

Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira



caliantra



ORGANIZADORES

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes



CONSELHO EDITORIAL

Membros internos:

Prof. Dr. André Cabral Honor (HIS/UnB) - **Presidente**

Prof. Dr. Herivelto Pereira de Souza (FIL/UnB)

Prof^ª Dr^ª Maria Lucia Lopes da Silva (SER/UnB)

Prof. Dr. Rafael Sânzio Araújo dos Anjos (GEA/UnB)

Membros externos:

Prof^ª Dr^ª Ângela Santana do Amaral (UFPE)

Prof. Dr. Fernando Quiles García (Universidad Pablo de Olavide - Espanha)

Prof^ª Dr^ª Ilía Alvarado-Sizzo (UniversidadAutonoma de México)

Prof^ª Dr^ª Joana Maria Pedro (UFSC)

Prof^ª Dr^ª Marine Pereira (UFABC)

Prof^ª Dr^ª Paula Vidal Molina (Universidad de Chile)

Prof. Dr. Peter Dews (University of Essex - Reino Unido)

Prof. Dr. Ricardo Nogueira (UFAM)



A UnB quem faz
é a gente

Organizadores: Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villança Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Título: Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira

Volume: 1

Local: Brasília

Editor: Selo Caliandra

Ano: 2022

Parecerista: João Cândido André da Silva Neto

Capa: Luiz H S Cella



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília
Heloiza Faustino dos Santos - CRB 1/1913

R454 Revisões de literatura da geomorfologia brasileira [recurso eletrônico] / organizadores Osmar Abílio de Carvalho Júnior ... [et al.]. – Brasília : Universidade de Brasília, 2022.
1057 p. : il.

Inclui bibliografia.

Modo de acesso: World Wide Web:
<<http://caliandra.ich.unb.br/>>.
ISBN 978-65-86503-85-2.

1. Geomorfologia - Brasil. I. Carvalho Júnior, Osmar Abílio de.

CDU 551.4

Lista de autores

Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Adão Osdayan Cândido de Castro
Alberto Oliva
Alex de Carvalho
Ana Camila Silva
André Augusto Rodrigues Salgado
André Luiz Carvalho da Silva
André Paulo Ferreira da Costa
Antônio Carlos de Barros Corrêa
Antonio José Teixeira Guerra
Antônio Pereira Magalhães Junior
Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Archimedes Perez Filho
Beatriz Abreu Machado
Breno Ribeiro Marent
Bruno Venancio da Silva
Carlos de Oliveira Bispo
Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
César Augusto Chicarino Varajão
Claudia Rakel Pena Pereira
Cristiano da Silva Rocha
Cristina Helena Ribeiro Augustin
Daniel Françoso de Godoy
Daniel Peifer
Danielle Lopes de Sousa Lima
Danilo Vieira dos Santos
David Hélio Miranda de Medeiros
Delano Nogueira Amaral
Dirce Maria Antunes Suertegaray
Edison Fortes
Edivando Vitor do Couto
Eduardo Souza de Moraes
Edwilson Medeiros dos Santos
Éric Andrade Rezende
Fabiana Souza Ferreira
Fábio Perdigão Vasconcelos
Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Fabrizio do Nascimento Garritano
Felipe Gomes Rubira
Flávio Rodrigues do Nascimento
Francisco Dourado
Francisco Edmar de Sousa Silva
Francisco Leandro de Almeida Santos
Frederico de Holanda Bastos
Gisele Barbosa dos Santos
Giselle Ferreira Borges
Guilherme Borges Fernandez
Hugo Alves Soares Loureiro
Idjarrury Gomes Firmino
Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia
Jáder Onofre de Moraes
Jémison Mattos dos Santos
João Paulo de Carvalho Araújo
José Fernando Rodrigues Bezerra
Juliana Sousa Pereira
Julio Cesar Paisani
Jurandyr L. Sanches Ross
Karine Bueno Vargas
Kleython de Araújo Monteiro
Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes
Leonardo dos Santos Pereira
Leonardo José Cordeiro Santos
Letícia Augusta Faria de Oliveira
Lidriana de Souza Pinheiro,
Lígia Padilha Novak
Luiz Fernando de Paula Barros
Manoel do Couto Fernandes
Marcel Hideyuki Fumiya,
Marcelo Martins de Moura Fé
Marcos César Pereira Santos
Maria Bonfim Casemiro
Mariana Silva Figueiredo
Marli Carina Siqueira Ribeiro
Martim de Almeida Braga Moulton
Michael Vinicius de Sordi
Mônica dos Santos Marçal
Neiva Barbalho de Moraes
Nelson Ferreira Fernandes
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
Oswaldo Girão da Silva
Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Otávio Cristiano Montanher
Paulo Cesar Rocha
Paulo de Tarso Amorim Castro
Paulo Roberto Silva Pessoa
Pedro Val
Peter Christian Hackspacher
Rafaela Soares Niemann
Raphael Nunes de Souza Lima
Roberto Marques Neto

Roberto Verdum
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa
Rubson Pinheiro Maia
Sandra Baptista da Cunha
Sarah Lawall
Sérgio Cadena de Vasconcelos
Sérgio Murilo Santos de Araújo
Silvio Carlos Rodrigues
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Simone Cardoso Ribeiro
Tania Cristina Gomes

Thais Baptista da Rocha
Thiago Gonçalves Pereira
Thiago Pereira Gonçalves
Thomaz Alvisi de Oliveira
Tulius Dias Nery
Úrsula de Azevedo Ruchkys
Vanda de Claudino-Sales
Vanessa Martins Lopes
Vinícius Borges Moreira
Vitor Hugo Rosa Biffi

PREFÁCIO

O presente livro consiste em um conjunto de revisões sobre os avanços teóricos e tecnológicos nos diversos temas da Geomorfologia. Concebido para estar em uma plataforma on-line com acesso gratuito, o livro destina-se aos cursos de graduação e pós-graduação que utilizam os conhecimentos geomorfológicos, incluindo Geografia, Geologia, Ecologia, Engenharia, Planejamento Territorial, entre outros. Para atender o escopo e o desafio imposto, a obra possui um total de 36 capítulos que congregam 111 pesquisadores das diversas regiões do Brasil, trazendo relatos relevantes de nossa paisagem e dos avanços alcançados pela Geomorfologia brasileira. Os capítulos do livro estão segmentados em contextos temáticos e geográficos de estudo, incluindo: dinâmica fluvial, ambientes costeiros, evolução de vertentes, micro relevo, ambientes cársticos, geomorfologia regional, geomorfologia estrutural; mapeamento geomorfológico, patrimônio natural, mitigação de riscos naturais; interações pedo-geomorfológicas, etnogeomorfologia, modelos numéricos, novas abordagens tecnológicas em geomorfologia. Além de abranger os conceitos e o estado da arte na análise dos processos e sistemas geomorfológicos, os capítulos realizam uma visão crítica dos diversos temas abordados.

Na última década, inúmeros avanços foram alcançados com o aumento da disponibilidade de dados de monitoramento da superfície terrestre, métodos computacionais e compartilhamento de experiências. A grande quantidade de dados e métodos resulta em novos desafios de análise e processamento na busca de respostas científicas dentro de uma apreciação crítica. A concepção desse livro integra revisões e discussões sobre essas novas abordagens teóricas, instrumentais e tecnológicas que passam a ter um fator primordial para estabelecer os novos rumos da ciência geomorfológica.

Dada a magnitude continental do nosso território, não é surpreendente que a paisagem brasileira seja evidenciada e detalhada em suas peculiaridades nos textos. Portanto, vários capítulos exploram e refletem a natureza distinta da paisagem e da biota brasileira, revelando os processos naturais e as perturbações antrópicas que alteram o meio ambiente e desencadeiam processos erosivos, movimento de massa, inundações, entre outros. Nesse contexto, as pesquisas aplicadas são extremamente oportunas devido à alta demanda para solução de problemas prementes e complexo de nossos ambientes e sociedade, necessitando continuamente de alternativas, novos conceitos, perspectivas tecnológicas e inovações metodológicas. Muitos capítulos abordam revisões sobre trabalhos aplicados na investigação geomorfológica e resolução de problemas, normalmente desencadeados por perturbações humanas com consequências variadas nos diferentes sistemas.

Os editores abnegaram a oportunidade de contribuir com capítulos para garantir a imparcialidade na seleção dos textos que compõe o livro. Por fim, os editores agradecem especialmente a União de Geomorfologia Brasileira e a todos os colaboradores que contribuíram com seus conhecimentos específicos para a elaboração dessa obra abrangente e de grande relevância para o conhecimento da Geomorfologia nacional.

Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Maria Carolina Villaça Gomes
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

SUMARIO

1. CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS EM TORNO DA PESQUISA EM GEOMORFOLOGIA: DO PROJETO AO ARTIGO CIENTÍFICO

André Augusto Rodrigues Salgado
Alberto Oliva

----- 16

2. ARQUIVOS FLUVIAIS QUATERNÁRIOS NO INTERIOR CONTINENTAL: O CONTEXTO SERRANO DE MINAS GERAIS, BRASIL

Antônio Pereira Magalhães Junior
Luiz Fernando de Paula Barros
Alex de Carvalho
Letícia Augusta Faria de Oliveira

----- 39

3. PROCESSOS DE REORGANIZAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM NO BRASIL

Breno Ribeiro Marent
Éric Andrade Rezende
Michael Vinícius de Sordi
André Augusto Rodrigues Salgado

----- 76

4. AVALIAÇÃO INTEGRADA DE SISTEMAS FLUVIAIS: SUBSÍDIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE VALORES PATRIMONIAIS

Carmélia Kerolly Ramos de Oliveira
Paulo de Tarso Amorim Castro
Úrsula de Azevedo Ruchkys

----- 98

5. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES

Claudia Rakel Pena Pereira
Sandra Baptista da Cunha

----- 124

6. AJUSTAMENTO FLUVIAL À AGROPECUÁRIA, URBANIZAÇÃO E RESERVATÓRIO E ANÁLISE CIENTOMÉTRICA DO IMPACTO DESSAS ATIVIDADES NOS RIOS BRASILEIROS	
Eduardo Souza de Morais Otávio Cristiano Montanher	
-----	143
7. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL DO BRASIL ASSOCIADA AO ATUAL CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL	
Giselle Ferreira Borges Neiva Barbalho de Morais Ana Camila Silva Leonardo dos Santos Pereira Sarah Lawall	
-----	176
8. CONTROLE TECTONO-ESTRUTURAL DOS SISTEMAS DE DRENAGEM: REVISÃO LITERÁRIA E PROPOSTAS METODOLÓGICAS	
Idjarrury Gomes Firmino Karine Bueno Vargas Edison Fortes	
-----	212
9. GEOMORFOLOGIA FLUVIAL E GESTÃO DOS RIOS NO BRASIL	
Mônica dos Santos Marçal Adão Osdayan Cândido de Castro Raphael Nunes de Souza Lima	
-----	240
10. INUNDAÇÕES E CONCEITOS CORRELATOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE COMPARATIVA.	
Rodrigo Vitor Barbosa Sousa Paulo Cesar Rocha	
-----	265
11. SISTEMAS LACUSTRES INTERIORES: AVANÇOS E TÉCNICAS DE ESTUDO	
Gisele Barbosa dos Santos Paulo de Tarso Amorim Castro	
-----	278

12. EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DE PLANÍCIES COSTEIRAS:
DO QUATERNÁRIO AOS EVENTOS ATUAIS

Guilherme Borges Fernandez
Thais Baptista da Rocha
Silvio Roberto de Oliveira Filho
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Luiz Carvalho da Silva
Thiago Gonçalves Pereira
Martim de Almeida Braga Moulton

----- 308

13. MORFOLOGIA COSTEIRA EM LITORAIS URBANOS

Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Fábio Perdigão Vasconcelos
Cristiano da Silva Rocha
Maria Bonfim Casemiro
Danilo Vieira dos Santos
Francisco Edmar de Sousa Silva
Delano Nogueira Amaral

----- 351

14. DELTAS DOMINADOS POR ONDAS: TRAJETÓRIA CONCEITUAL,
DINÂMICA E EVOLUÇÃO A PARTIR DE EXEMPLOS DO COMPLEXO
DELTAICO DO RIO PARAÍBA DO SUL

Thaís Baptista da Rocha
Sérgio Cadena de Vasconcelos
André Paulo Ferreira da Costa
Beatriz Abreu Machado
Mariana Silva Figueiredo
Lígia Padilha Novak
Thiago Pereira Gonçalves
Guilherme Borges Fernandez

----- 381

15. REGISTROS DAS VARIAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO
LITORAL BRASILEIRO E AS IMPLICAÇÕES
PERANTE A MORFOGÊNESE DE SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGI-
CAS EM AMBIENTES COSTEIROS

Felipe Gomes Rubira
Archimedes Perez Filho

----- 410

16. VALES INCISOS SUBMERSOS DA PLATAFORMA
CONTINENTAL SEMIÁRIDA DO BRASIL

Antonio Rodrigues Ximenes Neto
Lidriana de Souza Pinheiro
David Hélio Miranda de Medeiros
Paulo Roberto Silva Pessoa
Jáder Onofre de Moraes

----- 445

17. GEOMORFOLOGIA EÓLICA CONTINENTAL E OS
CAMPOS DE DUNAS HOLOCÊNICAS DO PAMPA NO RIO
GRANDE DO SUL, BRASIL

Tania Cristina Gomes
Roberto Verdum

----- 471

18. EROSÃO POR VOÇOROCAS: ESTADO DA ARTE

Juliana Sousa Pereira
Silvio Carlos Rodrigues

----- 499

19. MONITORAMENTO DA EROSÃO HÍDRICA NO BRASIL:
DOS MÉTODOS MANUAIS AOS DIGITAIS

Hugo Alves Soares Loureiro
Antonio José Teixeira Guerra
José Fernando Rodrigues Bezerra
Leonardo dos Santos Pereira
Fabrizio do Nascimento Garritano

----- 526

20. MOVIMENTOS DE MASSA: ESTADO DA ARTE,
ESCALAS DE ABORDAGEM, ENSAIOS DE CAMPO E LABORATÓRIO
E DIFERENTES MODELOS DE PREVISÃO

Fabrizio de Luiz Rosito Listo
Tulius Dias Nery
Carlos de Oliveira Bispo
Fabiana Souza Ferreira
Edwilson Medeiros dos Santos

----- 560

21. MORFOGÊNESE DE MICRORRELEVOS SIMILARES
A MURUNDUS NA PAISAGEM
- Vinícius Borges Moreira
Archimedes Perez Filho
- 593
22. APLAINAMENTO NO NOROESTE DO PARANÁ:
DE MODELOS POLICÍCLICO À MORFOTECTÔNICA
QUATERNÁRIA
- Marcel Hideyuki Fumiya
Edivando Vitor do Couto
Leonardo José Cordeiro Santos
- 615
23. GEOMORFOLOGIA DO QUATERNÁRIO E
GEOARQUEOLOGIA: ASPECTOS CONCEITUAIS, METODOLÓGICOS
E APLICAÇÕES NO SUL DO BRASIL
- Vitor Hugo Rosa Biffi
Marcos César Pereira Santos
Julio Cesar Paisani
Nelson Vicente Lovatto Gasparetto
- 648
24. TERMOCRONOLOGIA APLICADA À EVOLUÇÃO
GEOMORFOLÓGICA DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL:
UMA BREVE REVISÃO
- Francisco Leandro de Almeida Santos
Flávio Rodrigues do Nascimento
Peter Christian Hackspacher (In Memoriam)
Marli Carina Siqueira Ribeiro
Bruno Venancio da Silva & Daniel França de Godoy
- 677
25. A TAXONOMIA DO RELEVO E A CARTOGRAFIA
GEOMORFOLÓGICA REGIONAL
- Jurandyr L. Sanches Ross
Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia
- 701

26.	RELEVOS GRANÍTICOS DO NORDESTE BRASILEIRO: UMA PROPOSTA TAXONÔMICA	
	Frederico de Holanda Bastos Danielle Lopes de Sousa Lima Abner Monteiro Nunes Cordeiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	733
27.	REVISITANDO OS MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Daniel Peifer Cristina Helena Ribeiro Augustin	
	-----	759
28.	SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS E MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO	
	Karine Bueno Vargas Idjarrury Firmino Michael Vinicius de Sordi	
	-----	793
29.	A GEOMORFOLOGIA NOS ESTUDOS INTEGRADOS DA PAISAGEM: ENFOQUE EVOLUTIVO E DINÂMICO NA INTERPRETAÇÃO DOS SISTEMAS GEOMORFOLÓGICOS	
	Roberto Marques Neto Thomaz Alvisi de Oliveira	
	-----	813
30.	ESTADO DA ARTE DOS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA SÍNTESE (E VÁRIAS TESES)	
	Vanda de Claudino-Sales Antonio Carlos Barros Côrrea Kleython de Araújo Monteiro Rubson Pinheiro Maia	
	-----	845
31.	AS SUPERFÍCIES DE EROSÃO DO “BRASIL ORIENTAL”	
	César Augusto Chicarino Varajão	
	-----	875

32.	ETNOGEOMORFOLOGIA - RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÕES TRADICIONAIS E A PAISAGEM FÍSICA	
	Simone Cardoso Ribeiro Vanessa Martins Lopes Osvaldo Girão da Silva Antônio Carlos de Barros Corrêa	
	-----	886
33.	DESAFIOS E PERSPECTIVAS DAS PESQUISAS SOBRE O PATRIMÔNIO GEOMORFOLÓGICO NO BRASIL	
	Vanda de Claudino-Sales Laryssa Sheydder de Oliveira Lopes	
	-----	910
34.	USO DO LIDAR NA GEOMORFOLOGIA: APLICAÇÕES E DESAFIOS FUTUROS	
	João Paulo de Carvalho Araújo Rafaela Soares Niemann Francisco Dourado Manoel do Couto Fernandes Nelson Ferreira Fernandes	
	-----	927
35.	MODELOS NUMÉRICOS DE EVOLUÇÃO DO RELEVO (LEMS) E SUA IMPORTÂNCIA PARA ESTUDOS DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM	
	Nelson F. Fernandes Daniel Peifer Pedro Val	
	-----	953
36.	SOLO HISTÓRICO DA DESERTIFICAÇÃO NO BRASIL	
	Jémison Mattos dos Santos Sérgio Murilo Santos de Araújo Dirce Maria Antunes Suertegaray	
	-----	1000

37. GEOMORFOLOGIA ESTRUTURAL:
REVISITANDO TEORIAS, MÉTODOS E ESTUDOS
DE CASO NO NORDESTE BRASILEIRO

Frederico de Holanda Bastos
Abner Monteiro Nunes Cordeiro
Marcelo Martins de Moura Fé

----- 1029

24. TERMOCRONOLOGIA APLICADA À EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL: UMA BREVE REVISÃO

Francisco Leandro de Almeida Santos¹, Flávio Rodrigues do Nascimento¹, Peter Christian Hackspacher (*In Memoriam*), Marli Carina Siqueira Ribeiro², Bruno Venancio da Silva & Daniel Françoso de Godoy²

¹ Departamento Geografia da Universidade Federal do Ceará; Campus do Pici Bloco 11, CEP 60440-900. Fortaleza/CE; leogeofisico@gmail.com; flaviorn@yahoo.com.br

² Departamento de Petrologia e Metalogenia da Universidade Estadual Paulista, Av 24A, 1515, CEP:15506-900. R. Claro/SP; marlicarina@gmail.com; rochabt@gmail.com; danielgodoy@unesp.br

Resumo: A termocronologia de baixa temperatura abrange um conjunto de métodos radiométricos que se baseiam na retenção de produtos do decaimento radioativo em minerais, em função da temperatura a que as rochas são submetidas ao longo do tempo geológico. Os métodos termocronológicos têm sido aplicados para reconstrução de histórias térmicas da crosta superior, utilizadas para decifrar a evolução tectônica e de denudação dos continentes. No Nordeste Setentrional do Brasil, a termocronologia tem possibilitado compreender os efeitos da abertura da Margem Equatorial Atlântica e de eventos pós rifte sobre a gênese e evolução dos compartimentos de relevo da Província Borborema. Desta forma, este trabalho pretende apresentar o estado da arte acerca das contribuições da termocronologia e suas perspectivas futuras como base de método para os estudos geomorfológicos no Nordeste Setentrional do Brasil.

Palavras-Chave: Métodos termocronológicos, histórias térmicas, evolução tectônica, denudação, Província Borborema.

Abstract: The low temperature thermochronology consists of a set of radiometric methods that are based on the retention of radioactive decay product's in minerals, as a function of the temperature to which rocks are subjected over geological time. Thermochronological methods have been applied for reconstruction of thermal histories of the upper crust, used to decipher the tectonic and denudation evolution of the continents. In the Northeast Northeast of Brazil, thermochronology has made it possible to understand the effects of the opening of the Atlantic Equatorial Margin and post-rift events on the genesis and evolution about of the relief compartments of the Borborema Province. Therefore, this work intends to present the state of the art about the contributions of thermochronology and its future perspectives as a method base for geomorphological studies in the Septentrional Northeast of Brazil.

Keywords: Thermochronological methods, thermal histories, tectonic evolution, denudation, Borborema Province

Tema: Geomorfologia do Quaternário

1 INTRODUÇÃO

A geomorfologia do Nordeste Setentrional brasileiro foi interpretada classicamente pelos trabalhos de Ab' Saber (1969), Bigarella e Mousinho (1966), Mabsone e Castro (1974). Esses autores interpretaram a evolução do relevo como resultante de soerguimentos pós-cretáceos e variações climáticas alternadas entre climas úmidos e secos no Quaternário. Na fase úmida, o predomínio da morfogênese química favoreceu o desenvolvimento de geofomas dissecadas sobre as vertentes a partir da instalação da rede hidrográfica e abertura prévia dos vales. Na fase seca, a preponderância da morfogênese mecânica promoveu o recuo paralelo das escarpas condicionando o escalonamento de pedimentos embutidos na estruturação das superfícies de aplainamento sertanejas.

Os trabalhos clássicos contribuíram para a consolidação de uma geomorfologia do Quaternário com ênfase nos processos de erosão linear e recuo paralelo das vertentes, interpretadas como paleosuperfícies de flutuações climáticas semiáridas. Esses trabalhos apresentam limitações na elucidação de aspectos estruturais, sobretudo, da tectônica rifte, pós-rifte e da erosão diferencial ao longo das zonas de cisalhamento que controlam a evolução do relevo da Província Borborema (MAIA E BEZERRA, 2014).

As zonas de cisalhamento brasileiras reativadas durante o Cretáceo possuem planos de deformação orientados na direção NE-SW e E-W, que sugerem lineamentos estruturais positivos e negativos representados por sequências de cristas e vales e trechos retilíneos escarpados, confinando canais de drenagem (SILVA; MAIA, 2017).

Assim, os aspectos ligados a geomorfologia estrutural ganham significado para interpretação do relevo do Nordeste Setentrional a partir dos trabalhos de Peulvast e Claudino Sales (2004, 2006), Peulvast et al. (2008), Bétard e Peulvast (2011, 2015), Maia e Bezerra (2014) e Claudino Sales (2016), através de uma abordagem poligênica que aborda a tectônica rifte e pós rifte no soerguimento do relevo, bem como as variações climáticas do Quaternário na elaboração de superfícies de erosão e agradação.

A Província Borborema abrange quase que a totalidade dos estados do Nordeste (exceto Bahia, Piauí e Maranhão), limitando-se com a Bacia do Parnaíba a oeste, o Cráton São Francisco ao sul, a Província da Margem Continental Leste a leste e Equatorial ao norte. Encontra-se dividida em três grandes subprovíncias (Meridional, Transversal e Setentrional), separadas por duas grandes estruturas tectônicas denominadas de Lineamento Patos e Pernambuco (HASUI, 2012, BRANDÃO; FREITAS, 2014).

A Província Borborema possui uma malha de zonas de cisalhamento de escala continental que forma um sistema cinematicamente consistente por mais de 200.000 Km² (VAUCHEZ et al., 1995). É um mosaico de porções do embasamento, microcontinentes

e faixas orogenéticas do Arqueano ao Neoproterozoico, delimitadas por zonas de cisalhamento transcorrentes e falhas de empurrão (HASUI, 2012).

A Subprovíncia Setentrional (Figura 1) está dividida em três domínios tectônicos principais conhecidos como: Domínio Médio Coreau (demarcado a sudeste pelo Lineamento Transbrasiliano) Domínio Ceará Central (delimitado a noroeste pelo Lineamento Transbrasiliano e a sudeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu) e Domínio Rio Grande do Norte (Limita-se a Noroeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e ao sul pelo Lineamento Patos). Este último é subdividido nos subdomínios Jaguaribeano, Piranhas-Serindó e São José do Campestre (ARTHAUD et al., 2008, 2015, CPRM, BRASIL, 2015).

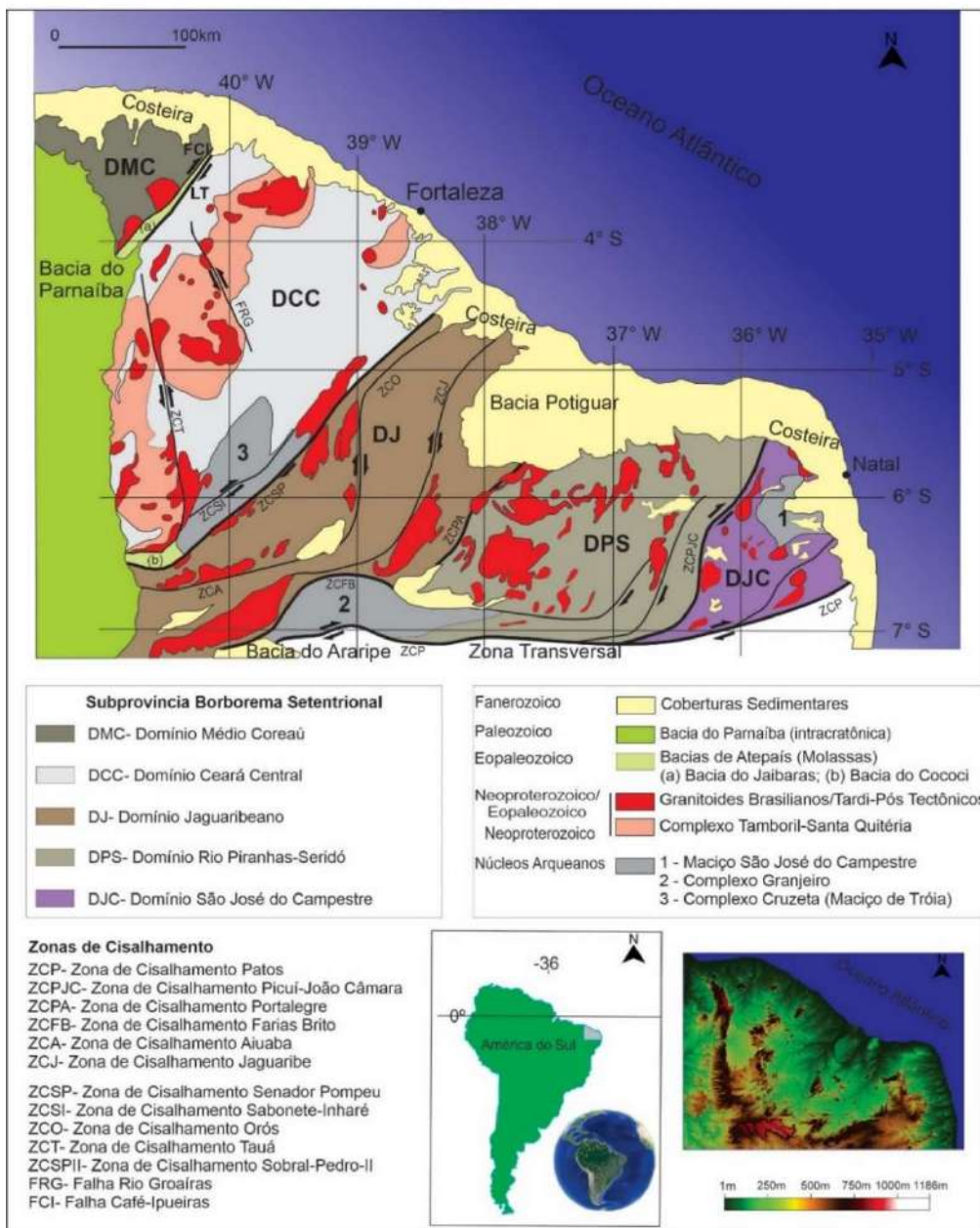


Figura 1. Localização e Geologia Simplificada da Província Borborema. Fonte: CPRM, Brasil (2015) e Arthaud et al., (2008, 2015), modificado pelos autores.

Em termos de geração das principais morfoestruturas do Nordeste Setentrional do Brasil, cinco eventos foram marcantes na gênese e evolução do relevo da área:

- 1) Orogênese Brasileira (665-550), com a formação do arco magmático Tamboril-Santa Quitéria no interior da Província Borborema (Neoproterozoico) (BRITO NEVES, 1999, ARTHAUD *et al.*, 2015);
- 2) Intrusão de granitos tardios e formação dos riftes precursores que originaram as bacias do Jaibas e do Parnaíba (Final do Neoproterozoico e início do Paleozoico) (VAZ *et al.*, 2007, PEDROSA JR *et al.*, 2016);
- 3) Abertura da Margem Equatorial Atlântica, formação das bacias sedimentares Potiguar e do Araripe, reativação das zonas de cisalhamento com soerguimento de relevos sedimentares e exumação de maciços graníticos e cristas estruturais (Cretáceo Inferior) (CAVALCANTE, 2003, PEULVAST; CLAUDINO SALES, 2006, PESSOA NETO *et al.*, 2007, MAIA; BEZERRA, 2014);
- 4) Subsidência térmica e sedimentação da plataforma *offshore* (Cretáceo Superior) (PESSOA NETO *et al.*, 2007);
- 5) Soerguimento flexural do continente, com início no Paleógeno. Deposição das formações Barreiras e Serra dos Martins (Mioceno), variações climáticas e elaboração das superfícies de aplainamento sertanejas entre o Mioceno e o Pleistoceno (LIMA, 2008, CLAUDINO SALES, 2016).

Essa sequência de eventos é responsável pelas linhas mestras do relevo do Nordeste Setentrional controlando a evolução geomorfológica atual, bem como a configuração dos processos denudacionais do Cenozoico. Tal controle resulta do condicionamento estrutural das zonas de cisalhamento brasileiras dispostas em faixas paralelas e direcionadas segundo os planos de deformação, falhas e fraturas, comandando os processos erosivos que passam a expressar o relevo (MAIA; BEZERRA, 2014).

A imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) abaixo (Figura 2) expõe o contexto morfoestrutural do Nordeste Setentrional do Brasil com a localização e disposição das principais unidades geomorfológicas da área.

Esses relevos acham-se alinhados segundo zonas de cisalhamento de origem proterozoica (reativadas durante o Cretáceo). As morfoestruturas do Proterozoico e Cretáceo foram retrabalhadas por episódios tectônicos (soerguimentos cenozoicos), magmáticos (vulcanismo neógeno), erosivos (associados a climas secos, mudanças climáticas e variações do nível do mar) e sedimentológicos, (acumulação de sedimentos formando as planícies fluviais e costeiras) (CLAUDINO SALES, 2016).

Desta forma, os dados de termocronologia de baixa temperatura são fundamentais para validar e delinear a história termal e a magnitude dos eventos tectônicos, além da determinação de idades e taxas médias de erosão a partir das informações geológicas e geomorfológicas, que permitem qualificar e quantificar o grau de exumação e denudação de áreas do embasamento pré-cambriano (HACKSPACHER *et al.*, 2004).

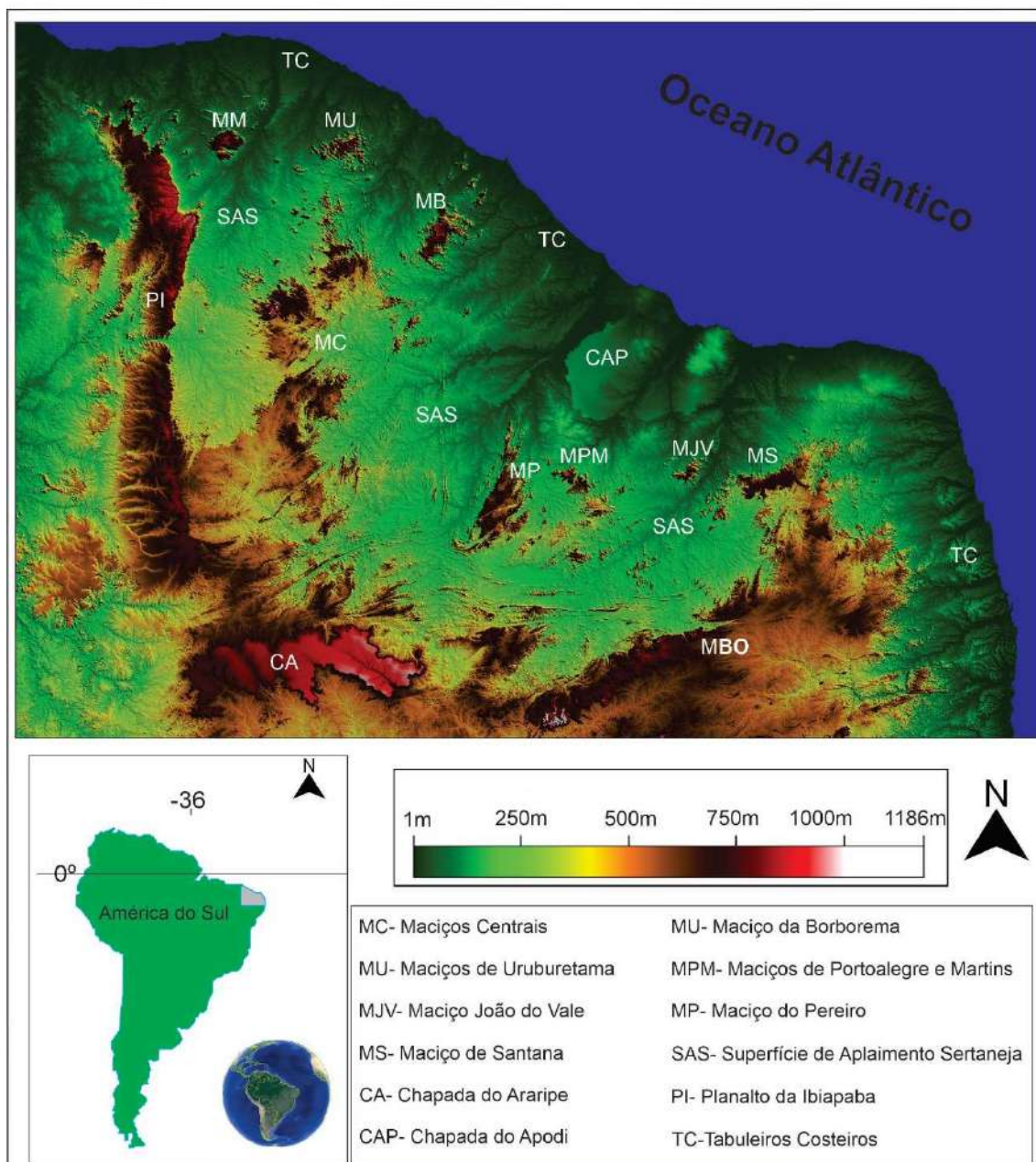


Figura 2. Geomorfologia do Nordeste Setentrional do Brasil. Fonte: SRTM (2020), elaborado pelos autores.

A termocronologia por traços de fissão foi desenvolvida de acordo com os princípios de Fleischer, Prince e Walker (1965), na teoria da explosão iônica (*ion explosion spike*). Esses pressupostos foram utilizados para reconstruir a história térmica das rochas com base na análise dos defeitos no retículo cristalino dos minerais de apatita e zircão pelo decaimento nuclear do isótopo ^{238}U . Este isótopo sofre o processo de fissão espontânea a partir da desintegração de um núcleo instável pai, que dissipa energia cinética através do lançamento de dois átomos filhos em direções opostas, provocando em sua trajetória uma ionização positiva dos átomos, os quais sofrem repulsão *coulombiana* até produzir traços latentes na rede cristalina do mineral (SILVA, 2016).

A termocronologia de baixa temperatura tem sido amplamente empregada para registrar as histórias térmicas em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares sobre uma gama de configurações geológicas que incluem; cinturões orogênicos, margens passivas, falhas, bacias sedimentares e crátons (DONELICK; O'SULLIVAN; KETCHAM, 2005).

Desta forma, os eventos de reativação das zonas de cisalhamento brasileiras da Província Borborema serão discutidos a partir do estado arte em torno dos dados termocronológicos disponíveis na literatura, que registram no tempo geológico, o gradiente geotérmico da crosta em correlação com os eventos tectônicos de grande magnitude, responsáveis pela evolução tectônica-denudacional da área de estudo Assim, o objetivo do presente estudo é compreender por meio da revisão de dados termocronológicos, os efeitos da tectônica meso-cenozoica sobre a evolução dos relevos da Província Borborema e das bacias sedimentares do Nordeste Setentrional.

2 DADOS TERMOCRONOLÓGICOS E EVOLUÇÃO DAS MORFOESTRUTURAS DO NORDESTE SETENTRIONAL DO BRASIL

2.1 Evolução Tectônica-Termal da Província Borborema a partir de uma Análise em Conjunto com a Estruturação das Bacias Sedimentares Paleozoicas

Na plataforma Sul-americana, o Lineamento Transbrasiliano é uma zona de cisalhamento de magnitude continental demarcando a principal zona de sutura da colagem que formou o Gondwana Ocidental durante o Neoproterozoico. Dispõe-se sobre o Noroeste da Província Borborema e suas extensões de margem continental possuem continuidade na crosta da África Ocidental através da zona de cisalhamento *Kandi* entre o cinturão *Dahomey* e no cráton *Transaharan* (CORDANI *et al.*, 2013).

No Brasil, estende-se por uma distância em torno de 2.700 Km, desde o noroeste do Ceará (onde é localmente chamado de Lineamento Sobral-Pedro II) atravessando a Bacia do Parnaíba até o noroeste da Bacia do Paraná, na região do sudoeste do Mato Grosso do Sul, seguindo possivelmente até os limites entre os crátons do Rio da Prata e Pampia. (RAPELA *et al.*, 2007, RAMOS *et al.*, 2010, CHAMANI, 2011).

A existência de um corredor tectônico formado por zonas de cisalhamento dúcteis paralelas sugere que as falhas brasileiras foram geradas a partir de uma orogenia continental como resultante da deformação nas margens dos antigos crátons. Esse fato indica que o Lineamento Transbrasiliano começou a se formar quando as antigas massas continentais já haviam colidido durante a Orogênese Brasileira (FUCK *et al.*, 2013).

Os lineamentos Patos e Pernambuco se conectam com o Lineamento Transbrasiliano formando uma megaestrutura do tipo *splay* movimentando-se com cinemática transcorrente dextral na direção NE-SW (DELGADO *et al.*, 2003). As zonas de cisalhamento Patos e Senador Pompeu possuem continuidade na África através das zonas de cisalhamento *Garoua e Ile Ife*, respectivamente (CASTRO *et al.*, 2012).

O método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em minerais de anfibólio baseia-se na retenção do Ar radiogênico para registrar processos geológicos que alcançam uma temperatura de fechamento entre 550-500 C° (MC DOUGALL; HARRISON, 1999). Essas datações

geralmente permitem estabelecer as idades de pulsos magmáticos, diques e lavas vulcânicas, e taxas de resfriamento, principalmente em granulitos (MOURA, 2017).

Moura (2017), através de datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, identifica uma idade em torno de 482 ± 7 em rochas vulcânicas intercaladas com arenitos da Formação Pacujá (Bacia do Jaibaras), a partir da análise dos cristais de anfíbólio sob estado de fusão total. Essa área está encaixada em um gráben formado em eventos de rifting cambro-ordovicianos, demonstrando o controle do Lineamento Transbrasiliano sobre a estruturação dos depocentros regionais da Bacia do Jaibaras e posteriormente da Sinéclise do Parnaíba.

Moura (2017) também utiliza o método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ para datar um anfíbolito gnaiss pertencente ao embasamento do Complexo Canindé do Ceará, a SW da Bacia do Jaibaras, próximo a Guaraciaba do Norte no contato com a Bacia do Parnaíba (Planalto da Ibiapaba). A rocha apresentou-se com estruturas deformadas e estiradas através de foliação penetrativa e orientada segundo a direção do Lineamento Transbrasiliano NE-SW. O diagrama $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ desta rocha mostra uma idade definida em torno de 529 ± 12 Ma, constituindo parte dos processos de metamorfismo dos eventos pós orogênicos.

Essa formação geológica metassedimentar está posicionada no Paleoproterozoico com idade de cristalização datada em torno do Riachão (TORRES *et al.*, 2010).

A termocronologia por traços de fissão em zircões possibilita fornecer a idade e proveniência de unidades sedimentares, bem como a história de exumação de cinturões orogênicos (área fonte dos sedimentos). Para o zircão, a temperatura de fechamento na qual todos os traços de fissão são apagados é de 240°C . Na zona de retenção parcial, os traços de fissão são encurtados, à medida que há o aumento da temperatura no intervalo entre $150\text{-}240^\circ\text{C}$, chegando até aproximadamente 6 km de profundidade na crosta em áreas de margens passivas, a exemplo do Sudeste e Nordeste do Brasil (HAMZA *et al.*, 1989, TAGAMI, 2005, TAGAMI; MURAKAMI, 2007, GODOY, 2010).

Godoy (2010) data uma amostra de arenito da Formação Pacujá (Bacia do Jaibaras) em torno de 327 ± 94 Ma por meio de traços de fissão em zircões. Os dados apresentados por Godoy (2010) ressaltam que estes zircões se resfriaram pela exumação da rocha fonte até a temperatura ambiente durante o transporte, sendo estes depositados e novamente aquecidos. Assim, a amostra foi submetida a um aquecimento superior a 240°C (intervalo de *annealing* do zircão) apagando, portanto, todos os traços advindos da rocha fonte dos sedimentos. A idade, portanto, reflete a história térmica da bacia (GODOY, 2010).

A idade de sedimentação da Formação Pacujá foi datada em torno de 535 ± 7 Ma por Novais *et al.* (1979). Conforme Garcia *et al.* (2018), essa bacia segue o *trend* do Lineamento Transbrasiliano. Sua borda NW é delimitada pela Falha Café-Ipueiras que separa a sequência vulcano-sedimentar em relação aos batólitos Meruoca e Mucambo.

Godoy (2010) a partir do mesmo método, data em torno de 649 ± 97 Ma uma amostra de conglomerado da Formação Aprazível (unidade cambro-ordoviciano da Bacia do Jaibaras), evidenciando que os eventos de aquecimento não foram suficientes para atingir a temperatura de apagamento total dos traços de fissão. Consequentemente, essa idade se remete ao processo de exumação sofrido pela área fonte dos sedimentos, e em

seguida, foram transportados e, finalmente, depositados, assim, eles devem ter sido submetidos à temperatura de superfície no período de sedimentação (GODOY, 2010).

Os dados de traços de fissão em zircões de Godoy (2010) e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em cristais de anfibólio de Moura (2017), registram a evolução termal e as paleotensões em torno do Lineamento durante o rifteamento que consubstanciou na instalação das bacias sedimentares do Jaibaras e Parnaíba entre o Neoproterozoico e Eopaleozoico. Esses dados fazem correlações com a história de exumação da área fonte dos sedimentos.

Para Oliveira e Mohriak (2003), as bacias do Jaibaras e do Cococi estão intimamente associadas a subsequente instalação da Sinéclise do Parnaíba, decorrentes dos campos de tensões extensionais e compressionais que evoluíram para um regime compressivo mecânico e termal, promovendo discordância erosiva, seguida por uma subsidência regional. Desta forma, ambas são interpretadas pelos autores como estruturas da fase rifte que formou a Sinéclise do Parnaíba no Ordoviciano Superior.

Godoy (2010), através de traços de fissão em minerais de apatita e zircão, estabelece datações para os principais pulsos de resfriamento registrados na Bacia do Cococi, sendo uma bacia de antepaís crono-correlata em relação à Bacia do Jaibaras, situada no segmento sul do Domínio Ceará Central em contato com a borda da Bacia do Parnaíba.

Os dados de traços de fissão em zircões da Bacia do Cococi marcam nos termocronômetros uma datação em torno de 360 Ma. Esse resfriamento continuou após esta idade, mas o autor interpreta que as taxas foram intensificadas até próximo à idade marcada nas apatitas, ou seja, 250 Ma (GODOY, 2010). De acordo com Godoy (2010) essa idade precede em 30 Ma os registros do vulcanismo Mosquito, situado no centro Bacia do Parnaíba, cujas idades foram datadas por Mohone (2000). O aumento da taxa de resfriamento teria uma possível relação com o desequilíbrio dinâmico provocado na crosta, resultante de um soerguimento precedente ao vulcanismo. A mesma interpretação também é tomada nos trabalhos de Hackspacher *et al.* (2007) para os reflexos provocados pelo magmatismo Serra Geral no Sudeste do Brasil (GODOY, 2010).

Para Godoy (2010), os dados de traços de fissão em zircões e apatitas da Formação Riacho Torto (Bacia do Cococi) apresentam idades que se interceptam, evidenciando que existe uma coincidência entre os valores de idades tanto nas apatitas como no zircões, com eventos particulares na área que foram registrados ao mesmo tempo, porém em temperaturas diferentes. Godoy (2010) ainda sugere a ocorrência de três eventos de inversão das histórias térmicas na referida unidade, que se sucedem no tempo geológico, sendo eles de 350 Ma (Eocarbonífero), 240 Ma (Eotriássico) e 150 Ma (Neojurássico).

Na amostra da Bacia do Parnaíba, foi analisada somente traços em zircões apontando uma história térmica mais confiável até a idade de 223 ± 32 Ma, ou seja, por se tratar de uma amostra sedimentar de idade Siluriana (Grupo Serra Grande), é certo que esta rocha sofreu aquecimento até o apagamento total dos traços e resfriou abaixo de $\sim 240^\circ\text{C}$ no Neotriássico (temperatura de fechamento do zircão) (GODOY, 2010).

A idade de cristalização do Enxame de Diques Coreaú-Aroeiras foi datada por Sial e Long (1987), em torno de 562 ± 19 Ma demarcando a transição entre a fase orogénica

e os eventos extrusionais de abertura do rifte Jaibaras. A idade termocronológica de Godoy (2010), para esses diques por meio de traços de fissão em zircões, estão em torno de 460 ± 116 , apesar de mais antiga do que as datações obtidas para os batólitos graníticos Mucambo e Meruoca, seguem a mesma interpretação, à medida que o evento de resfriamento posterior não possui vínculo com o resfriamento magmático. Essas interpretações colocam os granitos como fontes proximais da Bacia do Jaibaras.

Godoy (2010) a partir da análise de traços de fissão em zircões mostra que as amostras dos granitos Meruoca e Mucambo foram aquecidas até 384 ± 48 Ma e 303 ± 35 Ma, respectivamente, ambas inferiores as suas idades de cristalização. As idades de cristalização utilizadas foram datadas por Archanjo (2009) a partir do método U-Pb com 523 ± 9 para a suíte Meruoca e por Santos *et al.* (2008) com 532 ± 7 para a suíte Mucambo. Os dados mostram uma história de resfriamento magmático para os corpos graníticos, cuja perda de calor dos plútons, ocorreu até temperaturas do nível crustal onde foram colocados com posterior resfriamento por exumação após um aquecimento que a área sofreu acima dos 240°C , sem vínculo com a granitogênese (GODOY, 2010).

O batólito granítico Meruoca tem forma trapézoidal e ocupa uma área aproximada de 400 Km^2 , sendo truncado no segmento sudeste pela falha Café-Ipueiras. O contato com o Grupo Jaibaras é do tipo magmático e tectônico. O plúton é constituído por sienogranitos, sienitos de quartzo e granitos de alcalifeldspato com abundantes elementos gráficos e granofílicos (SIAL *et al.* 1980, ARCHANJO *et al.* 2009).

O Maciço da Meruoca apresenta facetas triangulares que se parecem com as de uma escarpa de falha recente, especialmente em sua porção nordeste (PEULVAST; BÉTARD; LAGEAT, 2009). A exposição dos quartzitos da Formação São Joaquim (Grupo Martinópole) em resalto topográfico, a oeste do maciço, reflete a maior resistência litológica das cristas residuais face ao trabalho seletivo da erosão diferencial sob condições semiáridas (SANTOS; NASCIMENTO; CLAUDINO-SALES, 2020).

Os eventos tectônicos de soerguimento/exumação do Maciço da Meruoca (Figura 3) como resultante da reativação da falha Café-Ipueiras e do Lineamento Transbrasiliano, torna-se o principal ponto a direcionar o campo das futuras pesquisas através da modelagem de dados termocronológicos aplicada à geomorfologia da área. Desta forma, a aplicação da termocronologia por traços de fissão em apatitas corroboraria para uma melhor elucidção acerca dos efeitos da tectônica rifte e pós rifte no condicionamento dos pulsos de reativação crustal que comandaram a evolução do Maciço da Meruoca. Isto para registrar os eventos de soerguimento e exumação das estruturas graníticas entre 0-3 Km na crosta superior em termocronômetros que alcançam isothermas de até 120°C .

Esse método possibilitaria inferir também as taxas de denudação no noroeste da Província Borborema resultantes do recuo da borda oriental da Bacia do Parnaíba por circundesnudação, formando o Planalto da Ibiapaba e a depressão periférica.

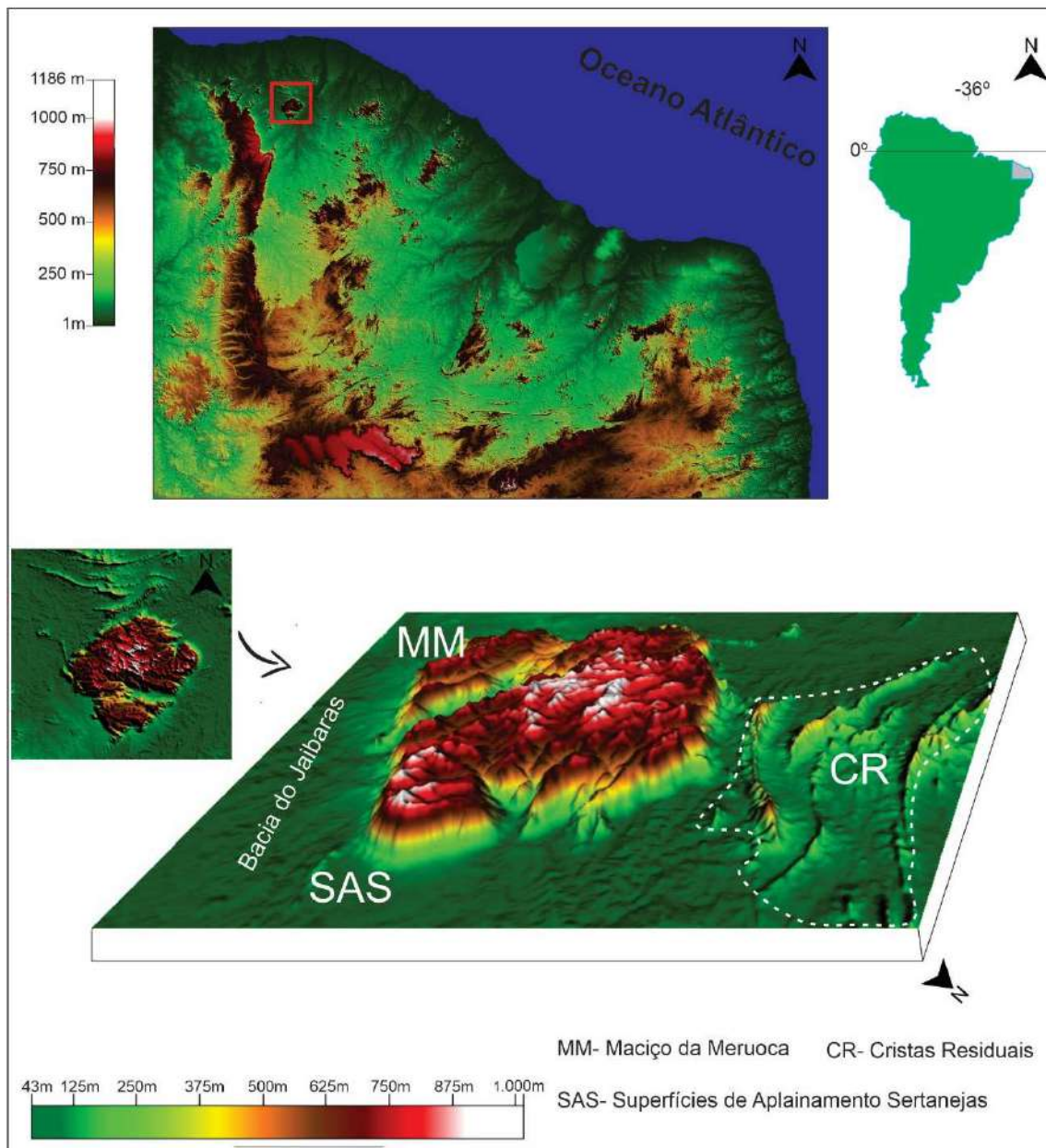


Figura 3. Bloco diagrama esquemático da geomorfologia do Maciço da Meruoca. Fonte: Dados SRTM (2020), elaborado pelos autores.

2.2 Tectônica Rife e Pós-Rife e Repercussões Geomorfológicas

A termocronologia por traços de fissão em apatitas representa o melhor termocronômetro aplicado para registrar os pulsos de reativação crustal que ocorreram no Nordeste Setentrional do Brasil em função da abertura da Margem Equatorial Atlântica.

De acordo com o modelo de Dodson (1973), a temperatura em que todos os traços são apagados nos minerais de apatita é de 120°C em média para o tempo geológico. Acima da temperatura de fechamento, os elementos filhos produzidos por decaimento radioativo desaparecem do mineral numa taxa superior do que a de acúmulo, à medida que o processo de apagamento ocorre numa velocidade mais rápida do que o surgimento de novos traços. (DORANTI TIRITAN, 2013, SILVA, 2018).

Em minerais de apatita, os traços de fissão sob temperaturas intermediárias entre e 60°C a 120°C são parcialmente apagados ou encurtados, representando uma profundidade média de 0 a 3 km, a depender do grau geotérmico de cada área de estudo. A partir do apagamento total dos traços, há o início de uma nova história térmica, que pode registrar os eventos de magmatismo termal em temperaturas mais elevadas, seguindo-se por episódios de resfriamento, relacionados às reativações rúpteis, soerguimento e exumação de morfoestruturas (HACKSPACHER *et al.*, 2004, 2007, RIBEIRO *et al.*, 2011).

As datações (U-Th)/He em apatitas são sensíveis a temperaturas muito baixas e, em muitos casos, registram detalhes sobre a história de resfriamento da apatita. As idades de hélio neste mineral são sensíveis a temperaturas menores do que outros termocronômetros, gerando novas informações sobre a evolução das rochas sob diferentes condições de temperatura *versus* tempo (WOLF *et al.*, 1996, RIBEIRO *et al.*, 2011).

As datações U-Th/He baseiam-se na medição do nuclídeo ^4He (partícula α) que é produzido durante o decaimento radioativo das séries do ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th . Na superfície da Terra e em profundidades correspondentes a temperaturas abaixo de 40°C, o hélio é quantitativamente retido. Em contraste, nas zonas superiores a temperatura de fechamento (80 C°), ele é perdido tão rapidamente quanto é produzido, então as idades permanecem zeradas. Assim, a zona de retenção parcial está situada entre o intervalo de 40 -70 C°, quando as idades são sensíveis à temperatura, com variações de milhões de anos em espaços de profundidade muito pequenos (FARLEY, 2000, 2002).

Não obstante, há uma grande escassez em relação à aplicação do método U-Th/He em apatitas na área do Nordeste Setentrional do Brasil, uma vez que o desenvolvimento dessa datação ainda é recente no cenário das geociências do país. Na região do Sudeste do Brasil, o trabalho de Ribeiro *et al.* (2011) foi pioneiro ao correlacionar os métodos termocronológicos por traços de fissão e (U-Th)/He em apatitas, registrando nos termocronômetros os episódios térmicos associados ao soerguimento tectônico no Cretáceo Superior e Paleoceno sobre as morfologias da Serra do Mar.

Godoy (2010) identifica idades de 86 ± 12 , 115 ± 20 e 118 ± 17 Ma através de traços de fissão em apatitas de amostras do Domínio Médio Coreaú como o Granito Mucambo, Formação Pacujá e Formação Aprazível (Bacia do Jaibaras), respectivamente. Esses dados demonstram que os eventos de resfriamento mais recentes ocorreram em escala temporal análoga a ruptura final do Gondwana sob temperaturas abaixo de 120 °C (*annealing* da apatita), no qual a rocha estava sendo exumada entre 3-0 Km.

Os dados de traços de fissão em apatitas do Noroeste da Província Borborema expõem a história termal do Granito Mucambo e Bacia do Jaibaras. Não obstante para inferir as taxas de denudação responsáveis pelo recuo da Bacia Parnaíba, que formou o Planalto da Ibiapaba e a Depressão periférica adjacente, torna-se necessário estudos mais detalhados em torno do comportamento tectônico do Lineamento Transbasiiano entre o Cretáceo e Cenozoico, indicando os principais pulsos de reativação crustal.

Mojzeszowichz (2009) estabelece uma idade de 80 ± 8 através de traços de fissão em apatitas em uma amostra de granito do Complexo Tamboril Santa-Quitéria, possuindo uma idade próxima da obtida por Godoy (2010) de 86 ± 12 para o Granito Mucambo. Essas idades registram a exumação dos granitoides sin-tardi-pós brasileiros entre os períodos Coniaciano e Campaniano, revelando o caráter tectônico fortemente atuante na área em resposta a abertura transformante da Margem Equatorial Atlântica.

Mojzeszowichz (2009) ainda realiza datações por meio de traços de fissão em apatitas para as seguintes unidades geológicas do domínio Ceará Central: 105 ± 16 Ma para uma amostra de ortognaisse do Complexo Tamboril-Santa Quitéria; 184 ± 19 para o granito eoarqueano do Complexo Cruzeta (Unidade Pedra Branca) e 122 ± 12 para o granito neoproterozoico da Suíte Intrusiva Itaporanga (Plúton Quixarémobim-Quixadá). Esse conjunto de dados apresenta um evento de resfriamento no limite entre 110 e 90 Ma, que coincide com o estágio de separação final entre América do Sul e África.

O condicionamento tectônico vinculado a reativação das zonas de cisalhamento brasileiras provocou uma rápida movimentação capaz de resfriar os blocos rochosos de temperaturas entre 100 e 120°C para profundidades menores, onde o gradiente geotérmico variava entre 40 e 70°C. A amostra mais antiga pertencente ao Complexo Cruzeta apresentou um lento resfriamento desde o Jurássico Inferior de 70°C até aproximadamente 55°C, indicando que as outras amostras vinculadas as suítes graníticas brasileiras sofreram um soerguimento ascendente de caráter instantâneo na transição entre Cretáceo Inferior e Superior. No intervalo de 100 e 50 Ma, as temperaturas aqueceram de 70 para 90°C sucedido por um resfriamento contínuo desde o Paleoceno até chegar à superfície atual, sob temperaturas de 25 C° (MOJZESZOWICZ, 2009).

Cavalcante (2003) com base em traços de fissão em apatitas de amostras relacionadas aos granitoides brasileiros do Complexo Quixadá-Quixeramobim, situadas no entorno dos diques Ceará Mirim e do Lineamento Senador Pompeu, identifica um evento de resfriamento de 120 a 70°C entre 130 e 90 Ma, equivalente à reativação tectônica e soerguimento regional durante a abertura da Margem Equatorial Atlântica. Há um segundo pulso de resfriamento de 90°C a 30°C em torno de 30 Ma até o presente. Esse último evento está ligado a flexura marginal do continente em relação à plataforma.

A abertura de riftes intracontinentais que formaram o eixo estrutural Cariri-Potiguar ocorreu entre 145-120 Ma (Berriasiano-Aptiano). O abortamento dos riftes ocorreu entre 120-115 Ma (Aptiano) com a formação das bacias Potiguar, Araripe, Iguatu, Icó/Lima Campos e Rio do Peixe. A sedimentação mesozoica ocorreu em condições transtensionais a partir da reativação das zonas de cisalhamento Senador Pompeu, Orós/Jaguaribe, Portalegre e Patos (MATOS, 2000, SHOBENHAUS; BRITO NEVES 2003).

Para Bétard e Peulvast (2011), o pulso de resfriamento datado por Cavalcante (2003) entre 130-90 Ma teve repercussão regional no embasamento do Domínio Ceará Central, coincidindo com duração do *rifting* intracontinental do eixo Cariri-Potiguar. Esse episódio pode estar correlacionado com o soerguimento crustal e a erosão consecutiva do ombro noroeste do Rifte Potiguar entre o Cretáceo Inferior e Superior.

Os vestígios dessas estruturas estão expressos em superfície através da disposição das escarpas do Maciço de Baturité em ressalto topográfico, distando cerca de 50 Km do Lineamento Senador Pompeu (BÉTARD; PEULVAST, 2011).

A Figura 4 expõe a geomorfologia do Maciço de Baturité em relação às superfícies de aplainamento sertanejas remontando a existência de relevos residuais das antigas estruturas brasileiras, soerguidas durante o rifteamento cretáceo. Esse foi o último grande evento tectônico responsável pela reorganização morfoestrutural da área.

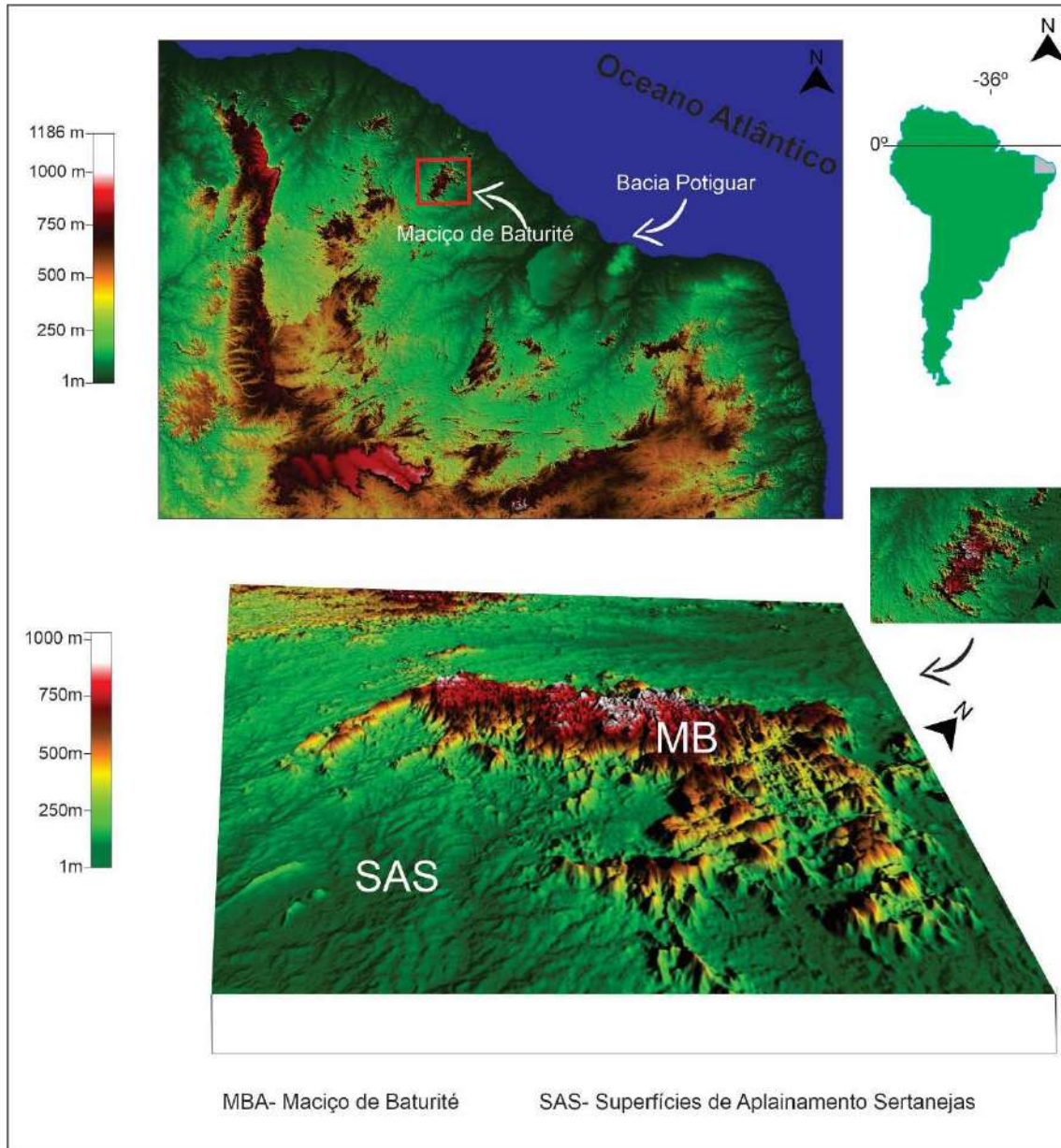


Figura 4. Bloco diagrama esquemático da geomorfologia do Maciço de Baturité. Fonte: SRTM (2020), elaborado pelos autores.

Nóbrega *et al.* (2005) a partir de traços de fissão em apatitas, interpretam os processos de reativação tectônica em torno da zona de cisalhamento Portoalegre. Foram separadas amostras de granitóides neoproterozoicos em dois grupos de idades distintas,

que experimentaram diferentes histórias térmicas entre blocos estruturais em lados opostos da falha geológica (E-W), no contato com as bacias mesozoicas interiores.

As idades de traços de fissão em apatitas datadas por Nóbrega *et al.* (2005), sugerem que as amostras do bloco oeste possuem idades entre 375 e 140 Ma, apontando um soerguimento gradual com taxas de resfriamento de 225 a 140 Ma, quando há registros de colapso dos blocos sugerindo a ocorrência de uma subsidência térmica ligada a estruturação das bacias do Rio do Peixe, Icozinho, Pau dos Ferros, Coronel João Pessoa e Gangorra, cujo alçamento das isothermas atinge 90°C até cerca de 45 Ma.

Os dados de Nóbrega *et al.* (2005) apontam que o bloco leste sofreu um primeiro evento de resfriamento entre 140 e 55 Ma. Isso significa que o bloco leste estava em um nível de crosta mais profunda que 3-4 km antes de 140 Ma, levando em consideração um gradiente geotérmico de 30°C /km. Em torno de 105 Ma ocorreu um resfriamento linear com taxa de soerguimento relativa de 42m/Ma sob gradiente geotérmico de 20°C/Km.

A exumação e erosão do bloco leste forneceria a fonte para deposição de sedimentos no bloco oeste. À medida que o bloco oeste estava em descendência e o bloco leste em ascendência, o ambiente tectônico tornou-se propício à formação de eixos estruturais que evoluíram para a instalação das bacias interiores na direção sul e da Bacia Potiguar ao norte (NÓBREGA *et al.*, 2005). As paleotemperaturas registradas por Nóbrega *et al.* (2005) atestam eventos de aquecimento intermediários entre 140 e 45 Ma no bloco a oeste e 55 e 15 Ma no bloco a leste, inferindo que este último reflete o vulcanismo Macau, que ocorreu entre 30-20 Ma (Oligoceno-Mioceno) na região (PEULVAST *et al.*, 2008).

Morais Neto *et al.* (2005) através de traços de fissão em apatitas, identificam um evento de resfriamento de 100 a 80°C na Bacia do Araripe, indicando o soerguimento das escarpas entre 100-90 Ma. A idade estratigráfica da Formação Exu está em torno de 112-97 Ma, sendo que duas amostras apresentam idades termocronológicas entre 164.2 ± 21.1 Ma e 131.7 ± 12.7 Ma, sugerindo que não houve soterramento significativo naquela região e, portanto, as idades por traços de fissão dos sedimentos cretáceos podem representar herança de suas respectivas áreas fontes (MORAIS NETO *et al.*, 2005).

A topografia da Chapada do Araripe é atribuída, do ponto de vista estrutural, a um período de soerguimento relacionado (ou imediatamente posterior) ao evento de resfriamento do Neocretáceo, iniciado por volta de 100-90 Ma. Desta forma, a configuração do relevo atual é vinculada à denudação e a erosão diferencial do Cenozoico, cujos efeitos podem estar registrados no evento de resfriamento entre 40 - 0 Ma com paleotemperaturas de 80 a 70°C (MORAIS NETO *et al.*, 2005).

A fase rifte das bacias sedimentares mesozoicas do Nordeste Setentrional coincide de forma análoga ao evento de magmatismo toleítico Rio Ceará-Mirim, relacionado ao processo de abertura do Atlântico Equatorial. Ocorre na borda sul da Bacia Potiguar através de um enxame de diques de diabásio de aproximadamente 350 km de comprimento e direção E-W. Na porção leste e central da Bacia do Parnaíba, os diques e soleiras de diabásio da Formação Sardinha são correlacionáveis ao magmatismo da fachada atlântica. (ALMEIDA *et al.*, 1988, MACEDO *et al.*, 2017).

Souza *et al.* (2004), a partir de datações pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, definem uma idade em torno de 132.2 ± 1 Ma para o principal pulso magmático que formou o enxame de diques Rio Ceará Mirim –diabásios subalcalinos (toleíticos), em parte transicionais a alcalinos, originados por diferentes graus de fusão parcial de granada peridotito.

Souza *et al.* (2004) dataram outros importantes eventos magmáticos da Província Borborema Setentrional: 1) Magmatismo Cuó com idade em torno de 93.1 ± 0.8 Ma. São basaltos alcalinos, restritos a uma ocorrência a leste de Açu (RN). 2) Magmatismo alcalino (basaltos e microgabros), em parte sub-alcalino (basaltos de Boa Vista / PB), com suas ocorrências compondo o que se conhece da literatura como alinhamento Macau – Queimadas, com idades distribuídas entre 70-65 Ma e 9-6 Ma; 3) Magmatismo peralcalino (fonolitos e tefri-fonolitos), que compõe o alinhamento Fernando Noronha – Mesejana, com idades entre 35 e 29 Ma. Esses dados mostram a existência de diversos pulsos pós-cretáceos de magmas ao longo do alinhamento Macau – Queimadas.

Conforme Lima (2008), o vulcanismo Macau foi datado entre 24-22 Ma a partir de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em óxidos de manganês, ocorrendo intemperização logo após a fase de extrusão. A continuidade das idades obtidas em um período de 21 a 5 Ma, sugere que essas rochas ficaram expostas continuamente ao intemperismo durante todo o Mioceno.

Morais Neto *et al.*, (2008) obtêm uma idade de 87 ± 10 Ma através de traços de fissão em apatitas para a sequência pós rifte siliciclástica da Bacia Potiguar, a Formação Açu, que possui idade de deposição conforme Pessoa Neto *et al.* (2007) entre 110-90 Ma,

Os dados revelam um paleossoterramento equivalente à quantidade de seção removida, caso a amostra tenha sido trazida à superfície por erosão das camadas sobrepostas. Simulando um paleossoterramento para a paleotemperatura mínima de 80°C ; a erosão requerida será de 1.570m e 1.220m, respectivamente, para paleogradientes geotérmicos de $35^\circ\text{C}/\text{km}$ e $45^\circ\text{C}/\text{km}$. Estes valores são compatíveis com a espessura sedimentar potencialmente (MORAIS NETO *et al.*, 2005).

Segundo Morais Neto *et al.* (2008) os dados mostram um evento de resfriamento com temperaturas entre $100-80^\circ\text{C}$ atestando que a Formação Açu foi soerguida para próximo à superfície em torno de 75-38 Ma (Cretáceo Superior/Eoceno). A ocorrência de um segundo evento de resfriamento nos últimos 15 Ma atingiu paleotemperaturas entre 70° e 55°C , relacionando-se com a erosão subsequente instalada sobre a Bacia Potiguar por alterações climáticas e/ou reativações tectônicas durante o Mioceno.

Mojzeszowichz (2009) realiza datações por traços de fissão em apatitas em uma amostra de ortognaisse e outra de granito, ambas da suíte intrusiva paleoproterozoica Jaguaretama, obtendo idades entre 145 ± 16 Ma e 205 ± 33 Ma, respectivamente. Conforme o autor, as amostras apresentaram uma trajetória térmica estável próximas de 80°C durante sua evolução jurássica/cretácea até 110 Ma, inferindo que o nível de base foi estabilizado partir de uma superfície de aplainamento instalada no topo do pacote rochoso. A quebra deste patamar de relativa homogeneidade térmica ocorreu devido a um pulso de soerguimento mais expressivo relacionado a um resfriamento entre 110 e 60 Ma.

Na atualidade, o conjunto da área analisada evolui lentamente a partir da ação dominante do intemperismo físico controlado pela existência do clima semiárido, refletindo as heranças estruturais das reativações cretáceas que reorganizaram o arranjo dos compartimentos de relevo (SANTOS; NASCIMENTO; CLAUDINO-SALES, 2020).

2.3 Superfície Borborema e as Coberturas Sedimentares Cenozoicas

Morais Neto *et al.* (2008) considerando os resultados das análises de traços de fissão em apatitas e zircões e variáveis estratigráficas, sugerem que a Formação Serra do Martins foi depositada entre 64 e 25 Ma (intervalo Paleoceno – Oligoceno). Contudo, as idades dos traços de fissão em apatitas estão entre 118±11 Ma e 79±5 Ma. As idades obtidas por meio dos traços de fissão em zircões estão entre 135±18 e 165±40 Ma.

Não obstante, Moraes Neto *et al.* (2008) aplicaram o método de Galbraith e Green (1990) para corrigir a dispersão de idades em populações de zircões mais jovens, que atingiram entre 83±5 Ma e 64±5 Ma. Com base nisto, os autores inferem que a idade deposicional da Formação Serra do Martins não pode ser mais antiga do que a mais nova das duas populações mais jovens identificadas, 64±5 Ma. Assim, a história térmica sugere um evento de resfriamento durante o Neocretáceo/Eopaleogeno, interpretado como exumação da área fonte, cuja erosão forneceu os sedimentos que foram depositados sobre uma extensa superfície de aplainamento regional (Superfície Borborema).

A Superfície Borborema foi datada por Lima (2008) através de análises por U-Th/He em geotitas e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em óxidos de manganês oriundos de perfis de intemperismo desenvolvidos ao longo das superfícies de aplainamento.

Os resultados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ apresentam idades que chegam até 31 Ma, colocando a idade da Superfície Borborema como oligocênica, enquanto os dados de U-Th/He mostram idades que alcançam até 20 Ma no Mioceno. As análises realizadas em pisólitos dentríticos encontrados na Formação Barreiras, interpretados como provenientes do desmantelamento de um perfil de intemperismo da Superfície Borborema, indicam uma idade mínima de 43 Ma estendendo-se até o Eoceno (LIMA, 2008).

As datações de U-Th/He em geotitas e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em óxidos de manganês de Lima (2008), apontam uma idade de deposição em torno de 20 Ma para a Formação Serra dos Martins, atestando que os perfis de intemperismo passaram por uma história prolongada de dissolução-precipitação durante quase todo Mioceno até a idade de 7 Ma.

Essas interpretações corroboram com o trabalho de Luz *et al.* (2015), ao sugerir que a denudação pós-cretácea do Maciço da Borborema teria fornecido os arenitos e conglomerados à Formação Serra dos Martins (MAIA; BÉTARD; BEZERRA, 2016).

A FSM recobre parcialmente o topo dos maciços de Portoalegre e Martins (Figura 5) através de arenitos laterizados, formando platôs sedimentares que apresentam topografias planas e suavemente onduladas. Os dois blocos estruturais foram elevados como expressões geomorfológicas das suítes intrusivas Itaporanga e Poço Santa Cruz, individualizados por vales incisos de direção NE-SW, seguindo os *trends* estruturais da zona de cisalhamento Portoalegre (MAIA; BÉTARD; BEZERRA, 2016).

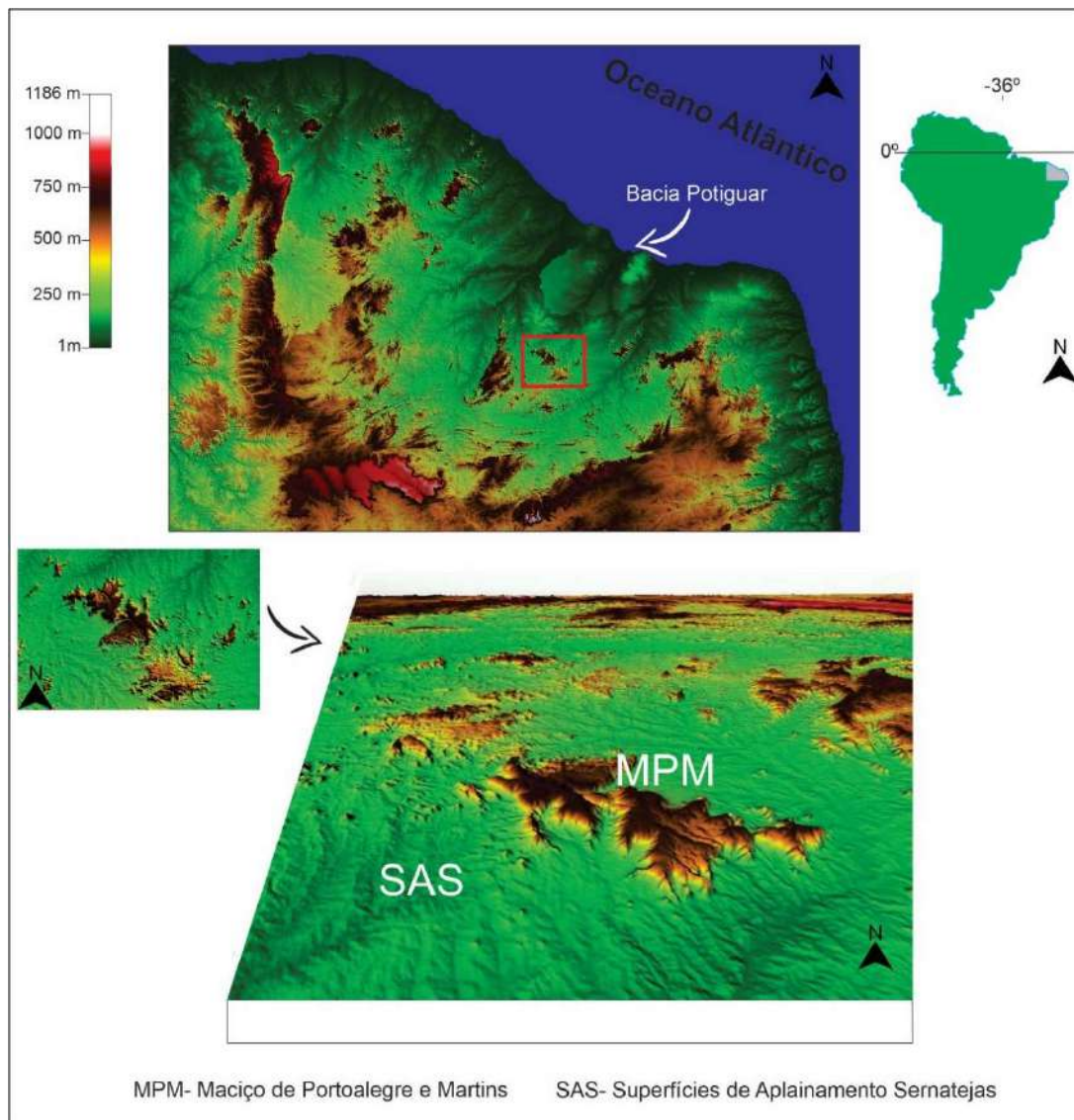


Figura 5. Bloco diagrama esquemático da geomorfologia dos maciços de Portoalegre e Martins.
 Fonte: SRTM, (2020), elaborado pelos autores.

Lima (2008) a partir de U-Th/He em geotitas e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em óxidos de manganês, estabelece uma idade de deposição para o Grupo Barreiras em torno de 23-17 Ma, sugerindo que o platô da Borborema já estava em processo erosional desde o Mioceno. As análises $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em perfis de intemperismo mais rasos identificam a evolução de uma superfície de aplainamento sertaneja mais recente em torno de 1,5 Ma entre o segmento oriental da Província Borborema e a da Bacia Potiguar (LIMA, 2008).

Em termos geomorfológicos, a Formação Barreiras se expressa em superfície através de tabuleiros costeiros que estão posicionados à retaguarda da Planície Litorânea. Conforme Souza (2000), apresenta-se e como um típico glacis de acumulação com níveis altimétricos que variam desde 80-100m até o nível do mar. Mergulham através de rampas suaves em direção ao litoral, com declives que não ultrapassam 5°. A continuidade da área de exposição se perde em direção ao interior. Afloram como manchas dispersas

comprovando que a cobertura já chegou a ter uma maior abrangência espacial com alguns testemunhos no médio Jaguaribe, Médio Baixo Acaraú, Quixadá, entre outros locais.

Lima (2008), através de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em óxidos de manganês, identifica condições climáticas quentes e úmidas com eventos em torno de 28, 10, 5,5 e 1,5 Ma, sugerindo que o intemperismo químico foi intenso em intervalos do Oligoceno, Mioceno e Pleistoceno.

Os recentes avanços das datações por U-Th/He em minerais supergênicos de geotita (SHUSTER *et al.*, 2005) e $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em óxidos de manganês, corroboraram para melhor decifrar as crono-correlações entre perfis de intemperismo e o desenvolvimento de superfícies de erosão e de agradação. Assim, as informações sobre a natureza, gênese e distribuição dos depósitos correlativos, além das associações de várias unidades com a topografia e com as litologias intemperizadas, são importantes condicionantes a ser considerados em datações de coberturas sedimentares cenozoicas (LIMA, 2008).

3. CONCLUSÃO

Os dados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em anfibólios (MOURA, 2017) são importantes para interpretar a história termal das rochas sob temperaturas entre 500-550 C°, alcançando termocronômetros capazes de mensurar como as zonas de cisalhamento brasileiras, em especial o Lineamento Transbrasiliano, controlaram a evolução tectônica do segmento noroeste da Província Borborema e de estruturação da Bacia do Jaibaras.

Os dados de termocronologia por traços de fissão em zircões (GODOY, 2010) expõem a história termal da crosta até próximo de 6 Km de profundidade, sob isotermas que alcançam 240 C°, registrando a exumação e colapso de orógenos brasileiros como áreas fontes para a formação de bacias sedimentares neoproterozoicas/paleozoicas.

Esses métodos possuem limitações para os estudos geomorfológicos por alcançarem histórias termais superiores a 200 C°, à medida que os processos de gênese e evolução do relevo ocorrem sob temperaturas inferiores a 120 C° na crosta superior, e são heranças diretas das reativações cretáceas e variações climáticas do Quaternário.

A termocronologia por traços de fissão em apatitas avança no campo do conhecimento geomorfológico como metodologia mais utilizada que possibilita interpretar a evolução da paisagem. Esse sistema termocronológico demarca nos termocronômetros eventos entre 3-0 Km da crosta, sendo mais sensível para registrar as reativações tectônicas do Cretáceo e as taxas de denudação/exumação do Cenozoico.

Os trabalhos de Cavalcante (2006) e Morais Neto *et al.*, (2006) delinearam dados de termocronologia por traços de fissão em apatitas para mensurar os efeitos da reativação crustal das zonas de cisalhamento brasileiras da Província Borborema e bacias intracratônicas do Nordeste Setentrional. Os resultados indicam um evento de resfriamento da crosta no limite entre o Cretáceo Inferior e Superior, demarcando o soerguimento e a erosão subsequente dos maciços centrais do Ceará e da Bacia do Araripe em escala temporal análoga à abertura da Margem Equatorial Atlântica.

Assim, os avanços no campo da termocronologia irão permitir conjecturar a evolução geomorfológica do Nordeste Setentrional com os eventos estruturais de grande

repercussão regional, afim de delinear os efeitos da tectônica meso-cenozoica no soerguimento do relevo e na retomada erosiva a partir de um novo nível de base regional.

Além disso, o trabalho de Lima (2008) estabelece combinações entre os métodos $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em óxidos de manganês e U-Th/He em geotitas para melhor explicar a história de intemperismo e posicionamento de perfis lateríticos da Superfície Borborema, contribuindo para preencher a lacuna das idades dos depósitos sedimentares afossilíferos das formações Barreiras e Serra dos Martins, ambas datadas com idades neógenas.

Esses dados demarcam nos termocronômetros, os eventos envolvidos na evolução geomorfológica do Nordeste Setentrional como a exumação de maciços graníticos, inversão topográfica de planaltos sedimentares, além da deposição das coberturas cenozoicas que formaram os platôs sedimentares embutidos sobre as cimeiras dos Maciços de Portoalegre e Martins, bem como dos tabuleiros da fachada pré-litorânea.

A grande escassez de dados (U-Th)/He em apatitas para o Nordeste Setentrional do Brasil dificulta estabelecer correlações com outros termocronômetros, o que seria fundamental para uma interpretação integrada de história termal da crosta superior. Esses dados poderiam melhor elucidar processos como: soerguimentos flexurais, esculturação e recuo de vertentes, além de taxas de denudação de superfícies em processo erosional.

Em termos de perspectivas futuras, a termocronologia de baixa temperatura pode ser aplicada para calcular as taxas de denudação que elaboraram às superfícies de aplainamento sertanejas do Nordeste Setentrional, preenchendo uma importante lacuna, que ainda não está totalmente esclarecida pela comunidade geomorfológica.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC) e a Capes pela concessão da bolsa de Doutorado para o financiamento da pesquisa. Ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela colaboração científica para o desenvolvimento da pesquisa em termocronologia. Ao Professor Peter Hackspacher (*In Memoriam*), falecido no dia 04/11/2021, a nossa grande admiração como ser humano e eterna gratidão pelos ensinamentos, confiança e amizade. O professor fará muita falta para as geociências e deixa um imenso legado no âmbito dos estudos tectônicos e termocronológicos aplicados à geomorfologia no Brasil.

Referências Bibliográficas

- AB' SABER, A. N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. In: **Geomorfologia**, 18, São Paulo, IGEOG-USP, p. 1-23.1969.
- ALMEIDA, F. F. M, CARNEIRO, C. D. R., MACHADO JR, D. D. L., & DEHIRA, L. K. Magmatismo pós-Paleozóico no nordeste oriental do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 18(4), 451-462. 1988.
- ARCHANJO, C. J; LAUNEAU, P; HOLLANDA, M. H. B. M., MACEDO, J. W. P. Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará State, northeastern Brazil). **International Journal of Earth Sciences**. 98: 1793-1807.2009.

ARTHAUD M.H; CABY, R.; FUCK, R. A; DANTAS, E. L; PARENTE, C. V. Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. **Geological Society, London, Special Publications**. 294(1), 49-67.2008.

ARTHAUD M.H; FUCK, R. A; DANTAS, E. L; SANTOS, T. J. S; CABY, R; ARMSTRONG, R. The Neoproterozoic Ceará Group Ceará Central Domain, NE Brazil: Depositional age and provenance of detrital material. New insights from U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**. 58,p. 223-237. 2015.

BETARD, F; PEULVAST, J. P. Evolução Morfoestrutural e Morfopedológica do Maciço de Baturité e seu Piemonte: do Cretáceo ao Presente In BASTOS, F. H. (Org). **Serra de Baturité: Uma visão integrada das questões ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora. p. 35-59. 2011.

BIGARELLA, J. J; MOUSINHO, M. R. Slope development in southeastern and southern Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**. v. 10, p. 150-160. 1966.

BRANDÃO, R. L; FREITAS, L. C. B **Geodiversidade do estado do Ceará**. Programa de Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade. Fortaleza: CPRM. 214 p. 2014.

BRASIL, Serviço Geológico do Brasil (CPRM) **Projeto Arim (Áreas de Relevante Interesse Mineral) Província Borborema**: Projeto NW do Ceará. 2015.

CASTRO, D. L; BEZERRA, F. H; SOUZA M. O; FUCK R. A. Influence of Neoproterozoic tectonic fabric on the origin of the Potiguar Basin, northeastern Brazil and its links with West Africa based on gravity and magnetic data. **Journal of Geodynamics**. 54, 29-42. 2012.

CAVALCANTE, A. S. A. **Evolução termocronológica do sistema de falhas Senador Pompeu, CE**. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal. p. 53. 2006.

CLAUDINO-SALES, V. **Megageomorfologia do Noroeste do Ceará**: História da Paisagem Geomorfológica. Verlag/ Editora. Novas Edições Acadêmicas, 2016.

CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W.; D'AGRELLA, M.S.; TRINDADE, R.I. The position of the Amazonian Craton in supercontinents. **Gondwana Research**. v. 15, p. 396-407. 2009.

DELGADO, I. D. M; SOUZA, J. D; SILVA, L. D; SILVEIRA FILHO, N. D; SANTOS, R. A. D; PEDREIRA, A. J; LACERDA FILHO, J. D. Geotectônica do escudo atlântico. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. 5, 227-334. 2003.

DODSON, M. H. Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. **Contributions to Mineralogy and Petrology**. 40(3), 259-274. 1973

DONELICK, R. A.; O'SULLIVAN, P. B.; KETCHAM, R. A. Apatite fission-track analysis. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**. v. 58, n. 1, p. 49-94. 2005.

DORANTI-TIRITAN, C. **Evolução geomórfica e modelagem termocinemática 3D da região do planalto de Poços de Caldas (SP/MG)**. (Tese de Doutorado) Programa de Pós Graduação em Geologia Regional. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 138p. 2013.

FARLEY, K. A. (U-Th)/He dating: Techniques, calibrations, and applications. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 47, n. 1, p. 819-844, 2002.

- FARLEY, K. A. Helium diffusion from apatite: General behavior as illustrated by Durango fluorapatite. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 105, n. B2, p. 2903-2914, 2000.
- FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. Ion explosion spike mechanism for formation of charged-particle tracks in solids. **Journal of applied Physics**.v. 36, n. 11, p. 3645-3652. 1965.
- FUCK, R. A; DANTAS, E. L; VIDOTTI, R. M., ROING, H. L; ALMEIDA, T. Deformação intracontinental em sistemas transcorrentes: O caso do Lineamento Transbrasiliano: geometria, idade e significado. **XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos (SNET)**. 1. 2013.
- GALBRAITH, R. F.; GREEN, P. F. Estimating the component ages in a finite mixture. **International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements**. v. 17, n. 3, p. 197-206. 1990.
- GARCIA, M. G. M; PARENTE, C. V; SILVA FILHO, W. F; ALMEIDA, A. R. Age of magmatic events in the Eopaleozoic Jaibaras Basin, NE Brazil: Constraints from U-Pb zircon geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, 84, 113-126. 2018.
- GODOY, D. F. **Evolução termocronológica por traços de fissão em apatita e zircão das Bacias da Transição Proterozóico-Fanerozoico de Camaquã (RS), Castro (PR), Eleutério (SP/MG), Jaibaras e Cococi (CE)**. (Tese de Doutorado). Programa de Pós Graduação em Geologia Regional. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2010. (pp. 129).
- HACKSPACHER, P. C; GODOY, D. F., RIBEIRO, L. F. B., HADLER-NETO, J. C., FRANCO, A. O. B. Modelagem térmica e geomorfologia da borda sul do Cráton do São Francisco: termocronologia por traços de fissão em apatita. *Revista Brasileira de Geociências*, 37 (suplemento), 76-86. 2007.
- HACKSPACHER, P. C; RIBEIRO, L. F. B; RIBEIRO, M. C. S.; FETTTER, A. H., HADLER NETO, J; TELLO, C. E. S; DANTAS, E. L.). Consolidation and break-up of the South American platform in southeastern Brazil: tectonothermal and denudation histories. **Gondwana Research**. 7(1), 91-101.2004.
- HAMZA, V. M., FRANGIPANI, A, BECKER, E. A, MIOTO, J. A. **Mapas geotermiais do Brasil. Relatório interno do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SP. Brasil, IP nº -27068**, 1989.
- HASUI, Y. A Sistema Orogênico Borborema in HASUI, Y; CARNEIRO, C. D. R; ALMEIDA, F. F. M; BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil-** São Paulo: Beca, 2012 p. 248-288
- LIMA, M. G. **História do Intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: Implicações Paleoclimáticas e Tectônicas**. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal. p.251. 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

- MABSOONE, J. M; CASTRO, C. Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste Brasileiro. **Boletim do Núcleo Geográfico da Sociedade Brasileira de Geologia**. v. 3, p. 3-5. 1975.
- MACEDO, A. A; HOLLANDA, M. H., ARCHANJO, C. J; CASTRO, D. L; MELO, A. C. C. A. **Província Magmática do Atlântico Equatorial (EQUAMP), NE do Brasil** In XVI Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. 2017 Salvador - BA – Brasil
- MAIA, R. P; BÉTARD, F; BEZERRA, F. H. Geomorfologia dos maciços de Portalegre e Martins–NE do Brasil: Inversão do relevo em análise. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 17, n. 2. 2016.
- MAIA, R. P; BEZERRA, F. H. R. **Tópicos de Geomorfologia Estrutural – Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Edições UFC, 2014
- MATOS, R. M. D. Tectonic evolution of the equatorial South Atlantic. **Atlantic Rifts and continental margins**. p. 331-354.2000
- MC DOUGAIL, I; HARRISON, T.M. 1999 **Geochronology and thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method**. 2th ed. Oxford, Oxford University Press, 269 p.1999.
- MCHONE, J. G. Non-plume magmatism and rifting during the opening of the Central Atlantic Ocean. **Tectonophysics**. 316, 287-296.2000.
- MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem continental Brasileira in BIZZI, L. A. SHOBHENHAUS, C. VIDOTTI, R. M. GONÇALVES, J.H **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**, 2003. v 3, p. 87-165, 2003.
- MOJZESZOWICZ, A. G. **Evolução da tectônica rúptil no nordeste do Brasil baseada na termocronologia por traço de fissão em apatita** (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências.p64. 2009
- MORAIS NETO, J. M; GREEN, P. F., KARNER, G. D; ALKIMIM, F. F. D. Age of the Serra do Martins Formation, 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; HEGARTY, K.; KARNER, G. D. Abordagem preliminar sobre paleotemperatura e evolução do relevo da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, a partir da análise de traços de fissão em apatita. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 14, p. 113-119, 2005.
- MOURA, A. C. D. A. **Datação $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em zonas de cisalhamento ao longo do Lineamento Transbrasiliano: evolução e reativação**. (Tese de Doutorado) Programa de Pós Graduação em Geologia. Universidade de Brasília. 2007, p 116.
- NÓBREGA, M. A; JARDIM SÁ, M; BEZERRA, F. H. R; NETO, J. H; LUNES P. J; GUEDES, S; LIMA-FILHO, F. P. The use of apatite fission track thermochronology to constrain fault movements and sedimentary basin evolution in northeastern Brazil. **Radiation Measurements**, 39(6), 627-633.2005.
- NOVAIS, F. G; BRITO NEVES, B. B; KAWASHITA, K. Reconhecimento cronoestratigráfico na região Noroeste do Ceará. In: **SBG, Simposio de Geologia do Nordeste**. 1979. p. 91-110.
- OLIVEIRA, D. C; MOHRIAK, W. U. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. **Marine and Petroleum geology**, v. 20, n. 3-4, p. 351-383, 2003.

- PEDROSA, N. C; VIDOTTI, R. M; FUCK, R. A; BRANCO, R. C.; ALMEIDA, A. R.; SILVA, N. C. V; BRAGA, L. R. Architecture of the intracontinental Jaibaras Rift, Brazil, based on geophysical data. **Journal of South American Earth Sciences**, 74, 27-40. 2017.
- PESSOA NETO, O. D. C; SOARES, U. M; SILVA, J. D., ROESSNER, E. H., FLORENCIO, C. P; SOUZA, C. D. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, 15(2), 357-369. 2007.
- PEULVAST, J. P; BÉTARD, F. **Landforms and landscape evolution of the equatorial margin of Northeast Brazil: an overview**. Springer, 2015.
- PEULVAST, J. P; BÉTARD; LAGEAT, Y. Long-term landscape evolution and denudation rates in shield and platform areas: a morphostratigraphic approach. **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, v. 15, n. 2, p. 95-108, 2009.
- PEULVAST, J.P.; CLAUDINO-SALES, V. Reconstruindo a evolução de uma margem continental passiva: um estudo morfogenético do Nordeste brasileiro. In SILVA, J. B da.; LIMA, L. C, ELIAS, D (Orgs) (2006). **Panorama da Geografia Brasileira I**. São Paulo: Annablume, p. 277-317, 2006.
- PEULVAST, J.P.; CLAUDINO-SALES, V. Stepped surface sand palaeolandforms in the northern Brazilian Nordeste: constraints on models of morphotectonic evolution. **Geomorphology**62, p. 89-122. 2004.
- 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**. 62(1-2), 39-60. 2008.
- RAMOS, V. A; VUJOVICH, G; MARTINO, R; OTAMENDI, J. Pampia: a large cratonic block missing in the Rodinia supercontinent. **Journal of Geodynamics**, 50(3-4), p.243-255. 2010.
- RAPELA, C.W; PANHKRUST B. R.J; CASQUET C, C; FANNING D, C.M; BALDO, E.G.; GONZÁLEZ-CASADO F, J.M; GALINDO C. C; DAHLQUIST, J. The Río de la Plata craton and the assembly of SW Gondwana. **Gondwana Earth-Science Reviews**, 83, 49–82. 2007.
- RIBEIRO, M. C. S; HACKSPACHER, P. C; RIBEIRO, L. F. B; NETO, J. C. H. Evolução Tectônica e Denudacional da Serra do Mar (SE/BRASIL) no limite entre o Cretáceo Superior e Paleoceno, utilizando análises de Traços de Fissão e U-Th/He em Apatitas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 12. 2011.
- SANTOS, F. L. A; NASCIMENTO, F. R; CLAUDINO-SALES, V. Ciclo dos supercontinentes e reflexos morfoestruturais no Noroeste do Ceará/Brasil. **Ateliê Geográfico**, v. 14, n. 2, p. 67-90, 2020.
- SANTOS, T. J. S; FETTER, A; HACKSPACHER, P. C; VAN SCHMUS; NOGUEIRA NETO, J. A. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. **Journal of South American Earth Sciences**. 25. p. 271-284. 2008.
- SHOBBENHAUS, C; BRITO NEVES, B. B. A Geologia do Brasil no Contexto da Plataforma Sul-Americana in BIZZI, L. A. SHOBBENHAUS, C. VIDOTTI, R. M.

- GONÇALVES, J.H. **Geologia Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Brasília. p 5-25. 2003.
- SHUSTER, D. L.; VASCONSELOS, P. M.; HEIM, J. A.; & FARLEY, K. A. Weathering geochronology by (U-Th)/He dating of goethite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 69 (3), 659-673. 2005.
- SIAL, A. N.; FIGUEIREDO, M. C. H.; LONG, L. E. Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo plutons, Ceará, northeast Brazil. **Chemical Geology**, v. 31, p. 271-283, 1980.
- SIAL, A. N.; LONG, L. E. Mineral chemistry and stable isotope geochemistry of the Cambrian Meruoca and Mucambo plutons, Ceará, Northeast Brazil. In: **International symposium on granites and associated mineralizations (ISGAM), Salvador, Brazil**. p. 185-188. 1987.
- SILVA M. B.; MAIA R. P. CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIBE, CEARÁ-BRASIL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 18(3).2017
- SILVA, B. V. D. **Evolução termocronológica da região à leste da bacia offshore do Namibe, Angola, por meio de traço de fissão e (U-Th)/He em apatitas. (Dissertação de Mestrado)**. Programa de Pós Graduação em Geologia Regional. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. p.125. 2016.
- SOUZA, M. J. N. Bases naturais e esboço de zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: LIMA, L. C., SOUZA, M. J. N., MORAES, J. O. (orgs.). **Compartimentação territorial e gestão regional do estado do Ceará**. Fortaleza: Editora FUNECE, 2000.
- SOUZA, Z. S., VASCONSELOS, P. M.; NASCIMENTO, M. A. L.; SILVEIRA, F. V., PAIVA, H. S.; SILVEIRA DIAS, L. G., OLIVEIRA, R. **Geocronologia e geoquímica do Magmatismo Cretácico a Terciário no NE do Brasil**. In *Anais do XLII Congresso Brasileiro de Geologia*. 2004.
- SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) **Projeto Topodata**. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> . Acesso em 22 de Setembro de 2020.
- TAGAMI, T. Zircon fission-track thermochronology and applications to fault studies. **Reviews In Mineralogy & Geochemistry**, 58, 95-122. 2005.
- TAGAMI, T.; MURAKAMI, M.; Sondagem de heterogeneidade da zona de falha na falha de Nojima: Restrições da análise de traços de fissão de zircão de amostras de poços. **Tectonophysics**. v. 443, n. 3-4, pág. 139-152, 2007.
- TORRES, P. F. M., CAVALCANTE, J. C., SMITH, E. P., VASCONSELOS, A. M., OLIVEIRA, F.V. 2010. **Mapa geológico da Folha Quixadá (B-24-V-C-VI)**, CPRM-SBG – Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza-CE, Escala 1:250.000.
- VAUCHEZ, 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**, 8(3-4), 247-266. 1995. VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R. e TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 253-263. 2007.
- WOLF, R. A.; FARLEY, K. A.; SILVER, L. T. Helium diffusion and low-temperature thermochronometry of apatite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(21), 4231-4240, 1996.