



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

VIKTOR FERREIRA DE OLIVEIRA

**ATIVIDADE NEOTECTÔNICA NA BORDA NORTE DA BACIA DO ARARIPE-
CE: EVIDÊNCIAS A PARTIR DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS**

FORTALEZA
2017

VIKTOR FERREIRA DE OLIVEIRA

ATIVIDADE NEOTECTÔNICA NA BORDA NORTE DA BACIA DO ARARIPE-
CE: EVIDÊNCIAS A PARTIR DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Dissertação de mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geologia da
Universidade Federal do Ceará,
como requisito para a obtenção do
Título de Mestre em Geologia

Orientador: Prof. Dr. Wellington
Ferreira da Silva Filho

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O52a Oliveira, Viktor Ferreira de.

Atividade neotectônica na borda norte da Bacia do Araripe-CE: evidências a partir de índices morfométricos / Viktor Ferreira de Oliveira. – 2017.

52 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho.

1. Bacia do Araripe. 2. Neotectônica. 3. Índices geomorfométricos. I. Título.

CDD 551

VIKTOR FERREIRA DE OLIVEIRA

ATIVIDADE NEOTECTÔNICA NA BORDA NORTE DA BACIA DO ARARIPE-
CE: EVIDÊNCIAS A PARTIR DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Dissertação de mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geologia da
Universidade Federal do Ceará,
como requisito para a obtenção do
Título de Mestre em Geologia

APROVADA EM: 18 / 07 / 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (Geologia – UFC)

Prof. Dr. Sebastián Gonzáles Chiozza
Universidade Federal do Ceará (Geologia – UFC)

Prof. Dr. Rúbson Pinheiro Maia Garcia
Universidade Federal do Ceará (Geografia – UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aqui a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram nesta importante etapa da minha vida e que, direta ou indiretamente, contribuíram para o resultado obtido nesse trabalho.

Agradeço primeiramente a minha família, que formaram a base educacional, moral e afetiva, as quais foram fundamentais para eu me tornar a pessoa que sou hoje.

Ao meu Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho, tanto pela orientação e ideia do projeto como pela paciência. Ao Prof. Bruno Andrade, pela revisão e correção do resumo.

Ao Instituto nacional de ciência e tecnologia para estudos tectônicos - INCT-ET, coordenado pelo Prof. Dr. Reinhardt Adolfo Fuck.

Também as instituições que financiaram e incentivaram a realização deste relatório: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Projeto “Estratigrafia e Paleoecologia de Geossítios Cretáceos, no âmbito do Geopark Araripe” (Programa Áreas Estratégicas - FUNCAP-Processo AE1-0079-000540100/13) e Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (DEGEO – UFC), assim como todo o corpo docente.

Aos amigos, pois eles são a base da sustentação humana que tenho diariamente. Não irei citar nomes, pois não quero correr o risco de esquecer ninguém, mas estão inclusos todos aqueles que se fizeram presente fora e dentro da universidade

“ Aquele que se empenha a resolver as dificuldades resolve-as antes que elas surjam. Aquele que se ultrapassa a vencer os inimigos triunfa antes que as suas ameaças se concretizem.”

Sun Tzu

RESUMO

O presente trabalho fez o uso de modelos de imagem de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) para extrair dados morfométricos capazes de identificar terrenos possivelmente influenciados por eventos tectônicos na borda norte da Bacia do Araripe-CE. Dessas imagens foram extraídas drenagens e identificadas sub-bacias, as quais possibilitaram a aplicação dos seguintes índices morfométricos: relação declividade-extensão (SL), fator assimétrico (AF), sinuosidade de frente de montanha (SMF) e integral hipsométrica (HI), os quais foram convertidos em um valor de classes de intensidade tectônica (CIT) para que pudesse ser obtido um Índice de Atividade Tectônica (IAT). Os resultados indicam atividade tectônica moderada em grande parte das 21 sub-bacias individualizadas na região de estudo. Cinco sub-bacias apresentaram valores elevados de IAT, duas associadas a substratos cenozoicos a norte da área e três associadas a substratos eocretáceos no Vale de Santana do Acaraú, que pode ter sido formado devido a esses eventos.

Palavras-Chave: Bacia do Araripe. Neotectônica. Índices geomorfométricos.

ABSTRACT

The current paper used digital elevation model from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) to extract morphometric data in order to locate terrains that could have been influenced by tectonics events in the north of Araripe Basin – CE. Drains and sub-basins were extracted and they allowed the application of the following morphometric indexes: Stream Length-Gradient Index (SL Index), Drainage Basin Asymmetry (AF), Mountain Front Sinuosity (SMF) and Hypsometric Integral (HI). The resultant indexes were converted into a class of tectonic intensity in order to calculate the index of relative active tectonics (IAT). The result indicated a moderate tectonic activity area in most of the sub-basins. Five out of twenty-one sub-basins presented high values and three of them were related to Santana do Acaraú Valley, that may have been formed due to those events.

Keywords: Araripe Basin. Neotectonics. Neotectonics. Geomorphic indexes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área. A – America do Sul; B – Mapa geológico modificado de CPRM (2003)	12
Figura 2 - Mapa geológico da Bacia do Araripe (Assine, 2007)	16
Figura 3 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Araripe (Assine, 2007)	17
Figura 4 - Síntese litoestratigráfica da Bacia do Araripe (Assine, 2007)	18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	CONTEXTO GEOLOGICO.....	13
2.1	Embasamento Cristalino.....	13
2.2	Bacia do Araripe	14
3	ATIVIDADE NEOTECTÔNICA NA BORDA NORTE DA BACIA DO ARARIPE-CE: EVIDÊNCIAS A PARTIR DE ÍNDICES.....	19
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Apresentação

Sensoriamento remoto consiste em obter informações de um alvo através de métodos indiretos, sendo apropriado para a obtenção de informações de caráter regional, por exemplo. O presente trabalho usa modelos digitais de elevação (MDE) para se obter dados do relevo, gerados a partir de geomorfometria (Pike, 2000).

Com o uso de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), liberados pela USGS (*United States Geological Survey*) com resolução espacial de 30m, foi possível aplicar técnicas definidas por Hamdouni *et al.* (2008) para indicar áreas de maior susceptibilidade tectônica.

Esse trabalho foi feito em forma de artigo e será submetido para revista Geosciences = Geociências, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, publicada pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE.

Objetivo

O objetivo principal desse trabalho foi analisar a morfologia da área de estudo para determinar setores com maiores índices que indiquem uma provável atividade neotectônica, ratificando esses resultados com investigação de campo. Para obter os resultados objetivados, fez-se necessário atingir objetivos específicos, os quais tornaram-se frações do trabalho principal. Esses objetivos específicos foram:

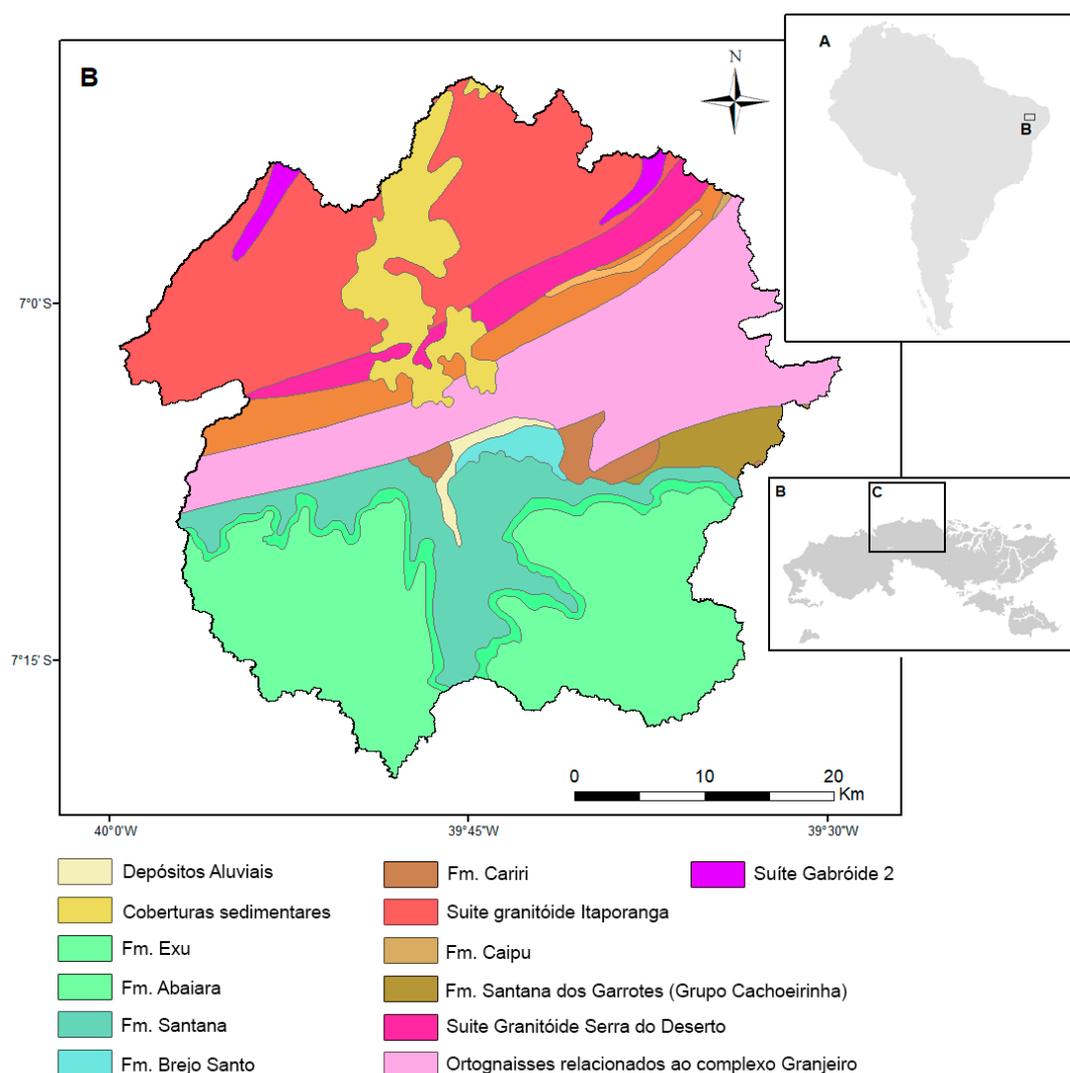
1. Obter um mapa de drenagens
2. Analisar a relação declividade-extensão (SL)
3. Analisar o fator de assimetria (AF)
4. Analisar a sinuosidade de frente de montanha (SMF)
5. Analisar a integral hipsométrica (HI)
6. Compilar as análises prévias para obter um índice de atividade tectônica (IAT)

Com base nisso, o presente estudo objetivou identificar áreas com maior probabilidade de atividade neotectônica na região do Lineamento Patos que engloba a borda norte da Bacia do Araripe.

Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada no extremo-sul do estado do Ceará e engloba a parte cearense da bacia do Araripe e sua região mais a norte, onde está incluso o embasamento. Enquanto na porção sul da área de estudo, onde ocorre a bacia do Araripe, o substrato sedimentar predomina, na porção norte o predominante é o substrato de rochas do embasamento cristalino. (Figura 1)

Figura 1 - Mapa de localização da área. A – America do Sul; B – Mapa geológico modificado de CPRM (2003)



Fonte: Assine (2007)

2 CONTEXTO GEOLOGICO

Embasamento Cristalino

O embasamento cristalino localizado na região norte da Área de estudo tem idades cambrianas. Essas unidades são: Ortognaisses relacionados ao Complexo Granjeiro, suite granitoide Serra do Deserto, Grupo Cachoeirinha, Fm. Caipu e Suite Intrusiva Itaporanga.

As rochas mais antigas são os ortognaisses tonalito-granodioríticos, localmente trondhjemíticos que apresentam grandes lentes de rochas metamórficas (metacalcário, metacalcissilicáticas e metaultramáficas) e formações ferríferas relacionadas ao Complexo Granjeiro, que datam do paleoneoarqueano (CPRM, 2003).

Na suíte granitoide Serra do Deserto, com idade datada do paleoproterozoico, ocorrem anfibólio-biotita augen gnaisses de composição granítica a granodiorítica. Apresentam porfiroclastos de feldspato de até quatro centímetros. Localmente pode apresentar textura granoblástica média a grossa (CPRM, 2008).

O Grupo Cachoeirinha, de idade criogeniana, tem em sua parte inferior a ocorrência da Formação Santana dos Garrotes (Silva Filho, 1984), que é uma sequência de metarritmitos e metapsamitos, incluindo metagrauvas de baixo grau metamórfico (considerados como metaturbiditos distais). Representada por biotita xistos de granulação fina, laminados e de cor cinza. Ocorrem em níveis de metarenitos granoblasticos finos cinza claro (CPRM, 2008).

A Fm. Caipu, que foi formada na transição do criogeniano para o neoproterozóico III, supracrustal, é formada por uma associação vulcano-sedimentar, onde ocorrem, predominantemente, metapelitos/psamitos de médio a baixo grau metamórfico, intercalados com metavulcânicas básicas a intermediárias (CPRM, 2000).

A Suíte Intrusiva Itaporanga, datada do neoproterozóico III, é composta de granitos, granodioritos e quartzo-monzonitos porfíricos com fenocristais leucocráticos de até 5cm de comprimento. Existe uma rara ocorrência de textura granoblástica grossa. Estão presentes, cortando os

afloramentos, diques graníticos finos leucocráticos da suíte intrusiva Dona Inês (CPRM, 2008).

Bacia do Araripe

A bacia sedimentar do Araripe (Figura 2) tem preenchimento predominantemente mesozóico e é localizada no sul do estado do Ceará, com partes englobando os estados do Pernambuco e Piauí. Dentre as bacias interiores do nordeste brasileiro, ela é a mais extensa, ocupando uma área de 9000km² (Peulvast & Bétard, 2014). Foi originada na reativação Wealdeniana, onde o paleocontinente Gondwana se fragmentou e formou os riftes mesozoicos do nordeste brasileiro (Ponte & Ponte Filho, 1996).

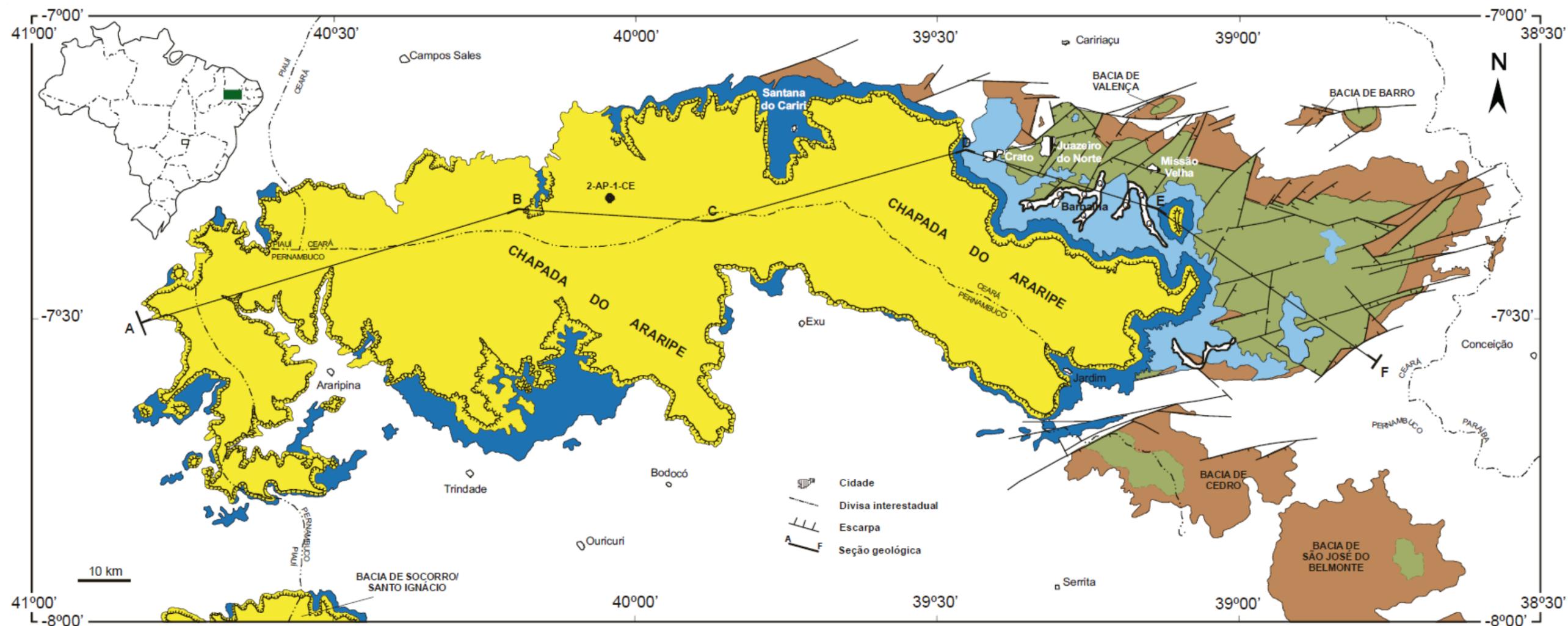
A bacia é dividida em quatro sequências tectono-sedimentares (Assine, 2007), limitadas por discordâncias de caráter regional ou por lacunas definidas por meio de paleontologia (Figura 3 e Figura 4):

- Sequencia tectônica Beta - Representada pela Formação Cariri, com idade neo-ordoviciano a siluriano;
- Sequencia tectônica pré-rifte - Representada pelas formações Brejo Santo e Missão Velha, com idade neojurássica a eocretácica. Esse pacote encontra-se sobre uma discordância pré-mesozoica.
- Sequencia tectônica rifte – Composto pela Formação Abaiara, de idade eocretácica (neocomiana). Tem um contato inferior marcado pelo hiato definido por bioestratigrafia. O topo dessa formação é truncado por uma superfície erosional, conhecida como discordância pré-aptiano.
- Sequencia tectônica pós-rifte – É o último ciclo sedimentar, o qual foi iniciado depois do período de erosão e não deposição. É representado pelas Formações Barbalha, Santana, Araripina e Exu, com idades de deposição variando do Aptiano até o Cenomaniano.

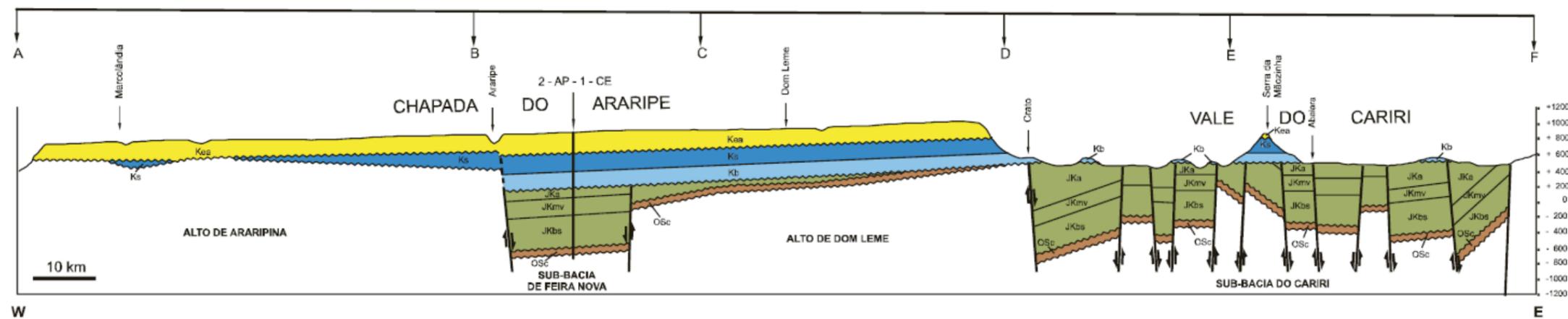
A forma que as camadas estão dispostas, reflete diretamente a formação da bacia. Na parte inferior tem-se uma zona de rifte encravada no embasamento e na parte superior uma cobertura tabular, sub-horizontal que

encobre em discordância as porções do tipo rifte. A feição geomorfológica de maior expressão é a Chapada do Araripe, que forma uma extensa "mesa" constituída pelos sedimentos da Formação Exu (Assine, 1990).

Figura 2 - Mapa geológico da Bacia do Araripe (Assine, 2007).

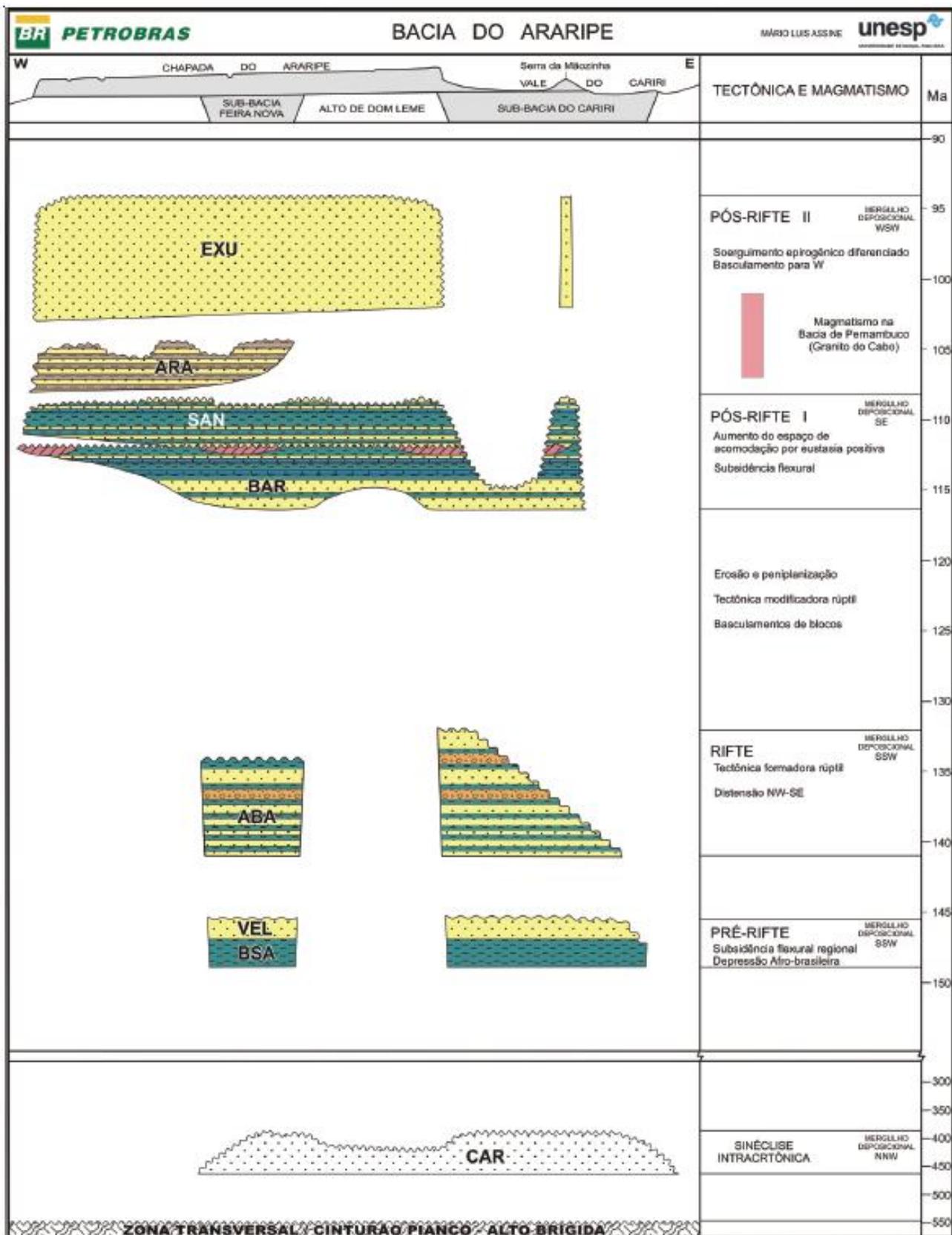


LITOESTRATIGRAFIA	SEQÜÊNCIAS
Koa Fm. Exu Fm. Araripina	PÓS-RIFT II
Ks Fm. Santana	PÓS-RIFT I
Kb Fm. Barbalha	
Jka Fm. Abaiara	RIFT
JKmv Fm. Missão Velha	PRÉ-RIFT
JKbs Fm. Brojo Santo	
Osc Fm. Cariri	PALEOZÓICO
Embasamento	PRÉ-CAMBRIANO



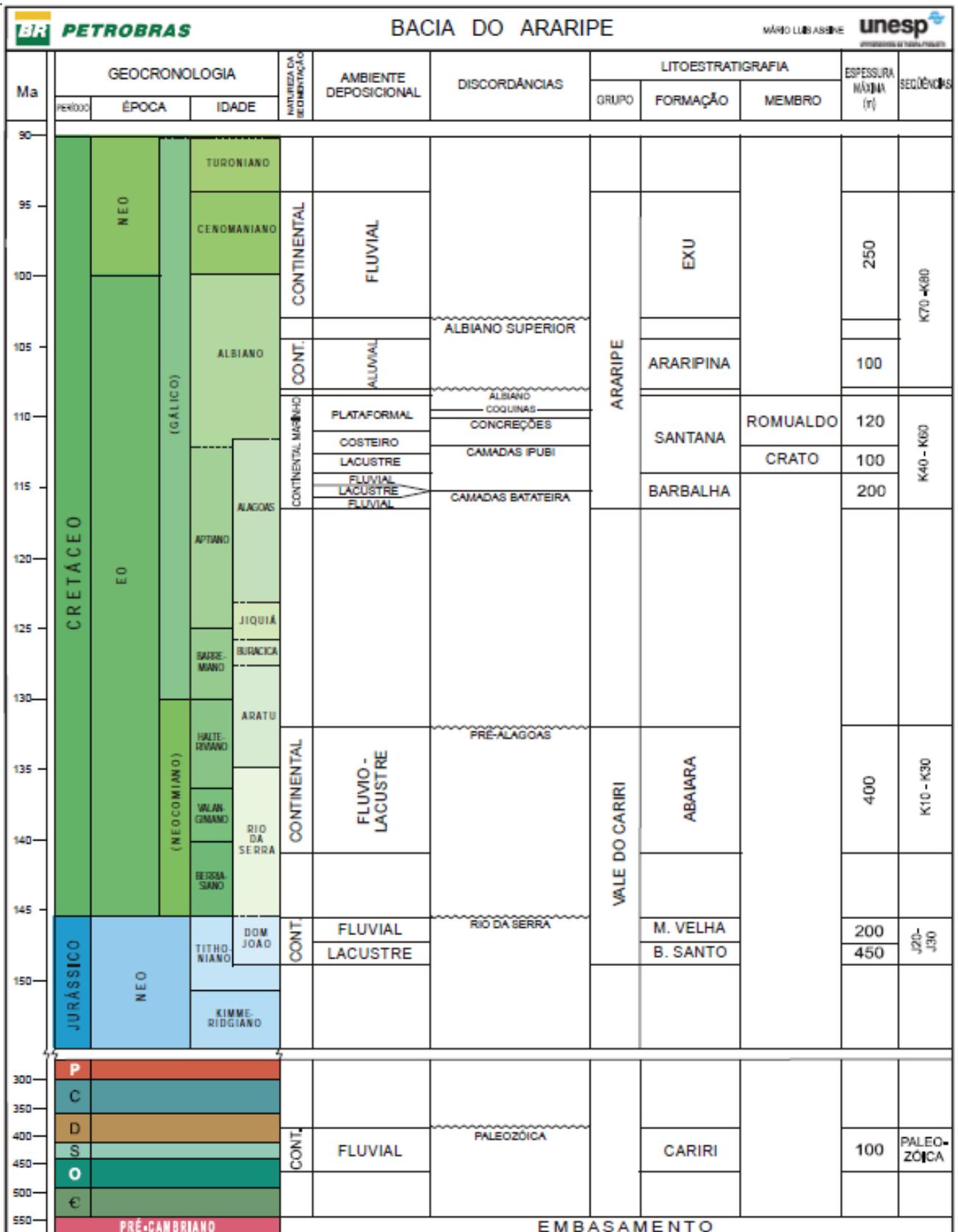
Fonte: Assine (2007)

Figura 3 – Carta cronoestratigráfica da Bacia do Araripe (Assine, 2007)



Fonte: Assine (2007)

Figura 4 – Síntese litoestratigráfica da Bacia do Araripe (Assine, 2007)



Fonte: Assine (2007)

3 ATIVIDADE NEOTECTÔNICA NA BORDA NORTE DA BACIA DO ARARIPE-CE: EVIDÊNCIAS A PARTIR DE ÍNDICES

RESUMO

O presente trabalho fez o uso de modelos de imagem de elevação do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) para extrair dados morfométricos cujas análises permitem identificar terrenos possivelmente influenciados por eventos tectônicos na borda norte da Bacia do Araripe-CE. Dessas imagens foram extraídas drenagens e sub-bacias, as quais possibilitaram a aplicação dos seguintes índices morfométricos: relação declividade-extensão (SL), fator assimétrico (AF), sinuosidade de frente de montanha (SMF) e integral hipsométrica (HI), os quais foram convertidos em um valor de classes de intensidade tectônica (CIT) para que pudesse ser obtido um Índice de Atividade Tectônica (IAT), que resultou, no geral das 21 sub-bacias da área de estudo, numa de área de atividade tectônica moderada a alta. Dessas 21, cinco apresentaram valores de alta atividade tectônica, e essas englobam o Vale de Santana do Cariri, que pode ter sido formado num contexto tectônico mais recente.

Palavras-Chave: *Bacia do Araripe, Neotectônica, Índices geomorfométricos, Geomorfologia, Ceará*

ABSTRACT

The current paper used digital elevation model from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) to extract morphometric data in order to locate terrains that could have been influenced by tectonic events in the north of Araripe Basin – CE. Drains and sub-basins were extracted and they allowed the application of the following morphometric indexes: Stream Length-Gradient Index (SL Index), Drainage Basin Asymmetry (AF), Mountain Front Sinuosity (SMF) and Hypsometric Integral (HI). The resultant indexes were converted into a class of tectonic intensity in order to calculate the index of relative active tectonics (IAT). The result indicated a moderate tectonic activity area in most of the sub-basins.

Five out of twenty-one sub-basins presented high values and three of them were related to Santana do Cariri Valley, that may have been formed due recent tectonic context.

Keywords: *Araripe Basin, Neotectonics, Neotectonics, Geomorphic indexes*

INTRODUÇÃO

O uso do sensoriamento remoto está cada vez mais presente em trabalhos geológicos e geomorfológicos de âmbito regional, devido a um grande avanço destas técnicas e a aplicabilidade que temos em todos os tipos de terreno. Esse, aplicado a estudos tectônicos, traz um grande potencial para analisar ocorrências em grande escala. Trabalhos importantes nesse contexto estão sendo feitos em diversas regiões do mundo (Mukul *et al.*, 2016; Hamdouni *et al.*, 2008; Mahmood & Gloaguen, 2011).

Na bacia do Araripe, notória pela sua importância paleontológica e econômica, existem estudos localizados que apresentam feições tectônicas e as interpretam de diversas formas (Peulvast & Bétard, 2014; Marques *et al.*, 2014). Esse trabalho busca, por meio do uso dos modelos digitais de elevação (MDE), obter dados sobre o relevo, gerados a partir da geomorfometria (Pike, 2000), para descobrir quais as áreas mais propícias a ter ocorrido tectonismo recente.

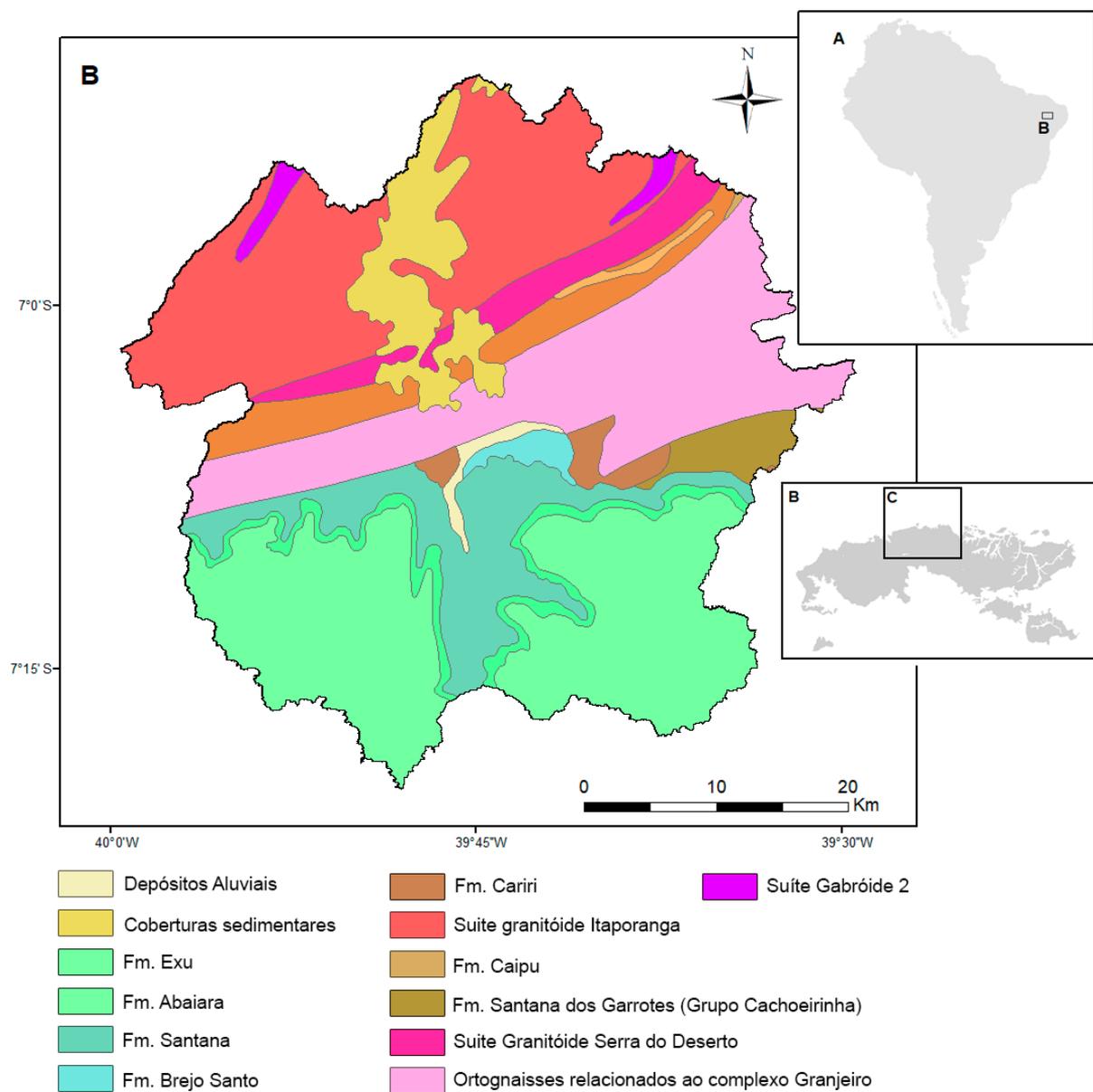
O fato de se obter facilmente os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que a partir de 2015 foi liberado pela USGS (United States Geological Survey) com resolução espacial de 30m, estimula os estudos indicativos de atividade e deformação tectônica a partir de MDEs (El Hamdouni *et al.*, 2008) (Figura 1). Portanto a ideia desse trabalho foi aplicar técnicas de morfometria em uma imagem obtida por satélite, onde essas são definidas como a medida quantitativa do formato do terreno, caracterizado pelo tamanho, elevação e declividade, possibilitando então fazer uma comparação objetiva de diferentes tipos de relevo e o cálculo de índices geomorfológicos que são uteis para identificar o nível de atividade tectônica (Keller & Pinter, 1996).

Como as técnicas de morfometria são excelentes para avaliar a atividade tectônica relativa (Bull & McFadden, 1977; Keller & Pinter, 1996), foram usados quatro índices: relação declividade-extensão (SL), fator assimétrico (AF), integral hipsométrica (HI) e sinuosidade de frente de montanha (SMF), compilados todos em um índice de atividade tectônica (IAT), na parte norte da bacia do Araripe, para identificar traços que indiquem tectonismo.

CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A área de estudo engloba a borda norte da bacia do Araripe com uma área aproximadamente de 9000km² e com extensão de 190km E-W (Peulvast & Bétard, 2014). Na porção norte da área ocorre o embasamento pré-cambriano/cambriano, onde afloram: Suíte Granitóide Itaporanga; Suíte Gabróide 2; rochas de baixo grau metamórfico da Fm. Santana dos Garrotes; Suíte Granitóide Serra do Deserto; Fm. Caipu; Gnaisses, Rochas calcissilicáticas, micaxistos feldspáticos e quartzitos com intercalações lenticulares de metacalcário da Fm. Farias Brito; Ortognaisses tonalito-granodioríticos relacionados ao Complexo Granjeiro; e depósitos sedimentares cenozoicos. (CPRM, 2003). Próximo à porção central da área ocorre o contato tectônico entre o embasamento e o preenchimento cretáceo da Bacia do Araripe, a sul afloram arenitos imaturos de idade paleozoica da Fm. Cariri; folhelhos e lamitos avermelhados da Fm. Brejo Santo; calcários laminados, gipsita e folhelhos, que correspondem, respectivamente, aos membros Crato, Ipubi e Romualdo da Fm. Santana, de idade albiana; arenitos finos intercalados com lamitos da Araripina, datados do eoalbiano; e os arenitos eoalobiano-cenomanianos da Fm. Exú. (Assine, 2007) Depósitos ocorrem sobrepostos a esses depósitos aluviais e coluviais. (Peulvast & Bétard, 2014) (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização e geológico da área. A – America do Sul; B – Mapa geológico modificado de CPRM (2003)

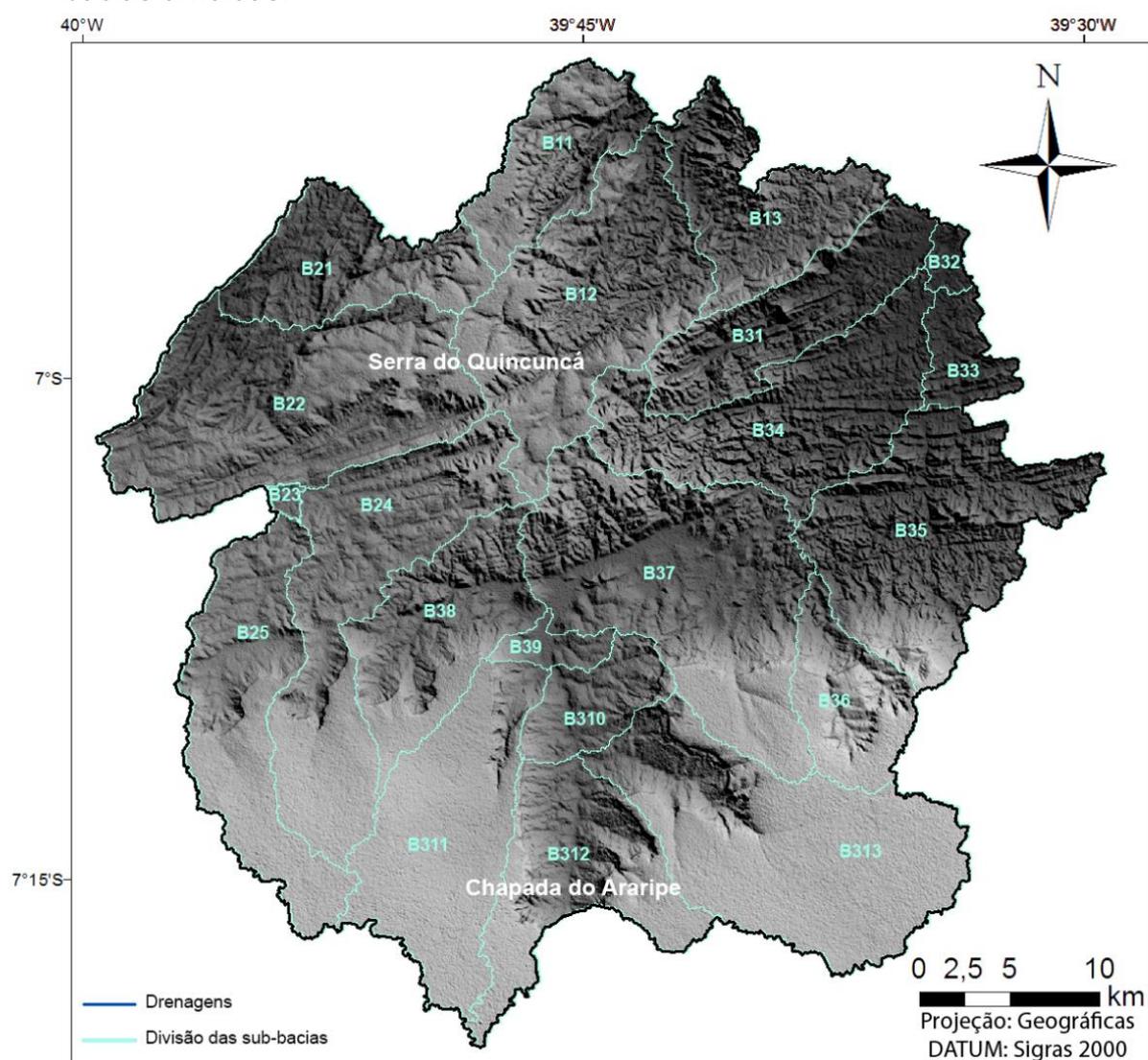


Fonte: Elaborada pelos autores

MATERIAIS E METODOS

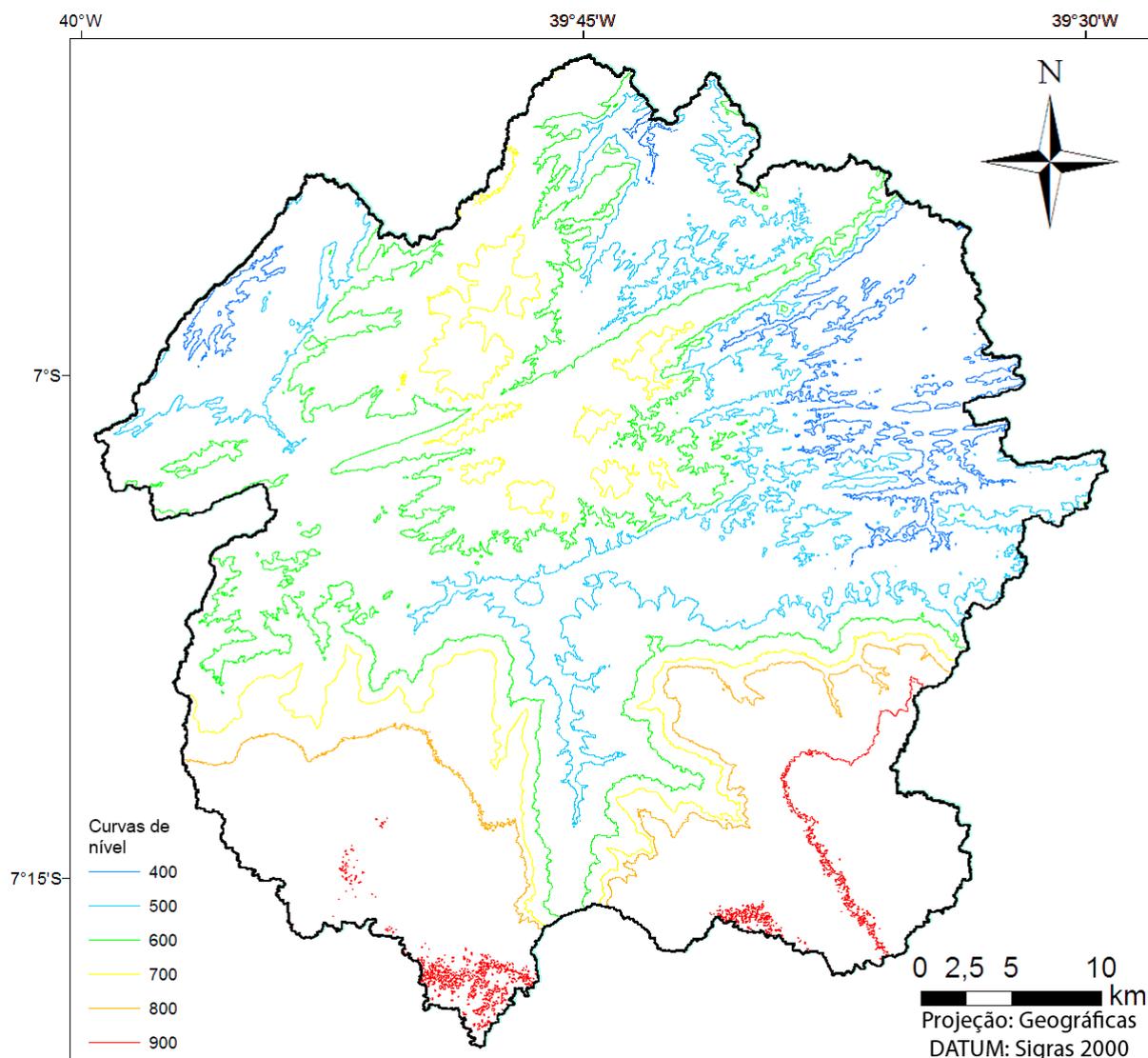
Foram utilizadas imagens SRTM com 30m de precisão para extração de redes de drenagem, delimitação de bacias hidrográficas e aplicação dos índices morfométricos abaixo. A extração das drenagens foi feita de forma automática usando o *software* Global Mapper e exportada para o ArcGIS, para então se extrair as bacias a extensão Arc Hydro. Todos os dados obtidos foram tratados usando tabelas digitais. A Figura 2A mostra o modelo digital de elevação com a divisão das sub-bacias e as drenagens da área e a 2B as curvas de nível.

Figura 2A – Modelo digital de elevação (SRTM) da área com drenagens e sub-bacias divididas.



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 2B – Mapa de curvas de nível



Fonte: Elaborada pelos autores

t

Índices Morfométricos

Diversos índices morfométricos podem ser utilizados para analisar relevo e identificar anomalias, que podem ser relacionadas a atividade tectônica.

Para esse estudo foram utilizados quatro índices baseados em análises de drenagens e frentes de montanha. Esses índices foram expressos em valores quantitativos relativos ao grau de atividade tectônica, onde esse tectonismo, produzido por subsidência ou elevação local, relaciona-se a trechos anômalos ao longo dos sistemas fluviais e das frentes de montanha.

Os quatro índices aplicados nesse trabalho foram: relação declividade-extensão, fator de assimetria, integral hipsométrica e sinuosidade de frente de montanha (Keller & Pinter, 1996).

A integração desses índices para a produção do Índice de Atividade tectônica (IAT) seguiu essencialmente a proposta de Hamdouni *et al.* (2008) modificada por Andrades Filho e Rosseti (2015), esta última aplicada no mesmo contexto intraplaca da área de estudo deste trabalho (Província Borborema), só que em região mais próxima do litoral.

Relação declividade-extensão (SL)

O índice de relação declividade-extensão (*Stream length-gradient index – SL Index*) foi proposto por Hack (1973), que estudou a resistência de rochas nas drenagens da cordilheira dos Apalaches, no sudeste dos Estados Unidos. Esse índice pode ser utilizado para avaliar a atividade tectônica relativa, com valores maiores de SL associados a regiões com atividade tectônica, como soerguimentos, e valores menores em regiões consideradas estáveis ou em drenagens controladas por zonas transcorrentes (Keller & Pinter, 2002, p. 130; Hamdouni *et al.*, 2008).

O SL é definido pela fórmula: $SL = (\Delta h / \Delta l) l$, em que o Δh (*height variation*) e Δl (*length variation*) representam, respectivamente, a variação da altura e o comprimento de determinado trecho e o l representa a distância do início da drenagem até a metade do trecho calculado.

Os valores obtidos foram repartidos em quatro classes distintas, sendo uma não anômala (1) e três anômalas. (1) $SL < 2$; (2) $2 \leq SL < 4$; (3) $4 \leq SL < 6$ e (4) $6 \leq SL$ (Andrades Filho & Rossetti, 2015). Esses valores foram calculados com uma malha de pixels de 30m.

Fator de assimetria (AF)

O fator de assimetria (*Asymmetric factor – AF*) é utilizado como medida do basculamento tectônico perpendicular à direção do canal principal, em bacias de tamanho relativamente grande (Keller & Pinter, 1996, p. 126).

Para calcular esse índice, é necessário medir a área a direita da drenagem principal no sentido jusante (A_r – *right area*) e a área total da bacia (A_t – *total area*). Obtidos os valores de A_r e A_t , o fator de assimetria é dado por $AF = 100(A_r/A_t)$. No caso de uma bacia simétrica, o valor de AF é 50. Valores acima e abaixo desse patamar indicam, respectivamente, inclinação para direita e esquerda. Para facilitar a visualização e tirar valores negativos foi usado o módulo de AF subtraído 50 ($|AF-50|$).

Existem controles que podem mascarar os resultados do fator de assimetria. O primeiro deles é litológico, onde certos tipos de rochas são mais resistentes a erosão que outros e podem causar uma tendência na migração da bacia. O segundo é o controle estrutural, em que xistosidades e bandamentos podem orientar os fluxos de água, causando anomalias nos resultados (El Hamdouni *et al.*, 2008). Esses controles devem ser identificados e as bacias associadas devem ser excluídas do resultado final, se o objetivo é identificar basculamentos neotectônicos.

Sinuosidade de frente de montanha (SMF)

A sinuosidade de frente de montanha (*Mountain front sinuosity* – SMF) foi definida por Bull & McFadden (1977) como $Smf = Lmf/Ls$, onde Lmf (mountain front length) representa 0 e o Ls (straight length) é a linha reta referente ao mesmo trecho medido no Lmf . Esse índice representa um balanço entre os processos erosivos que afetam as frentes de montanha, tornando-as mais sinuosas (embainhamento) e os processos tectônicos que produzem frentes planas coincidentes com superfícies de falhas (Keller & Pinter, 1996, p. 138). As linhas sinuosas de frente de montanha são demarcadas na inclinação de 20 graus.

Valores de SMF no intervalo de 1 a 1,1 são considerados baixos, conseqüentemente apresentam alto índice de atividade tectônica. Entre 1,1 e 1,5, tem índice moderado de atividade tectônica e valores maiores que 1,5 é atividade tectônica inativa.

Integral Hipsométrica (HI)

A integral hipsométrica (*Hipsometryc Integral* – HI) representa a curva de distribuição de elevação de determinada bacia pela frequência acumulada de suas altitudes (Strahler, 1952). O resultado independe do tamanho da área da bacia por que esse valor é definido como a área abaixo da curva hipsométrica, presente nos gráficos, e que, portanto, define o volume da bacia que não foi erodido. A equação usada para calcular esses valores (Keller & Pinter, 2002) é: $Hi = (h_{med.} - h_{min.}) / (h_{max.} - h_{min.})$, onde h representa a elevação.

Para esse índice ser calculado, é preciso no mínimo 50 pontos de elevação. Para valores de índice absoluto menores que 0,4, tem-se uma curva côncava, indicando relativa inatividade tectônica recente, entre 0,4 e 0,5 tem um caráter côncavo-convexo e maiores que 0,5 a curva é convexa e indica relativa atividade tectônica recente.

Índice de atividade tectônica (IAT)

O índice de atividade tectônica (IAT) é um método que procura quantificar um valor relativo a atividade tectônica em relação uma determinada área (El Hamdouni *et al.*, 2008). Para determinar os valores do IAT é necessário transformar todos os índices morfométricos (SL, AF, SMF e HI) em valores de categoria de intensidade tectônica (CIT) (Andrades Filho & Rossetti, 2015), onde são quantificados entre 1, para alta atividade tectônica, 2 para média atividade, e 3 para baixa atividade tectônica.

No SL, drenagens que apresentam mais de 50% de anomalias tem valores CIT=1, quando menores que 50% o CIT é 2. Quando não apresentam nenhuma tem-se CIT=3. No AF, cada classe se refere a um valor CIT, onde $0 < |AF-50| \leq 7$, $7 < |AF-50| \leq 15$ e $15 < |AF-50|$, indicam, respectivamente, CIT=3, CIT=2 e CIT=1. Para SMF, temos valores entre 1 e 1,1, 1,1 e 1,5 e maiores que 1,5 indicando, respectivamente, CIT=1, 2 e 3. Valores de HI menores que 0,4 tem CIT=1, entre 0,4 e 0,5 o CIT é 2 e maiores que 0,5 indica CIT=3.

Os valores de IAT são classificados em 4 classes, de acordo com a média do somatório dos CIT, como mostra a fórmula: $Iat = \frac{\sum_{i=0}^n cit}{n}$. IAT=1 (ou

classe 1) tem valores da média dos CIT entre 1 e 1,5, e indica atividade tectônica muito alta. As IAT=2 e 3 (ou classe 2 e 3) representam, respectivamente, atividade tectônica alta, com valores médios de CIT entre 1,5 e 2, e atividade tectônica moderada, com valores entre 2 e 2,5. Média de CIT maior que 2,5 indica baixa atividade tectônica e IAT=4 (ou classe 5).

RESULTADOS

As drenagens (entalhes) foram extraídas até a sexta ordem, considerando-se apenas aquelas entre terceira e sexta ordem, já que as drenagens de ordem inferior não têm representatividade nos índices geomorfológicos, na escala trabalhada, devido seus tamanhos não possibilitarem os cálculos. Foram delimitadas três bacias hidrográficas principais, as quais foram divididas em 21 sub-bacias.

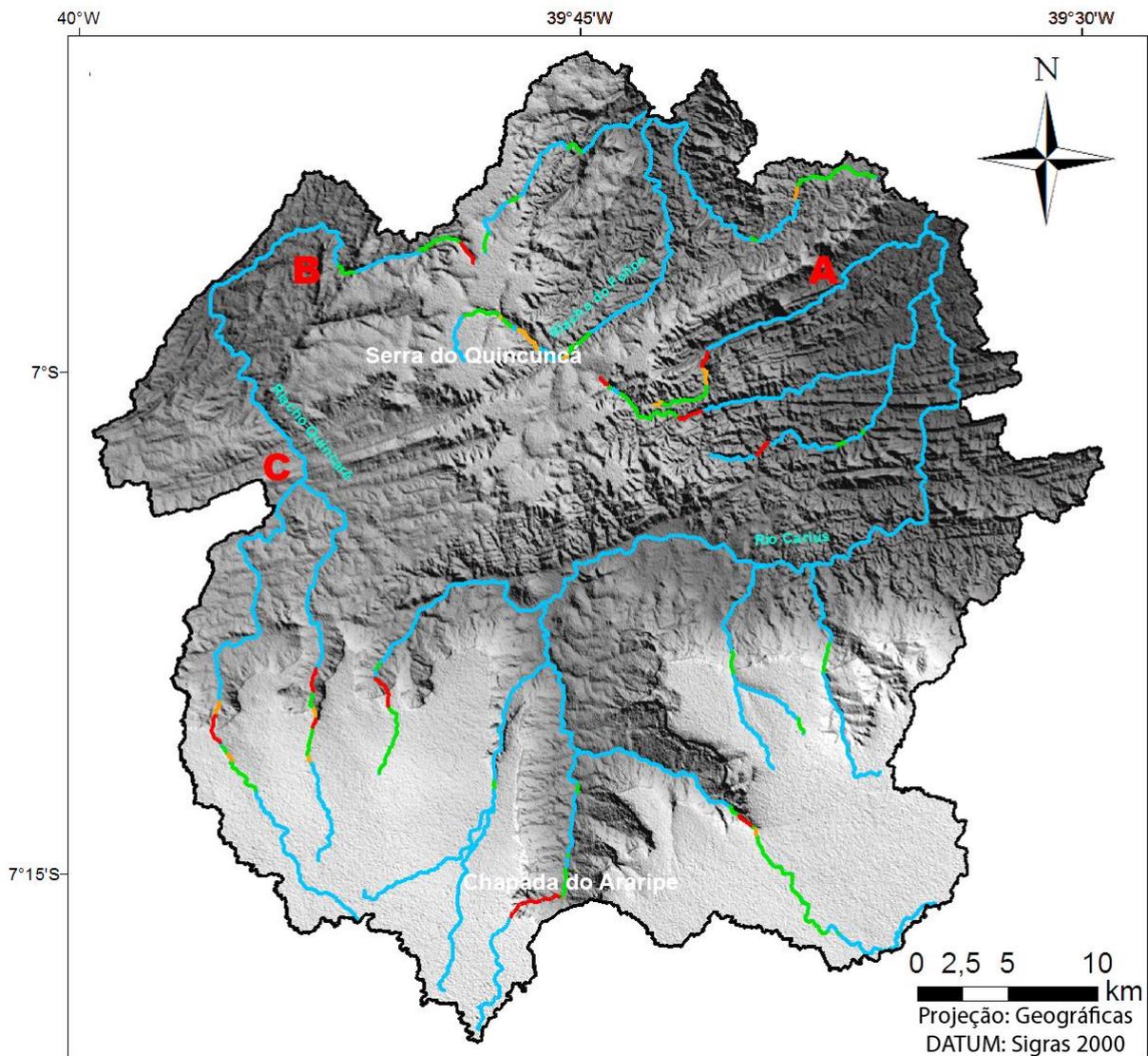
Relação declividade-extensão (SL)

O índice SL foi aplicado em 17 drenagens, divididas em 492 segmentos, sendo 79 desses segmentos anômalos, totalizando 361 quilômetros de área fluvial. Uma drenagem não apresenta anomalia e em quatro drenagens ocorrem apenas um segmento anômalo, o que faz terem valores muito baixos para SL. 413 segmentos enquadraram-se na classe 1 (não anômala), o que representa 83,95% do total. A classe 2 tem 48 segmentos (9,75% do total), enquanto que a classe 3 tem 12 segmentos (2,44% do total). A classe 4, correspondente ao mais alto índice de atividade tectônica, apresentou 19 segmentos, o que corresponde a 3,86% do total (Figura 3).

Essas anomalias são bem distribuídas durante toda a área, com exceção da região NW, onde ocorre apenas um segmento anômalo. No setor NE, em geral os valores do SL são altos, portanto, para se caracterizar anomalias é necessário que seus valores sejam muito altos, como observado na

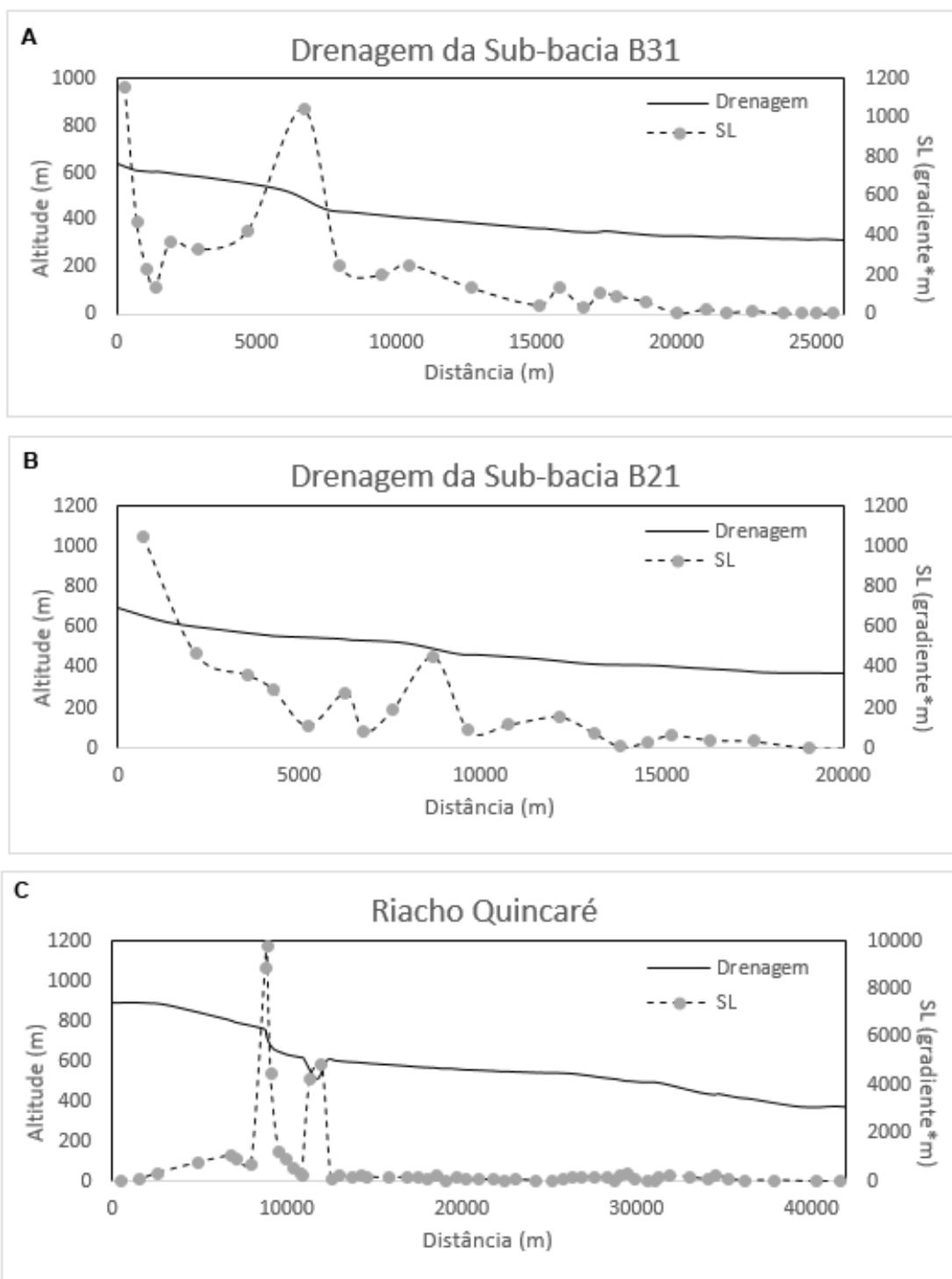
Figura 4-A. O setor sul, no geral em terrenos sedimentares, apresenta valores baixos de SL com picos onde há anomalias de SL associadas a arenitos bem cimentados da Formação Exu, localizados topo da chapada.

Figura 3 - Mapa da relação declividade-extensão (SL). A, B e C representam os pontos representados nos gráficos da figura 4.



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 4 - Gráficos representativos de drenagens com anomalias de grau muito alto. A - relativo ao setor NE; B - relativo ao setor NW; c) relativo ao Riacho Quincaré, no setor SW.



Fonte: Elaborada pelos autores

t

Fator de assimetria (AF)

Os valores de $|AF-50|$ ocorrem no intervalo de 0,4 a 27,1. As bacias são classificadas de acordo com o valor de $|AF-50|$, onde para baixa assimetria temos valores entre 0 e 7, média assimetria valores variando de 7 a 15 e de alta assimetria com valores maiores que 15. Sete bacias tiveram controles não neotectônicos afetando sua morfologia, das quais três tem controle estrutural, onde estruturas, como foliação e bandamento, controlam a migração dos vales no sentido de mergulho; duas tem controle litológico, em que as drenagens acompanham o contato de dois litotipos diferentes, fazendo com que a área seja dividida de forma heterogênea, ou seja, tem diferentes resistências a dissecação; e duas apresentam ambos os controles, impondo restrições ao cálculo do AF para caracterização neotectônica (Tabela 1).

A área é bastante heterogênea em relação ao fator de assimetria, porém pode-se notar uma maior concentração das sub-bacias com influência de controles estruturais e litológicos nas porções centro-oeste e centro-leste. Na porção norte da área, onde está localizada a bacia 1, ou do Riacho do Felipe, os índices, no geral, indicaram baixa assimetria e na região sul ocorrem sub-bacias com todas as classes de assimetria. Em algumas sub-bacias, como a B312, pode existir uma pequena contaminação nos dados, devido a heterogeneidade do formato das bacias, onde um lado tem forma totalmente diferente do outro (Figura 5).

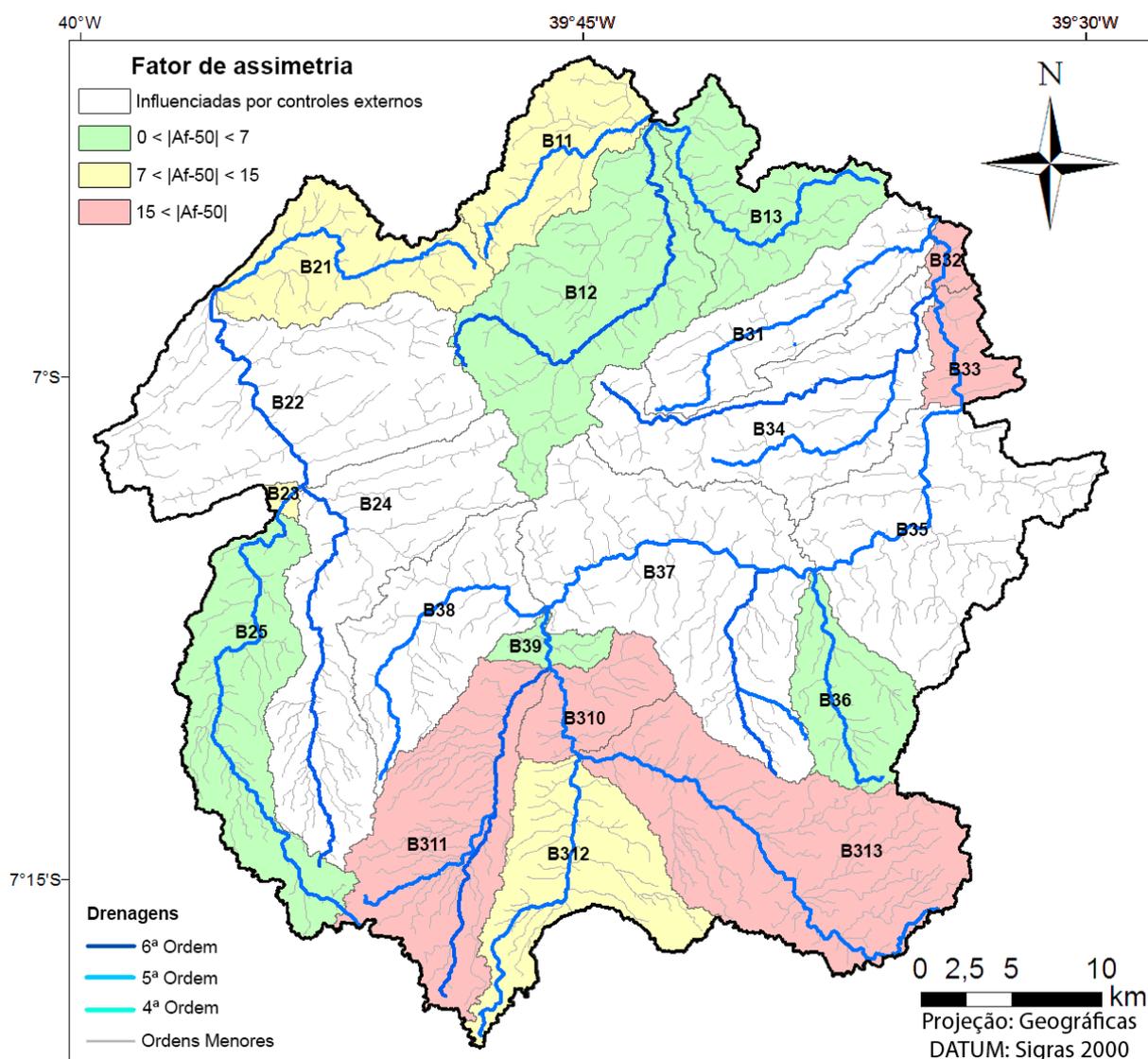
Tabela 1 – Valores para do Fator de Assimetria (AF). *Para jusante.

BACIAS	ÁREA A DIREITA DA BACIA* (KM ²)	ÁREA DA BACIA (KM ²)	AF	AF-50	CONTROLES	CIT
B11	37,83782	59,295159	63,812663	13,812663		2
B12	73,363526	142,87694	51,347353	1,3473532		3
B13	39,181753	77,664761	50,449847	0,4498469		3
B21	42,389778	70,769251	59,898582	9,8985822		2
B22	72,962129	170,85275	42,704685	7,2953148	Estrutural	-
B23	1,849761	3,00277	61,601821	11,601821		2
B24	37,992008	139,73884	27,187865	22,812135	Estrutural	-
B25	55,384182	103,49578	53,513467	3,5134673		3
B31	44,218104	74,966208	58,984048	8,9840479	Litológico	-
B32	2,245202	7,740551	29,005713	20,994287		1
B33	7,680618	24,213342	31,720603	18,279397		1
B34	35,291114	119,86797	29,441654	20,558346	Estrutural	-
B35	34,313157	142,30445	24,112498	25,887502	Litológico	-
B36	22,463271	52,050869	43,15638	6,8436197		3
B37	75,36043	177,95222	42,348687	7,651313	Ambos	-
B38	47,545141	85,454701	55,63783	5,6378297	Ambos	-
B39	5,558051	12,257449	45,344272	4,6557281		3
B310	10,04081	35,833951	28,020382	21,979618		1
B311	91,367783	118,48996	77,110146	27,110146		1
B312	35,903404	90,642257	39,610007	10,389993		2
B313	58,446736	172,02448	33,975824	16,024176		1

Fonte: Elaborada pelos autores

+

Figura 5 - Mapa do fator de assimetria (AF)



Fonte: Elaborada pelos autores

t

Sinuosidade de frente de montanha (SMF)

O cálculo das frentes de montanha é feito na região sul da área, onde ocorre a borda da chapada do Araripe com suas formações sedimentares e na borda da bacia, na região mais central da área (Figura 6). A norte existem frentes, porém sofrem grande controle litológico e não são consideradas nos resultados.

Existem 11 frentes, as quais tiveram os valores do SMF atribuídos as bacias que os abrigavam. Foi possível calcular a sinuosidade de frente de montanha em 52,6% das sub-bacias, onde as com mais de uma frente de

montanha dentro da sua área tiveram seus valores calculados através da média aritmética dos SMF. (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de SMF individuais e das bacias.

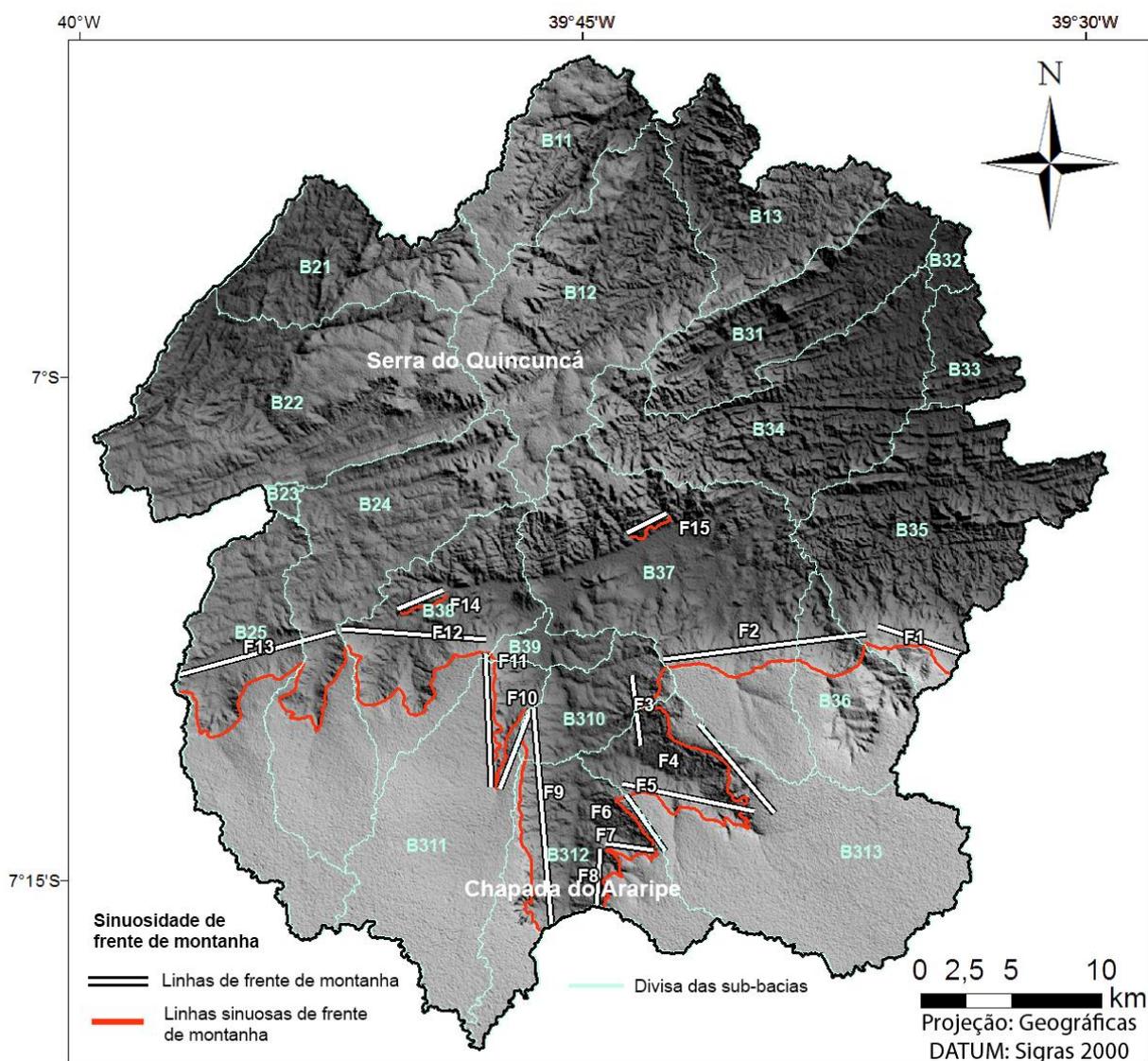
FRENTES	LMF	LS	SMF
F1	5.779,62	5.041,98	1,1462988
F2	13.130,95	11.285,09	1,1635665
F3	6.054,55	3.942,59	1,535678
F4	8.396,21	6.481,84	1,2953432
F5	9.153,91	7.483,59	1,2231977
F6	4.169,62	3.812,23	1,0937489
F7	3.288,14	2.858,73	1,1502104
F8	5.085,23	3.197,18	1,5905359
F9	14255,44	12.301,68	1,1588211
F10	5.113,32	4.709,65	1,0857115
F11	9.207,95	7.508,41	1,2263507
F12	15.078,14	7.938,74	1,8993115
F13	23.437,64	9.762,64	2,4007477
F14	2.886,49	2.736,65	1,0547508
F15	3.055,51	2.403,12	1,2714761
BACIAS	FRENTES QUE ESTÃO NA BACIA	SMF MÉDIO	CIT
B24	F13	2,4007477	3
B25	F13	2,4007477	3
B35	F1	1,1462988	2
B36	F2	1,1635665	2
B37	F2 e F15	1,2175213	2
B38	F12 e F14	1,4770312	2
B310	F3 e F9	1,535678	2
B311	F10 e F11	1,1560311	2
B312	F6, F7, F8 e F9	1,1545157	2
B313	F4 e F5	1,2592704	2

Fonte: Elaborada pelos autores

No geral, foi possível observar uma atividade tectônica moderada para o índice de sinuosidade de frente de montanha (Figura 6). Não existem valores baixos de SMF, que indicam alta atividade tectônica. É possível

encontrar baixa atividade tectônica (altos índices) nas bacias B35, B36, B37, B38, B310, B311, B312 E B313. Nas bacias B24 e B25 foi atestado inatividade.

Figura 6 - Mapa da Sinuosidade de frente de montanha.



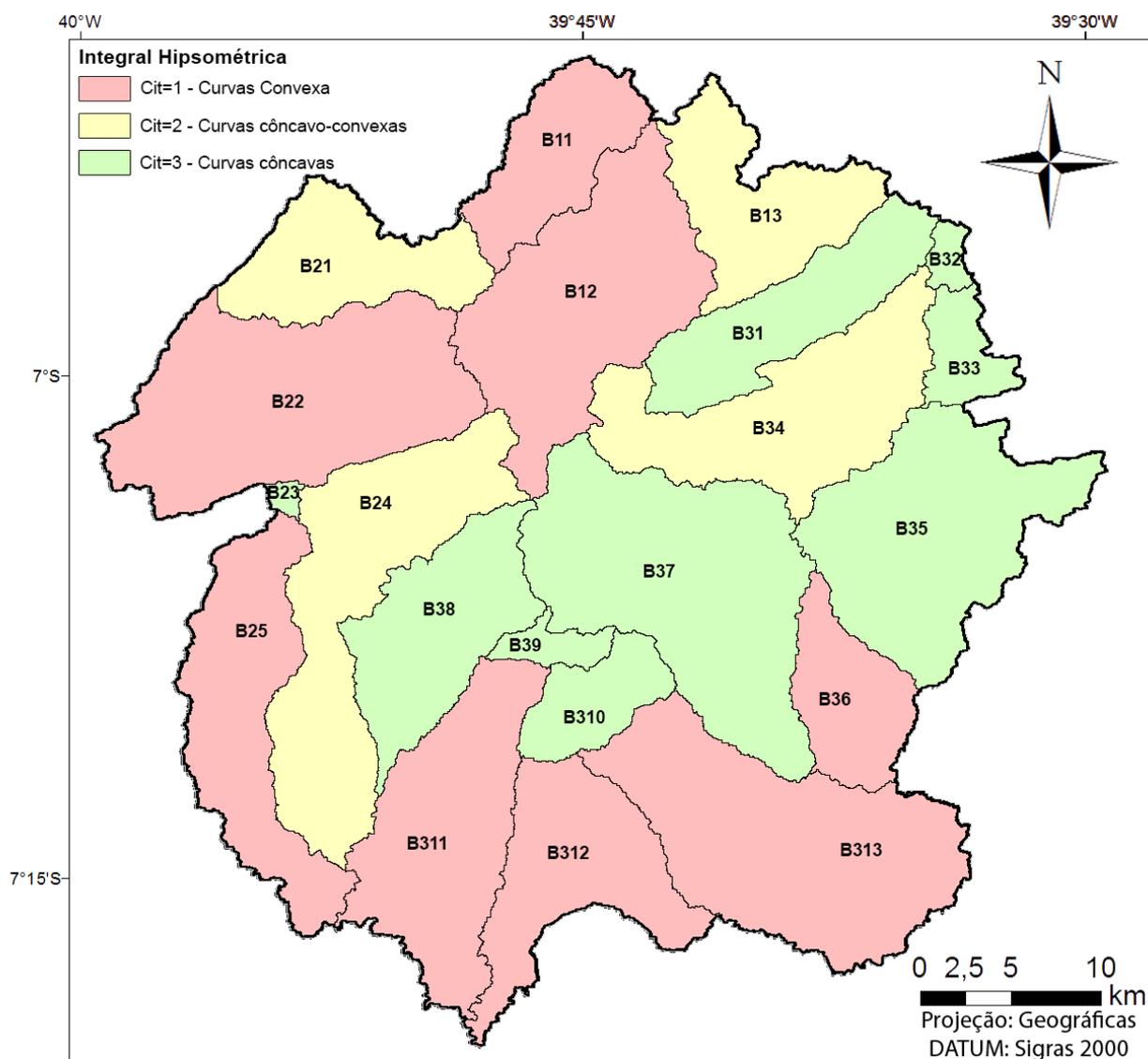
Fonte: Elaborada pelos autores

Integral hipsométrica (HI)

O valor absoluto da integral hipsométrica descreve a distribuição de elevações através de uma área de terreno (Keller e Pinter, 1996, p. 122). Oito das 21 bacias apresentaram valores elevados, indicando que não teve muita erosão e que o relevo é relativamente jovem, talvez produzido por soerguimento

tectônico, ou ainda por incisão recente produzida pela deposição de sedimentos, todas localizadas nas porções de relevo mais rebaixado da área de estudo. Quatro apresentaram valores intermediários, porém próximos dos índices mais elevados. Nove apresentaram valores baixos (Figura 7).

Figura 7 - Classes de HI para as sub-bacias. Valores CIT (Categoria de intensidade tectônica) são relacionadas as classes, onde: CIT=1 – Curvas convexas, CIT=2 – Curvas côncavo-convexas e CIT=3 – Curvas côncavas.



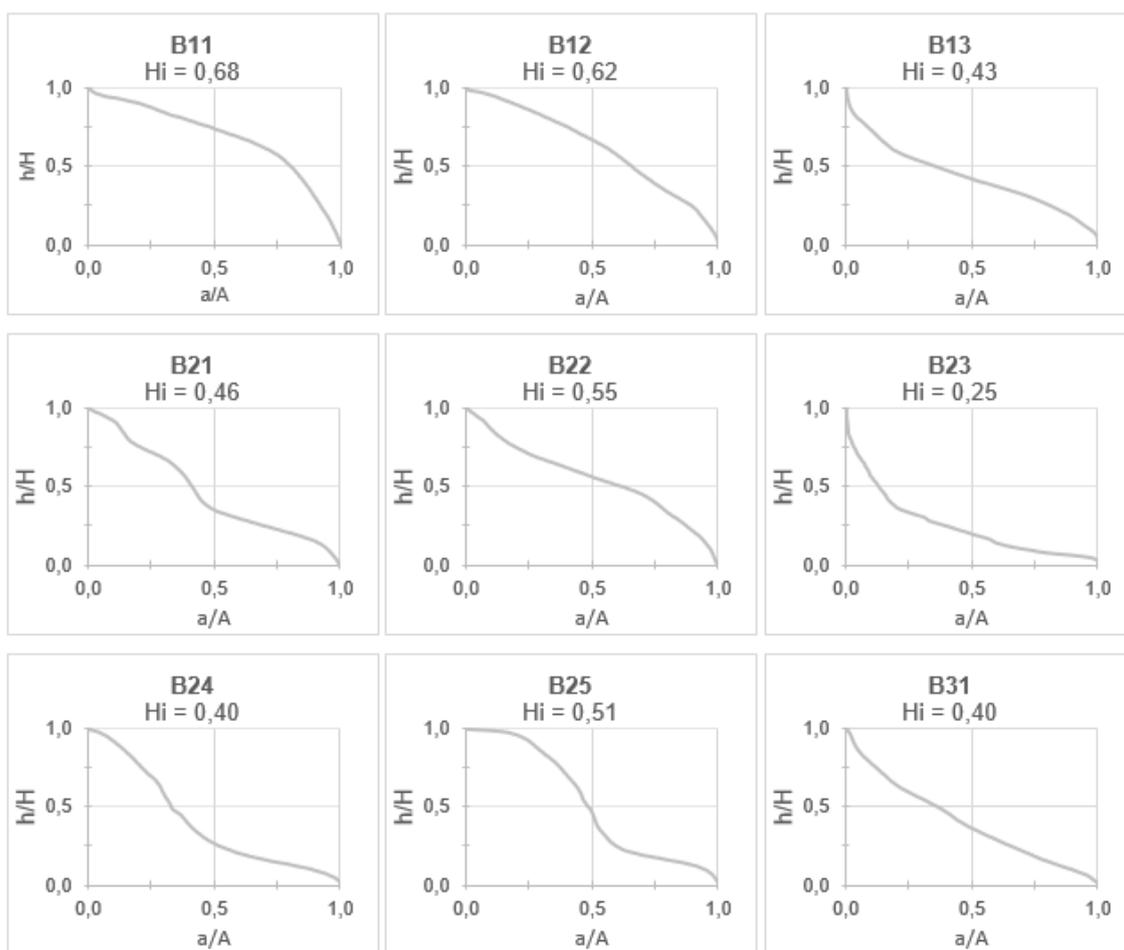
Fonte: Elaborada pelos autores

Ao analisar os gráficos, Strahler (1952) afirma que existe um desequilíbrio entre erosão-deposição quando ocorrem linhas convexas no setor superior associadas a linhas côncavas-convexas do meio para o final ou,

principalmente, linhas convexas no setor inferior, indicando então a presença de influência tectônica na bacia que ela está representando. Linhas mais retilíneas no setor médio-inferior indica forte relação entre os processos de erosão e deposição.

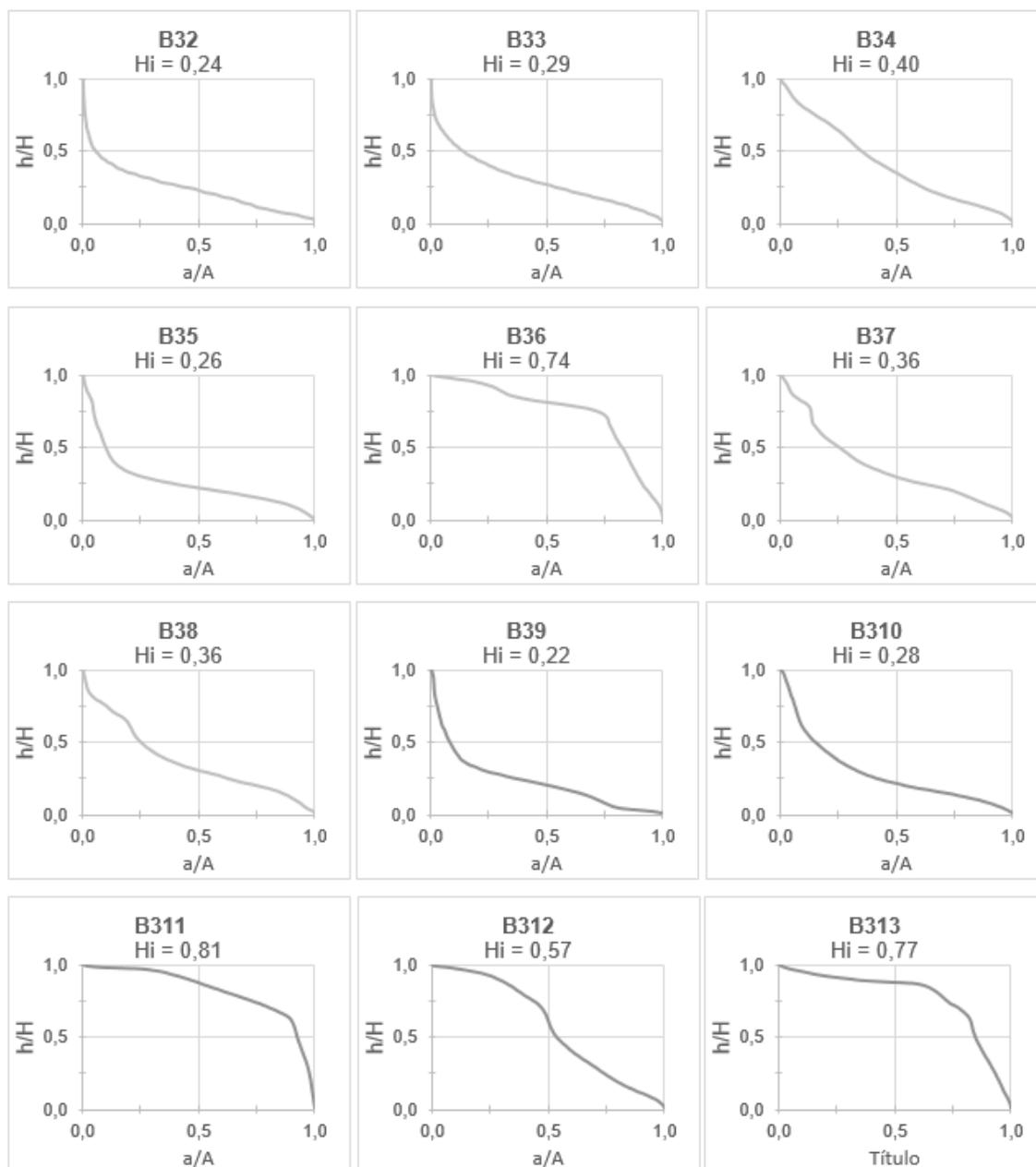
Todas as bacias que obtiveram valores de HI maiores que 0,6 apresentaram um gráfico convexo, especialmente na porção inferior, que indica alta possibilidade de influência tectônica (Figura 8).

Figura 8 - Curvas hipsométricas referentes às sub-bacias. (A - superfície total da bacia; a - área da bacia acima de uma determinada cota (h); H – elevação máxima da bacia; e HI - valor da integral hipsométrica).



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 8 (continuação)



Fonte: Elaborada pelos autores

Índice de atividade tectônica (IAT)

A Tabela 3 apresenta todos os valores dos índices morfométricos (SL, AF, SMF e HI) convertidos para valores categoria de intensidade tectônica (CIT), a média dos CIT e o valor de IAT, relativos às 21 bacias desse estudo.

Tabela 3 - Índice de atividade tectônica das sub-bacias.

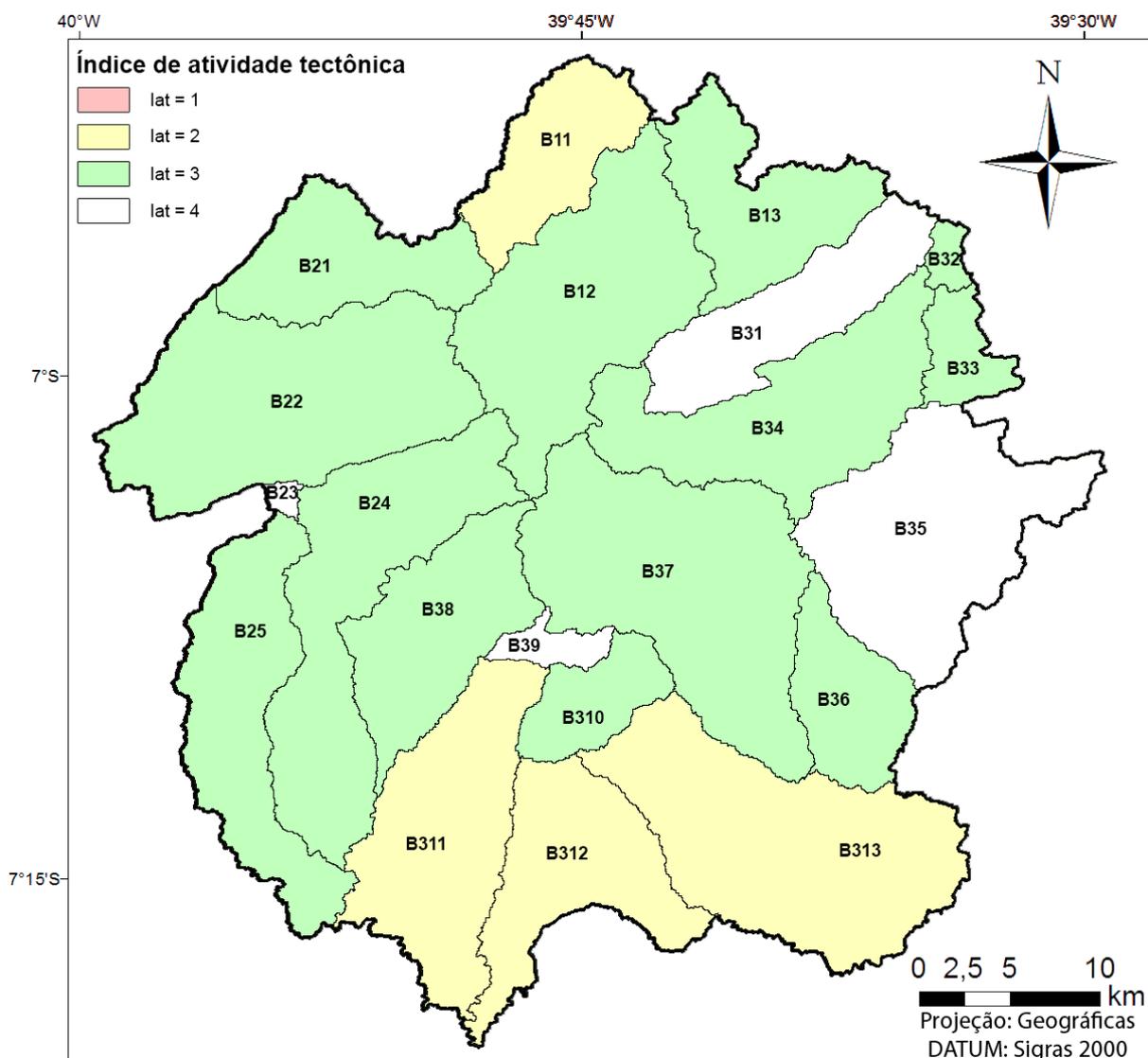
BACIAS	SL	AF	SMF	HI	MÉDIA DE CIT	IAT
B11	2	2	-	1	1,67	2
B12	2	3	-	1	2	3
B13	2	3	-	2	2,33	3
B21	2	2	-	2	2	3
B22	3	-	-	1	2	3
B23	3	2	-	3	2,67	4
B24	2	-	3	2	2,33	3
B25	2	3	3	1	2,25	3
B31	2	-	-	3	2,50	4
B32	3	1	-	3	2,33	3
B33	3	1	-	3	2,33	3
B34	2	-	-	2	2	3
B35	3	-	2	3	2,67	4
B36	2	3	2	1	2	3
B37	2	-	2	3	2,33	3
B38	2	-	2	3	2,33	3
B39	3	3	-	3	3	4
B310	2	1	2	3	2	3
B311	2	1	2	1	1,5	2
B312	2	2	2	1	1,75	2
B313	2	1	2	1	1,5	2

Fonte: Elaborada pelos autores

A área de estudo não possui nenhuma bacia com IAT=1, indicando que não existiu uma atividade tectônica muito alta, porém existem duas bacias que apresentaram média de CIT = 1,5, o que caracteriza quase uma bacia de atividade tectônica muito alta. O setor classificado como de alta atividade tectônica (IAT=2) corresponde a uma área física de 509,2 Km² (27%) e tende a se concentrar mais na área sul, com duas bacias na porção norte e nordeste. As bacias ao sul são diretamente relacionadas aos limites da Chapada do Araripe, o que pode mostrar que essa atividade pode ser um reflexo da formação da bacia. Regiões de índice tectônico moderado (IAT=3) correspondem a 980 Km² (52%), que é a maior região dentre as três classificações que ocorrem. As áreas

tectonicamente inativas (392,3 Km² ou 21%) ocorrem apenas em quatro bacias, as quais são espalhadas ().

Figura 9 - Mapa do índice de atividade tectônica das sub-bacias da área.



Fonte: Elaborada pelos autores

DISCUSSÕES

Os índices morfométricos utilizados apresentaram, mesmo com valores distintos, sub-bacias com valores, no geral, moderados a altos (Keller & Pinter, 2002). Essas informações foram obtidas a partir de imagens que seguiram três critérios de qualidade: a) imagens SRTM apresentam precisão vertical de 16m (Rabus *et al.*, 2003); b) pouco recobrimento vegetal denso, o que

melhora a qualidade dos modelos digitais de elevação (Andrades Filho & Rossetti, 2015); c) os MDE-SRTM precisam ser mapeáveis numa escala de 1:100.000 (Andrades Filho & Rossetti, 2015; Oliveira & Paradella, 2008).

Os valores de SL, no geral, foram elevados dos pontos de mudança de litotipos, porém isso não é necessariamente um indicativo de erro no método, pois em grande parte da região ele mantém o mesmo tipo de terreno, o que faz os valores serem parecidos para diferentes litotipos (Keller & Pinter, 2002). Ao converter o valor de SL para CIT, El Hamdouni *et al* (2008) consideram que ao ter uma anomalia qualquer, mesmo que ínfima, na drenagem, ela será convertida em CIT = 2, ou de anomalia moderada, algo que pode fazer com que os resultados sejam mascarados.

O AF apresenta valores elevados de assimetria na parte sul da área, relativa a borda da bacia, o que pode indicar que a inversão e seus possíveis eventos tectônicos (Marques *et al.*, 2004) foram fatores determinantes para essa assimetria. É possível ver a ocorrência de superposição de drenagens nas bacias B22, B24, B32, B33 e B35, onde elas cortam as cristas dos relevos mais elevados. Isso pode ser decorrente de um relevo herdado, onde em outrora ocorreu um tectonismo que moldou o relevo.

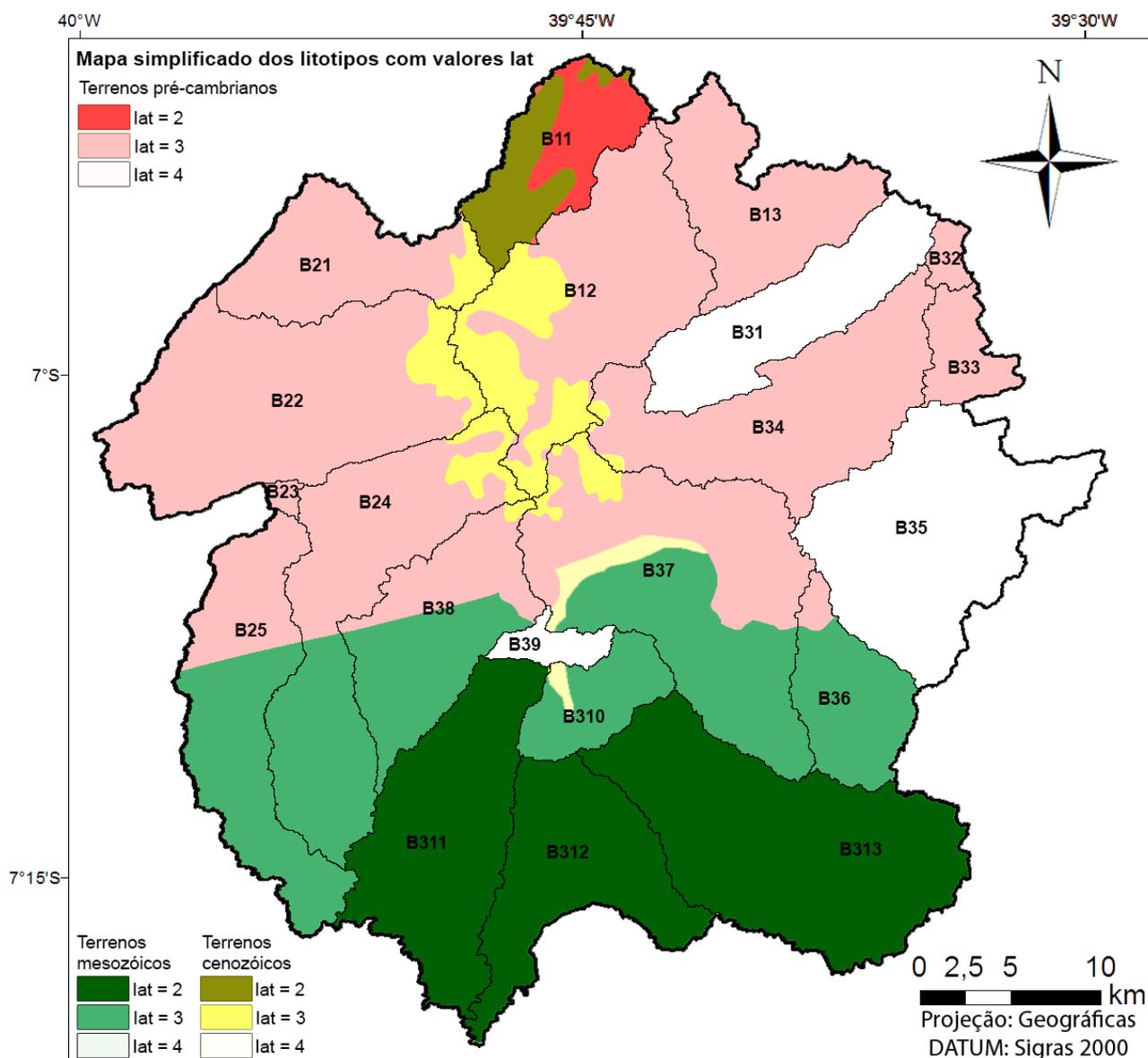
Assim como em AF, os valores de SMF, HI e IAT representaram uma atividade na porção sul da área, ou seja, na borda da bacia do Araripe, sendo que no segundo ocorrem altos valores nas sub-bacias a leste e a norte e no último tem-se valores de alta atividade na bacia B11. Reforçando ainda mais a existência de eventos tectônicos influenciando a inversão da bacia na área (Marques *et al.*, 2004). É importante salientar que as bacias B22 e B31 tiveram seus IAT calculados a partir de dois valores de CIT, o que deixa a precisão do método mais baixa. Apenas as bacias B36, B310, B311, B312 e B313 tiveram IAT calculados a partir dos quatro índices.

Terrenos cenozoicos, que potencializam a existência de atividades tectônicas, estão presentes na bacia B11 e B34, sendo que na última estão em quantidade ínfima (Figura 10).

As deformações neotectônicas, assim como a presença o sismo de 1968 (RSBR, 2013) que pode ter sido um fator importante para influenciar a tectônica da área, podem estar relacionadas à concentração de esforços e

deformação em zonas de fraqueza crustal, como zonas de afinamento, onde Correia *et al.* (2016) mostrou uma com eixo N-S, que alcança, em sua terminação sul, a área de estudo (Figura 11).

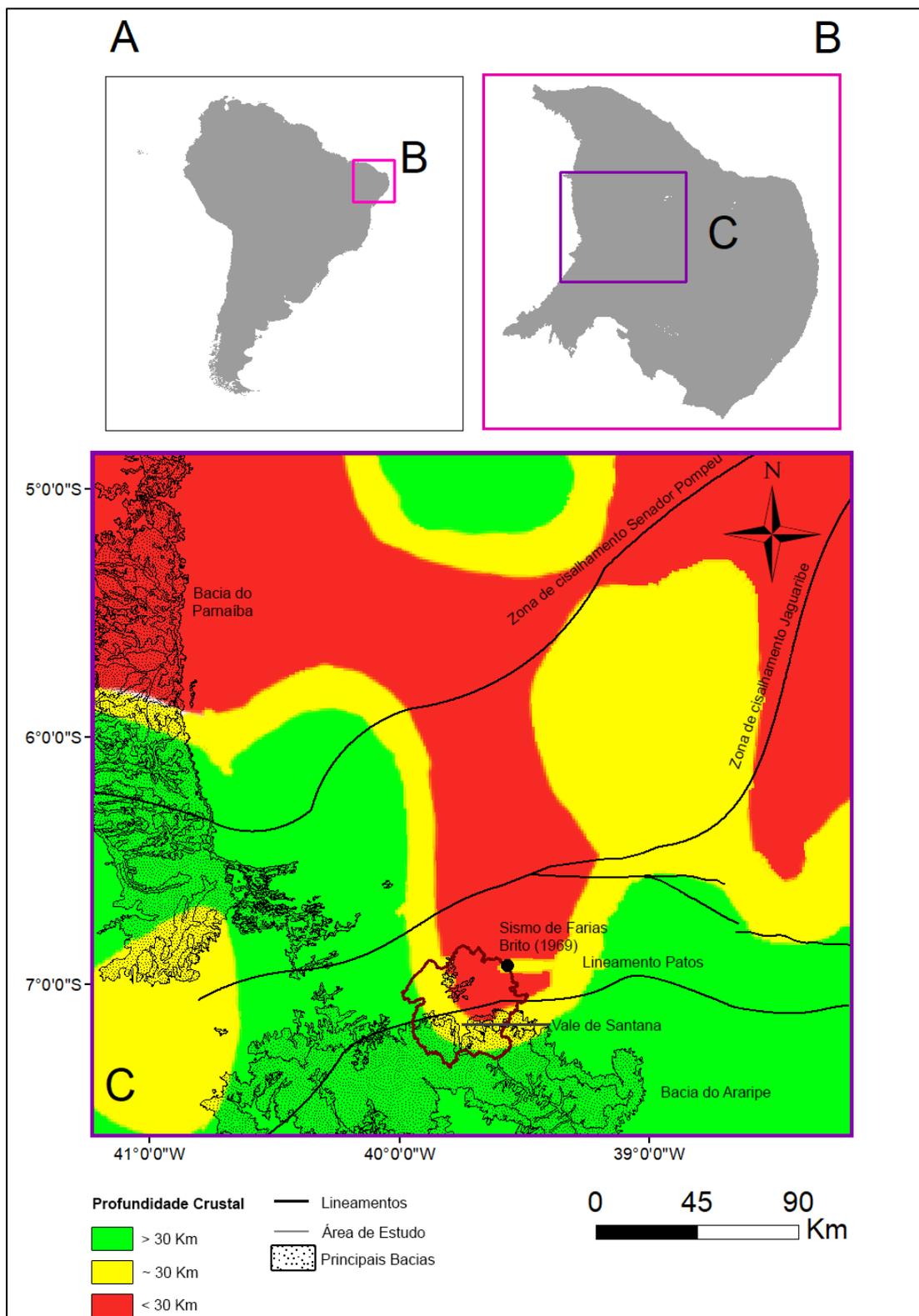
Figura 10 – Mapa geológico simplificado, com valores de IAT representados em tons mais claros (IAT=4), médios (IAT =3) e mais escuros (IAT=2). Os tons vermelhos representam terrenos pré-cambrianos, as verdes, coberturas mesozoicas e os amarelos coberturas cenozoicas.



Fonte: Elaborada pelos autores

Essa zona de afinamento crustal ocorre na mesma direção do vale de Santana do Cariri, o que pode nos levar a acreditar que a formação do mesmo está diretamente ligado ao afinamento, já que sua direção é ortogonal as estruturas, orientadas, em geral, E-W, encontradas na área. O material dissecado pode ter sido transportado e depositado onde hoje encontramos os depósitos cenozoicos da Serra do Quincuncá, no norte da área. Para confirmar essa hipótese são necessários estudos posteriores nessa região.

Figura 14 – A – America do Sul; B – Provincia da Borborema; C - Mapa de afinamento crustal modificado de Correia *et al.* (2014).



Fonte: Elaborada pelos autores

CONCLUSÃO

Os modelos digitais permitiram o uso dos índices morfométricos (SL, AF, SMF e HI) para obter um valor final (IAT), que indica o grau de atividade tectônica de uma área ao norte da bacia do Araripe.

Pela aplicação dos métodos, acredita-se que os relevos nos terrenos pré-cambrianos não foram influenciados pela neotectônica (pelo menos de forma detectável pelo método), e sim pela herança litotectônica. Na região oeste da sub-bacia B34, que apresenta grau IAT=2, existem anomalias de SL no embasamento que ocorre perto das coberturas cenozoicas. Isso pode ocorrer devido a um contato mal mapeado, onde as regiões anômalas estão sobre essas coberturas, pois o relevo, observado através da imagem SRTM, propicia que a região cenozoica ocorra em uma maior área.

No norte da área, na bacia B11, o valor de IAT=2 pode ser justificado pela presença de terrenos recentes, o que torna o método aplicável. Outra região que apresenta o mesmo valor de IAT é o Vale de Santana do Cariri, que está contido nas bacias B10, B11 E B12, e apresenta litotipos de idade mesozoica.

BIBLIGRAFIA

Assine, M. L. 2007. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**. 15 (2): 371-389

Andrades Filho, C. O., Rossetti, D. F. 2015. Intensidade da atividade tectônica na porção emersa da Bacia Paraíba e embasamento cristalino adjacente, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 42 (2): 113-130,

Bull, W.B., Mc Fadden, L.D. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: **Geomorphology Symposium**, 8., 1977, Binghamton, IAG, v. 1, p. 115-138.

Correa, R. T., Vidotti, R. M., Oksum, E. 2016. Curie surface of Borborema Province, Brazil. **Tectonophysics**, 679: 73–87.

CPRM, 2003. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**

El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. & Keller. 2008. **Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain)**. *Geomorphology*, 96(1-2): 150- 173.

Hack, J.T. 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal Research of the U. S. Geological Survey**, 1(4): 421-429.

Keller, E.A & Pinter, N. 2002. **Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape**. New Jersey, Prentice Hall, 362p.

Keller, E.A. and Pinter, N. 1996. **Active Tectonics, Earthquake Uplift and Landscape**. Upper Saddle River, Prentice Hall, 338p

Mahmood, S. A., Gloaguen, R. 2011. Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. **Geoscience Frontiers** 3(4): 207-428.

Marques, F. O., Nogueira, F.C.C. Bezerra, F.H.R. de Castro, D.L. 2014. The Araripe Basin in NE Brazil: An intracontinental graben inverted to a high-standing horst. **Tectonophysics** 630: 251–264

Mukul, M., Srivastava, V., Mukul, M. 2016. Out-of-sequence reactivation of the Munsiri thrust in the Relli River basin, Darjiling Himalaya, India: Insights from Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model-based geomorphic indices. **Geomorphology** 284: 229–237.

Oliveira, R.G. 2008. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental**. Ph. D. thesis Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 400p.

Oliveira, C.G. & Paradella, W.R. 2008. An assessment of the altimetric information derived from spacebourne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and optical (ASTER) data for cartographic application in the Amazon region. **Sensors**, 8: 3819-3829.

Peulvast, J.-P., Bétard, F.. 2014. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: The Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, 233: 20-40

Pike, R.J. 2000. Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography**, 1(24): 1-20.

Rabus, B., Eineder, M., Roty, A. & Bamler, R. 2003. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 57: 241-262.

Rede Sismográfica Brasileira. 2014. **Catálogo / boletim sísmico brasileiro - versão v2014.06**, com explicações.

Strahler, A.N. 1952. Hipsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, 63(10): 1117-1142.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho buscou fazer um estudo de possíveis áreas que foram afetadas por eventos tectônicos através de sensoriamento remoto, mais especificamente, de técnicas morfométricas na borda norte da Bacia do Araripe. O fato desse estudo ter sido feito de forma remota, tornou possível a análise, de forma rápida e eficiente, de uma grande área.

No que diz respeito às técnicas morfométricas, foram analisados quatro índices: relação declividade-extensão (SL), fator de assimetria (AF), sinuosidade de frente de montanha (SMF) e integral hipsométrica (Hi), para determinar um valor final, que utiliza esses quatro, chamado de índice de atividade tectônica (IAT), que quantifica o grau de atividade tectônica em determinada área.

A relação declividade-extensão apresentou anomalia em aproximadamente 16% dos trechos, o que equivale a 79 dos 492. No fator de assimetria, seis bacias sofreram influência dos controles e outras seis não apresentaram anomalias. Para a sinuosidade de frente de montanha tiveram, no geral, uma classificação média de grau moderado de tectonismo. O HI teve valores mais homogêneos em relação as bacias, onde foram 8 de CIT=1, 4 de CIT=2 e 9 de CIT=3.

Ao juntar as todos as análises no índice de atividade tectônica, foi possível aferir que as bacias B11, B34, B311, B312 e B313 tiveram uma classificação de alta atividade tectônica. O fato de a bacia B34 ser de alta atividade pode ser contestado pela eficiência do método para terrenos antigos, porém a presença de anomalias perto dos terrenos cenozoicos nos dá a premissa para acreditar que os contatos litológicos podem estar plotados no mapa de forma errada, pois além do já citado, essas coberturas não acompanham todo o terreno mais elevado dessa região, o que pode ser um erro.

O trabalho nos leva a uma hipótese que o material dessas coberturas cenozoicas pode ser oriundo do vale dissecado de Santana do Acaraú, da Bacia do Araripe. Isso se daria devido a concentração de esforços e deformação em zona de afinamento crustal. Essa hipótese suscita futuros trabalhos na área.

REFERÊNCIAS

- Assine, M. L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**. 15 (2): 371-389, 2007.
- Andrades Filho, C. O., Rossetti, D. F. Intensidade da atividade tectônica na porção emersa da Bacia Paraíba e embasamento cristalino adjacente, Nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 42 (2): 113-130, 2015.
- Bull, W.B., Mc Fadden, L.D. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: **Geomorphology Symposium**, 8., Binghamton, IAG, v. 1, p. 115-138, 1977.
- Correa, R. T., Vidotti, R. M., Oksum, E. Curie surface of Borborema Province, Brazil. **Tectonophysics**, 679: 73–87, 2016.
- CPRM. **Jaguaribe SW folha Sb.24-Y**. 2000
- CPRM. **Mapa geológico do estado do Ceará**. 2003
- CPRM. **Geologia e recursos minerais da folha Sousa SB.24-Z-A escala 1:250.000**. 2008
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. & Keller. **Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain)**. *Geomorphology*, 96(1-2): 150- 173, 2008.
- Hack, J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal Research of the U. S. Geological Survey**, 1(4): 421-429, 1973.
- Keller, E.A & Pinter, N. **Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape**. New Jersey, Prentice Hall, 362p. 2002.
- Keller, E.A. & Pinter, N. **Active Tectonics, Earthquake Uplift and Landscape**. Upper Saddle River, Prentice Hall, 338p, 1996.
- Mahmood, S. A., Gloaguen, R. Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. **Geoscience Frontiers** 3(4): 207-428, 2011.

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** 630: 251–264, 2014.

Mukul, M., Srivastava, V., Mukul, M. Out-of-sequence reactivation of the Munsiri thrust in the Relli River basin, Darjiling Himalaya, India: Insights from Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model-based geomorphic indices. **Geomorphology** 284: 229–237, 2016.

Oliveira, R.G. **Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozóico da Província Borborema e de sua margem continental**. Tese (Ph. D.) no Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 400p, 2008.

Oliveira, C.G. & Paradella, W.R. An assessment of the altimetric information derived from spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and optical (ASTER) data for cartographic application in the Amazon region. **Sensors**, 8: 3819-3829, 2008.

Peulvast, J.-P., Bétard, F.. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: The Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, 233: 20-40, 2014.

Pike, R.J. Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography**, 1(24): 1-20, 2000.

Ponte, F.C., Ponte-Filho, F.C. **Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe**. Departamento Nacional de Produção Mineral/MME. Rio de Janeiro, Brasil, 68 p, 1996.

Rabus, B., Eineder, M., Roty, A. & Bamler, R. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 57: 241-262, 2003.

Rede Sismográfica Brasileira. **Catálogo / boletim sísmico brasileiro - versão v2014.06, com explicações**, 2014.

Strahler, A. N. Hipsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, 63(10): 1117-1142, 1952.

Silva Filho, M. A. A faixa de dobramento Piancó: síntese do conhecimento e novas considerações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia - Rio de Janeiro: SBG.** 12v. v.7 p.3337-3347, 1984.