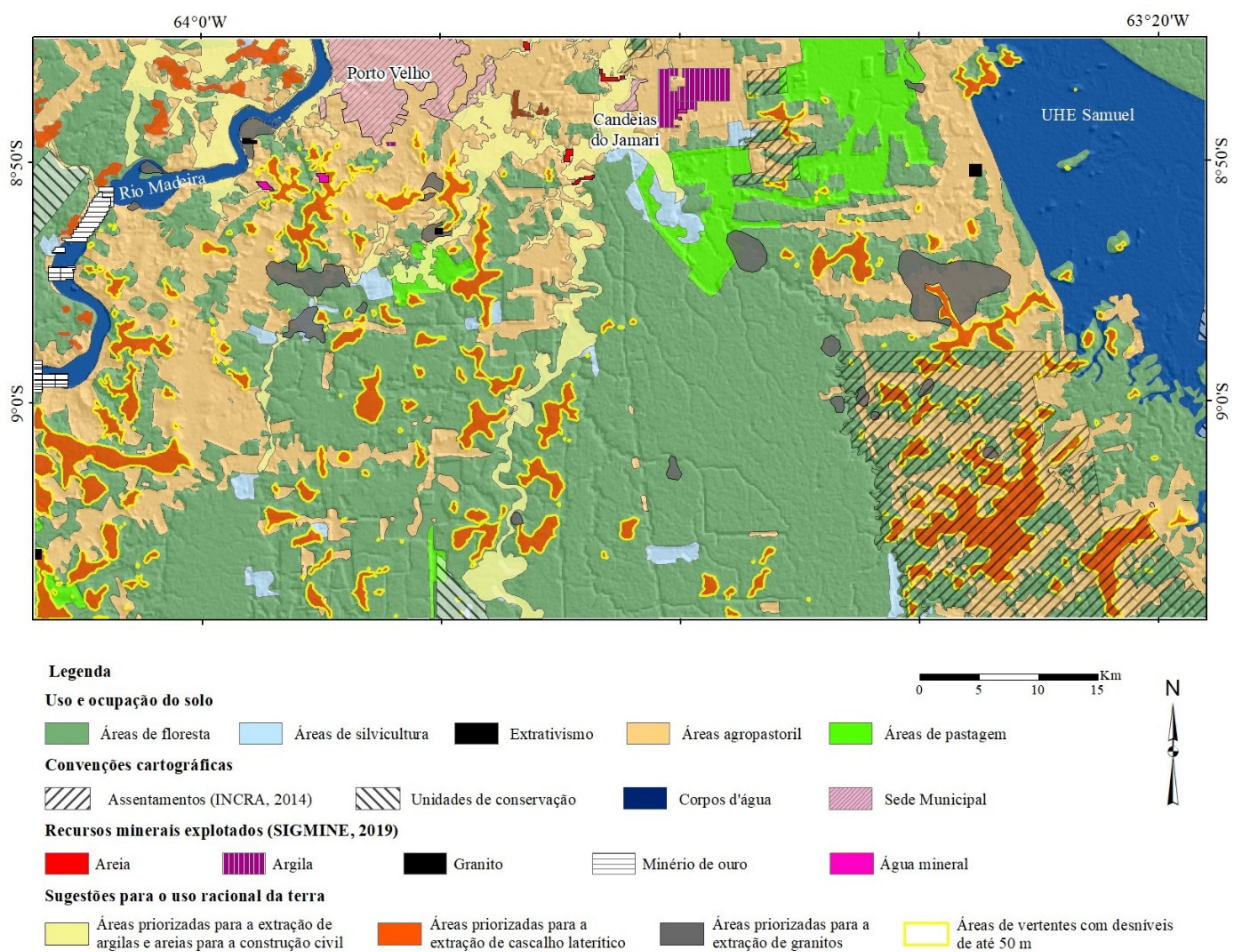


Figura 11 – Mapa de uso e ocupação do solo com priorização de áreas de acordo com o seu uso racional, adaptado de Rondônia (2002).

## 5. Discussão dos Dados

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 e planícies com presença de crostas lateríticas (colunar, horizonte desmantelado), latossolos e cambissolos. 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 têm no geral dimensões que variam desde poucos metros a poucas dezenas de metros, em alguns casos, formando morrotes e afloramentos de matacões rochosos e em escala de afloramento ocorrem sob a forma de matacões e por vezes em lajedos.

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 têm inclinações médias de cerca de 15° especialmente nos compartimentos morfopedogenéticos II e IV. Nos compartimentos I e III as vertentes são inexistentes ou inexpressivas.

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 da cidade de Porto Velho para sul, implicará em habitações em áreas com desníveis locais importantes (até 50 m), ampliando assim as atuais áreas de risco mapeadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SILVA e MENDONÇA, 2016).

Os dados gamaespectrométricos destacam altas razões Th/K e U/K nos topos dos platôs (Figura 6)

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 discriminam os seus materiais constituintes (crostas lateríticas, solos etc.).

As áreas mapeadas como de alto potencial para a ocorrência de crostas lateríticas (altas razões Th/K e U/K), sobrepostas aos dados magnetométricos (gradiente total), indicaram que elas têm fontes derivadas de rochas com alta e baixa intensidade magnética, com prevalência desta última, indicando fontes com tendências fêlsicas. 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) e invariavelmente encostas côncavas. Esses corpos, como afirmado anteriormente, têm 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.

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. 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 caulínicas 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 ratificando 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<sup>2</sup>, 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<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 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.

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 (crostas lateríticas) têm potencial entre médio e baixo para agricultura e apresentam 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 Jari) 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, adjacente à porção oeste da área de estudo. O mapeamento do regolito permitiu a identificação dessas situações indesejáveis, mostrando mais uma vez a utilidade do referido mapa no planejamento rural e urbano.

## **6. 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 incluem a descrição dos perfis lateríticos, dos aspectos morfopedogenéticos e altimétricos da área de estudo, cartografia inédita do regolito laterítico no norte do Estado de Rondônia e discussão e contribuições do mapa do regolito sobre os aspectos de uso e ocupação do solo.

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 ou ao relevo. 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 têm 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 avaliação da água subterrânea, os teores desses elementos e o impacto à saúde humana local, tais como, os índices de câncer e outras doenças.

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, aplicados à engenharia civil.

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.

## Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pela concessão da bolsa de Doutorado ao primeiro autor do trabalho. E.P. Filho agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa. Agradecemos ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM, departamento DISEGE, por disponibilizar parte dos dados usados nesta pesquisa e apoio aos trabalhos de escritório.

## Referências Bibliográficas

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; SOARES, T.M.; SOUSA, E.M.D.; IZA, E.R.H.F. Airborne radiometric data for identifying lateritic surfaces in southwestern Amazonia, Brazil. **Journal of Applied Geophysics**.175, 2020. DOI: 10.1016/j.

jappgeo.2020.103989.

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

BETTENCOURT, J.S.; TOSDAL, R.M.; LEITE JR., 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.

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

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.

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.

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.

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.

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

- COSTA, M.L. 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.
- 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; Prospectores Aerolevantamentos e Sistemas, 27 v. 1, 2010.
- DANTAS, M.E.; ADAMY, A. Compartimentação Geomorfológica. In: Adamy, A. (Org). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho. CPRM, p. 37-54, 2010.
- 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.
- 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.
- EGGLETON, R.A. **The Regolith Glossary**, CRC LEME Perth, 2001.
- 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.
- 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.
- 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.
- HERRERA, I.L.I.E. **Utilização de Dados Altimétricos, Geomorfológicos e Gamaespectrométricos para a Identificação de Crostas Lateríticas em uma área da Porção Norte do Estado de Rondônia**. 2016. Dissertação (Programa de 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)
- HERRERA, I.L.I.E. **Geomorfologia, Morfopedologia e Mapeamento do Regolito no Norte do Estado d Rondônia**. 2019. Tese (Programa de Pós-graduação em Geografia) – Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho.
- 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.
- 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>
- 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, 2016. Doi: 10.1016/j.geoderma.2016.01.037

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>.

IZA, E.R.H.F.; SANTOS, R.S.V.; CRUZ FILHO, B.E. Integration of multisource data to support the identification of lateritic regolith in Eastern - Bahia, northeastern Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, v.3, (1), 1-24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29396/jgsb.2020.v3.n1.1>

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

KOTSCHUBÉY, 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 bauxífera de Paragominas, Noroeste da Baía 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.

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

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.

MELO, D.P.; COSTA, R.C.R.; E 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.

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 Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: **Geophysics**, 39, 85-92, 1974.

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.

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

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.

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.; 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, 2001. 29-56

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.

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.

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.

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 Pecuário de Rondônia – PLANAFLORO**

- (bando de dados geográfico). Porto Velho, 2002. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/component/content/article/109-cogeo/168-acervo-tecnico>. Acessado em 20 de junho de 2015.
- 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.
- 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, 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.
- TAYLOR, G.; EGGLETON, R. A. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester: John Wiley, 2001.
- TOSDAL, R.M.; BETTENCOURT, J.S.; LEITE Jr., W.B.; PAYOLLA, B.L. Pb isotopic compositions from middle Proterozoic rondonian rapakivi massifs, southwestern margin of the Amazonian Craton, Brazil. In DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M.J.B.; COSTI, H.T. (EDS). Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, 1, Belém. **Abstracts Volume**. Belém: Center for Geosciences. University Federal of Para. 88p. 78-79. 1995.
- VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do Solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975.
- 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. 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
- ZEESE, R. Tertiary weathering profiles in central Nigeria as indicators of paleoenvironmental conditions, **Geomorphology**, v. 16, p. 61-70, 1996.