

CARACTERIZAÇÃO MORFOPEDOLÓGICA DE UMA SERRA ÚMIDA NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO: *o caso do maciço de Baturité-CE*

Dr. François Bétard
Université Paris-Sorbonne
francois.betard@paris-sorbonne.fr

Prof. Dr. Jean-Pierre Peulvast
Université Paris-Sorbonne
jean-pierre.peulvast@wanadoo.fr

Prof^{ta} Dr^a. Vanda Claudino Sales
Universidade Federal do Ceará
vcs@ufc.br

RÉSUMÉ

Les montagnes humides du Nordeste brésilien, dénommées localement *Brejos* d'altitude, forment des îlots d'humidité et de forêt sempervirente (*mata úmida*) qui contrastent avec les conditions écologiques des basses plaines environnantes marquées par la sécheresse (*Sertião*). Malgré l'importance de ces montagnes humides, tant sur le plan écologique que culturel ou socio-économique, la riche diversité de ces milieux demeure peu connue, tant le Nordeste est souvent réduit à sa portion semi-aride ('polygone des sécheresses'), la plus vaste mais aussi la plus monotone. Cette étude montre l'intérêt et l'apport d'une approche morphopédologique pour la connaissance et la gestion de ces milieux. Appliquée ici au massif de Baturité (Ceará), les principaux résultats de l'étude sont présentés sous forme d'un inventaire original des paysages morphopédologiques pour le massif de Baturité et son piémont. Ces résultats sont replacés dans le cadre d'une discussion plus générale pointant les relations entre le climat (et notamment le pédoclimat) d'une part, le développement des modelés, des altérations et des sols d'autre part, à travers une série de comparaisons géographiques avec d'autres régions tropicales de socle situées hors du Brésil (Afrique de l'Ouest, Inde du Sud).

Mots-clé : montagnes humides, zone semi-aride, modelé, altération, sols, pédoclimat.

RESUMO

As serras úmidas do Nordeste brasileiro, localmente denominadas de 'brejos de altitude', formam ilhas de umidade e de florestas perenes (*mata úmida*) que contrastam com as condições ecológicas das baixas superfícies aplainadas adjacentes, caracterizadas pela ocorrência de secas prolongadas (*sertião*). Apesar da importância das serras úmidas, tanto do ponto de vista ecológico quanto cultural e sócio-econômico, a rica diversidade de seus ambientes continua pouco conhecida, sobretudo porque o Nordeste é frequentemente reduzido à sua porção semi-árida ('polígono das secas'), a mais extensa mas também a menos movimentada. O presente estudo mostra a importância de uma abordagem morfopedológica, na perspectiva do conhecimento e gestão desse meio ambiente. Aplicada ao maciço de Baturité (Ceará), os resultados são alocados em uma discussão mais geral sobre as relações entre o clima (ou pedoclima) e o desenvolvimento do modelado, do manto de intemperismo e dos solos, através de comparações geográficas com outras áreas tropicais de embasamento cristalino do mundo (oeste da África, sul da Índia).

Palavras chave: serras úmidas, semi-árido, modelado, intemperismo, solos, pedoclima.

Introdução

Por vezes denominados 'brejos de altitude' (Souza, 1981 ; Porto *et al.*, 2004), as *serras úmidas* do Nordeste brasileiro constituem áreas de exceção climática no contexto da semi-aridez que caracteriza essa porção do Brasil (Souza & Oliveira, 2006). Trata-se na verdade de montanhas isoladas de altitudes médias ou baixas (600-1200 m), tendo como superfície de piso (piemont) superfícies aplainadas, conservadas entre interflúvios e vertentes bastante inclinadas. Constituindo barreiras aos aliseos carregados de umidade que vêm do Atlântico (Figura 1), esses obstáculos montanhosos favorecem a ocorrência de

precipitações orográficas que são responsáveis por uma pluviosidade elevada (1200-2000 mm/ano), formando verdadeiras ilhas de umidade caracterizadas pela presença de floresta perene (mata úmida), em meio a um ambiente dominado pela presença de *caatinga*.

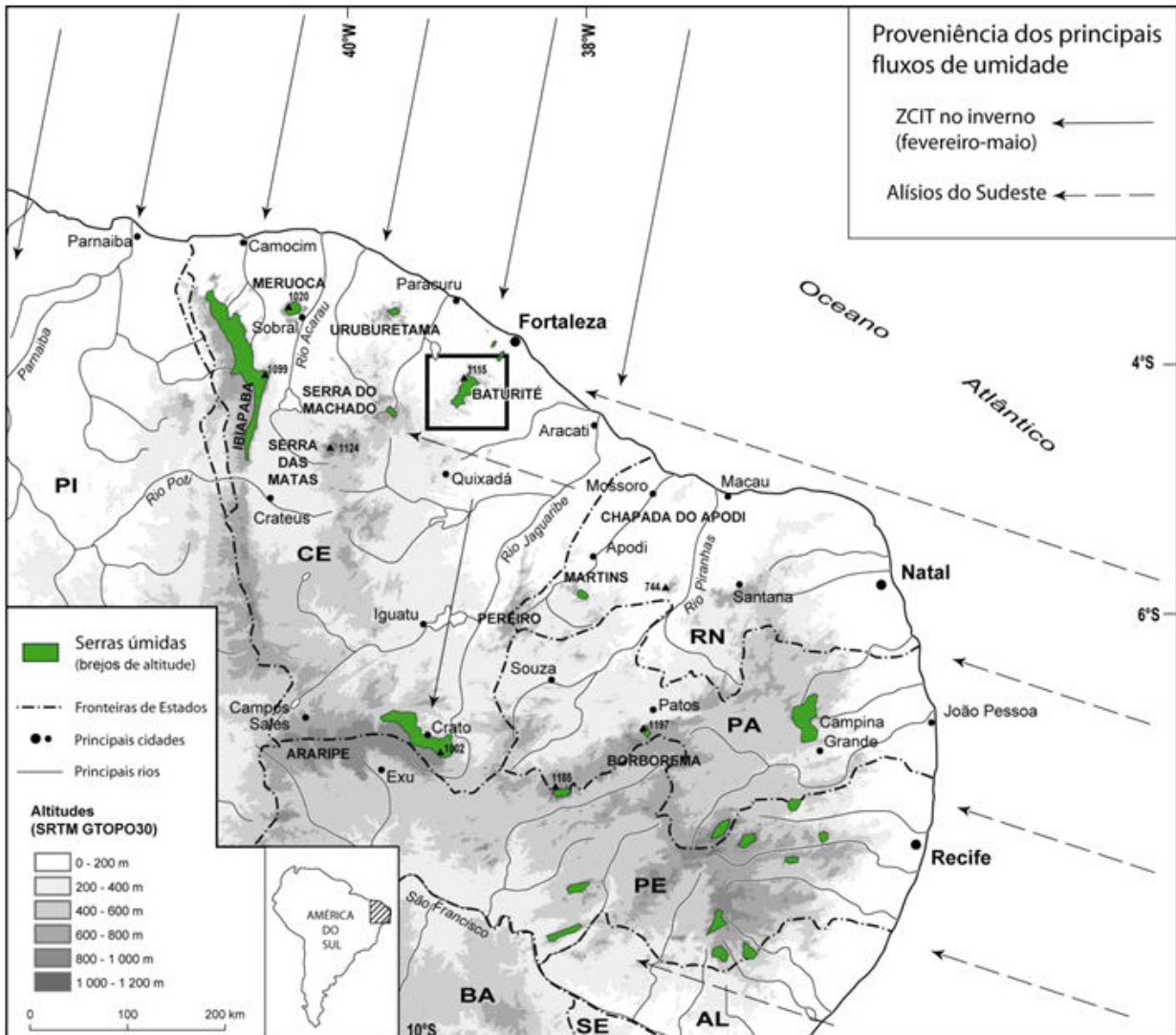


Figura 1 – Repartição das serras úmidas (ou brejos de altitude) do Nordeste brasileiro, e localização do sítio de estudo (maciço de Baturité, ao norte do Estado do Ceará); relações com os principais fluxos atmosféricos de umidade (ZCIT : Zona de Convergência Intertropical).

As serras úmidas não representam mais do que 5% da superfície total do *sertão*, mas ainda assim elas constituem um aspecto importante das paisagens do Nordeste brasileiro (foram identificadas mais de vinte : Figura 1), além de serem importante elemento da economia regional. Essa importância não vem sendo ainda explorada, se levarmos em conta a pequena quantidade de estudos a elas dedicados. Com efeito, a extraordinária biodiversidade dessas ilhas de floresta ombrófila começa agora a despertar a atenção de pesquisadores, do que resulta uma diversidade de estudos biológicos relacionados à sua flora e fauna selvagem, que são frequentemente endêmicas dessas áreas montanhosas (Cavalcante, 2005). Se o meio biótico começa progressivamente a ser desvendado, os componentes abióticos da paisagem continuam um domínio pouco explorado. O objetivo desse artigo é o de apresentar dados em relação a

esse aspecto abiótico da paisagem.

Nessa perspectiva, o presente trabalho se baseia em um novo método de investigação científica para o estudo de áreas montanhosas, apoiado em uma análise morfopedológica da paisagem – isto é, em um caminho de análise do meio natural que segue elementos tanto geomorfológicos quanto pedológicos (Kilian, 1972). Procedendo dessa forma, foi possível efetuar observações detalhadas e combinadas acerca do modelado, do manto de intemperismo e dos solos, os quais são influenciados pelos mesmos fatores (clima, regime hídrico, vegetação, litologia, tectônica, erosão) – pois os processos morfogenéticos e pedogenéticos em um meio natural interagem contantemente. Aqui aplicado ao maciço de Baturité (Figuras 1 e 2), que constitui uma das *serras úmidas* do Estado do Ceará, o método escolhido permitiu ao final propor uma compartimentação do espaço estudado em diversas facetas morfopedológicas, que são apresentadas sob a forma de inventário, contendo, para cada uma das unidades de paisagens individualizadas, o tipo de modelado, de intemperismo e de solo. A compartimentação proposta, que leva em conta as diferentes zonas bioclimáticas, permite discutir *in fine* as relações existentes entre clima (pedoclima), modelado, intemperismos e tipos de solos encontrados.



Figura 2 – Vista panorâmica da serra úmida de Baturité (Ceará), a partir do piemont (superfície de piso) oriental. Com altitudes de 500 a 600 metros, o escarpamento dessa borda oriental, coberta por floresta semi-caducifólia e que recebe de frente os alísios de leste, contrasta com a caatinga que recobre a superfície de piso adjacente, caracterizada pela ocorrência de secas (primeiro plano). Foto F. Bétard.

Apresentação Geral da Área de Estudo

Geologia e geomorfologia

O maciço de Baturité pertence a uma região de embasamento pré-cambriano (« a Província Borborema » : Brito Neves *et al.*, 2000) e ao mesmo tempo, à margem equatorial brasileira cretácea - uma margem passiva transformante formada depois da abertura do Atlântico Equatorial no Aptiano-Albiano (Matos, 2000). A zona estudada pertence igualmente ao ombro noroeste do rift Potiguar, de idade cretácea, que representa a terminação setentrional da grande zona de rift abortada Cariri-Potiguar (Matos, 1992 ; Peulvast & Claudino Sales, 2003). Na região de Baturité, as rochas supra-crustais do Complexo Ceará (reagrupando as unidades Canindé e Independência : CPRM, 2003) são dominadas por gnaiss com fácies de amfibolito de idade paleoproterozóica, mais ou menos remobilizados e migmatizados, e intercalados com diferentes afloramentos menores de quartzitos, micaxistos, mármore e intrusões leucograníticas. Todas essas estruturas foram afetadas por um importante tectonismo de acavalgamento do tipo himalaiano durante a orogênese Brasileira (Proterozóico Superior/Cambriano), o último dos grandes

epsódios de aglutinação continental que caracterizam a estruturação continental do embasamento nordestino (Monié *et al.*, 1997 ; Almeida, 2000). Na parte oriental da área de estudo, o embasamento é parcialmente recoberto pelos sedimentos detríticos cenozóicos, pouco espessos, que caracterizam a Formação Barreiras, a qual se estende sobre o conjunto da zona costeira do Estado do Ceará. .

Uma visão geral da hipsometria da área de estudo é fornecida pela figura 3. Tendo uma superfície total da ordem de 800 km², o maço de Baturité representa um relevo montanhoso de altitude moderada (800-900 metros em média na parte central e de topo do maço), que se sobressai por vertentes abruptas e sinuosas em relação às vastas superfícies aplainadas que caracterizam o *sertão*, situadas entre 100 e 200 m. O reconhecimento geomorfológico efetuado durante os trabalhos de campo e os resultados de uma cartografia morfoestrutural detalhada (Bétard *et al.*, 2005b) demonstraram o papel decisivo da erosão diferencial na configuração atual do maço, excluindo as contribuições importantes da neotectônica (Peulvast *et al.*, 2006).

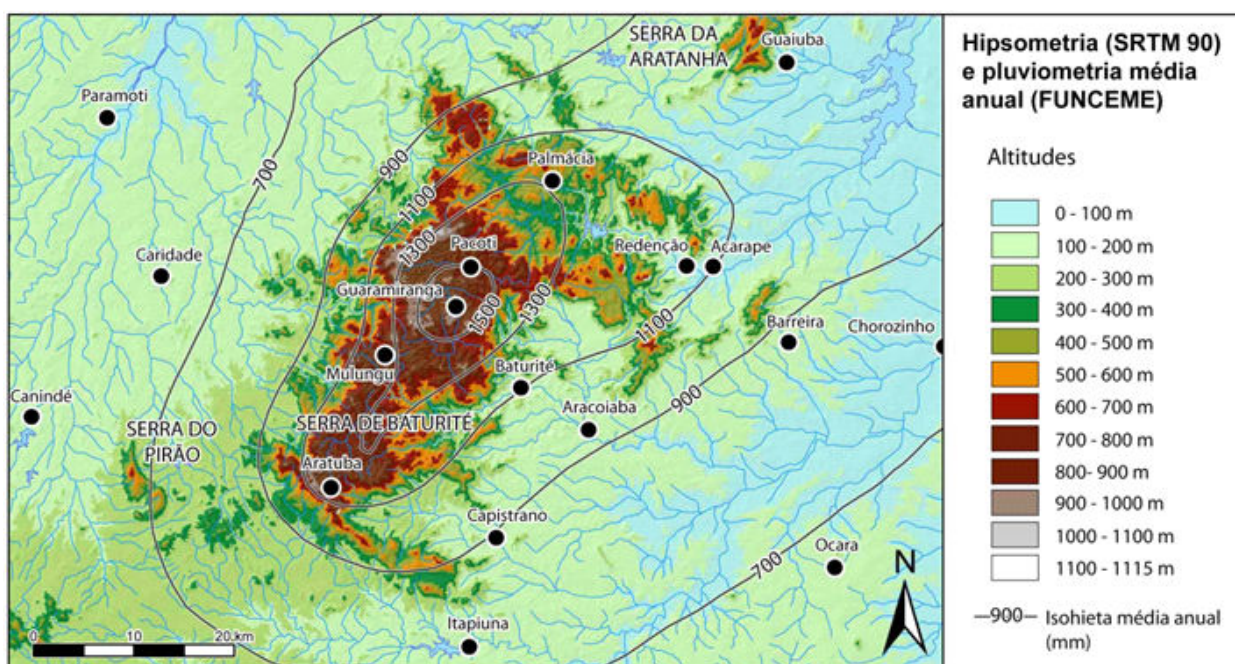


Figure 3 – Hipsometria e pluviometria do maço de Baturité.

Uma boa parte do maço de Baturité foi modelada no mesmo tipo de gnaiss (Unidade Canindé) que compõe as baixas superfícies de aplainamento adjacentes, porém a maior parte dos escarpamentos e cristas elevadas são sublinhadas por zonas dobradas de quartzitos resistentes da unidade Pendência, que multiplicam os limites rochosos (*knickpoints*) através dos quais o maço ficou preservado da ação da erosão regressiva acentuada. A maior parte das intrusões graníticas controla também, com maior ou menor precisão, o contorno dos inselbergs, ainda que certos relevos e escarpamentos não correspondam sempre a contatos litológicos claramente definidos, em particular ao norte do maço.

Os contornos do maço de Baturité podem então ser comparados a um imenso relevo residual resistente, ou *inselgebirg*, preservado acima de uma baixa superfície de aplainamento composta – a superfície *Sertaneja*. Essa superfície corresponde a um grande entalhamento cíclico de erosão no qual numerosos divertículos foram esculpido no flanco dos ombros dos rifts, horts e outros blocos basculados, colocados em afloramento durante o rifting continental e a abertura oceânica cretácea. Essa herança direta do rifting cretáceo deixou na paisagem regional esse tipo de relevo residual imponente (1115 m au Pico Alto), verdadeiro obstáculo natural em relação ao aliseos carregados de umidade que vêm do Atlântico.

Clima e vegetação

Do ponto de vista bioclimático, o maciço de Baturité coloca-se como um verdadeiro enclave úmido no coração do sertão brasileiro semi-árido. Como as outras serras úmidas do Nordeste brasileiro, o maciço de Baturité abriga um mesoclima de altitude, ao mesmo tempo frio e úmido. A ausência de dados fiáveis e precisos em relação à pluviometria exigiram o estabelecimento de um mapa, inédito, de isoeitas superpostas a carta hipsométrica (Figure 3), realizado a partir de uma série de dados pluviométricos mensais de trinta e um anos consecutivos (período 1974-2004, FUNCEME). A distribuição das precipitações durante um ano médio revelou a presença de um regime pluviométrico monomodal, isto é, com um único pico de estação chuvosa, nos meses de março e abril. O tratamento estatístico desses dados mensais permitiu determinar as médias anuais, as medianas, e o desvio padrão (1 e 3 quartos) para o período 1974-2004 e para as 18 estações principais situadas na área de estudo (Bétard, 2007 ; sintetizado a partir da figura 5). A adoção de tais medidas permitiu uma melhor apreciação da variabilidade interanual das precipitações para cada estação. É sem dúvida a repartição espacial da vegetação que traduz de forma espetacular os efeitos da pluviosidade e da dissimetria bioclimática do maciço de Baturité em relação à vertente oriental a barlavento, recoberta por mata úmida e que recebe frontalmente os alísios de leste, e sua vertente ocidental a sotavento, onde a caatinga coloniza o setor até a altitude de 800 metros em média (Figura 4). Faz-se necessário também sublinhar a originalidade do continuum florestal que existe entre a floresta perenifolia, que cria uma ilha de mata úmida no topo do maciço, e a caatinga xerófita da zona semi-árida da superfície de piso adjacente, passando por uma faixa de transição de floresta semi-caducifolia (*mata seca*).

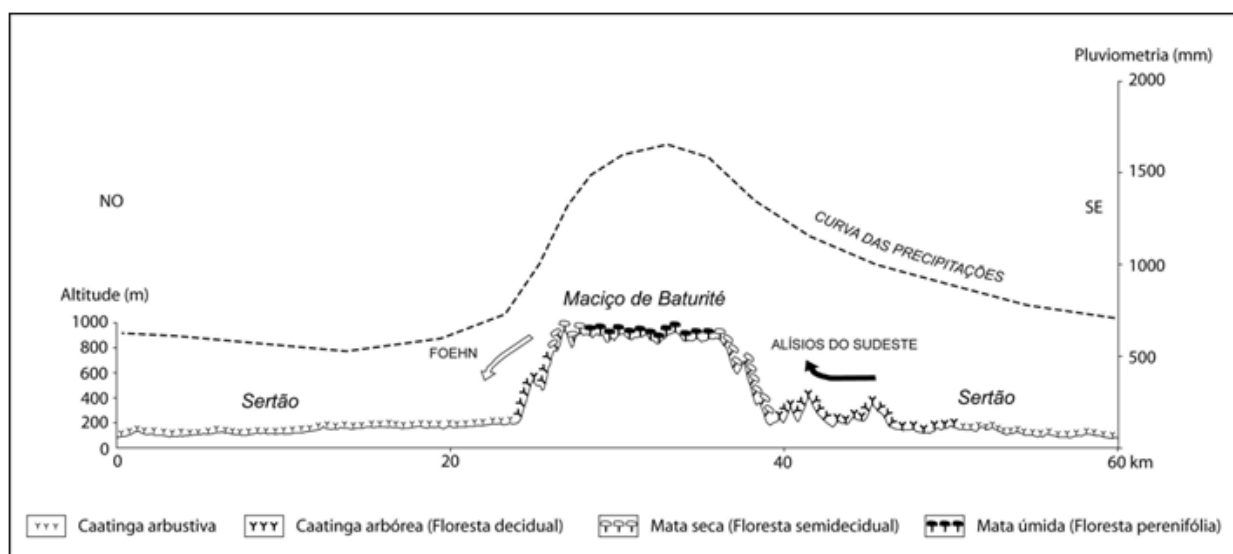


Figura 4 – Escalonamento e dissimetria bioclimática do maciço de Baturité ao longo de um transecto esquemático NO-SE, mostrando o contraste entre a vertente oriental a barlavento coberta por floresta úmida, e a vertente ocidental a sotavento, onde a caatinga se faz presente até a altitude de 800 metros.

Cálculos de balanço hídrico baseados em evapotranspiração potencial (ETP, Thornthwaite) foram realizados para o conjunto da área de estudo (Bétard, 2007). Esses balanços serviram de base ao cálculo da « drenagem climática », que representa a quantidade de água que atravessa o perfil de solo além de 1 metro de profundidade. Bourgeon e Pédro (1992) mostraram a influência desse parâmetro na diferenciação de intemperismo e pedogênese nos solos de regiões quentes. O cálculo que eles fizeram apresenta um interesse particular para a região em tela. A drenagem climática anual (D_c) foi considerada como igual à soma das diferenças mensais $P - ETP$, quando elas são positivas, diminuídas de um valor de 100 mm, para levar em conta a reserva de água da parte superior dos perfis. Esses cálculos foram realizados para as 18 estações da área de estudo, ano por ano, a partir dos dados pluviométricos mensais do período

1974-2004, e dos valores mensais de ETP. A partir da série de valores anuais da drenagem climática (ou drenagem real) obtidos dessa forma, foram realizados cálculos frequenciais, o que permitiu a obtenção de um valor central de drenagem climática (mediana), assim como um apreensão de sua variabilidade (1 e 3 quartos : Figura 5).

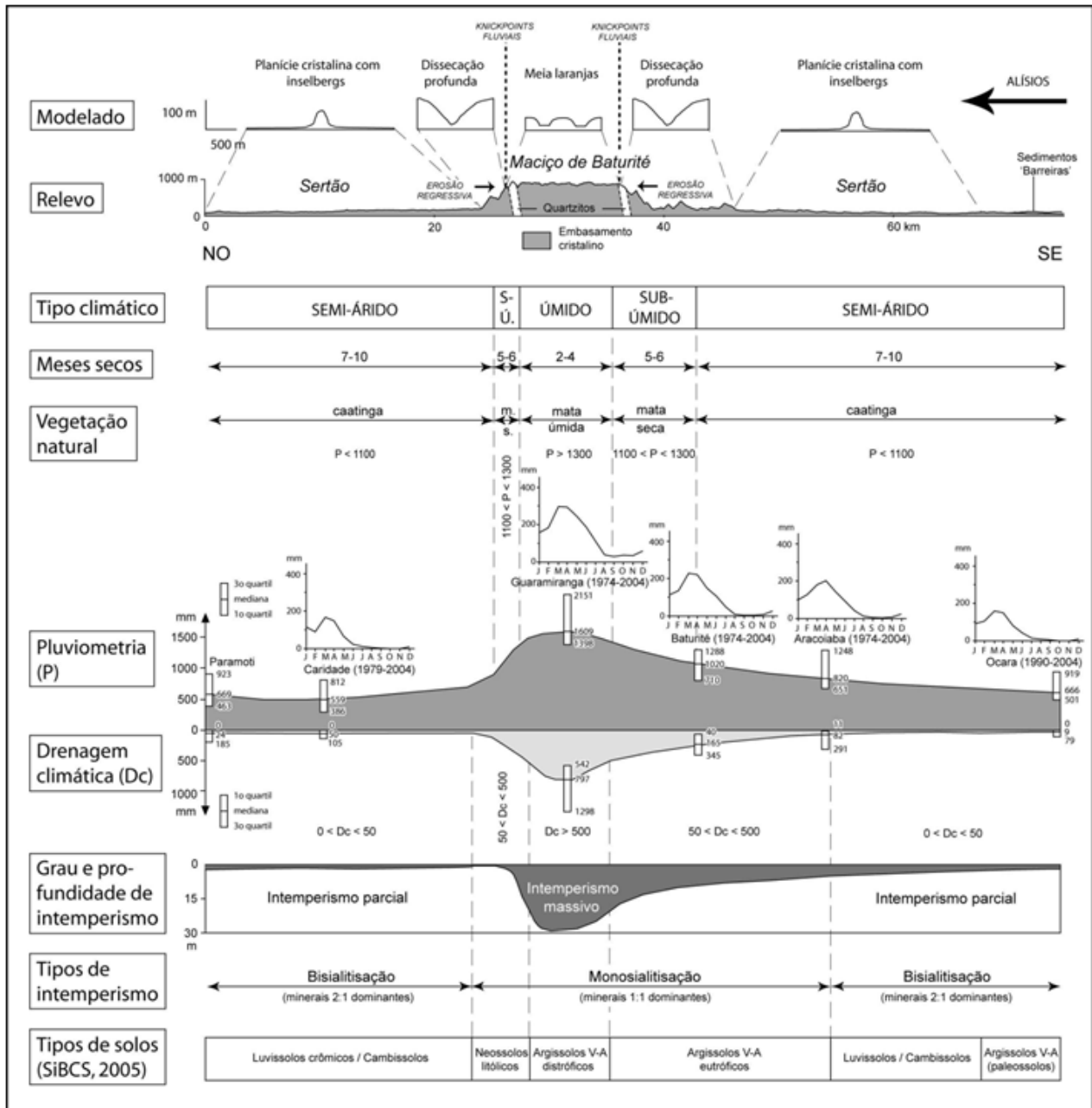


Figura 5 – Transecto morfopedobioclimático sintético, de orientação NO-SE, através do maciço de Baturité e sua superfície de piso, representada pela depressão sertaneja.

Metodologia

Reconhecimento morfopedológico do terreno

A pesquisa preparatória, ou reconhecimento de terreno, foi feita simultaneamente em termos de

campo e análise de documentos (mapas e documentos pedológicos), com o objetivo de elaborar um inventário provisório sobre os diferentes tipos de paisagem morfopedológicas. Para colocar em evidência as diferentes unidades de paisagem, o trabalho preliminar foi necessariamente apoiado em uma descrição sistemática de três componentes da paisagem morfopedológica:

(i) Descrição do modelado, que não poderia ter sido efetuada sem o apoio das cartas topográficas do IBGE, escala 1:100.000, que representam as cartas mais precisas disponíveis para essa parte do Brasil. Principalmente qualitativo, esse reconhecimento do modelado necessitou também de observações quantitativas, tais como definição de altitude, orientação, desnivelamento e inclinação de vertentes, que representam as medidas morfométricas de base para caracterizar o modelado. Essas medidas foram facilmente realizadas através do uso de um GPS (*Global Positioning System*);

(ii) Descrição de perfis de intemperismo, os quais necessitaram do estabelecimento de uma rede mais ou menos densa e regular de observações, que foram efetuadas principalmente ao longo de afloramentos presentes em rodovias e áreas de mineração. Nenhum trabalho anterior fez referência detalhada às características do manto de intemperismo na área de estudo. Assim, foi necessário a realização de uma descrição sistemática de mantos de intemperismo no campo, com o apoio de estimativas de espessura, assim como de apreciação qualitativa do grau de evolução do intemperismo (Pédro, 1993). ;

(iii) Descrição morfológica dos solos, que representa a terceira etapa indispensável do trabalho, na perspectiva da realização de um inventário detalhado das paisagens morfopedológicas. Vários elementos descritivos dos solos já existiam para a zona de estudo (Projeto Radambrasil, 1981 ; Lima, 1983 ; Frutuoso do Vale, 1991). A confrontação das descrições realizadas no campo em relação às fornecidas por esses documentos prévios permitiu confirmar ou precisar a repartição dos tipos de solos, ou por vezes, na impossibilidade, de mostrar a existência e a extensão de um novo tipo de solo nunca definido antes. Foi necessário portanto uma descrição de perfis pedológicos, horizonte por horizonte, indicando a cada vez a espessura, a cor (código Munsell), a textura (analisada através do contato), a estrutura, a porosidade, o aprofundamento, a presença ou a ausência de CaCO_3 (efervescente ou não ao ataque dos ácidos aplicados).

Caracterização analítica dos solos e dos materiais intemperizados

A prospeção em campo permitiu selecionar vários perfis representativos, dos quais foram realizadas coleta de amostras ao nível dos diferentes horizontes de solo e de manto de intemperismo. Essa amostragem foi efetivada com o objetivo de alcançar uma caracterização analítica precisa dos solos e dos mantos de intemperismo em laboratório, o que necessitou do recurso à técnicas comuns da pedologia (conteúdos de pH, H_2O , KCl, granulometria, determinação dos cátions trocáveis e capacidade de troca catiônica – CTC -, avaliação de carbontato e de azoto, análise química total, extrações seletivas de ferro), assim como análises mineralógicas por difração de raios X (DRX). Ao mesmo tempo, ao lado dessas análises sistemáticas, vários métodos de análise complementares foram empregadas caso a caso (sedimentologia dos depósitos, petrografia e micromorfologia dos horizontes de intemperismo em lâminas, análise geoquímica e cristalquímica em microscopia eletrônica de varredura e espectrometria de emissão de raios X). O conjunto dos métodos e técnicas utilizadas para caracterizar os solos e a zona de estudo foram apresentados em detalhes por Bétard (2007). Os principais tipos de solos da área de estudo foram na sequência classificados segundo o « Sistema Brasileiro de Classificação dos solos' (SiBCS, 2005).

Tratamento e espacialização dos dados na forma de SIG

A construção de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) para esse estudo mostrou-se um importante instrumento de análise espacial das paisagens morfopedológicas, tendo por objetivo gerar e tratar dados de informação geográfica, em seguida cartografá-los (Bétard, 2007). Várias bases cartográficas e imagens disponíveis foram utilizadas para a construção desse SIG: dados topográficos digitais (modelo digital de campo SRTM 90 e cartas topográficas do IBGE escala 1 :100.000), dados geológicos do Atlas Digital do Ceará (CPRM, 2003), carta de solos digital do volume relativo ao Projeto Radambrasil

(1981), bem como imagens de satélite do tipo Landsat ETM+, de 7/10/1999. A confrontação e a superposição desses dados foram facilitadas através da realização de georeferenciamento para o sistema de projeções UTM WGS 84 (*Universal Transverse Mercator – World Geodesic System of 1984*), utilizando o software *ArcGIS 8.3*.

Resultados: um Inventário Original das Paisagens Morfopedológicas

Os principais resultados obtidos a partir do método acima exposto foram sintetizados na figura 5, e são apresentados na sequência na forma de um inventário, de acordo com uma compartimentação do espaço que definiu quatro grandes unidades morfopedológicas na paisagem (Figura 6):

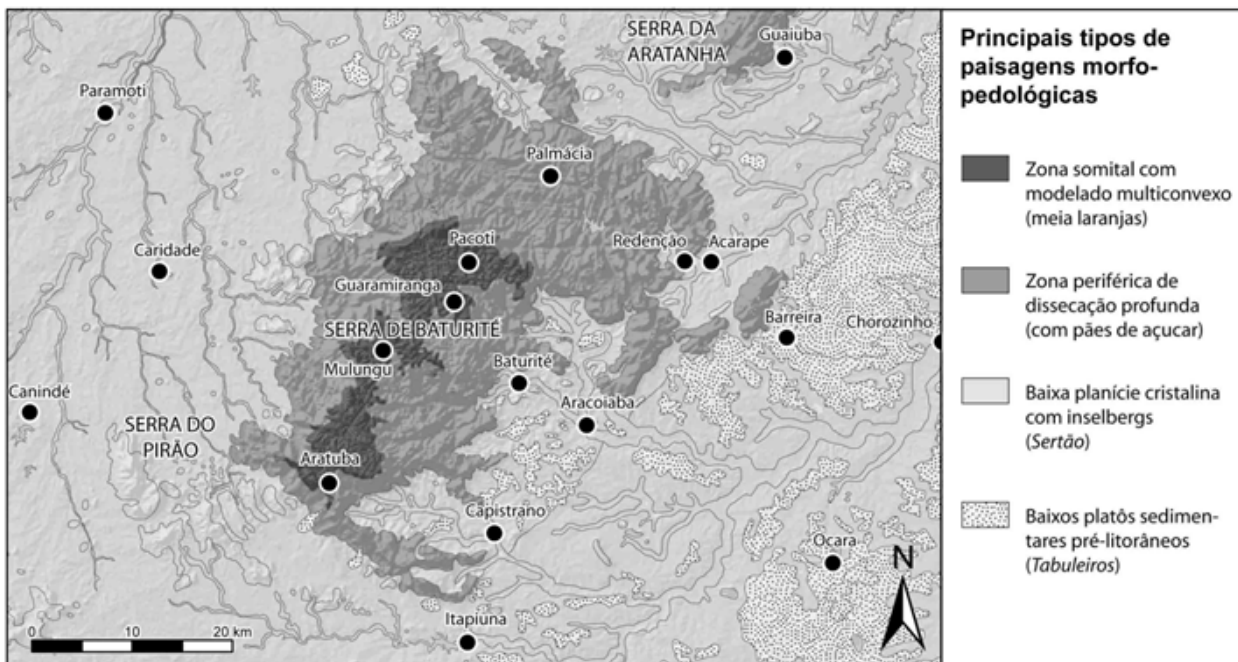


Figura 6 – Repartição espacial dos principais tipos de paisagens morfopedológicas na zona de estudo.

A zona de cimeira com modelado multiconvexo

Topograficamente, essa zona corresponde à parte culminante do maço de Baturité, onde foram identificados vestígios de uma superfície de erosão em torno de 800-900 m de altitude, coroada de relevos residuais de quartzito, tal qual o Pico Alto (1115 m), que representa o relevo mais elevado do maço. Caracterizado por uma pluviometria elevada ($P > 1300$ mm/ano), uma curta estação seca ($d > 4$ meses) e uma drenagem climática sempre positiva ($D_c > 500$ mm/ano), essa zona de clima úmido apresenta uma paisagem típica de modelado multiconvexo na forma de meias-laranjas com fundo de vales desenvolvidos em manto de intemperismo avermelhado, espesso, formado a partir de gnaiss e micaxistos (Figura 7). A área é de domínio de floresta perene-folia (*mata úmida*).

Modelado – No sopé dos topos culminantes de quartzito, uma rede densa de vales com fundo plano, profundo de em média cinquenta metros, materializa essa alternância notável entre meias-laranjas com cobertura florestal densa e fundos de vale planos, cultivados ou desmatados (Figure 8-A). A densidade e a geometria do sistema hidrográfico, guiado por uma rede densa de fraturas multidirecional, permitiu a individualização de numerosos interflúvios convexos de dimensão hectométrica à quilométrica que derivam da superfície de erosão de cimeira, caracterizada por relevos residuais sustentatos por quartzito. Os fundos de vale, calibrados para evacuar água durante a estação chuvosa, por vezes drenados por cursos

d'água perenes nos vales principais (Rio Pacoti), apresentam um perfil longitudinal com fraca declividade (<2%), característica que resulta do fato de eles se mostrarem ainda preservados da erosão regressiva em função das múltiplas faces de quartzito resistente que caracterizam o traçado a montante. Expondo geralmente um perfil transversal horizontal no centro e ligeiramente concavo no sopé das vertentes, esses fundos de vale são frequentemente recobertos por formações colúvio-aluvial, argilo-arenosas, pouco espessas (<2 metros), o que permitiu o desenvolvimento de uma importante atividade de cultivo de hortifrutigranjeiros nessa zona úmida.

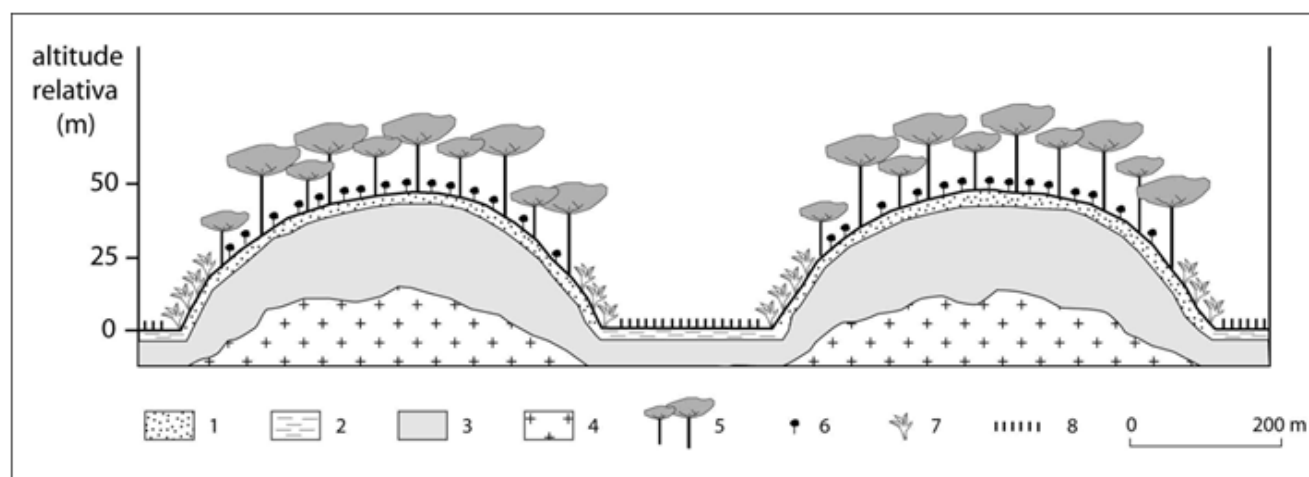


Figura 7 – Modelado multiconvexo na superfície de cimeira do maciço de Baturtié. 1 : solo profundo (*Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico*) sobre manto de intemperismo ‘in situ’ ou em material retrabalhado ; 2 : solo jovem (*Neossolo flúvico*) sobre formações colúvio-aluviais ; 3 : manto de intemperismo ; 4 : rocha sã (gnáissica) ; 5 : floresta perenefólia (*mata úmida*) ; 6 : cultivo de café ; 7 : cultivo de bananeiras ; 8 : cultivo de hortifrutigranjeiros.

Intemperismo e solos – Todos os perfis de intemperismo observados ao nível das meias-laranjas mostraram espessuras da ordem de 20 a 30 metros antes de atingir a rocha sã, de natureza gnáissica (Figura 8-B). Esse intemperismo profundo mostra-se em concordância com uma alteração massiva, implicando em um grau de intemperismo elevado, caracterizado pela decomposição de todos os minerais primários, com exceção do quartzo. Essa área corresponde ao domínio da monossilização (Pédro, 1993), marcada por um desenvolvimento importante de minerais argilosos 1/1 (caolinita) associados com pequenas quantidades de gibsita.

Na parte superior dos perfis, os solos das meias-laranjas são muito ácidos ($\text{pH} < 5$), pertencentes ao grupo dos *Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos* da nova classificação brasileira (SiBCS, 2005). As características desses solos são a presença de um horizonte B iluvial, com fraca CTC ($< 27 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila) e uma fraca taxa de saturação ($< 50\%$), o que os transforma em solos quimicamente pobres. Essas propriedades químicas são resultantes da abundância de argilas de baixa atividade, do tipo caolinita, presentes nesses solos. Apesar dos traços pedológicos macro e microscópicos indicarem a ocorrência de lavagem ativa, a forte liberação do ferro (ferro livre/ferro total $> 80\%$), associada à uma pedogênese agressiva, e a associação mineralógica caolinita-gibsita, conferem aos solos das meia-laranjas características ferralíticas, típicas de climas tropicais úmidos com curta estação seca, caracterizados pela presença de floresta densa perenefólia (Duchaufour, 2001). A baixa fertilidade química dos solos das meias-laranjas é compensada pela maior potencialidade dos solos jovens (*Neossolos flúvicos*) que se desenvolvem nos colúvios-alúvios pouco espessos que recobrem a rede de fundo de vales planos.

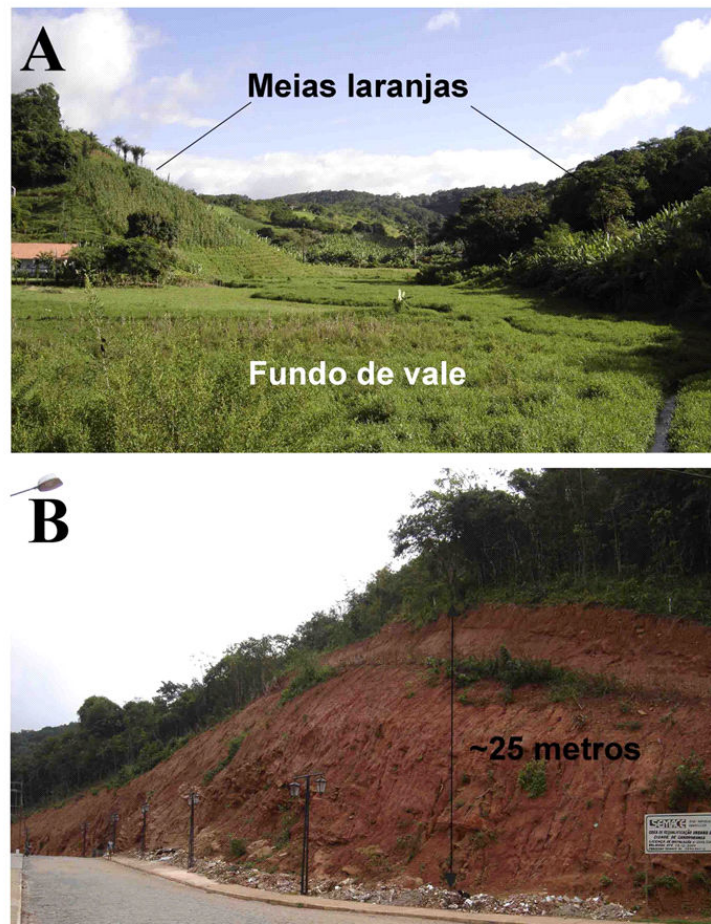


Figura 8 – A : Fundo de vale plano, com uma centena de metros de largura, entre as vertentes em meias-laranjas que se apresentam ocupadas por cultivos recentes de bananeiras em terraços, entre Mulungu e Aratuba. Observar o ângulo de concordância brutal entre as vertentes das colinas convexas e os fundos de vales planos, esses últimos caracterizados pela ausência de dissecação por escoamentos concentrados. Foto Bétard. B : Perfil vertical em uma meia-laranja em Guaramiranga. O manto de intemperismo, cuja profundidade alcança 25 metros antes de atingir a rocha sã, perceptível ao nível da estrada, é resultado da intensa decomposição do gnaiss pré-cambriano. Esse manto profundo de cor avermelhada, cuja consistência é muito friável e tipicamente de intemperização de caolinita, é associado na parte superior do perfil a *Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos*. Foto F. Bétard

A zona periférica de dissecação

Zona de transição geomorfológica entre o maço de Baturité e seu piemont, esse setor de dissecação periférica é também uma área de transição climática, entre o clima úmido da parte culminante do maço e o clima semi-árido das baixas superfícies adjacentes do sertão. Para pluviosidades compreendidas entre 900 e 1300 mm/ano e uma estação seca que dura entre 5 e 6 mois, a drenagem climática é sempre positiva ($50 < D_c < 500 \text{ mm.an}^{-1}$), ainda que bastante irregular de um ano para outro. Essas condições ecológicas intermediárias, ou sub-úmidas, são responsáveis pela presença de uma floresta semi-caducifólia de transição (*mata seca*).

Modelado – Ao modelado multiconvexo da parte de cimeira do maço sucede, com forte contraste, um setor intermediário e periférico de dissecação profunda no qual vales em V se aprofundam rapidamente e irregularmente por desnivelamentos sucessivos, criando uma paisagem com a presença de elementos rochosos resistentes. Os vestígios da alta superfície de erosão identificada em torno de 800-900 metros desaparecem aqui, sob o efeito da dissecação profunda realizada pelos rios que se encaixam de 200 a

300 metros em relação aos interflúvios que apresentam forte declividade, com vertentes retilíneas frequentemente contendo afloramentos rochosos (Figure 9-A). Uma densa rede de vales instalados em linhas de fratura desvenda uma espécie de compartimentação bem visível no modelo digital de terreno e nas imagens de satélite, sobretudo no setor de Palmácia. A instalação desses cursos fluviais ao longo de planos de fraqueza e a dissecação profunda que eles operam no manto de alteração descontínuo é acompanhada pela emergência de domos rochosos nus, do tipo pão de açúcar, esculpturados em rochas do embasamento. Essa zona de dissecação periférica representa a progressão da erosão regressiva em direção ao coração do maço, até os setores de *knickpoints* ou rupturas de perfis fluviais que delimitam a zona de modelado multiconvexo.

Intemperismo e solos – Os perfis de intemperismo avermelhados observados ao longo da estrada que liga Baturité a Guaramiranga, na vertente oriental do maço, ainda apresentam espessuras importantes (uma dezena de metros), e um grau de intemperismo avançado. No entanto, os perfis observados nessa parte do maço montanhoso indicam a ocorrência de intemperismo bem mais moderado, quando comparados ao observado na zona de meias-laranjas. Um manto de intemperismo friável parece ser aqui a regra a partir de 2-3 metros de profundidade, situada entre a isalterita avermelhada muito friável que se observa imediatamente entre o solo e a rocha sã granítica-gnssáica (Figure 9-B). O cortejo argiloso da intemperização é formado por uma mistura de caolinita-ilita, a caolinita sendo ainda largamente dominante. Os solos dos interflúvios são geralmente solos vermelhados lixiviados, moderadamente ácidos ($5 < \text{pH} < 6$), classificados como *Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos*, isto é, com fraca CTC ($< 27 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila) mais com elevada taxa de saturação ($> 50\%$). Os índices macromorfológicos de lavagem (revestimento argiloso) são abundantes e bem visíveis nos agregados e podem ser considerados como um bom indicador desse tipo de solo no campo. Na vertente ocidental do maço com tendência à semi-aridez, a cobertura pedológica é menos espessa e pouco evoluída, sendo dominada por *Neossolos litólicos*.

A baixa superfície de aplainamento com inselbergs do *sertão* forma o piemont (a superfície de piso) de erosão ligeiramente dissecado do maço de Baturité. Caracterizado por um clima semi-árido com secas quase periódicas, ela é dominada pela *caatinga*, floresta seca e baixa constituída de espécies arbórea xerófitas e frequentemente espinhosas, que contrasta com a exuberante floresta presente na superfície de cimeira do maço. As precipitações nesse segmento são geralmente inferiores a 900mm/ano, com uma longa estação seca se estendendo por mais de 6 meses. A drenagem climática, muito fraca ($0 < D_c < 50 \text{ mm/ano}$), é nula em pelo menos 1 de 4 anos.

A baixa superfície de aplainamento com inselbergs (Sertão)

Modelado – O modelado é típico de uma baixa superfície de aplainamento cristalina, ligeiramente dissecada, marcada pela presença de relevos residuais com vertentes íngremes, do tipo inselberg (Figure 10-A). A superfície de aplainamento situa-se entre 100 e 200 metros de altitude, no entorno do maço de Baturité, com uma inclinação geralmente bastante suave (declividade $< 0,2\%$) em direção ao oceano, ao norte, dissecada de 10 a 20 metros somente por uma rede hidrográfica intermitente. No segmento ocidental da superfície de piso, no sopé dos vigorosos escarpamentos que cercam os embaixamentos múltiplos de Baturité, Capistrano ou Redenção, pedimentos dissecados se associam indistintamente com os interflúvios da superfície de aplainamento semi-árida, materializando um plano regularmente e suavemente inclinado (declividade $\sim 0,5\%$) em direção ao vale encaixado do rio Choró. De maneira simétrica, a parte oriental da superfície de piso é uma superfície plana, do tipo glaciais topográfico, ligeiramente dissecado pelos afluentes do rio Canindé, com uma inclinação idêntica em direção à esse curso fluvial. No plano, os interflúvios da superfície aplainada semi-árida se apresentam como longas linhas com traçado sinuoso, largas de 3 a 5 km, o que corresponde igualmente à distância entre os principais eixos de drenagem. A concordância topográfica com os fundos de vales vizinhos, encaixados de 10 a 20 m na superfície aplainada, se estabelece sempre através de uma vertente concavo-convexa bastante curta.

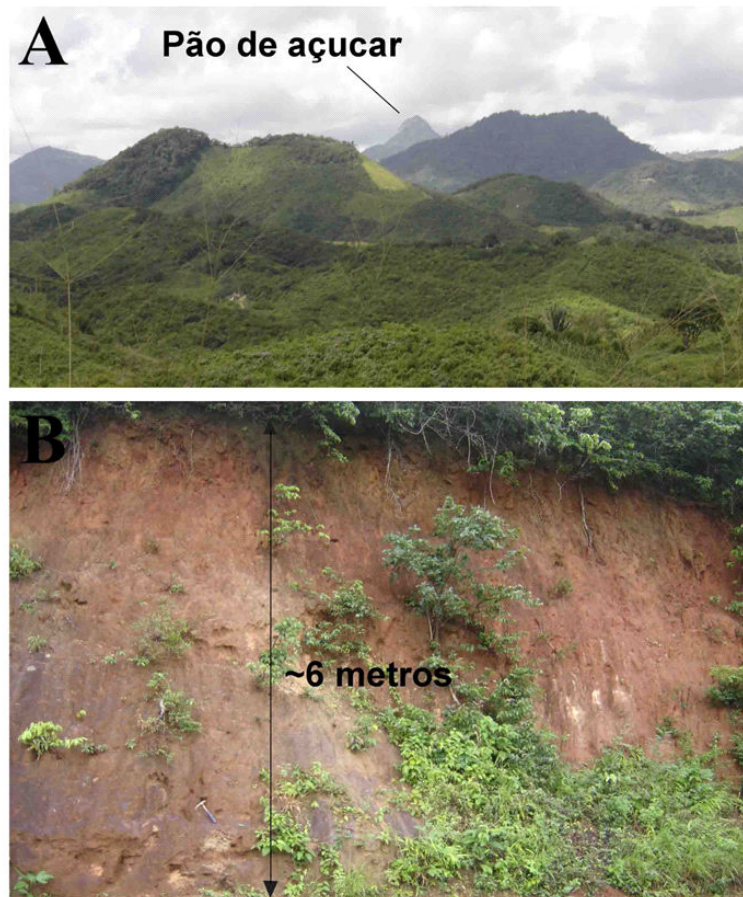


Figura 9 – A : Paisagem de dissecação profunda entre Pacoti e Palmácia, ao norte do maciço de Baturité, pontilhada por domos rochosos do tipo pão de açúcar, esculpidos nas rochas migmatíticas da Unidade Canindé. Os interflúvios com vertentes retilíneas e com forte declividade são separados por vales em V profundos. Observar o aspecto degradado da floresta semi-caducifólia (*mata seca*). Foto F. Bétard. B : Perfil na estrada entre Pacoti e Palmácia, mostrando no topo um solo vermelho lixiviado, típico dessa zona (*Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico*), acima de um manto de alteração de consistência bastante friável. Foto F. Bétard.

Intemperismo e solos – Numerosos afloramentos rochosos e formas erosivas – tors e ‘dorsos de baleia’ – se sobressaem dos mantos de intemperismo pouco profundos (<5 m) que ocorrem no topo dos interflúvios. O manto de intemperismo é formado por material grosseiro de textura arenosa e com estrutura litológica preservada, formada às custas das rochas granito-gnáissicas do embasamento (Figure 10-B). A fraca espessura do manto de intemperismo e a presença minoritária de constituintes secundários nos perfis indicam uma alteração geoquímica controlada pelo clima mais quente e mais seco da depressão sertaneja. Em conjunto com a difração de raios X, assim como certas possibilidades oferecidas pelo microcópico eletrônico de varredura (microanálises pontuais, cartografia X), o estudo detalhado da fração argilosa desse manto permitiu confirmar o seu caráter francamente bisialítico, contendo no interior minerais mais vulneráveis (biotitas e plagioclásios) que se intemperizam essencialmente em minerais 2/1 (ilita e ilita-esmectita inter-estratificadas : Bétard, 2007). Os solos dos interflúvios, preservados da erosão, são formados por *Luvissolos crômicos* caracterizados por uma forte CTC ($e^{27} \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de argila). A abundância dos minerais 2/1 e a forte liberação do ferro (hematita), que colore vivamente em vermelho os horizontes pedológicos, confirmam as características fersialíticas afirmadas anteriormente (Figura 10-B). A pedogênese fersialítica representa com efeito um processo pedogenético que pode se desenvolver em meio tropical, como foi anteriormente caracterizado para Angola (Botelho da Costa, 1959) e Índia (Bourgeon, 1992), em condições de drenagem climática nula ou reduzida. Nos segmentos da superfície

de piso rejuvenescida pela erosão, os solos brunos-vermelhos fersialíticos (*Luvissoles crômicos*) são substituídos por solos brunos pouco diferenciados (*Cambissolos*), enquanto os fundos de vale com excesso de água temporária são dominados por solos hidromórficos com contato textural abrupto (*Planossolos*).

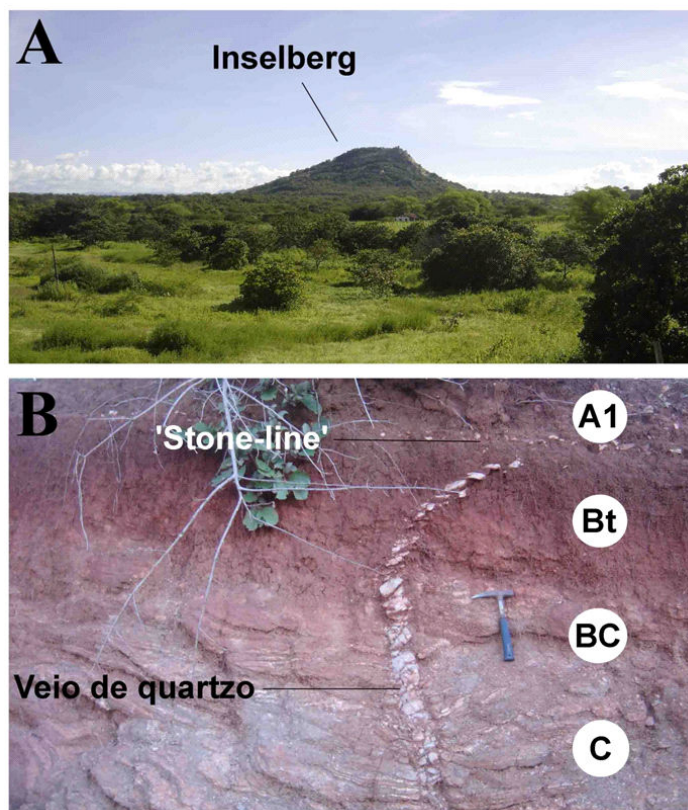


Figura 10 – A : Baixa superfície de aplainamento com inselbergs no sertão, fracamente dissecada, nas imediações de Caridade, na superfície de piso ocidental do maciço de Baturité. Aspecto da caatinga durante a estação úmida (maio), com caminhos de passagem para o gado. Fotografia tomada a partir da parede de um açude. Foto F. Bétard. B : Corte em um perfil vertical de *Luvissole crômico* típico, localizado no terço superior de um interflúvio da superfície de aplainamento semi-árida, ao sul de Canindé. Trata-se de um solo evoluído tendo, *a priori*, todas as características de uma pedogênese fersialítica : (1) forte liberação do ferro, refletida pela cor marrom avermelhada (5 YR 4/4 úmido) e horizonte Bt, e (2) quantidades importantes de minerais argilosos 2/1, sugeridas pela presença de uma estrutura poliédrica e algumas faces de deslizamento. A deformação do veio de quartzo se explica através da pedogênese do solo vermelho (remoção geoquímica e desaparecimento de matéria no entorno do quartzo resistente), talvez auxiliada por processos de rastejamento a partir do interflúvio de fraca declividade. Foto F. Bétard.

Os baixos platôs sedimentares pre-litorâneos (Tabuleiros)

Os baixos platôs sedimentares, ou *tabuleiros*, formam um piemont de acumulação ligeiramente dissecado no entorno do maciço de Baturité. Situado no prolongamento topográfico da superfície de aplainamento Sertaneja, essa parte do piemont é constituída por acumulações detríticas cenozóicas da Formação Barreiras, e caracterizada pelo mesmo tipo de clima semi-árido que a superfície Sertaneja adjacente. As formações vegetais da caatinga são aí substituídas por imensas plantações de caju, pertencentes a grandes proprietários latifundiários.

Modelado – Os baixos platôs sedimentares pertencem a um vasto sistema de piemont no qual a parte a montante, representada pela superfície de aplainamento Sertaneja, modelada no embasamento, se prolonga em direção ao oceano. Esses baixos platôs são formados por detritos cenozóicos da Formação

Barreiras, que repousam em discordância sobre o embasamento pré-cambriano. Esse embasamento cristalino, na maior parte exposto no fundo dos vales principais, é geralmente plano, mas se apresenta por vezes irregular, com colinas arredondas, inselbergs graníticos ou ainda necks vulcânicos oligocenos que se sobressam na cobertura sedimentar pouco espessa (geralmente <15 metros). Ligeiramente dissecado de 20 a 30 metros ao longo dos vales principais, os baixos platôs sedimentares prolongam a superfície de aplainamento cristalina que se estende longe no interior do sertão. Eles recobrem na verdade toda a faixa costeira do Nordeste brasileiro, expondo uma largura de 10 a 80 km. Essa largura máxima é atingida no piedmont ocidental do maciço de Baturité, onde largos vestígios de sedimentos Barreiras são cartografados (CPRM, 2003). A altitude que apresentam, com ligeira inclinação em direção à costa, não ultrapassa os 180 metros na zona de estudo. Nas cartas geológicas existente, o depósito Barreiras não está presente no piemont oriental do maciço. No entanto, os levantamentos de campo permitiram identificar novos depósitos, de dimensão reduzida, extremamente semelhantes aos sedimentos clásticos da Formação Barreiras. O entalhamento dos vales (10-20 m) coloca sempre esses depósitos pouco espessos em situação de interflúvio (Figure 11-A).

Intemperismo e solos – As atividades conjuntas de levantamento de campo, análises de laboratório e interpretação espacial permitiram distinguir claramente duas sub-unidades morfopedosedimentares no interior dos tabuleiros : (i) uma formação detrítica de idade mio-pleiocênica (Figure 11-A), pedologicamente evoluída (*Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos*, com plintitas e frequentemente, carapaças feruginosas), incorporando um fácies conglomerático na base e um fácies areno-argiloso no centro cuja origem fluvial é incontestável ; (ii) uma cobertura arenosa de idade pleistocênica (Figura 11-B), pouco pedogenizada (*Neossolos quartzarênicos*), cuja origem eólica pode ser confirmada por análises sedimentológicas de laboratório (granulometria, morfoscopia, exoscopia MEB do quartzo) . A forte predominância dos minerais argilosos 1/1 nesses sedimentos detríticos da Formação Barreiras correspondem à caolinitas bem cristalizadas, herdadas de um paleosolo formado durante períodos mais úmidos do passago geológico. Nas trincheiras no campo, os horizontes de intemperismo observados nas rochas do embasamento adjacente, sobre o qual repousa em discordância essa cobertura pouco espessa, são extremamente semelhantes aos materiais bisialíticos observadas nos solos brunos e vermelhos da superfície de aplainamento sertaneja.

Interpretações e Discussão

A partir do conjunto de resultados expostos no item precedente e baseados em comparações com outras regiões tropicais (oeste da África, sul da Índia), foi possível colocar em evidência uma série de relações entre as características pedobioclimáticas de um lado e a formação do modelado, fenômenos de intemperismo e processos pedogenéticos de outro.

Relações entre o bioclima e o modelado regional

É importante sublinhar que o gradiente pluviométrico observado na região do maciço de Baturité (500–1700 mm/ano : Figure 5) corresponde de maneira exata ao gradiente encontrado nas climosequências bem estudadas do oeste da África (Raunet, 1985) e da Índia meridional (Gunnell & Bourgeon, 1997 ; Gunnell, 2000). A comparação é ainda mais legítima se considerarmos que essas três climosequências são descritas em regiões de embasamento granítico-gnáissico, correspondendo a fragmentos do Gondwana com ossatura estrutural pré-cambriana. Ainda que o gradiente observado em Baturité não seja definido por um contexto de altitudes homogêneas – contrariamente aos casos afro-indianos -, as sequências dos modelados observados parecem comparáveis, pois se aplicam a características pluviométricas e litológicas similares.

No presente estudo, foi possível, inicialmente, demonstrar que o modelado multiconvexo (ou modelado em meias-laranjas) só ocorre nas áreas que recebem uma pluviosidade média anual superior ou igual a 1300 mm/ano : tal fato encontra-se perfeitamente de acordo com o observado ao mesmo tempo na

África e na Índia. Um outro parâmetro climático mensurável é a drenagem climática, cujos valores calculados para a zona multiconvexa do maciço de Baturité são superiores a 500 mm/ano, isto é, perfeitamente idênticos aos indicados pelo transecto indiano de referência (Gunnell & Bourgeon, 1997), onde o limite de 500 mm/ano corresponde igualmente ao domínio de surgimento das meias-laranjas.

Ao contrário, para pluviometrias inferiores, a correspondência entre modelado e parâmetros climáticos não é tão boa, mostrando assim a existência de diferenças entre as situações africanas e indianas. Uma parte das distorções relativas ao modelado na zona de transição sub-úmida pode ser atribuída à heterogeneidade das altitudes, já mencionadas no caso brasileiro, onde a área de transição climática corresponde a uma zona de dissecação profunda no rebordo montanhoso. Mais a principal diferença acha-se associada à ausência de crostas nas sequências dos modelados observados na região de Baturité.

(i) Crostas ferruginosas na África (Sahel), que criam um modelado com carapaças endurecidas, nas áreas recebendo uma pluviosidade média anual inferior a 1300 mm/ano ; tais carapaças ferruginosas são ausentes nas paisagens do maciço de Baturité e de sua superfície de piso semi-árida ;

(ii) Crostas calcáreas no sul da Índia, dominadas por glacis suavemente concâvos onde subafloram crostas de CaCO_3 nas zonas recebendo precipitações <900 mm/ano; tais carapaças calcáreas são ausentes nas paisagens do sertão, inclusive nos setores mais secos.

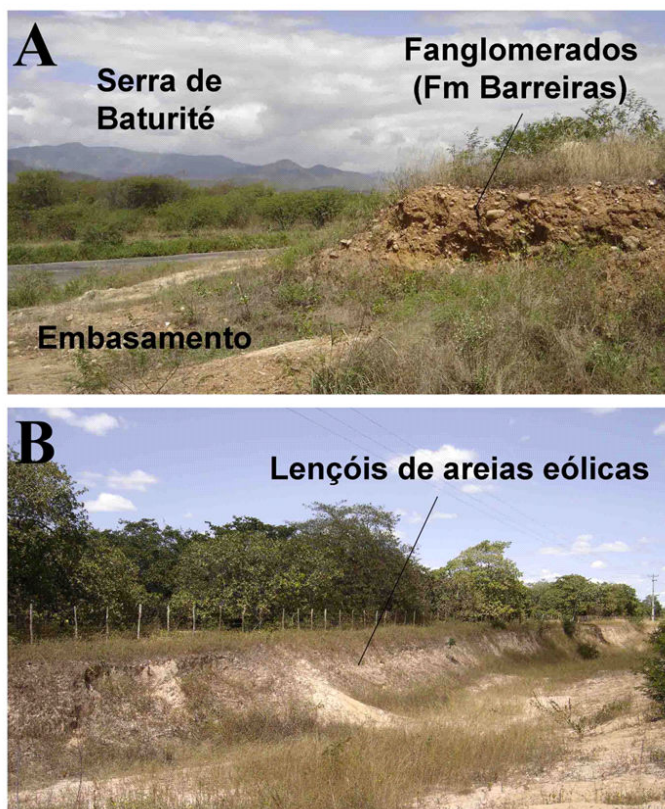


Figura 11 – A : Vestígios de depósitos detríticos pertencentes à Formação Barreiras recobrendo a parte ocidental da superfície de piso do maciço de Baturité (depressão sertaneja), em Inhuporanga. Depósito fanglomerático com blocos e seixos de quartzo e de quartzito rolados, em uma matriz areno-argilosa abundantemente, de 1,5 metros de espessura, repousando sobre o embasamento gnáissico pouco alterado. O depósito ocorre em um interflúvio situado entre 10 e 20 m acima do fundo de vale vizinho, a cerca de 5 a 6 km de distância do escarpamento quartzítico « Pico Alto ». Foto F. Bétard. B : Trincheira no depósito de areias eólicas pleistocênicas, espessa de vários metros, no segmento oriental da superfície de piso (depressão Sertaneja) do maciço de Baturité (ao sul de Chorozinho). Solo bege arenoso (*Neossolo quartzarênico*) testemunhando uma pedogênese pouco evoluída. Plantação de caju. Foto Bétard.

É possível atribuir essas diferenças a dois fatores essenciais, que podem variar sensivelmente de uma climosequência a outra :

(i) A primeira variável é de ordem climática e diz respeito à natureza do regime pluviométrico e às modalidades da drenagem climática. Com efeito, enquanto o regime de chuvas é unimodal no oeste na África e no Nordeste do Brasil, o transecto indiano indica a existência de um regime unimodal, trimodal e bimodal da zona úmida em direção à zona semi-árida (Gunnell & Bourgeon, 1997). Para pluviosidades comparáveis entre a Índia semi-árida onde os encrustamentos calcáreos são largamente presentes nas paisagens, o regime unimodal do Nordeste brasileiro, onde a infiltração das águas das chuvas é concentrada em uma curta estação úmida, parece favorável à descarbonatação dos perfis. Assim, a drenagem profunda do manto de intemperismo é baixa mas raramente nula no sertão, favorecendo a exportação do cálcio nos perfis. Na Índia semi-árida com regime bimodal, a drenagem profunda, nula na maior parte do tempo, conduz a uma evacuação lenta e imperfeita do cálcio que se acumula na forma de um encrustamento nodular, cuja formação e manutenção ao longo do tempo foram facilitadas pela estabilidade climática quaternária que caracteriza o reverso continental daquele maciço montanhoso (Durand *et al.*, 2007) ;

(ii) A segunda variável é de ordem tectônica e associada ao endurecimento de parcela da paisagem. As crostas e carapaças ferruginosas constituem o *leitmotiv* das paisagens da cintura do Sahael no oeste da África (Maignien, 1958), enquanto que o sertão brasileiro e o reverso cristalino dos Ghats indianos se mostram particularmente pobres em termos da presença dessas crostas. Mas não existe dúvida de que essas carapaças endurecidas existiram nas paisagens interiores do Nordeste brasileiro e da Índia peninsular, como testemunham nos dois casos, raízes de paleoperfis caoliníticos, endurecidos ou não, preservados em topos de relevos em posição de divisores de água (Gunnell, 1996 ; Bétard *et al.*, 2005a). Na realidade, hoje em dia é bem admitido que os modelados endurecidos africanos da cintura do Sahael são heranças morfopedológicas resultantes de um passado mais úmido (Leprun, 1977 ; Kaloga, 1987). Graças a um soerguimento epirogenético terciário mais vigoroso e à uma denudação mais importante na África, os embasamentos cristalinos das regiões semi-áridas do Brasil e da Índia parecem ter sido em grande parte desembaraçados dessas heranças na paisagem (Leprun, 1993 ; Bourgeon & Gunnell, 1998 ; Bétard, 2007).

Em definitivo, a formação de um encrustamento calcáreo e não ferruginoso nas paisagens do centro-sul da península indiana semi-árida parece ter sido beneficiado pela convergência de situações climáticas e tectônicas favoráveis, fato que não foi possível diante das condições ambientais no oeste da África, onde um manto caolinítico herdado de tempos pretéritos recobre ainda a maior parte do embasamento cristalino, ou no Nordeste brasileiro, onde o regime pluviométrico unimodal conduz à formação de perfis lixiviados e descarbonatados. Com exceção do papel dos encrustamentos na paisagem, e também da zona de transição sub-úmida onde o modelado de dissecação profunda do maciço de Baturité obedece sobretudo às leis da gravidade que às leis do clima, a concordância entre forma do modelado e parâmetros climáticos é globalmente boa entre as extremidades das climosequências analisadas : (i) multiconvexas nas zonas de meias-laranjas com clima úmido (>1300 mm/ano), e (ii) multiconcâvas na zonas de superfície de aplainamento com inselbergs e clima semi-árido (<900 mm/ano).

Uma tal concordância entre as climosequências analisadas se explica talvez pelo papel do tipo de vegetação associada às diferentes zonas bioclimáticas, mais também pela natureza e abundância relativa dos minerais argilosos nos perfis de intemperismo (Gunnell, 2000) : nas zonas semi-áridas, as propriedades expansivas dos minerais esmectitas combinadas com o caráter eutrófico da maior parte dos solos e à uma vegetação aberta favorecem o escoamento superficial e, assim, os procesos de pedimentação e glacioplaneação ; ao contrário, nas zonas úmidas, a vegetação densa e a exclusividade da caolinita no cortejo de minerais argilosos propiciam a percolação profunda das águas das chuvas e minimizam o escoamento superficial. A convexidade das vertentes das meias-laranjas parece então ser principalmente mantida pelo cavamento basal associado à penetração das águas dos lençóis freáticos sub-aflorantes (Beudet & Coque, 1994), e não em resposta à um cavamento lateral produzido por escoamentos importantes nos fundos de vale, onde a submersão dos lençóis freáticos é lenta e progressiva.

Ao final dessa análise, seria portanto imprudente concluir que os modelados observados refletem um estado de equilíbrio entre as condições bioclimáticas atuais, sobretudo porque a climosequência estudada em Baturité, contrariamente aos casos indianos e, em larga medida, aos casos africanos, é em parte também uma toposequência. Por outro lado, parcela significativa dos pedimentos da zona semi-árida são formas herdadas, dissecadas de 10 a 20 metros por uma rede hidrográfica intermitente. Com mais possibilidades, sugerimos que a evolução morfoclimática que controlou a esculturação desses relevos respeitou uma zonalidade paleoclimática grosseiramente paralela à atual, auxiliada nesse contexto pela orografia do enclave montanhoso, que provavelmente sempre funcionou como um polo mais úmido que os terrenos baixos adjacentes.

Relações entre o pedoclima e os tipos de intemperismo e solos

É principalmente através da quantidade de água que percola até o limite do manto de intemperismo (drenagem climática) que se exerce a influência dos fatores climáticos nos processos de intemperismo e pedogênese (Bourgeon & Pédro, 1992). Desde que os fenômenos de hidrólise sejam preponderantes, como é o caso da zona estudada, o desenvolvimento de tal ou tal processo de intemperismo ou de pedogênese depende essencialmente da velocidade de evacuação da sílica e das bases, ela mesma tributária do volume de água que circula no contato com a rocha. A drenagem climática tem a vantagem de ser um parâmetro climático facilmente mensurável, e sua correlação espacial com a distribuição dos tipos de intemperismo é notável (Figure 5). Em combinando os dados de intemperização e pedogênese, três situações principais são com efeito susceptíveis de se desenvolverem em função das condições pedoclimáticas locais:

- (i) Na zona de cimeira do maciço de Baturité de clima úmido ($P > 1300$ mm/ano ; $D_c > 500$ mm/ano), a existência de uma drenagem profunda elevada e regular corresponde ao domínio da aparição exclusiva da monosialitização, marcada pela individualização de minerais 1/1 (caolinita) e formação de solos vermelho-amarelos com características ferralíticas (*Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos*) ;
- (ii) Na superfície de piso com clima semi-árido ($P < 900$ mm/ano; $D_c < 50$ mm/ano), a drenagem nula ou reduzida conduz essencialmente a uma bisialitização dos materiais, marcada pelo intemperismo dos minerais mais vulneráveis em edifícios 2/1 (ilitas e ilita-esmectita inter-estratificadas), e à formação de solos brunos-avermelhados com características fersialíticas (*Luvissolos crômicos*).
- (iii) Na zona de transição com clima sub-úmido ($900 < P < 1300$ mm/ano ; $50 < D_c < 500$ mm/ano), a monosialitização coexiste com a bisialitização, produzindo uma mistura de filitos 1/1 et 2/1. Os solos dos interflúvios normalmente drenados são *Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos* cujas características são intermediárias entre os solos não saturados das zonas úmidas e os solos super-saturados da zona semi-árida. Eles se apresentam finalmente como solos de transição entre as vias fersialíticas e ferralíticas da pedogênese.

Finalmente, como para o transecto climático de referência da Índia meridional (Bourgeon & Pédro, 1992), encontramos aí uma adequação notável entre a organização das coberturas pedológicas e as modalidades de drenagem climática (Figure 5), confirmando em um outro nível a continuidade que existe entre a pedogênese fersialítica e a pedogênese ferralítica no meio tropical. Essa sucessão de tipos de solos se realiza sem passagem intermediária para uma cobertura pedológica com ferruginização acentuada (« solos ferruginosos tropicais » : Duchaufour, 2001). Constatamos também que a espessura, o tipo e o grau de intemperismo, estão em relação direta com a pluviosidade e, portanto, também com as modalidades de drenagem climática. O manto de intemperismo descontínuo da zona sub-úmida do maciço de Baturité, onde emergem domos rochosos nus do tipo pão de açúcar, se explica pela dissecação profunda operada pelos cursos d'água nessa parte do maciço montanhoso.

Essas considerações nos levam a concluir que os tipos de intemperismo e de solos na área de estudo estão em bom equilíbrio com as condições bioclimáticas atuais. Evidentemente, assim como para o modelado, a formação dos mantos de intemperismo e dos solos não é um fenômeno instantâneo, e necessita de longos períodos de tempo para serem concluídos e produzir perfis bem diferenciados como os que são

descritos na área de estudo. De acordo com Lageat & Gunnell (2001), os mantos de intemperismo tropicais refletiriam as condições bioclimáticas médias que prevaleceram em uma escala temporal de 1 a 10 Ma.

Em definitivo, a pedogênese desenvolvida nessa região de embasamento cristalino tropical pode ser considerada como primária, isto é, sem marcas aparentes de heranças ou polifases. As heranças paleoclimáticas resultantes dos períodos de laterização do início do Terciário (Tardy & Roquin, 1998) são raras, mais os arquivos desse passado mais úmido parecem hoje em dia estarem contidos nos sedimentos detríticos neogenos da Formação Barreiras, que formam o piemont de acumulação do maciço de Baturité. Esses sedimentos clásticos, ricos em caolinita herdada, são interpretados como o produto correlativo da ablação de paleointemperismo caolinítico pré-neogenos (Bigarella, 1975 ; Claudino Sales, 2002 ; Bétard, 2007). As heranças morfopedológicas não são portanto ausentes, mas especialmente restritas aos setores de acumulação da superfície de piso.

Considerações finais

O estudo morfopedológico do maciço de Baturité e de sua superfície de piso permitiram o estabelecimento de relações estreitas entre as características bioclimáticas locais e a distribuição dos modelados, intemperismos e solos. A drenagem climática aparece então como um parâmetro pedoclimático fundamental da evolução das paisagens morfopedológicas, como foi considerado anteriormente em relação à Índia (Bourgeon & Pédro, 1992 ; Gunnell & Bourgeon, 1997). Em adição, o método morfopedológico adotado permite propor uma metodologia de análise original e apropriada para o estudo da componente abiótica da paisagem, o que pode servir de referência na perspectiva de uma melhor caracterização do ambiente físico das serras úmidas que pontuam o Nordeste brasileiro semi-árido.

Agradecimentos

Esse trabalho resulta em grande parte de uma tese de doutorado efetuada na Universidade Paris-Sorbonne, França (Bétard, 2007), com o apoio do CNRS (UMR 8591, Laboratório de Geografia Física « Pierre Birot ») e da Universidade Federal do Ceará (UFC, Fortaleza). Ele contou com a colaboração de Gérard Bourgeon (CIRAD, Montpellier, França) durante uma missão de campo efetuada em 2006, e com a assistência de Laurent Caner (Universidade de Poitiers, França) na realização de numerosas análises pedogeoquímicas, efetuadas no Laboratório HydrASA (CNRS UMR 6532, França). Agradecemos também as úteis discussões travadas com Yanni Gunnell (Universidade Paris VII, França), Reginaldo Lima Verde (« Labomar », UFC) e Raimundo Castelo Melo Pereira (UFC).

Bibliografia

- ALMEIDA, F.F.M., BRITO NEVES, B.B., CARNEIRO, C.D.R. The origin and evolution of the South America Platform. **Earth Science Reviews**, 50, 77-111, 2000.
- BEAUDET, G., COQUE, R. Reliefs et modelés des régions tropicales humides : mythes, faits et hypothèses. **Annales de Géographie**, 577, 227-254, 1994.
- BÉTARD, F. **Montagnes humides au cœur du Nordeste brésilien semi-aride : le cas du massif de Baturité (Ceará). Apports d'une approche morphopédologique pour la connaissance et la gestion des milieux**. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sorbonne, 2007, 442 p.
- BÉTARD, F., PEULVAST, J-P., CLAUDINO SALES, V. Laterite preservation and soil distribution in the Araripe-Campos Sales area, Northeastern Brazil: consequences of uplift, erosion and climatic change. **Vith International Conference on Geomorphology**, Zaragoza, Abstracts Volume, 2005a, p. 69.
- BÉTARD, F., PEULVAST, J-P., CLAUDINO SALES, V. GIS and morphostructural mapping: a contribution to the morphotectonic study of the Baturité massif, Northeastern Brazil. **Vith International Conference**

- on **Geomorphology**, Zaragoza, Abstracts Volume, 2005b, p. 380.
- BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **An. Acad. Bras. Ciên.**, 47, 365-393, 1975.
- BOTELHO DA COSTA, J.V. Ferralitic, tropical fersiallitic and tropical semi-arid soils. Definitions adopted in the classification of the soils of Angola. **C-R. de la 3^e conférence interafricaine des sols**, Document n°91, 317-319, 1959.
- BOURGEON, G. **Les “sols rouges” de l’Inde péninsulaire méridionale : pédogenèse fersiallitique sur socle cristallin en milieu tropical**. Publ. du département d’écologie, Inst. Fr. de Pondichéry, n°31, 1992, 271 p.
- BOURGEON, G., GUNNELL, 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, Sér. Ila**, 326, 167-172, 1998.
- BOURGEON, G., PÉDRO, G. Rôle majeur du drainage climatique dans la différenciation altéritique et pédologique des sols des régions chaudes. **C-R. Acad. Sci. Paris, Sér. II**, 314, 717-725, 1992.
- BRITO NEVES, B.B., DOS SANTOS, E.J., VAN SCHMUS, W.R. Tectonic history of Borborema Province, Northeastern Brazil. In: CORDANI, U.G., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D.A. (Ed.). **Tectonic Evolution of South America**, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, 2000, p. 856.
- CAVALCANTE, A. Jardins suspensos no Sertão. **Scientific American Brasil**. Edição n°32, 69-73, 2005.
- CLAUDINO SALES, V. **Les littoraux du Ceará. Évolution géomorphologique de la zone côtière du Ceará (Nord-est du Brésil) : du long terme au court terme**. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sorbonne, 2002, 511 p.
- CPRM. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará. Mapas na escala 1:500,000**. Serviço Geológico do Brasil, CD Rom, 2003.
- DUCHAUFOUR, P. **Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement**. 6^e édition, Dunod, Paris, 2001, 331 p.
- DURAND, N., GUNNELL, Y., CURMI, P., AHMAD, S.M. Pedogenic carbonates on Precambrian metamorphic rocks in South India: origin and paleoclimatic significance. **Quaternary International**, 162-163, 35-49, 2007.
- FRUTUOSO DO VALE, J. **Levantamento semidetalhado de solos de uma “área piloto” nos municípios de Pacoti e Guaramiranga-CE**. Dissertação de Mestrado, UFC-Fortaleza, 1991.
- GUNNELL, Y. Géographie comparative des héritages cuirassés sur les terres cristallines de l’Inde du Sud et d’Afrique de l’Ouest. Leur signification dans l’évolution du milieu physique. **Annales de Géographie**, 591, 451-479, 1996.
- GUNNELL, Y. The characterisation of steady state in earth surface systems: findings from the gradient modelling of an indian climosequence. **Geomorphology**, 35, 11-20, 2000.
- GUNNELL, Y., BOURGEON, G. Soils and climatic geomorphology on the Karnataka Plateau, peninsular India. **Catena**, 29, 239-262, 1997
- KALOGA, B. **Le manteau kaolinique des plaines du centre-sud de la Haute-Volta : dynamique et relation avec le manteau smectitique**. Études et Thèses, ORSTOM, Paris, 1987, 344 p.
- KILIAN, J. Les inventaires morphopédologiques, conceptions, applications au développement agricole. **L’Agronomie Tropicale**, 27(9), 930-938, 1972.
- LAGEAT, Y., GUNNELL Y. Landscape development in tropical shield environment. In: GODARD, A., LAGASQUIE, J.J., LAGEAT, Y. (Ed.). **Basement regions**. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 173-197, 2001.
- LEPRUN, J-C. Géochimie de la surface et formes du relief. IV. La dégradation des cuirasses ferrugineuses. Étude et importance du phénomène pédologique en Afrique de l’Ouest. **Sciences Géologiques**, 30, 265-273, 1977.
- LEPRUN, J-C. Sertão brésilien et Sahel africain : écologie comparée de deux régions sèches et conséquences sur l’environnement, In: PAQUET, H., CLAUER, N. (Eds.). **Sédimentologie et géochimie de la surface**. Colloque à la mémoire de Georges Millot, Acad. Sci. Paris, 127-140, 1993
- LIMA, T.S.F. **Estudo comparativo dos solos das vertantes úmida e seca do Maciço de Baturité-**

- CE. Dissertação de Mestrado, UFC-Fortaleza, 1983.
- MAIGNIEN, R. Le cuirassement des sols en Afrique tropicale de l'Ouest. **Sols Afr.**, 4, 5-41, 1958.
- MATOS, R.M.D. The Northeast Brazilian rift system. **Tectonics**, 11, 4, 766-791, 1992
- MATOS, R.M.D. Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic. In: **Atlantic Rifts and continental margins**, Geophys. Monograph, 115, Am. Geophys. Union, 331-354, 2000.
- MONIÉ, P., CABY, R., ARTHAUD, M.H. The Neoproterozoic Brasiliano orogeny in Northeast Brazil: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and petrostructural data from Ceará. **Precambrian Research**, 81, 241-264, 1997.
- PÉDRO, G. Argiles des altérations et des sols. In: PAQUET, H., CLAUER, N. (Ed.). **Sédimentologie et géochimie de la surface**. Colloque à la mémoire de Georges Millot, Acad. Sci. Paris, 1-17, 1993.
- PEULVAST, J.P., CLAUDINO SALES V. Carta morfoestrutural do Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande do Norte e da Paraíba. In: CPRM. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará**. Mapas na escala 1:500,000. Serviço Geológico do Brasil, CD Rom, 2003.
- PEULVAST, J.P., CLAUDINO SALES, V., BEZERRA, F.H., BÉTARD, F. Landforms and neotectonics in the equatorial passive margin of Brazil. **Geodinamica Acta**, 19(1), 51-71, 2006.
- PÔRTO, K.C., CABRAL, J.J.P., TABARELLI, M. (Coord.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. História natural, ecologia e conservação**. Ministério do Meio Ambiente e Universidade Federal do Pernambuco, Brasília, 2004, 320 p.
- PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento integrado dos recursos naturais do Brasil. Folha Jaguaribe-Natal**. Ministério das Minas e Energia-MME, Rio de Janeiro, 1981, 740 p.
- RAUNET, M. Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar : géomorphologie – géochimie – pédologie – hydrologie. **Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl.-Bd**, 52, 25-62, 1985.
- SiBCS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed., EMBRAPA, Rio de Janeiro, 2005, 360 p.
- SOUZA, M.J.N., OLIVEIRA, V.P.V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste brasileiro. **Mercator**, 9, 85-102, 2006.
- TARDY, Y., ROQUIN, C. **Dérive des continents, paléoclimats et altérations tropicales**. Ed. BRGM, Orléans, 1998, 473 p.

Trabalho enviado em janeiro de 2008

Trabalho aceito em março de 2008