

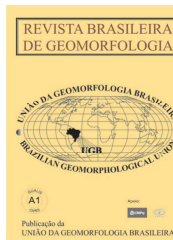


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 2 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1330>



FORMAÇÕES CONCRECIONÁRIAS E ASPECTOS GENÉTICOS E EVOLUTIVOS DO MACIÇO DO QUINCUNCÁ, PROVÍNCIA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL

CONCRETE FORMATIONS AND GENETIC AND EVOLUTIONARY ASPECTS OF QUINCUNCÁ MOUNTAIN RANGE, BORBOREMA PROVINCE, NORTHEAST OF BRAZIL

Abner Monteiro Nunes Cordeiro

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Ceará
Av. Dr. Silas Munguba, 1700, Fortaleza, Ceará. CEP: 60714-903. Brasil
Email: abnermncordeiro@gmail.com*

Frederico de Holanda Bastos

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Ceará
Av. Dr. Silas Munguba, 1700, Fortaleza, Ceará. CEP: 60714-903. Brasil
Email: fred.holanda@uece.br*

Rubson Pinheiro Maia

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 911, Fortaleza, Ceará. CEP: 60455-760. Brasil
Email: rubsonpinheiro@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
11/01/2018
Aceito (Accepted):
09/02/2018

Palavras-chave:

Geomorfologia; Laterita;
Maciço Residual.

Keywords:

Geomorphology; Laterite;
Residual Massif.

Resumo:

Fragmentos de laterita encontram-se distribuídos na porção setentrional da Província Borborema, constituindo feições residuais de antigo capeamento laterítico, parcialmente dissecado, pelo atual sistema de drenagem, restando apenas alguns testemunhos desconectados. O presente trabalho propõe analisar as diferentes situações nas quais se apresentam as formações lateríticas, permitindo, assim, compreender a gênese dessas formas em função da evolução do contexto geomorfológico regional no qual está inserido, tornando-se referência regional para o estudo do desenvolvimento do modelado. O método empregado para o desenvolvimento deste trabalho consistiu em revisão bibliográfica detalhada sobre condições necessárias para o desenvolvimento de perfis lateríticos, seguido do levantamento de informações geológicas e climáticas, além da interpretação de mapas e trabalhos de reconhecimento de campo. Este permitiu a identificação e análise de perfis lateríticos, possibilitando o entendimento da situação morfológica das formações supergênicas no Maciço do Quincuncá. Atualmente, remanescentes de cobertura laterítica encontram-se no setor setentrional da Bacia do Araripe, sustentando tais feições tabulares no topo de relevos cristalinos. Com base na pesquisa foi proposto modelo de laterização, cujas condições de umidade durante o

Paleógeno, superiores às atuais, favoreceram a evolução de perfis de laterita *in situ* em parte da Província Borborema. A presença da laterita teria favorecido a manutenção de platôs tabulares em torno de 700 m. A progressiva aridificação do clima regional no Neógeno seria responsável pela fragmentação do capeamento laterítico.

Abstract:

Laterite remains are spread in the Borborema Province northern portion, constituting residual features of an old lateritic cap, partially dissected, by the current drainage system, leaving only a few disconnected testimonies. The present work proposes to analyze the different situations in which the lateritic formations are presented, allowing to understand the genesis of these forms in the evolution function of the landscape in which it is inserted, becoming a regional reference for the study of the modeling development. The method used for this work development consisted of a detailed bibliographical review on conditions necessary for the development of lateritic profiles, followed by the geological and climatic information survey, as well as the interpretation of maps and field recognition works. This allowed the identification and analysis of lateritic profiles, making it possible to understand the morphological situation of the supergenic formations in Quincuncá Massif. Nowadays, lateritic cover remains are found in the Araripe Basin northern sector, sustaining such tabular features at the top of crystalline reliefs. Based on the research, a laterization model was proposed, whose moisture conditions during the Paleogene, above to the current ones, favored the evolution of laterite profiles *in situ* in part of the Borborema Province. The laterite presence would have favored the tabular plateaus maintenance in around 700 m. The progressive regional climate aridification in the Neogene would be responsible for the lateritic capping fragmentation.

1. Introdução

Mantos de alteração laterítica, muitas vezes constituindo couraças (*duricrust*) ferruginosas e/ou aluminosas (TARDY, 1993; ALEVA, 1994; ESPINDOLA; DANIEL, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2009), são produtos do intenso intemperismo do material litológico subjacente. Essas formações concrecionárias são compostas, principalmente, de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio hidratados, e de argilossilicatos, como, por exemplo, a caulinita (SCHELLMANN, 1980; ALLABY, 2008; AUGUSTIN; LOPES; SILVA, 2013).

As formações lateríticas com enriquecimento supergênico de Fe, Al, Mn, Ti e outros elementos remanescentes (BOURMAN, 1996; AUGUSTIN; LOPES; SILVA, *op. cit.*; PRADO *et al.*, 2014) constituem indicadores confiáveis da atuação de paleoclimas (NAHON, 1991; TARDY, 1993; VASCONCELOS *et al.*, 1994; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Esses gerariam condições de temperatura e umidade elevadas, favoráveis à sua formação (SCHWARZ, 1997; CUI *et al.*, 2001). Essas formações possibilitam compreender a evolução geomorfológica das paisagens onde estão localizadas, através do controle morfoestrutural que exercem, uma vez que conservam níveis de antigas superfícies de erosão (PENTEADO, 1983; NUNES; ESPINDOLA, 1993; CABRAL; PRADO, 2008).

A composição da rocha subjacente, flutuação

sazonal do nível freático e convergência dos fatores biológicos, morfoclimáticos e morfotectônicos estáveis desempenham papel fundamental na origem, evolução e preservação das formações lateríticas (MELFI *et al.*, 1988; PADRO *et al.*, 2014; BIONDI, 2015), além de serem responsáveis pela mobilidade dos elementos químicos mais móveis (cátions metálicos) e a acumulação dos menos solúveis (oxi-hidróxidos de Fe e Al) presentes nas lateritas (McFARLANE, 1976; ALEVA, 1994; ROBB, 2005; TANNER; KHALIFA, 2010). O conhecimento das diferentes situações nas quais se apresentam as formações lateríticas, permite compreender sua formação em função da evolução da própria paisagem na qual está inserida (GONTIJO-PASCUTTI *et al.*, 2002), tornando-se um ponto de referência para o estudo do desenvolvimento do relevo e da própria pedologia (PENTEADO, *op. cit.*).

Atualmente, existem relatos de perfis lateríticos em contextos semiáridos e temperados atuais, inferindo-se a atuação de paleoclimas que teriam gerado condições, principalmente de umidade e temperatura elevada, que condicionaram suas gêneses e evolução (TAYLOR, *et al.*, 1990; THOMAS, 1994; CUI *et al.*, 2001; BÉTARD; PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2005). As lateritas são consideradas indicadores de ambiente tropical quente e úmido, sendo sua presença na paisagem muito útil na reconstrução paleoclimática (TARDY; ROQUIM, 1998).

As sucessões climáticas verificadas, nos continentes sul-americano e africano, nos últimos 100 milhões de anos, em parte, devido à deriva continental, foram as grandes responsáveis pela distribuição geográfica e composição mineralógica das diversas coberturas lateríticas da África e do Brasil (TARDY; MELFI; VALETON, 1988; TARDY *et al.*, 1990; TARDY; KOBILSEK; PAQUET, 1991; PORTO, 2010). Perfis lateríticos, degradados, encontram-se disseminados no cinturão intertropical, particularmente, nas massas continentais situadas entre as latitudes 35°N e 35°S. Perfis com características semelhantes também foram observados em latitudes mais altas, por exemplo, 35-42°S no SE da Austrália (Victoria e Tasmânia), 40-45°N nos EUA (Oregon e Wisconsin) e 55°N na Europa (Irlanda do Norte e Alemanha), embora não sejam regionalmente extensos (BUTT; LINTERN; ANAND, 2000).

No Brasil, formações lateríticas são recorrentes na paisagem (GONTIJO-PASCUTTI *et al.*, 2002; PADRO *et al.*, 2014) e, embora sejam menos espessas que no continente africano (OLIVEIRA *et al.*, 2009), cobrem quase 65% do seu território (MELFI *et al.*, 1988). Condições climáticas, morfológicas e morfotectônicas necessárias para viabilizar a formação de laterita existiram e ainda existem em algumas regiões do território brasileiro. Os perfis lateríticos encontram-se delimitados pelos paralelos 3°N e 27°S, escassos no Nordeste brasileiro e ausentes no Estado do Rio Grande do Sul (MELFI *et al.*, op. cit.).

No setor setentrional da Província Borborema, fragmentos de laterita foram identificados compondo superfícies aplainadas recobertas ou não por fina camada de solo, como, por exemplo, nos Maciços de Portalegre e Martins (arenito fluvial laterizado) (PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2004; BÉTARD; PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2005; MAIA; BÉTARD; BEZERRA, 2016), e na Formação Barreiras (ROSSETTI *et al.*, 2011). Particularmente, o Maciço do Quincuncá, localizado no sul do Estado do Ceará, apresenta superfícies com recobrimento laterítico, situadas entre as cotas 680 e 720 m, e embasadas por rochas Paleo-Neoproterozoicas das Suítes Granitoides Itaporanga e Serra do Deserto. Assim, é oportuno o estudo dessas formações, a partir dos dados de trabalhos que atestam sua gênese e fragmentação, já que as lateritas e o substrato geológico que as mantêm, desempenham um papel fundamental na evolução geomorfológica desse relevo residual.

2. Localização da Área

O Maciço do Quincuncá, ocupando área de 775 km², apresenta alinhamento morfológico na direção NE-SW e se insere no contexto geológico e tectônico do setor norte da Província Borborema, Domínio Rio Grande do Norte (DRGN), Nordeste do Brasil (Figura 1). Neste domínio, Peulvast e Claudino Sales (2007) apontaram a presença de um extenso anfiteatro erosivo voltado para o oceano Atlântico, que se estende desde o contato com a Bacia do Parnaíba, a oeste, até o Cráton do São Francisco, ao sul, comportando um complexo de morfoestruturas soerguidas e modeladas por processos erosivos.

Situado acima da cota de 370 m, o Maciço do Quincuncá, é um dos numerosos maciços graníticos que constituem sobressaltos topográficos no semiárido do Nordeste brasileiro, constituindo um relevo serrano relacionado à resistência litológica do corpo intrusivo, representado pelas Suítes Itaporanga, Serra do Deserto e Gabroide (BRASIL, 2003), tendo em vista a menor resistência dos gnaisses, micaxistos e ortognaisses, que constituem o embasamento metamórfico encaixante circunjacente, composto, de forma predominante, por alinhamentos de cristas residuais e colinas semiconvexas.

3. Materiais e métodos

A metodologia empregada nesse trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica detalhada sobre condições necessárias para o desenvolvimento de perfis lateríticos. Em seguida procedeu-se o levantamento de informações geológicas, geomorfológicas e climáticas que pudessem embasar os aspectos geomorfológicos do Maciço do Quincuncá, seguido de aquisição e processamento de imagens de satélite (Landsat) e modelo de elevação digital (MDE), disponibilizadas na página Earth Explore <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Dessa forma, foi utilizado o MDE referente a quatro cenas: s07_w040_1arc_v3, s07_w041_1arc_v3, s08_w040_1arc_v3 e s08_w041_1arc_v3. Essas cenas da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) apresentam resolução espacial de ~30m a partir da qual foi possível a obtenção de informações referentes à hipsometria, declividade, rugosidade/modelo de sombra e a extração das curvas de nível.

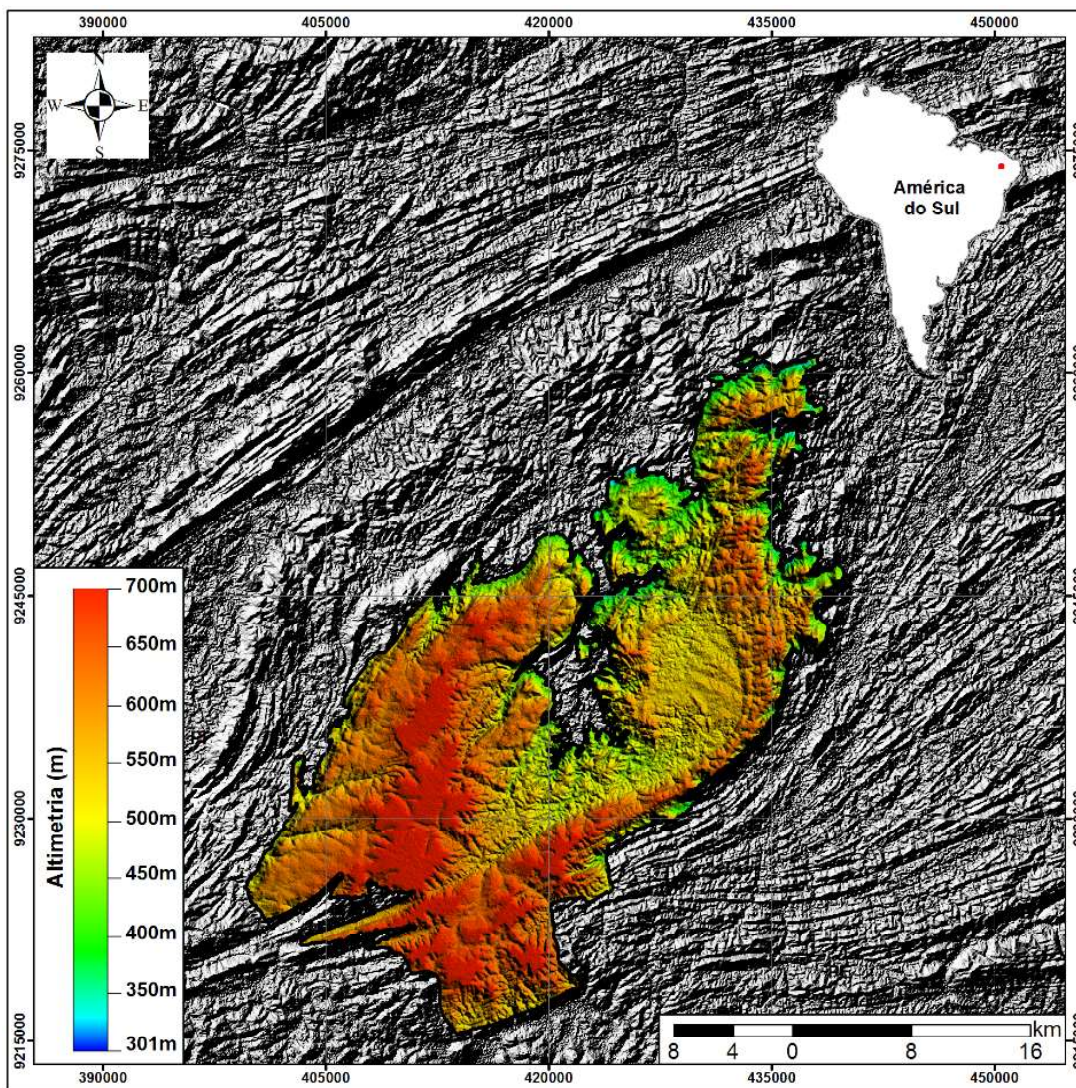


Figura 1 – Serra do Quincuncá (MDE) no contexto do setor Setentrional da Província Borborema.

As informações geológicas foram obtidas a partir das cartas geológicas SB.24-Y-B, na escala de 1:250.000 (VASCONCELOS; PRADO; GOMES, 1997) e SB.24-Y, na escala de 1:500.000 (GOMES; VASCONCELOS; TORRES, 2000), e do mapa geológico do Estado do Ceará, na escala de 1:500.000 (BRASIL, 2003). A partir dessas bases geológicas, foram realizadas correlações entre os limites das unidades litológicas e suas relações com as principais formas de relevo.

O levantamento bibliográfico foi precedido de reconhecimento de campo, que permitiu a identificação de perfis lateríticos, em corte de estradas, possibilitando o entendimento da morfologia das formações supergênicas no Maciço do Quincuncá, e a influência do substrato geológico na sua manutenção. As

feições geomorfológicas, em escala de detalhe, foram individualizadas e combinadas com dados de mapa geológico, hipsométrico e declividade. Além disso, foram interpretadas, detalhadamente, as informações existentes nos mapas geomorfológicos produzidos por Peulvast e Claudino Sales (2003) e Peulvast e Bétard (2015).

A avaliação das condições paleoclimáticas foi realizada tomando como base os dados disponibilizados nos trabalhos de Tardy, Melfi e Valetton (1988); Tardy *et al.* (1990); Tardy, Kobilsek e Paquet (1991); Vasconcelos *et al.* (1994); Moraes Neto, Hegarty e Kerner (2005); Peulvast e Bétard (2015), dentre outros.

Para a integração dos dados utilizou-se o *software* Quantum GIS 2.14, que possibilitou o tratamento dos arquivos vetoriais e matriciais, e a criação de

um banco de dados georreferenciados, onde todos os arquivos foram convertidos para a projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando-se o Datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000 (SIRGAS-2000).

4. Resultados

4.1 Maciço do Quincuncá: gênese e evolução

As litologias que constituem o Maciço do Quincuncá estão relacionadas ao volumoso plutonismo Ediacariano, associado ao Ciclo Brasileiro/Panafricano, e a gênese de suas formas se deve às propriedades geomorfológicas das rochas encaixantes que induzem ao aumento da ação do intemperismo químico, viabilizando a ação morfodinâmica por meio dos processos fluviais e gravitacionais de massa. Esses processos morfogenéticos promovem o rebaixamento do relevo estruturalmente composto de rochas mais frágeis, mantendo as mais resistentes permanecerem como sobressaltos topográficos, justificando assim a ocorrência de maciços associados aos núcleos granitoides.

O Maciço do Quincuncá é um corpo granítico, cujo eixo principal possui 52,54 km, sugerindo evolução relacionada à tendência NE-SW do sistema de zonas de cisalhamento transcorrente dextral, associadas a eventos tectônicos neoproterozoicos (BRITO NEVES; SANTOS; VAN SCHMUS, 2000; HASUI, 2012). Portanto, o controle do plutonismo e a forma alongada, sigmoidal, do Maciço do Quincuncá mostram concordância com as zonas de cisalhamento transcorrentes de cinemática dextral NE-SW, associadas ao Lineamento de Patos (Figura 2).

Os granitos e granodioritos, da Suíte Itaporanga (NP3γ2i), que sustentam o Maciço do Quincuncá, por serem mais jovens (~650 a 540 Ma) (VASCONCELOS; PRADO; GOMES, 1997; BRASIL, 2003) e ainda não terem passado por processos metamórficos mais intensos, apresentam maior resistência à ação da denudação, sustentando feições elevadas, onde se situam couraças lateríticas de espessura variável, oriundas de alterações supergênicas. Do ponto de vista meramente morfológico, esses platôs ocorrem como superfícies aplainadas circundadas por vertentes abruptas em todos os sentidos, sendo bastante similares aos relevos de chapadas.

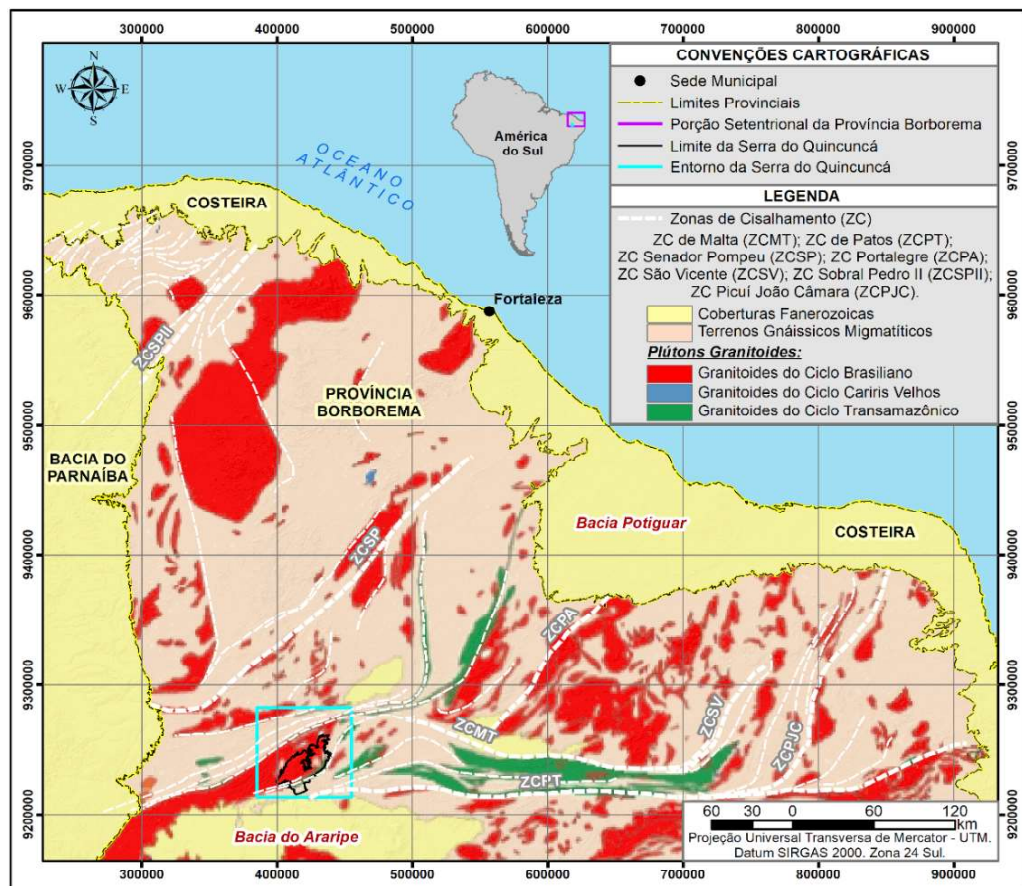


Figura 2 – Distribuição de plútons granitoides pequenos a batolíticos, de diferentes idades, no setor setentrional da Província Borborema.

A superfície somital do Maciço do Quincuncá, formada a partir da ação intensa do intemperismo, determinada por condições climáticas de maior umidade, e posterior remoção do manto de alteração, expondo os granitos das suítes intrusivas e originando a *etch surface*, em condições climáticas mais secas, com altimetrias entre 380 e 660 m, apresenta no setor oriental, relevo constituído por escarpa erosiva e cimeira

suavemente aplainada. A escarpa erosiva é caracterizada por processos lineares regressivos, realizados pelos canais de primeira ordem, formando escarpas íngremes com cabeceiras de drenagem em evolução, intermitentes e semiperenes, que evidenciam estágios diferentes de evolução fluvial, cujo desenvolvimento permitiu a formação de facetas triangulares (Figura 3).



Figura 3 – Escarpa erosiva do Maciço do Quincuncá, onde: (FT) indica Facetas Triangulares e (RC) Rampa de Colúvio. Observar a morfologia aplainada do topo.

O setor oriental do maciço, recortado por falhas indiscriminadas, que confinam os augenortognaisses graníticos, da Suíte Granitoide Serra do Deserto (PP4sd), funciona como um “contraforte” com 610 m de altitude, onde se concentram os *knickpoints*, através dos quais os setores mais elevados do maciço se mantiveram preservados da erosão regressiva, proporcionando topografia suavemente aplainada e dissecada por canais fluviais de primeira ordem, o que lhe confere um relevo serrano atípico, em se tratando de maciços cristalinos do semiárido brasileiro.

A evolução das encostas, no setor oriental, por erosão diferencial, e, respectivamente, dos canais fluviais durante o Quaternário, representa uma fase de origem de cabeceiras de drenagem em anfiteatro (*hollows*) e pontões (*noses*). A evolução dos anfiteatros permitiu entulhamento dos fundos de vale por material coluvial, que com a retomada erosiva holocênica se interligaram e/ou recobriram os depósitos aluviais.

Os processos morfogenéticos do maciço apontam possível retração lateral de suas encostas por *backwearing*, com rebaixamento contínuo do seu conjunto, a partir

de um retrabalhamento cíclico por *etchplanation* e deposição de material coluvial através de eventos pretéritos relacionados a movimentos gravitacionais de massa, no sopé, formando rampas de colúvio, fortemente controlados pelas variações do clima regional, a partir do Cretáceo Superior.

4.2 Distribuição de cobertura superficial laterítica no sul cearense

No decorrer do Eoceno, os granitos, granodioritos e augenortognaisses que compõem o Maciço do Quincuncá, foram submetidos a prolongado período de intemperismo químico e lixiviação, responsáveis por regolitos de espessura métrica e formações supergênicas autóctones, de idade pré-neógena, representadas por diferentes fases de formação de perfis lateríticos, responsáveis pelo recobrimento da superfície de cimeira do maciço (Figura 4).

Entretanto, no decorrer do Mioceno, a progressiva aridificação de um clima anteriormente úmido (HARRIS; MIX, 2002; BÉTARD, 2007; LIMA, 2008;

PEULVAST *et al.*, 2008; PEULVAST; BÉTARD, 2015) proporcionou o dismantelamento da cobertura laterítica, por *backwearing*, e a consequente exposição da antiga frente de intemperismo (*etch surface*), com mais vigor onde o substrato geológico é menos resistente à erosão mecânica, sobretudo, nos setores modelados por dioritos, gabros, noritos e granodioritos, da Suíte Gabroide (NP382), cuja topografia encontra-se

significativamente rebaixada. Portanto, os fragmentos de laterita no setor SW do Maciço do Quincuncá e na área situada a NW da Bacia do Araripe, constituem feições residuais de um antigo capeamento laterítico contínuo, parcialmente dissecado, pelo atual sistema de drenagem, restando apenas alguns testemunhos desconectados (Figura 5 - B e C).



Figura 4 – Aspecto de perfil laterítico com aproximadamente 4 (quatro) metros de espessura, localizado no município de Altaneira, Ceará.

Essas lateritas desenvolveram-se a partir das rochas cristalinas do embasamento Pré-Cambriano, podendo ser consideradas como equivalentes das “lateritas autóctones” de Widdowson e Gunnell (1999), envolvendo o desenvolvimento perfis lateríticos *in situ* (BÉTARD; PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2005).

O desenvolvimento de perfis lateríticos autóctone, no Maciço do Quincuncá, especificamente, pode ser confirmado em função da presença de veios de quartzo de formato irregular e espessura milimétrica a centimétrica, observados no topo do saprólito entre 3 a 4 metros de profundidade. Ou seja, não há evidência de material coluvial e/ou aluvial nos perfis lateríticos, ao contrário das informações constantes no mapa geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, cujas coberturas lateríticas foram tratadas como coberturas colúvio-aluviais (BRASIL, 2003) e colúvio-eluviais (VASCONCELOS; PRADO; GOMES, 1997),

datadas do Plio-Pleistoceno (~1,75 Ma), localmente laterizadas, de constituição essencialmente areno-síltico-argilosa.

A relativa homogeneidade litológica do Maciço do Quincuncá, proporcionada pela Suíte Granitoide Itaporanga, não oculta a existência de retração lateral diferencial, onde os granodioritos de granulação grossa, apresentam menor resistência do que os granitos. Na Suíte Itaporanga, os granitos porfíricos mostram evidências de coexistência entre um magma granítico e outro diorítico ou grabroide. Portanto, mesmo entre as próprias unidades predominantemente graníticas é possível identificar padrões de comportamento diferenciados, frente aos processos mecânicos de erosão. Tal característica se deve aos aspectos texturais, onde rochas porfíricas com desenvolvimento de fenocristais de K-feldspatos expõem mais as faces dos minerais, tornando-os mais susceptíveis ao intemperismo e a erosão.

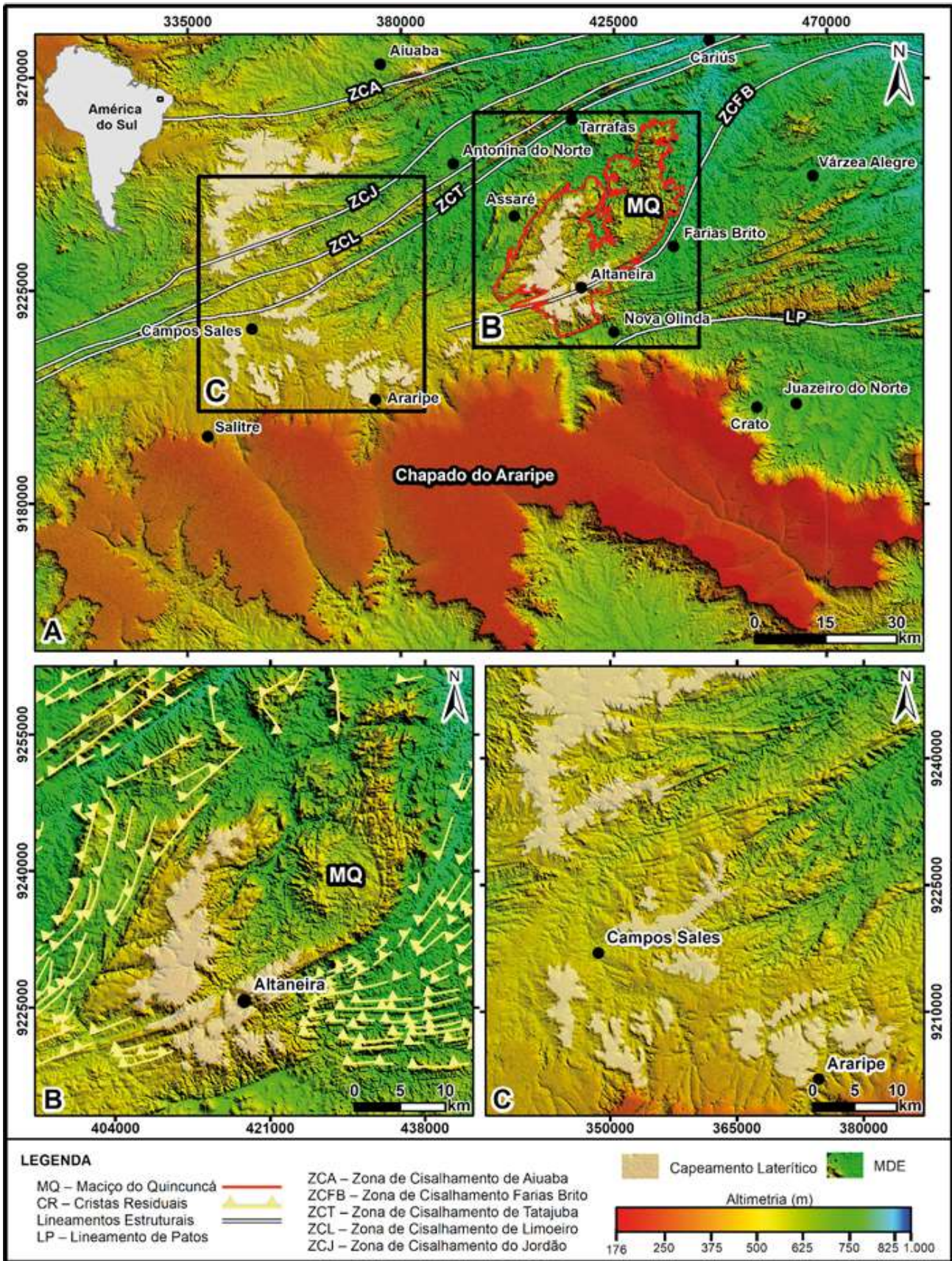


Figura 5 – Remanescentes de cobertura laterítica (A) localizados na porção SW do Maciço do Quincuncá (B) e no setor NW da Bacia do Araripe, nos municípios de Campos Sales e Araripe (C).

A formação laterítica, assentada sobre granitos e augenortognais graníticos, resultante do intemperismo atual, contribuiu para manutenção geomorfológica dos topos aplainados, níveis topográficos residuais, situados entre 680 e 720 m, com ausência de cursos d'água, onde estão localizadas as maiores altitudes do maciço.

A diferença de altitude entre as coberturas lateríticas e a *etch surface* (frente de alteração) reflete as diferenças de resistência do material litológico subjacente, aos ciclos de erosão sucessivos ligados a paleoclimas contrastantes entre o Paleógeno e o Neógeno. No material litológico menos resistente, os processos erosivos progrediram tanto pelo ataque da rocha parental ao nível da frente de intemperismo quanto pela remoção, pelo escoamento superficial, do material alterado.

5. Sequência evolutiva do capeamento laterítico no setor setentrional da Bacia do Araripe

A presença de um clima quente e úmido em uma determinada região, mas sazonalmente seco, pelo menos durante certo período, proporcionando a oscilação do nível freático e a consequente acumulação residual dos precipitados de Fe_2O_3 e/ou Al_2O_3 , e a concomitante lixiviação vertical de cátions metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e de sílica em solução (H_4SiO_4), é essencial para a gênese das formações lateríticas (MELFI *et al.*, 1988; BOURMAN, 1996; MORAIS NETO; HEGARTY; KARNER, 2005; PIERINI; MIZUSAKI, 2007; AUGUSTIN; LOPES; SILVA, 2013).

Condições de umidade superior as atuais foram verificadas na África, Índia, Austrália e América do Sul, de acordo com diversos estudos (TARDY *et al.*, 1990; NAHON, 1991; BEAUVAIS *et al.*, 2008), durante o Paleógeno (Paleoceno/Eoceno), momento em que foi datada a maioria dos perfis lateríticos das diferentes regiões do planeta (TARDY; KOBILSEK; PAQUET, 1991; VARAJÃO *et al.*, 2009).

O Nordeste do Brasil, a África Ocidental e o Sul da Índia compartilharam sequências paleoclimáticas semelhantes que se sucederam depois do Cretáceo Superior (TARDY; ROQUIN, 1998; BÉTARD, 2007). Após longo período de umidade e intemperização profunda, iniciado no Paleógeno, favorável à evolução de lateritas *in situ*, observou-se a ocorrência de aridificação progressiva do clima regional no Neógeno (HARRIS; MIX, 2002; LIMA, 2008; PEULVAST *et al.*, 2008; PEULVAST; BÉTARD, 2015), com predomínio dos

processos de remoção mecânica dos materiais do solo, interpretados por diversos autores como favoráveis aos fenômenos de pediplanação (BARDOSSY, 1994; VASCONCELOS *et al.*, 1994; BOURGEON; GUNNEL, 1998).

De acordo com as reconstituições paleoclimáticas realizadas por Tardy e Roquin (1998), as condições favoráveis à formação de laterita no Nordeste do Brasil teriam ocorrido durante o Paleógeno (Eoceno). No entanto, mudança marcada pela aridificação do clima, iniciada no Mioceno (~13 Ma) (HARRIS; MIX, 2002; BÉTARD; PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2005; BÉTARD, 2012), favoreceu fragmentação das formações lateríticas, além de desencadear fase de denudação intensa que coincidiu com a sedimentação do Barreiras no Neógeno (BÉTARD, 2007; BÉTARD; PEULVAST, 2011).

No setor setentrional do Nordeste do Brasil longa fase de condições continentais climáticas, progressivamente, mais úmidas, iniciada no Cretáceo Inferior, levou ao desenvolvimento de espessa cobertura laterítica, que contribuiu para manutenção de platôs com altitudes em torno de 700 m, com expressiva ocorrência entre as bacias interiores do Iguatu, ao norte, e do Araripe, ao sul, no sudoeste do Estado do Ceará. Está fase de meteorização química pré-Eoceno (PEULVAST; BÉTARD, 2015) alterou o substrato geológico ao longo do regolito, levando à perda de elementos móveis e o enriquecimento de oxi-hidróxidos de Fe e/ou Al, *in situ*, gerando mantos de alteração laterítica que ultrapassam 10 m, muitas vezes constituindo couraças (*duricrust*).

A retração da Chapada do Araripe, no pós-Cenomaniano, proporcionou a exumação, meteorização e consequente laterização do embasamento cristalino, situado ao norte da bacia (PEULVAST; BÉTARD, *op. cit.*), que se encontrava recoberto (Figura 6-A), pelo menos em parte, por uma extensa, porém fina camada de sedimentos albiano-cenomanianos da Formação Exu (100 metros ou menos) (BÉTARD; PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2005; ASSINE, 2007). Assim, a erosão diferencial foi responsável pela modelagem topográfica do relevo entre o embasamento metamórfico encaixante e o núcleo intrusivo associado às Suítes Itaporanga, Serra do Deserto e Gabroide.

Após uma fase úmida, durante o Cretáceo Superior e Paleógeno, que conduziu à formação de mantos de laterita, no embasamento cristalino situado ao norte da Chapada do Araripe, uma acentuada mudança para aridez,

que começou no Mioceno (~13 Ma) (VASCONCELOS *et al.*, 1994; HARRIS; MIX, 2002), favoreceu a remoção dos mantos de intemperismo e a fragmentação da laterita (Figura 6-B). Hoje, os remanescentes de cobertura laterítica encontram-se, apenas, no setor localizado a noroeste (NW) da Bacia do Araripe, nos municípios de Campos Sales e Araripe (PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2004; PEULVAST; BÉTARD, *op. cit.*), e na porção sudoeste (SW) do Maciço do Quincuncá.

O embasamento cristalino exumado e meteorizado,

provavelmente entre o Paleoceno (BÉTARD; PEULVAST; CLAUDINO SALES, *op. cit.*) e o Eoceno (MORAIS NETO; HEGARTY; KARNER, 2005), situado ao norte da Bacia do Araripe, foi sendo dissecado, em função de reativações tectônicas a partir do Eocampaniano, responsáveis pelo soerguimento aparentemente regional das bacias sedimentares interiores e do embasamento adjacente, por flexura marginal (HARMAN *et al.*, 1998; MORAIS NETO; HEGARTY; KARNER, 2005; PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2007).

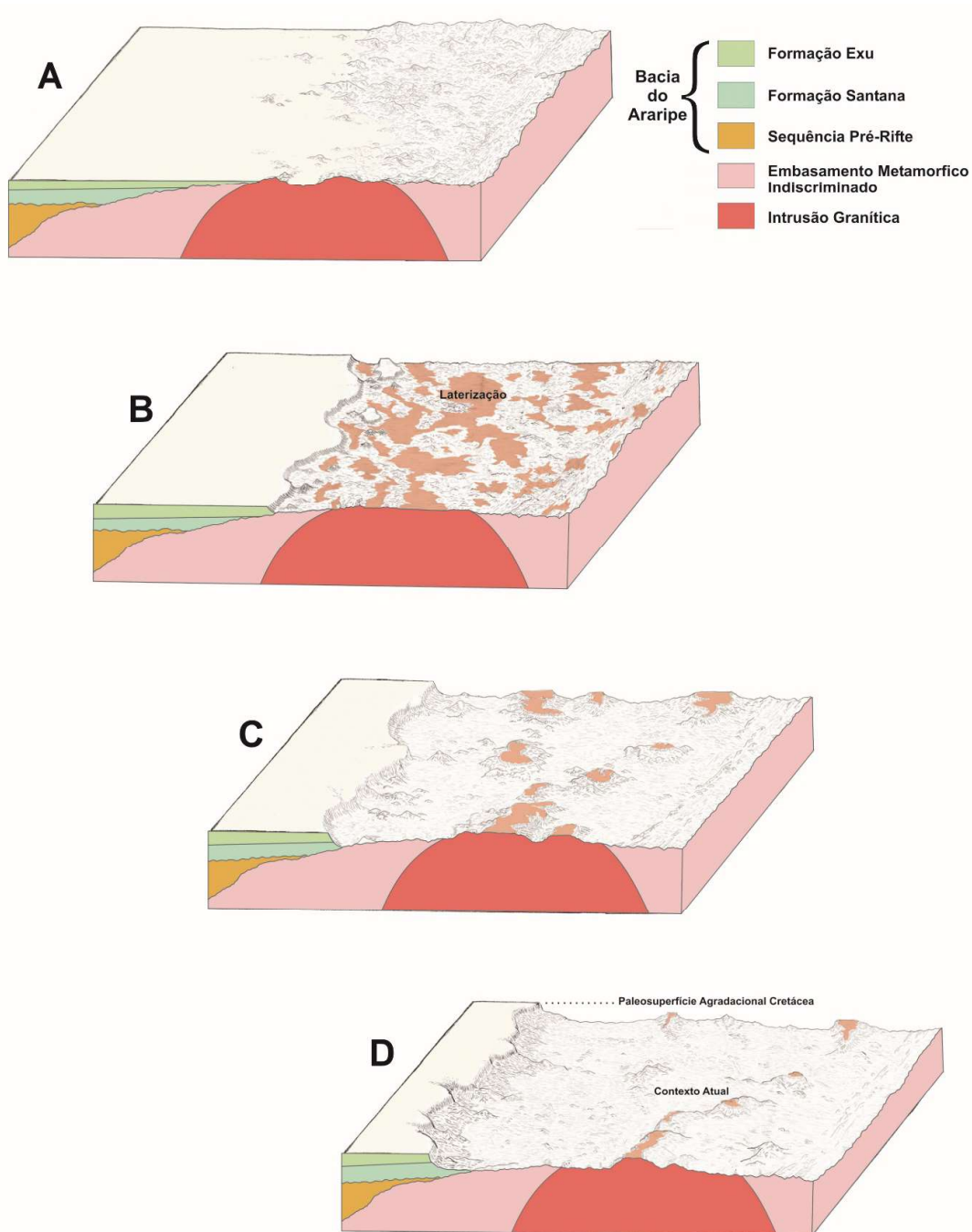


Figura 6 – Síntese do modelo de evolução do capeamento laterítico localizado no setor setentrional da Bacia do Araripe, Ceará, Brasil.

A partir desse soerguimento, a erosão diferencial e regressiva consecutiva deu-se por escoamento superficial livre e fluxos fluviais do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, além de movimentos de massa, formando uma superfície de piso relativamente acidentada, com topos com recobrimento laterítico (Figura 6-C), compondo feições semelhantes a mesas baixas, expostas, principalmente nos arredores das sedes municipais de Altaneira, Araripe, Assaré e Campos Sales. A presença de fragmentos de coberturas lateríticas (Figura 6-D) nesse setor do Estado do Ceará justifica em parte a baixa eficiência da atuação de processos erosivos na retirada total desse material quimicamente alterado e a alta resistência do substrato litológico subjacente, que as sustentam.

No Maciço do Quincuncá, o capeamento laterítico soma-se como fator de resistência litológica associada ao corpo intrusivo, constituindo, desta forma, dois elementos de resistência à erosão diferencial. Assim, a formação de couraças a partir de níveis concrecionários lateríticos contribuiu para manutenção das superfícies de topos aplainados, localizados a N-NW da bacia do Araripe.

Conclusões

As condições favoráveis para a formação de coberturas lateríticas no sul do Estado do Ceará teriam ocorrido durante o Eoceno, enquanto que em períodos secos, pós-Oligoceno, ocorreu o seu fracionamento, comandado por processos erosivos subsequentes, escoamento superficial livre e fluxos fluviais do alto curso da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe.

O Maciço do Quincuncá apresenta topos trucados e aplainados, conservados por coberturas lateríticas (*duricrust*), o que seria um indicativo de que toda região teria sido recoberta, em época geológica pretérita, por capeamento laterítico autóctone contínuo. Processos erosivos mecânicos em condições climáticas mais secas foram responsáveis pela fragmentação dessa cobertura e pela consequente exposição da *etch surface*. Esse dismantelamento da cobertura laterítica, provavelmente ocorreu por colapso do material litológico subjacente, menos resistente, provocando desagregação da camada superior.

O retrabalhamento do recobrimento laterítico do Maciço do Quincuncá, durante o Neógeno e Quaternário, comandado por níveis de base locais com maior gradiente

topográfico, deu origem ao seu fracionamento em várias unidades espaciais com características morfológicas e grau de dissecação semelhante, determinado pelo comportamento do substrato litológico frente ao intemperismo, à pedogênese e à morfodinâmica.

As interpretações aqui apresentadas possibilitaram compreender a influência do substrato geológico e do clima na manutenção e no dismantelamento das coberturas lateríticas. No entanto, o capeamento laterítico, na forma de duricrosta, soma-se ao fator resistência litológica, compondo um duplo fator de resistência aos processos mecânicos de erosão juntamente com o corpo granítico sobre o qual se localiza.

Referências Bibliográficas

- ALEVA, G. J. J. **Laterites: concepts, geology, morphology and chemistry**. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre-ISRIC, 1994. 169p.
- ALLABY, M. (ed.) **A dictionary of earth sciences**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2008. 654p.
- ASSINE, M. L. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n. 4, p. 223-232, 1994.
- _____. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- 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. DOI: 10.20502/rbg.v14i3.
- BARDOSSY, G. Carboniferous to Jurassic bauxite deposits as paleoclimatic and paleogeographic indicators. **Canadian Society of Petroleum Geologists**, Memoir v. 17, p. 283-293, 1994.
- BEAUVAIS, A; RUFFET, G; HÉNOQUE, O; COLIN, F. Chemical and physical erosion rhythms of the West African Cenozoic morphogenesis: the ³⁹Ar-⁴⁰Ar dating of supergene K-Mn oxides. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, 2009, 15p. DOI:10.1029/2008JF000996.
- BÉTARD F.; PEULVAST, J-P; CLAUDINO SALES, V. Laterite preservation and soil distribution in the Araripe-Campos Sales área, Northeastern Brazil: consequences of uplift, erosion and climatic change. **VI Conference International on Geomorphology**, Zaragoza, Abstracts Volume, p. 69, 2005.
- BÉTARD, F.; PEULVAST, J-P. (2011). Evolução morfoestrutural

e morfopedológica do Maciço de Baturité e de seu Piemont: do Cretáceo ao presente. In: BASTOS, F. de H. (org.) **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais**. Expressão Gráfica e Editor, Fortaleza: p. 35-59.

BÉTARD, F. **Montagnes humides au coeur du nord-est brésilien semi-aride: Le cas du massif de Baturité (Ceará)**. Thèse (Doctorat). Université de Paris IV, École Doctorale de Géographie de Paris, Sorbonne, 2007. 442p.

BÉTARD, F. Spatial variations of soil weathering processes in a tropical mountain environment: the Baturité massif and its piedmont (Ceará, NE Brasil). **Catena**, v. 93, p. 18-28, 2012. DOI : 10.1016/j.catena.2012.01.013.

BIONDI, J. C. (2015). Sistema mineralizador supergênico. In: BIONDI, J. C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. 2. ed. Oficina de Textos, São Paulo: p. 439-484.

BOURGEON, G.; GUNNEL, Y. Rôle du régime tectonique et du taux de dénudation sur la répartition géographique et les propriétés des sols tropicaux. C. R. Acad. Sci, Paris, **Sciences de la Terre et des Planètes**, 326, p.167-172, 1998.

BOURMAN, R. P. Towards distinguishing transported na in situ ferricrete: data from Southern Australia. **Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 16, n. 3, p. 231-241, 1996.

BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará**. Mapa na escala de 1:500.000. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil/Ministério das Minas e Energia, 2003.

BRITO NEVES, B. B. de; SANTOS, E. J. dos; VAN SCHMUS, W. R. (2000). Tectonic history of the Borborema Province, Northeastern Brazil. In: CORDANI, G. U.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. de A. (ed.) **Tectonic evolution of South America**. 31. International Geological Congress. Rio de Janeiro: p. 151-182.

BUTT, C. R. M.; LINTERN, M. J.; ANAND, R. R. Evolution of regoliths and landscapes in deeply weathered terrain: implications for geochemical exploration. **Ore Geology Reviews**, n. 16, p. 167-183, 2000. DOI: 10.1016/S0169-1368(99)00029-3.

CABRAL, I. de L. L.; PADRO, R. J. Aspectos geomorfológicos e caracterização química e estrutural de formações concrecionárias da depressão periférica (RS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 2, p. 39-51, 2008. DOI: 10.20502/rgb.v9i2.

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Levantamento de reconhecimento de média**

intensidade dos solos: mesorregião do sul cearense. Fortaleza: FUNCEME, 2012b. 98p.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146-160, 1991.

CUI, Z.; LI, D.; LIU, G.; FENG, J.; ZHANG, W. Characteristics and planation surface formation environment of the red weathering crust in Hunan, Guangxi, Yunnan, Guizhou and Tibet. **Science in China**, Series D, v. 44, p. 162-175, 2001. DOI: 10.1007/BF02911984.

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

GOMES, J. R. de C.; VASCONCELOS, A. M.; TORRES, P. F. M. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Folha SB.24-Y, Jaguaribe-SW**. Carta Geológica, Escala 1:500.000, Anexo I. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2000.

GONTIJO-PASCUTTI, A. H. F.; BORGES, M. da S.; JIMENEZ-RUEDA, J. R.; COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; MORALES, N. Perfis lateríticos bauxíticos e a fragmentação da superfície Sul-Americana: um exemplo na Serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **Geociências**, UNESP, v. 21, n. 1/2, p. 03-11, 2002.

HARMAN, R.; GALLAGHER, K.; BROWN, R.; RAZA, A. Accelerated denudation and tectonic/geomorphic reactivation of the cratons of northeastern Brazil during the late Cretaceous. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. B11, p. 91-105, 1998. DOI: 10.1029/98JB02524.

HARRIS, S. E.; MIX, A. C. Climate and tectonic influences on continental erosion of tropical South America, 0-13 Ma. **Geology**, v. 30, p. 447-450, 2002. DOI: 10.1130/0091-7613(2002)030<0447:CATIOC>2.0.CO;2.

HASUI, Y. (2012). Sistema Orogênico Borborema. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. Dal Ré; ALMEIDA, F. F. M. de; BARTORELLI, A. (org.) **Geologia do Brasil**. Beca, São Paulo: p. 254-288.

LIMA, M. da G. **A história do intemperismo na Província Borborema oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas**. Tese (Doutorado em Geodinâmica). Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. 594p.

MAIA, R. P.; BÉTARD, F.; BEZERRA, F. H. R. Geomorfologia dos Maciços de Portalegre e Martins-NE do Brasil: inversão do

- relevo em análise. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 273-285, 2016. DOI: 10.20502/rgb.v17i2.801.
- McFARLANE, M. J. **Laterite and landscape**. London and New York: Academic Press, 1976. 151p.
- MELFI, A. J.; PEDRO, G.; VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 47-54, 1979.
- MELFI, A. J.; TRESCASES, J-J.; CARVALHO, A.; OLIVEIRA, S. M. B. de; RIBEIRO FILHO, E.; FORMOSO, M. L. L. The lateritic ore deposits of Brazil. **Geological Science Bulletin**, v. 41, n. 1, p. 5-36, 1988.
- MORAIS NETO, J. M. de; HEGARTY, K.; KARNER, G. D. Abordagem preliminar sobre paleotemperatura e evolução do relevo da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, a partir da análise de traços de fissão em apatita. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 14, n. 1, p. 113-119, 2005.
- NAHON, D. B. **Introduction to the petrology of soils and chemical weathering**. New York: John Wiley and Sons Ltd, 1991. 336p.
- NAHON, D. B.; TARDY, Y. (1992). The ferruginous laterites. In: GOVETT, G. J. S (ed.). **Handbook of exploration geochemistry**. Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains. v. 4. Edited by C.R.M. Butt and H. Zeegers, p. 41-79.
- NUNES, E.; ESPINDOLA, C. R. Morfologia, granulometria e química dos solos de superfícies terciárias do Rio Grande do Norte. **Geociências**, v. 12, n. 2, p. 493-502, 1993.
- OLIVEIRA, F. S. de; VARAJÃO, A. F. D. C.; VARAJÃO, C. A. C.; BOULANGÉ, B.; COSTA, J. L. G.; VESSANI, L. A. Alteração supergênica e morfogênese tropical no complexo máfico-ultramáfico acamado de Barro Alto, Go. **Geociências**, UNESP, v. 28, n. 3, p. 255-272, 2009.
- PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. 186p.
- PEULVAST, J-P; BÉTARD, F. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: the Araripe basin as a Keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, v. 233, p. 20-40, 2015. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.10.009.
- PEULVAST, J-P; CLAUDINO SALES, V. Mapa morfoestrutural do Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande do Norte e da Paraíba. In: Brasil. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará**. Mapa na escala 1:500.000. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil, 2003.
- PEULVAST, J-P; CLAUDINO SALES, V. Stepped surfaces and paleolandforms in the northern Brazilian “Nordeste”: constraints on models of morphotectonic evolution. **Geomorphology**, v. 62, n. 1-2, p. 89-122, 2004. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.02.006.
- PEULVAST, J-P; CLAUDINO SALES, V. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos da Geografia**, v. 7, n. 20, p. 1-21, 2007.
- PEULVAST, J-P; CLAUDINO SALES, V.; BÉTARD, F.; GUNNELL, Y. Low post-Cenomanian denudation depths across the Brazilian Northeast: implications for long-term landscape evolution at a transform continental margin. **Global and Planetary Change**, n. 62, p. 39-60, 2008. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2007.11.005.
- PEULVAST, J-P; VANNEY, J-R. **Géomorphologie structural: terre, corps plane taires solides. Tome 2: Relief et géodynamiques**. Paris, Gordon and Breach Science Publishers, et Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 2002. 524p.
- PIERINI, C.; MIZUSAKI, A. M. P. Significados paleoambientais e paleoclimáticos dos paleossolos: uma revisão. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 34, n. 01, p. 45-61, 2007.
- PORTO, C. G. (2010). Intemperismo em regiões tropicais. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 9. ed. Bertrand Brasil, 2010, Rio de Janeiro: p. 25-57.
- PRADO, R. J.; CABRAL, I. de L. L.; SILVA, A. P. M.; SOLORZANO, P. E. M.; ALBUQUERQUE, A. P. A. de. Caracterização de material lateríticos do planalto e chapada dos Guimarães-MT por EDX, XRD e espectroscopia Mössbauer. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 4, p. 619-637, 2014. DOI: 10.20502/rgb.v15i4.
- ROBB, L. J. (2005). Surficial and supergene ore-forming processes. In: ROBB, L. J. **Introduction to ore-forming processes**. Blackwell Publishing, Oxford: p. 219-245.
- ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H. R.; GÓES, A. M.; VALERIANO, M. M.; ANDRADES-FILHO, C. O.; MITTANI, J. C. R.; TATUMI, S. H.; BRITO NEVES, B. B. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 300, p. 191-204, 2011. DOI: 10.1016/J.palaeo.2010.12.026.
- SCHELLMANN, W. Considerations on the definition and classification of laterites. In: International Seminar on

- Lateritization Processes, 1, 1979. Trivandrum. **Proceedings...**, Trivandrum: Oxford and IBH, 1980, p. 1-10.
- SCHWARZ, T. Lateritic bauxite in central Germany and implications for Miocene paleoclimate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 129, n. 1-2, p. 37-50, 1997. DOI: S0031-0182 (96) 00065-X.
- TANNER, L. H.; KHALIFA, M. A. Origin of ferricretes in fluvial-marine deposits of the Lower Cenomanian Bahariya Formation, Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. **Journal of African Earth Sciences**, v. 56, p. 179-189, 2010. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2009.07.004.
- TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Paris: Elsevier Masson, 1993. 459p.
- TARDY, Y.; MELFI, A. J.; VALETON, I. Climats et paléoclimats tropicaux périalantiques. Rôle des facteurs climatiques et thermodynamiques: température et activité de l'eau, sur la répartition et la composition minéralogiques des bauxites et des cuirasses ferrugineuses, au Brésil et en Afrique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Série 2, v. 306, n. 4, p. 289-295, 1988.
- TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; ROQUIN, C.; PAQUET, H. Influence of periatlantic climates and paleoclimates on the distribution and mineralogical composition of bauxites and ferricretes. In: II International Symposium, Geochemistry of the Earth's Surface and of Mineral Formation, 1990, France. **Proceedings...**, France: Aix en Provence, 1990. p. 179-182.
- TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; PAQUET, H. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 12, n. 1/2, p. 283-295, 1991. DOI: 10.1016/0899-5362(91)90077-C.
- TARDY, Y.; ROQUIN, C. **Dérive des continents. Paléoclimats et altérations tropicales**. Orléans: Editions du BRGM, 1998. 473p.
- TAYLOR, R. G.; HOWARD, K. W. F. Post-Palaeozoic evolution of weathered landsurfaces in Uganda by tectonically controlled deep weathering and stripping. **Geomorphology**, v.25, p. 173-192, 1998. DOI: 10.1016/S0169-555X(98)00040-3.
- VARAJÃO, C. A. C.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI JÚNIOR, H. Á. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (^{10}Be) e da pedogênese. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 33, p. 1409-1425, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000500032.
- VASCONCELOS, P. M.; BRIMHALL, G. H.; BECKER, T. A.; RENNE, P. R. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analysis of supergene jarosite and alunite: implications to the paleoweathering history of the western USA and West Africa. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 58, n. 1, p. 401-420, 1994. DOI: 10.1016/0016-7037(94)90473-1.
- VASCONCELOS, A. M.; PRADO, F. da S.; GOMES, F. E. M. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Folha Iguatu, SB.24-Y-B**. Carta Geológica, Escala 1:250.000, Anexo II. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 1997.
- WIDDOWSON, M.; GUNNELL Y. (1999). Lateritization, geomorphology and geodynamics of a passive continental margin: the Konkan and Kanara coastal lowlands of western peninsular India. In: THIRY, M.; SIMON-COINÇON, R. (Eds.). **Palaeoweathering, palaeosurfaces and related continental deposits**. International Association of Sedimentologists, Special Publication, n. 27, Blackwell Science, Oxford: p. 245-274.