

## Avanços Recentes na Geomorfologia e Pedologia do Estado do Ceará: o Caso do Maciço de Baturité e de sua Superfície de Piso

François BÉTARD. Université Paris-Sorbonne, Laboratoire de Géographie Physique CNRS UMR 8591, França. E-mail: [francois.betard@paris-sorbonne.fr](mailto:francois.betard@paris-sorbonne.fr)

Vanda CLAUDINO-SALES. Universidade Federal do Ceará, Brasil. E-mail: [vcs@ufc.br](mailto:vcs@ufc.br)

Jean-Pierre PEULVAST. Université Paris-Sorbonne, Laboratoire de Géographie Physique CNRS UMR 8591, França. E-mail: [jean-pierre.peulvast@wanadoo.fr](mailto:jean-pierre.peulvast@wanadoo.fr)

### Resumo

Localizado no norte do Ceará, o maciço de Baturité é uma das numerosas serras úmidas que pontuam o semi-árido brasileiro. Apesar da importância ecológica dessas ilhas de umidade, a rica diversidade natural desses meios continua largamente mal-conhecida. O objetivo do presente trabalho é fazer um inventário dos avanços científicos recentes sobre os tipos de modelados e sobre a gênese dos solos dessas regiões, os quais colocam em xeque um grande número de idéias antigas. Particularmente, é abordada a origem das meias-laranjas e dos pães de açúcar na superfície de cimeira do maciço de Baturité, descritos pela primeira vez nessa parte do Brasil, e o encadeamento de pedogênese ferralítica e fersialítica em distâncias curtas e sob climas particulares. Os diversos conhecimentos regionais são substituídos por um debate científico mais geral acerca da evolução das paisagens tropicais, e as hipóteses consideradas são verificadas em termos de uma comparação geográfica com outras regiões tropicais do mundo (Índia e África).

**Palavras-chave:** serras úmidas, clima semi-árido, modelado, solos tropicais.

### Abstract

Located in the north of Ceará State, the Baturité massif is one of the so-called “serras úmidas”, or humid mountains of the Brazilian semiarid. Despite their ecological importance, the high natural diversity of them has been poorly characterized. The objective of this work is to report major recent scientific advances on landform and soil genesis, knocking number of ancient assumptions. A detailed field survey in the Baturité massif demonstrates the occurrence of *meias laranjas* (convex hills) and *pães de açúcar* (rocky domes) which are described for the first time in this part of Brazil. It also testifies to the occurrence of ferrallitic and fersiallitic soil successions over short distances and under climates of a particular type. Regional lessons from the Baturité massif area are placed within a more global scientific debate centred on the evolution and development of tropical landscapes, and the hypotheses are tested against geographic comparisons on other continents (India, Africa).

**Keywords:** humid mountains, semiarid climate, landform, tropical soils.

### 1. Introdução

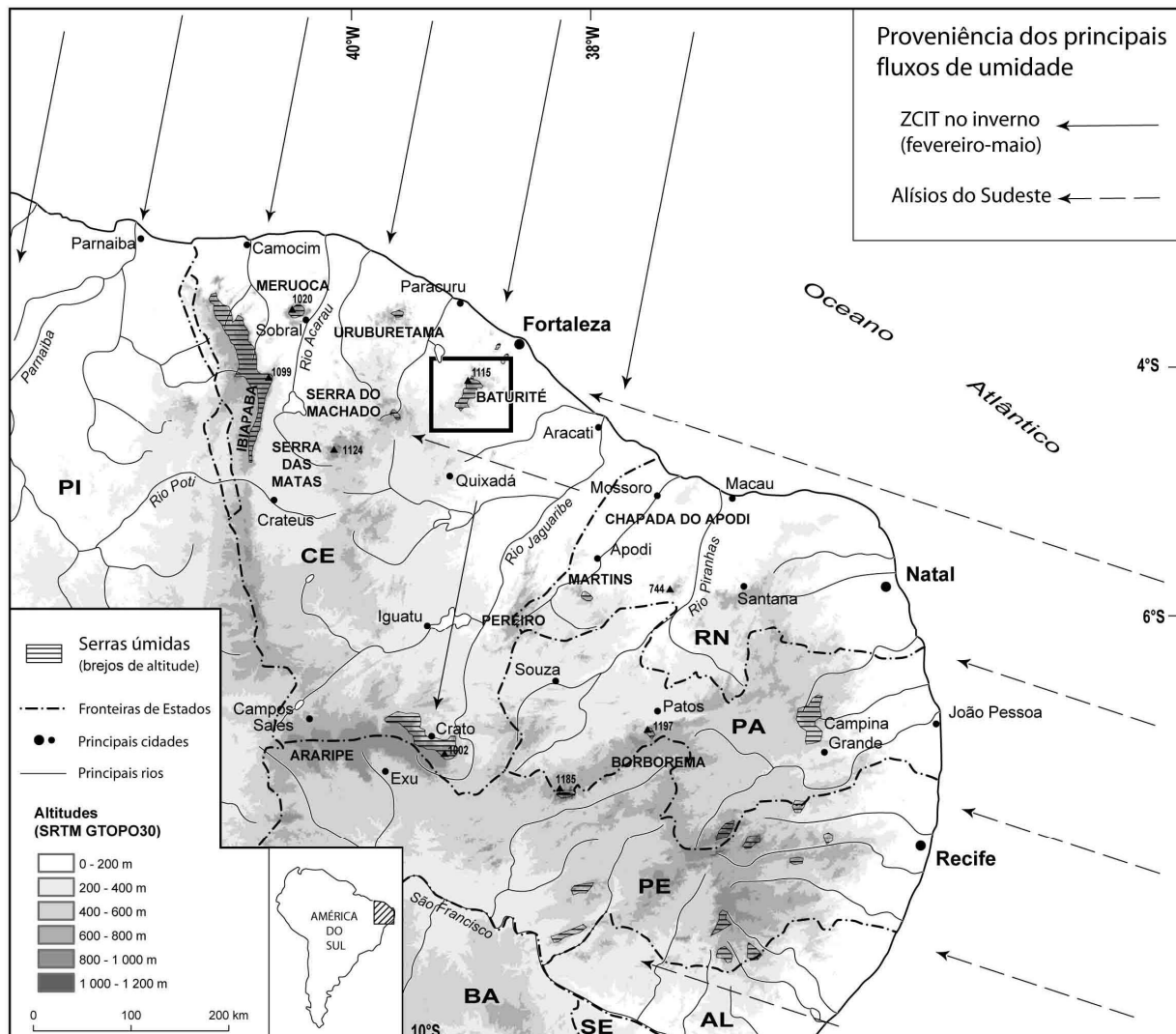
Por vezes denominadas ‘brejos de altitude’, as *serras úmidas* do Nordeste brasileiro constituem áreas de exceção climática no contexto da semi-aridez que caracteriza essa porção do Brasil (Souza & Oliveira, 2006). Esse é o caso do maciço de Baturité, situado ao norte do Estado do Ceará (Figura 1). Trata-se de montanhas isoladas de altitudes médias ou baixas (600-

1200 m), tendo como superfície de piso (piémont) superfícies aplainadas, conservadas entre interflúvios e vertentes bastante inclinadas. Constituindo barreiras aos alíseos carregados de umidade que vêm do Atlântico, esses obstáculos montanhosos favorecem a ocorrência de precipitações orográficas que são responsáveis por uma pluviometria elevada (1200-2000 mm/ano), formando verdadeiras ilhas de umidade caracterizadas pela presença de floresta perene-folia (*mata úmida*), em meio a um ambiente dominado pela presença de *caatinga*. 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). Essa importância e particularidades não vêm sendo ainda explorada, se levarmos em conta a pequena quantidade de estudos dedicados a esses ambientes.

O objetivo desse artigo é fazer um inventário dos avanços científicos, inéditos, recentes, obtidos sobre a área, tanto sobre os tipos de modelados quanto sobre a gênese dos solos nesses ambientes. Esses avanços colocam em questão um certo número de idéias pré-concebidas em relação à Geomorfologia e à Pedologia de uma região na qual a diversidade paisagística continua ainda pouco conhecida.

## **2. Apresentação da área de estudo e observações metodológicas**

Centrada sobre o Maciço de Baturité, a zona estudada pertence a uma região de embasamento pré-cambriano (a 'Província Borborema') 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). 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 anfíbolito de idade paleoproterozóica, mais ou menos remobilizados e migmatizados, e intercalados com diferentes afloramentos menores de quartzitos, micaxistos, mármore e intrusões leucograníticas. 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.



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

Tendo uma superfície total da ordem de  $800 \text{ km}^2$ , 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. 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 Independência,

que multiplicam os limites rochosos (*knickpoints*) através dos quais o maciço ficou preservado da ação da erosão regressiva acentuada. Os contornos do maciço 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 esculpidos no flanco dos ombros dos rifts, horts e outros blocos basculados, colocados em afloramento durante a abertura oceânica cretácea. Essa herança direta do rifting cretáceo deixou na paisagem regional esse tipo de relevo residual imponente (1115 m no Pico Alto), verdadeiro obstáculo natural em relação ao alíseos carregados de umidade que vêm do Atlântico.

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, frio (20-22 °C de temperatura anual) e úmido. Três zonas bioclimáticas podem aí serem distinguidas:

- (i) À zona de cimeira do maciço de Baturité corresponde uma zona úmida de pluviosidade elevada ( $P > 1300$  mm/ano), com uma curta estação seca (•4 meses) e uma drenagem climática sempre positiva ( $D_c > 500$  mm/ano). É a área de domínio da floresta perene-folia (*mata úmida*);
- (ii) Uma zona de transição sub-úmida nas áreas do entorno das superfícies mais elevadas ( $900 < P < 1300$  mm/ano), na qual ocorre uma floresta semi-decídua (*mata seca*), contando com uma estação seca de 5 a 6 meses. A drenagem climática é ainda positiva ( $50 < D_c < 500$  mm/ano), ainda que irregular de um ano para outro;
- (iii) A zona semi-árida se estende majoritariamente sobre a superfície de piso e está em equilíbrio com uma floresta seca decídua (*caatinga*). Para precipitações inferiores a 900 mm/ano, a duração da estação seca se estende por mais de 6 meses e a drenagem climática é bastante fraca ( $0 < D_c < 50$  mm/ano), tornando-se nula em pelo menos um ano a cada quatro.

Os principais resultados desse estudo foram obtidos através da aplicação de um método morfopedológico cujos princípios foram expostos por Kilian (1972), em seguida redefinidos e adaptados ao contexto de um estudo geomorfológico voltado para a pesquisa fundamental (Bétard, 2007). Com o objetivo de tornar os resultados mais perceptíveis, nós separamos os

dados geomorfológicos dos dados pedológicos, antes de proceder à interpretação mais global dos fatos observados.

### 3. Dados geomorfológicos

Os levantamentos de campo realizados no maciço de Baturité (Ceará) permitiram reconhecer modelados originais, habitualmente descritos apenas para o sudeste do Brasil. Trata-se de relevos em *meia-laranjas* e *pães-de-açúcar*, encontrados nas zonas úmidas e sub-úmidas do maciço de Baturité :

(i) *Meias-laranjas*, de 30 a 50 metros de extensão e de largura hectométrica a quilométrica, caracterizando a topografia de cimeira do maciço de Baturité, onde o clima é úmido (figura 2), fato que constitui um traço comum das regiões tropicais úmidas de embasamento (Raunet, 1985 ; Beudet e Coque, 1994). Ainda que as *meias-laranjas* tenham se transformado em um símbolo emblemático da tropicalidade do Brasil, os inventários existentes sobre a morfologia do maciço de Baturité não mencionam jamais a ocorrência desse tipo de modelado, localmente associada a uma rede de fundos de vales planos, inclusive no que concerne ao volume do Projeto Radambrasil (1981). A carta geomorfológica realizada pela SEMACE para a delimitação da Área de Preservação Permanente – APA no maciço de Baturité (SEMACE, 1992) utilizou inclusive o termo « nível de pedimentação » e « vales pedimentares » para descrever a rede de fundos de vale planos que se situam uniformemente no sopé das *meias-laranjas*. Considerar, a partir desses trabalhos da SEMACE, que existe alí um ‘nível de pedimentação », não é aceitável, em se condierando o contexto morfopedológico e bioclimático, pois os fundos de vale planos não têm nada de um pedimento. Se o termo pode não convir, ele pelo menos sugere um processo de evolução geomorfológica comandada por um recuo das vertentes íngremes das *meias-laranjas*, paralelas à elas mesmas. Esse tipo de evolução lembra claramente os procesos de redução de *meias-laranjas* descritos na Índia, onde os fundos de vales planos se alargam correlativamente até atingir larguras superiores a 1 km, em um contexto bioclimáticos, litológico e morfotectônico similar (Gunnell e Bourgeon, 1997). Em um clima úmido, a retirada de material do sopé da vertente pelas variações sazonais do lençol freático é com efeito susceptível de garantir o

solapamento lateral das vertentes das colinas convexas e a exportação dos detritos finos em direção às áreas rebaixadas adjacentes, formando os fundos de vales.



**Figura 2 – 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 (maciço de Baturité, Ceará). Observar o ângulo de concordância brutal entre as vertentes das colinas convexas e os fundos de vales planos, e a ausência de dissecação por escoamentos concentrados no fundo de vale. Foto F. Bétard.

(ii) Os **pães-de-açúcar** podem atingir 100 a 200 metros de largura e se encontram em um estágio intermediário de dissecação periférica do maciço montanhoso, com clima tropical sub-úmido, no entorno da zona de meias-laranjas. Correspondendo geralmente à volumes rochosos pouco divididos do embasamento cristalino, os domos rochosos são inscritos preferencialmente no complexo migmatítico da Unidade Canindé, que se estende ao norte do maciço de Baturité, assim como de certos gnaisses maciços da borda dissecada oriental. Os seus contornos planos são controlados por uma rede de fraturas multidirecionais, particularmente densa ao norte do maciço, onde os *pães-de-açúcar* são mais numerosos. Eles não podem ser considerados como *inselbergs* ou *bornhardts*, termos que devem ser reservados aos relevos isolados que se sobressaem de grandes superfícies planas (Peulvast e Vanney, 2001; Lageat e Gunnell, 2001). Nada do gênero ocorre aqui, pois os domos rochosos formam relevos salientes no seio de uma zona profundamente dissecada, sendo, em em consequência, classificados como *pão-de-*

*açucar* - modelado rochoso que caracteriza normalmente as montanhas dissecadas ou os rebordos de blocos cristalinos vigorosamente soerguidos.

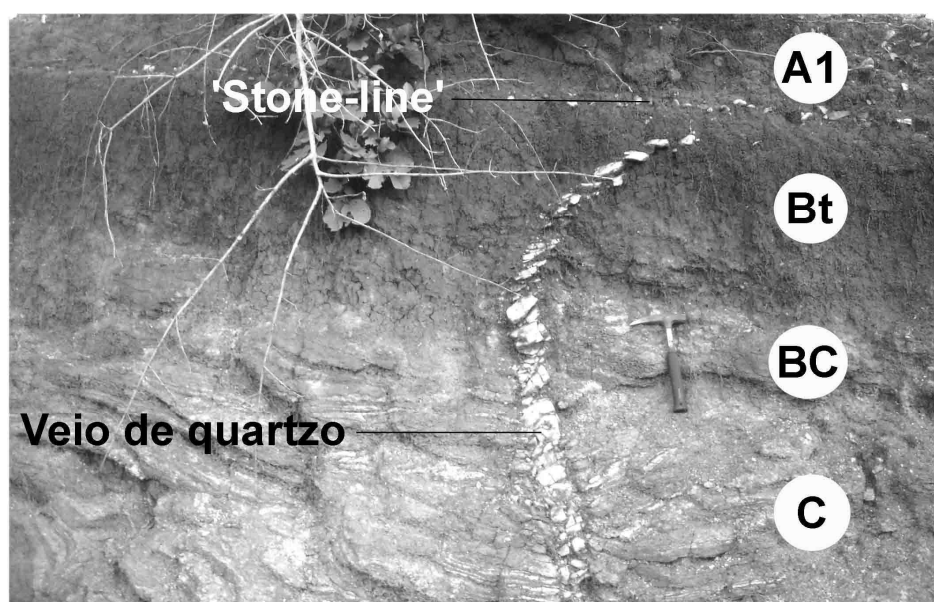
#### 4. Dados pedológicos

A pedogênese desenvolvida no embasamento na região de Baturité é geralmente primária, isto é, sem marcas aparentes de heranças ou polifases evolutivas. Todos os solos resultam de uma pedogênese *dissociativa*, isto é, caracterizada por uma migração de argilas no seio de perfis (lessivagem), conduzindo à formação de horizontes Bt. Três grandes tipos de solos (classificados segundo SiBCS, 2005) ocorrem nas partes bem drenadas da paisagem :

(i) Na zona úmida do maciço de Baturité ( $P > 1300$  mm ;  $D_c > 500$  mm), os solos desenvolvidos nas meias-laranjas são *Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos*, cuja fraca CTC ( $< 16$  cmol(+).kg<sup>-1</sup> de argila), a associação mineralógica caolinita/gibbsite e a cor ocre devido à presença de óxidos de ferro cristalizados (goetita) sublinham incontestavelmente características « ferralíticas ». Em consequência, o principal processo pedogenético, engendrado pela drenagem profunda e elevada que caracteriza essa zona, é a « ferrilitização », mesmo se essa última seja pouco intensa em razão da persistência de fenômenos superficiais de lessivagem ;

(ii) Na zona semi-árida do sopé ( $P < 900$  mm ;  $D_c < 50$  mm), os solos dos interflúvios preservados da erosão são os *Luvissolos crômicos*, marcados por uma forte CTC ( $> 27$  cmol(+).kg<sup>-1</sup> de argila) e apresentam também traços de lessivagem. A abundância dos minerais 2/1 (ilitas e argilas hidratáveis) e a forte liberação do ferro (hematita) que colore vivamente em vermelho os horizontes B e BC, sublinham dessa feita características claramente « fersialíticas » (figura 3). A *fertisialização* representa um processo pedogenético normalmente citado nas regiões de clima mediterrâneo com estação seca bem delimitada, mas que pode também se desenvolver em meio tropical, como foi definido anteriormente em Angola (Botelho da Costa, 1959) e depois na Índia (Bourgeon, 1992), em condições de drenagem climática nula ou reduzida ;

(iii) Na zona de transição sub-úmida ( $900 < P < 1300$  mm ;  $50 < Dc < 500$  mm), intermediária entre as duas zonas acima descritas, os solos dos interflúvios normalmente drenados são os *Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos*, cuja correlação espacial com a drenagem climática é elevada. Suas características químicas (fraca CTC e taxa de saturação elevada) e mineralógicas (mistura de minerais 1/1 e 2/1) são intermediárias entre os solos *desaturados* da zona úmida e os solos *saturados* da zona semi-árida. Caracterizados por revestimentos argilosos abundantes, prova de uma lessivagem mais acentuada que nas duas extremidades climáticas, os solos aqui são ainda vivamente vermelhos. Como a floresta semi-decídua que eles sustentam, esses solos lixiviados se apresentam como solos de *transição* ente a via *fersialítica* e a via *ferralítica* da pedogênese.



**Figura 3** – Corte em um perfil vertical de *Luvissolo crômico* típico, localizado no terço superior de um interflúvio da superfície de piso semi-árida, ao sul de Canindé (Ceará). Trata-se de um solo evoluído tendo todas as características de uma pedogênese fersialítica : (1) forte liberação do ferro, refletida pela cor marrom avermelhada (5 YR 4/4 úmido) do horizonte Bt ; (2) quantidades importantes de minerais argilosos 2/1, confirmadas por análise DRX. 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.



## 5. Discussão e conclusão

A evolução geomorfológica do modelado multiconvexo da zona de cimeira do maciço de Baturité resulta de um equilíbrio dinâmico. Causa espécie a ocorrência e a permanência desse equilíbrio dinâmico em uma altitude de 900m, encravado acima da superfície de aplainamento semi-árida, em litologias gnáissicas que não são fundamentalmente diferentes daquelas encontradas no sopé do relevo montanhoso. Mas, à luz de dados morfoestruturais, pode-se claramente compreender a modéstia da incisão vertical e a manutenção do modelado em *meias-laranjas* na cimeira do maciço montanhoso, preservado da erosão regressiva pelas múltiplas bandas de quartzito resistente que entrelaçam o maciço. Esses quartzitos, assim como as diversas bandas de gneiss maciços, atuam como um limite (controle) rochoso ou uma barragem estrutural (*knickpoints*), favoráveis aos fenômenos de « resistência morfológica » (Brundsen, 1993). Ao contrário, a zona de dissecação periférica e seus *pães-de-açúcar* traduzem a progressão de uma erosão regressiva no coração do maciço montanhoso até os setores de *knickpoints* que delimitam a zona das meias-laranjas.

Com material semelhante, as principais variações pedológicas encontradas na região de estudo parecem perfeitamente refletir o forte gradiente pluviométrico observado entre o maciço de Baturité e seu sopé, confirmando em um outro ambiente a continuidade que existe entre a pedogênese *fersialítica* e a pedogênese *ferralítica* em meio tropical (Bourgeon e Pédro, 1992). Essa sucessão de tipos de solos, presente em curtas distâncias (<20 km), se realiza sem transição para uma cobertura pedológica com *ferruginação* acentuada, o que constitui uma originalidade em relação ao modelo zonal clássico encontrado na África. Uma das particularidades da cobertura pedológica da zona estudada é também apresentar importantes superfícies de solos fersialíticos tropicais (*Luvisolos crômicos*), o que se estimava até o presente momento, mundialmente, pouco desenvolvidas nos Trópicos. De acordo com Burgeon (1992), a pedogênese *fersialítica* em meio tropical é uma pedogênese *primária*, essencialmente controlada pelo clima (e notadamente pelo pedoclima, caracterizado por uma drenagem climática fraca ou nula) e secundariamente, pela litologia (rochas indiferenciadas do embasamento cristalino). Essas condições estão claramente presentes no embasamento cristalino do *sertão* brasileiro, o qual é desprovido de heranças caoliníticas e caracterizado pela ocorrência de drenagem profunda nula ou reduzida.

## Bibliografia

- Beaudet, G., Coque, R. (1994) Reliefs et modelés des régions tropicales humides : mythes, faits et hypothèses. *Annales de Géographie*, 577:227-254.
- Bétard, F. (2007) *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 Doct., Université Paris-Sorbonne, 442 p.
- Botelho da Costa, J.V. (1959) Ferralitic, tropical fersiallitic and tropical semi-arid soils. Definitions adopted in the classification of the soils of Angola. *C-R. de la 3<sup>e</sup> conférence interafricaine des sols*, 91:317-319.
- Bourgeon, G. (1992) *Les "sols rouges" de l'Inde péninsulaire méridionale : pédogenèse fersiallitique sur socle cristallin en milieu tropical*. Publ. du département d'écologie, Pondichéry, 31, 271 p.
- Bourgeon, G., Pedro, G. (1992) 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.
- Brundsen, D. (1993) The persistence of landforms. *Z. Geomorph., Suppl. Bd.*, 93:13-28.
- CPRM (2003) *Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará. Mapas na escala 1:500,000*. Serviço Geológico do Brasil, CD Rom.
- Gunnell, Y., Bourgeon, G. (1997) Soils and climatic geomorphology on the Karnataka Plateau, peninsular India. *Catena*, 29:239-262.
- Kilian, J. (1972) Les inventaires morphopédologiques, conceptions, applications au développement agricole. *L'Agronomie Tropicale*, 27(9):930-938.
- Lageat, Y., Gunnell Y. (2001) Landscape development in tropical shield environment. In GODARD, A., LAGASQUIE, J.J., LAGEAT, Y. (org.) *Basement regions*. Springer, Berlin, New York:173-197.
- Matos, R.M.D. (2000) Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic. In *Atlantic Rifts and continental margins*, Geophys. Monograph, 115, Am. Geophys. Union:331-354.
- Peulvast, J-P., Vanney, J.R. (2001) *Géomorphologie structurale, tome 1. Relief et structure*. Gordon & Breach, Paris, et BRGM Editions, Orléans, 504 p.
- Projeto Radambrasil (1981) *Levantamento integrado dos recursos naturais do Brasil. Folha Jaguaribe-Natal*. Ministério das Minas e Energia-MME, Rio de Janeiro, 740 p.
- Raunet, M. (2005) Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar : géomorphologie – géochimie – pédologie – hydrologie. *Z. Geomorph., Suppl.-Bd*, 52:25-62.
- SEMACE (1992) *Zoneamento ambiental da APA da Serra de Baturité : diagnósticos e diretrizes*. Fortaleza, 136 p.
- SiBCS (2005) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2<sup>a</sup> edição, EMBRAPA, Rio de Janeiro, 360 p.
- Souza, M.J.N., Oliveira, V.P.V. (2006) Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste brasileiro. *Mercator*, 9:85-102.