

GEOQUÍMICA DA PAISAGEM E SUAS RELAÇÕES COM A ESTRUTURAÇÃO DOS GEOSSISTEMAS: APLICAÇÕES EM BACIA DE BAIXA ORDEM DE TERRENOS CRISTALINOS

Roberto Marques Neto ¹ 

Juliana Costa Baptista Barreto ² 

Paula Graciele Silvestre Lucas ³ 

Destaques:

- Existe uma relação entre a estrutura dos geossistemas, sua gênese e a geoquímica de superfície.
- Bacias de baixa ordem na Zona da Mata mineira apresentam dissecação profunda neotectonicamente controlada, com geossistemas residuais em interflúvios preservados por duricrostas.
- Para compreender estrutura e evolução de geossistemas é fundamental a análise das coberturas superficiais.

Resumo: As abordagens que enfocam os aspectos geoquímicos no estudo dos geossistemas são de grande valia para interpretações de ordem genético-evolutiva, bem como para o entendimento de aspectos dinâmico-funcionais. No presente artigo, assume-se o objetivo de avaliar as relações entre a estrutura dos geossistemas, a geoquímica das coberturas superficiais e as transferências de matéria e energia em bacia de baixa ordem do domínio tropical atlântico. As aplicações se encerram na bacia do córrego Salvaterra (Juiz de Fora, MG), onde foram identificados três tipos genéticos de geossistemas (resilientes, dissecados e acumulativos) vinculados a três compartimentos geoquímicos (eluviais, transeluviais, transacumulativos e acumulativos). Análises granulométricas, de fertilidade e de mineralogia por difração em raio-X identificaram um ambiente notoriamente oxidante, com domínio de caulinita e gibbsita e presença copiosa do Fe em diferentes setores da bacia. Tais processos são favorecidos por um sistema geomorfológico caracterizado por vertentes íngremes e vales profundos entalhados por influência neotectônica, condizendo com as características fundamentais das bacias de alta ordem que demandam o nível de base regional do rio Paraíba do Sul.

Palavras-chave: Compartimentos geoquímicos. Perfil laterítico. Morfogênese interfluvial.

¹ Professor permanente do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail: roberto.marques@ufff.br.

² Mestranda em Geografia - Dinâmicas socioambientais pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail: julianacbarreto@gmail.com.

³ Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). E-mail: paula.lucas@ifsudestemg.edu.br.

LANDSCAPE GEOCHEMISTRY AND ITS RELATIONSHIPS WITH THE STRUCTURE OF GEOSYSTEMS: APPLICATIONS IN LOW-ORDER BASINS OF CRYSTALLINE TERRAINS

Abstract: Approaches that focus geochemical aspects in the study of geosystems are of great value for interpretations of a genetic-evolutionary order, as well as for understanding dynamic-functional aspects. In this article, the objective is to evaluate the relationships between the geosystems structure, the geochemistry of surface covers and the transfers of matter and energy in a low-order basin of the Atlantic tropical domain. The applications were in the Salvaterra stream basin (Juiz de Fora, MG), where three genetic types of geosystems (resilient, dissected and cumulative) linked to three geochemical compartments were identified. (eluvial, transeluvial, transacumulative and cumulative). Granulometric, fertility and mineralogy analyzes by X-ray diffraction identified a notoriously oxidizing environment, with a dominance of kaolinite and gibbsite and a copious presence of Fe in different basin sectors. Such processes are favored by a geomorphological system characterized by steep slopes and deep valleys carved by neotectonic influence, in line with the fundamental characteristics of high-order basins that demand the regional base level of the Paraíba do Sul River.

Keywords: Geochemical compartments. Lateritic profile. Interfluvial morphogenesis.

LA GEOQUÍMICA DEL PAISAJE Y SUS RELACIONES CON LA ESTRUCTURA DE LOS GEOSISTEMAS: APLICACIONES EN CUENCAS DE BAJO ORDEN DE TERRENOS CRISTALINOS

Resumen: Los enfoques que se centran en los aspectos geoquímicos en el estudio de los geosistemas son de gran valor para las interpretaciones genético-evolutivas, así como para la comprensión de los aspectos dinámico-funcionales. En este artículo, el objetivo es evaluar las relaciones entre la estructura de los geosistemas, la geoquímica de las cubiertas superficiales y la transferencia de materia y energía en una cuenca de bajo orden del dominio del Atlántico tropical. Las aplicaciones terminan en la cuenca del arroyo Salvaterra (Juiz de Fora, MG), donde se identificaron tres tipos genéticos de geosistemas (resiliente, disecado y acumulativo) vinculados a tres compartimentos geoquímicos (eluviales, transeluviales, transacumulativos y acumulativas). Los análisis granométricos, de fertilidad y mineralógicos por difracción de rayos X identificaron un ambiente notoriamente oxidante, dominado por caolinita y gibbsita y abundante presencia de Fe en diferentes sectores de la cuenca. Tales procesos son favorecidos por un sistema geomorfológico caracterizado por fuertes pendientes y profundos valles tallados por la influencia neotectónica, consistente con las características fundamentales de las cuencas de alto orden que demandan el nivel base regional del río Paraíba do Sul.

Palabras clave: Compartimentos geoquímicos. perfil laterítico. Morfogénesis interfluvial.

INTRODUÇÃO

A estrutura superficial da paisagem registra informações importantes sobre seus aspectos evolutivos e dinâmico-funcionais. Embora a natureza e as sequências das coberturas alteradas nem sempre forneçam informações geocronológicas precisas, a distribuição dos elementos químicos pode fornecer

importantes indicativos sobre a morfogênese dos divisores, vertentes e fundos de vale, bem como sobre os padrões de fluxos organominerais subsuperficiais.

A geoquímica da paisagem enquanto concepção teórica e metodológica surge na antiga União Soviética pela figura de Polinov (MIRELAN *et al.* 2006), e trata nuclearmente da distribuição dos elementos químicos em um determinado sistema ambiental em suas relações com os demais atributos formadores da paisagem. A natureza química e mineralógica das coberturas superficiais e os padrões de distribuição, dispersão e concentração dos elementos químicos formadores podem fornecer informações importantes acerca da gênese e distribuição das superfícies geomórficas presentes, da evolução e denudação física e geoquímica das rochas e regolitos e da compartimentação local e regional do relevo. Um exemplo de abordagem na Zona da Mata mineira pode ser apreendido pelo trabalho de Silva *et al.* (2019), que identificaram uma paleosuperfície bauxitizada e desnivelada topograficamente na região da Serra do Caparaó.

O campo de surgimento e desenvolvimento da geoquímica da paisagem reflete uma tradição secular na Rússia tanto no campo da química como dos estudos integrados da paisagem. O surgimento de uma aludida ciência da paisagem ao redor da Geografia tem fortes bases na geoquímica, haja vista o surgimento da pedologia a partir de V. Dokuchaev (1846-1903), percussor da Pedologia e considerado o “pai da ciência da paisagem” no mundo eslavo, aluno de D. Mendeleev (1834-1907), químico insigne criador da mais difundida tabela periódica dos elementos. No século vinte, essas influências recíprocas de forte imperativo interdisciplinar imbricam no conceito de geossistema (SOCHAVA, 1972, 1977, 1978).

No sudeste de Minas Gerais, a região culturalmente identificada como Zona da Mata mineira apresenta uma tipicidade geomorfológica em morrarias intermontanas com cristas médias e interflúvios desigualmente preservados, interceptados por superfícies altimontanas dadas pelos grandes escarpamentos de orientação geral NE-SW concernentes às zonas de cisalhamento vinculadas ao sistema rifte continental do sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989). Tais estruturas figuram como os tetos orográficos regionais em controle tectono-estrutural mais bem marcado, sustentando escarpas com facetamentos

trapezoidais e interflúvios mais retilíneos e elevados, porém festonados pelos cortes epigênicos exercidos por importantes rios regionais, como o rio Pomba e o rio Novo. Nesses compartimentos também tem sido registrada a ocorrência de perfis lateríticos sustentando interflúvios locais (VALENTON; MELFI, 1988) dialogando estreitamente com os respectivos arranjos hidrográficos.

A presença de perfis lateríticos, bem como dados concernentes à assinatura geoquímica vigente na estrutura superficial da paisagem, fornecem informações importantes acerca da estrutura, evolução e dinâmica dos geossistemas. Cumpre considerar os geossistemas como sistemas espaciais naturais, multiescalares e formados por integridades homogêneas (geômeros) e heterogêneas (geócoros) (SOCHAVA, 1977, 1978), articulados em fluxos de matéria e energia pelo qual a distribuição e trânsito de substâncias organominerais se conectam em relações funcionais.

A bacia hidrográfica do córrego Salvaterra, localizada no município de Juiz de Fora, é deveras representativa dos geossistemas emoldurados em morros e baixas cristas da Zona da Mata mineira. Nela ocorrem interflúvios preservados em duricrostas escalonados às superfícies rebaixadas dissecadas, recobertas por mantos de intemperismo de desenvolvimento desigual. Tais características foram motivadoras na definição dos objetivos do presente artigo, que se propõem a demonstrar e discutir as relações entre os geossistemas e os compartimentos geoquímicos vigentes na bacia, conjugando as unidades de paisagem (grupos de fácies) e os aspectos químicos e mineralógicos das coberturas superficiais.

METODOLOGIA

A base teórica que sustenta a presente pesquisa se estabelece na abordagem sistêmica em Geomorfologia, dialogando a lógica dos sistemas processo-resposta (CHORLEY e KENNEDY, 1971; CHRISTOFOLETTI, 1999), a geoquímica da paisagem (MIERELAND et al. 2006) e a abordagem geossistêmica (SOCHAVA, 1972, 1977, 1978). A interpretação da distribuição, trânsito e concentração dos elementos químicos e minerais se pautou na concepção de conectividade da paisagem (BRIERLEY; FRYIRS, 2005), pela qual os fluxos de matéria e energia (água e sedimentos) ao longo dos compartimentos

geomorfológicos se estabelecem mediante estreitas conexões longitudinais, laterais e verticais. Os propósitos do trabalho aqui apresentado focam fundamentalmente a natureza vertical dos processos, procurando entender os fluxos subsuperficiais de acordo com os compartimentos geomorfológicos e as características texturais e estruturais dos regolitos.

A primeira etapa do trabalho consistiu na organização de um banco de dados formado por imagens TM – Landsat 8 (bandas 5, 4 e 3) e dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtidos mediante download no site da USGS (*United States Geological Survey*) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Também foi utilizada uma base planialtimétrica georreferenciada, obtida na Folha Juiz de Fora, escala 1/50.000. Essa base subsidiou a produção cartográfica básica em software ArcGIS: declividade, hipsometria, e uso da terra/cobertura vegetal. Os dados SRTM e as imagens Landsat também serviram à compartimentação do relevo na bacia, discernida pela análise conjunta entre os aspectos morfométricos (declividade, profundidade de dissecação e dimensão interfluvial) e as tipicidades morfológicas identificáveis nos padrões texturais. A compartimentação geomorfológica organizou as formas e padrões de formas (*sensu* ROSS, 1992) em níveis escalonados, o que subsidiou a coleta de materiais para análises físicas, químicas e mineralógicas, levadas a efeito nos diferentes níveis topográficos e barreiras geoquímicas encontradas. Como critério, optou-se pela coleta de materiais em subsuperfície que não se encontravam afetados por processos tecnogênicos.

Os geossistemas foram interpretados, classificados e mapeados segundo seus grupos de fácies, integridades pertencentes à fileira dos geômeros que representam as tipologias de paisagem (SOCHAVA, 1978). As variáveis levadas em conta foram a base geológica, o relevo, as relações relevo-solo (organização morfopedológica), a cobertura vegetal e o uso antropogênico da terra. Os solos foram reconhecidos em campo e tratados a partir do grau de desenvolvimento da cobertura pedológica em conformidade com a proposição de Espíndola (2013), que distingue os solos imaturos, mesomaduros e maduros, estes classificados segundo sua organização estrutural: latossólica, espodossólica, nitossólica, argilúvica. A base geológica foi compilada a partir dos levantamentos da CPRM, e o uso e cobertura foi óbito mediante classificação de imagem Landsat-7 (bandas

5, 4 e 3) por máxima verossimilhança, conforme informado acima. Ao final, as unidades geossistêmicas consubstanciadas a partir da sobreposição dos mapas temáticos foram poligonizadas em software ArcGis, também na escala de 1:50.000.

As análises mineralógicas foram feitas a partir de difração em raio-X no Laboratório de Metalurgia do Instituto Federal – Juiz de Fora a partir de amostras coletadas nos ambientes geoquímicos mais expressivos (eluvial e transeluvial). Os materiais coletados foram secados em estufa por dezoito horas para remoção da umidade residual, sendo posteriormente macerados e as partículas finas separadas em amostras de 5 gramas para submissão à radiação. O equipamento utilizado foi um difratômetro da marca *Brunker*, modelo D8 *Advance*, e os resultados lidos no software *Difrac.commander*, ambiente no qual foram gerados os gráficos de picos. Em seguida, esses gráficos foram salvos na extensão *raw* e transpostos para o software *Defrac.Eva 3.1*, utilizado para a identificação das fases mineralógicas. As informações geradas são de ordem qualitativa (quais elementos ocorrem) e semiquantitativa (quantidade aproximada de cada elemento identificado).

Na medida em que os picos foram sendo identificados, foi realizada uma varredura pelo comando *chemical filter*, que auxilia na sondagem das fases dos minerais de argila mediante a digitação da fórmula ou nome do referido mineral. Por fim, foram gerados gráficos em pizza representativos da proporção entre os elementos mais abundantes acompanhados de tabelas com informações quantitativas e cristaloquímicas. Após as fases serem identificadas, as amostras são submetidas à análise de seus elementos químicos para obtenção do percentual de cada elemento contido na amostra. Esse ensaio foi executado em espectrômetro de fluorescência de raio-X da marca *Shimadzu*, modelo EDX-8000.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os ensaios levados a efeito contemplaram análise textural (granulométrica), matéria orgânica, teor de ferro e fertilidade (método Melinch), que estima a ocorrência de Al, Na, Mg, K e P residual, além de saturação por alumínio, saturação por bases, soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC).

A interpretação conjunta do sistema geomorfológico e das características físicas, químicas e mineralógicas das coberturas superficiais embasou a elaboração de uma compartimentação geoquímica. A partir das relações entre os compartimentos geomorfológicos e as assinaturas geoquímicas encontradas foram definidos os setores funcionais da bacia, com base nas elucidções de Mirlean et al. (2006), que distingue as *paisagens autônomas* (eluviais), que recebem matéria e energia diretamente da atmosfera, armazenada e emitida para as *paisagens subordinadas*, transmissoras e receptoras de matéria e energia (transeluviais, transacumulativas, acumulativas, subaquáticas). De acordo com essa lógica, os setores eluviais foram definidos nos topos e faixas interfluviais preservadas de baixo declive. Setores transeluviais são definidos por vertentes de declive variável capazes de proporcionar transformação in situ e transporte do regolito; as áreas transacumulativas são as que consorciam transporte e acumulação, ao passo que as estritamente acumulativas são dadas pelos compartimentos agradacionais de fundo de vale.

ÁREA DE ESTUDO

O córrego Salvaterra pertence à bacia hidrográfica do rio do Peixe, por sua vez afluente direto do rio Preto, tributário da margem esquerda do rio Paraíba do Sul. Encontra-se totalmente adstrita ao município de Juiz de Fora, principal aglomeração urbana da Zona da Mata mineira (figura 1) com mais de 500.000 habitantes.

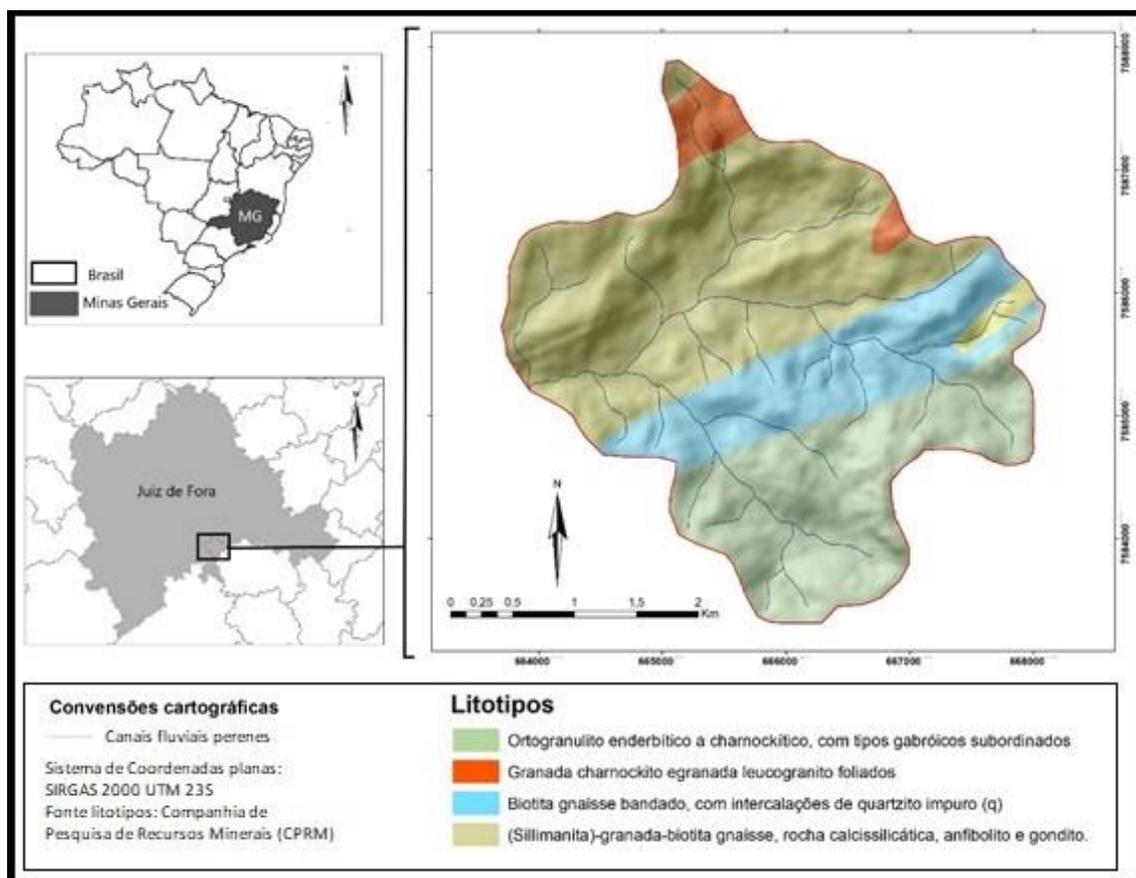
A bacia hidrográfica do córrego Salvaterra está posicionada no setor sul de Juiz de Fora, e é geomorfológicamente caracterizada por pronunciado desnível altimétrico que ultrapassa 200 metros, dissecando um alto estrutural correspondente à faixa interfluvial das bacias do rio do Peixe e Paraibuna, e um bloco baixo de relevo mais mamelonar, ainda que com significativo controle tectono-estrutural. As cimeiras locais estabelecem conectividade com as superfícies intermontanas mediante vertentes íngremes e retilíneas que se projetam das linhas divisórias e acompanham a margem direita do canal principal, sustentando manchas de floresta estacional semidecidual. Nos terrenos topograficamente mais favoráveis dos fundos de vale ocorrem ocupações na

forma de condomínios e conjuntos habitacionais com baixa densidade de edificação.

As planícies fluviais se restringem ao canal principal, ocorrendo de forma descontínua, mas com desenvolvimento lateral suficiente para práticas de açudagem. Os afluentes da margem esquerda apresentam dissecação mais profunda, com maior confinamento e retilinidade, dissecando terrenos em granada-biotita-gnaisses com intercalação de quartzitos pertencentes ao Grupo Andrelândia. Na metade norte da bacia ocorrem os charnockitos e enderbites pertencentes ao Complexo Juiz de Fora (SOARES *et al.* 2002).

Os condicionantes geomorfológicos e estruturais definem, conforme os declives locais, uma intercalação de Latossolos e Cambissolos, com extensões significativas de solos imaturos (Neossolo Litólico) nos segmentos mais íngremes que ostentam recorrentes afloramentos rochosos, denotando um relevo de considerável energia.

Figura 1 - Bacia do córrego Salvaterra: localização e base geológica



Fonte: CPRM (2022). Representação: os autores (2022).

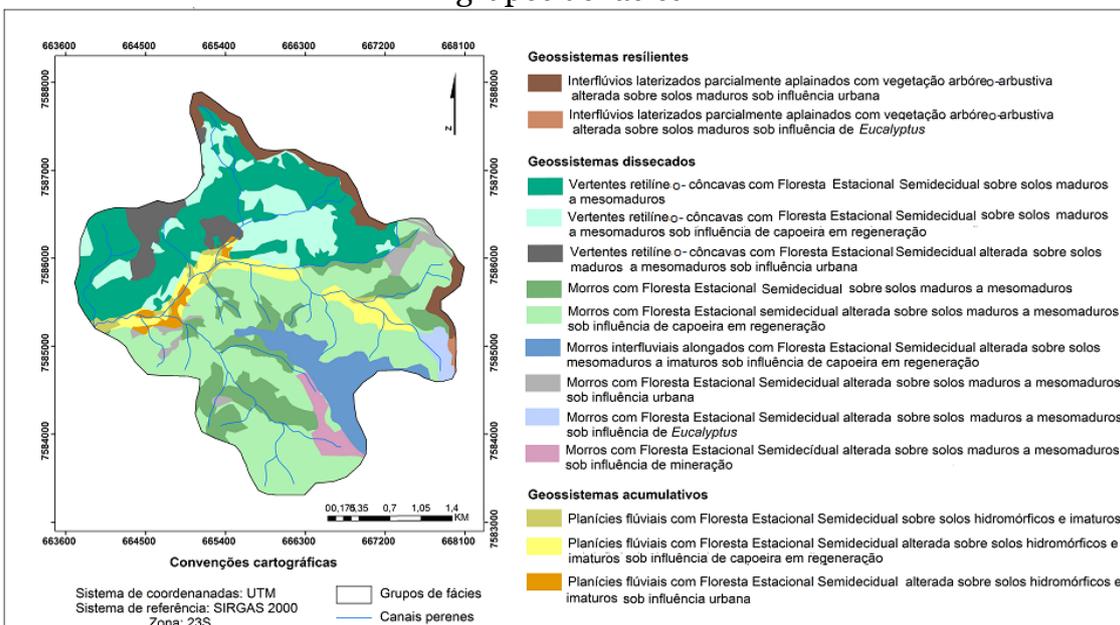
RESULTADOS

A estrutura dos geossistemas

A maior parte dos geossistemas encontrados na bacia do córrego Salvaterra são representativas dos tipos de paisagem ocorrentes no leste de Minas Gerais, sendo tipificados em morrarias e baixas cristas originalmente florestadas, atualmente com a mata fragmentária em prol de atividades como pastagem, urbanização e monocultura de *Eucalyptus*. Entretanto, a estrutura dos geossistemas na bacia assinala algumas especificidades que admitem relações importantes com a evolução regional da paisagem, a serem subsequentemente apresentadas e discutidas.

As tipologias geossistêmicas da bacia do córrego Salvaterra foram mapeadas segundo grupos de fácies, e classificadas em três categorias genético-evolutivas: (1) geossistemas resilientes, (2) geossistemas dissecados e (3) geossistemas acumulativos. Tais tipos genéticos integralizam em conjunto catorze grupos de fácies (figura 2).

Figura 2 - Geossistemas da bacia do córrego Salvaterra, mapeados a partir dos grupos de fácies



Fonte: Representação dos autores (2022).

Os geossistemas resilientes foram definidos nos interflúvios preservados, que na área estão sustentados por duricrostas bauxítico-lateríticas que definem superfícies aplainadas locais. Os revestimentos lateríticos são formados

dominantemente por Al e Fe, apresentando uma carga mineralógica composta principalmente por gibbsita e caulinita, conforme averiguado em laboratório. A resistência imposta pelas bancadas bauxítico-lateríticas impõe pronunciadas discordâncias erosivas nos dois flancos opostos, estabelecendo contato com os domínios de dissecação ativa mediante vertentes significativamente declivosas. Na área de ocorrência das duricrostas, por sua vez, a superfície geomorfológica pretérita foi mantida.

Os geossistemas dissecados são distintamente mais transientes em função do entrincheiramento dos canais nos principais lineamentos. Nos domínios denudacionais da bacia diferencia-se uma zona de controle tectono-estrutural mais expressivo e onipresente na margem direita, onde ocorrem os enderbitos e charnoquitos paleoproterozoicos do Complexo Juiz de Fora. Pela margem esquerda o relevo assume uma tipicidade amorreada nos litotipos em granada-biotita-gnaisses com lentes de quartzito e xistos da Megassequência Andrelândia (SOARES, 2002; HEILBRON *et al.* 2004). O padrão de dissecação, entretanto, não chega a ser homogêneo, uma vez que o controle persiste e é bem marcado por um conjunto de morros interfluviais de orientação NW-SE que força o caimento de uma sub-bacia tributária do córrego Salvaterra no seu baixo curso, marcadamente adaptada à aludida orientação. Cumpre destacar que a orientação em questão tem sido reconhecida na região como de idade neotectônica (Mioceno) e correspondente à primeira reativação do rifte Sudeste (SILVA e MELLO, 2011), tendo sido constatada também na bacia do rio Paraíbuna (MARQUES NETO *et al.* 2021), limitada à bacia do córrego Salvaterra.

O conjunto de geossistemas dissecados da margem direita também aporta os fragmentos mais expressivos de floresta estacional semidecidual, mantida nas extensões mais declivosas que fazem a conexão funcional entre os interflúvios residuais e o vale semiconfinado do córrego Salvaterra, onde ocorrem os geossistemas acumulativos, restritos às extensões de planícies fluviais vinculadas ao rio principal.

A estruturação e o estado dinâmico de um geossistema são dados pela relação complexa entre os elementos invariantes (base geológica, relevo) e as variáveis de estado (clima, água, vegetação, solos) (ISACHENKO, 1973; CAVALCANTI, 2013), o que implica em um significado interesalar e

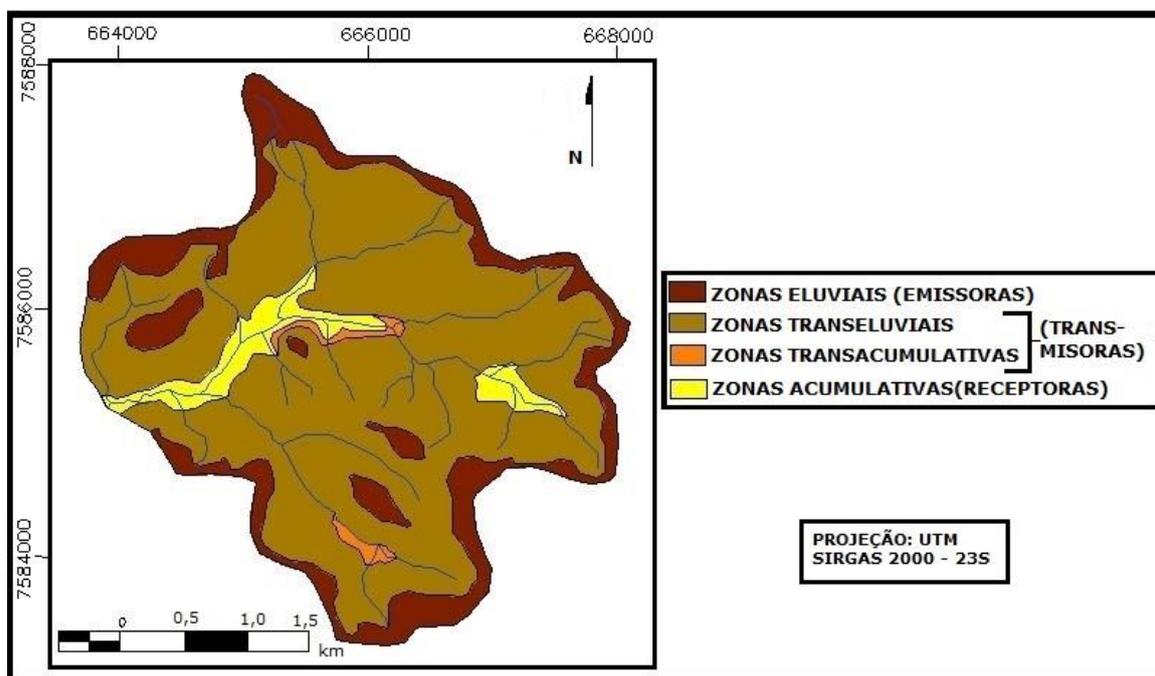
intertemporal pelo qual diferentes temporalidades se entrecruzam no espaço. A conotação genética que levou à subdivisão dos grupos de fácies em três categorias distintas tem no relevo sua variável fundamental, havendo assim uma aderência entre as categorias genético-evolutivas e os elementos invariantes do geossistema, basicamente aqueles que evoluem em longo tempo. Em paisagens caracterizadas por sistemas geomorfológicos marcados por topografia movimentada, o relevo tende a assumir protagonismo na definição dos fluxos de matéria e energia e na diferenciação das áreas (MARQUES NETO *et al.* 2013; MARQUES NETO, 2016). É o que se verifica na bacia do córrego Salvaterra, onde as variáveis de estado somadas às influências antrópicas definem as diferenciações dentro de um mesmo grupo genético, estes definidos pelo principal atributo invariante, que é o relevo.

Por uma questão de ordem de importância na diferenciação das áreas, o relevo encabeça a classificação dos geossistemas e a estrutura da legenda. Além disso, as formas de conectividade entre os três tipos genéticos fundamentais definem as relações funcionais primordiais apreensíveis na estrutura superficial da paisagem em seus aspectos físico-químicos e mineralógicos.

Os geossistemas e suas relações com a geoquímica da paisagem

Em quaisquer níveis hierárquicos de interpretação e representação, geossistemas figuram como sistemas abertos e dinâmicos, estabelecendo relações de conectividade entre si mediante interações complexas de continuum e rupturas. Tais relações ficam latentes nos padrões gerais de conectividades funcionais na bacia do córrego Salvaterra, caracterizada por zonas eluviais dadas pelos geossistemas residuais preservados nos interflúvios locais e pelo predomínio de zonas transeluviais projetadas ao longo das vertentes de fortes declives (figura 3).

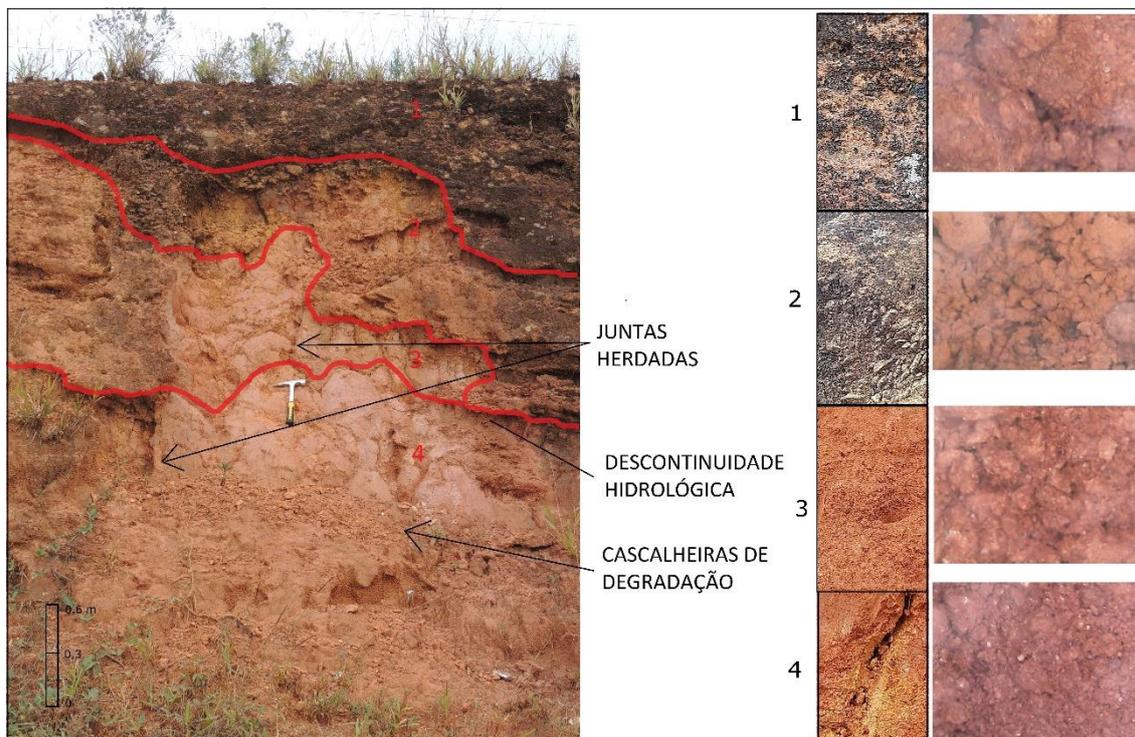
Figura 3 - Compartimentação geoquímica da bacia do córrego Salvaterra



Fonte: Os autores (2022).

O perfil laterítico existente na faixa interfluvial definida nas zonas eluviais (figura 4) é de caráter autóctone e apresenta considerável desenvolvimento vertical. A continuidade lateral é naturalmente rompida pela incisão posterior da drenagem, mas bancadas similares de duricrostas podem ser encontradas em outros segmentos dos interflúvios regionais. A exposição mais completa sondável em campo tomada como seção-tipo apresenta (1) uma duricrosta superficial na forma de bancada contínua (laterito), (2) uma zona concrecionária\mosqueada formada por delgada faixa de material endurecido fragmentário ensejando a evolução para um laterito clastosuportado, (3) uma zona pálida superior com predomínio de gibbsita e (4) uma zona pálida inferior com predomínio de caulinita.

Figura 4 - Seção-tipo de perfil laterítico autóctone em interflúvio



Fonte: Os autores (2022).

O laterito encontra-se na parte mais emergente do perfil, onde é possível distinguir uma faixa contínua e uma faixa fragmentária subjacente. Sua presença em superfície promove um aplainamento superficial e a ocorrência de minirredutos de gramíneas metalófilas bastante alterados. As fases identificadas em laboratório indicaram abundância de gibbsita (seções 1, 2 e 3), hidróxidos de zinco e alumínio (zincaluminita), fosfato de alumínio e sílica residual, além de zircônio associado a ferro hidratado. Essa bancada superficial, portanto, é formada por uma mistura de estruturas de aluminicrete, ferricrete e silcrete, congregando grandes quantidades de elementos de baixa solubilidade.

Na zona mosqueada subjacente ao laterito também predominam os óxidos (gibbsita), associados aos hidróxidos de alumínio (caulinita), com uma quantidade de SiO_2 distintamente mais expressiva em comparação ao laterito sobreposto. Também foram encontrados arranjos complexos de óxidos de ferro, titânio e bário, além de percentuais semelhantes de ferro e silício.

Na zona pálida mais emergente, os resultados de difração acusaram que a gibbsita corresponde a 1/3 do conteúdo geoquímico e mineralógico aferido. Na proporção de 1/3 também se encontram arranjos complexos de bases sódicas e

potássicas, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e titânio em proporções semelhantes, além de muscovita.

A parte mais profunda, que estabelece o limite basal da exposição do perfil, limita-se com a zona pálida emergente por uma perceptível descontinuidade hidrológica planar. Para o setor em questão constatou-se a quase ausência da gibsitita e o predomínio massivo da caulinita, perfazendo quase 70% do conteúdo mineralógico. O ferro, nessa fase da transformação, é o elemento dominante, com diminuição significativa na concentração de alumínio.

A análise do perfil sugere que a distribuição dos minerais de argila e elementos químicos indica uma tendência de migração do ferro para as porções mais basais do perfil laterítico, com endurecimento na porção mais emergente onde se encontra o laterito, conforme constatado nas análises laboratoriais. Os teores de silício diminuem proporcionalmente ao aumento da concentração de gibsitita, indicando o processo reversível de dessilissificação associado à hidrólise total que leva a formação destes óxidos. Explicitamente, Ti e Zn se mantêm em condição acessória e proporções constantes, com uma concentração sensivelmente maior de Zn no laterito devido à presença do sulfato zincaluminita (quadro 1).

Quadro 1 - Aspectos mineralógicos e químicos do perfil laterítico analisado.

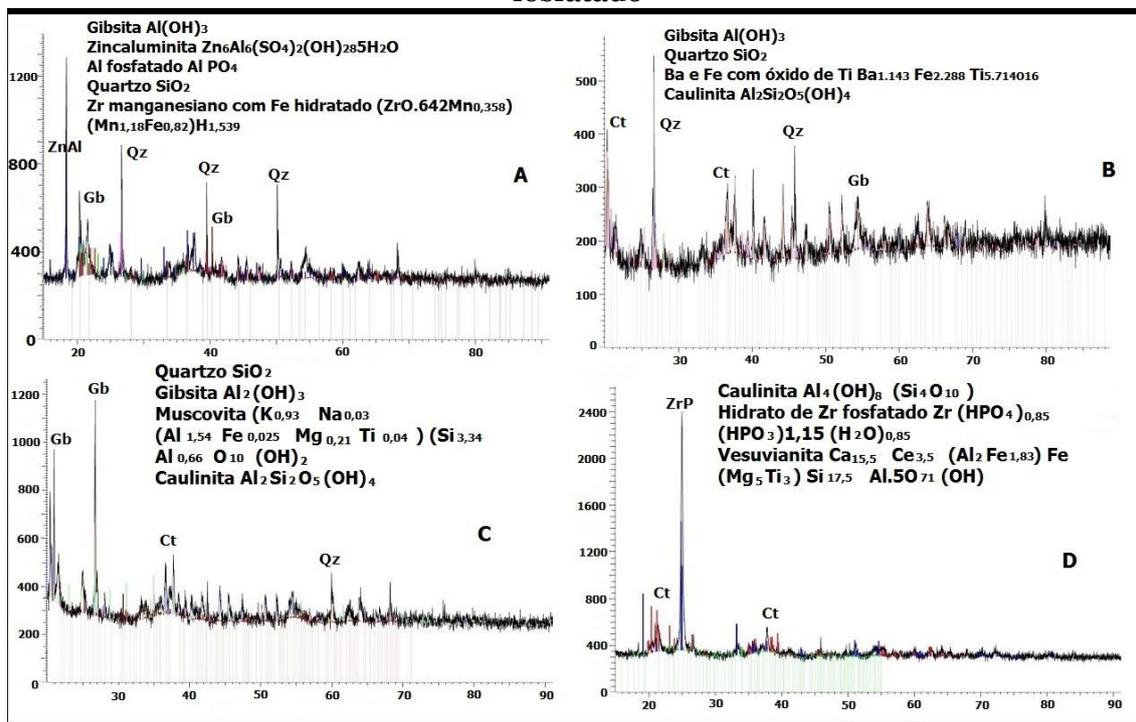
| ZONA | MINERALOGIA | QUÍMICA (%) |
|--|--|--|
| Laterito (contínuo e fragmentário) Classe textural – Tipo 2 | Gibsitita - $Al(OH)_3$, Zincaluminita - $Zn_6Al_6(SO_4)_2(OH)_{26.5}H_2O$, Fosfato de Alumínio - $AlPO_4$, Quartzo SiO_2 , Zircônio manganêsiano com ferro hidratado - $(ZrO_6.Mn_{0,3})(Mn_{1,1}Fe_{0,8})$ | Al (38,085), Si (22,042), K (0,139), Ti (3,564), Fe (35,775), Zn (0,035) |
| Zona concrecionária\mosqueada Classe textural – Tipo 1 | Gibsitita - $Al(OH)_3$, Quartzo - (SiO_2) , Bário e Ferro com óxido de titânio - $Ba.Fe_2.Ti_{16}O_{16}$, Caulinita - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ | Al (42,937), Si (16,955), K (0,081), Ti (3,440), Fe (36,566), Zn (0,021) |
| Zona pálida superior Classe textural – Tipo 1 | Quartzo - (SiO_2) , Gibsitita - $Al(OH)_3$, Muscovita - $(K_{0,9}Na)(Al_{1,5}Fe_{0,25}Mg_{0,2}Ti_{0,04})(Si_{3,3}Al_{0,6})(OH)_2$, Clintonita - $Ca(Al_3Fe_{0,1}Mg_2)Si_{1,2}O_{10}(OH)_2$ | Al (41,3), Si (19,905), K (0,077), Ti (3,521), Fe (35,157), Zn (0,024) |

| | | |
|--------------------------|--|---|
| Zona pálida inferior | Caulinita – $\text{Al}_4(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})$, Hidrato de zircônio fosfatado – $\text{Zr}(\text{HPO}_4)_{0,85} (\text{HPO}_3)_{1,15} (\text{H}_2\text{O})_{0,5}$, Vesuvianita – $\text{Ca}_{15,5}\text{Ce}_{3,5}$ $(\text{Al}_2\text{Fe}_{1,83}) \text{Fe}(\text{Mg}_5\text{Ti}_3) \text{Si}_{17,5}$ $\text{Al}_5\text{O}_{71}(\text{OH})$ | Al (29,667), Si (30,459), K (0,081), Ti (2,711), Fe (37,058), Zn (0,024) |
| Classe textural – Tipo 1 | | |

Fonte: Os autores (2022).

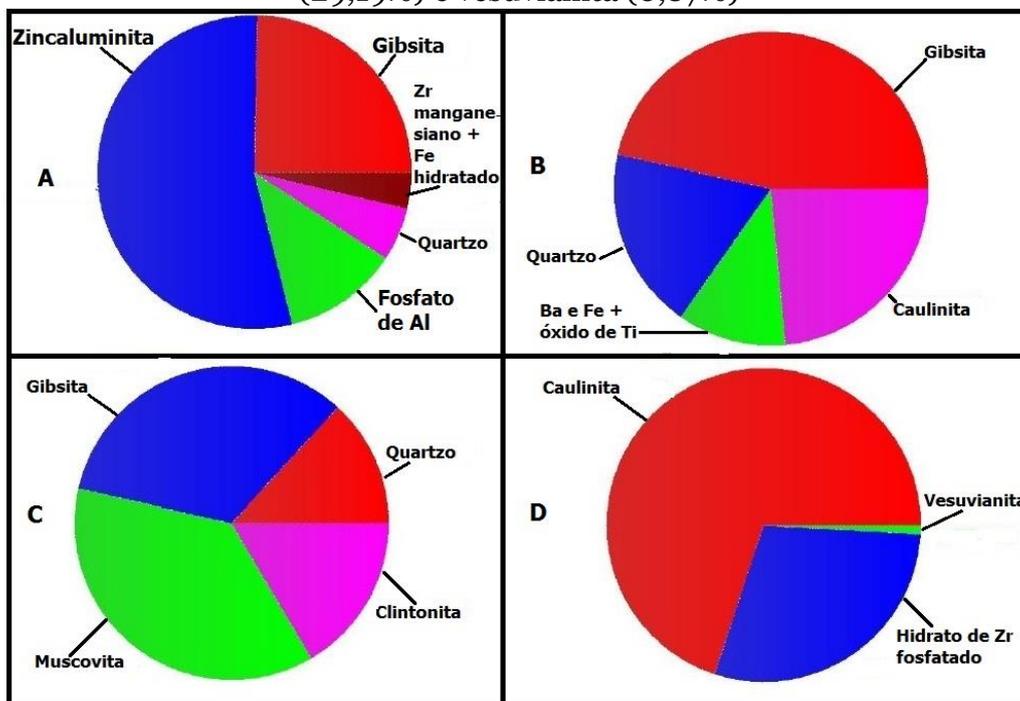
As fases mineralógicas mostradas na figura 5 mostram o comportamento das amostras em face à difração em raio-X, e os gráficos da figura 6 indicam as proporções entre as fases minerais detectadas. Os gráficos em apreço se prestam a uma interpretação qualitativa, onde maiores concentrações estão ligadas aos picos mais expressivos, com os eixos das abcissas mostrando o ângulo de incidência dos raios difratados (em graus) e os das ordenadas a intensidade dos picos difratados, sendo adimensional.

Figura 5 - Distribuição dos picos mineralógicos obtidos para o perfil laterítico (zona eluvial). (A) Duricrosta (laterito) contínua e fragmentária; (B) Zona mosqueada; (C) Zona pálida superior; (D) Zona pálida inferior. Ct – Caulinita; Gb – Gibbsita; Qz – Sílica; ZnAl – Zincaluminita; ZrP – Hidrato de zircônio fosfatado



Fonte: Os autores (2022).

Figura 6 - Proporção entre as fases mineralógicas aferidas no perfil laterítico (zona eluvial). (A) Zincaluminita (54,185%), gibbsita (24,7%), Al fosfatado (11,9%), quartzo (5,46%) e Zr manganêsiano associado a Fe hidratado. (B) Gibbsita (46,59%), caulinita (23,51%), quartzo (18,68%) e Ba\Fe associados a óxido de Ti (11,23%). (C) Muscovita (36,99%), gibbsita (33,31%), clintonita (18,52%) e quartzo (13,18%). (D) Caulinita (69,94%), hidrato de Zr fosfatado (29,19%) e vesuvianita (0,87%)



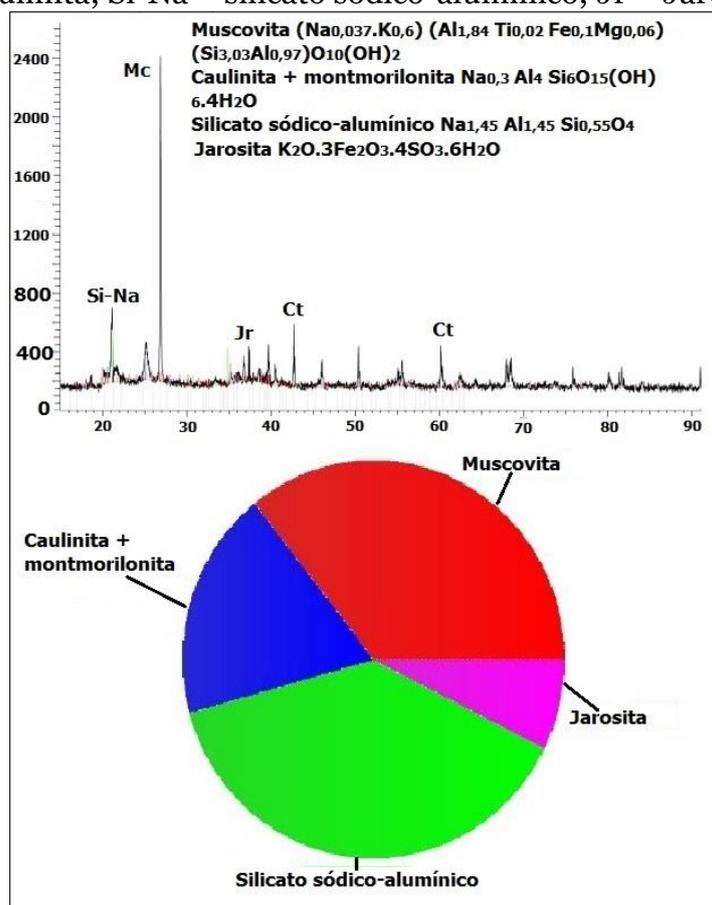
Fonte: Os autores (2022).

Quanto às análises das bases, foi constada considerável concentração de elementos químicos no perfil laterítico, sendo que o K apresentou tendência de diminuição do topo para a base, ultrapassando 10 mg/dm³ na zona endurecida e caindo abaixo de 6 mg/dm³ na zona pálida. O Na apresenta comportamento inverso, ao redor de 4 mg/dm³ nas porções mais emergentes e apresentando concentrações acima de 10 mg/dm³ na base do perfil. Ainda, P e Ca apresentaram distribuição constante em pequenas quantidades em todas as zonas do perfil. Embora a difração em raio-X tenha detectado presença de Na e P, a análise química das coberturas foi fundamental para complementar os resultados ao constatar o padrão de distribuição de tais elementos no perfil.

A análise empreendida para o material saprolítico coletado em compartimento denudacional (zona transeluvial) também se deu no conjunto das litologias do Complexo Juiz de Fora, contando com uma única coleta realizada em saprolito mais homogêneo. Os ensaios acusaram uma significativa

concentração de muscovita residual, com associações caulinita-montmorilonita e silicatos sódico-alumínicos, e o percentual de silício respondeu por praticamente metade da concentração dos principais elementos químicos: Si (50,051%), Al (26,018%), Fe (21,237%), K (0,406%), Zn (0,016%). A figura 7 mostra as concentrações mineralógicas em questão.

Figura 7 - Picos e proporções entre as fases mineralógicas obtidas em zona transluvial. Silicato sódico-alumínico (38,33%), muscovita (35,72%), caulinita associada a montmorilonita (18,61%) e jarosita (7,34%). Mc – muscovita; Ct – Caulinita; Si-Na – silicato sódico-alumínico; Jr – Jarosita



Fonte: Os autores (2022).

A difração empreendida no material coletado no compartimento transluvial revelou uma diminuição expressiva na concentração de Fe e de óxidos em geral comparativamente ao que foi verificado na duricrosta que sustenta a zona emissora. Na formação de minerais, aparece em concentrações modestas na forma do sulfato hidratado jarosita, que não foi encontrado nas zonas emissoras. Tal comportamento, a princípio, pode indicar uma relativa estabilidade do perfil laterítico e, por conseguinte, do interflúvio, haja vista que

as barreiras geoquímicas existentes circunscritas nos domínios transeleuviais são de pequenas dimensões e não interceptam integralmente os fluxos de matéria e energia provenientes das zonas emissoras. A presença de jarosita, ainda, pode ser indicativa da continuidade das condições oxidantes, assumindo que a mesma tenha sido gerada na zona transeleuvial em função de sua ausência no domínio eluvial da paisagem. Entretanto, as análises de solos levadas a efeito em três seções adicionais em zonas transeleuviais (estas não submetidas aos testes mineralógicos por difração em raio-X) acusou presença de Fe em certa constância e concentrações apreciáveis de 67,7, 31,6 e 51,3 mg/dm³ no sentido montante-jusante, o que realça a contribuição dos charnockitos na geoquímica de superfície. De forma geral, a distribuição das bases revelou uma assinatura geoquímica bastante parecida com aquela identificada nos interflúvios, indicando uma transferência bem assinalada entre os compartimentos eluvial e transeleuvial da bacia retrabalhando materiais quimicamente convergentes. A distribuição dos elementos químicos no perfil sugere uma remobilização tanto superficial como subsuperficial.

A presença significativa de muscovita e outros silicatos mal intemperizados aponta a significância da contribuição de material lítico em retrabalhamento. A associação dos minerais primários a minerais de argila é aderente à forte energia do relevo que promove intensa remobilização e mistura do regolito, com solos tendendo a textura argilosa. Mesmo assim, os resultados apontam para a formação de novos minerais secundários, mostrando que os processos supérgenos ocorrem de forma bem marcada nas zonas transeleuviais.

DISCUSSÃO

Os interflúvios da bacia do córrego Salvaterra, que ostentam geossistemas residuais preservados em duricrostas, separam organizações geomorfológicas distintas na paisagem. Na bacia oposta, pertencente ao rio Paraibuna, formam-se níveis de base locais posicionados em compartimentos altimontanos que antecedem o nível de base regional, ao passo que o córrego Salvaterra e seus afluentes dissecam profundamente o relevo até as abas interfluviais mais

resistentes, sendo que o rio principal ajusta seu perfil logo no alto curso, onde o interflúvio encontra-se bastante recuado.

As concentrações expressivas de óxidos nos geossistemas resilientes bauxítico-lateríticos sugerem que a área se inscreve em um alto estrutural bem marcado na margem direita do rio Paraibuna. A presença marcante do Fe indica contribuição da própria rocha, herança dos charnockitos ricos em biotita e ortopiroxênio do Complexo Juiz de Fora, reforçando o caráter autóctone do perfil laterítico. A interpretação da gênese de perfis lateríticos, contudo, é empreitada deveras complexa e controvertida, uma vez que os modelos teóricos são muitas vezes confrontantes e certos mecanismos envolvidos na distribuição de elementos químicos no perfil são pouco conhecidos. O interflúvio onde se localiza o perfil laterítico, cumpre sublinhar, figura como um ambiente oxidante, atualmente suspenso em relação ao nível freático. Pela margem oposta à bacia do córrego Salvaterra, entretanto, são verificadas planícies alveolares confinadas em pequenos blocos rebaixados embutidos no alto estrutural, possivelmente correspondentes à compensações epirogenéticas recentes, sendo assim possível aventar acerca de contribuições pretéritas do lençol freático na mobilização de elementos químicos por movimentos ascensionais e descensionais intercalados.

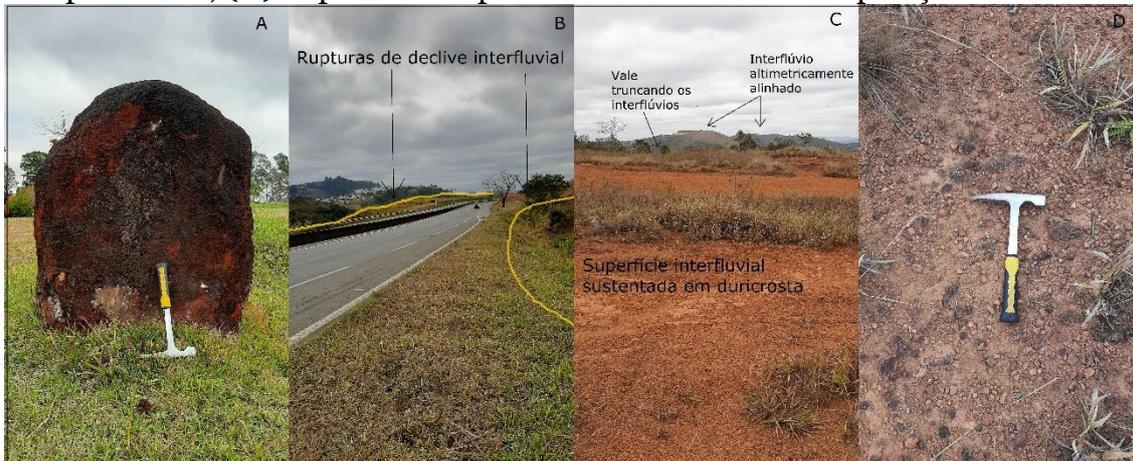
A ausência de cátions metálicos e a presença de elementos menos móveis (Fe, Al e Ti) associados à formação de óxidos e hidróxidos, bem como a mineralogia da rocha parental, sugere uma aderência com o modelo genético do *residuum* (McFARLANE, 1976; AUGUSTIN; LOPES; SILVA, 2013). Em campo ocorrem afloramentos de charnockitos francamente envolvidos por ferruginização supérgena (figura 8A), reforçando a importância da rocha subjacente na contribuição química. Ademais, outros autores também apontaram a litodependência na formação de perfis lateríticos (TAKEAHARA *et al.* 2015; SANTOS; COSTA; LEITE, 2016). A presença de duas fácies de zona pálida, uma com predomínio de gibsitia e a outra com predomínio de caulinita, indica uma possível evolução poligenética, com uma fase de alteração ferralítica responsável pela formação da caulinita associada a minérios de Fe e uma fase ferralítica\alumínica respondendo pela formação de gibsitia, que aumenta sua concentração ascendente em função da intensa lixiviação que o meio

oxidante promove, implicando na dissolução da caulinita nas porções superiores do interflúvio.

Possíveis contribuições do nível freático, conforme sublinhado, não podem ser descartadas. Apesar de não terem sido encontradas interações atuais entre o perfil e o lençol freático, a ocorrência de fosfatos e a significativa presença de sódio na zona pálida, com maior concentração abaixo da descontinuidade hidrológica, pode estar vinculada a antigas interações com águas freáticas. Ainda, a presença de pequenos blocos com estocagem sedimentar e hidromorfia ativa no entorno, sob forte interação com o nível freático, sugerem que influências pretéritas de tal ordem também podem ter contribuído para a assinatura geoquímica atual.

As características do perfil laterítico que sustenta os interflúvios da bacia do córrego Salvaterra sugerem uma correlação com outras duricrostas presentes na Zona da Mata mineira correspondentes à formações que remetem ao Cenozoico Inferior (VALETON e MELFI, 1988), refletindo mineralizações mais amplas de idade paleogênica ocorridas em território brasileiro também reconhecida por outros autores (CARMO, 2004; SANTOS, COSTA e LEITE, 2016). Segundo Carmo (2004), as coberturas intemperizadas, no contexto do Brasil Sudeste, tendem a ter suas idades diminuídas do interior continental (coberturas mais antigas) para o litoral (coberturas mais recentes), com idades intermediárias nos compartimentos planálticos do sudeste entre o Quadrilátero Ferrífero e o vale do Paraíba do Sul, onde foram encontradas idades que remetem ao Oligoceno. A este grupo se integra o perfil bauxítico-laterítico encontrado nos interflúvios da bacia do córrego Salvaterra, representativos de importantes geossistemas residuais regionais do Brasil Sudeste e que figuram como paleotopografias preservadas na paisagem (figura 8B, C e D), sendo os geossistemas denudacionais vinculados à evolução do relevo pós-formação das duricrostas.

Figura 8 - (A) Afloramento de charnoquito ferruginizado; (B) Aspecto estreito do interflúvio na passagem da BR-040; (C) Visão da superfície geomórfica preservada em duricrostas, com vistas no interflúvio oposto altimetricamente emparelhado; (D) Aspecto da superfície interfluvial com exposição do laterito.



Fonte: Os autores (2022).

As influências neotectônicas na dissecação neogênica da paisagem tem sido reconhecidas no contexto regional (MOURA; MELLO, 2011) e local (MARQUES NETO *et al.* 2022), e interferem nas organizações geomorfológicas em diferentes escalas.

A continuidade regional pretérita das coberturas ferralíticas foi demonstrada por Valenton e Melfi (1988). Atualmente, tais registros encontram-se descontínuos na paisagem regional dissecada em morrarias policonvexas e cristas em forte controle estrutural. Em vistas disso, pode-se inferir que a morfogênese do interflúvio que separa as bacias regionais drenadas pelos rios Paraibuna e Peixe é antiga, e antecede ao arranjo atual da drenagem, reconhecido como de idade pós-miocênica tanto na bacia do rio Paraibuna (MARQUES NETO *et al.* 2021) como no rio do Peixe, subordinado ao rio Preto, capturado no Mioceno e passando a drenar em demanda ao gráben do rio Paraíba do Sul (REZENDE e SALGADO, 2020). É nesse contexto evolutivo, pelo qual a dissecação neogênica vem obliterando as superfícies interfluviais mais antigas, que se inscreve a bacia do córrego Salvaterra.

Marcada por rebaixamento altimétrico abrupto imediatamente à jusante da faixa interfluvial, a organização geomorfológica na bacia do córrego Salvaterra reflete um encaixamento regional da drenagem em forte controle neotectônico, formando vales profundos de evolução pós-miocênica a partir das reativações das

estruturas vinculadas ao rifte continental, cortando estruturas preexistentes distintamente retilíneas. Partilha, portanto, de um conjunto de bacias de baixa ordem ao redor dos divisores preservados e que formam os primeiros degraus das escadarias topográficas que imbricam no gráben do rio Paraíba do Sul.

A posição topográfica regional associada aos fatores de ordem tectônica, desse modo, definem uma função transeluvial dominante para a bacia do córrego Salvaterra e para as bacias de drenagem congêneres a ela, função essa dinamizada pela tectônica, cujas evidências em campo permitem sugerir sua influência na distribuição de matéria e energia, com encaixamento dos vales em alinhamentos retilíneos em estilo confinado a semiconfinado com conexões mediante fortes declives, acentuados por compensações epirogenéticas bem marcadas na formação de facetas triangulares a trapezoidais (figura 9). O vale retilíneo desvelado e sua extensão interfluvial mostrados na figura abaixo correspondem às mesmas feições apontadas na figura 8C, mostrando, portanto, o aprofundamento dos vales e a desarticulação dos interflúvios. Embora não seja possível afirmar que as superfícies niveladas possuem a mesma idade, é bem seguro dizer que o vale que as separa é mais recente, apontando a agressividade da dissecação neogênica dos interflúvios e a conseguinte formação de superfícies intermontanas em domínios hidrográficos de baixa ordem.

Figura 9 - Vale retilíneo posicionado entre superfícies geomórficas mais elevadas definidas em interflúvios retilíneos reafeiçoados em facetas triangulares a trapezoidais.



Fonte: Os autores (2022).

Tais interflúvios correspondem aos resquícios de uma superfície intermediária entre os patamares que imbricam no vale do rio Paraíba do Sul e as altas cristas da Mantiqueira Meridional, denominada por Marques Neto et al. (2022) de Superfície de Juiz de Fora, e que tem na soleira do rio Paraíba seu nível de base regional funcional. Encontra-se embutida entre uma superfície mais elevada definida nos somitais da Serra da Mantiqueira e um nível rebaixado dado pela depressão interplanáltica do rio Pomba, região identificada por Paixão *et al.* (2020) como principal core erosivo regional, obstaculizado na soleira que marca a passagem para o baixo curso do rio Paraíba (MARQUES NETO *et al.* 2021). A bacia do córrego Salvaterra se alinha, portanto, ao conjunto de bacias que vem dissecando a referida superfície nos seus blocos mais elevados, figurando como um dos principais motores na evolução do relevo regional. Em face a uma energia do relevo de tal ordem, é crível que a tectônica cenozoica contribuiu para a quebra e retrabalhamento de duricrostas, atualmente descontínuas na paisagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As aderências entre a abordagem geossistêmica e a geoquímica da paisagem são historicamente exploradas no âmbito da matriz geográfica e geocientífica russo-soviética desde o advento da Pedologia a partir de V. Dokoutchaev, onde as assinaturas geoquímicas de superfície e subsuperfície sempre foram discutidas em suas relações estreitas com o relevo e com as diferenciações na distribuição da biomassa. Indefectivelmente, tais aderências foram apreendidas no âmbito da bacia do córrego Salvaterra, bastante representativa das bacias de baixa ordem com alto poder erosivo na dissecação dos interflúvios regionais. As tipologias de geossistemas apresentam forte relação com o relevo em seus aspectos genéticos e nas conectividades que definem seu caráter dinâmico-funcional, verificando-se uma aderência tanto no que se refere aos aspectos evolutivos definido pelas invariantes, como no que toca a sua dimensão dinâmica arregimentada pelas variáveis de estado que medram nos elementos invariantes estruturadores dos geossistemas locais e suas conexões.

Entrecruzar as dimensões genético-evolutivas e dinâmico-funcionais dos geossistemas perpassa a apreensão da estrutura superficial da paisagem a partir

de dados absolutos que desvelem a distribuição de seus aspectos físicos, químicos e mineralógicos. Dessa forma, o emprego de técnicas de difração em raio-X associado às análises físico-químicas das coberturas superficiais se mostraram imprescindíveis para a compreensão dos geossistemas além de sua configuração estrutural e corológica, permitindo sondar a distribuição dos elementos químicos e mineralógicos na paisagem, aspectos concernentes às conexões funcionais, além de fornecer indícios acerca da evolução do relevo amparado por correlações regionais já apontadas em outros estudos oportunamente citados ao longo do artigo.

As dimensões climática e tectônica apresentaram uma aderência estreita na diferenciação de áreas na bacia do córrego Salvaterra, com fortes interações com a estruturação regional dos geossistemas em bacias regionais de alta ordem. A dimensão climática se mostrou relacionada com os geossistemas resilientes definidos pelas duricrostas. A presença de coberturas intemperizadas preservadas em interflúvios se presta como importante testemunho de geossistemas pretéritos representativos de paleoestruturas de paisagem condizentes com condições paleotopográficas e paleoclimáticas, estratégicas e prioritárias para estudos evolutivos pautados na interesalaridade, articulando integridades espaciais locais e regionais a partir de enfoques predominantemente genético-evolutivos em paisagens de clima tropical quente e úmido. A dimensão tectônica, por sua vez, mostrou relação com os geossistemas mais reativos da bacia, que correspondem aos grupos de fácies denudacionais. O papel da neotectônica na estruturação geomorfológica local e regional tem dinamizado zonas erosivas e reafeiçoamento significativo do relevo, em estreitas relações com a morfogênese dos interflúvios regionais.

REFERÊNCIAS

AUGUSTIN, C. H. R. R.; LOPES, M. R. S.; SILVA, S. M. Lateritas: um conceito ainda em construção. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, p. 241-257, 2013. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/202>. Acesso em 22\04\2020. Acesso em 22 abr. 2020.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and river management: applications of the River Styles framework**. Blackwell Publishing, 2005. 398p.

CARMO, I. O. **Geocronologia do intemperismo cenozoico no sudeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Geologia), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. 134p.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a system approach**. London: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

ESPÍNDOLA, C. R. **Gênese e evolução das formações superficiais nos trópicos**. São Paulo: Editora Beca, 2013. 364p.

MARQUES NETO, R. Geomorfologia e geossistemas: influências do relevo na definição de unidades de paisagem no maciço alcalino do Itatiaia (MG/RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 4, p. 729-742, 2016. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/907>. Acesso em 29 fev. 2017.

MARQUES NETO, R. *et al.* (2022) Geomorphological structuring and tectonic control in the southeastern brazilian stepped reliefs: relation with the evolution crystalline scarps. *In*: SANTOS, G. B.; FELIPPE, M. F.; MARQUES NETO, R. (Eds.). **Geomorphology of Brazil: complexity, interscale and landscape**. Cham: Springer: 43-60.

McFARLANE, M.J. **Laterite and Landscape**. London: Academic Press, 1976. 151 p.

MIRLEAN, N.; TELLES, R. M.; DUARTE, G. M. O que é geoquímica de paisagem? **Geosul**, v. 21, n. 41, p. 107-126, 2006.

PAIXÃO, R. W. *et al.* Possibilidade de endorreísmo e capturas fluviais na morfogênese da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, p. 821-834, 2020. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1779>. Acesso em 01 fev. 2021.

REZENDE, E. A.; SALGADO, A. A. R. Considerações sobre a gênese do vale suspenso do alto rio Preto na borda da Bacia de Resende. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 40, p. 49-60, 2020. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/165775>. Acesso em 24 mar. 2021.

RICCOMINI, C. **O rift continental do sudeste do Brasil**. 1990. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990, 256p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 21 abr. 2018.

SANTOS, P. H. C. dos; COSTA, M. L.; LEITE, A. S. The Piriá aluminous lateritic profile: mineralogy, geochemistry and parent rock. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 4, p. 617-636, 2016.

SILVA, T. P.; MELLO, C. L. Reativações neotectônicas na Zona de Cisalhamento do Rio Paraíba do Sul (sudeste do Brasil). **Revista do Instituto de Geociências**, v. 11, n. 1, p. 95-111, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27499>. Acesso em 14 out. 2021.

SILVA, F. S.; OLIVEIRA, F. S.; SOUZA FILHO, C. R. Distribuição e contexto geológico-geomorfológico das bauxitas da região de Espera Feliz, sul da Serra do Caparaó, MG\ES. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 30, n. 6, p. 457-473, 2019. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1513>. Acesso em 02 fev. 2020.

SOARES, A. C. P; NOCE, C. M; TROUW, R. A. J; HEILBRON, M. **Projeto Sul de Minas**. COMIG-UFMG-UFRJ-UERJ, 2002.

SOCHAVA, V. B. Geography and ecology. **Soviet Geography: review and translation**. New York, v. 12, n. 5, p. 277-293, 1971.

SOCHAVA, V. B. O Estudo dos Geossistemas. **Métodos em Questão**. n 16, 1977.

SOCHAVA, V. B. **Introducción a la teoría sobre los geosistemas**. Novosibirsk: Nauka, filial de Sibéria, 1978. 318p. (em russo)

VALETON, I.; MELFI, A. J. Distribution pattern of bauxites in Cataguases area (SE Brazil), in relation to Lower Tertiary paleogeographic and younger tectonics. **Bulletin de la Société Géologique de France**, v. 41, n.1, p. 85-98, 1988.

TAKEHARA, L.; PORTO, C. G.; SIMAS, M. W.; BORBA, R. G; SILVEIRA, F. V. Estudo geoquímico da crosta laterítica do depósito Morro dos Seis Lagos (AM). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. **Anais...** Brasília, DF, 2015.

Recebido em 22 de novembro de 2022
Aceito em 18 de abril de 2023