

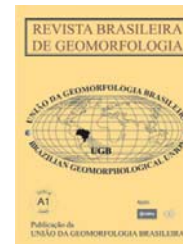


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 2 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.801>



# GEOMORFOLOGIA DOS MACIÇOS DE PORTALEGRE E MARTINS – NE DO BRASIL: INVERSÃO DO RELEVO EM ANÁLISE

## GEOMORPHOLOGY OF PORTALEGRE AND MARTINS MASSIVES - NE BRAZIL: RELIEF INVERSION IN ANALYSIS

**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*

**François Bétard**

*Departamento de Geografia, Universidade Paris-Diderot  
UMR CNRS 8586 PRODIG, cedex 13, Sorbonne Paris Cité, Paris, CEP: 75205, França  
Email: francois.betard@univ-paris-diderot.fr*

**Francisco Hilário Rêgo Bezerra**

*Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Av. Senador Salgado Filho, Natal, Rio Grande do Norte, CEP: 59.072-970, Brasil  
Email: bezerrafh@geologia.ufrn.br*

### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
24/10/2015  
Aceito (Accepted):  
21/04/2016

### Palavras-chave:

Geomorfologia; Inversão do relevo; Portalegre; Martins.

### Keywords:

Geomorphology; Relief inversion; Portalegre; Martins.

### Resumo:

Os processos que levam à inversão do relevo podem ocorrer quando há um alçamento de uma determinada superfície pela tectônica ou pela erosão diferencial. Nesse processo, antigas áreas agradacionais podem ser alçadas a cotas elevadas, transformando baixos em altos topográficos. Níveis sedimentares preservados sobre superfícies elevadas podem constituir importantes indicadores de processos de inversão do relevo, uma vez que constituem um antigo nível de base deposicional. No Nordeste Brasileiro, alguns maciços cristalinos apresentam-se parcialmente recobertos pela Formação Serra dos Martins (FSM), que constitui uma unidade sedimentar cenozoica de origem continental situada entre as cotas 650 e 700m. Os sistemas deposicionais da FSM já são bem conhecidos, mas sua cronologia ainda é fruto de discussões que embasam diferentes modelos de evolução geomorfológica. Nesse trabalho foram analisados diferentes aspectos da evolução geológica e geomorfológica em contraposição às tentativas de posicionamento cronológico absoluto e relativo da FSM. A partir da correlação entre dados cartográficos, altimétricos e estruturais com dados bibliográficos (termocronológicos com as taxas de delaminação crustal e de deslocamento vertical da crosta), fora proposto um modelo de evolução geomorfológica baseado na erosão diferencial do embasamento. Nesse sentido, as reativações tectônicas cenozoicas ao longo da zona de cisalhamento Portalegre (CZP) e o soergimento cenozoico resultante do vulcanismo neógeno (underplating) contribuíram para a

alteração dos níveis de base de erosão levando à dissecação. A resistência associada à litologia granítica das suítes intrusivas contribuiu para a erosão diferencial do embasamento circunjacente, levando a inversão do relevo que resultou na elevação da FSM as suas cotas atuais.

#### **Abstract:**

Relief inversion occurs due to either uplift or differential erosion of a certain region. In this process, ancient agradational areas could be uplifted, which transform low-lying lands in high-lying lands. In this context, sedimentary units that are preserved at high-altitude areas could be seen as important indicators of uplift, as they correspond to ancient depositional base levels. In northeastern Brazil, several crystalline massifs are capped by the Serra do Martins Formation (FSM), which represents a continental sedimentary unit located between 650 m and 700 m. The depositional systems of the FSM are well established, but its chronology is still a matter of debate, which have influence the proposition of different geomorphological models. This study analyzes different geological and geomorphological features of this unit taking into account its relative and absolute chronology. A differential erosion model for the crystalline basement was proposed, which was based on the correlation among cartographic, altimetric, and structural data from the field and thermochronological data from the bibliography. We conclude that Cenozoic brittle reactivations of the ductile Portalegre shear zone and the regional uplift related to Neogene underplating contributed to uplift of base levels, which could have caused widespread erosion. In addition, the erosional resistance of granitic areas caused differential erosion of the crystalline basement, which also contributed to the inversion of the Serra do Martins Formation.

## **1. Introdução**

A inversão do relevo pode ser entendida como um processo de elevação regional acompanhado de exumação (BRODIE e WHITE, 1995). Tal processo ocorre quando áreas agradacionais tornam-se mais resistentes à erosão que a litologia das áreas circunjacentes (PAIN e OLLIER, 1995) deixando-as, ao longo da evolução geomorfológica, mais elevada que seu entorno (OLLIER e GALLOWAY, 1990). Assim, uma área rebaixada, como um vale que recebe a drenagem regional, pode tornar-se ao longo da evolução geomorfológica um centro dispersor, como um alto topográfico.

No nordeste brasileiro, vários trabalhos atestam os efeitos dos processos de inversão do relevo, sejam de ênfase estrutural a partir da análise da resposta no relevo às reativações tectônicas, sejam enfatizando o papel exercido pela erosão diferencial do embasamento. Destaca-se nesse aspecto os trabalhos inversão estrutural e topográfica no Maciço de Pereiro (GURGEL *et al.*, 2013), Bacia Potiguar (MAIA e BEZERRA, 2014), Araripe (MARQUES *et al.*, 2014) e Rio do Peixe (NOGUEIRA *et al.*, 2015). Além destes, destacam-se trabalhos de soerguimento regional e erosão diferencial, incluindo a área da Bacia do Araripe (PEULVAST e BÉTARD, 2015).

Não obstante, a compreensão acerca da evolução geomorfológica dos maciços cristalinos carece de da-

dos que subsidiem uma interpretação morfogenética. Sobretudo dados acerca das taxas de denudação do embasamento, do controle litológico exercido sobre a dissecação e sobre o papel das reativações tectônicas no rejuvenescimento do relevo.

Nesse contexto, os maciços cristalinos resguardam em sua morfologia importantes indicadores de evolução morfotectônica e morfoclimática, dispondo-se na maioria dos casos como formas alongadas ou fortemente dissecadas por vales incisivos. Sua evolução geomorfológica aparentemente é condicionada pela erosão diferencial e em alguns casos, por processos tectônicos. Dessa junção resultam maciços delimitados por escarpas orientadas nas direções dos *trends* estruturais (MAIA e BEZERRA, 2014).

O presente trabalho abordará aspectos da evolução geomorfológica dos maciços de Portalegre e Martins, localizados no estado do Rio Grande do Norte, a partir dos dados de pesquisas acerca de caracterização sedimentológica da Formação Serra do Martins - FSM (MENEZES, 1999), dos dados estruturais de reativação frágil ao longo da Zona de Cisalhamento Portalegre - ZCP (BARROS, 1998; NÓBREGA, 2004), e das idades obtidas por datação absoluta, (MORAIS NETO *et al.*, 2008; LIMA, 2008). Essas informações foram correlacionadas com a evolução geomorfológica utilizando-se para tanto, pesquisas nas bacias circunja-

centes (GURGEL *et al.*, 2013; MAIA e BEZERRA, 2014; MARQUES *et al.*, 2014; NOGUEIRA *et al.*, 2015; PEULVAST e BÉTARD, 2015).

## 2. Localização e caracterização

Os maciços de Portalegre e Martins estão situados na porção ocidental do estado do Rio Grande do Norte a norte do maciço da Borborema (Figura 1). Estes de maciços cristalinos têm 700 m de altitude e são circundados por depressões sertanejas situadas entre 180 e 250 m.

A Província Borborema compõe um escudo cristalino estabilizado desde a Orogênese Brasileira-Panafricana – 640/580Ma (BRITO NEVES *et al.*, 2000). Trata-se de terrenos compostos por maciços cristalinos arqueanos a mesoproterozoicos aglutinados entre cinturões de dobramento meso a neoproterozoicos,

cortados por um grande número de intrusões graníticas e controlados por um complexo sistema de zonas de cisalhamento dúcteis de direções NE-SW e E-W (VAUCHEZ *et al.*, 1995; VAN SCHMUS *et al.*, 2003). Estas zonas de cisalhamento são condutos por onde pode circular um grande volume de fluidos (TRINDADE *et al.*, 2008). Assim, um grande número de granitos orogênicos é interpretado como resultado da intrusão em regiões distensionais associadas às estruturas tectônicas locais e regionais (NEVES, 2012).

Vários exemplos de intrusões ao longo de zonas de deformação podem ser encontrados no setor setentrional da Província Borborema, ao norte do lineamento Patos (VAN SCHMUS *et al.*, 1995). Geralmente essas áreas sustentam maciços situados em cotas que variam de 500 a 800m de altitude.

Especificamente, os maciços de Portalegre e Mar-

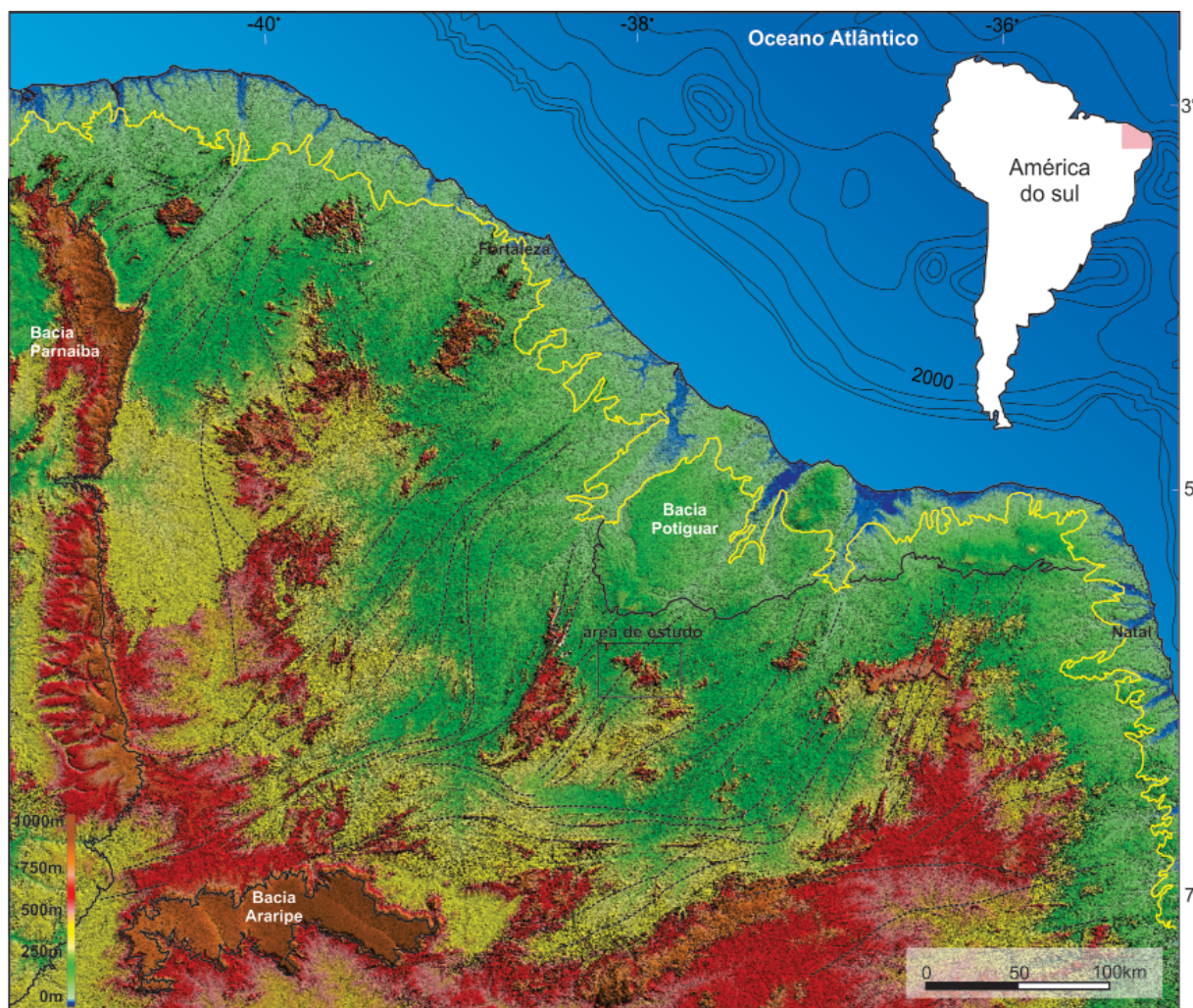


Figura 1 - Localização da área de estudo. Traço preto: bacias sedimentares, Traço amarelo: Depósitos cenozoicos, Pontilhado preto: Zonas de cisalhamento pré-cambrianas. (Elaborado a partir de edição de imagem SRTM).

tins ocorrem na área das suítes intrusivas Itaporanga e Poço da Cruz (Figura 2). As suítes intrusivas correspondem a um conjunto de rochas graníticas, sinorogênicas de idade brasileira (ANGELIM *et al.*, 2006). Sobre as suítes intrusivas, ocorre a unidade sedimentar FSM que correspondem a arenitos fluviais capeados por uma duricrosta laterítica.

Sobre essa formação, Menezes e Lima Filho (1997) e Menezes (1999), através da descrição faciológica e da elaboração de perfis de empilhamento vertical dos estratos e suas variações laterais, revelaram que a Formação Serra dos Martins deriva de um sistema fluvial meandrante. Esse sistema é representado principalmente por depósitos de fundo de canal, preenchimento de canal, extravasamento de canal e planície de inundação, afetados por deformação frágil (BARROS, 1998).

O posicionamento estratigráfico desta unidade sedimentar foi estabelecido através de relações indiretas com sedimentos potencialmente cronocorrelatos da Bacia Potiguar (BARROS, 1998; MENEZES, 1999) ou com o vulcanismo álcalibasáltico cenozoico (MORAIS NETO e ALKIMIN, 2001). Em consequência, a FSM, essencialmente continental, tem sido considerada como o equivalente proximal dos sedimentos plataformais das formações Tibau-Guamaré (MENEZES, 1999), as

quais constituem a plataforma mista da megasequência regressiva da Bacia Potiguar submersa (SOARES *et al.*, 2003). No entanto, a divisão da megasequência regressiva em pacotes distintos, com idade variando do Mesocampaniano ao Mioceno (PESSOA NETO *et al.*, 2007) dificulta uma correlação mais precisa, já que os remanescentes continentais são desprovidos de fósseis que permitam estabelecer relações cronológicas com as sequências da porção submersa.

A ausência de marcadores cronológicos precisos na FSM levou a muitas interpretações sobre a evolução geomorfológica da região, que foram baseadas principalmente em processos morfoclimáticos. Atualmente, a partir de dados de traços de fissão em apatita (AFTA), MORAIS NETO *et al.* (2008) sugere que a FSM foi depositada entre 64 e 25Ma (intervalo Paleoceno – Oligoceno). Já as idades propostas por Lima (2008) através do método (U-Th)/He, obtidas nas amostras de óxidos/hidróxidos de ferro provenientes dos platôs da FSM indicam uma idade mínima de 20Ma para a deposição dos sedimentos desta formação. Corroborando com essas idades o trabalho de Luz *et al.* (2015) ao sugerir que denudação pós-cretácea do maciço da Borborema teria fornecido os arenitos e conglomerados paleógenos onde encontra-se as unidades sedimentares da FSM.

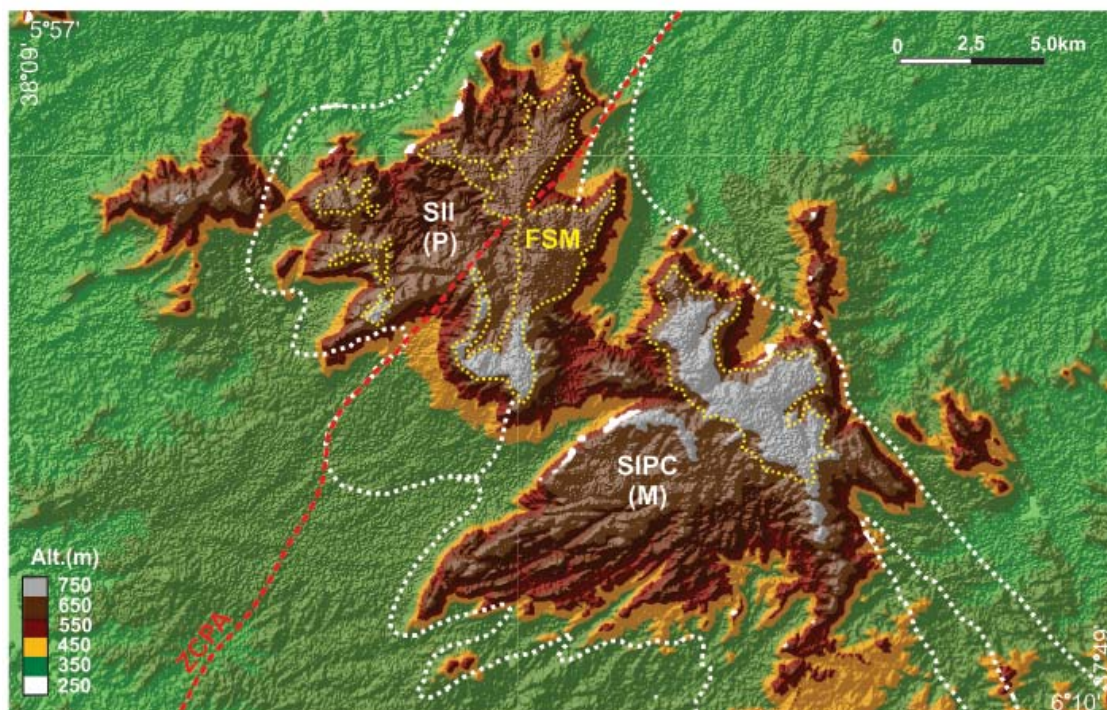


Figura 2 - Fusão entre Geologia simplificada e relevo. ZCP: Zona de cisalhamento Portalegre (pontilhado vermelho), FSM: Formação Serra dos Martins (demarcada por pontilhado amarelo), SII: Suíte intrusiva Itaporanga e SIPC: Suíte intrusiva Poço da Cruz (ambas demarcadas por pontilhado branco) (P): Maciço de Portalegre, (M) Maciço de Martins.

Os platôs situam-se na ordem de 700 m de altitude, delimitados por escarpas íngremes que ocorrem com maior frequência na direção NE-SW. Ambos os maciços apresentam-se parcialmente recobertos por arenitos laterizados da FSM o que lhes confere topo plano. Do ponto de vista geomorfológico, esta formação ocorre como chapadas com escarpas abruptas e contornos irregulares. No geral, formam dois blocos elevados individualizados por vales incisos de direção NE-SW, que corresponde à direção estrutural da ZCP.

Esses platôs possuem regimes de chuva mais abundantes em virtude do fator orográfico, fato que se reflete na formação de solos mais desenvolvidos, bem como sobre as comunidades vegetais, onde podem ser comuns espécies dos domínios florísticos da Mata Atlântica e do Cerrado. Essas áreas, cuja vegetação é determinada pela maior altitude do relevo, são denominadas enclaves úmidos e possuem um ambiente ecológico distinto ao das áreas depressivas que os rodeiam (BÉTARD e OLIVEIRA, 2006).

### 3. Métodos

A metodologia empregada neste trabalho consistiu primeiramente em detalhada revisão bibliográfica acerca de informações geológicas e geomorfológicas que pudessem embasar um modelo de evolução geomorfológica para os maciços de Portalegre e Martins. Utilizou-se nesse trabalho a análise de informações geológicas e geomorfológicas em ambiente SIG, a partir do mapa de geologia do Rio Grande do Norte (ANGELIM *et al.*, 2006). Também foi realizada a correlação entre o limite das unidades geológicas e suas relações com as principais feições de relevo. Essa correlação permitiu associar as formas de relevo, seus padrões e densidade de ocorrência com as diferentes unidades litológicas dos Batólitos de Itaporanga e Poço da Cruz. Para análise estrutural foi feito um mapa de lineamentos que permitiu a correlação entre os padrões de fraturamento e do embasamento encaixante. Os padrões de lineamentos foram correlacionados com feições estruturais do relevo regional como alinhamento de escarpas e vales incisos que caracterizam a morfologia dos maciços de Portalegre e Martins. Os trabalhos de campo e reconhecimento objetivaram a identificação e caracterização das principais formas de relevo em escala de detalhe.

Esse trabalho contou ainda com o processamento digital de imagens de composições coloridas utilizan-

do-se as bandas espectrais do Sensor TM – Landsat 5. Essas composições subsidiaram a elaboração de um mapa de lineamentos objetivando estabelecer conexões entre geomorfologia, controle estrutural, e a direção NE-SW da ZCP. Foi realizado trabalho de reclassificação de imagem segundo dados de altimetria utilizando-se dados SRTM e ASTER GDEM. Os blocos diagramas e a interpretação geomorfológica deram suporte à representação tridimensional acerca da evolução do relevo.

### 4. Análise da morfologia e estrutura dos maciços

A análise da morfologia e da estrutura dos maciços foi individualizada em dois tópicos principais. O primeiro refere-se aos controles morfoestruturais sobre o relevo, com base nos dados de reativação pós-rifte da ZCP. O segundo tópico refere-se à erosão diferencial e ao controle litológico sobre o relevo. Ambos os processos foram responsáveis pela erosão do embasamento circunjacente que conduziram a inversão do relevo.

#### 4.1 Controles estruturais:

Na área de estudo os lineamentos de direção NE-SW pertencentes à ZCP, em alguns casos, representam a expressão em superfície, da deformação brasileira de caráter dúctil/rúptil reativadas no Cretáceo e no Cenozoico. Esses lineamentos compreendem *trends* de falhas que exercem uma importante influência no controle estrutural de drenagem, na dissecação e na deposição quaternária. Exemplos dessa disposição morfoestrutural são comumente encontrados nas áreas erosionais representadas pelas depressões sertanejas e na orientação das escarpas dos maciços cristalinos.

O condicionamento dos processos erosivos ao longo da ZCP originou os vales de direção NE-SW ao norte e ao sul do maciço de Portalegre (Figuras 2, 3 e 4).

Tomando como referencia a ZCP para individualização dos segmentos E e W dos maciços de Portalegre e Martins, observa-se que há um deslocamento vertical de aproximadamente 100 m do bloco E em relação a W (Figura 4). Nóbrega *et al.* (2005), baseados em dados de traços de fissão em apatitas, demonstraram que há desde o Cretáceo, soerguimento do bloco E e abatimento do bloco W. Abatimento este responsável pelo gráben que originou a Bacia Potiguar ao norte. Para o Cenozoico, os mesmos autores observaram que ambos os blocos tiveram uma história evolutiva similar desde o Neógeno,

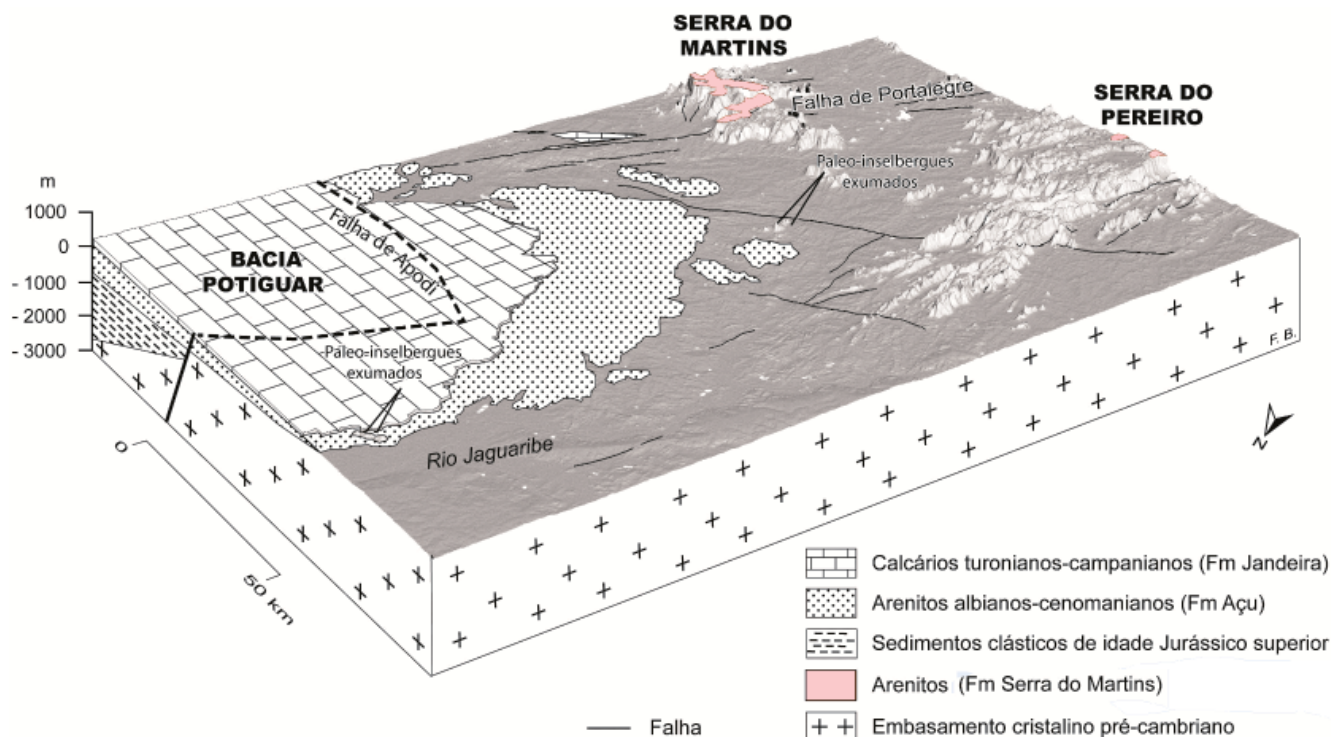


Figura 3 - Bloco Diagrama Morfoestrutural

com soerguimento e erosão, embora a taxa de denudação/resfriamento no bloco leste seja mais acentuada.

Outro ponto relevante a ser considerado foi o último episódio de vulcanismo que se estabeleceu na província Borborema. Trata-se do vulcanismo Macau de idade Neógena. Essa atividade vulcânica pode ter sido, segundo Oliveira e Medeiros (2012), a causa da epirogenia neógena que originou o maciço da Borborema assim como os diversos maciços que a rodeiam. Isso teria ocorrido a partir do aprisionamento de magma no limite da raiz da litosfera e da crosta continental, gerando uma assimilação subsuperficial de magma (*underplating*). Como resultado da diferença de densidade, a área do Planalto da Borborema foi alçada por empuxo devido ao *underplating*.

A mudança de ambiente agradacional para erosivo pode ser atribuída a esse soerguimento, que favoreceu a dissecação o relevo regional segundo os planos estruturais definidos pela ZCP. A erosão diferencial que se estabeleceu distinguiu o embasamento metamórfico encaixante do núcleo intrusivo representado pelas suítes Itaporanga e Poço da Cruz. Ainda quanto ao fator ligado à resistência litológica, o capeamento arenítico laterizado contribuiu para a manutenção geomorfológica do topo que atualmente demarca a paleosuperfície agrada-

cional da FSM. Outra hipótese levantada por Peulvast e Claudino Sales (2004) e Peulvast *et al.* (2008), incorpora também os efeitos do rifting do Cretáceo Inferior. As Serras do Martins e Portalegre são interpretadas nessa proposta, como vestígios de erosão do ombro sul do rift Potiguar. Dessa forma, o soerguimento do Neógeno associado ao efeito de *underplating* seria uma extensão e aceleração do soergimento pós-rift, começado desde ao Cretáceo (PEULVAST *et al.*, 2008). A partir de análises de traços de fissão de apatita Morais Neto *et al.* (2009) revelaram a existência de dois episódios de resfriamento: o primeiro com idades de 100-90 Ma (Cretáceo Inferior) e o outro com idades de 20-0 Ma (Neógeno). O primeiro evento foi associado ao soerguimento e denudação da topografia regional após o *breakup* continental. O segundo evento foi associado a mudanças climáticas que acentuaram a erosão dos níveis crustais mais rasos, levando deposição de sedimentos da Formação Barreiras ao longo da costa.

A erosão diferencial é responsável pela inversão do relevo, contudo as reativações cenozoicas da ZCP soergueram o bloco E originando assim o segmento mais elevado dos maciços de Portalegre e Martins. No bloco W, a FSM situa-se entre as cotas 500 e 600m, podendo chegar até 650m. No segmento E, a Formação Serra dos

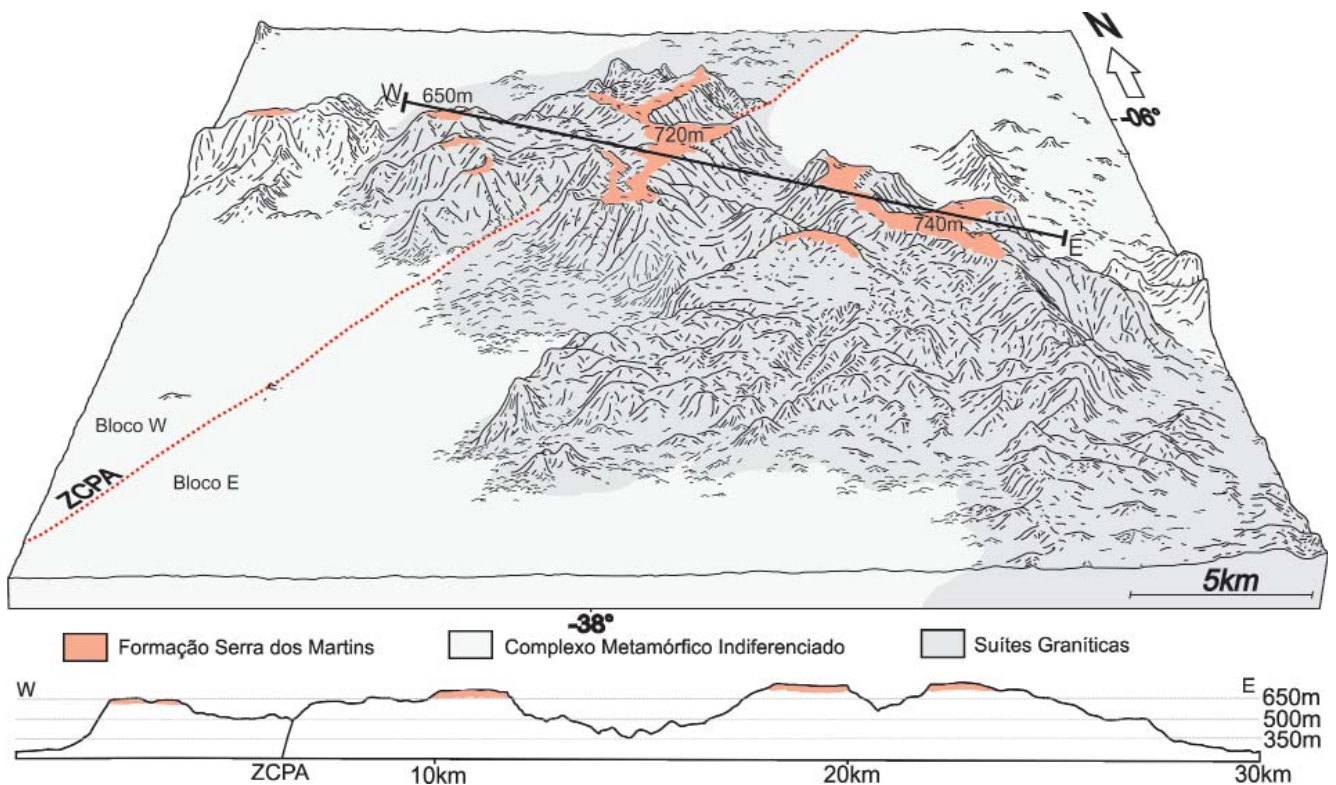


Figura 4 - Bloco Diagrama dos Maciços de Portalegre e Martins. Os dados referentes às cotas baseiam-se nas máximas altitudes da FSM.

Martins atinge os 740m. Esse desnível demonstra que a componente normal associada à ZCP no Cenozoico não teve a mesma intensidade do Cretáceo, período em que as bacias sedimentares do Nordeste setentrional foram geradas. O deslocamento vertical de aproximadamente 100m entre os blocos E e W é compatível com as taxas de movimentação das falhas neotectônicas do Nordeste Brasileiro verificadas por Bezerra *et al.* (2001) e Nogueira *et al.* (2010).

Além do alçamento tectônico é preciso destacar o controle estrutural exercido sobre a dissecação que segue os planos de deformação brasileiros. Isso ocorre a partir erosão dos cataclastos e/ou milonitos associados à ZCP originando feições de relevo NE-SW. Nessas feições incluem os vales incisos e as escarpas (Figura 5).

#### 4.2 Exumação de zonas de cisalhamento brasileiras

Extensas zonas de cisalhamento transcorrentes brasileiras seccionam a Província Borborema nas direções E-W e NE-SW. Estas zonas, em geral, controlam o alojamento de diversos corpos granitoides (NASCIMENTO, 1998). Disso decorre o caráter do relevo ser comumente disposto em sequências de cristas e vales

orientados segundo os *trends* de lineamentos (MAIA e BEZERRA, 2014). Esses *trends* são representados por planos de foliação regional ou milonítica verticalizados, cristas quartzíticas ou de micaxistos e intrusões graníticas alinhadas. Assim originam-se lineamentos de resistência diferenciada da denudação geoquímica ou física, favorecendo através da erosão diferencial o desgaste das faixas menos tenras. Esta erosão ocorre segundo os planos de deformação e o contato de corpos intrusivos, que passam a ser expressos no relevo como cristas residuais de origem estrutural.

O resultado final da atuação da erosão é o desaparecimento do relevo e o retorno da crosta a sua espessura inicial, anterior ao evento deformacional. Isso implica entre outras coisas, em que o substrato de subsuperfície aparecerá em superfície (ARTHAUD, 2007). Dessa forma a erosão de zonas de cisalhamento dúcteis pré-cambrianas conduz a progressiva exumação de maciços cristalinos. Essa exumação possibilitou através da erosão diferencial a formação de lineamentos geomorfológicos dispostos em formas lineares positivas e negativas associadas aos planos de deformação brasileira.

Os planos de deformação brasileira condicionam



Figura 5 - Escarpa na Serra dos Martins – RN

em escala regional diversas morfologias, principalmente aquelas associadas às zonas de cisalhamento dúcteis onde o relevo é caracterizado por cristas simétricas com vertentes de declividade acentuadas dispostas de forma contínua (MAIA e BEZERRA, 2014).

Esse contexto é bem representado nos maciços de Portalegre e Martins onde a exumação dos plútons graníticos (Itaporanga e Poço da Cruz) em zonas de deformação de direção NE-SW originou *trends* de lineamentos que confinam os canais de drenagem orientando a dissecação e por vezes a agradação fluvial. Isso resulta em sequências de cristas e vales que confinam os canais de escoamento, passando esses a serem indicadores dos planos de deformação. Isso se estende para os ambientes de sedimentação na forma de controle sobre a deposição que passa a ocorrer orientada segundo os planos de falhas, formando depósitos encaixados ao longo de calhas estruturais que constituem a expressão geomorfológica da reativação frágil de zonas de cisalhamento transcorrentes.

#### 4.3 Erosão diferencial e inversão topográfica.

Optou-se nesse trabalho pela utilização da teoria de duplo aplainamento de Budel (1982) que ocorre a partir da meteorização e posterior evacuação do manto de alteração expondo o embasamento e originando assim a *etchforma* (TWIDALE e VIDAL ROMANI, 1994).

O conceito de *etchplanação* de Budel (1982) é extensivamente aplicado em áreas tropicais que apresentam sazonalidade e pode subsidiar a interpretação geomorfológica acerca do relevo do ambiente tropical.

Segundo o modelo da *etchplanação*, durante os períodos úmidos há o aprofundamento da alteração, enquanto que a erosão superficial ocorre com maior intensidade durante a estação seca, promovendo a *planação* e, em alguns casos, expondo o *front* de alteração.

A origem dos maciços está associada às características do substrato, referentes às propriedades geoquímicas das rochas que induzem ao aumento da intensidade do intemperismo químico, viabilizando a ação morfogenética por meio dos processos fluviais e movimentos de massa. Esses movimentos de massa promovem o abaixamento do relevo em rochas pouco competentes e as mais resistentes permanecem como sobressaltos topográficos. Para tanto, a alternância entre a alteração geoquímica das rochas e a erosão superficial através da variabilidade climática (BIGARELLA, 2003) faz com que os períodos mais secos ocorram ciclos erosivos com a exposição do saprólito. Este por sua vez apresenta topografia irregular que através da erosão diferencial vai sendo exumado, evidenciando assim os núcleos de granitoides intrusivos na forma de maciços.

O embasamento granítico exposto, uma vez submetido ao progressivo aprofundamento diferencial do *front* de alteração, associado à erosão superficial, faz com que os setores da superfície basal de intemperismo que não sofreram alteração sejam gradativamente alçados à superfície (VITTE, 2005). Dentre os motivos que podem gerar esse alçamento pode-se destacar diferenciação litológica do embasamento.

Nos maciços de Portalegre e Martins, o capeamento da FSM na forma de duricrosta laterítica soma-se ao fator resistência litológica associada aos corpos



intrusivos compondo um duplo fator de resistência à erosão diferencial (Figura 6).

Assim como demonstrado por (BUTT e BRISTOW, 2013) a formação de duricrostas a partir de níveis concrecionários lateríticos pode contribuir com a inversão de relevo e sobretudo na manutenção do topo. Na área de estudo, a crosta ferruginosa que está assentada

sobre os granitos das suítes intrusivas, contituem um duplo fator de resistência colaborando dessa forma para a maior erosão do embasamento circunjacente (Figura 7). Contudo, é importante destacar que a contribuição dessas duricrostas ao processo de inversão é de menor magnitude, cerca de 100 m acima da etchforma correspondendo ao front de alteração exposto.

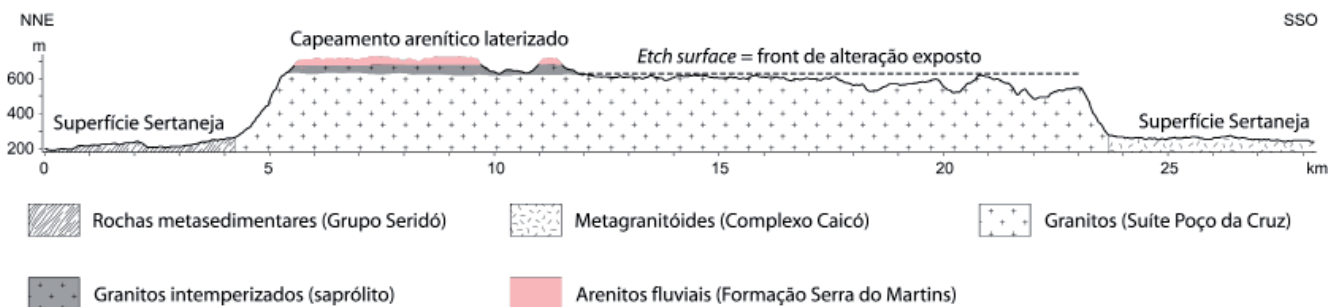


Figura 6 - Perfil Geológico-Geomorfológico

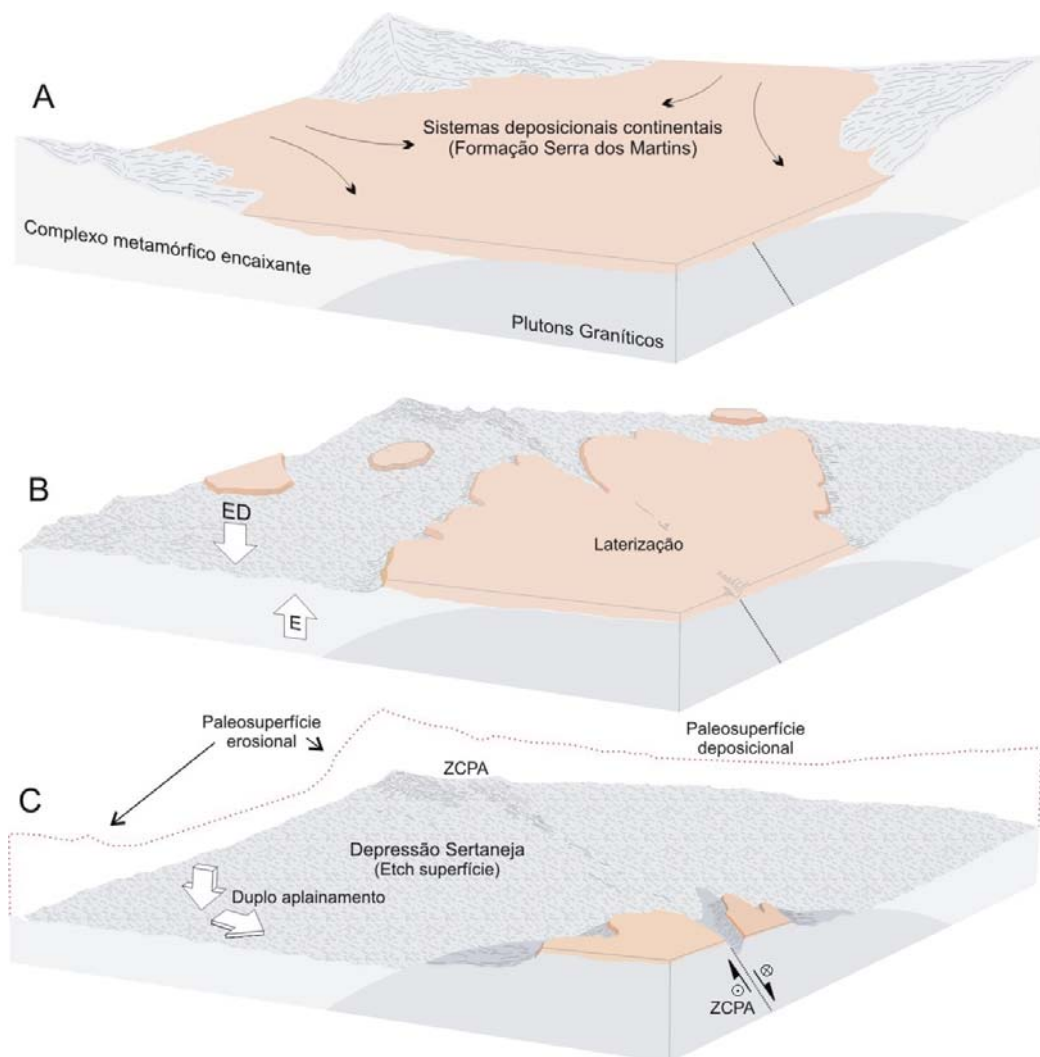


Figura 7 - Síntese evolutiva dos maciços de Portalegre e Martins a partir da inversão do relevo. ED: erosão diferencial, E: epirogênese.

Segundo o modelo representado figura 6 os maciços na forma de platôs constituem formas residuais de um antigo capeamento contínuo, parcialmente dissecado restando apenas alguns testemunhos residuais desconectados em diversos maciços cristalinos situados na porção setentrional do maciço da Borborema.

### 5. Discussões

Os modelos de inversão do relevo baseado na erosão diferencial (PAIN e OLLIER, 1995) ou na inversão tectônica (TURNER e WILLIAMS, 2004), embora distintos, têm como resultado a inversão da topografia regional. Dessa forma, o fator estrutural associado à erosão diferencial do embasamento leva à inversão do relevo a partir dos seguintes pontos: (A) erosão diferencial provocada pela resistência ao intemperismo de unidades litológicas com composição mineralógica distintas, (B) inversão do campo de tensões e reativação de falhas ou de zonas de cisalhamento transcorrentes e (C) soerguimento epigenético regional (Figura 8).

Nos maciços de Portalegre e Martins os remanescentes sedimentares que ocorrem sobre o topo têm sido considerados importantes testemunhos da história cenozoica do nordeste brasileiro, dada sua posição topográfica ser comumente atribuída a episódios de soerguimento Pós-Cretáceo (AB'SABER, 2000). As coberturas são compostas por sedimentos continentais depositados sobre uma superfície de aplainamento regional desenvolvida em rochas cristalinas pré-cambrianas, comumente referida na literatura como “Superfície Sulamericana” (KING, 1956) ou “Superfície da Borborema” (AB'SABER, 1969). Os depósitos sedimentares formam platôs e mesetas homoclinais. A espessura dos pacotes sedimentares varia de alguns metros até algumas dezenas, e sua porção superior encontra-se frequentemente silicificada ou protegida por

duricrostas ferruginosas no topo de perfis lateríticos, ajudando-os a preservá-los da erosão.

Quanto à dissecação resultante do soerguimento epigenético, Oliveira e Medeiros (2012), utilizando-se de dados gravimétricos e magnetométricos para o estudo da isostasia e das causas do magmatismo cenozoico na Província Borborema, atribui o alçamento do Maciço da Borborema ao magmatismo continental cenozoico gerado por um mecanismo de convecção de borda. Tal processo implica na geração de correntes de convecção em pequena escala decorrente da instabilidade no contato entre a crosta continental fria e espessa e o manto adjacente quente. Segundo esse modelo, o magma foi aprisionado no limite da raiz da litosfera e da crosta continental, gerando uma assimilação subsuperficial de magma (*underplating*). Como resultado da diferença de densidade, a área do Maciço da Borborema foi alçada por empuxo devido ao *underplating*. Esse soerguimento de causa epigenética, constituiu possivelmente no principal elemento modificador dos níveis de base de erosão, mudando a FSM de superfície agradacional para uma superfície erosional, induzindo assim a individualização das unidades litológicas por meio da erosão diferencial.

As taxas de erosão crustal no embasamento cristalino definidas por Thomas (1994) são de: 20,8m / Ma (balanço de massa) e 22,5m / Ma (taxas de alteração), respectivamente. Os extremos são 2m / Ma (min) e 48m / Ma (max) para os cálculos de balanço de massa e 2m / Ma a 50m / Ma para os cálculos das taxas de alteração. Isto implica que a gama de taxa de intempérie no embasamento cristalino em diferentes cenários climáticos varia entre 2 e 50m / Ma (OVMO, 2010). Para o Nordeste Brasileiro, mais precisamente área da Bacia do Araripe, os valores estabelecidos por Hegarty et al. (2002) apontam para uma denudação continental

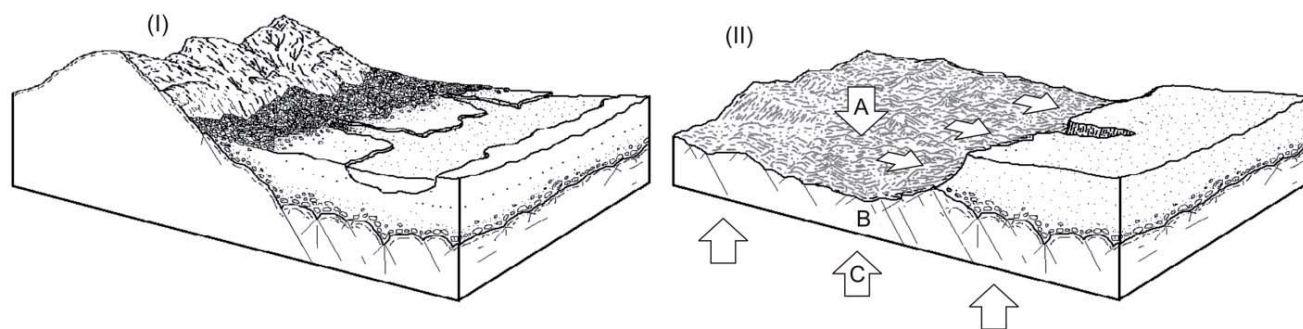


Figura 8 - Modelo de inversão do relevo segundo processos estruturais/denudacionais. (A) Erosão diferencial do embasamento, (B) Reativação frágil (compressional) ao longo da ZCP, (C) Epirogênese (*Underplating*).

resultante de um soerguimento que subtraiu cerca de 1,9km através da delaminação crustal. Dessa forma, considerando uma origem entre o Paleogeno e o Neogeno, segundo dados AFTA (MORAIS NETO *et al.*, 2008, LIMA, 2008) os valores de exumação dos plútons graníticos que sustentam a topografia dos maciços de Portalegre e Martins são compatíveis com os valores de dissecação apresentados em âmbito geral (OVMO, 2010) e local (HEGARY *et al.*, 2002).

#### **Conclusões:**

Conclui-se que a inversão do relevo nos maciços de Portalegre e Martins ocorreu a partir de dois processos principais. 1 – Erosão diferencial do embasamento, 2 – Tectônica sin e pós-rifte.

Os processos de erosão diferencial foram responsáveis pela exumação de estruturas intra crustais como os batólitos. No nordeste brasileiro isso ocorreu com muita frequência ao longo das zonas de cisalhamento transcorrentes, onde o plútons graníticos foram alojados. Essas áreas constituem hoje altos topográficos mantidos por sua litologia mais resistente, normalmente associações litológicas graníticas. Atualmente muitos dos maciços e campos de inselbergues estão associados e exumação de plútons graníticos. Outro fator que corrobora na manutenção da superfície somital é o capeamento arenítico laterizado que recobre ambos os maciços (Portalegre e Martins). Dessa forma, além da resistência litológica associada às suítes intrusivas de Itaporanga e Poço da cruz e o capeamento sedimentar referente à Formação Serra dos Martins, afetado por intemperismo laterítico, auxiliou a manutenção dos topos planos. Na área de estudo a litologia ígnea e o capeamento laterítico constituem os dois fatores contribuíram para a erosão diferencial e manutenção do relevo. Não obstante, o fator tectônico se soma aos demais na gênese e evolução da morfologia atual. Os processos de reativação sin e pós-rifte ao longo da zona de cisalhamento Portalegre associados aos pulsos de soerguimento comandados pelo magmatismo cenozoico (*underplating*) também contribuíram para o alçamento dos depósitos da FSM para cotas elevadas. Especificamente os eventos de reativação cenozoica ao longo da ZCP deslocaram em aproximadamente 100m os depósitos da FSM do lado E em relação ao lado W, tendo como divisor desses blocos a ZCP.

#### **Referências Bibliográficas:**

- AB'SABER, A. N. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do Nordeste Brasileiro. IGEOG-USP, Bol. **Geomorfologia**, São Paulo, SP, n. 19, p. 38, 1969.
- AB'SABER, A. N. Summit surfaces in Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 515-516, 2000.
- ANGELIM, L.A.A.; MEDEIROS, V.C.; NESI, J.R. Programa Geologia do Brasil - PGB. **Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte**. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERNA, 2006.
- ARTHAUD, M.H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): da sedimentação à colisão continental brasileira**. Tese (Doutorado em Geociências)- Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília, 2007.
- BARROS, S.D.S. (1998). **Aspectos Morfo-Tectônicos nos Platôs de Portalegre, Martins e Santana / RN** Dissertação de Mestrado PPGG – UFRN, 1998.
- BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITAFINZI, C.; SAADI, A. **Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v. 14, p. 61-75, 2001.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais**. Vol.3. Florianópolis: Ed. UFSC, 2003.
- BRITO NEVES, B.B., SANTOS, E. J., VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro, 31 International Geological Congress. p. 151-182, 2000.
- BRODIE, J; WHITE, N. **The link between sedimentary basin inversion and igneous underplating**. In: Buchanan, J.G., Buchanan, P.G. (Eds.), Basin Inversion. Geological Society of London, Special Publications 88, pp. 21–38. 1995.
- BUDEL, J. **Climatic Geomorphology**. New Jersey. Princeton University Press, 1982.
- BUTT C.R.M., BRISTOW A.P.J. Relief inversion in the geomorphological evolution of sub-Saharan West Africa. **Geomorphology** 185 16–26 2013.
- CPRM. **Atlas digital de geologia e recursos minerais**. Mapas na escala 1:500,000. Serviço Geológico do Brasil -CPRM (mídia digital) 2006.

- GURGEL, S. P. P. ; BEZERRA, F. H. R. ; CORRÊA, A. C.B. ; MARQUES, F. O. ; MAIA, R. P. . Cenozoic uplift and erosion of structural landforms in NE Brazil. **Geomorphology** . Amsterdam, v. 186, p. 68, 2013.
- HEGARY, K.A; MORAIS NETO, J.M; KARNER, G.D;. **The enigma of the Araripe plateau: new constraints on its uplift and tectonic history using AFTA**. XLI Congresso Brasileiro de Geologia. João Pessoa. Anais, 2002.
- KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**. v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.
- LIMA, M. da G. **História do intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas**. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN, Tese de doutorado, 461f, 2008.
- LUZ, R.M.N; JULIÁ, J; NASCIMENTO, A.F. Crustal structure of the eastern Borborema Province, NE Brazil, from the joint inversion of receiver functions and surface wave dispersion: Implications for plateau uplift. **Journal Geophysical Research Solid Earth**, 120, 2015.
- MAIA, R.P.; BEZERRA, F.H.R.** Condicionamento estrutural do relevo no nordeste setentrional brasileiro. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 127-141, jan./abr, 2014.
- MAIA, R.P; BEZERRA, F.H.R. Inversão neotectônica do relevo na Bacia Potiguar – RN. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2014.
- MARQUES, F.O. ; NOGUEIRA, F.C.C. ; BEZERRA, F.H.R. ; DE CASTRO, D.L. . The Araripe Basin in NE Brazil: An intracontinental graben inverted to a high-standing horst. **Tectonophysics** (Amsterdam), v. 630, p. 251-264, 2014.
- MENEZES, M. R. F.; LIMA FILHO, F. P. Estudo faciológico na Formação Serra do Martins, Serra de Portalegre-RN. In: **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE**, 17, Fortaleza. Boletim de resumos. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Geologia, 1997.
- MENEZES, M.R.F. (1999). **Estudos sedimentológicos e contexto estrutural da Formação Serra dos Martins**. Dissertação de Mestrado PPGG-UFRN, 1999.
- MORAES NETO, J.M; GREEN, P.F; KARNER, G.D; ALKMIN, F.F. Age the of Serra dos Martins Formations, Borborema Plateau, northeastern Brazil: Constraints from apatite and zircon fission track analysis. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 16, p. 23-52, 2008.
- MORAIS NETO, J. M.; ALKMIN, F. F. A deformação das coberturas terciárias do Planalto da Borborema e seu significado tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**, São, Paulo, v. 31, n. 1, p. 95-106, 2001.
- NASCIMENTO, R.S.C; **Petrologia dos Granitóides Brasileiros associados a zonas de cisalhamento Remígio-Pocinhos (PB)**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica. PPGG-UFRN, Natal, RN, 1998.
- NEVES, S.P; **Granitos Orogênicos: da geração dos magmas à intrusão e deformação**. Rio de Janeiro: Synergia, 2012.
- NÓBREGA, M. A. ; SA, J. M. ; BEZERRA, F. H. R. ; HADLER NETO, J. C. ; IUNES, P. J. ; OLIVEIRA, S. G. ; SAENZ, C. A. T. ; **The use of apatite fission track thermochronology to constrain fault movements and sedimentary basin evolution in northeastern Brazil**. Radiation Measurements, Amsterdam, v. 39, p. 627-633, 2005.
- NÓBREGA, M.A. **Evolução estrutural e termocronológica meso-cenozóica da zona de cisalhamento Portalegre, Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em geodinâmica e geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2004
- NOGUEIRA, F. C.; BEZERRA, F. H. R.; FUCK, R. A. Quaternary fault kinematics and chronology in intraplate northeastern Brazil. **Journal of Geodynamics**, v. 49, p. 79-91, 2010.
- NOGUEIRA, FRANCISCO C.C.; MARQUES, FERNANDO O.; BEZERRA, FRANCISCO H.R. ; de Castro, David L. ; Fuck, Reinhardt A. . Cretaceous intracontinental rifting and post-rift inversion in NE Brazil: Insights from the Rio do Peixe Basin. **Tectonophysics** (Amsterdam), v. 644-645, p. 92-107, 2015.
- OLIVEIRA, R.G. e MEDEIROS, W.E. Evidences of buried loads in the base of the crust of Borborema Plateau (NE Brazil) from Bouguer admittance estimates. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 37, p. 60-76. ago. 2012.
- OLLIER C D AND GALLOWAY R W. The laterite profile, ferricrete and unconformity; **Catena** 17 97–109, 1990.
- PAIN C.F, OLLIER, C.D. Inversion of relief - a component of landscape evolution **Geomorphology** 12 - 151-165, 1995.
- PESSOA NETO, O.C. Bacia Potiguar, **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v15 2007
- PEULVAST J. P.; BÉTARD F. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: the Araripe Basin as erstanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**. v. 233:20-40, 2015.
- 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**, v. 62:39-60, 2008.
- PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. Stepped surfaces and palaeolandforms in the Northern Brazilian Nordeste: Constraints on models of morphotectonic evolution. **Geomorphology**, v. 3: 89-122, 2004.
- SOARES, U. M.; ROSSETTI, E. L.; CASSAB, R. C. T. **Bacias sedimentares brasileiras - Bacia Potiguar**. Phoenix, v. 5, n. 56, p. 1-6, 2003.
- SOUZA, M.J.N. OLIVEIRA, V.P.V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista Mercator**, N 9, UFC Fortaleza – CE, 2006.
- TRINDADE, I.V; MARTINS SÁ, J; MACEDO, M.H.F; Comportamento de elementos químicos em rochas mineralizadas em ouro na Faixa Seridó, Província Borborema. **Revista Brasileira de Geociências**, v.38, n.2, São Paulo, 2008.
- TURNER, J. P.; WILLIAMS, G. A. Sedimentary basin inversion and intra-plate shortening. **Earth Sciences Reviews**, v. 65, p. 277-304, 2004.
- TWIDALE, C.R.; VIDAL ROMANI J.R. On the multistage development of etch forms. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 11, p. 107-124, 1994.
- VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeast Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. ¾, p. 267-288, 1995.
- VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; WILLIAMS, I. S.; HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A.H.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M. The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 127, p. 287- 327, 2003.
- VAUCHES, A., NEVES, S., CABY, R., CORSINI, M., EGYDIO-SILVA, M., ARTHAUD, M., AMARO, V., The Borborema shear zone system, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. ¾, p. 247-266, 1995.
- VITTE, A.C. Etchplanação dinâmica e episódica nos trópicos quentes e úmidos. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, n. 16, p. 105-118, 2005.
- THOMAS M F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester: Wiley. 1994.
- OVMO, G. **Review of denudation processes and quantification of weathering and erosion rates at a 0.1 to 1 Ma time scale**. Technical Report TR-09-18 University of Gothenburg ISSN 1404-0344, 2010.