

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS - ICE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - PPGGEO

A LATERITIZAÇÃO NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: SUL DE RORAIMA E  
NORTE E NOROESTE DE RONDÔNIA

RODRIGO TOKUTA CASTRO

MANAUS

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS - ICE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - PPGGEO

RODRIGO TOKUTA CASTRO

A LATERITIZAÇÃO NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: SUL DE RORAIMA E  
NORTE E NOROESTE DE RONDÔNIA

Dissertação apresentada junto ao Programa de  
Pós Graduação em Geociências da Universidade  
Federal do Amazonas, como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Geociências,  
área de concentração Geologia Regional

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Adriana Maria Coimbra Horbe

MANAUS

2015

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C355I	<p>Castro, Rodrigo Tokuta A lateritização na Amazônia Ocidental: Sul de Roraima e Norte e Noroeste de Rondônia / Rodrigo Tokuta Castro. 2015 74 f.: il. color; 31 cm.</p> <p>Orientadora: Adriana Maria Coimbra Horbe Coorientadora: Carolina Michelin de Almeida Dissertação (Mestrado em Geociências - Geologia Regional) - Universidade Federal do Amazonas.</p> <p>1. Amazônia. 2. ilmenita. 3. anatócio. 4. magnetita. 5. quartzohornblenda gabro. I. Horbe, Adriana Maria Coimbra II. Universidade Federal do Amazonas III. Título</p>
-------	--

RODRIGO TOKUTA CASTRO

A LATERITIZAÇÃO NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: SUL DE RORAIMA E  
NORTE/NOROESTE DE RONDÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências, área de concentração em Geociências.

Aprovado em 30 de setembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adriana Maria Coimbra Horbe, Presidente.  
Universidade de Brasília



Prof. Dr. Edi Mendes Guimarães, Membro.  
Universidade de Brasília



Prof. Dr. Eder de Souza Martins, Membro.  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela força e por tudo que representa em minha vida. Aos meus pais Fernando Evangelista Castro e Avenilza Tokuta Castro por serem a minha fortaleza, meu porto seguro e auxílio para todas as horas, ao meu irmão Taffarel Tokuta Castro pela amizade e companheirismo.

Um agradecimento muito especial a Prof. Dra. Adriana Maria Coimbra Horbe pelas oportunidades, pelos ensinamentos, compartilhamento das experiências e pela imensa paciência, desde a época graduação. Agradeço também ao amigo e Geólogo Márcio Fernando dos Santos Albuquerque, pelas boas conversas e por sua amizade nos diversos momentos desta caminhada geológica. Ao Geólogo Edgar Romeo Herrera de Figueiredo Iza pelo apoio durante a campanha de campo em Rondônia. A Prof. Dra Carolina Michelin pelas contribuições, discussões, paciência. Ao Prof. Dr. Valmir da Silva Souza e Prof. Dra. Edi Mendes Guimarães pelas participações com críticas e sugestões no exame de qualificação.

A todos os meus amigos por acreditarem e incentivarem para a realização deste trabalho. Agradeço ainda CAPES pelo apoio financeiro.

Muito

obrigado!

## **EPIGRAFE**

**A vida me ensinou... A dizer adeus as pessoas que amo, sem tirá-las do meu coração; Sorrir as pessoas que não gostam de mim, para mostra-las que sou eu sou diferente do que elas pensam; Fazer de conta que tudo está bem quando isso não é verdade, para que eu possa acreditar que tudo vai mudar; Calar-me para ouvir; aprender com meus erros. Afinal eu posso ser sempre melhor.**

**Charles Chaplin**

## RESUMO

Este trabalho aborda o contexto laterítico com base nos aspectos texturais, mineralógicos, geoquímicos. Na região da Vila Nova Colina no centro sul do estado de Roraima, há dois tipos de crostas lateríticas: (i) vermiforme ferruginosa com elevados teores de caulinita, goethita, hematita, magnetita e anatásio e maior concentração de  $Al_2O_3$ , Sc, Th, e Zr desenvolvida sobre granitos e, (ii) maciça ferro-titanífera com altos teores de magnetita, hematita, maghemita, goethita, caulinita, anatásio, gibbsita e ilmenita e de  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , V e Cu desenvolvida a partir de quartzo-hornblenda gabro. A crosta maciça em posição topográfica mais elevada (220 m) e sua composição mineralógica e geoquímica, indicam maior maturidade que a crosta vermiforme em cota mais baixa (140 m). Além disso, a presença de gibbsita na crosta maciça, indica que ela é relicto de uma fase erosiva na centro-sul de Roraima, provavelmente associada a subsidência da bacia do Tacutu no Mioceno. Na região norte e noroeste de Rondônia ocorrem perfis lateríticos desenvolvidos a partir de monzogranitos do cráton Amazonas (p.e. Suítes Intrusivas Serra da Providência, Santo Antônio, São Lourenço-Caripunas e Laje). Os perfis são completos e incompletos de acordo com o estágio de evolução/truncamento. O saprólito e o horizonte mosqueado são formados por caulinita, quartzo, goethita, rutilo/anatásio, muscovita, illita e albita marcados por teores mais elevados em  $Al_2O_3$ , PF, Nb, Pb, Th, U e Zr. As crostas lateríticas exibem textura vermiforme e colunar, localmente pisolíticas com maior conteúdo de goethita, gibbsita e hematita e de  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , PF,  $TiO_2$ , Ga, Hf, Nb, Sc, Th, U, V e Zr. Os solos, no topo dos perfis são quimicamente similares as crostas sobrepostas. Assim como em Roraima, os perfis são remanescentes de uma fase erosiva associada ao esculpimento da Chapada dos Parecis e a formação do traçado atual do rio Madeira. A estrutura dos perfis e a ausência de crosta bauxítica, indicam estrutura típica de perfis pouco evoluídos desenvolvidos a partir do Plio-Pleistoceno, época da segunda fase de lateritização na Amazônia.

## ABSTRACT

This paper approaches the laterite context based on textural, mineralogical, geochemical aspects. In the region of Vila Nova Colina south of the state of Roraima, the profiles have two types of lateritic crusts: (i) the ferruginous vermiform one with high amounts of kaolinite, goethite, hematite, magnetite and anatase, higher concentration of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Sc, Th e Zr developed on granites and, (ii) the iron-titaniferous massive crust with high amounts of magnetite, hematite, maghemite, goethite, kaolinite, anatase, gibbsite and ilmenite, and consequently in higher amounts of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , V e Cu developed from quartz-hornblende gabbro. The higher topographic position of the massive crust (220 m) and its mineral and geochemical composition, indicate higher maturity than the vermiform crust on lower topographic position (140 m). The presence of gibbsite on the massive crust and its higher topographic position at the regional scale, indicates that it is relict of an erosive phase in the center-south of Roraima, probably associated with subsidence of the Tacutu basin in Miocene. In the north and northwest of Rondônia occur lateritic profiles developed from monzogranites of the Amazon craton (e.g. Serra da Providência, Santo Antônio, São Lourenço-Caripunas and Laje Intrusive Suite). The profiles are complete and incomplete according to the stage of evolution/truncation. The saprolite and mottled horizon consist of kaolinite, quartz, goethite, rutile/anatase, muscovite, illite, and albite marked by higher levels of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , PF, Nb, Pb, Th, U and Zr. The crusts lateritic show vermiform texture and columnar, pisolitic locally with higher content of goethite, hematite and gibbsite and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , PF,  $\text{TiO}_2$ , Ga, Hf, Nb, Sc, Th, U, V and Zr. The soils on the top of the profiles are chemically similar to those crusts. As well as Roraima the profiles are remnants of an erosive phase, associated with the sculpting of Chapada dos Parecis and the formation of the current route of the Madeira River. The structure of profiles and the absence of bauxitic crust indicate typical structure of little evolved profiles developed from the Plio-Pleistocene, time of the second lateritization phase in the Amazon.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
Lista de Figuras I.....	x
Lista de Figuras II.....	xi
Lista de Figuras III .....	xiii
Lista de Tabelas I .....	xv
Lista de Tabelas II.....	xvi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	2
A crosta laterítica ferro-titanífera da Vila Nova Colina e a lateritização no sul de Roraima.....	5
RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	6
1. INTRODUÇÃO .....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	8
2.1. Contexto Geológico e Geomorfológico Regional.....	11
3. RESULTADOS .....	12
3.1. Composição Química.....	18
4. DISCUSSÃO .....	23
5. CONCLUSÕES .....	28
6. BIBLIOGRAFIA CITADA .....	28
Lateritização de rochas graníticas do norte-nordeste de Rondônia .....	32
RESUMO .....	32
1. INTRODUÇÃO .....	33
2. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL.....	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	35
4. RESULTADOS .....	36
4.1. Análise Estatística.....	50
4.2. Balanço Geoquímico .....	51
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO.....	53
6. A LATERITIZAÇÃO NO SUL DE RORAIMA E NORTE E NORDESTE DE RONDÔNIA NO CONTEXTO LATERÍTICO DA AMAZÔNIA.....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

## **Lista de Figuras I**

FIGURA 1: MAPAS GEOLÓGICOS COM AMOSTRAS DAS ÁREAS DE ESTUDOS. A)NOVA COLINA, MODIFICADO DE ALMEIDA (2006). B) PORTO VELHO E ARREDORES, MODIFICADO DE QUADROS E RIZZOTO (2007).....	2
--	---

## Lista de Figuras II

- FIGURA 1 MAPAS GEOLÓGICO E DE LOCALIZAÇÃO MODIFICADO DE ALMEIDA (2006) (A), MAPA GEOMORFOLÓGICO (B) E DE DETALHE (C) DA REGIÃO DE NOVA COLINA. .... 9
- FIGURA 2: ASPECTOS MICROSCÓPICOS DO QHG E DA CROSTA MACIÇA FERRO-TITANÍFERA DE NOVA COLINA. A. ASPECTO GERAL DO QHG, EXIBINDO AS ACUMULAÇÕES DE HORNBLENDA, GRANDE QUANTIDADE DE MINERAIS OPACOS (ILMENITA +MAGNETITA+TITANOMAGNETITA) E PLAGIOCLÁSIOS. B. CRISTAIS DE HORNBLENDA COM ALTERAÇÕES PARA CLORITA, INCLUSÕES DE MINERAIS OPACOS, PLAGIOCLÁSIO COM INDÍCIOS DE DESSILICIFICAÇÃO. C. ILMENITA EM SOLUÇÃO SÓLIDA COM PIROFANITA (CINZA MAIS ESCURO) E GEIKILITA (CINZA MAIS CLARO), TITANOMAGNETITAS BEM CRISTALIZADAS EM CONTATO COM ILMENITA E MAGNETITA. D. MAGNETITA COM LAMELAS DE ILMENITA (LAMELAS PARALELAS) NAS CLIVAGENS E ILMENITA BEM FORMADAS, AMBAS ENVOLVIDAS POR MAGHEMITA E MATRIZ ARGILOSA (GOETHITA E CAULINITA). E. PORÇÕES ESCURAS QUE OCORREM ENTRE OS CRISTAIS DE MAGNETITA E ILMENITA E CORRESPONDEM AS MACHAS BRANCAS ENCONTRADAS NA CROSTA MACIÇA E CRISTAL DE ILMENITA (ROSADO) FRATURADO COM INDÍCIOS DE ALTERAÇÃO PARA ANATÁSIO. F. CROSTA MACIÇA FERRO-TITANÍFERA COM CRISTAIS DE MAGNETITA ENVOLVIDOS POR EXSOLUÇÃO DE MAGHEMITA, CRISTAIS LÍMPIDOS DE ILMENITA E MATRIZ ARGILOSA CINZA E PRETA CONSTITUÍDA DE GOETHITA E CAULINITA. ANT = ANATÁSIO, CHL= CLORITA, GKL = GEIKILITA, GT = GOETHITA, HBL = HORNBLENDA, HEM = HEMATITA, ILM = ILMENITA, KLN = CAULINITA, MAG = MAGNETITA, MGH = MAGHEMITA, PL = PLAGIOCLÁSIO, PRF = PIROFANITA, QTZ = QUARTZO E TMAG = TITANOMAGNETITA. .... 15
- FIGURA 3: ASPECTOS MACROSCÓPICOS DAS CROSTAS LATERÍTICAS DE NOVA COLINA. A. CROSTA MACIÇA FERRO-TITANÍFERA AVERMELHADA COM MANCHAS ESBRANQUIÇADAS DE CAULINITA. B. CROSTA MACIÇA FERRO-TITANÍFERA ACIZENTADA COM BRILHO METÁLICO FORMADA POR MAGNETITA, MAGHEMITA, ILMENITA, HEMATITA, GOETHITA, CAULINITA, GIBBSITA E ANATÁSIO. C. CROSTA VERMIFORME FERRUGINOSA COM ARCABOUÇO ENDURECIDO FORMADO POR HEMATITA E GOETHITA, PREENCHIDO POR CAULINITA E QUARTZO. D. CROSTA VERMIFORME FERRUGINOSA FORMADA POR ARCABOUÇO AVERMELHADO DE HEMATITA E GOETHITA PREENCHIDO POR CAULINITA AMARELADA E QUARTZO. .... 16
- FIGUR 4: DIFRATOGRAMAS DA CROSTA MACIÇA (A, B E C) E VERMIFORME FERRUGINOSA (D, E E F). ANT=ANATÁSIO, GBS=GIBBSITA, GT=GOETHITA, HEM=HEMATITA, KLN=CAULINITA, MAG=MAGNETITA E MGH=MAGNETITA. .... 17
- FIGURA 5: DIAGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS EM PPM, NORMALIZADOS PELA CROSTA CONTINENTAL SUPERIOR DE TAYLOR E McLENNAN (1985). A) CROSTA MACIÇA FERRO-TITANÍFERA E QHG. B) CROSTA VERMIFORME E GRANITOS. QHG = QUARTZO-HORNBLENDA GABRO, GIA = GRANITO IGARAPÉ AZUL (FÁCIES VILA CATARINA) E GC = GRANITO CAROEBE (FÁCIES JABURUZINHO). .... 19
- FIGURA 6: DIAGRAMAS DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS EM PPM, NORMALIZADOS PELA CROSTA CONTINENTAL SUPERIOR DE TAYLOR E McLENNAN (1985). A) CROSTA MACIÇA FERRO-TITANÍFERA QHG. B) CROSTA VERMIFORME E GRANITOS. QHG = QUARTZO-HORNBLENDA GABRO, GIA = GRANITO IGARAPÉ AZUL (FÁCIES VILA CATARINA) E GC = GRANITO CAROEBE (FÁCIES JABURUZINHO). .... 21

FIGURA 7: ANÁLISE DE AGRUPAMENTO EM MODO SIMPLES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS INDICANDO: (A) AS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS 1) PF-CU-CO-V-TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2) AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Nb-Zr-Hf; 3) ETR-SR-Rb-BA-SiO<sub>2</sub> E (B) AS DIFERENÇAS QUÍMICAS ENTRE AS ROCHAS E CROSTAS DE NOVA COLINA. .... 26

FIGURA 8: CARTA DE ACEITE DO TRABALHO SUBMETIDO A REVISTA ACTA AMAZÔNICA. **ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

### Lista de Figuras III

- FIGURA 1: MAPAS GEOLÓGICO E DE LOCALIZAÇÃO MODIFICADO DE QUADROS E RIZZOTO (2007) (A), MAPA GEOMORFOLÓGICO (B) DA REGIÃO DE PORTO VELHO E ARREDORES..... 34
- FIGURA 2: ESTRUTURAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PERFIS LATERÍTICOS SOBRE OS GRANITOS DE PORTO VELHO E ARREDORES. A) PERFIL 1 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. B) PERFIL 2 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA, DETALHE PARA O FÁCIES PISOLÍTICO IDENTIFICADO NA CROSTA COLUNAR. C) PERFIL 3 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SANTO ANTÔNIO. D) PERFIL 4 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SÃO LOURENÇO- CARIPUNAS. E) PERFIL 5 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA LAJE..... 37
- FIGURA 3: DIFRATOGRAMAS DOS PERFIS LATERÍTICOS SOBRE OS GRANITOS DE PORTO VELHO E ARREDORES. .... 38
- FIGURE 4: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓXIDOS MAIORES EM % DOS PERFIS DE PORTO VELHO E ARREDORES. A) PERFIL 1 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. B) PERFIL 2 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. C) PERFIL 3 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SANTO ANTÔNIO. D) PERFIL 4 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SÃO LOURENÇO- CARIPUNAS. E) PERFIL 5 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA LAJE. OS VALORES DE  $TiO_2$  FORAM MULTIPLICADOS POR 5, A QUÍMICA DOS MONZOGRANITOS E SIENOGANITOS É DE SCANDOLARA *ET AL.* (2013). RX = ROCHA, SAP = SAPRÓLITO MO = MOSQUEADO, CC = CROSTA COLUNAR, CV = CROSTA VERMIFORME, CP = CROSTA PISOLÍTICA, MAT = MATRIZ E S = SOLO. .... 39
- FIGURE 5: DIAGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS EM PPM DE PORTO VELHO E ARREDORES NORMALIZADOS PELA CROSTA CONTINENTAL SUPERIOR DE TAYLOR & MCLENNAN (1985). A) PERFIL 1 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. B) PERFIL 2 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. C) PERFIL 3 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SANTO ANTÔNIO. D) PERFIL 4 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SÃO LOURENÇO- CARIPUNAS. E) PERFIL 5 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA LAJE. A QUÍMICA DOS MONZOGRANITOS E SIENOGANITOS É DE SCANDOLARA *ET AL.* (2013). RX = ROCHA, SAP = SAPRÓLITO MO = MOSQUEADO, CC = CROSTA COLUNAR, CV = CROSTA VERMIFORME, CP = CROSTA PISOLÍTICA, MAT = MATRIZ E S = SOLO..... 40
- FIGURA 6: DIAGRAMAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS EM PPM DE PORTO VELHO E ARREDORES NORMALIZADOS PELA CROSTA CONTINENTAL SUPERIOR DE TAYLOR & MCLENNAN (1985). A) PERFIL 1 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. B) PERFIL 2 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. C) PERFIL 3 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SANTO ANTÔNIO. D) PERFIL 4 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA SÃO LOURENÇO- CARIPUNAS. E) PERFIL 5 SOBRE A SUÍTE INTRUSIVA LAJE. A QUÍMICA DOS MONZOGRANITOS E SIENOGANITOS É DE SCANDOLARA *ET AL.* (2013). RX = ROCHA, SAP = SAPRÓLITO MO = MOSQUEADO, CC = CROSTA COLUNAR, CV = CROSTA VERMIFORME, CP = CROSTA PISOLÍTICA, MAT = MATRIZ E S = SOLO..... 43
- FIGURA 7: A) CROSTA COLUNAR SOBRE A SUITE INTRUSIVA SERRA DA PROVIDÊNCIA. B) DETALHE DO FÁCIES PISOLÍTICO AO LONGO DOS CANAIS VERTICAIS DESENVOLVIDOS NA CROSTA COLUNAR. C) DETALHE DO FÁCIES PISOLÍTICA ONDE NOTAM-SE OS PISÓLITOS FERRUGINOSOS ENVOLVIDOS POR MATRIZ ROSADA GIBBSÍTICA. D) PISÓLITO DO TIPO 1 COM NÚCLEO AVERMELHADO DE HEMATITA E CÓRTEX AMARELADO DE GOETHITA. E) PISÓLITOS COM NÚCLEO DE GOETHITA E CÓRTEX DE HEMATITA DO TIPO 2 (A ESQUERDA) E PISÓLITO FORMADO POR QUATRO ZONAS CONCÊNTRICAS ONDE SE ALTERNAM DO CENTRO PARA A BORDA

HEMATITA AVERMELHADA E GOETHITA AMARELADA, POROS RESULTANTES DA DISSOLUÇÃO DO QUARTZO. F) PISÓLITO DO TIPO 3 COM NÚCLEO DE GOETHITA E CAULINITA COM MÚLTIPLOS CÓRTICES ONDE SE ALTERNAM HEMATITA E GOETHITA. G) PISÓLITO DO TIPO 4 SEM NÚCLEO COM MÚLTIPLOS CÓRTICES DE HEMATITA E GOETHITA FORMADO POR ACREÇÃO. .... 46

FIGURE 8: A) PERFIL LATERÍTICO ONDE SE OBSERVA A CROSTA COLUNAR, O HORIZONTE DESMANTELADO E O LATOSSOLO; B E C) DETALHES DA CROSTA COLUNAR COM DESTAQUE PARA A PORÇÃO COM PISÓLITOS E NÓDULOS. D) NÓDULO DO TIPO 1 FORMADO POR HEMATITA ENVOLVIDO POR FINO CÓRTEX DE GOETHITA, OS POROS SÃO RESULTANTES DE MOLDES DE QUARTZO. E) NÓDULO DO TIPO 2 COM NÚCLEO DE GOETHITA E ILHAS DE CAULINITA E HEMATITA ENVOLVIDO POR FINOS CÓRTICES DE HEMATITA E GOETHITA. F) NÓDULO DO TIPO 3 FORMADO POR DOIS NÚCLEOS QUE REPRESENTAM ANTIGOS PISÓLITOS QUE FORAM EMGLOBADOS POR GOETHITA, AS ARESTAS NOS PISÓLITOS INDICAM TRANSPORTE. G) NÓDULO POROSO CONSTITUÍDO DE GOETHITA, CAULINITA E QUARTZO ..... 47

FIGURE 9: ANÁLISE DE AGRUPAMENTO EM MODO SIMPLES DOS ELEMENTOS QUÍMICOS INDICANDO: (A) AS ASSOCIAÇÕES GEOQUÍMICAS 1) ETRL-Gd-Y-Rb-Sr-Ba-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2) ETRP(-Gd)-U-V-Sc-Cu-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-PF-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. B) FERENÇAS QUÍMICAS ENTRE AS ROCHAS E CROSTAS DE NOVA COLINA. .... 51

## Lista de Tabelas I

- TABELA 1: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓXIDOS MAIORES, MENORES E PERDA AO FOGO EM % DAS ROCHAS, CROSTAS MACIÇAS E VERMIFORMES. QHG = QUARTZO-HORNBLENDA GABRO, GIA = GRANITO IGARAPÉ AZUL (FÁCIES VILA CATARINA) E GC = GRANITO CAROEBE (FÁCIES JABURUZINHO). ..... 18
- TABELA 2: DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS EM PPM DAS ROCHAS, CROSTAS MACIÇAS E VERMIFORMES. ELEMENTOS MENORES QUE O LIMITE DE DETECÇÃO: AU (<0,5 PPB), HG (<0,01 PPM), BI, CD, SB, TA E TL (<0,1PPM), AG, AS, CS E SE (<0,5 PPM), BE E SN (<1 PPM), NI (<20 PPM), CR (0,002 %), MN (0,01%), N.A. = NÃO ANALISADOS. QHG = QUARTZO-HORNBLENDA GABRO, GIA = GRANITO IGARAPÉ AZUL (FÁCIES VILA CATARINA) E GC = GRANITO CAROEBE (FÁCIES JABURUZINHO). AMOSTRAS GIA E GC DE ALMEIDA (2007). ..... 20
- TABELA 3: DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS EM PPM DAS ROCHAS, CROSTAS MACIÇAS E VERMIFORMES. QHG = QUARTZO-HORNBLENDA GABRO, GIA = GRANITO IGARAPÉ AZUL (FÁCIES VILA CATARINA) E GC = GRANITO CAROEBE (FÁCIES JABURUZINHO)..... 22
- TABELA 4: RESULTADO DO CÁLCULO DO BALANÇO ISOZIRCÔNIDAS CROSTAS MACIÇA E VERMIFORME. N.A. = NÃO ANALISADOS. FE >1,1 SÃO CONSIDERADOS ENRIQUECIDOS, FE ENTRE 0,9 E 1,1 CONSIDERADOS IMÓVEIS E FE < 0,9 CONSIDERADOS EMPOBRECIDOS EM RELAÇÃO A ROCHA MÃE. .... 27

## Lista de Tabelas II

TABELA 1: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓXIDOS MAIORES, MENORES E PERDA AO FOGO EM % DAS ROCHAS, SAPRÓLITOS, MOSQUEADO, CROSTAS E SOLOS DE PORTO VELHO E ARREDORES.....	41
TABELA 2: DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS EM PPM DAS ROCHAS, SAPRÓLITOS, MOSQUEADO, CROSTAS E SOLOS DE PORTO VELHO E ARREDORES.....	42
TABELA 3: DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS EM PPM DAS ROCHAS, SAPRÓLITOS, MOSQUEADO, CROSTAS E SOLOS DE PORTO VELHO E ARREDORES.....	44
TABELA 4: RESULTADO DO CÁLCULO DO BALANÇO ISOZIRCÔNIO DOS PERFIS DE PORTO VELHO E ARREDORES. FE >1,1 SÃO CONSIDERADOS ENRIQUECIDOS, FE ENTRE 0,9 E 1,1 CONSIDERADOS IMÓVEIS E FE < 0,9 CONSIDERADOS EMPOBRECIDOS EM RELAÇÃO A ROCHA MÃE.....	52



## APRESENTAÇÃO

Os resultados obtidos ao longo desta pesquisa encontram-se materializados sob a forma de dois artigos, o primeiro está no prelo da Acta Amazônica (Qualis B2 na área de geociências da CAPES) e o segundo está em fase de submissão a periódico especializado. O primeiro artigo intitulado “A crosta laterítica ferro-titanífera da Vila Nova Colina e a lateritização no sul de Roraima”, versa sobre um perfil laterítico ferro-titanífero desenvolvido a partir de rochas da Província Tapajós-Parima no sul do estado de Roraima. O segundo artigo com título provisório “Lateritização de rochas graníticas do norte-nordeste de Rondônia”, trata de perfis lateríticos desenvolvidos a partir de rochas das Províncias Rondônia-Juruena e Sunsás no norte e noroeste do estado de Rondônia.

### 1. INTRODUÇÃO

Perfis lateríticos resultam da exposição sub-aérea das rochas ao longo do tempo geológico e têm como produto final as paisagens lateríticas. Esses perfis são identificados pelo desenvolvimento de crostas lateríticas que são importantes marcadoras topográficas e da evolução da paisagem (Twidale e Bourne 1998). A variedade de crostas lateríticas depende de condições específicas do clima, topografia e tempo geológico, o que as tornam também importantes marcadores paleoclimáticos e paleoambientais.

Os perfis lateríticos podem ter rochas mães diversas, com diferentes idades e composições petrogenéticas, que favorecem a geração de diferentes tipos de crostas lateríticas. Elas podem ser exclusivamente ferruginosas que são as mais abundantes, ou o Fe pode estar associado com Ti, Mn, Al e P de acordo com a composição da rocha mãe e a idade da crosta (Costa 2007). Além da Amazônia brasileira, as crostas se estendem para a Venezuela, Guianas e para o nordeste, centro-oeste e sudeste do Brasil (Varajão 1990; Carvalho *et. al.* 1991; Silva e Oliveira 1992; Tiesen *et. al.* 1996; Théveniaut e Freyssinet 1999; Soler e Lasaga 2000; Théveniaut e Freyssinet 2002; Oliveira *et al.* 2013 entre outros).

Os lateritos são resultantes do processo de intemperismo que ocorre desde que as primeiras rochas são expostas a ação do clima quente e úmido da região intertropical da Terra localizada entre 30° N e 30° S. Nesta zona onde se insere a Amazônia, estão cerca de 40% das terras emersas das quais 33% são cobertas por formações lateríticas (Tardy 1993). Devido ao ciclo das rochas estão preservados quase que exclusivamente os lateritos produzidos no Cenozóico e a Amazônia, por estar na região intertropical nos últimos 100 Ma (Tardy e

Roquin 1998), têm excelentes exposições dessas formações (Costa 1997; Kotschoubey *et al.* 2005; Costa *et al.* 2014 e suas referências).

## 2. OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram identificar os tipos de perfis que se desenvolvem a partir de rochas do embasamento granito-gnaissico da região centro-sul de Roraima e norte de Rondônia. Essas duas regiões foram pouco estudadas do ponto de vista laterítico e seu enquadramento na evolução da Amazônia é importante para se ter um quadro mais completo sobre a evolução da lateritização e consequentemente da geomorfologia e da paleogeografia.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo foram estudadas duas regiões. A primeira localiza no município de localiza Vila de Nova Colina, ao sul do município de Rorainópolis, Roraima (0°35' N - 0°50' N e 60°20' W - 60°35' W), com acesso pela BR 174 e viciniais próximas (Figura 1A). Foram coletadas 17 amostras referentes ao perfil laterítico desenvolvido sobre quartzo-hornblenda gabro (QHG), membro da fácies Jaburuzinho do granito Caroebe, da Suíte Intrusiva Água Branca do Cráton das Guianas.

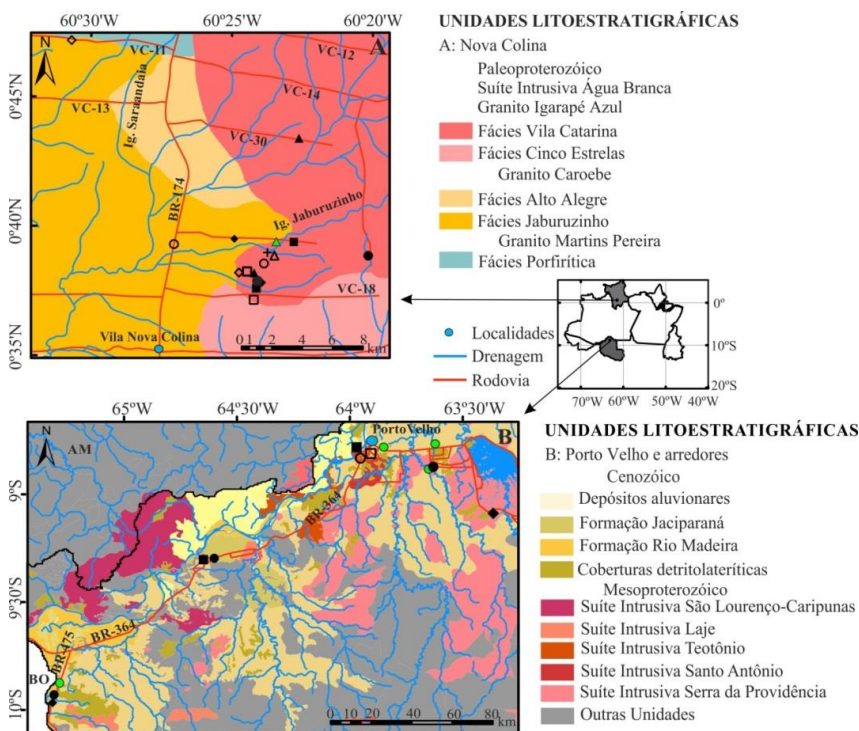


Figura 1: Mapas geológicos com amostras das áreas de estudos. A) Nova Colina, modificado de Almeida (2006). B) Porto Velho e arredores, modificado de Quadros e Rizzoto (2007).

Na segunda região, na cidade de Porto Velho e arredores há perfis lateríticos desenvolvidos a partir das rochas graníticas das Suítes Intrusivas Serra da Providência (1,60 Ga), Santo Antônio (1,38 Ga), São Lourenço-Caripunas (1,39 Ga) e Laje (1,30 Ga) (Figura 1B). Foram coletadas 14 amostras dos perfis desenvolvidos sobre as rochas graníticas da região. Além dessas amostras foram utilizados dados geoquímicos das rochas da Suíte Serra Providência, estudados em detalhes por Scandolara *et al.* (2013), que consistiram na média de 28 amostras, sendo 21 dos monzogranitos e 7 dos sienogranitos.

Todas as amostras foram descritas macro e microscopicamente com auxílio de lupa, microscópio petrográfico, difração de raios-X (DRX - Shimadzu XRD – 6000, Kyoto, Japão), microscopia eletrônica de varredura (MEV: FEI-QUANTA 250, Hillsboro, OR, USA) nos Laboratórios de Microscopia e Técnicas Mineralógicas da Universidade Federal do Amazonas e microsonda eletrônica (JEOL JXA 8230, Tóquio, Japão) no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília.

Foram analisados óxidos maiores, menores, e elementos traços (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PF, Ag, Au, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Hf, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr e ETR) por fusão alcalina (metaborato e tetraborato de lítio) e dissolução ácida e determinados por ICP-ES e ICP-MS (Famílias 4A e 4B). A perda ao fogo foi determinada por gravimetria. As análises químicas das amostras foram realizadas na Acme Labs Ltd., Vancouver, Canadá.

O fracionamento dos ETR (La/Yb)<sub>N</sub>, assim como as razões Ce/Ce\* e Eu/Eu\* foram calculadas em relação ao condrito de Taylor e McLennan (1985), sendo as duas últimas obtidas através das equações 1 e 2.

$$(1) \text{ Ce/Ce}^* = [(Ce_N) / (\sqrt{(La_N) * (Pr_N)})]$$

$$(2) \text{ Eu/Eu}^* = [(Eu_N) / (\sqrt{(Sm_N) * (Gd_N)})]$$

A identificação das associações geoquímicas e a determinação da similaridade entre as amostras foram feitas por métodos estatísticos utilizando o programa Statistica (versão 7.0). Inicialmente utilizou-se o método de análise de fatores que permitiu identificar os constituintes químicos com maior carga (superior a 0,3). Posteriormente, esses elementos foram utilizados na análise de agrupamento em modo simples e espaçamento 1-Person-r, o que permitiu determinar a similaridade geoquímica entre as amostras e as associações geoquímicas entre os óxidos e os demais elementos.

No cálculo isoquímico foram utilizados todos os elementos químicos que compõem as rochas e as crostas exceto  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , por ser considerado imóvel durante o imemperismo, além de  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Be}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Ta}$  e  $\text{Tl}$ . por estarem, na sua grande maioria, abaixo do limite de detecção. O  $\text{TiO}_2$  foi utilizado como imóvel e o cálculo utilizou a seguinte fórmula:

$$(3) \text{FE} = [\text{Ce}(\text{hz}) * \text{TiO}_2(\text{rm})] / [\text{Ce}(\text{rm}) * \text{TiO}_2(\text{hz})], \text{ onde:}$$

FE = fator de enriquecimento,  $\text{Ce}(\text{hz})$  = concentração do elemento no horizonte,  $\text{Ce}(\text{rm})$  = concentração do elemento na rocha mãe,  $\text{TiO}_2(\text{hz})$  = concentração do  $\text{TiO}_2$  no horizonte e  $\text{TiO}_2(\text{rm})$  = concentração do  $\text{TiO}_2$  na rocha mãe. Como base nessa fórmula os elementos com valores de FE >1,1 são considerados enriquecidos, FE entre 0,9 e 1,1 considerados imóveis e FE < 0,9 considerados empobrecidos em relação a rocha mãe.

Na confecção dos mapas foram utilizados os softwares Global Mapper 12 e ArcMap 10.0.

## 1ª. PARTE

### Artigo no prelo na Acta Amazônica

#### A crosta laterítica ferro-titanífera da Vila Nova Colina e a lateritização no sul de Roraima

Rodrigo Tokuta Castro<sup>1\*</sup>, Adriana Maria Coimbra Horbe<sup>1,2</sup>, Carolina Michelin de Almeida<sup>1</sup>

1. Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Geociências, *Campus* Universitário Setor Norte, Bloco 7 – ICE, 69077-000, Manaus, Amazonas, Brasil. \* Autor correspondente: [castrortokuta@gmail.com](mailto:castrortokuta@gmail.com);

2. Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, *Campus* Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, 70910-900, Brasília, Brasil.

#### RESUMO

Crostas lateríticas desenvolvidas sobre as rochas do embasamento do Escudo das Guianas (p.e. granitos da Suíte Intrusiva Água Branca) são reconhecidas na região de Vila Nova Colina, localizada ao sul do estado de Roraima. Os objetivos deste trabalho foram estudar as características minerais e geoquímicas dessas crostas lateríticas e avaliar a relação entre elas e as rochas da região, a fim de entender a evolução da lateritização e fornecer informações sobre seu potencial econômico. Este estudo compreende dados de petrografia, mineralogia e litogeoquímica de granitos, quartzo-hornblenda gabro e crostas lateríticas formadas a partir dessas rochas. Os granitos e o quartzo-hornblenda gabro desenvolveram, respectivamente, um tipo específico de crosta laterítica: (i) vermiforme ferruginosa com elevados teores de caulinita, goethita, hematita, magnetita e anatásio e maior concentração de  $Al_2O_3$ , Sc, Th, e Zr e, (ii) maciça ferro-titanífera com altos teores de magnetita, hematita, maghemita, goethita, caulinita, anatásio, gibbsita e ilmenita e de  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , V e Cu. Cada tipo de crosta indica o efeito da lateritização na porção sul de Roraima e sua posição topográfica. O posicionamento topográfico mais elevado da crosta maciça (220 m) e sua composição mineralógica e geoquímica, indicam sua maturidade (isto é, precisou de mais tempo para ser formada) e,

portanto relicto de uma fase erosiva na região, provavelmente associada a subsidência da bacia do Tacutu no Mioceno. Enquanto a crosta vermiforme em uma posição mais rebaixada (140 m) sem gibbsita, sugere que ela é mais jovem que a maciça e representa a lateritização imatura do Plio-Pleistoceno.

**PALAVRAS CHAVES:** Amazônia, ilmenita, anatásio, magnetita, quartzo-hornblenda gabro

**The iron-titaniferous lateritic crust of the Vila Nova Colina and the lateritization in south of Roraima.**

#### **ABSTRACT**

Lateritic crusts developed upon the Guiana Shield basement rocks (e.g. granites of the Água Branca Intrusive Suite) was recognized in the Vila Nova Colina region, located in south Roraima state. The objectives of this work were to study the mineral and geochemical characteristics of lateritic crusts and to evaluate the relationship between them and the rocks of the region, in order to understand the evolution of lateritization and provide information about the economic potential. This study comprises petrography, mineralogy and litogeochemical investigations of the granites, the quartz-hornblende gabbro and the lateritic crusts formed from these rocks. The granites and the quartz-hornblende gabbro has developed, respectively, a specific type of lateritic crust: (i) the ferruginous vermiform one with high amounts of kaolinite, goethite, hematite, magnetite and anatase, higher concentration of  $Al_2O_3$ , Sc, Th e Zr and, (ii) the iron-titaniferous massive one with high amounts of magnetite, hematite, maghemite, goethite, kaolinite, anatase, gibbsite and ilmenite, and consequently in higher amounts of  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , V e Cu. Each crust type indicates the effect of the lateritization in the south portion of Roraima and their topographic position. The higher topographic position of the massive crust (220 m), its mineral and geochemical composition, indicate the maturity (i.e. needed more time to be formed) and may

represent a relict of an erosion phase in the region, probably associated with a subsidence of the Tacutu basin in the Miocene. Otherwise, the vermiform crust formed at a lower topographic position (140 m) with no gibbsite, suggests that it is younger than the massive one and represents the immature laterization of the Plio-Pleistocene.

Keywords: Amazônia, ilmenite, anatase, magnetite, quartz-hornblende gabbro

## 1. INTRODUÇÃO

Os lateritos são resultantes do processo de intemperismo que ocorre desde que as primeiras rochas são expostas a ação do clima quente e úmido da região intertropical da Terra localizada entre 30° N e 30° S. Nesta zona onde se insere a Amazônia, estão cerca de 40% das terras emersas das quais 33% são cobertas por formações lateríticas (Tardy 1993). Devido ao ciclo das rochas estão preservados quase que exclusivamente os lateritos produzidos no Cenozóico e a Amazônia, por estar na região intertropical nos últimos 100 Ma (Tardy e Roquin 1998), têm excelentes exposições dessas formações (Costa 1997; Kotschoubey *et al.* 2005; Costa *et al.* 2014 e suas referências).

As rochas geradoras dos perfis lateríticos são diversas, de diferentes idades e composições petrogenéticas, o que favoreceu a geração de diferentes tipos de crostas lateríticas como indicam os trabalhos citados anteriormente. Elas podem ser exclusivamente ferruginosas, que são as mais abundantes, ou o Fe pode estar associado com Ti, Mn, Al e P de acordo com a composição da rocha mãe e a idade da crosta (Costa 2007). Além da Amazônia brasileira, as crostas se estendem para a Venezuela, Guianas (Tiesen *et al.* 1996; Théveniaut e Freyssinet 1999; Soler e Lasaga 2000) e para o nordeste, centro-oeste e sudeste do Brasil (Carvalho *et al.* 1991; Silva e Oliveira 1992; Oliveira *et al.* 2013 entre outros).

Crostras lateríticas ferro-titaníferas em geral se desenvolvem a partir de complexos ultramáficos-alcalinos-carbonatíticos e são descritas na Amazônia nas Serra de Maraconaí, no Município de Almerim e na Serra de Maicuru no Município de Monte Alegre, ambas no estado do Pará (Oliveira *et al.* 1988; Angélica e Costa 1991 e 1993; Costa *et al.* 1991). Crostras manganesíferas podem se formar a partir de rochas sedimentares com concentrações elevadas de Mn (Costa *et al.* 2005 e Silva *et al.* 2012), crostras aluminosas ou bauxíticas a partir de rochas sedimentares e ígneas félsicas (Boulangé e Carvalho 1997; Kostchoubey *et al.* 2005; Peixoto e Horbe 2008) e fosfáticas a partir de rochas carbonatíticas e metassedimentares (Costa 1991; Toledo *et al.* 2006).

Na Vila de Nova Colina, ao sul do município de Rorainópolis, Roraima (0°35' N - 0°50' N e 60°20' W - 60°35' W), com acesso pela BR 174 e vicinais próximas (Figura 1A), há uma pequena colina com cerca de 220 m de altitude e um quilômetro de diâmetro onde ocorre um quartzo-hornblenda gabro identificado pela primeira vez na região, sobre a qual se desenvolveu uma crosta ferro-titanífera. Sobre os granitos da Suíte Intrusiva Água Branca, no entorno da colina ocorre crosta vermiforme ferruginosa. Os objetivos deste trabalho foram estudar as características minerais e geoquímicas dessas crostras lateríticas e avaliar a relação entre elas e as rochas da região, a fim de entender a evolução da lateritização e fornecer informações sobre seu potencial econômico.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento do presente estudo foram coletadas 17 amostras (Figura 1), das quais uma do quartzo-hornblenda gabro (QHG), nove de crosta ferro-titanífera (CM-01, CM-02, CM-03, CM-04, CM-05, CM-06, CM-07, CM-08 e CM-09) e sete de crosta vermiforme (CV-01, CV-02, CV-03, CV-04, CV-05, CV-06, CV-07). Além dessas amostras



foram utilizados dados geoquímicos de 26 amostras de rochas, sendo 14 do Granito Caroebe (Fácies Jaburuzinho) e 12 do Igarapé Azul (Fácies Vila Catarina) de Almeida (2006).

As amostras foram descritas macro e microscopicamente com auxílio de lupa, microscópio petrográfico, difração de raios-X (DRX - Shimadzu XRD – 6000, Kyoto, Japão), microscopia eletrônica de varredura (MEV: FEI-QUANTA 250, Hillsboro, OR, USA) nos Laboratórios de Microscopia e Técnicas Mineralógicas da Universidade Federal do Amazonas e microsonda eletrônica (JEOL JXA 8230, Tóquio, Japão) no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília.

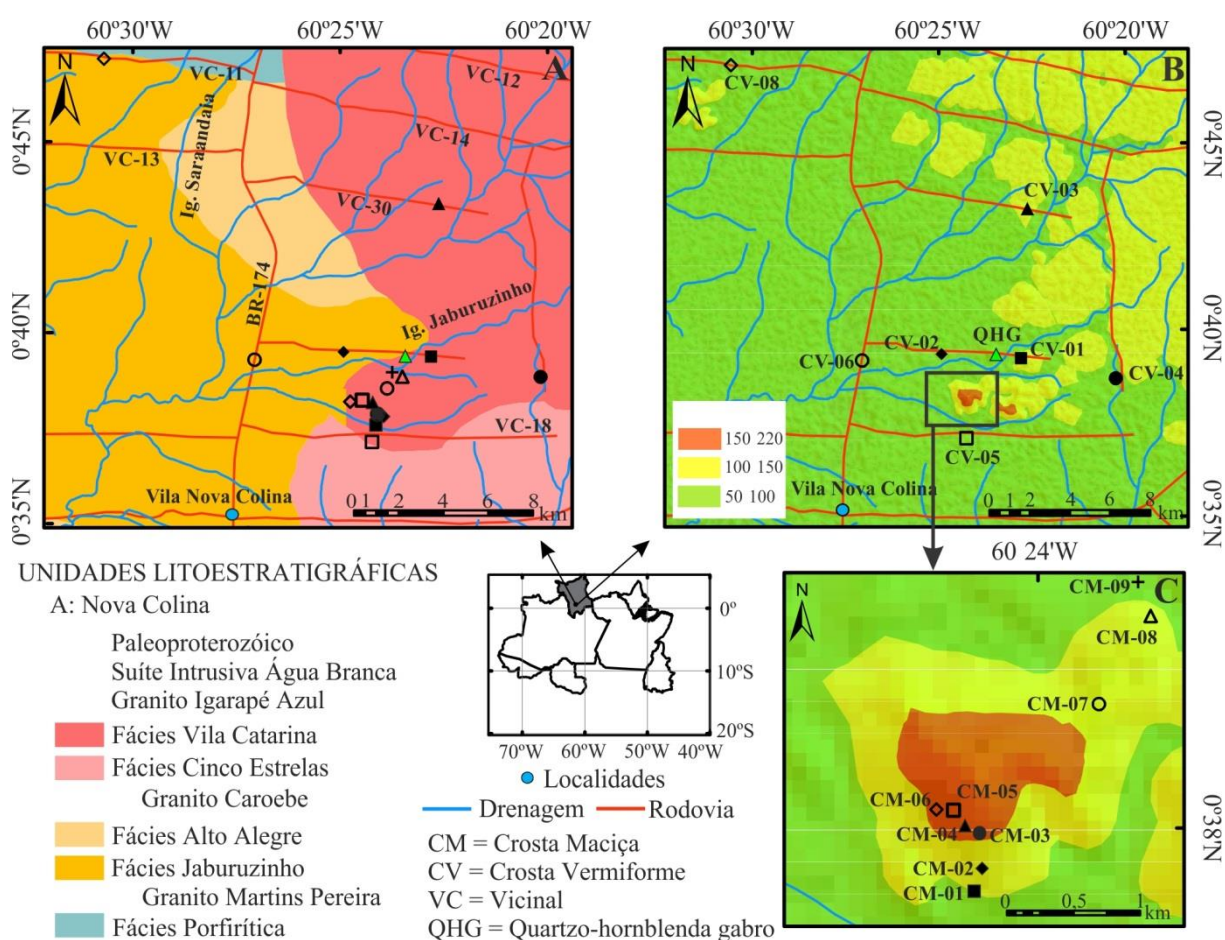


Figura 1 Mapas geológico e de localização modificado de Almeida (2006) (A), mapa geomorfológico (B) e de detalhe (C) da região de Nova Colina.

Foram analisados óxidos maiores, menores, e elementos traços ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , PF, Ag, Au, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Hf, Mn,

Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr e ETR) por fusão alcalina (metaborato e tetraborato de lítio) e dissolução ácida e determinados por ICP-ES e ICP-MS (Famílias 4A e 4B). A perda ao fogo foi determinada por gravimetria. As análises químicas das amostras foram realizadas na Acme Labs Ltd., Vancouver, Canadá.

O fracionamento dos ETR  $(La/Yb)_N$ , assim como as razões  $Ce/Ce^*$  e  $Eu/Eu^*$  foram calculadas em relação ao condrito de Taylor e McLennan (1985), sendo as duas últimas obtidas através das equações 1 e 2.

$$(1) Ce/Ce^* = [(Ce_N) / (\sqrt{(La_N) * (Pr_N)})]$$

$$(2) Eu/Eu^* = [(Eu_N) / (\sqrt{(Sm_N) * (Gd_N)})]$$

A identificação das associações geoquímicas e a determinação da similaridade entre as amostras foram feitas por métodos estatísticos utilizando o programa Statistica (versão 7.0). Inicialmente utilizou-se o método de análise de fatores que permitiu identificar  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ , PF, Ba, Co, Hf, Nb, Rb, Sr, V, Y, Zr e ETR exceto Ce como os elementos com maior carga (superior a 0,3). Posteriormente, esses elementos foram utilizados na análise de agrupamento em modo simples e espaçamento 1-Person-r, o que permitiu determinar a similaridade geoquímica entre as amostras e as associações geoquímicas entre os óxidos e os demais elementos.

No cálculo isoquímico foram utilizados todos os elementos químicos que compõem as rochas e as crostas exceto  $Al_2O_3$ , por ser considerado imóvel durante o intemperismo, além de CaO, MgO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ag, As, Au, Be, Bi, Cd, Cr, Cs, Hg, Mn, Sb, Se, Sn, Ta e Tl. por estarem, na sua grande maioria, abaixo do limite de detecção. O  $TiO_2$  foi utilizado como imóvel e o cálculo utilizou a seguinte fórmula:

$$(3) FE = [Ce(hz) * TiO_2(rm)] / [Ce(rm) * TiO_2(hz)], \text{ onde:}$$

FE = fator de enriquecimento,  $C_e(hz)$  = concentração do elemento no horizonte,  $C_e(rm)$  = concentração do elemento na rocha mãe,  $TiO_2(hz)$  = concentração do  $TiO_2$  no horizonte e  $C_i(rm)$  = concentração do  $TiO_2$  na rocha mãe. Como base nessa fórmula os elementos com valores de  $FE > 1,1$  são considerados enriquecidos, FE entre 0,9 e 1,1 considerados imóveis e  $FE < 0,9$  considerados empobrecidos em relação a rocha mãe.

Na confecção dos mapas foram utilizados os softwares Global Mapper 12 e ArcMap 10.0.

## 2.1. Contexto Geológico e Geomorfológico Regional

A região de Nova Colina (Província Ventuari-Tapajós com 1,9 - 1,8 Ga de Tassinari e Macambira 1999 ou Domínio Uatumã-Anauá 2,03 Ga de Santos *et al.* 2000) reúne os Granitos Martins Pereira, Caroebe e Igarapé Azul da Suíte Intrusiva Água Branca do Cráton das Guianas, metamorfizados em fácies xisto verde e anfibolito e com idades entre 2,03 e 1,89 Ga (Almeida *et al.* 2007). O Granito Martins Pereira é composto por granodioritos a monzogranitos cinza porfiríticos (Almeida e Macambira 2007). O Granito Caroebe é dividido em fácies Jaburuzinho (1,90 Ga) formada por granodioritos, monzogranitos e tonalitos, com hornblenda como mineral diagnóstico das rochas dessa fácies, enquanto a fácies Alto Alegre (1,89 Ga) composta predominantemente por biotita-monzogranitos com enclaves remanescentes da fácies Jaburuzinho (Almeida e Macambira 2007). O Granito Igarapé Azul (1,89 Ga), compreende três fácies: Vila Catarina abrange monzogranitos e raros sienogranitos cinzas e rosados, com textura fanerítica média a grossa, Saramandaia inclui monzogranitos, granodioritos e leucogranitos rosados porfiríticos, e Cinco Estrelas envolve monzogranitos, sienogranitos, granodioritos e quartzo-monzonitos acinzentados, equigranulares, com textura fanerítica fina a média (Almeida e Macambira 2007). O QHG (0° 39' 16" N e 60° 23' 26"),

mapeado pela primeira vez na etapa de campo que deu origem a este trabalho, é provavelmente membro da fácies Jaburuzinho do granito Caroebe.

O relevo da região da Vila Nova Colina é dominado pelo Pediplano Rio Branco-Rio Negro (Franco *et al.* 1975) que é a superfície rebaixada onde afloram crostas lateríticas vermiformes. É truncado pelos Planaltos Residuais de Roraima onde se insere a colina e ocorre a crosta ferro-titanífera (Figura 1B). O relevo formado por essas duas superfícies é suave com altitudes entre 87 m nas drenagens a 140 m nas colinas. Inselbergs com até 1000 m de altitude são destaque na topografia da região. A cobertura vegetal é de floresta tropical e o clima é quente e úmido.

### 3. RESULTADOS

O QHG encontrado na região, classificado pelos diagramas de Streckeisen (1976) e TAS (Cox *et al.* 1979) e a partir do qual se desenvolveu a crosta ferro-titanífera, é constituído por 50% de hornblenda (cristais 0,2 a 4,5 mm de comprimento), 22% de labradorita, 15% de quartzo, 5% de clorita como produto de alteração da hornblenda (Figura 2A e 2B), 4% de ilmenita, 2% de magnetita, além de titanita, alanita, pirita, calcopirita, espínélio e calcita como acessórios (2%). Com auxílio da microsonda eletrônica foram identificados no QHG e na crosta maciça geikelita ( $MgTiO_3$ ) e pirofanita ( $MnTiO_3$ ) que são, respectivamente os membros magnesianos e manganésíferos da ilmenita, (Figura 2C). Nas partições da magnetita ocorrem lamelas de exsolução acinzentadas de hematita (lamelas cruzadas - Klein e Dutrow 2007) e ilmenita (lamelas paralelas). Também foi identificada titanomagnetita em cristais bem formados, normalmente em contato retos entre si e com magnetita e ilmenita.

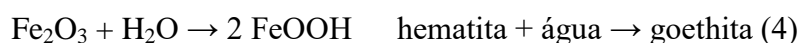
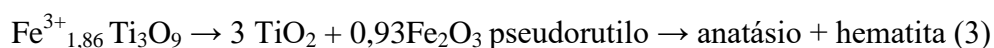
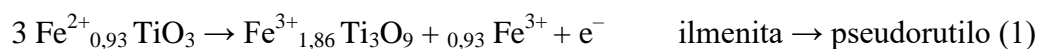
As rochas do Granito Igarapé Azul (Fácies Vila Catarina) e do Granito Caroebe (Fácies Jaburuzinho), a partir das quais se desenvolveu a crosta vermiforme, são constituídas

de plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita, hornblenda, magnetita, titanita, epidoto, apatita, zircão e allanita (mais detalhes estão em Almeida e Macambira 2007).

A crosta maciça ferro-titanífera formada a partir do QHG, é marrom avermelhada a cinza escura, geralmente com brilho metálico, pouco porosa a microporosa e magnética (Figura 3A e 3B). É composta por magnetita, hematita, maghemita, goethita, caulinita, anatásio, gibbsita e ilmenita (Figuras 2, 3 e 4). Os cristais bem formados e com até 5 mm de diâmetro de magnetita e titanomagnetita herdados da rocha mãe, representam até 95 % da composição da crosta (Figuras 2D e 2E). Há ainda cristais límpidos de ilmenita, também herdados, que estão seccionados por anatásio identificado por DRX (Figura 2E) resultante da alteração da ilmenita por oxidação do  $Fe^{2+}$  (Schroeder *et al.* 2005), além de geikelita e pirofanita. A maghemita é cinza escura na seção polida e tem contato irregular com os cristais de magnetita e ilmenita (Figura 2C e 2F) e é resultante do intemperismo da magnetita. As espécies minerais são as mesmas que as da crosta de Maicuru e Maraconaí, mas a quantidade de anatásio é inferior (10%) aos 50% de Maicuru (Angélica e Costa 1993). Além desses minerais, a crosta maciça possui manchas brancas milimétricas de caulinita (Figura 3A) provenientes do intemperismo da labradorita e poros preenchidos por caulinita, gibbsita, goethita e quartzo (Figura 4A, 4B e 4C). Na área não afloram os horizontes inferiores (saprólito e mosqueado) do perfil laterítico.

A presença da associação magnetita + maghemita + ilmenita + hematita + goethita + caulinita + gibbsita + anatásio na crosta maciça, além dos contatos irregulares entre maghemita e os cristais de magnetita e ilmenita, em relação ao contato reto observado no QHG e a ocorrência de gibbsita (CM-05, Figura 4C), indicam que realmente se trata de uma crosta laterítica formada a partir do QHG. O processo de lateritização dessa crosta promoveu

a oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  da ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) e magnetita ( $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), a transformação da magnetita em maghemita segundo as reações de Schroeder *et al.* (2005) abaixo:



As equações demonstram que nesse processo a ilmenita se transformou em pseudorutilo (fase intermediária), que gerou anatásio e hematita e esta por hidratação formou goethita. A caulinição por hidrólise da labradorita e a posterior dessilicificação evoluiu para gibbsita, promoveu a lixiviação dos álcalis e o acúmulo de Fe e Al (Beauvais e Roquin 1996, Anand e Paine 2002). A presença de 95% de magnetita e titanomagnetita em relação aos 8% de magnetita+ilmenita no QHG indica que a lateritização provocou enriquecimento residual desses minerais, mas foi insuficiente para aumentar consideravelmente o teor de anatásio (máximo de 10%) como ocorreu em Maicuru e Maraconá, onde esse mineral alcança 50% na crosta em Maicuru (Angélica e Costa 1993). Esse fato poderia também justificar a ausência de crosta bauxítica, comum em perfis lateríticos mais evoluídos como os de Maicuru e Maraconá (Oliveira *et al.* 1988 Angélica e Costa 1991 e 1993; Costa *et al.* 1991), apesar da erosão ser um fator a ser considerado.

As crostas ferruginosas vermiformes desenvolvidas a partir dos granitos Caroebe e Igarapé Azul e que ocorrem nas porções rebaixadas do entorno da colina onde aflora a crosta maciça, são friáveis, têm arcabouço poroso amarelado a avermelhado devido a maior

abundância de caulinita que a goethita. São constituídas também por hematita, quartzo e anatásio, com raros nódulos e pisólitos avermelhados a violeta de até 20 mm de diâmetro geralmente com filmes de goethita (Figura 3). A textura e a composição mineral dessas crostas se assemelham as crostas encontradas na região na serra da Prata e no entorno da Serra do Tucano, ambas a norte de Nova Colina (Conceição 2011 e Santos 2011).

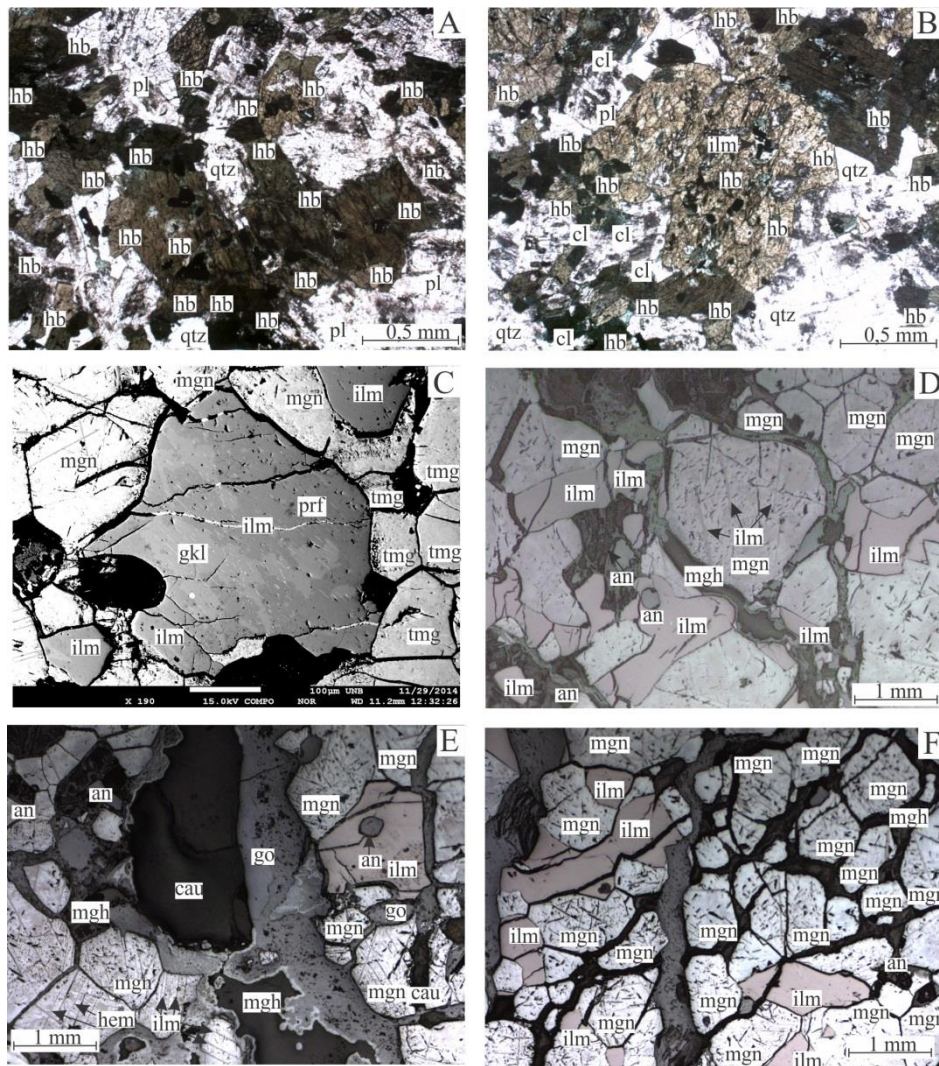


Figura 2: Aspectos microscópicos do QHG e da crosta maciça ferro-titanífera de Nova Colina. A. Aspecto geral do QHG, exibindo as acumulações de hornblenda, grande quantidade de minerais opacos (ilmenita+magnetita+titanomagnetita) e plagioclásios. B. Cristais de hornblenda com alterações para clorita, inclusões de minerais opacos, plagioclásio com indícios de dessilicificação no QHG. C. Crosta maciça com ilmenita em solução sólida com pirofanita (cinza mais escuro) e geikilita (cinza mais claro), titanomagnetitas bem cristalizadas em contato com ilmenita e magnetita. D. Magnetita com lamelas de ilmenita (lamelas paralelas) nas clivagens e ilmenita bem formadas, ambas envolvidas por maghemita e matriz argilosa (goethita e caulinita). E. Porções escuras que ocorrem entre os cristais de magnetita e ilmenita e correspondem as machas brancas encontradas na crosta maciça e cristal de ilmenita (rosado) fraturado com indícios de alteração para anatásio. F. Crosta maciça ferro-titanífera com cristais de magnetita envolvidos por exsolução de maghemita, cristais límpidos de ilmenita e matriz argilosa cinza e preta constituída de goethita e caulinita. Ant = anatásio, Chl=

clorita, Gkl = geikilita, Gt = goethita, Hbl = hornblenda, Hem = hematita, Ilm = ilmenita, Kln = caulinita, Mag = magnetita, Mgh = maghemita, Pl = plagioclásio, Prf = pirofanita, Qtz = quartzo e Tmag = titanomagnetita.

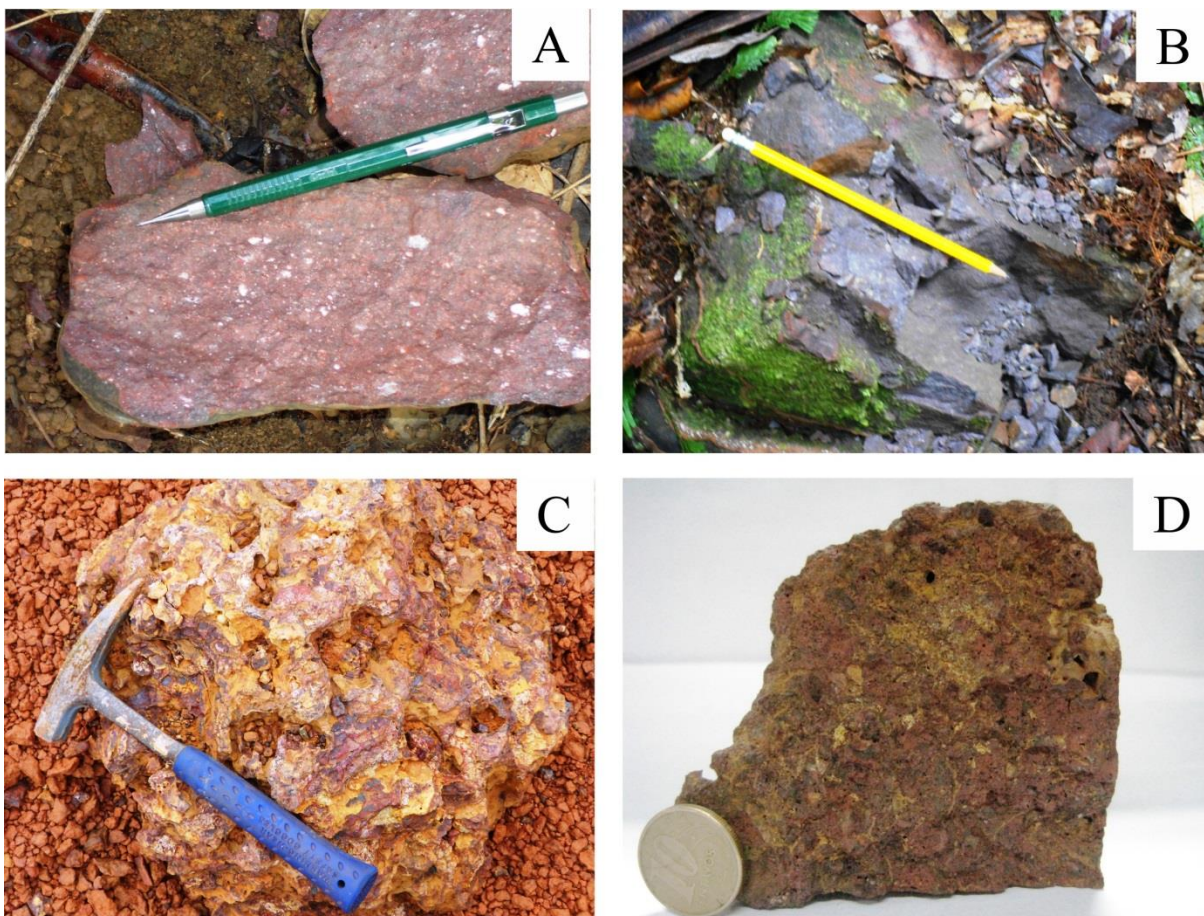
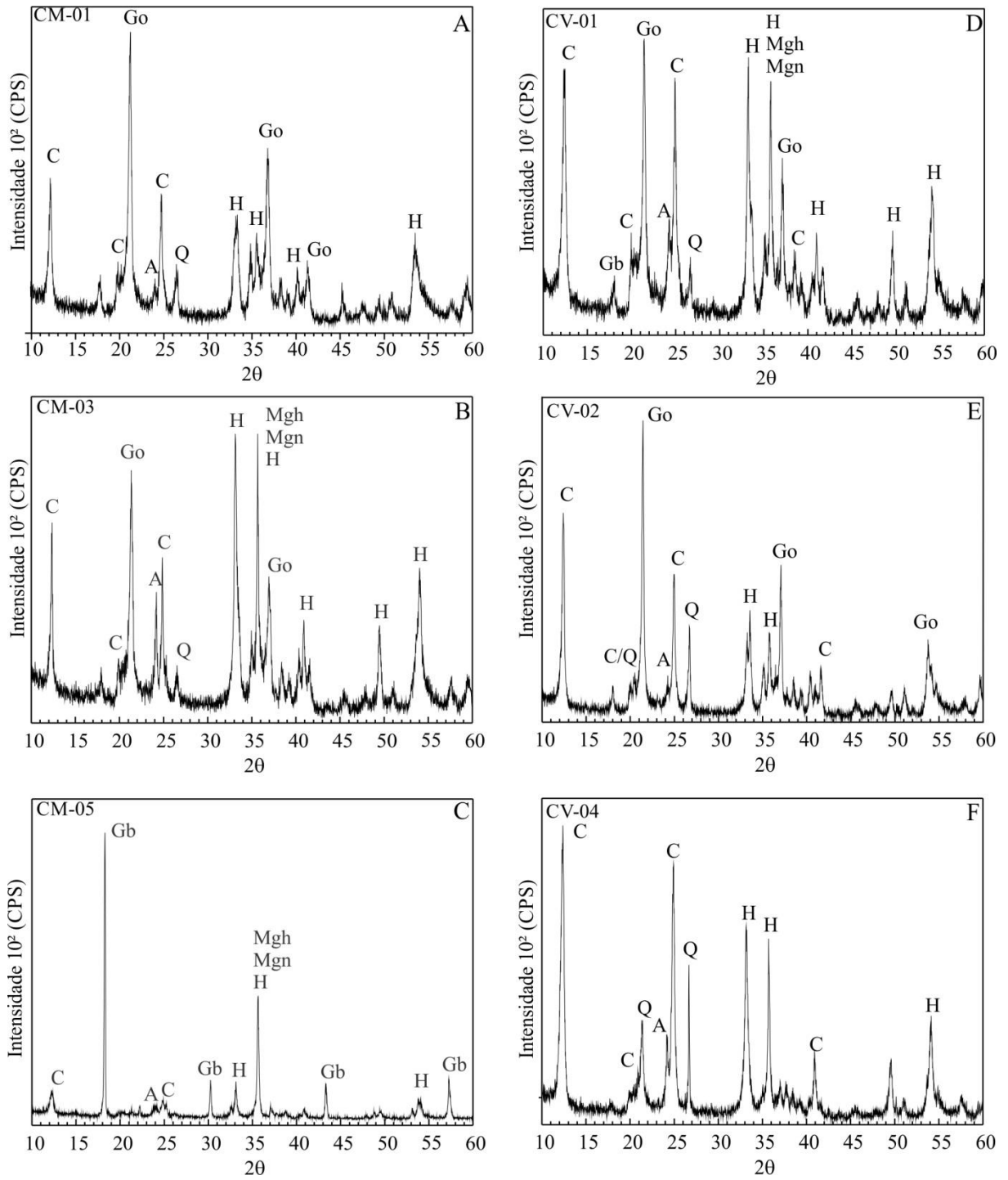


Figura 3: Aspectos macroscópicos das crostas lateríticas de Nova Colina. A. Crosta maciça ferro-titanífera avermelhada com manchas esbranquiçadas de caulinita. B. Crosta maciça ferro-titanífera aczentada com brilho metálico formada por magnetita, maghemita, ilmenita, hematita, goethita, caulinita, gibbsita e anatásio C. Crosta vermiforme ferruginosa com arcabouço endurecido formado por hematita e goethita, preenchido por caulinita e quartzo. D. Crosta vermiforme ferruginosa formada por arcabouço avermelhado de hematita e goethita preenchido por caulinita amarelada e quartzo.





Figur 4: Difratoqramas da crosta maciça (A, B e C) e vermifome ferruginosa (D, E e F). Ant=anatásio, Gbs=gibbsita, Gt=goethita, Hem=hematita, Kln=Caulinita, Mag=magnetita e Mgh=magnetita.

### 3.1. Composição Química

No QHG predomina SiO<sub>2</sub> (46,8%), seguido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15,5 e 13,9 %, respectivamente) e entre os álcalis CaO e MgO são os mais elevados (9,9 e 5,8 %, respectivamente). Nos granitos predominam SiO<sub>2</sub> (até 69,75 %) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (até 18,24 %), seguidos dos álcalis CaO (5,54%, granito Caroebe) e K<sub>2</sub>O (5,33%, granito Igarapé Azul).

Ferro (46,3 a 76,9%) e TiO<sub>2</sub> (até 10,1%) são mais elevados nas crostas maciças e SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (até 29,9 e 21,9%, respectivamente) na crosta vermiforme. A PF (até 10,5% nas maciças e 14,1% nas vermiformes) nas crostas é mais elevada que nas rochas (Tabela 1).

Tabela 1: Composição química dos óxidos maiores, menores e perda ao fogo em % das rochas, crostas maciças e vermiformes. QHG = quartzo-hornblenda gabro, GIA = Granito Igarapé Azul (Fácies Vila Catarina) e GC = Granito Caroebe (Fácies Jaburuzinho).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF
CM-01	17,99	18,91	46,29	0,05	<0,01	<0,01	0,02	1,74	0,46	13,60
CM-02	12,22	9,90	66,95	0,08	<0,01	0,01	<0,01	3,60	0,16	6,60
CM-03	13,71	14,54	56,15	0,01	<0,01	<0,01	0,03	3,51	0,23	10,50
CM-04	3,51	4,11	76,91	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	5,09	0,23	8,30
CM-05	5,93	10,54	65,50	<0,01	<0,01	<0,01	0,47	10,08	0,06	5,40
CM-06	11,38	9,94	66,98	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	2,54	0,20	8,30
CM-07	13,11	10,95	62,55	0,19	<0,01	<0,01	<0,01	3,53	0,09	8,80
CM-08	9,19	7,67	71,21	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	3,57	0,41	6,50
CM-09	9,70	8,21	66,79	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	3,55	0,17	10,20
QHG	46,80	13,93	15,50	0,54	2,61	9,96	5,80	2,24	0,76	1,40
CV-01	20,29	19,71	46,00	0,38	<0,01	<0,01	<0,01	0,85	0,16	12,20
CV-02	25,17	17,26	44,04	0,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,50	0,05	12,00
CV-03	33,19	15,54	40,52	0,22	<0,01	<0,01	<0,01	0,36	0,10	9,80
CV-04	28,84	15,94	44,72	0,17	<0,01	<0,01	<0,01	0,63	0,07	9,40
CV-05	21,53	19,10	47,01	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	0,58	0,06	11,30
CV-06	24,09	21,89	38,70	0,20	<0,01	<0,01	<0,01	0,75	0,09	14,10
CV-07	29,91	14,41	46,03	0,29	<0,01	<0,01	0,02	0,66	0,08	8,30
GIA	69,75	15,59	1,82	5,33	3,83	2,02	0,40	0,28	0,11	0,65
GC	59,40	18,24	4,96	2,99	4,33	5,54	1,82	0,72	0,53	0,97
Média crosta maciça	10,75	10,53	64,37	0,07	<0,01	0,01	0,14	4,13	0,22	8,69
Média crosta vermiforme	26,15	17,69	43,86	0,21	<0,01	<0,01	0,02	0,62	0,09	11,01

A distribuição dos elementos traços mostra que os mais concentrados no QHG são Sr, V, Ba e Zr (530, 338, 263 e 215 ppm, respectivamente), nos granitos Ba, Sr e Zr (média de 1622, 751 e 346 respectivamente) e em ambas as crostas são V, Zr e Cu (média de 968, 175 e

112 ppm respectivamente), (Tabela 2). No QHG Co, Cu, Ga, Nb, Sc, Sr, V e Zr estão enriquecidos em relação a crosta continental superior de Taylor e McLennan (1985), enquanto Ba, Hf, Pb, Rb, Th, U, Y e Zn estão empobrecidos (Figura 5A). O enriquecimento se acentua em Co, Cu, Ga, Sc e V nas crostas maciças, assim como o empobrecimento em Ba, Hf, Rb, Sr, Th, U, Y e Zn.

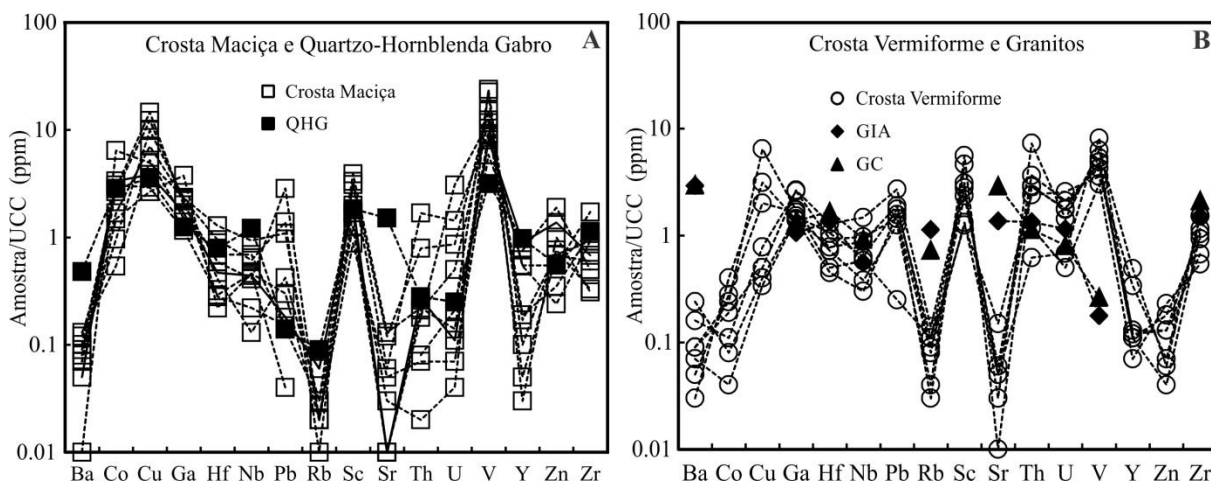


Figura 5: Diagramas de distribuição dos elementos traços em ppm, normalizados pela crosta continental superior de Taylor e McLennan (1985). A) Crosta maciça ferro-titanífera e QHG. B) Crosta vermiforme e granitos. QHG = quartzo-hornblenda gabro, GIA = Granito Igarapé Azul (Fácies Vila Catarina) e GC = Granito Caroebe (Fácies Jaburuzinho).

Os granitos, quimicamente similares entre si, são enriquecidos em relação a crosta continental superior de Taylor e McLennan (1985) em Ba, Ga, Hf, Sr, Th e Zr e empobrecidos em Co, Cu, Nb, Pb, Sc, V, Y e Zn, enquanto a crosta laterítica vermiforme, desenvolvida a partir dessas rochas, é enriquecida apenas em Ga, Pb, Th, U e V e empobrecida em Ba, Hf, Rb, Sr e Zr (Figura 5B). A diferença entre as crostas é o maior enriquecimento em V, Cu, Ga e Co na maciça em relação ao enriquecimento em Sc, Th, Pb, U e Zr na vermiforme e retrata o efeito da lateritização sobre o QHG e os granitos, respectivamente. Outra característica resultante da lateritização é empobrecimento em Ba, Hf, Nb e Rb na crosta maciça e em Y e Zn na crosta vermiforme.

Tabela 2: Distribuição dos elementos traços em ppm das rochas, crostas maciças e vermiformes. Elementos menores que o limite de detecção: Au (<0,5 ppb), Hg (<0,01 ppm), Bi, Cd, Sb, Ta e Tl (<0,1ppm), Ag, As, Cs e Se (<0,5 ppm), Be e Sn (<1 ppm), Ni (<20 ppm), Cr (0,002 %), Mn (0,01%), n.a. = não analisados. QHG = quartzo-hornblenda gabro, GIA = Granito Igarapé Azul (Fácies Vila Catarina) e GC = Granito Caroebe (Fácies Jaburuzinho). Amostras GIA e GC de Almeida (2007).

	Ba	Co	Cu	Ga	Hf	Nb	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
CM-01	49,0	16,3	246	39,6	7,4	11,2	58,0	18,6	2,3	42,0	22,3	18,0	4,0	989	12,0	39,0	326
CM-02	74,0	9,2	130	25,7	4,0	8,3	30,5	2,4	3,1	53,0	45,3	2,4	0,4	950	11,9	17,0	175
CM-03	64,0	28,6	176	38,6	5,5	7,3	51,5	23,6	0,8	45,0	42,8	8,4	2,4	1597	4,2	25,0	206
CM-04	4,0	109	124	40,0	1,6	2,6	134	2,5	0,2	23,0	1,1	0,9	0,6	2401	0,7	71,0	59,2
CM-05	40,0	25,2	66,5	64,0	1,3	5,5	152	0,6	0,4	17,0	11,2	0,2	0,1	2542	2,2	54,0	62,7
CM-06	43,0	52,2	72,7	19,7	1,7	5,5	120	5,1	2,7	12,0	19,0	0,7	0,2	627	16,8	134,0	94,6
CM-07	25,0	56,7	95,9	28,7	2,7	5,3	132	3,0	6,5	27,0	4,1	2,9	0,3	860	19,5	97,0	130
CM-08	53,0	48,4	365	34,0	3,4	4,9	382	48,4	2,4	23,0	3,6	1,9	8,6	1246	3,8	49,0	174
CM-09	38,0	45,2	306	37,0	2,4	1,5	92,5	7,1	3,1	17,0	5,1	2,2	1,4	1320	1,2	48,0	114
QHG	263	48,5	89,1	21,2	4,6	14,5	44,7	2,3	10,1	25,0	530	3,0	0,7	338	21,4	40,0	215
CV-01	52,0	4,0	161	29,4	2,9	7,0	27,0	4,2	12,7	38,0	18,5	6,6	1,9	871	2,7	9,0	128
CV-02	25,0	4,8	50,3	28,1	4,2	4,5	59,0	21,5	4,6	76,0	3,8	31,2	4,9	572	2,5	13,0	177
CV-03	134	1,3	10,0	25,8	6,1	7,5	<20,0	30,0	11,8	17,0	53,2	25,7	7,2	382	7,5	5,0	290
CV-04	39,0	0,7	8,4	24,3	4,5	10,5	<20,0	32,3	9,6	18,0	16,7	30,5	5,0	521	2,4	3,0	197
CV-05	19,0	6,8	78,3	23,8	2,6	3,6	81,0	26,7	2,9	63,0	1,6	12,6	1,4	325	1,6	16,0	103
CV-06	88,0	1,8	19,5	44,2	5,4	11,6	<20,0	24,5	9,1	32,0	21,2	39,1	5,9	459	2,9	9,0	221
CV-07	49,0	3,3	12,5	45,1	7,5	17,6	<20,0	46,1	15,8	42,0	11,5	77,9	4,0	673	10,7	4,0	289
GIA	1606	n.a.	n.a.	18,0	7,8	6,7	19,5	n.a.	127	n.a.	478	14,3	3,2	19,0	n.a.	n.a.	288
GC	1639	n.a.	n.a.	23,1	9,7	11,1	16,2	n.a.	82,0	n.a.	1024	12,2	2,3	28,3	n.a.	n.a.	404
Média crosta maciça	43,3	43,4	176	36,4	3,3	5,8	128	12,4	2,4	28,8	17,2	4,2	2,0	1392	8,0	59,3	149
Média crosta vermiforme	58,0	3,2	48,6	31,5	4,7	8,9	55,7	26,5	9,5	40,9	18,1	31,9	4,3	543	4,3	8,4	201

Nas crostas maciças os ETRL (média de 210,6 ppm) estão empobrecidos em relação ao QHG, assim como a crosta vermiforme (média de 71,2 ppm) em relação aos granitos (média de 332 ppm) (Tabela 3). A crosta maciça tem maior concentração em Ce (média de 94,1 ppm, ) e as vermiformes em La (média de 20,9 ppm). Outra diferença é o maior fracionamento dos ETRL em relação aos ETRP na crosta vermiforme (em média 4,60) quando considerada a crosta continental superior de Taylor e McLennan (1985). Há anomalia leve positiva em Eu/Eu\* no QHG e em três amostras das crostas maciças (CM-04, CM-05 e CM-06), assim como acentuada anomalia positiva de Ce em CM-03, CM-04, CM-05, CM-08 e CM-09 (Figura 6A).

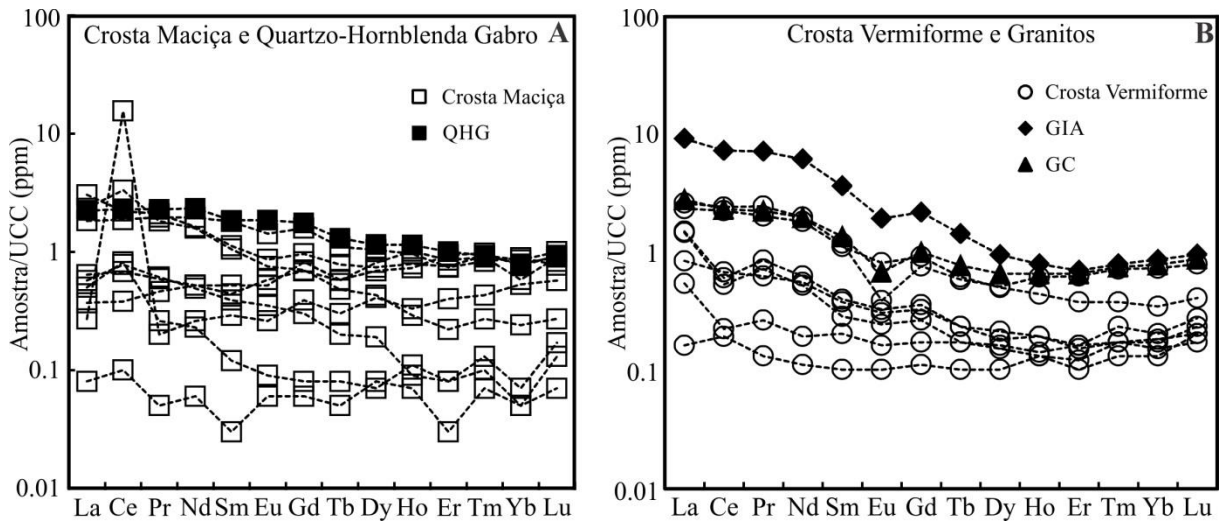


Figura 6: Diagramas dos elementos terras raras em ppm, normalizados pela crosta continental superior de Taylor e McLennan (1985). A) Crosta maciça ferro-titanífera QHG. B) Crosta vermiforme e granitos. QHG = quartzo-hornblenda gabro, GIA = Granito Igarapé Azul (Fácies Vila Catarina) e GC = Granito Caroebe (Fácies Jaburuzinho).

Tabela 3: Distribuição dos elementos terras raras em ppm das rochas, crostas maciças e vermiformes. QHG = quartzo-hornblenda gabro, GIA = Granito Igarapé Azul (Fácies Vila Catarina) e GC = Granito Caroebe (Fácies Jaburuzinho).

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣETRL	ΣETRP	ΣETR	Ce/Ce*	Eu/Eu*	(La/Yb)N
CM-01	48,40	72,80	8,34	26,10	3,92	0,95	3,16	0,47	2,74	0,55	1,65	0,28	1,88	0,30	160,5	11,03	171,5	0,99	0,83	9,71
CM-02	29,20	61,80	7,82	31,20	6,31	1,56	5,20	0,66	3,85	0,67	1,63	0,25	1,95	0,23	137,9	14,44	152,3	0,99	0,84	<0,10
CM-03	37,30	109,5	7,26	25,30	3,69	0,82	2,30	0,29	1,60	0,20	0,49	0,08	0,52	0,08	183,9	5,56	189,4	1,73	0,87	<0,10
CM-04	1,20	3,20	0,21	0,90	0,09	0,07	0,20	0,03	0,30	0,05	0,06	0,02	0,10	0,02	5,67	0,78	6,45	1,44	1,41	1,10
CM-05	9,10	25,90	2,45	7,80	1,37	0,38	0,98	0,12	0,71	0,06	0,18	0,03	0,10	0,04	47,00	2,22	49,22	1,48	1,02	2,82
CM-06	10,30	22,30	2,37	8,30	1,55	0,64	2,27	0,34	3,01	0,71	1,87	0,27	1,27	0,27	45,46	10,01	55,47	1,18	1,05	8,53
CM-07	5,90	12,40	1,84	8,30	1,81	0,57	2,70	0,35	2,55	0,51	2,06	0,29	1,68	0,28	30,82	10,42	41,24	0,87	0,80	0,49
CM-08	4,30	512,6	0,80	4,10	1,01	0,29	1,30	0,18	1,50	0,23	0,88	0,13	1,16	0,17	523,1	5,55	528,7	58,60	0,77	0,51
CM-09	8,00	27,00	1,04	3,60	0,43	0,10	0,26	0,05	0,27	0,08	0,18	0,04	0,15	0,05	40,17	1,08	41,25	2,42	0,92	7,14
QHG	35,70	76,00	9,11	37,20	6,45	2,03	5,79	0,78	4,26	0,80	2,20	0,28	1,74	0,27	166,5	16,12	182,6	1,01	1,03	3,54
CV-01	13,10	21,80	2,42	8,60	1,28	0,33	1,06	0,14	0,65	0,13	0,35	0,05	0,32	0,05	47,53	2,75	50,28	0,99	0,87	5,47
CV-02	8,40	7,40	1,05	3,10	0,71	0,18	0,56	0,10	0,60	0,10	0,36	0,07	0,45	0,08	20,84	2,32	23,16	0,69	0,87	2,65
CV-03	36,00	71,30	7,78	28,00	3,78	0,87	2,95	0,36	1,83	0,30	0,82	0,11	0,74	0,12	147,7	7,23	155,0	1,09	0,81	6,62
CV-04	22,70	17,20	2,79	8,10	0,98	0,26	0,87	0,10	0,55	0,09	0,23	0,04	0,29	0,06	52,03	2,23	54,26	0,61	0,89	10,92
CV-05	2,50	6,40	0,52	1,80	0,36	0,11	0,37	0,06	0,37	0,09	0,26	0,05	0,39	0,06	11,69	1,65	13,34	1,43	0,95	0,89
CV-06	23,20	19,40	3,30	9,70	1,38	0,35	1,15	0,14	0,76	0,13	0,34	0,05	0,37	0,07	57,33	3,01	60,34	0,63	0,87	3,56
CV-07	40,10	76,70	9,45	30,60	4,01	0,42	2,45	0,34	1,86	0,42	1,35	0,21	1,57	0,23	161,3	8,43	169,7	1,06	0,41	2,06
GIA	139,6	228,2	27,19	93,99	12,22	2,05	6,94	0,83	3,41	0,54	1,49	0,23	1,85	0,28	503,2	15,57	518,8	0,97	0,69	10,37
GC	43,02	73,26	8,61	30,45	4,60	0,72	3,19	0,45	2,36	0,45	1,40	0,22	1,67	0,26	160,7	9,99	170,6	0,98	0,58	3,53
Média crosta maciça	17,08	94,17	3,57	12,84	2,24	0,60	2,04	0,28	1,84	0,34	1,00	0,15	0,98	0,16	130,50	6,79	137,29	7,74	0,95	3,36
Média crosta vermiforme	20,86	31,46	3,90	12,84	1,79	0,36	1,34	0,18	0,95	0,18	0,53	0,08	0,59	0,10	71,20	3,95	75,15	0,93	0,81	4,60

#### 4. DISCUSSÃO

A integração estatística entre a análise de fatores e a análise de agrupamento identificou três associações geoquímicas: 1) PF-Cu-Co-V-TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Nb-Zr-Hf; 3) ETR-Sr-Rb-Ba-SiO<sub>2</sub> (Figura 7) e discriminou três grupos de amostras: 1) as rochas; 2) as crostas maciças CM-02, CM-03, CM-04, CM-05, CM-06, CM-07, CM-08 e CM-09 e a crosta vermiforme CV-01; 3) as crostas vermiformes CV-02, CV-03, CV-04, CV-05, CV-06 e CV-07 e a crosta maciça CM-01.

No grupo das rochas o QHG tem baixa correlação com os granitos devido ao menor teor de SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Sr e ETR. A crosta maciça é identificada pela associação PF-Cu-Co-V-TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em consequência da paragênese magnetita, maghemita, hematita, ilmenita, goethita e anatásio, onde a PF é controlada pela presença de goethita é mais abundante que a caulinita nas crostas maciças. A associação que define a crosta vermiforme é Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Nb-Zr-Hf devido a maior quantidade de caulinita, assim como de resistatos em relação a maciça (Figura 7).

O cálculo isoquímico entre a rocha e a crosta demonstra o enriquecimento em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PF, e V (FE = 1,6 a 12,5) na s crosta maciça, exceto a amostra CM-05 onde o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PF são imóveis e onde há grande concentração de TiO<sub>2</sub> e pouca quantidade de goethita. Sílica, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ba, Co, Rb, Sr e Y estão empobrecidos (FE = <0,1 a 0,7) em quase todas as amostras e o Co é imóvel nas amostras CM-04 e CM-06. Os demais elementos Cu, Ga, Hf, Nb, Pb, Sc, Th, U, Zn, Zr e ETR, estão ora enriquecidos ora empobrecidos e, portanto não são diagnósticos do processo laterítico, entretanto entre eles o Pb é único elemento que na maior parte das amostras está enriquecido. Cobre, Ga, Hf, Nb, Sc, Th, U, Zn, Zr e ETR são empobrecidos (Tabela 4), entretanto a grande maioria deles está enriquecida na amostra CM-01, onde o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tem teor mais elevado dentre as amostras da crosta maciça, por isso se agrupa com a

crosta vermiforme (Figura 7). A amostra CM-08 apresenta enriquecimento de Ce (FE = 4,2) e condiciona a anomalia positiva nesse elemento, enquanto o enriquecimento de Cu, Pb e U sugere que grande parte dos elementos traços está associado aos argilominerais.

O balanço geoquímico das crostas vermiformes em relação aos granitoides é similar ao da crosta maciça em relação ao QHG, mas o enriquecimento de Fe, V e PF (FE = 2,5 a 24,1) é mais acentuado, em consequência da maior quantidade de argilominerais (Tabela 4).

Normalmente a textura e a composição mineral e, conseqüentemente a composição química das crostas estão relacionadas ao estágio da lateritização e, secundariamente a composição da rocha mãe. Na Amazônia perfis lateríticos mais antigos são identificadas por texturas mais complexas e pelo elevado conteúdo de gibbsita que em casos externos pode formar um horizonte bauxítico. Esses perfis se desenvolveram no Oligoceno a partir de rochas do Cretáceo, como as Formações Alter do Chão e Itapecuru (Boulangé e Carvalho 1997; Kotschoubey *et al.* 2005; e Costa *et al.* 2014) ou mais antigas, como as do Proterozóico (Peixoto e Horbe 2008; Soler e Lasaga 2000). As crostas mais jovens se formaram no Plio-Pleistoceno sobre as rochas das formações Barreiras e Novo Remanso do Mioceno (Costa e Horbe 1997; Rozo *et al.* 2005, Costa *et al.* 2009).

Em Nova Colina, o contexto geológico e a lateritização favoreceram o desenvolvimento de crostas maciça e vermiforme. A crosta maciça diferencia-se da vermiforme pela posição topográfica mais elevada, pela textura, pela ocorrência de titanomagnetita e ilmenita e pela maior concentração de magnetita e gibbsita, além dos elevados teores de TiO<sub>2</sub>, V, Cu e Zr. Essas características indicam que a crosta maciça não pode ser considerada como marcadora de um perfil maturo (com crosta bauxítica) e, portanto formado no Oligoceno, mas a ausência de gibbsita na crosta vermiforme é um critério que a correlaciona com perfis formados no Plio-Pleistoceno. Outro critério que indica que a lateritização que formou a crosta maciça foi



de intensidade moderada é a elevada proporção de ilmenita e titanomagnetita em relação a anatásio comparativamente às crostas de Maicuru e Maraconaí consideradas como maduras (Oliveira *et al.* 1988; Angélica e Costa 1991 e 1993). Contudo, o teor de  $\text{TiO}_2$  no QHG (2,24 %) é inferior ao de Maicuru (aproximadamente 10%) e Maraconaí (até 6%), o que pode também explicar a baixa quantidade de anatásio na crosta maciça em Nova Colina.

Com base nos resultados apresentados, é possível inferir que a lateritização na região de Nova Colina ocorreu em pelo menos duas fases distintas: a mais antiga gerou a crosta ferro-titanífera maciça com gibbsita e a mais recente a crosta vermiforme essencialmente caulínica. O cráton das Guianas onde se insere geologicamente a região, está exposto à lateritização e a erosão há pelo menos 100 Ma (Tardy e Roquin 1998). Nessa condição crostas lateríticas se formaram desde então, assim como foram afetadas por erosão. A fase erosiva mais recente e que configurou o relevo atual da região, está provavelmente relacionada a subsidência no Mioceno da bacia do Tacutu e outros efeitos erosivos relacionados ao rearranjo das placas tectônicas Sul-Americana, Nazca e Cocos (Milani e Thomaz Filho 2000), localizada a norte da região de Nova Colina. Portanto, a crosta maciça de Nova Colina, assim como a crosta da Serra da Prata mais a norte (Santos 2011), são relictos dessa fase erosiva que afetou a região centro sul de Roraima e truncou as crostas formadas no Oligoceno (época de formação das crostas lateríticas mais antigas – Kotschoubey *et al.* 2005). A ausência de gibbsita na crosta vermiforme e sua associação lateral com blocos de granitos sugerem que o truncamento pela erosão foi mais profundo nessas rochas o que resultou no relevo baixo e aplainado. A crosta maciça que se insere topograficamente na superfície mais elevada dos Planaltos Residuais de Roraima (Franco *et al.* 1975), foi mais resistente a erosão configurando um alto topográfico. Nessa condição houve preservação da parte inferior do perfil, provavelmente o saprólito e o horizonte mosqueado o que facilitou a formação da

crosta laterítica pós erosão e a transformação de caulinita em gibbsita, enquanto na área dos granitos a erosão truncou mais profundamente os perfis com exposição de rocha.

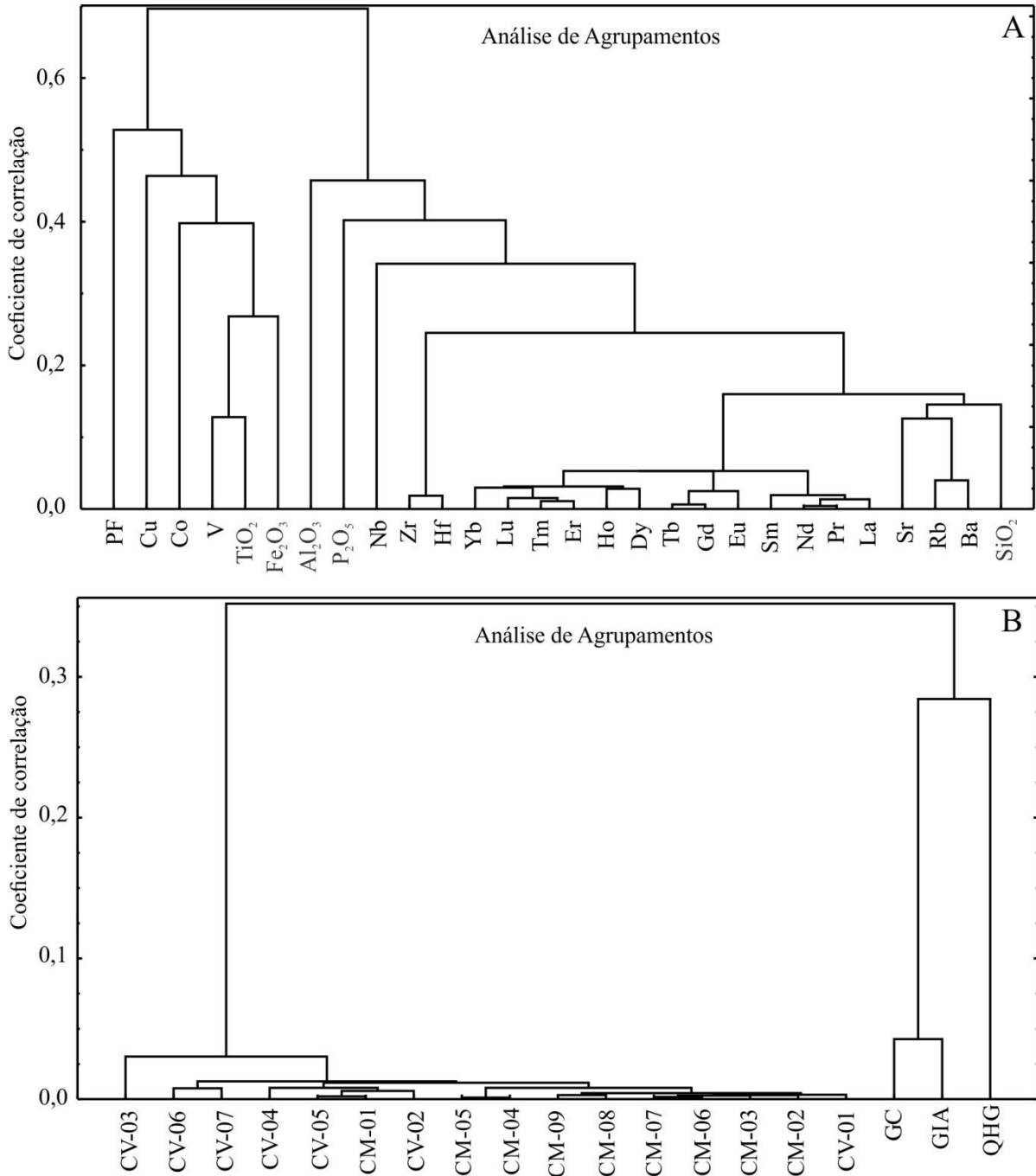


Figura 7: Análise de agrupamento em modo simples dos elementos químicos indicando: (A) as associações geoquímicas 1) PF-Cu-Co-V-TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Nb-Zr-Hf; 3) ETR-Sr-Rb-Ba-SiO<sub>2</sub> e (B) as diferenças químicas entre as rochas e crostas de Nova Colina.

Tabela 4: Resultado do cálculo do balanço isozircônio das crostas maciça e vermiforme. n.a. = não analisados. FE >1,1 são considerados enriquecidos, FE entre 0,9 e 1,1 considerados imóveis e FE < 0,9 considerados empobrecidos em relação a rocha mãe.

	CM-01	CM-02	CM-03	CM-04	CM-05	CM-06	CM-07	CM-08	CM-09	CV-01	CV-02	CV-03	CV-04	CV-05	CV-06	CV-07
SiO <sub>2</sub>	0,5	0,2	0,2	<0,1	<0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	0,4	0,3	0,3	0,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	2,7	2,3	2,2	0,9	3,8	2,6	2,9	2,7	8,0	13,0	16,6	10,5	12,0	7,6	10,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,8	0,1	0,2	0,1	<0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
PF	12,5	2,9	4,8	2,6	0,9	5,2	4,0	2,9	4,6	8,9	14,8	16,8	9,2	12,0	11,6	7,8
Ba	0,2	0,2	0,2	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Co	0,4	0,1	0,4	1,0	0,1	1,0	0,7	0,6	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Cu	3,6	0,9	1,3	0,6	0,2	0,7	0,7	2,6	2,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ga	2,4	0,8	1,2	0,8	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	0,8	1,4	1,7	0,9	1,0	1,4	1,7
Hf	2,1	0,5	0,8	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2	0,5	1,0	0,4	0,3	0,4	0,7
Nb	1,0	0,4	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	0,5	1,2	0,9	0,4	0,9	1,5
Pb	10,4	0,7	6,6	0,5	0,1	2,0	0,8	13,2	2,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Rb	0,3	0,2	0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	<0,1	0,2	0,1	<0,1	0,1	0,1
Sc	2,2	1,3	1,2	0,4	0,2	0,4	0,7	0,6	0,4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Sr	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Th	7,7	0,5	1,8	0,1	<0,1	0,2	0,6	0,4	0,5	0,3	2,4	2,7	1,8	0,8	2,0	4,4
U	7,4	0,4	2,2	0,4	<0,1	0,3	0,3	7,7	1,3	0,4	1,8	3,7	1,5	0,4	1,4	1,1
V	3,8	1,8	3,0	3,1	1,7	1,6	1,6	2,3	2,5	21,6	24,1	22,4	17,5	11,8	12,9	21,5
Y	0,7	0,4	0,1	<0,1	<0,1	0,7	0,6	0,1	<0,1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zn	1,3	0,3	0,4	0,8	0,3	3,0	1,5	0,8	0,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Zr	2,0	0,5	0,6	0,1	0,1	0,4	0,4	0,5	0,3	0,2	0,5	1,2	0,5	0,3	0,4	0,6
La	1,8	0,5	0,7	<0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,2	<0,1	0,2	0,3
Ce	1,2	0,5	0,9	<0,1	0,1	0,3	0,1	4,2	0,2	0,1	0,1	0,7	0,1	<0,1	0,1	0,4
Pr	1,2	0,5	0,5	<0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,1	<0,1	0,1	0,4
Nd	0,9	0,5	0,4	<0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,1	<0,1	0,1	0,4
Sm	0,8	0,6	0,4	<0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,6	0,1	<0,1	0,1	0,4
Eu	0,6	0,5	0,3	<0,1	<0,1	0,3	0,2	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,9	0,2	0,1	0,2	0,2
Gd	0,7	0,6	0,3	<0,1	<0,1	0,4	0,3	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,2	0,4
Tb	0,8	0,5	0,2	<0,1	<0,1	0,4	0,3	0,1	<0,1	0,1	0,2	0,8	0,1	0,1	0,2	0,4
Dy	0,8	0,6	0,2	<0,1	<0,1	0,6	0,4	0,2	<0,1	0,1	0,2	0,9	0,2	0,1	0,2	0,5
Ho	0,9	0,5	0,2	<0,1	<0,1	0,8	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	0,8	0,1	0,2	0,2	0,6
Er	1,0	0,5	0,1	<0,1	<0,1	0,8	0,6	0,3	0,1	0,1	0,3	0,8	0,1	0,2	0,2	0,7
Tm	1,3	0,6	0,2	<0,1	<0,1	0,9	0,7	0,3	0,1	0,1	0,3	0,7	0,1	0,2	0,1	0,7
Yb	1,4	0,7	0,2	<0,1	<0,1	0,6	0,6	0,4	0,1	0,1	0,3	0,6	0,1	0,2	0,1	0,7
Lu	1,4	0,5	0,2	<0,1	<0,1	0,9	0,7	0,4	0,1	0,1	0,3	0,6	0,2	0,2	0,2	0,7

## 5. CONCLUSÕES

Os dois tipos de crostas lateríticas existentes na região de Nova Colina mostram que processos lateríticos e erosivos atuaram na região. Esses processos são marcados pela composição mineral e geoquímica das crostas maciça e vermiforme que retratam substratos distintos. A crosta maciça ferro-titanífera com posição topográfica um pouco mais elevada (220 m) (Planaltos Residuais de Roraima), se desenvolveu a partir do QHG, provavelmente após o Mioceno a partir do saprólito e mosqueado exposto. A crosta vermiforme representativa do Pediplano Rio Branco-Rio Negro, desenvolvida a partir dos granitos (Caroebe e Igarapé Azul) e topograficamente mais rebaixada (140 m) é mais jovem e representa a lateritização imatura relacionada ao Plio-Pleistoceno. O teor de  $TiO_2$  de até 10% na crosta maciça, é em média seis vezes mais elevado que na crosta vermiforme e 16 vezes mais elevado que a crosta continental superior, mas é inferior ao das crostas de Maicuru e Maraconaí. Isto indica que o potencial mineral para  $TiO_2$  é pequeno já que a extensão da crosta maciça é de aproximadamente 1 km.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº. 473359/2012-0) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro. A Universidade Federal do Amazonas e Universidade de Brasília pela sua infraestrutura. Aos professores Dr. Valmir da Silva Souza e Dr. Nilson Francisquini Botelho e a Frederico Alberto Cuadros Jimenéz pelo apoio nas análises de microscopia e microsonda realizadas na Universidade de Brasília. Agradecemos também ao Sr. Aúreo detentor dos alvarás de pesquisa e que nos levou até a área.

## 6. BIBLIOGRAFIA CITADA

Almeida, M.E. 2006. *Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo das Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico e isotópico dos granitóides Paleoproterozóicos do Sudeste de Roraima, Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 240p.

- Almeida, M.E.; Macambira, M.J.B.; Oliveira, E.C. 2007. Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97-1.96Ga) in central portion of Guyana Shield. *Precambrian Research*, 155: 69-97.
- Almeida, M.E.; Macambira, M.J.B. 2007. Geology and petrography of Paleoproterozoic granitoids from Uatumã-Anauá Domain, central region of Guyana Shield, southeastern Roraima, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 32:237-256.
- Anand, R.R.; Paine, M. 2002. Regolith geology of the Yilgarn Craton, Western Australia: implication for exploration. *Australian Journal of Earth Science*, 49: 3-162.
- Angélica, R.S.; Costa, M.L. 1991. Associações geoquímicas nos lateritos superficiais do Complexo de Maicuru, Estado do Pará. *Geochimica Brasiliensis*, 5: 101-115.
- Angélica, R.S.; Costa, M.L. 1993. Geochemistry Of Rare-Earth Elements In Surface Lateritic Rocks And Soils From The Maicuru Complex, Para, Brasil. *Journal of Geochemical Exploration*, 47: 165-182.
- Beauvais, A.; Roquin, C. 1996. Petrological differentiation patterns and geomorphic distribution of ferricretes in Central Africa. *Geoderma*, 73: 63-82.
- Boulangé, B.; Carvalho, A. 1997. The bauxite of Porto Trombetas. In: Carvalho, A.; Boulangé, B.; Melfi, A. J.; Lucas, Y. (Eds.) *Brazilian bauxites*, USP/FAPESP/ORSTOM, Brazil. 55-73.
- Carvalho, I.G.; Mestrinho, S.S.P.; Fontes, V.M.S.; Goel, O.P.; Souza, F.A. 1991. Geochemical evolution of laterites from two áreas of the semiarid region in Bahia State, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 40: 385-411.
- Conceição, D.A. 2011. *Intemperismo na região da Serra do Tucano-RR*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 41p.
- Costa, M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 21: 146-160.
- Costa, M.L.; Fonseca, L.R.; Angélica, R.S.; Lemos, V.P. 1991. Geochemical exploration of the Maicuru ultramafic-alkaline-carbonatite complex, northern Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 40: 193-204.
- Costa, M.L.; Fernandez, O.J.C.; Requelme, M.E.R. 2005. O depósito de manganês do Azul, Carajás: estratigrafia, mineralogia, geoquímica e evolução geológica. In: Marini, O.; Queiroz, E.T.; Ramos, B. W. (Editores). *Caracterização em depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*. Brasília, ADIMB, 227-333.
- Costa, M.L.; Horbe, A.M.C. 1997. Lateritização imatura sobreposta a lateritos maduros em Mãe do Rio, Estado do Para. In: Marcondes L Costa; Rômulo S Angélica. *Contribuições a Geologia da Amazonia* 1: 339-357.
- Costa, M.L. 1997. Lateritization as major process of ore deposit formation in the Amazon Region. *Exploration Mining Geology*, 6: 79-104.
- Costa, M.L., 2007. Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização. In: Licht, O.A. B.; Mello, C.S.B.; Silva, C.R. (editores). *Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás*. São Paulo, SBGq, 788 p.
- Costa, M.L.; Souza, D.J.L.; Angélica, R.S. 2009. The contribution of lateritization processes to the formation of the kaolin deposits from eastern Amazon. *Journal of South American Earth Sciences*, 27: 219-234.
- Costa, M.L.; Cruz, G.S.; Almeida, H.D.F.; Pollmann, H. 2014. On the geology, mineralogy and geochemistry of the bauxite-bearing regolith in the lower Amazon basin: Evidence of genetic relationships. *Journal of Geochemical Exploration*, 146: 58-74.

- Cox, K.G.; Bell, J.D.; Pankhurst, R.T. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. University Chicago Press, 450p.
- Franco E.M.S.; Del'Arco J.O.; Rivetti, M. 1975. Folha NA.20 Boa Vista e parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e Nb.21. In: Brasil. Projeto RADAMBRASIL. *Geomorfologia*. Rio de Janeiro. DNPM. P. 139-180. (Levantamentos de Recursos Naturais, 8).
- Klein, C.; Dutrow, B. 2007. *Manual of Science Mineral*. 23rd ed. Hardcover, New York. 716p.
- Kotschoubey, B.; Truckenbrodt, W.; Calaf, J.M.C. 2005. Evolução geológica da porção meridional da província bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (nordeste da Bacia do Grajaú, nordeste do Pará e extremo oeste de Maranhão. *Revista Brasileira de Geociências*, 35: 263-272.
- Milani, E.J.; Thomaz Filho, A. 2000. Sedimentary Basins of South America. In: Cordani U.G.; Milani E.J.; Thomaz Filho A.; Campos D.A. *Tectonic evolution of South America*, Edição Especial do 31st International Geological Congress, 389-449.
- Oliveira, C.M.; Fonseca, L.R.; Oliveira, N.P. 1988. A laterita titanífera de Maraonaí (PA). *Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Geologia*: Belém, Pará. 1: 271-285.
- Oliveira, F.S.; Varajão, A.F.D.C.; Varajão, C.A.C.; Boulangé, B.; Soares, C.C.V. 2013. Mineralogical, micromorphological and geochemical evolution of the facies from the bauxite deposito of Barro Alto, Central Brazil. *Catena*, 105: 29-39.
- Peixoto, S.F.; Horbe, A.M.C. 2008. Bauxitas do nordeste do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: 406-422.
- Rozo, J.M.G.; Nogueira, A.C.R.; Horbe, A.M.C.; Carvalho, A.S. 2005. Depósitos terciários da bacia do Amazonas. In: Adriana Maria Coimbra Horbe e Valmir da Silva Souza. (Org.). *Contribuições a Geologia da Amazônia* 4: 201-207.
- Santos, F.V. 2011. *Intemperismo e as crostas lateríticas da região central de Roraima – RR*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas 43p.
- Santos, J.O.S.; Hartman, L.A.; Gaudette, H.E.; Groves, D.I.; McNaughton, N.J.; Fletcher, I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U–Pb and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3: 453-488.
- Schroeder, P.A.; Golvan, J.J.L., Roden, M.F. 2005. Weathering from granite and chlorite schist in the Georgia Piedmont. *American Mineralogist*, 87: 1616-1625.
- Silva, M.L.M.C.; Oliveira, S.M.B. 1992. Caracterização mineralógica e química das bauxitas de Nazaré Paulista (São Paulo). *Revista Brasileira de Geociências*, 22: 93-99.
- Silva, P.J.M.; Horbe, A.M.C.; Horbe, M.A. 2012. Mineralogia e geoquímica de ocorrências manganésíferas da bacia Alto Tapajós, sudeste do Amazonas, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*. Ciências Naturais, 7: 11-28.
- Soler, J.M.; Lasaga, A.C. 2000. The Los Pijiguas bauxite deposits (Venezuela): A compilation of field data and implications for the bauxitization process. *Journal of South America Earth Science*, 13: 47-65.
- Streckeisen, A. L., 1976. *Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt*. Neues Jahrbuch for Mineralogie, Monatshefte, 1: 1-15.
- Tardy, Y. 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. Paris, Masson. 459p.
- Tardy, Y.; Roquin, C. 1998. *Dérive des continents, paleoclimat et altérations tropicales*. BRGM. 473p.
- Tassinari, C.C.G.; Macambira, M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22: 174-182.

- Taylor, S.R.; McLennan, S.M. 1985. *The continental Crust: its composition and evolution. An Examination of The Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Blackwell Scientific Publ. 312p.
- Théveniaute, H.; Freyssinet, P. 1999. Paleomagnetism applied to lateritic profiles to assess saprolite and duricrust formation processes: the example of the Mont Baduel profile (French Guiana). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148: 209-231.
- Tiesen, H.; Monaco, S.L.; Ramirez, A.; Santos, M.C.D.; Shang, C. 1996. Phosphate minerals in a lateritic crust from Venezuela. *Biogeochemistry*, 34: 1-17.
- Toledo, M.C.M.; Oliveira, S.M.B.; Costa, M.L.; Passos, C.M.; Almeida, H.D.F. 2006. Evolução do manto de intemperismo laterítico rico em fosfatos na ilha de Itacupim (PA) – mineralogia, micromorfologia e geoquímica. *Pesquisas em Geociências*, 33:109-122.
- Varajão, A.F.D.C; Melfi, A.D.; Boulangé, B. 1990. Caracterização morfológica mineralógica e química das facies estruturais da jazida de caulinita de Vargem dos Óculos, Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Brasileira de Geociências*, 20: 75-82

## 2ª. PARTE

### Lateritização de rochas graníticas do norte-nordeste de Rondônia

Rodrigo Tokuta Castro<sup>1</sup>, Adriana Maria Coimbra Horbe<sup>1,2</sup>

1. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Campus Universitário Setor Norte, Bloco 7 – ICE, 69077-000, Manaus, Amazonas, Brasil, castrortokuta@gmail.com;
2. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília, Brasil, ahorbe@unb.br

#### RESUMO

Perfis lateríticos sobre rochas graníticas do embasamento do cráton Amazonas (p.e. Suítes Intrusivas Serra da Providência, Santo Antônio, São Lourenço-Caripunas e Laje) ocorrem no norte e noroeste do estado de Rondônia, na cidade de Porto Velho e arredores. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da lateritização nas rochas graníticas, o grau fracionamento geoquímico e discutir a gênese e os processos de formação, além de inferir sobre a evolução geomorfológica e o contexto laterítico local e regional. Foram utilizados dados de mineralogia e litogeoquímica de cinco perfis lateríticos, completos e incompletos, formados a partir de monzogranitos com altos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ba, Rb, Sr, Zr e ETR. O saprólito e mosqueado constituídos por caulinita, quartzo, goethita, rutilo/anatásio, muscovita, illita e albita, são marcados por teores mais elevados em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PF, Nb, Pb, Th, U e Zr. As crostas lateríticas exibem textura vermiforme e estrutura colunar, localmente pisolíticas com maior conteúdo de goethita, gibbsita e hematita e de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PF, TiO<sub>2</sub>, Ga, Hf, Nb, Sc, Th, U, V e Zr. Os solos, no topo dos perfis apresentam similaridade geoquímica às crostas sobrepostas. A estrutura dos perfis com crostas ferruginosas vermiformes e colunares, localmente pisolíticas com ausência de crosta bauxítica que é típica de perfis pouco evoluídos, indica que a lateritização se desenvolveu a partir do Plio-Pleistoceno época da segunda fase de lateritização na Amazônia.



## 1. INTRODUÇÃO

Perfis lateríticos resultam da exposição sub-aérea das rochas ao longo do tempo geológico e têm como produto final as paisagens lateríticas. Destacam-se as crostas lateríticas que são importantes marcadoras topográficas e da evolução da paisagem (Twidale e Bourne 1998). A variedade de crostas lateríticas depende de condições específicas do clima, topografia e tempo geológico, o que as tornam também importantes marcadores paleoclimáticos e paleoambientais.

Os perfis lateríticos podem ter rochas mães diversas, com diferentes idades e composições petrogenéticas que favorecem a geração de diferentes tipos de crostas lateríticas. As mais abundantes têm caráter ferruginoso, no entanto, a depender da composição da rocha mãe e da idade da crosta, o Fe pode estar associado com Ti, Mn, Al e P (Costa 2007). Além da Amazônia brasileira, as crostas se estendem para a Venezuela, Guianas e para o nordeste, centro-oeste e sudeste do Brasil (Varajão 1990; Carvalho *et. al.* 1991; Silva e Oliveira 1992; Tiesen *et. al.* 1996; Théveniaut e Freyssinet 1999; Soler e Lasaga 2000; Théveniaut e Freyssinet 2002; Oliveira *et al.* 2013 entre outros).

Este trabalho tem ênfase nas ocorrências sobre as rochas graníticas das Suítes Intrusivas Serra da Providência (1,60 Ga), Santo Antônio (1,38 Ga), São Lourenço-Caripunas (1,39 Ga) e Laje (1,30 Ga) na cidade de Porto Velho e arredores, que correspondem a porção norte e noroeste de Rondônia (Figura 1). O objetivo foi ampliar o conhecimento sobre lateritização na Amazônia, aliando o estudo mineralógico mais detalhado e o geoquímico. O conjunto dessas informações permitiu, constatar o efeito da lateritização nas rochas graníticas, o grau fracionamento geoquímico e discutir a gênese e os processos de formação, além de inferir sobre a evolução geomorfológica e o contexto laterítico local e regional.

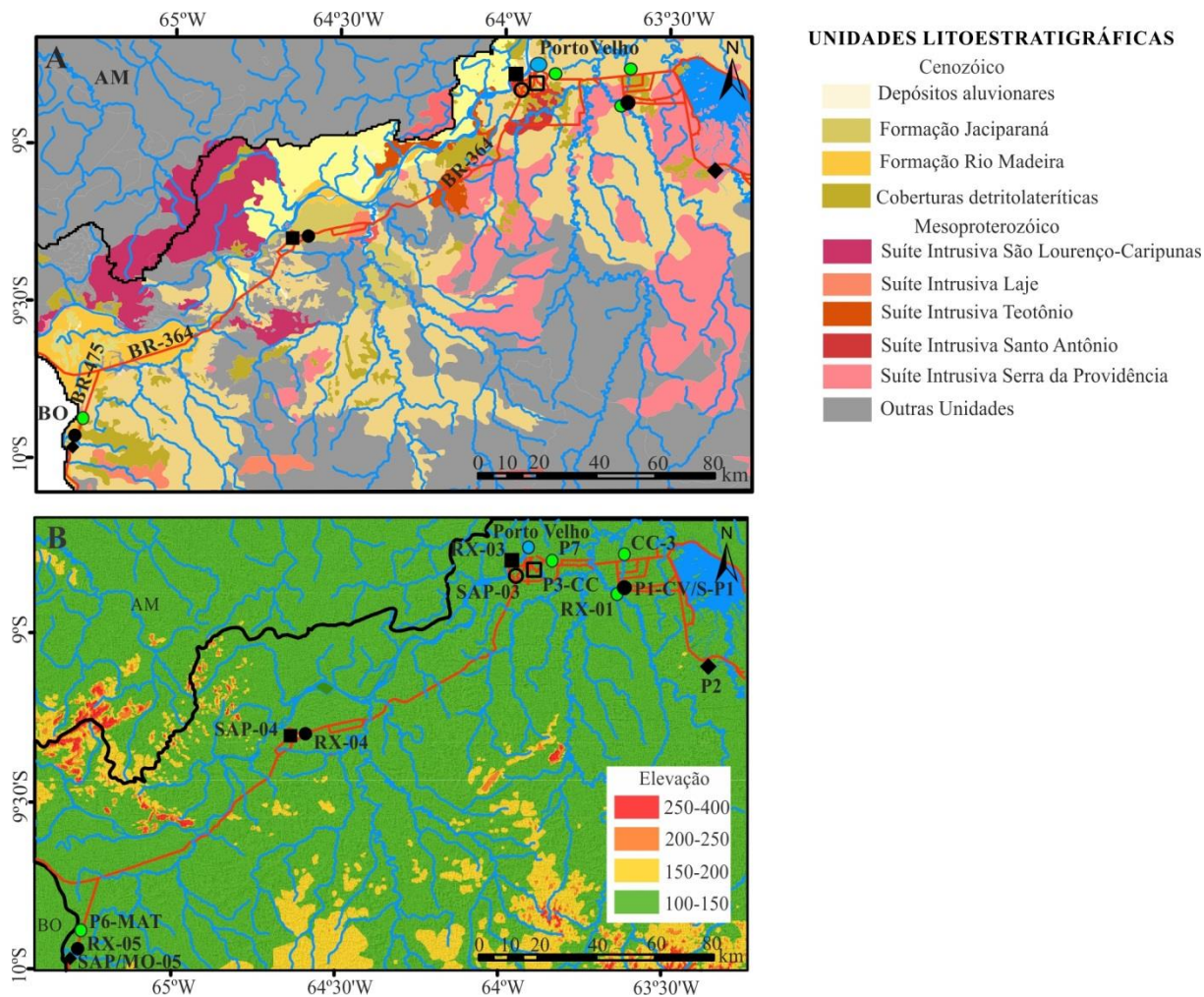


Figura 1: Mapas geológico e de localização modificado de Quadros e Rizzoto (2007) (A), mapa geomorfológico (B) da região de Porto Velho e arredores.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

As províncias geocronológicas Rondônia-Juruena e Sunsás (Santos *et al.* 2000 e 2006) ou Rondoniana-San Ignácio e Sunsás (Tassinari e Macambira 1999), onde se insere a área de Porto Velho e arredores, são compostas por rochas granitóides. A Província Rondônia-Juruena agrupa granitos, charnockitos e mangeritos com textura rapakivi e gabros da Suíte Intrusiva Serra da Providência (Leal *et al.* 1978), com idades U-Pb entre 1,60 e 1,53 Ga (Bettencourt *et al.* 1999). A Província Sunsás é composta por sienos a monzogranitos, granitos rapakivi, granitos pórfiros subvulcânicos, aplitos e quartzo-sienitos das Suítes Intrusivas Santo Antônio, São Lourenço-Caripunas e Laje com idades entre 1,38 e 1,30 Ga (Bettencourt *et al.* 1997 e 1999, Payolla 1994 e Rizzotto *et al.*, 2005a e b).

Sobre essas rochas se desenvolveram coberturas detrito-lateríticas argilo-arenosas e siltico-arenosas e concreções ferruginosas, que constituem perfis completos ou truncados. Os solos normalmente são espessos sobre estas coberturas, predominando latossolos (Costa 2007, Dantas & Adamy 2010).

Esses perfis estão inseridos em três unidades geomorfológicas: 1) Planície Fluvial dos rios Madeira-Mamoré-Guaporé com altitude entre 2 e 20 m; 2) Tabuleiros da Amazônia Centro-Occidental com altitudes de 20 a 50 m; 3) Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia com altitudes de 100 e 300 m. Na superfície aplainada do Sul da Amazônia além das feições residuais lateríticas, há inselbergs localmente com alinhamento de cristas (Dantas & Adamy, 2010) (Figura 1).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo foram coletadas 14 amostras referentes a cinco perfis lateríticos completos ou truncados, desenvolvidos sobre as Suítes Intrusivas Serra da Providência (perfis 1 e 2), Santo Antônio (perfil 3), São Lourenço-Caripunas (perfil 4) e Laje (perfil 5), das quais três amostras são rochas (monzogranitos RX-03, RX-04 e RX-05 das Suítes Santo Antônio, São Lourenço-Caripunas e Laje, respectivamente), três saprólitos sobre estas respectivas rochas (SAP-03, SAP-04 e SAP-05) e uma do horizonte mosqueado: MO-05, cinco são crostas lateríticas ferruginosas com textura vermiforme e/ou estrutura colunar: P1-CV, P2-CV, P2-MAT, P2-CP, P3-CC) e dois solos (S-P1, S-P2) sobre os perfis da Suíte Serra da Providência, nas demais unidades são incipientes. Além dessas amostras foram utilizados dados geoquímicos dos óxidos maiores e elementos traços das rochas da Suíte Serra Providência, estudados em detalhes por Scandolaro *et al.* (2013), que consistiram na média de 28 amostras, sendo 21 dos monzogranitos e 7 dos sienogranitos. As descrições e detalhamento mineralógico macro e microscópico foram realizados com auxílio de lupa, microscópio petrográfico, difração de raios-X (DRX - Shimadzu XRD – 6000), microscopia eletrônica de varredura (MEV: FEI-QUANTA 250) nos Laboratórios de Microscopia e Técnicas Mineralógicas da Universidade Federal do Amazonas e de Microsonda Eletrônica da Universidade de Brasília.

Nas 14 amostras estudadas foram analisados óxidos maiores, menores e elementos traços (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PF, Ag, Au, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Hf, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Yb Zn,

Zr e ETR) por fusão alcalina (metaborato e tetraborato de lítio) e dissolução ácida e determinados por ICP-ES e ICP-MS. A perda ao fogo foi determinada por gravimetria. As análises químicas das amostras foram realizadas na Acmelabs Ltd., Vancouver, Canadá

O fracionamento dos ETR  $(La/Yb)_N$ , assim como as razões  $Ce/Ce^*$  e  $Eu/Eu^*$  foi calculado em relação ao condrito de Taylor e McLennan (1985), sendo as duas últimas obtidas pelas equações 1 e 2.

$$(1) Ce/Ce^* = [(Ce_N) / (\sqrt{(La_N)^* (Pr_N)})]$$

$$(2) Eu/Eu^* = [(Eu_N) / (\sqrt{(Sm_N)^* (Gd_N)})]$$

A identificação das associações geoquímicas e a determinação da similaridade entre as amostras foram feitas por métodos estatísticos utilizando o programa Statistica (versão 7.0). Inicialmente, ~~utilizou-se~~ foi utilizado o método de análise de fatores que permitiu identificar  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ , PF, Ba, Co, Hf, Nb, Rb, Sr, V, Y, Zr e ETR exceto Ce como os elementos com maior carga (superior a 0,3). Posteriormente, esses elementos foram utilizados na análise de agrupamento em modo simples e espaçamento 1-Person-r, o que permitiu determinar a similaridade geoquímica entre as amostras e as associações geoquímicas entre os óxidos e os demais elementos.

No cálculo isoquímico foram utilizados todos os elementos químicos que compõem as rochas e as crostas, exceto CaO, MgO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ag, As, Au, Be, Bi, Cd, Cr, Cs, Ga, Hg, Mn, Sb, Se, Sn, Ta e Tl por estarem abaixo do limite de detecção na maioria das amostras. O  $TiO_2$  foi utilizado como imóvel e o cálculo utilizou a seguinte fórmula:

$$(3) FE = [Ce(hz)^* TiO_2(rm)] / [Ce(rm)^* TiO_2(hz)], \text{ onde:}$$

FE = fator de enriquecimento,  $Ce(hz)$  = concentração do elemento no horizonte,  $Ce(rm)$  = concentração do elemento na rocha mãe,  $TiO_2(hz)$  = concentração do  $TiO_2$  no horizonte e  $Ci(rm)$  = concentração do  $TiO_2$  na rocha mãe. Como base nessa fórmula, os elementos com valores de  $FE > 1,1$  são considerados enriquecidos, FE entre 0,9 e 1,1 considerados imóveis e  $FE < 0,9$  considerados empobrecidos em relação a rocha mãe.

Na confecção dos mapas foram utilizados os softwares Global Mapper 12 e ArcMap 10.0.

#### 4. RESULTADOS

A seguir são apresentadas as características estruturais, mineralógicas e geoquímicas dos perfis estudados.

Perfil 1 –Localizado em Porto Velho (RO), este perfil é composto da base para o topo por crosta laterítica e solo que se desenvolveram sobre monzogranitos da Suíte Serra da Providência. A crosta é vermiforme, friável, tem aproximadamente 2 m de espessura, é amarelada a avermelhada, composta por goethita e caulinita com hematita, quartzo e anatásio subordinados. A hematita ocorre em nódulos marrom avermelhados de até 2 mm de diâmetro e está associada a grãos de quartzo tamanho areia fina, subarredondados, corroídos ou apenas a seus moldes resultantes da dissolução do quartzo. Estes minerais também compõem a matriz argilosa friável alaranjada e amarelada que preenche o arcabouço. O solo tem aproximadamente 2 m de espessura, é amarelado e a composição mineralógica é a mesma da crosta laterítica sotoposta (Figuras 2A e 3A).

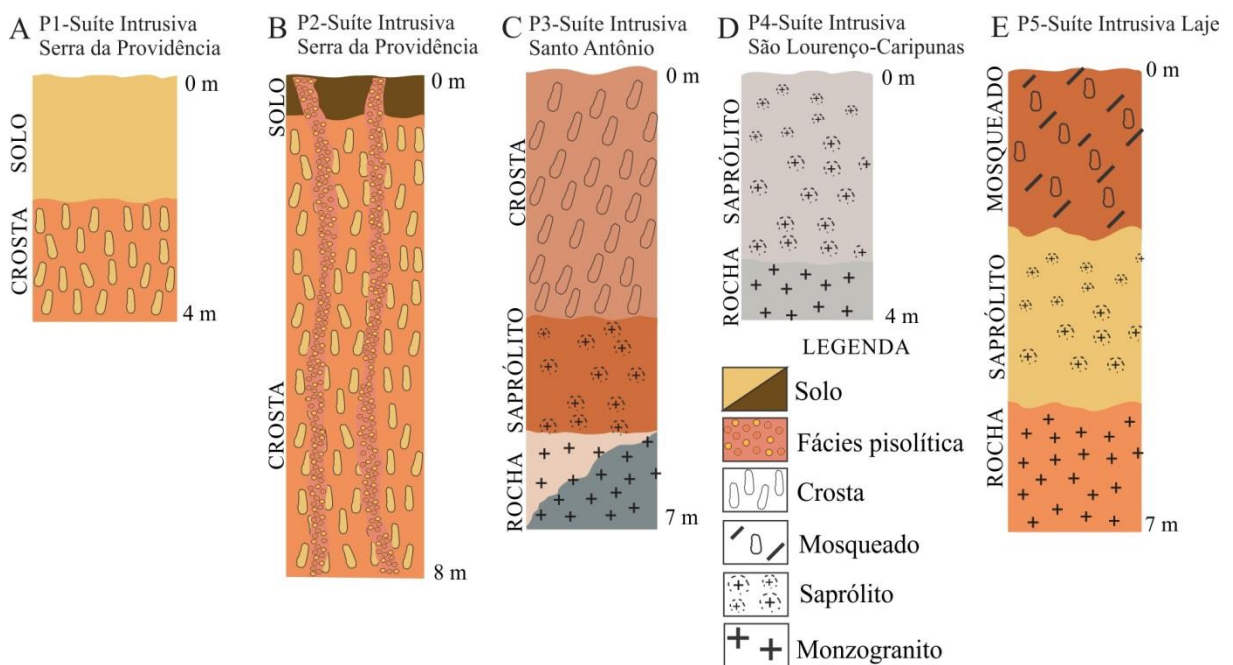


Figura 2: Estruturação esquemática dos perfis lateríticos sobre os granitos de Porto Velho e arredores. A) Perfil 1 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência. B) Perfil 2 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência, detalhe para o fácies pisolítico identificado na crosta colunar. C) Perfil 3 sobre a Suíte Intrusiva Santo Antônio. D) Perfil 4 sobre a Suíte Intrusiva São Lourenço- Caripunas. E) Perfil 5 sobre a Suíte Intrusiva Laje.

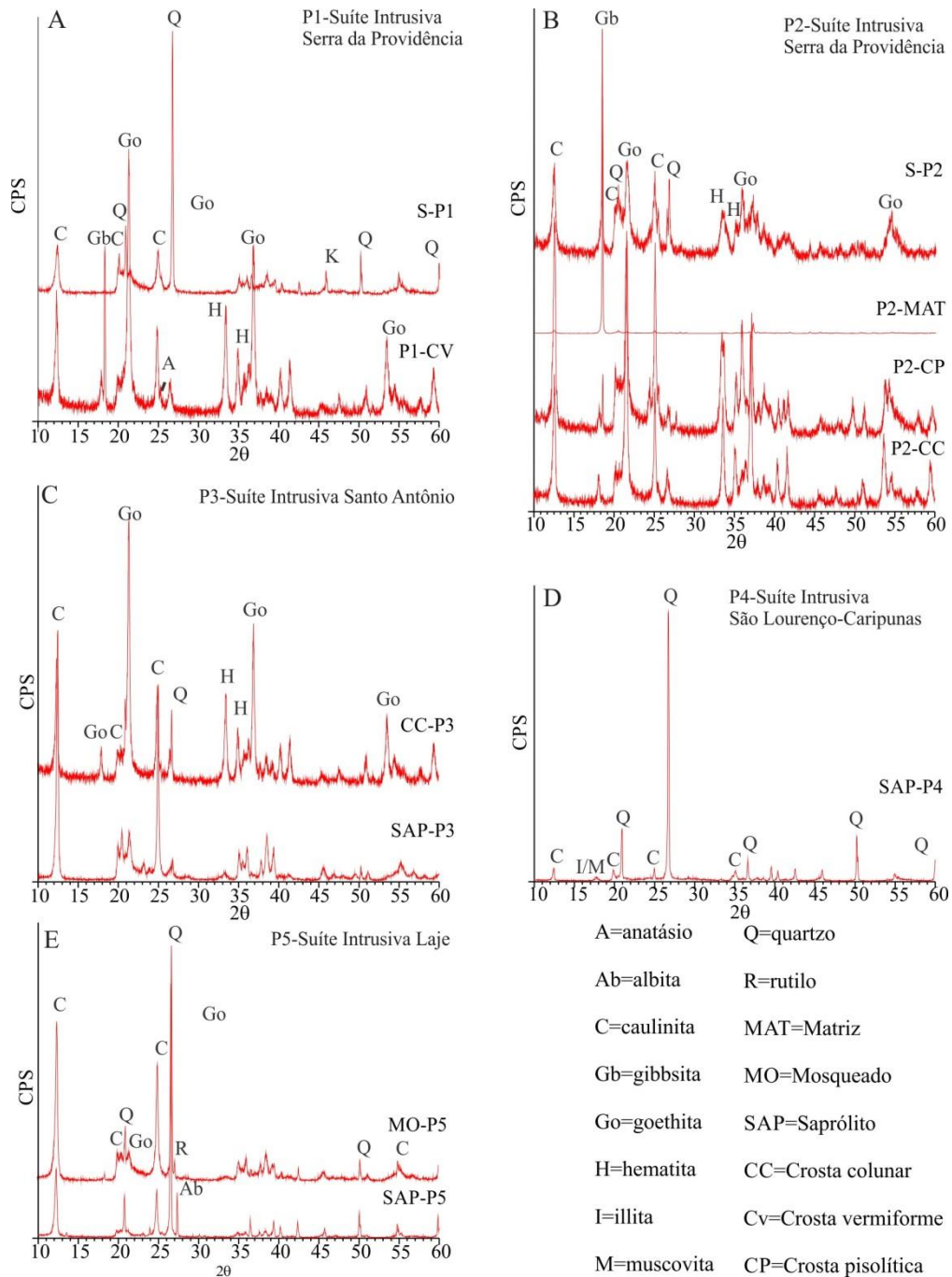


Figura 3: Difratogramas dos perfis lateríticos sobre os granitos de Porto Velho e arredores.

Os constituintes químicos mais abundantes no perfil 1 são  $\text{SiO}_2$  (até 72,9 %) na rocha,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (48,6 %) na crosta e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (21,4 %) no solo (Figura 4A) que estão relacionados a caulinita, goethita e quartzo (Tabela 1). A característica geoquímica deste perfil é o estrôncio empobrecido em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985), enquanto Co, Hf, Nb, Th Y e Zr estão enriquecidos em todos os horizontes, assim como Ba na rocha, Cu, Pb, Sc e Zn somente na crosta e Ga e U na crosta e solo (Figura 5 e Tabela 2).

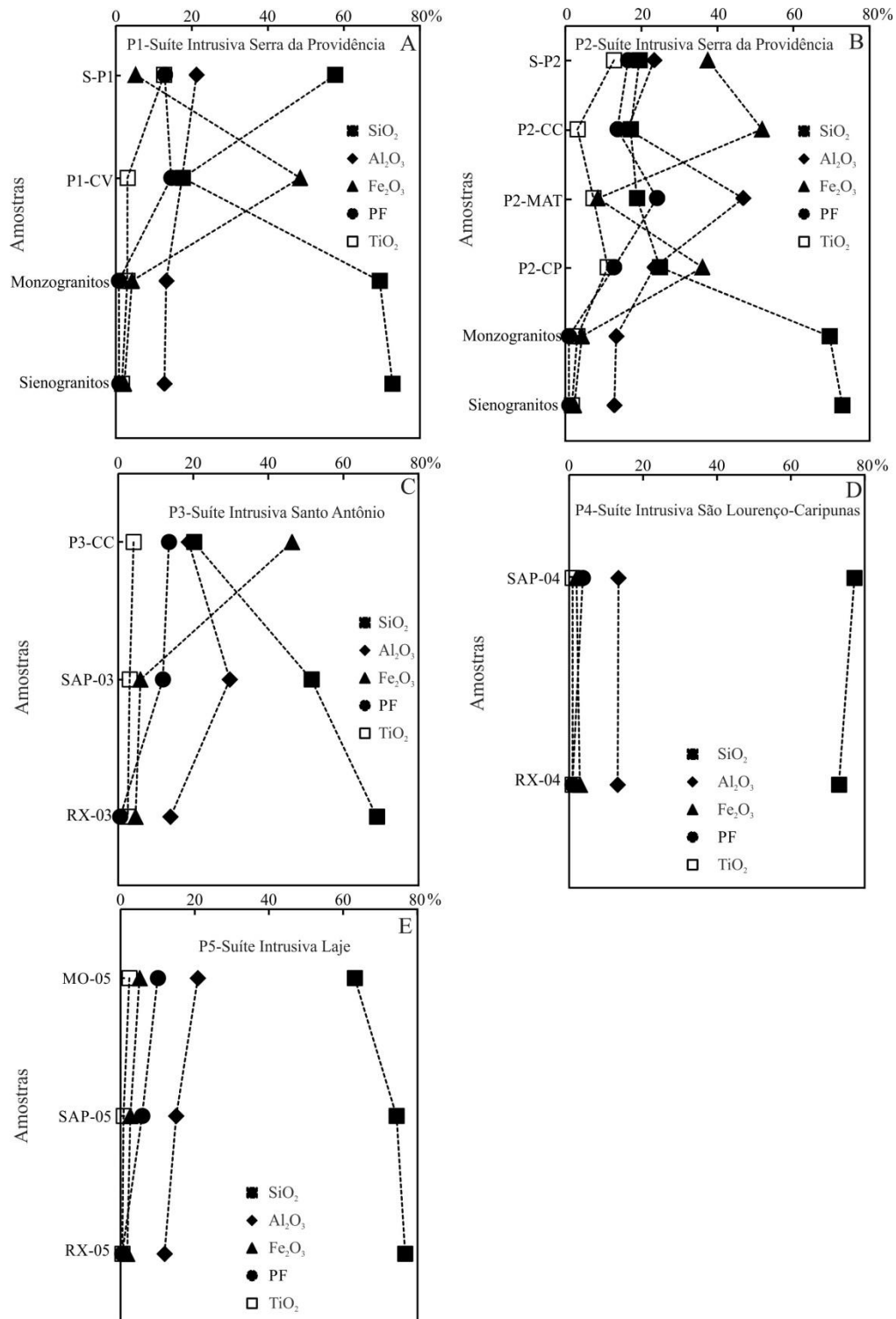


Figure 4: Composição química dos óxidos maiores em % dos perfis de Porto Velho e arredores. A) Perfil 1 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência. B) Perfil 2 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência. C) Perfil 3 sobre a Suíte Intrusiva Santo Antônio. D) Perfil 4 sobre a Suíte Intrusiva São Lourenço- Caripunas. E) Perfil 5 sobre a Suíte Intrusiva Laje. Os valores de TiO<sub>2</sub> foram multiplicados por 5, a química dos monzogranitos e sienogranitos é de Scandolara *et al.* (2013). RX = rocha, SAP = saprólito MO = mosqueado, CC = crosta colunar, CV = crosta vermiforme, CP = crosta pisolítica, MAT = matriz e S = solo.

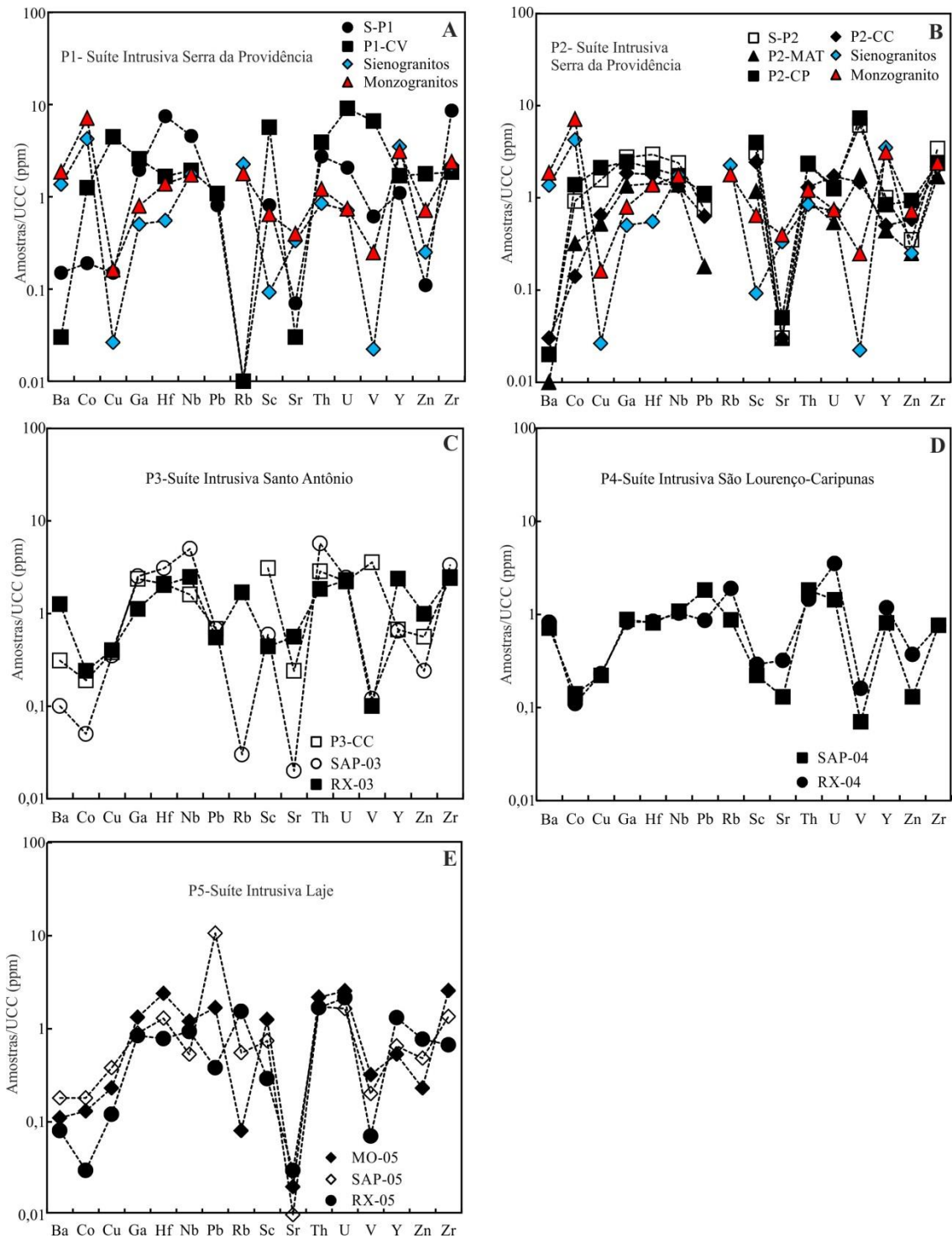


Figure 5: Diagramas de distribuição dos elementos traços em ppm de Porto Velho e arredores normalizados pela crosta continental superior de Taylor & McLennan (1985). A) Perfil 1 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência. B) Perfil 2 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência. C) Perfil 3 sobre a Suíte Intrusiva Santo Antônio. D) Perfil 4 sobre a Suíte Intrusiva São Lourenço- Caripunas. E) Perfil 5 sobre a Suíte Intrusiva Laje. A química dos monzogranitos e sienogranitos é de Scandolaro *et al.* (2013). RX = rocha, SAP = saprólito MO = mosqueado, CC = crosta colunar, CV = crosta vermiforme, CP = crosta pisolítica, MAT = matriz e S = solo.



Tabela 1: Composição química dos óxidos maiores, menores e perda ao fogo em % das rochas, saprólitos, mosqueado, crostas e solos de Porto Velho e arredores

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF
Perfil 1 – Suíte Intrusiva Serra da Providência										
S-P1	57,8	21,4	5,31	0,03	<0,01	<0,01	0,02	2,02	0,09	13,0
P1-CV	17,7	17,5	48,6	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,84	0,17	14,7
Perfil 2 - Suíte Intrusiva Serra da Providência										
S-P2	19,5	23,4	37,5	0,01	<0,01	<0,01	0,02	2,56	0,12	16,5
P2-CC	17,2	16,4	51,8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,64	0,13	13,7
P2-MAT	18,9	46,8	8,58	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,48	0,02	24,1
P2-CP	24,9	23,4	36,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2,23	0,08	12,8
Perfil 3 – Suíte Intrusiva Santo Antônio										
P3-CC	20,2	18,8	46,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,82	0,17	13,5
SAP-03	51,5	29,7	5,92	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,61	0,03	11,9
RX-03	68,9	13,9	4,60	5,09	3,54	1,94	0,49	0,51	0,12	0,50
Perfil 4 - Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas										
SAP-04	77,2	13,4	2,02	2,96	<0,01	0,01	0,33	0,19	0,07	3,70
RX-04	73,0	13,2	2,93	4,88	3,36	1,04	0,28	0,19	0,06	0,90
Perfil 5 - Suíte Intrusiva Laje										
MO-05	63,1	20,8	5,11	0,10	<0,01	0,0	0,02	0,47	0,03	10,0
SAP-05	74,4	15,0	2,61	1,71	0,04	<0,01	0,03	0,16	0,02	5,80
RX-05	76,7	11,9	1,77	5,01	3,41	0,53	0,05	0,09	0,02	0,40
Suíte Intrusiva Serra da Providência - Scandolaro <i>et al.</i> (2013)										
Sienogranitos	72,9	12,9	2,40	5,55	2,76	1,35	0,31	0,35	0,15	1,0
Monzogranitos	69,5	13,4	4,40	5,17	2,58	1,96	0,73	0,63	0,17	0,9

Os ETR estão enriquecidos em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985), mas La, Ce, Sm, Eu e Gd apesar de enriquecidos, diminuem de teor na crosta em relação a rocha, enquanto a maioria dos ETRP (Pr, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu) aumentam no mesmo sentido. No solo os ETR continuam enriquecidos, mas em menor concentração. As razões  $(La/Yb)_N = 1,89$  mostram enriquecimento dos ETRL apenas no solo em relação aos ETRP e Ce/Ce\* indicam anomalias negativas (Figura 6 e Tabela 3).

Tabela 2: Distribuição dos elementos traços em ppm das rochas, saprólitos, mosqueado, crostas e solos de Porto Velho e arredores

	Ba	Co	Cu	Ga	Hf	Nb	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr
Perfil 1 – Suíte Intrusiva Serra da Providência																	
S-P1	84,0	3,30	3,70	33,2	43,4	54,8	<20	13,7	1,5	11,0	23,3	29,3	5,80	65,0	24,1	8,0	1632
P1-CV	19,0	21,3	112	43,9	9,60	23,1	42	18,4	0,70	77,0	10,3	41,6	25,4	708	37,1	126	352
Perfil 2 - Suíte Intrusiva Serra da Providência																	
S-P2	11,0	15,6	39,2	46,8	17,1	28,5	<20	12,7	0,3	42,0	11,0	25,3	3,60	657	21,9	25,0	650
P2-CC	18,0	2,30	16,3	31,5	10,4	16,0	<20	10,7	<0,1	33,0	10,6	13,9	4,80	157	11,0	41,0	412
P2-MAT	4,00	5,40	12,9	22,9	8,30	16,6	<20	3,00	<0,1	16,0	10,3	10,0	1,50	184	9,70	18,0	324
P2-CP	12,0	23,4	52,9	41,8	12,1	20,7	26	18,8	0,2	54,0	17,8	24,7	3,50	781	18,4	66,0	448
Perfil 3 – Suíte Intrusiva Santo Antônio																	
P3-CC	171	3,30	9,40	40,2	12,1	19,2	<20	11,6	<0,1	42,0	85,4	30,5	6,20	382	14,7	40,0	459
SAP-03	56,0	0,80	8,70	42,9	17,8	59,7	<20	11,5	3,40	8,00	8,00	61,0	6,80	13,0	14,3	17,0	630
RX-03	692	4,00	10,1	19,0	11,7	29,6	<20	9,40	189	6,00	197	19,7	6,40	11,0	52,1	70,0	467
Perfil 4 - Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas																	
SAP-04	389	2,30	5,50	14,9	4,70	12,9	<20	31,0	98	3,00	45,7	19,5	4,00	8,0	17,8	9,0	144
RX-04	451	1,90	5,80	14,0	4,90	12,4	<20	14,7	212	4,00	112	15,5	9,80	17,0	26,0	26,0	145
Perfil 5 - Suíte Intrusiva Laje																	
MO-05	101	3,10	9,50	15,2	7,50	6,40	<20	180	61,3	10,0	2,90	18,4	4,60	21,0	14,3	34,0	256
SAP-05	60,0	2,20	5,70	22,5	13,8	14,4	<20	28,5	9,10	17,0	5,80	23,2	7,10	34,0	11,7	16,0	486
RX-05	42,0	0,50	3,00	14,3	4,50	11,2	<20	6,5	171	4,00	12,2	18,0	6,00	8,00	28,9	55,0	127
Suíte Intrusiva Serra da Providência - Scandola <i>et al.</i> (2013)																	
Sienogranitos	748	72,1	0,66	8,55	3,19	21,2	<20	-	251	1,25	116	9,03	1,99	2,38	76,7	17,8	417
Monzogranitos	1027	121	4,04	13,5	8,00	20,7	<20	-	200	8,8	139	13,0	2,07	26,6	68,4	50,7	455

Elementos abaixo do limite de detecção: Au (<0,5 ppb), Hg (<0,01 ppm), Bi, Cd, Sb, Ta e Tl (<0,1ppm), Ag, As, Cs e Se (<0,5 ppm), Be e Sn (<1 ppm), Ni (<20 ppm), Cr (0,002 %), Mn (0,01%). Pb não foi analisado por Scandola *et al.* (2013).

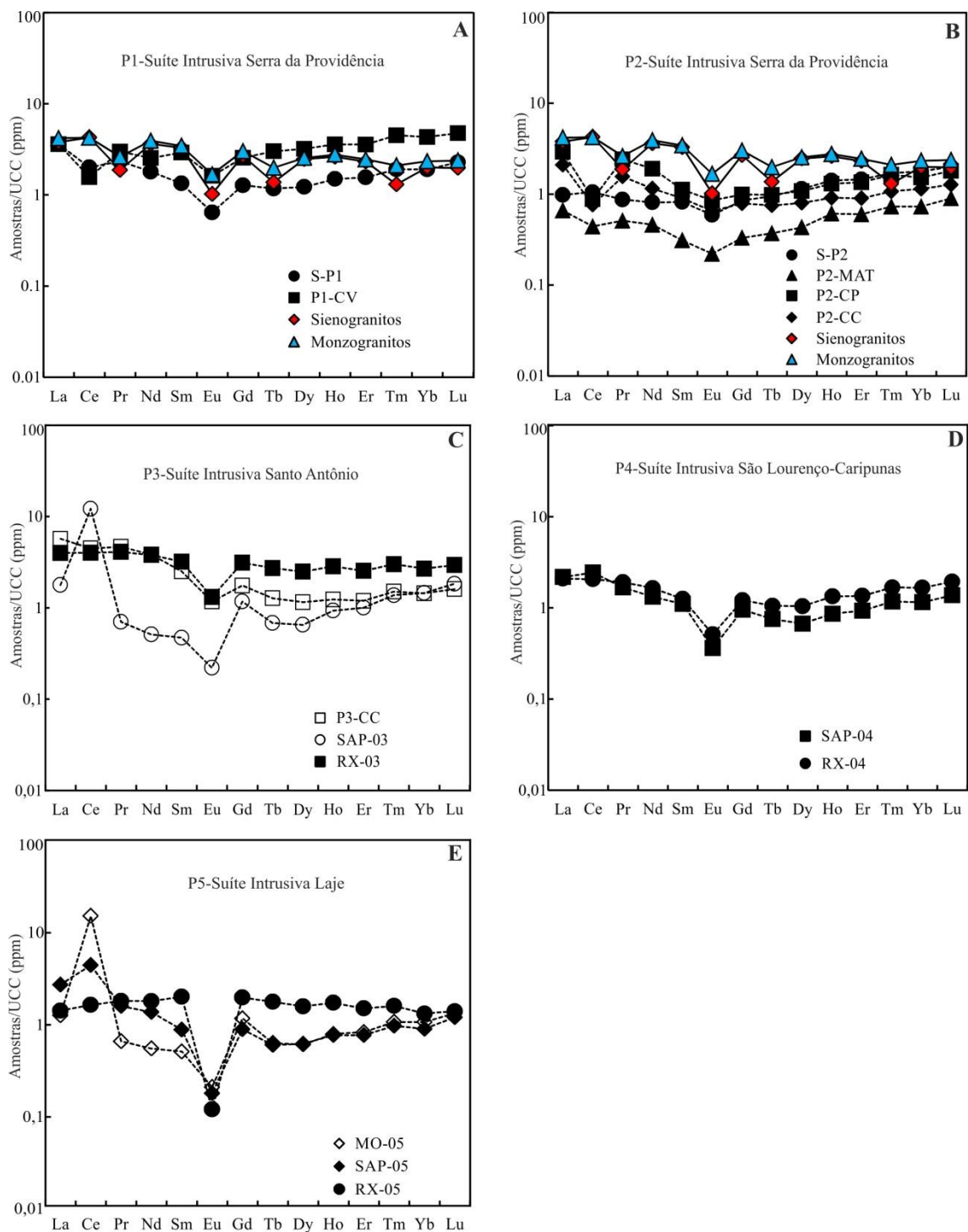


Figura 6: Diagramas de distribuição dos elementos terras raras em ppm de Porto Velho e arredores normalizados pela crosta continental superior de Taylor & McLennan (1985). A) Perfil 1 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência. B) Perfil 2 sobre a Suíte Intrusiva Serra da Providência. C) Perfil 3 sobre a Suíte Intrusiva Santo Antônio. D) Perfil 4 sobre a Suíte Intrusiva São Lourenço- Caripunas. E) Perfil 5 sobre a Suíte Intrusiva Laje. A química dos monzogranitos e sienogranitos é de Scandolaro *et al.* (2013). RX = rocha, SAP = saprólito MO = mosqueado, CC = crosta colunar, CV = crosta vermiforme, CP = crosta pisolítica, MAT = matriz e S = solo.

Tabela 3: Distribuição dos elementos terras raras em ppm das rochas, saprólitos, mosqueado, crostas e solos de Porto Velho e arredores

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣETRL	ΣETRP	ΣETR	Ce/Ce*	Eu/Eu*	(La/Yb) <sub>N</sub>
Perfil 1 – Suíte Intrusiva Serra da Providência																				
S-P1	57,5	66,1	9,30	28,7	4,64	0,70	4,18	0,70	4,52	1,04	3,41	0,57	4,19	0,68	167	19,3	186	0,79	0,49	1,89
P1-CV	57,3	51,5	11,9	40,5	10,2	1,77	8,40	1,80	11,8	2,50	7,81	1,35	9,45	1,42	173	44,5	218	0,52	0,59	0,83
Perfil 2 - Suíte Intrusiva Serra da Providência																				
S-P2	15,7	34,8	3,46	13,0	2,88	0,65	2,81	0,57	4,21	0,99	3,18	0,51	3,91	0,60	70,5	16,8	87,3	1,18	0,71	0,55
P2-CC	33,6	25,0	6,22	18,4	3,15	0,72	2,60	0,45	2,96	0,64	1,98	0,32	2,50	0,38	87,1	11,8	98,9	0,49	0,77	1,84
P2-MAT	10,5	14,5	2,02	7,40	1,10	0,24	1,09	0,22	1,59	0,43	1,31	0,22	1,61	0,27	35,8	6,74	42,5	0,80	0,69	0,90
P2-CP	46,5	29,1	9,64	30,4	3,91	0,94	3,27	0,59	4,00	0,91	2,98	0,49	3,35	0,54	120	16,1	137	0,37	0,81	1,91
Perfil 3 – Suíte Intrusiva Santo Antônio																				
P3-CC	90,9	147	18,6	61,1	8,76	1,29	5,79	0,76	4,25	0,86	2,61	0,45	3,16	0,48	328	18,4	346	0,96	0,56	3,94
SAP-03	28,3	400	2,79	8,20	1,65	0,24	3,85	0,41	2,40	0,65	2,21	0,41	3,18	0,55	441	13,7	455	12,80	0,30	1,22
RX-03	63,7	132	16,3	60,4	11,2	1,44	10,3	1,63	9,16	1,99	5,56	0,90	5,89	0,88	285	36,3	321	1,03	0,42	1,49
Perfil 4 - Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas																				
SAP-04	34,7	80,2	6,66	21,1	3,84	0,40	3,13	0,45	2,49	0,60	2,04	0,35	2,54	0,41	147	12,0	159	1,44	0,35	1,89
RX-04	33,4	68,1	7,64	26,2	4,39	0,56	3,98	0,63	3,86	0,93	2,98	0,50	3,66	0,58	140	17,1	157	1,11	0,41	1,26
Perfil 5 - Suíte Intrusiva Laje																				
MO-05	20,1	500	2,64	8,80	1,78	0,23	3,85	0,38	2,24	0,55	1,83	0,32	2,36	0,40	534	11,9	546	18,2	0,27	1,18
SAP-05	43,5	146	6,36	21,9	3,08	0,20	2,94	0,36	2,30	0,54	1,69	0,29	1,99	0,36	221	10,5	232	2,29	0,20	3,02
RX-05	22,7	54,1	7,24	28,8	7,02	0,13	6,50	1,06	5,83	1,21	3,30	0,48	2,91	0,42	120	21,7	142	1,03	0,06	1,08
Suíte Intrusiva Serra da Providência - Scandola <i>et al.</i> (2013)																				
Sienogranitos	60,6	140	7,48	58,0	11,5	1,12	8,85	0,82	9,12	1,83	5,09	0,39	4,41	0,59	279	31,1	310	1,15	0,34	1,89
Monzogranitos	66,9	140	10,49	62,7	12,0	1,84	9,92	1,19	9,39	1,93	5,39	0,63	5,13	0,71	294	34,3	328	1,05	0,52	1,79

Perfil 2 – Localizado no município de Jamari onde afloram crosta laterítica e solo também desenvolvidos a partir de monzogranito da Suíte Serra da Providência. A crosta têm até 6 m de espessura, é colunar, compacta e é marrom avermelhada a alaranjada. É composta por caulinita e goethita com hematita e grãos de quartzo subordinados, com tamanho areia fina subarredondados e corroídos. Estes minerais também compõem a matriz argilosa friável alaranjada e amarelada que preenche o arcabouço. Ao longo da crosta há canais verticais com até 70 cm de largura (Figura 2B), provavelmente ligados a espaços criados por antigas raízes. Nesses canais há uma fácies pisolítica, com pisólitos (40%) imersos em matriz (60%) endurecida rosada a alaranjada constituída por gibbsita, caulinita, quartzo e goethita (Figura 3B). Os pisólitos têm até 2 cm de diâmetro, são porosos, avermelhados a violeta e amarelados, constituídos de hematita, quartzo, caulinita e goethita (Figura 4). Os pisólitos são de quatro tipos de acordo com sua estrutura: 1) com núcleo avermelhado onde predomina hematita e córtices de goethita; 2) com núcleo amarelado onde predomina goethita e córtices de hematita; 3) com núcleo amarelado de caulinita e goethita com córtices de hematita e 4) formados por sequência de córtices concêntricos avermelhados de hematita e amarelados de goethita (Figura 7). Os pisólitos dos tipos 1 a 3 têm córtex externo com até 2 mm de espessura, marcado por intercalações goethíticas amareladas e hematíticas avermelhadas. Alguns pisólitos têm a borda externa goethítica e, portanto em equilíbrio com a gibbsita da matriz, enquanto em outros a borda é hematítica e, portanto em desequilíbrio com a caulinita. Acima da crosta, o horizonte desmantelado com até 1 m de espessura, é formado por nódulos subangulosas a subarredondadas com até 3,5 cm de diâmetro, compostos por hematita, goethita, caulinita e quartzo em proporções variáveis (Figura 5). Os nódulos são zonados e conforme a relação córtex-núcleo podem ser de três tipos: 1) com núcleo avermelhado de hematita com moldes de quartzo e córtex de goethita; 2) com núcleo amarelado de goethita e caulinita com pouca hematita, com vários córtices de hematita e goethita+caulinita; 3) formado por pelo menos dois núcleos avermelhados de hematita e caulinita com córtex de goethita. Alguns do pisólitos tipo 3 podem conter no núcleo fragmentos com bordas retilíneas a semi-retilíneas que sugerem quebraamento e, portanto transporte antes de serem englobados pelo cortéx (Figura 8). O Latossolo marrom avermelhado a amarelado argilo-arenoso, que recobre o horizonte desmantelado, tem até 1 m de espessura, é constituído por caulinita, goethita e quartzo, além de anatásio e gibbsita.

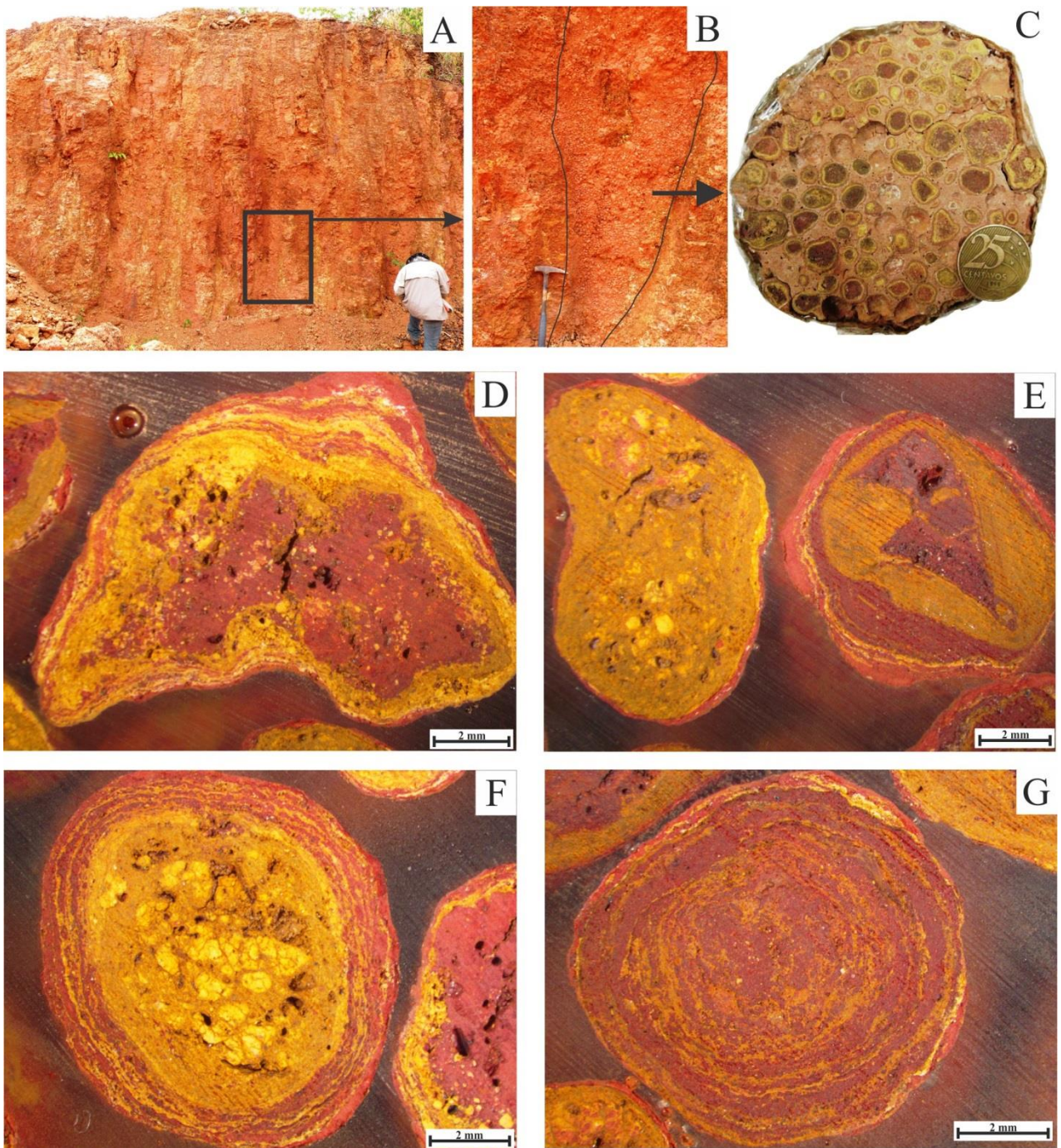


Figura 7: A) Crosta colunar sobre a Suite Intrusiva Serra da Providência. B) Detalhe do fácies pisolítico ao longo dos canais verticais desenvolvidos na crosta colunar. C) Detalhe do fácies pisolítica onde notam-se os pisólitos ferruginosos envolvidos por matriz rosada gibbsítica. D) Pisólito do tipo 1 com núcleo avermelhado de hematita e córtex amarelado de goethita. E) Pisólitos com núcleo de goethita e córtex de hematita do tipo 2 (a esquerda) e pisólito formado por quatro zonas concêntricas onde se alternam do centro para a borda hematita avermelhada e goethita amarelada, poros resultantes da dissolução do quartzo. F) Pisólito do tipo 3 com núcleo de goethita e caulinita com múltiplos córtices onde se alternam hematita e goethita. G) Pisólito do tipo 4 sem núcleo com múltiplos córtices de hematita e goethita formado por acreção.

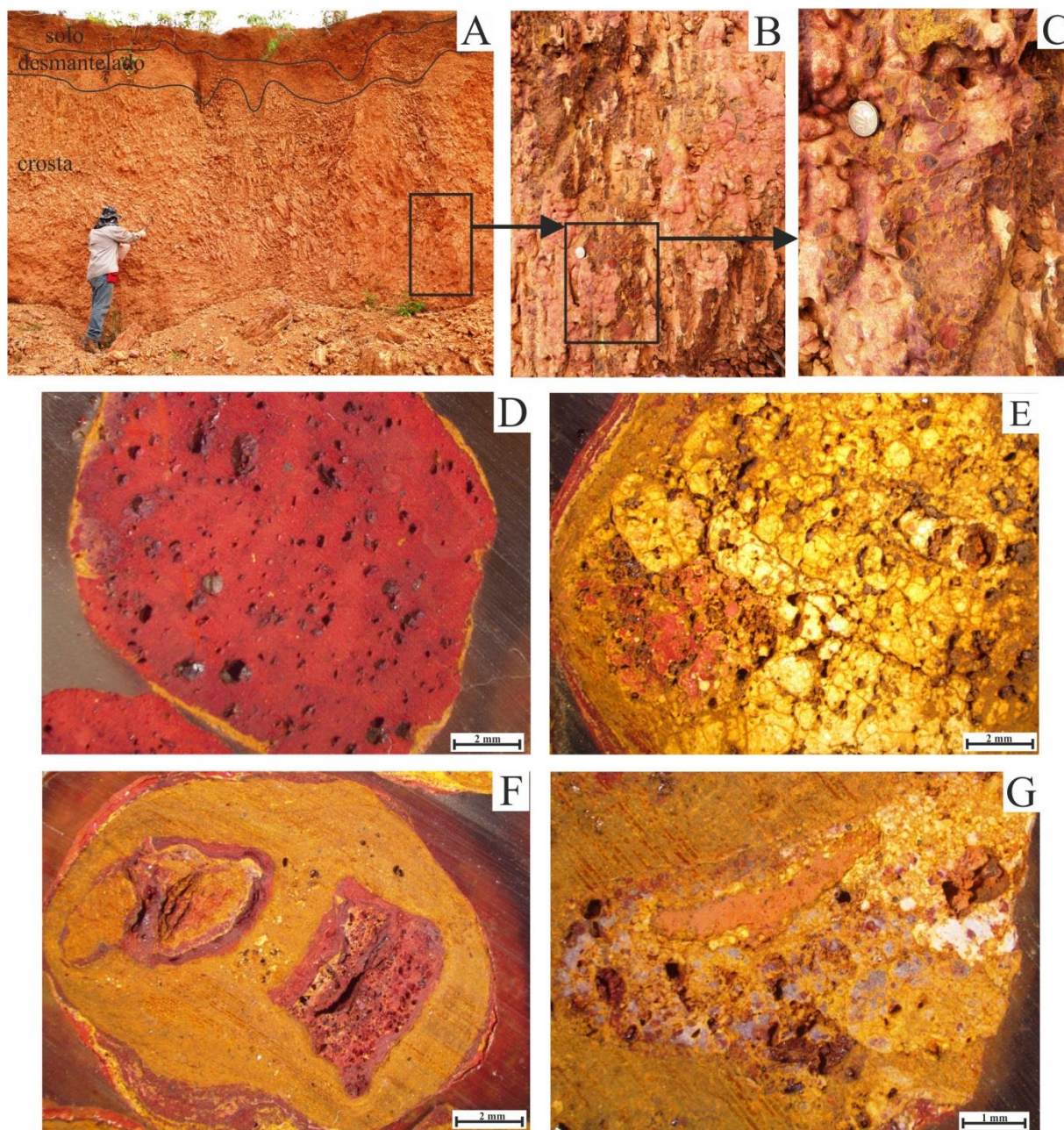


Figure 8: A) Perfil 2 onde se observa a crosta colunar, o horizonte desmantelado e o latossolo; B e C) Detalhes da crosta colunar com destaque para a porção com pisólitos e nódulos. D) Nódulo do tipo 1 formado por hematita envolvido por fino córtex de goethita, os poros são resultantes de moldes de quartzo. E) Nódulo do tipo 2 com núcleo de goethita e ilhas de caulinita e hematita envolvido por finos córtices de hematita e goethita. F) Nódulo do tipo 3 formado por dois núcleos que representam antigos pisólitos que foram englobados por goethita, as arestas nos pisólitos indicam transporte. G) Nódulo poroso constituído de goethita, caulinita e quartzo

Assim como no perfil 1, os óxidos mais abundantes são  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  e PF (Tabela 1). Na crosta colunar o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com 51,8% é o mais abundante seguido de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e PF (17,2, 16,4 e 13,7%, respectivamente), reflexo do predomínio de goethita e hematita sobre a caulinita, gibbsita e quartzo. Nos pisólitos da fácies pisolítica o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  alcança 36,1%

devido a natureza ferruginosa (hematita+goethita), enquanto na matriz  $\text{Al}_2\text{O}_3$  predomina (46,8%), reflexo da presença de gibbsita. O solo é quimicamente similar a crosta colunar com  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mais elevado (37,5%), mas se diferencia pelo  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mais elevado que  $\text{SiO}_2$  (23,4 e 19,5%, respectivamente) que reflete a presença de gibbsita, além de caulinita, e há maior concentração de  $\text{TiO}_2$  (2,56%). Gálio, Hf, Nb, Sc, V e Zr estão enriquecidos e Ba, Rb e Sr, Y e Zn empobrecidos em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985). Cobalto e Pb estão enriquecidos somente na fácies pisolítica, enquanto Th e U estão enriquecidos na crosta colunar, na fácies pisolítica e no solo, o Cu está enriquecido apenas na fácies pisolítica e solo (Tabela 2). A maior parte dos ETR estão empobrecidos, especialmente na matriz da fácies pisolítica, entretanto, La, Pr e Nd estão enriquecidos na crosta colunar e na fácies pisolítica, Tm, Yb e Lu na fácies pisolítica, crosta colunar e solo, Dy, Ho e Er apenas na fácies pisolítica e solo e Gd apenas na fácies pisolítica. As razões  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  entre 1,84 e 1,91 na crosta colunar e fácies pisolítica, respectivamente mostram maior enriquecimento em ETRL em relação aos ETRP em relação ao solo ( $(\text{La}/\text{Yb})_N = 0,55$ ) e  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  indica anomalia positiva somente no solo (Tabela 3).

Perfil 3 – Localizado em Porto Velho e desenvolvido a partir do monzogranito da Suíte Intrusiva Santo Antônio. Afloram saprólito e crosta (Figura 2C). O saprólito é argilo-arenoso, avermelhado, composto por caulinita, goethita e quartzo. A crosta é colunar, tem aproximadamente 2,5 m de espessura, é avermelhada a amarelada e composta por goethita, caulinita, hematita e quartzo (Figura 3C). No monzogranito e no saprólito  $\text{SiO}_2$  (até 68,9%) e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (até 29,7%) são os mais abundantes, enquanto  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é mais elevado na crosta (46,3%), PF e  $\text{TiO}_2$  aumentam da rocha para a crosta e os álcalis diminuem no mesmo sentido (Tabela 1). Gálio, Hf, Nb, Th, U e Zr estão enriquecidos, enquanto Co, Cu, Pb, Sr e Zn estão empobrecidos em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985), Ba, Rb e Y estão enriquecidos somente no monzogranito, enquanto Sc e V na crosta colunar (Tabela 2). Todos os ETR estão enriquecidos na rocha e na crosta em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985), exceto Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy e Ho que estão empobrecidos no saprólito. As razões  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  mostram que os ETRL são mais enriquecidos que os ETRP, há elevada anomalia de  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  (12,80) no saprólito e as anomalias de  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  são negativas (Tabela 3).



Perfil 4 – Localizado em Nova Mamoré, se desenvolveu a partir do monzogranito da Suíte Intrusiva São Lourenço-Caripunas. Afloram apenas rocha e saprólito (Figura 2D), este é areno-argiloso, esbranquiçado, composto por quartzo, caulinita, muscovita e illita (Figura 3D). Na rocha  $\text{SiO}_2$  (73,0%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13,2 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (4,88%) e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,93 %) são mais abundantes, seguidos de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$  (3,36 e 1,04 %, respectivamente). Essa composição reflete a ocorrência de quartzo, feldspatos e muscovita na rocha, enquanto  $\text{SiO}_2$  (77,2%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13,4%), PF (3,7%) e  $\text{K}_2\text{O}$  (2,96%) são mais abundantes no saprólito devido ao maior conteúdo de quartzo e muscovita e da neoformação de caulinita e illita (Tabela 1). Nióbio, Nb, Th e U estão enriquecidos em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985), enquanto Ba, Co, Cu, Ga, Hf, Sc, Sr, V, Zn e Zr estão empobrecidos. Rubídio e Y estão enriquecidos somente na rocha e Pb somente no saprólito (Tabela 2). Assim como no perfil anterior as razões  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  indicam enriquecimento de ETRL, as anomalias de  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  são positivas na rocha e saprólito e as de  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  são negativas como nos perfis anteriores (Tabela 3).

Perfil 5 – Localizado próximo a divisa entre Porto Velho e Nova Mamoré, se desenvolveu a partir do monzogranito da Suíte Intrusiva Laje. Afloram saprólito e horizonte mosqueado com aproximadamente 5 metros de espessura, três metros de saprólito e o restante de mosqueado (Figura 2E). O saprólito é areno-argiloso, amarelado, composto por quartzo, caulinita e albita. O horizonte mosqueado sobreposto é mais avermelhado e friável e constituído por goethita, caulinita, quartzo e rutilo (Figura 3E). Assim como nos perfis anteriores  $\text{SiO}_2$  (76,7 %, na rocha),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (20,8%, no mosqueado) e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5,11 %, no mosqueado) são os mais abundantes, seguidos de  $\text{K}_2\text{O}$  (5,01%) e  $\text{Na}_2\text{O}$  (3,41%) no monzogranito e PF aumenta em direção ao mosqueado (10%) (Tabela 1). Essa composição química reflete a ocorrência de feldspato, quartzo e muscovita. No mosqueado,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e PF aumentam, enquanto  $\text{SiO}_2$  diminui, devido a neoformação de caulinita e goethita, há aumento da quantidade de rutilo/anatásio e diminuição na de quartzo. Em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985), Th e U estão enriquecidos em todos os horizontes, enquanto Ba, Co, Cu, Sr, U e Zn estão empobrecidos. No monzogranito apenas Rb e Y são enriquecidos no saprólito e mosqueado Hf, Pb e Zr são enriquecidos e Ga apenas no mosqueado (Tabela 2). Este perfil tem as mesmas características dos perfis 3 e 4, há

enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP, tem anomalia positiva de Ce/Ce\* bem mais elevada no mosqueado (Ce/Ce\* = 18,2) e anomalias negativas de Eu/Eu\* (Tabela 3).

#### 4.1. Análise Estatística

A integração estatística entre a análise de fatores e a análise de agrupamento permitiu identificar duas associações geoquímicas: ETRL-Gd-Y-Rb-Sr-Ba-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e ETRP(-Gd)-U-V-Sc-Cu-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-PF-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Essas associações discriminaram dois grupos de amostras (Figura 5): 1) as rochas, saprólitos e mosqueado dos cinco perfis e o solo do perfil 1; 2) as crostas dos perfis 1, 2 e 3 e o solo do perfil 2. O primeiro grupo de amostras pode ser subdividido em dois: 1) o subgrupo que inclui o monzogranito e o saprólito das Suítes Santo Antônio e São Lourenço-Caripunas (RX-03 e RX-04, respectivamente), o saprólito das Suítes São Lourenço-Caripunas e Laje (SAP-04 e SAP-05), além do monzogranito e sienogranito da Suíte Serra da Providência de Scandola *et al.* (2013). Esta correlação entre rocha, saprólito e mosqueado, identificada pela associação ETRL-Gd-Y-Rb-Sr-Ba-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ocorre devido ao menor grau de transformação química do saprólito e mosqueado em relação a rocha; 2) o subgrupo 2 inclui o saprólito da Suíte Santo Antônio do perfil 3 (SAP-03), o mosqueado da Suíte Laje do perfil 5 (P5-MO) e o solo da Suíte Serra da Providência do perfil 1. Esse subgrupo é marcado pelo conteúdo elevado de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PF em associação com U e ETRL-Gd. O monzogranito da Suíte Laje (RX-05) tem baixa correlação com os demais granitos por ter menor conteúdo de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PF, Ba, Rb e Sr. Entretanto, o saprólito sobre essa rocha tem correlação com o saprólito da Suíte São Lourenço-Caripunas, com as rochas (monzogranito e sienogranito) da Suíte Serra da Providência e Suíte Santo Antônio, pelos teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Zr mais altos. O mosqueado do perfil 5 (P5-MO) tem correlação com o solo do perfil 1 devido a similaridade nos conteúdos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PF, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e ETR. O segundo grupo que inclui todas as crostas (P3-CC, P1-CV, P2-CC, P2-CP e P2-MAT) sobrepostas sobre as Suítes Antônio e Serra da Providência e o solo do perfil 1, é identificado pela associação Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cu-Sc-V e ao menor teores dos ETRP (Figura 9).

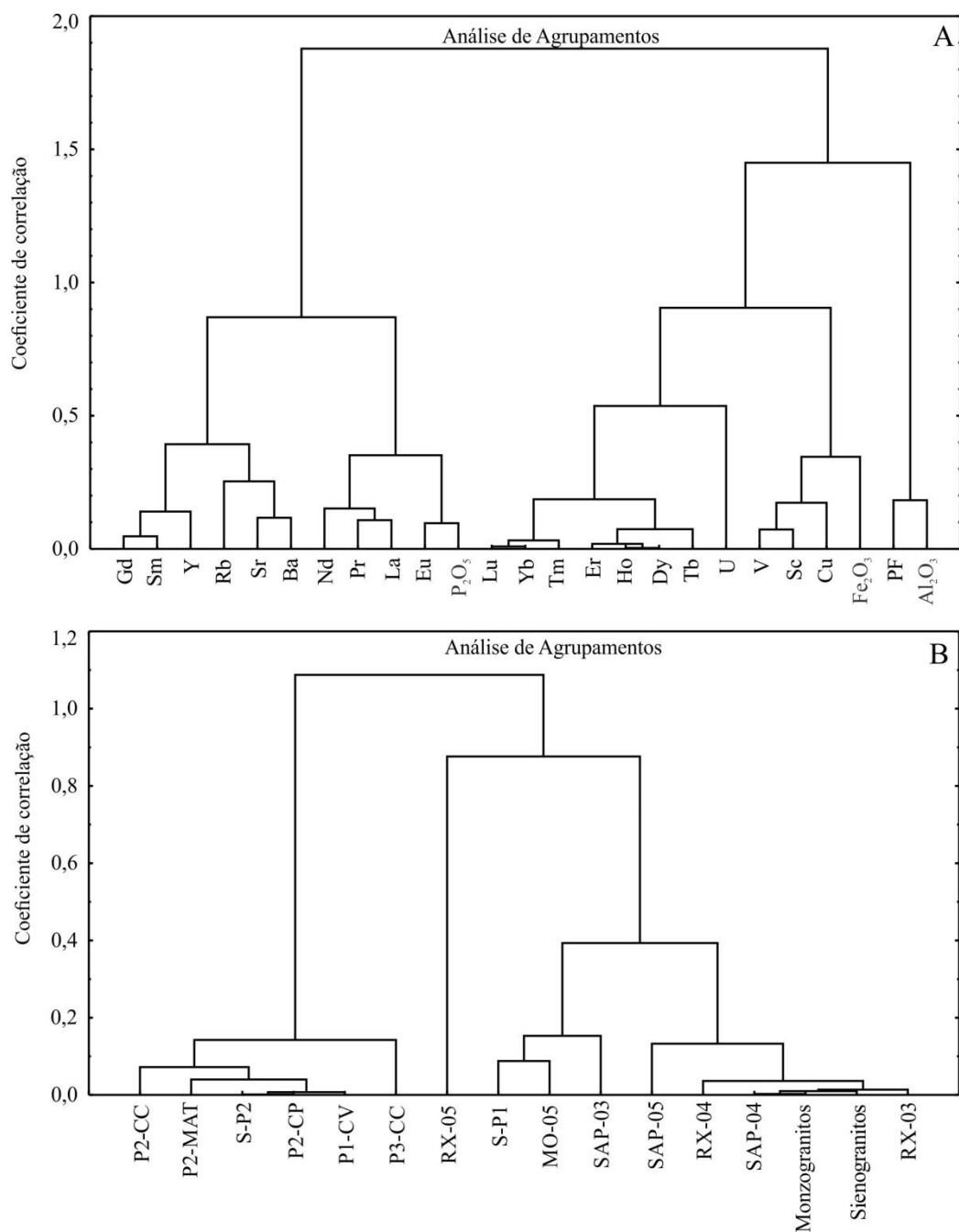


Figure 9: Análise de agrupamento em modo simples dos elementos químicos indicando: (A) as associações geoquímicas 1) ETRL-Gd-Y-Rb-Sr-Ba-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2) ETRP(-Gd)-U-V-Sc-Cu-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-PF-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. B) Diferenças químicas entre as rochas e crostas de Nova Colina.

## 4.2. Balanço Geoquímico

O balanço geoquímico entre os horizontes, obtido pelo cálculo isoquímico, corroboram as principais associações geoquímicas identificadas nos cálculos estatísticos (Figura 9). No perfil 1 a PF enriquece na crosta e solo, enquanto SiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> empobrecem e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> enriquece somente na crosta. Cobre, Ga, Sc, Th, U e V enriquecem somente na crosta e Hf é imóvel, mas enriquece no solo. Urânio e Zr são imóveis no solo e Ba, Co, Nb, Rb, Sr e Y

empobrecem na crosta e solo e os demais elementos são empobrecidos em todos os horizontes (Tabela 4).

Tabela 4: Resultado do cálculo do balanço isozircônio dos perfis de Porto Velho e arredores. FE >1,1 são considerados enriquecidos, FE entre 0,9 e 1,1 considerados imóveis e FE < 0,9 empobrecidos em relação a rocha mãe.

	P1-CV	S-P1	P2-CP	P2-MAT	P2-CC	S-P1	SAP-03	P3-CC	SAP-04	SAP-05	MO-05
SiO <sub>2</sub>	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.2	1.1	0.5	0.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.3	0.4	2.3	0.8	11.6	2.1	1.1	6.3	0.7	0.8	0.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.8	0.2	0.1	0.1	0.8	0.2	0.2	0.9	1.2	0.6	0.3
PF	12.3	4.5	4.0	11.4	15.0	4.5	19.9	16.8	4.1	8.2	4.8
Ba	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.9	0.8	0.5
Co	0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.5	1.2	2.5	1.2
Cu	20.8	0.3	3.7	1.4	4.0	2.4	0.7	0.6	0.9	1.1	0.6
Ga	2.4	0.8	0.9	0.7	2.3	0.9	1.9	1.3	1.1	0.9	0.2
Hf	0.9	1.7	0.4	0.4	1.3	0.5	1.3	0.6	1.0	1.7	0.3
Nb	0.8	0.8	0.3	0.3	0.8	0.3	1.7	0.4	1.0	0.7	0.1
Pb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.0	0.8	2.1	2.5	5.3
Rb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	<0.1	0.1
Sc	6.6	0.4	1.7	0.8	3.7	1.2	1.1	4.4	0.8	2.4	0.5
Sr	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.4	0.3	<0.1
Th	2.4	0.7	0.5	0.3	1.1	0.5	2.6	1.0	1.3	0.7	0.2
U	9.2	0.9	0.5	0.3	2.3	0.4	0.9	0.6	0.4	0.7	0.1
V	20	0.8	8.3	2.9	5.8	6.1	1.0	21.6	0.5	2.4	0.5
Y	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.7	0.2	0.1
Zn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.4	0.3	0.2	0.1
Zr	0.6	1.1	0.3	0.3	0.9	0.4	1.1	0.6	1.0	2.2	0.4
La	0.6	0.3	0.2	0.1	0.5	0.1	0.4	0.9	1.0	1.1	0.2
Ce	0.3	0.1	0.1	<0.1	0.2	0.1	2.5	0.7	1.2	1.5	1.8
Pr	0.9	0.3	0.3	0.1	0.6	0.1	0.1	0.7	0.9	0.5	0.1
Nd	0.5	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.6	0.8	0.4	0.1
Sm	0.6	0.1	0.1	<0.1	0.3	0.1	0.1	0.5	0.9	0.2	<0.1
Eu	0.7	0.1	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.6	0.7	0.9	0.3
Gd	0.6	0.1	0.1	<0.1	0.3	0.1	0.3	0.3	0.8	0.3	0.1
Tb	1.1	0.2	0.1	0.1	0.4	0.1	0.2	0.3	0.7	0.2	0.1
Dy	0.9	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	0.3	0.6	0.2	0.1
Ho	1.0	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.3	0.3	0.6	0.3	0.1
Er	1.1	0.2	0.2	0.1	0.4	0.1	0.3	0.3	0.7	0.3	0.1
Tm	1.6	0.3	0.2	0.1	0.5	0.2	0.4	0.3	0.7	0.3	0.1
Yb	1.4	0.3	0.2	0.1	0.5	0.2	0.5	0.3	0.7	0.4	0.2
Lu	1.5	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.5	0.3	0.7	0.5	0.2

No perfil 2 a PF enriquece em todos os horizontes, mas ao contrário do perfil 1 o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Sc e V enriquecem, enquanto Hf empobrece ambos no solo, o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> empobrece somente na matriz da fácies pisolítica. Gálio é imóvel no solo e na fácies pisolítica, assim como Th e Zr na crosta colunar. Os demais elementos traços estão empobrecidos, exceto Hf e U enriquecidos. No perfil 3, Ga está enriquecido no saprólito e na crosta, Hf, Nb e Th estão enriquecidos somente no saprólito e Sc e V somente na crosta colunar. Chumbo, Sc, U, V e Zr

são imóveis no saprólito e os demais elementos estão empobrecidos. O perfil 4 tem Co, Pb e Th enriquecidos e Rb, Sc, Sr, U, V, Y e Zn empobrecidos no saprólito, enquanto Ba, Cu, Ga, Hf, Nb, e Zr são imóveis. No perfil 5 Co e Pb enriquecem no saprólito e mosqueado, Hf, Sc, V e Zr enriquecem somente no saprólito, enquanto Cu e Ga são imóveis e os demais elementos empobrecidos

Os ETR estão empobrecidos nos cinco perfis, exceto Ce enriquecido nos saprólitos e no mosqueado da Suíte Laje (Perfil 5), o que corrobora as anomalias positivas identificadas nos perfis 2 (S-P2), 3, 4 e 5. Lantânio é imóvel nos saprólitos dos perfis 3 e 4 (Suítes São Lourenço-Caripunas e Laje) e na crosta colunar da Suíte Santo Antônio, assim como são imóveis Pr e Sm no saprólito do perfil 3.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Apesar de pertencerem a suítes intrusivas distintas, os protólitos dos perfis lateríticos do norte e nordeste de Rondônia, com teores elevados em SiO<sub>2</sub> (68,9 a 76,7%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11,9 a 13,9%) e com no máximo 4,6% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, geraram crostas lateríticas com 36,1 a 51,8% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Isso representa enriquecimento em até 11,7 vezes de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, até 3,5 vezes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e empobrecimento em até 4,0 vezes de SiO<sub>2</sub> em relação a rocha mãe. Essa relação é típica do efeito da lateritização sobre as rochas (Beauvais 1999, Peixoto e Horbe 2008).

Em relação a crosta continental (Taylor e McLennan 1985) foram identificadas diferenças marcantes entre as rochas e nos horizontes dos perfis. Ba e Rb enriquecidos marcam as rochas dos perfis 1, 2 e 3, assim como em Co e Cu na crosta do perfil 1 e na fácies pisolítica do perfil 2, junto com empobrecimento em Ga, Hf, Sc e Zr em todos os horizontes, identifica o perfil 4. O empobrecimento em Sc na rocha e saprólito, com enriquecimento no mosqueado também marca o perfil 5. O enriquecimento em Y na crosta vermiforme e de Y e Zn no solo do perfil 1, enquanto Ga, Hf, Nb, Sc, V e Zr enriquecidos na crosta colunar, fácies pisolítica e no solo são a característica do perfil 2. Outra característica da lateritização nos perfis estudados, é o empobrecimento na maioria dos ETR, exceto em Ce. O enriquecimento em Ce tanto em relação a crosta continental superior (Taylor e McLennan 1985) como no balanço geoquímico, é consequência oxidação de 3<sup>+</sup> para 4<sup>+</sup> promovida pela lateritização neoforando cerianita (Braun *et al.* 1990). O enriquecimento em relação a crosta continental (Taylor e McLennan 1985) e em maior parte do balanço geoquímico em Cu, Ga, Hf, Nb, Pb, Sc, Th, U, V e Zr é consequência da associação com minerais residuais como anatásio e

zircão ou por se associarem ao  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  como indica a associação ETRP-U-V-Sc-Cu- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -PF- $\text{Al}_2\text{O}_3$ . O empobrecimento em  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ba, Rb, Sr, Y, Zn e ETRL no perfil laterítico reflete a mobilidade desses elementos e a associação entre ETRL-Gd-Y-Rb-Sr-Ba- $\text{P}_2\text{O}_5$  nas rochas e no saprólito.

A ocorrência tanto de perfis truncados como completos na região de Porto Velho, marca a evolução laterítica sobre o substrato essencialmente granítico da região. A presença de crostas vermiformes e colunares, localmente pisolíticas com ausência de crosta bauxítica que é típica de perfis mais evoluídos, indica que se desenvolveram a partir do Plio-Pleistoceno época da segunda fase de lateritização na Amazônia (Costa 1997, Kotchoubey *et al.* 2005). Contudo, essas rochas, que representam o embasamento litológico da Amazônia (Tassinari e Macambira 1999 e Santos *et al.* 2000), estão expostas a lateritização há pelo menos 100 Ma como indica Tardy e Roquin (1998). Portanto, ao contrário de outros locais na Amazônia onde há crosta bauxítica formadas a partir das rochas do embasamento, como em Carajás (Lemos e Costa 1989 e Vasconcellos *et al.* 1994, Costa *et al.* 2007) e no Pitinga (Horbe e Costa 1997 e Peixoto e Horbe 2008), indica que a erosão se prolongou pelo Paleoceno na região estudada. Evidência dessa erosão foi 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). As reativações também são indicadas pelo traçado retilíneo do rio Madeira que encaixa porções com larga planície de inundação (Dantas e Adamy 2010). A crosta colunar a pisolítica com matriz gibbsítica do perfil 2 e sua posição topográfica um pouco mais elevada que os demais, indica que é provavelmente remanescente desta fase erosiva.

A ocorrência dos nódulos e pisólitos concêntricos com vários córtices sugerem sempre histórias complexas e registram as alternâncias nas condições do clima (Beauvais e Roquin 1996, Anand e Paine 2002). Os núcleos de hematita com filmes de goethita correspondem a um regime mais seco com alternância para um pouco mais úmido, enquanto os pisólitos com núcleo de goethita indicam que são posteriores aos com núcleo de hematita e formados durante a predominância de um clima úmido (Anand e Paine 2002). Esse clima mais úmido posterior se reflete também na borda externa goethítica e na matriz gibbsítica da crosta pisolítica dos perfis estudados, pois ambos minerais são fases hidratadas em equilíbrio com condições mais úmidas. A sequência de córtices dos pisólitos tipo 3 do perfil 2, que indica processo de acreção em várias etapas, sugere que se formaram no Quaternário quando

houveram vários episódios de alternâncias climáticas relacionadas a última grande glaciação mundial durante o Pleistoceno. Evidências dessas alternâncias são descritas ao longo da geomorfologia do rio Madeira e nos terraços fluviais onde se identificam três períodos de variações climáticas: 1) no período mais seco, durante a última glaciação; 2) no período interglacial em condições mais úmidas, combinado com evento de reativação tectônica na região; 3) em condições mais úmidas, semelhantes as condições atuais (Rosseti *et al.* 2014).

## **6. A LATERITIZAÇÃO NO SUL DE RORAIMA E NORTE E NORDESTE DE RONDÔNIA NO CONTEXTO LATERÍTICO DA AMAZÔNIA**

A lateritização na Amazônia proporcionou a formação de diferentes crostas lateríticas, em Nova Colina formaram-se crostas maciças e vermiformes, enquanto em Porto Velho e arredores as crostas são vermiformes e colunares e, localmente pisolíticas. As características dessas crostas são similares às encontradas em outras porções da Amazônia (Oliveira *et al.* 1988; Angélica e Costa 1991 e 1993; Costa *et al.* 1991; Lucas 1997, Boulangé e Carvalho 1997, Kotschoubey *et al.* 2005, Peixoto e Horbe 2008). Entretanto, a região estudada se destaca pela ausência de espesso latossolo.

A rocha mãe condicionou a formação dos diferentes tipos de crostas. A crosta maciça ferro-titanífera é proveniente do QHG, enquanto as crostas vermiformes a, localmente pisolítica tanto de Nova Colina como de Porto Velho e arredores são provenientes dos granitos.

A evolução laterítica é policíclica e dois estágios foram identificados na Amazônia, o mais antigo no Neo-Cretáceo e Eo-Paleoceno e a mais jovem no Plio-Pleistoceno (Costa 1991 e Kotschoubey *et al.* 2005). Em Nova Colina a crosta maciça ferro-titanífera, topograficamente mais elevada (220 m) (Planaltos Residuais de Roraima), desenvolvida a partir do QHG, é provavelmente pós Mioceno, enquanto a crosta vermiforme da porção mais rebaixada (140 m) (Pediaplano Rio Branco-Rio Negro) e desenvolvida a partir dos granitos (Caroebe e Igarapé Azul), é mais jovem e representa a lateritização imatura relacionada ao Plio-Pleistoceno. Esse é também o provável período de formação das crostas ferruginosas vermiformes, localmente pisolíticas de Porto Velho e arredores.

A ausência de crostas aluminosas (bauxitas) nas duas regiões estudadas demonstram que ambas passaram por processos erosivos, provavelmente relacionadas a reativações

tectônicas. As de Nova Colina com a instalação da bacia do Tacutu e o rearranjo das placas tectônicas Sul-Americana, Nazca e Cocos, enquanto as de Porto Velho e arredores ao esculpimento da Chapada dos Parecis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo n°. 473359/2012-0) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e a Universidade Federal do Amazonas e Universidade de Brasília pela infraestrutura. Agradecemos também a CPRM, residência Porto Velho pelo auxílio na etapa de campo deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro: BOLETIM DNPM/DGM, 36, 241p.
- Anand, R.R.; Paine, M. 2002. Regolith geology of the Yilgard Craton, Western Australia: implication for exploration. *Australian Journal of Earth Science*, 49: 3-162.
- Beauvais, A.; Roquin, C. 1996. Petrological differentiation patterns and geomorphic distribution of ferricretes in Central Africa. *Geoderma*, 73: 63-82.
- Beauvais, A. 1999. Geochemical balance of laterization processes and climatic signatures in weathering profiles overlain by ferricretes in Central Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 26:3939-3957.
- Bettencourt, J.S., Leite, W.B., Payolla, B.L., Scandollara, J.E., Muzzolon, R., Vian, J.A.J. 1997. The rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, northern Brazil. In: Companhia Bahiana de Pesquisa Mineral, International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, Salvador, Bahia, Excursions guide, 3-31.
- Bettencourt, J.S., Tosdal, R.M., Leite, W.B., Payolla, B.L. 1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazon Craton, Brazil: I-reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research*, 95: 41-67.
- Braun, J.; Pagel, M.; Muller, J.; Bilong, P.; Michard, A; Guillet, B. (1990) Cerium anomalies in lateritic profiles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 781-795.
- Carvalho, I.G.; Mestrinho, S.S.P.; Fontes, V.M.S.; Goel, O.P.; Souza, F.A. 1991. Geochemical evolution of laterites from two areas of the semiarid region in Bahia State, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 40: 385-411.
- Costa, M.L. 1991 Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 21: 146-160.
- Costa, M.L. 1997. Lateritization as major process of ore deposit formation in the Amazon Region. *Exploration Mining Geology*, 6: 79-104.
- Costa, M.L. 2007. Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização. In: Licht, O.A. B.; Mello, C.S.B.; Silva, C.R. (editores) *Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás*. São Paulo, SBGq, 788 p.
- Costa, M.L.; Fernandez, O.J.C.; Requelme, M.E.R. 2005. O depósito de manganês do Azul, Carajás: estratigrafia, mineralogia, geoquímica e evolução geológica. In: Marini, O.;



- Queiroz, E.T.; Ramos, B. W. (Editores). Caracterização em depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. Brasília, ADIMB, p. 227-333.
- Costa, M.L.; Cruz, G.S.; Almeida, H.D.F.; Pollmann, H. 2014. On the geology, mineralogy and geochemistry of the bauxite-bearing regolith in the lower Amazon basin: Evidence of genetic relationships. *Journal of Geochemical Exploration*, 146: 58-74.
- Dantas, M.E.; Adamy, A. 2010. Compartimentação Geomorfológica. In: Adamy, A. (Org). Geodiversidade do estado de Rondônia. Porto Velho. CPRM, p. 37-54.
- Horbe, A.M.C.; Costa, M.L. 1997. Geoquímica dos ETR no perfil laterítico da Serra do Madeira - Mina do Pitinga (Amazonas - Brasil). *Geochimica Brasiliensis* 11: 309-324.
- Kotschoubey, B.; Truckenbrodt, W.; Calaf, J.M.C. 2005. Evolução geológica da porção meridional da província bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (nordeste da Bacia do Grajaú, nordeste do Pará e extremo oeste de Maranhão. *Revista Brasileira de Geociências*, 35: 263-272.
- Leal, J.W.L.; Silva, G.H.; Santos, D.B.; Teixeira, W.; Lima, L.I.C.; Fernandes, C.A.C.; Pinto, A.C. Geologia. In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1978. 663 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 16). p. 17-184.
- Lemos, V. P.; Costa, M. L. 1989. Aspectos mineralógicos dos lateritos da serra do Maicuru-Pa. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2, , Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, SBGq, 1, 1989. p. 375-384.
- Oliveira, F.S.; Varajão, A.F.D.C.; Varajão, C.A.C.; Boulangé, B.; Soares, C.C.V. 2013. Mineralogical, micromorphological and geochemical evolution of the facies from the bauxite deposito of Barro Alto, Central Brazil. *Catena*, 105: 29-39.
- Payolla B.L. 1994. As rochas graníticas e sieníticas das cachoeiras Teotônio e Santo Antônio, rio Madeira, Porto Velho, Rondônia: geologia, petrografia e geoquímica. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 145 p.
- Peixoto, S.F.; Horbe, A.M.C. 2008. Bauxitas do nordeste do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: 406-422.
- Quadros, M.L. do E.S.; Rizzotto, G.J. (Orgs.). 2007. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia, escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Subprograma Mapas Geológicos Estaduais. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Residência de Porto Velho.
- Rizzotto, G.J.; Oliveira, J.G.F. de; Quadros, M.L. do E.S.; Castro, J.M.R. de; Cordeiro, A.V.; Adamy, A.; Dantas, M.E.; Melo Junior, H.R. de. 2005a. Projeto Rio Madeira: estudo de viabilidade para implantação de usinas hidrelétricas no rio Madeira. Relatório parcial AHE Jirau. Porto Velho: CPRM, 1 CD-ROM.
- Rizzotto, G.J.; Oliveira, J.G.F. de; Quadros, M.L. do E.S.; Castro, J.M.R. de; Cordeiro, A.V.; Adamy, A.; Dantas, M.E.; Melo Junior, H.R. de. 2005b. Projeto Rio Madeira: estudo de viabilidade para implantação de usinas hidrelétricas no rio Madeira. Relatório parcial AHE Santo Antonio. Porto Velho: CPRM. 1 CD-ROM.
- Rossetti, D.F.; Cohen, M.C.L.; Bertani, T.C; Hayakawa, E.H; Paz, J.D.S.; Castro, D.F.; Friaes, Y. 2014. Late Quaternary fluvial terrace evolution in the main Southern Amazonian tributary. *Catena*, 116: 19-36.
- Santos, J.O.S.; Hartman, L.A.; Gaudette, H.E.; Groves, D.I.; McNaughton, N.J.; Fletcher, I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U–Pb and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3: 453-488.
- Santos, J.O.S., Faria, M.S.G., Riker, S.L.R., Souza, M.M., Hartman, L.A., McNaughton, N.J., Almeida, M. E., Fletcher, R. 2006. A faixa collisional K'mudku no norte do Cráton

- Amazonas: reflex intracontinental do Orógeno Sunsás na margem ocidental do cráton. In 10th Simpósio de Geologia da Amazônia.
- Scandolaro J. E.; Fuck, R. A.; Dall’Agnol; R.; Dantas, E. L. 2013. Geochemistry and origin of the early Mesoproterozoic mangerite-charnockite-rapakivi granite association of the Serra da Providência suite and associated gabbros, central-eastern Rondônia, SW Amazonian Craton, Brasil. *Journal of South American Earth Sciences*, 45, 166-193.
- Silva, M.L.M.C.; Oliveira, S.M.B. 1992. Caracterização mineralógica e química das bauxitas de Nazaré Paulista (São Paulo). *Revista Brasileira de Geociências*, 22: 93-99.
- Soler, J.M.; Lasaga, A.C. 2000. The Los Pijiguaos bauxite deposits (Venezuela): A compilation of field data and implications for the bauxitization process. *Journal of South America Earth Science*, 13: 47-65.
- Tassinari, C.C.G.; Macambira, M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22: 174-182.
- Tardy, Y. 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. Paris, Masson. 459p.
- Tardy, Y.; Roquin, C. 1998. *Dérive des Continents, Paleoclimat et Altérations Tropicales*. BRGM. 473p.
- Taylor, S.R.; McLennan, S.M. 1985. *The continental Crust: its composition and evolution. An Examination of The Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks*. Blackwell Scientific Publ. 312p.
- Théveniaute, H.; Freyssinet, P. 1999. Paleomagnetism applied to lateritic profiles to assess saprolite and duricrust formation processes: the example of the Mont Baduel profile (French Guiana). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148: 209-231.
- Tiesen, H.; Monaco, S.L.; Ramirez, A.; Santos, M.C.D.; Shang, C. 1996. Phosphate minerals in a lateritic crust from Venezuela. *Biogeochemistry*, 34: 1-17.
- Toledo, M.C.M.; Oliveira, S.M.B.; Costa, M.L.; Passos, C.M.; Almeida, H.D.F. 2006. Evolução do manto de intemperismo laterítico rico em fosfatos na ilha de Itacupim (PA) – mineralogia, micromorfologia e geoquímica. *Pesquisas em Geociências*, 33:109-122.
- Twidale, C.R.; Bourne, J.A. (1998). Origin and age of bornhardts, southwest Western Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 45, 903-914.
- Vasconcelos, P. M.; Renne, P.R.; Brimhall, G.H.; Becker, T.A. 1996. Direct dating of weathering phenomena by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and K-Ar analysis of supergene K-Mn oxides. *Geochemical et Cosmochemical Acta* 58, 1635-1665.