



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GEOLOGIA**

AERSON MOREIRA BARRETO JUNIOR

**TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA DA FLORESTA PETRIFICADA DO CARIRI –
FORMAÇÃO MISSÃO VELHA, BACIA DO ARARIPE**

**FORTALEZA
2015**

AERSON MOREIRA BARRETO JUNIOR

TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA DA FLORESTA PETRIFICADA DO CARIRI –
FORMAÇÃO MISSÃO VELHA, BACIA DO ARARIPE

Monografia apresentada ao curso de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho

FORTALEZA
2015

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)

- B26 Barreto Junior, Aerson Moreira.
Tafonomia e paleoecologia da floresta petrificada do Cariri — Formação Missão Velha, Bacia do Araripe / Aerson Moreira Barreto Junior. – 2015.
86 f. : il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2015.
Orientação: Prof. Dr. Wellington Ferreira da Silva Filho.
1. Bacia do Araripe - Ceará. 2. Formação Missão Velha - Ceará. 3. Troncos fósseis. 4. Tafonomia. 5. Geologia. I. Título.

CDD 551

AERSON MOREIRA BARRETO JUNIOR

TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA DA FLORESTA PETRIFICADA DO CARIRI –
FORMAÇÃO MISSÃO VELHA, BACIA DO ARARIPE

Monografia apresentada ao curso de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Aprovada em ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Márcio Mendes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Daniel Bezerra das Chagas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Epígrafe

“O que não me mata

torna-me mais forte”

(Friedrich Nietzsche em *Crepúsculo dos Ídolos*)

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus agradecimentos às pessoas que de alguma maneira foram importantes para esta jornada.

Primeiramente agradeço ao meu pai, minha mãe e minhas duas irmãs por terem formado meu caráter, me ensinado e me deixado ensinar os valores que levo comigo.

Agradeço ao meu orientador Prof. Wellington Ferreira por ver sempre uma ponta de sentido nas minhas ideias sem sentido – e principalmente por vir aguentando-as nos 4 anos que viemos trabalhando juntos. Um agradecimento especial vai ao Geól. Daniel Chagas e ao Prof. Márcio Mendes por terem aceito meu convite com empolgação para compor a banca examinadora. Agradeço também à Geól. Liliana Ferreira por suas contribuições em nossa parceria de estudos sobre a Formação Missão Velha.

Dou destaque em meus agradecimentos: ao meu colega, amigo, parceiro de todas as encrencas, bagunças e loucuras - e agora geólogo - Ramon Lino, pessoa que conheci nos meus primeiros dias na Geologia e que certamente levarei para o resto da vida; ao meu amigo Geól. Felipe Holanda, que tem me apoiado desde o primeiro dia que decidi aprender sobre o mundo acadêmico, e ultimamente me ensinado a como ser um cientista; e à Sara Ferreira. Só você entende o que passei nos últimos meses. Te agradeço pelo apoio, pelo carinho, pela compreensão, pela paciência, e principalmente pela perseverança que você transmitiu nesta fase da minha vida, e que você acompanhou de tão perto. Sem você seria muito mais difícil.

Agradeço aos demais que me acompanharam ao longo desses anos, e espero que me acompanhem por muito mais: Flora, Almir, Mateus, Marcus Venicius, Pedro Ângelo (P.A), Saulo, Marcos Paulo (Foguinho) e Marcos Paulo (NOFX), Allan Bernardino (Tutankallan), Francisco José (Xiikin), Iana, Celina (Céu), Weber, Neto, Victor (V3), Juan Azevedo, Irineudo, Ricardo, Moacir, Renato, João Paulo (Papoulas) e minha madrinha Iaponira e seu irmão Iapurinan. Além de muitos outros personagens que acompanharam minha jornada e sabem que carregam seus nomes comigo.

Por fim, agradeço aos professores do DEGEO que ao longo desses anos vêm contribuído para minha formação, e à Universidade Federal do Ceará por ter viabilizado minha formação.

RESUMO

A Formação Missão Velha destaca-se na Bacia do Araripe devido à ocorrência de troncos silicificados nas camadas areno-cascalhosas de seu registro estratigráfico. Os fósseis encontrados são identificados como gimnospermas relacionadas a coníferas do gênero *Dadoxylon*, consistindo-se em fragmentos de troncos com apenas a porção do xilema preservada. As populações de coníferas do Eocretáceo desenvolviam-se em regiões subpolares e também em latitudes de clima quente, fortemente influenciadas pelo alto teor de dióxido de carbono atmosférico, conferindo às regiões continentais circulações de monções resultando em invernos secos e verões quentes e úmidos, dando origem a populações coníferas no Gondwana durante a deposição da Formação Missão Velha. O estudo tafonômico dos troncos *in situ* desta assembleia revela um posicionamento ortogonal destes com relação à paleocorrente, indicando que esta assembleia foi injetada num canal raso, assim com pouca amplitude para acomodação do tronco em posição paralela à corrente e possivelmente de forma catastrófica devido à variedade de feições tanatológicas que se apresentam nos troncos.

Palavras-chave: Bacia do Araripe, Formação Missão Velha, Troncos fósseis, Tafonomia.

ABSTRACT

The Missão Velha Formation stands out in the Araripe Basin due to the occurrence of silicified trunks in the sandy-gravelly strata of its stratigraphic log. These fossils are gymnosperm related and attributed to *Dadoxylon* genus. The specimen consists in only the xylem portion of tree stems preserved. Eocretaceous conifers occur mainly in subpolar regions at warm temperature latitudes, highly influenced by the Mesozoic greenhouse effect, responsible for continental dry winters and warm humid summers, main climates during the deposition of the Missão Velha Formation. The taphonomic study of this assemblage reveals an orthogonal setting of the trunks regarding to the standard paleocurrent found, indicating that this assemblage was injected in a shallow channel, therefore insufficient amplitude to set the trunks parallel to the current, possibly in a catastrophic event due to the variety of thanatological features present in the trunks.

Key words: Araripe Basin, Missão Velha Formation, Fossil Trunks, Taphonomy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área estudada; a) mapa do Brasil; b) mapa do nordeste do Brasil destacando a localização da Bacia do Araripe; c) delimitação geográfica da Bacia do Araripe. FONTE: Modificado de Pires & Guerra-Sommer (2011).....	14
Figura 1.2: Entrada do Geossítio Floresta Petrificada do Cariri, situado na zona rural do município de Milagres. Compõe um dos geossítios do Geopark Araripe.....	15
Figura 2.1: Delimitação das áreas estudadas e localização de seções colunares levantadas. Imagem do Google Earth.....	18
Figura 2.2: Placa indicativa dos acessos à exposição principal da Formação Missão Velha (troncos fósseis) e à trilha que leva à outra extremidade do GFP.....	20
Figura 2.3: Mapa local da Serra do Espia com a configuração aproximada dos troncos utilizados para o estudo tafonômico. Imagem do Google Earth.....	23
Figura 2.4: Desenho esquemático exemplificando a medição de orientação dos troncos fragmentados <i>in situ</i>	24
Figura 3.1: Quadro comparativo das colunas litoestratigráficas propostas para a Bacia do Araripe. FONTE: Modificado de Chagas (2006).....	28
Figura 3.2: Carta estratigráfica da Bacia do Araripe. FONTE: Modificado de Marques <i>et al.</i> (2014).....	29
Figura 3.3: Bacias interiores do Nordeste alinhadas segundo o trend Cariri-Potiguar. FONTE: Hessel <i>et al.</i> (2006).....	30
Figura 3.4: Localização da Depressão Afro-Brasileira no mapa paleogeológico Juro-Cretáceo do Gondwana. FONTE: Modificado de Cesero & Ponte (1997).....	34
Figura 3.5: Carta Integrada das bacias da Depressão Afro-Brasileira e as unidades equivalentes ao Andar Dom João, com a denominação local para cada unidade. FONTE: Modificado de Kuchle <i>et al.</i> (2011).....	35
Figura 3.6: Registros de florestas petrificadas pelo globo, de acordo com seu período geológico. FONTE: Modificado de Capretz (2010).....	37
Figura 4.1: Mapa simplificado do Gondwana Ocidental, apontando as localidades onde as ocorrências de coníferas fósseis de acordo com a família taxonômica. Bloco cinza corresponde à reconstrução paleogeográfica para o Eocretáceo; linhas pontilhadas representam as fronteiras atuais. FONTE: Archangelsky & Del Fueyos (2010).....	48
Figura 5.1: Proposição de Pathway tafonômico para a deposição dos troncos nos sedimentos da Formação Missão Velha.....	51

Figura 5.2: Amostra de tronco fóssil coletada nas áreas de cercanias, apresentando feição de desgaste superficial por conta de abrasão de água e/ou sedimentos em transporte.....	56
Figura 5.3: Fragmento de tronco encontrado no GFP, que apresenta cavidades em seu interior, com limites externos bem definidos, interpretadas como feições de processos tanatológicos.....	57
Figura 5.4: Aspecto geral dos afloramentos do GFP.....	59
Figura 5.5: Marcas de raiz/bioturbações (?) na fácies de paleossolo.....	59
Figura 5.6: Colunas estratigráficas correlacionando-se os níveis de paleossolo no afloramento da trilha do GFP (a) e no afloramento principal do GFP (b), entre os quais existem um falhamento normal onde a gruta funda está posicionada, e a correlação da camada cimentada em ferro na Serra do Espia com o GFP em (c).....	60
Figura 5.7: Monumentos edificadas por visitantes do GFP utilizando os troncos.....	61
Figura 5.8: Aspecto geral do primeiro aforamento na Serra do Espia.....	63
Figura 5.9: Aspecto geral do segundo aforamento na Serra do Espia.....	63
Figura 5.10: Exemplo de blocos de arenito cimentados em ferro. No centro, bloco com molde de tronco fóssil preservado.....	64
Figura 5.11: Disposição de troncos <i>in situ</i> utilizados para os estudos tafonômicos.....	66
Figura 5.12: Estratificações cruzadas preservadas em bloco arenítico impregnado em ferro, “encrustado” em tronco fóssil. Devido à paleocorrente do bloco coerente com as medidas locais, considera-se o bloco como <i>in situ</i> . A coloração castanha e ocre devido à oxidação da camada ferruginosa é melhor evidenciada nesta fotografia.....	67
Figura 5.13: Porção basal de um tronco fóssil. Este exemplar foi encontrado soterrado até a metade, com a maior base fixada à camada de solo, semelhante à posição de um tronco em posição de vida (todavia este trabalho não supõe autoctonia para o mesmo).....	67
Figura 5.14: Exemplo de jazimento de troncos remobilizados nas cercanias do GFP.....	68
Figura 5.15: Fragmento de tronco não relacionado a outro e com direções de eixo incoerentes aos sentidos de paleocorrente.....	69
Figura 5.16: Diagramas de roseta referentes às (A) medidas de direção dos troncos fósseis <i>in situ</i> da Serra do Espia ($M = 95.7^\circ$) e (B) as direções de paleocorrente medidas nos afloramentos da mesma localidade ($M = 195.4^\circ$).....	70
Figura 15.17: Vegetação moderna de coníferas (<i>Pinus canariensis</i>) de zona temperada, na ilha Tenerife das Ilhas Canárias. FONTE: Field Ecology Center (2008).....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Proposta de tectonossequências da Bacia do Araripe. FONTE: Ponte <i>et al.</i> (1997).....	32
Tabela 2: O detalhamento do conjunto faciológico da Formação Missão Velha. FONTE: Modificado de Fambrini <i>et al.</i> (2009).....	46
Tabela 3: Definições dos possíveis caracteres tafonômicos de assembleias vegetais fósseis e suas características bioestratinômicas gerais. FONTE: Adaptado de Martin-Closas & Gomez (2004).....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Considerações iniciais.....	13
1.2. Justificativa e objetivos.....	15
2. MÉTODOS.....	18
2.1. Área de estudo.....	18
2.1.1. <i>Geossítio Floresta Petrificada do Cariri (GFP)</i>	19
2.1.2. <i>Serra do Espia</i>	20
2.1.3. <i>Cercanias</i>	20
2.2. Etapas de campo.....	21
2.3. Coleta de dados tafonômicos.....	21
2.4. Etapa pós-campo.....	22
3. CONTEXTO GEOLÓGICO DA BACIA DO ARARIPE.....	26
3.1. Evolução dos conhecimentos.....	26
3.2. Evolução tectonossedimentar.....	30
3.3. O Andar Dom João.....	33
3.4. Revisão de floras fósseis globais do Devoniano ao Cenozoico.....	36
4. GEOLOGIA DA FORMAÇÃO MISSÃO VELHA.....	44
4.1. Litoestratigrafia.....	44
4.2. Geocronologia.....	44
4.3. Fácies e sistema deposicional.....	45
4.3. Paleontologia.....	47
5. TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA.....	51
5.1. Considerações geológicas e paleontológicas da Formação Missão Velha.....	54
5.2. Estrutura das assembleias fossilíferas.....	55
5.2.1. <i>Geossítio Floresta Petrificada do Cariri (GFP)</i>	58
5.2.2. <i>Serra do Espia</i>	62
5.2.3. <i>Cercanias</i>	65
5.3. Estudo da orientação dos troncos.....	69
5.5. Considerações paleoclimáticas e paleoambientais.....	71
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

A Bacia do Araripe (Figura 1.1) é amplamente conhecida por sua variedade de ocorrências fósseis, especificamente de peixes, insetos, e pterossauros na Formação Santana (Beurlen, 1962), tendo sido objeto de numerosas publicações nas últimas décadas. A Formação Missão Velha (Ponte & Appi, 1990) possui diversos trabalhos que descrevem sua litoestratigrafia, conteúdo fossilífero, sistema deposicional, evolução tectonoestratigráfica e aspectos diagenéticos (Chagas, 2006; Freitas *et al.*, 2008; Fambrini *et al.*, 2009; Fambrini *et al.*, 2011; Pires & Guerra-Sommer, 2011; Costa *et al.*, 2014; Scherer *et al.*, 2014), destacando-se na bacia pela ocorrência de uma assembleia fossilífera de troncos silicificados de coníferas.

Embora a ocorrência dos troncos fósseis seja conhecida popularmente a mais de um século, os primeiros estudos científicos foram realizados apenas no início da década de 1960 com as campanhas de Beurlen na Bacia do Araripe. Entretanto, mecanismos de preservação e conservação destas ocorrências só viriam a se tornar reais em 2006, com a implantação do Geossítio Floresta Petrificada do Cariri, no Geopark Araripe (Figura 1.2). Nas décadas anteriores, a sensibilidade da população com relação à importância da preservação destes troncos era pequena, o que resultou em muitas décadas de exploração abusiva e irrestrita dos troncos, verificando um quadro de escassez de exemplares com relação às décadas passadas. Mesmo que em escala reduzida, confere-se que esta situação persiste devido à impossibilidade de um monitoramento efetivo e competente das regiões fossilífera por parte dos órgãos fiscalizadores.

As gimnospermas preservadas como fósseis durante o Mesozoico geralmente pertencem a duas ordens taxonômicas: *Cycadophyta* e *Coniferophyta* (Mussa, 2004). Brito (1987) atribuiu os troncos fósseis da Formação Missão Velha à conífera *Dadoxylon benderi*, correlação taxonômica esta enfatizada mais tarde por Freitas *et al.* (2008). Os troncos fósseis da Formação Missão Velha têm dimensões variadas, desde amostras de mão de alguns centímetros, a lenhos que podem alcançar até 220 cm de comprimento e 110 cm de largura (Freitas *et al.*, *op. cit.*).

Segundo Braun (1966), a ocorrência destes troncos é indicativa de uma possível floresta de coníferas que se desenvolveu na porção central do Gondwana durante a passagem dos períodos Pré-Rifte e Rifte. O mesmo autor atesta que os troncos deveriam pertencer a uma exuberante floresta de coníferas, provavelmente arrancados das montanhas adjacentes e levados para a bacia por correntes de grande competência, sofrendo rápido soterramento.

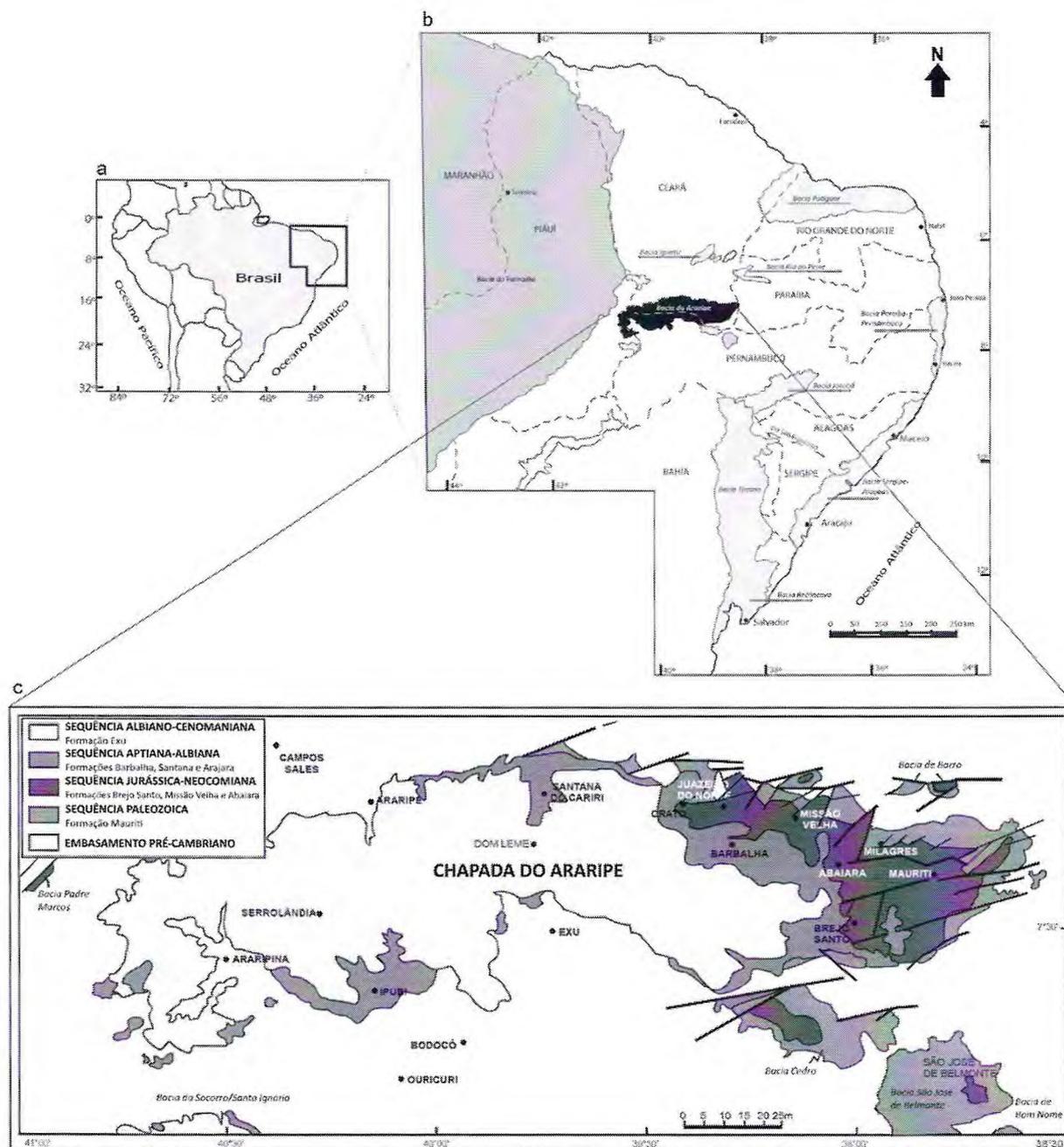


Figura 1.1: Localização da área estudada; a) mapa do Brasil; b) mapa do nordeste do Brasil destacando a localização da Bacia do Araripe (em preto) e bacias interiores do nordeste brasileiro; c) delimitação geográfica da Bacia do Araripe. FONTE: Modificado de Pires & Guerra-Sommer (2011).

Recentes estudos de estratigrafia e paleontologia da Formação Missão Velha têm vinculado a ocorrência dos troncos fósseis a níveis arenítico-conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada, denominados respectivamente como *Fácies Ca*, *Acg* e *Aa* por Fambrini *et al.* (2011), segundo os autores, constituindo concentrações anômalas como por exemplo no Sítio Olho D'água (também denominado Grotta Funda), onde situa-se o Geossítio Floresta Petrificada do Cariri.

Através da revisão bibliográfica realizada para este trabalho, foi possível verificar uma similaridade dos depósitos relacionados aos troncos fósseis da Formação Missão Velha com diversos outros depósitos em demais bacias interiores do Nordeste Brasileiro e bacias do Ocidente Litorâneo Africano. As similaridades com estas floras fósseis suscitam questões sobre os processos de deposição seus ímpares eventos condicionantes, e permite a utilização de mecanismos comparativos, assunto a ser abordado constantemente no trabalho.

1.2. Justificativa e objetivos

Embora a Bacia do Araripe tenha uma grande diversidade de conteúdos científicos de respaldo mundial, sobretudo de cunho paleontológico, o estudo da Formação Missão Velha urge ainda por um estudo de caracterização dos condicionantes deposicionais dos troncos fósseis. O presente estudo reporta os resultados de trabalhos estratigráficos e tafonômicos nas localidades do Geossítio Floresta Petrificada do Cariri/Sítio Olho D'água/Grota Funda, Serra do Espia e cercanias, na divisa dos municípios de Missão Velha e Milagres, tendo como objetivos fundamentais: (1) determinar a extensão local e sucessão estratigráfica das camadas fossilíferas da Formação Missão Velha na área estudada; (2) caracterizar os condicionantes deposicionais dos troncos fósseis; e (3) sugerir as condições paleoambientais de



Figura 1.2: Entrada do Geossítio Floresta Petrificada do Cariri, situado na zona rural do município de Milagres. Compõe um dos geossítios do Geopark Araripe.

ocorrência dos espécimes baseando-se em argumentos estratigráficos, paleontológicos e tafonômicos.

Neste estudo fazem-se presentes, portanto, três linhas de abordagem distintas: estratigrafia comparada num âmbito local; reconstituição paleoambiental; e tafonomia.

O desenvolvimento desta monografia apresenta-se da seguinte forma: Na revisão bibliográfica, apresenta-se uma síntese da evolução dos conhecimentos da Bacia do Araripe e consequente delimitação da unidade estudada; a contextualização geológica geral da bacia; os condicionantes tectônicos que limitam a Formação Missão Velha; em seguida uma revisão aprofundada a respeito da unidade estudada, sobre seus aspectos litoestratigráficos, geocronológicos, faciológicos e paleontológicos; os resultados são constituídos das observações petrológicas, estratigráficas e paleontológicas observadas em campo e comparadas com a bibliografia estudada, o detalhamento das assembleias fossilíferas, os quais culminam nas indagações dos caracteres tafonômicos levantados por este trabalho; por fim, fazem-se considerações paleoclimáticas e paleoambientais salientadas por uma revisão de outras ocorrências de “florestas petrificadas” baseadas em revisão da literatura global realizada por Capretz (2010), seguindo-se das considerações finais.

CAPÍTULO 2

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A região objeto de estudo desta monografia corresponde a algumas localidades acessadas entre os quilômetros 5 e 7 da estrada de Missão Velha para Milagres (CE-293), sendo estes o Geossítio Floresta Petrificada/Sítio Olho D'água/Grota Funda, daqui em diante neste trabalho apresentado como Geossítio Floresta Petrificada (GFP), Serra do Espia, e cercanias (Figura 2.1).

Existem diversas localidades, próximas ou não da área de estudo, sobretudo nos municípios de Abaiara, Milagres e Brejo Santo, em que há registros relevantes de outros sítios fossilíferos relacionados aos troncos fósseis da Formação Missão Velha e demais unidades abordadas nesta monografia – havendo também ocorrência da unidade nos municípios de Juazeiro do Norte, Crato, Barro, Mauriti, Jati, Jardim e Porteiras (Cavalcante *et al.*, 2003).

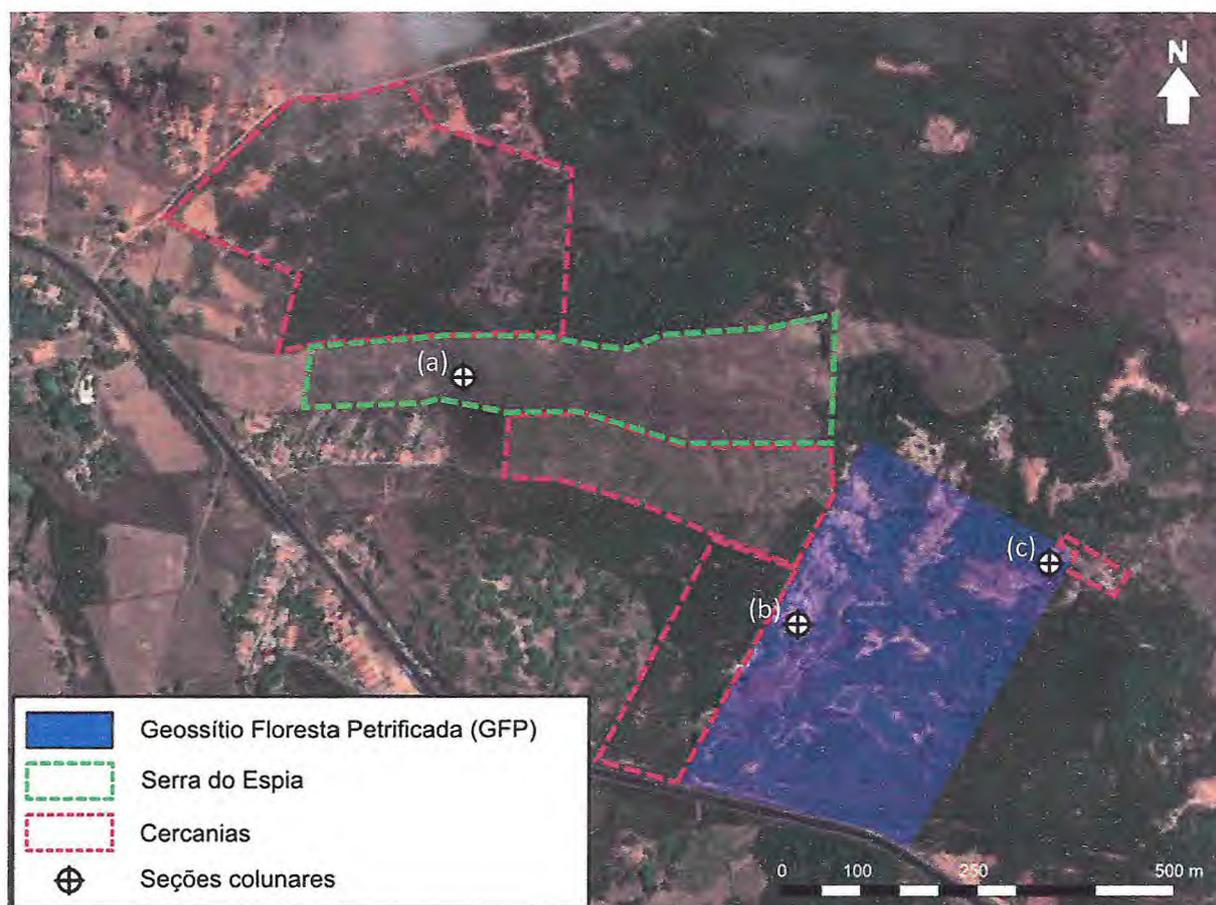


Figura 2.1: Delimitação das áreas estudadas e localização de seções colunares levantadas. Imagem do Google Earth.

Pela importância do GFP, e pelos aspectos legais que tornam urgente sua conservação, este trabalho teve como foco exclusivos os fósseis e a litoestratigrafia do GFP e cercanias.

As informações geológicas das localidades estudadas serão descritas no Capítulo 5. TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA.

2.1.1. *Geossítio Floresta Petrificada do Cariri (GFP)*

Uma parcela dos fósseis estudados nesta monografia corresponde aos depósitos sedimentares do Geossítio Floresta Petrificada do Cariri, área alugada de uma propriedade particular denominada Sítio Olho D'água ou Grota Funda. O Geossítio situa-se dentro dos limites legais do Geopark Araripe (GA), criado em 2006 através de iniciativas da Universidade Regional do Cariri (URCA) em parceria com o Governo do Estado do Ceará.

O GA está localizado ao sul do estado do Ceará, na porção cearense da Bacia do Araripe e abrange seis municípios da região do Cariri. Possui uma área de aproximadamente 3.441 km² e que corresponde ao contexto territorial das cidades de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri. É formado por nove geossítios de interesse, definidos pela relevância geológica, paleontológica, histórica, cultural e ecológica (Mochiutti *et al.*, 2012).

O Geossítio Floresta Petrificada do Cariri, por sua vez como integrante do GA é, segundo a definição de geoparque da UNESCO (2005), um território com limites bem definidos que tem uma área suficientemente grande para que sirva ao desenvolvimento econômico local. Compreende certo número de sítios associados ao patrimônio geológico de importância científica especial, beleza ou raridade, representativo de uma área e de sua história geológica, eventos ou processos. Além disto, deve ter valor ecológico, histórico ou natural. Um geoparque deve preservar o patrimônio geológico para as futuras gerações, transmitindo ensinamento de temas relativos a locais de interesse geológico e ambiental ao público em geral, prover meios de pesquisas para as geociências e assegurar o desenvolvimento sustentável (CPRM, 2006).

Além da exposição da Grota Funda, mais difundida e frequentemente estudada, neste estudo foi dada ênfase também a uma outra exposição na extremidade Leste da área, onde ocorre uma escarpa verticalizada com boa exposição da unidade. O acesso se dá através de uma trilha secundária indicada por uma placa nos primeiros 50 metros da via principal do GFP (Figura 2.2).

2.1.2. Serra do Espia

É uma colina de aproximadamente 70 metros de altitude situada a Noroeste do GFP, numa propriedade particular. A Formação Missão Velha ocorre da base à metade da Serra do Espia com relação a sua topografia, apresentando uma menor densidade de fósseis com relação ao GFP, entretanto com notáveis ocorrências *in situ* em excelentes condições de preservação. Apesar do menor número de ocorrência de troncos, neste sítio há pouco registro de atividade ilegal de captura e contrabando segundo os proprietários.

2.1.3. Cercanias

São os territórios situados aos arredores que envolvem, tangenciam ou rodeiam o GFP e da Serra do Espia, geralmente constituindo-se de propriedades particulares. Nestas localidades ocorrem troncos fósseis na Formação Missão Velha, entretanto sem trazer muitas informações relevantes nem sobre os troncos e nem sobre os afloramentos. Também foram observadas as formações Brejo Santo, Abaiara e Exu.



Figura 2.2: Placa indicativa dos acessos à exposição principal da Formação Missão Velha (troncos fósseis) e à trilha que leva à outra extremidade do GFP.

2.2. Etapas de campo

Para a consolidação deste trabalho, as campanhas de campo foram divididas em três etapas ao longo de 2015. As duas primeiras etapas tiveram como objetivo a visitação do GFP e o reconhecimento das ocorrências fossilíferas das áreas de ocorrência da Formação Missão Velha adjacentes ao GFP e realização de todas as observações petrológicas, estratigráficas, paleontológicas, e obtenção dos dados tafonômicos, tal como a constatação de definições pretéritas de acordo com a revisão bibliográfica. A terceira etapa foi devida para a correlação altimétrica das colunas estratigráficas levantadas previamente. As três etapas de campo completaram, aproximadamente, 14 dias de trabalho.

Para o fim dos estudos tafonômicos, os objetos de análise em campo são amostras dos troncos fósseis, *in situ* e *ex situ*, sendo estes relacionados aos arenitos cascalhosos da Formação Missão Velha. Para demais observações tafonômicas algumas amostras dos troncos silicificados foram coletadas em campo sob supervisão do Prof. Wellington e lotadas no Laboratório de Geologia Sedimentar (Departamento de Geologia - Universidade Federal do Ceará).

O atual quadro de escassez das amostras de troncos fósseis *in situ* torna antiética a remoção destes, do ponto de vista da Geoconservação. Os troncos, sejam coletados ou notados em campo, foram observados e quantificados independente de tamanho ou qualidade de preservação, a fim de evitar índices muito altos ou muito baixos em determinadas classes qualitativas do estudo. A fim de propor os processos tafonômicos envolvidos na sedimentação dos troncos fósseis, foram analisados nos espécimes os possíveis processos de produção dos fragmentos vegetais; e os processos de interação dos fragmentos com os agentes sedimentares até o ponto de soterramento e preservação.

2.3. Coleta de dados tafonômicos

Os troncos fósseis *in situ*, ocorrentes apenas na Serra do Espia e cercanias, foram mapeados, medidos e fotografados. Os troncos, por sua vez, quase sempre se apresentam fragmentados em duas ou mais partes.

Os troncos encontram-se, sem exceção, expostos a céu aberto, o que implica num grau elevado de desgaste físico e químico. Os troncos, quando fragmentados, permanecem alinhados de acordo com sua posição original com pouco deslocamento rotacional. Entretanto, enxurradas e processos pedogenéticos agravaram este quadro de deslocamento em grande parte dos

espécimes que, para a tomada de direções azimutais, foram sistematicamente descartados, utilizando-se para este propósito fragmentos de troncos que se apresentavam praticamente alinhados entre si, onde estava evidente um deslocamento rotacional pequeno ou irrelevante (Figura 2.3).

A orientação azimutal dos troncos teve como sentido-guia a direção preferencial das paleocorrentes conhecidas para a Formação Missão Velha, valores entre as direções SSW e SSE, com o auxílio de duas bússolas geológicas, Bruton e Silva, tomando a orientação dos troncos com relação ao Norte geográfico, com a “visada” segundo o eixo dos troncos *in situ* dando preferência às medições para os quadrantes Sul.

A Figura 2.3 apresenta um mapa local da Serra do Espia com a configuração aproximada dos troncos utilizados para o estudo tafonômico, onde os exemplares que se compõem de vários fragmentos estão representados de forma justaposta.

A Figura 2.4 apresenta fotografias de alguns exemplares utilizados no estudo tafonômico e rascunha representações esquemáticas da maneira em que foi realizada a tomada de medida de direção.

O mapeamento dos troncos *in situ* utilizou como referência as coordenadas de sua localização, com o auxílio de um GPS Garmin E-Trex, utilizando DATUM UTM WGS-84 S24. O erro-padrão do sistema deste GPS é irrelevante para os dados utilizados (coordenadas geográficas).

Tais métodos foram utilizados, com algumas pequenas modificações no presente trabalho, nos estudos tafonômicos de Froggatt *et al.* (1981), Roberts & Hendrix (2000) e Capretz (2010).

Reiterando, somente troncos mais completos, com pouca separação e deslocamento aparente de fragmentos, e que a orientação se apresentou com direta relação ao sentido das paleocorrentes, foram utilizados nos estudos tafonômicos em campo.

2.4. Etapa pós-campo

Para a construção dos diagramas em roseta, para investigar o padrão de orientação dos caules com relação ao sentido das paleocorrentes da unidade, foi utilizado o software livre *OpenStereo*.

Para a construção de mapas e demais objetos baseados em dados especializados foi utilizado o sistema de informação geográfica (SIG) *ESRI ArcGIS*, fornecido pela Universidade Federal do Ceará.

Para demais trabalhos gráficos, desenhos, esquemas e diagramas, foi utilizado o software livre de desenho vetorial *Inkscape*.

A altimetria de precisão, realizada em algumas etapas do trabalho a fim de fazer correlações estratigráficas entre diferentes localidades, foi feita com a utilização do GPS geodésico *South GNSS* modelo *S 750*, fornecido pelo Laboratório de Geoprocessamento (GEOCE) da Universidade Federal do Ceará.



Figura 2.3: Mapa local da Serra do Espia com a configuração aproximada dos troncos utilizados para o estudo tafonômico. Imagem do Google Earth.

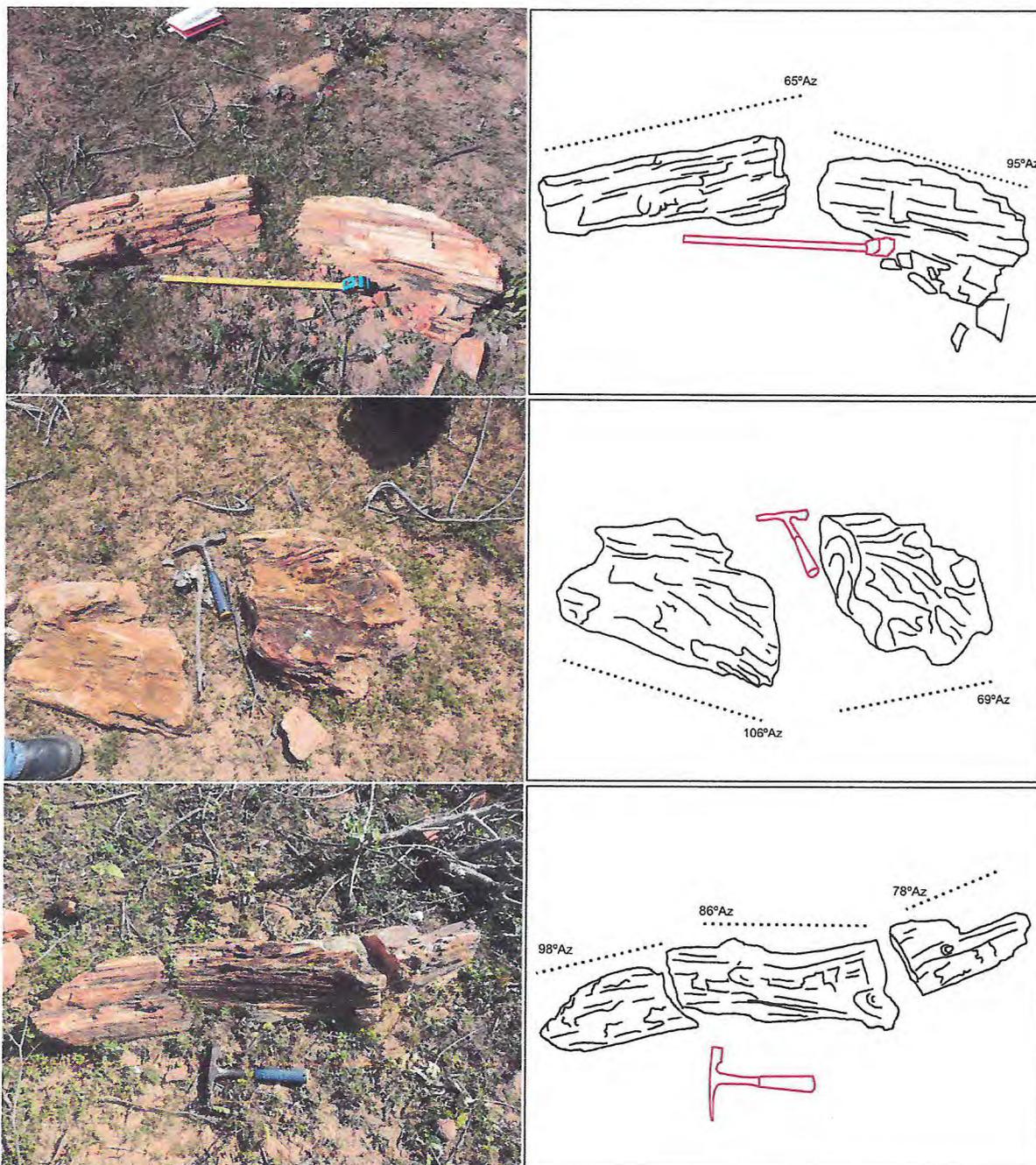


Figura 2.3: Desenho esquemático exemplificando a medição de orientação dos troncos fragmentados in situ.

CAPÍTULO 3

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1. Evolução dos conhecimentos da Bacia do Araripe

As pesquisas na Bacia do Araripe tiveram início ainda no século 19, em 1817, quando a arquiduquesa da Áustria, Maria Leopoldina, viajou para o Rio de Janeiro para se casar com o futuro imperador do Brasil, D. Pedro I. Entre os cientistas da comitiva que a acompanhou, estavam dois membros da Academia de Ciências de Munique, os naturalistas alemães Johann Baptist von Spix e Karl Friederich Philipp von Martius que realizaram, entre 1817 e 1820, uma viagem pelo território brasileiro. Seus resultados foram publicados em 1823 e 1831, na obra de três volumes *Reise in Brasilien*. Deve-se a estas publicações a primeira ilustração de um peixe fóssil da região do Cariri (Carvalho & Santos, 2005).

Small (1913) realizou a primeira descrição em detalhe da coluna estratigráfica do Araripe, dividindo-a em quatro unidades: conglomerado basal, arenito inferior, calcário Santana e arenito superior, sendo esta subdivisão utilizada durante toda a primeira metade do século 20, em que não houveram muitos trabalhos relacionados à bacia, a não ser especificamente de cunho paleontológico (Chagas, 2006).

Durante a década de 1960 a litoestratigrafia do Araripe fora revista e suas pesquisas foram intensificadas, patrocinadas por organismos e entidades federais como UFPE, SUDENE, DNPM e PETROBRAS (Chagas, op. cit.).

Inicialmente, a revisão da bacia fora feita pelos trabalhos de Beurlen (1962, 1963), renomeando as proposições antigas de Small (1913) para Formação Cariri, Formação Missão Velha, Formação Santana, e Formação Exu. O mapeamento de folhas cartográficas 1:50.000 na região, executados pela SUDENE (Veiga, 1966) contribuíram para a compreensão da distribuição espacial das diferentes unidades, culminando na subdivisão da Formação Missão Velha em uma formação homônima para a sequência arenítica superior, e Formação Brejo Santo para o pacote pelítico basal (Gaspary & Anjos, 1964).

Braun (1966) posicionou a Formação Brejo Santo no Andar Dom João, atribuído ao Neojurássico, através de estudos paleontológicos da biozona *Bissulcocypris pricei*, correlacionando esta unidade juntamente à Formação Missão Velha com as Formações Aliança e Sergi, cronocorrelatas nas bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá.

Beurlen (1971) subdividiu a Formação Santana em três membros, através de estudos faciológicos: Membro Crato, constituído de calcários laminadosossilíferos e siltitos

laminados; Membro Ipubi, constituído por evaporitos; e Membro Romualdo, constituído por siltitos, folhelhos e margas calcíferas com concreções por vezes fossilíferas.

Lima & Perinotto (1984) atribuíram idade neoptiana a uma camada de folhelho betuminoso no Araripe, até então incluída na Formação Missão Velha. Hashimoto *et al.* (1987) denominariam como Camadas Batateiras, devido a sua exposição no Rio das Batateiras. Mais tarde, Assine (1990) em revisão da litoestratigrafia do Araripe apresentaria a unidade portadora desta camada Formação Barbalha, juntamente com a Formação Abaiara, sobreposta.

Ponte & Appi (1990) propuseram outra revisão da litoestratigrafia do Araripe, denominando Grupo Vale do Cariri para as formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara, e Grupo Araripe para as formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu. Deste modo, deu-se origem às subdivisões modernas da litoestratigrafia da Bacia do Araripe.

Neumann (1999) propôs a elevação da Formação Santana a Grupo Santana, onde os membros Crato, Ipubi e Romualdo seriam elevados à categoria de Formação.

Entretanto, a denominação “Formação Missão Velha” de Beurlen (1966) compreendia uma sequência estratigráfica muito ampla, o que fomentou diversas revisões estratigráficas da Bacia do Araripe. Gaspary & Anjos (1964) desmembrariam a seção basal pelítica, denominando-a Formação Brejo Santo. Entretanto, as revisões para a bacia culminariam apenas no final da década de 1980 e início da década de 1990. Ponte & Appi (1990) realizaram a revisão que viria a determinar o modelo estratigráfico moderno para a Bacia do Araripe. No tocante à Formação Missão Velha, os autores mantiveram a denominação para os arenitos grossos portadores de troncos fósseis, posicionado no Andar Dom João (Neojurássico); para a porção intermediária atribuíram a denominação Formação Abaiara, para a sucessão de arenitos finos a médios com intercalações de siltitos e folhelhos com ostracodes fósseis das biozonas do Andar Rio da Serra (Neocomiano); o topo da unidade fora designado Formação Rio da Batateira/Formação Barbalha (Assine, 1990), que compreende arenitos médios a finos intercalados com folhelhos negros, onde ocorre a Camada Batateira (Hashimoto *et al.*, 1987), um nível delgado de folhelho betuminoso, posicionando-se no Andar Alagoas (Neoptiano).

O objeto de estudo deste trabalho é a Formação Missão Velha de acordo com aquela proposta por Assine (1990), delimitada após o desmembramento das formações Abaiara e Barbalha, sobrepostas, da antiga proposição para Formação Missão Velha de Gaspary & Anjos (1964). A Figura 3.1 apresenta um quadro comparativo das colunas litoestratigráficas propostas

ao longo das décadas, e a Figura 3.2, a carta estratigráfica simplificada com a configuração moderna da Bacia do Araripe.

SMALL 1913	BEURLEN 1962	BARROS 1963	BEURLEN 1963	ANJOS 1964	BRAUN 1966	SILVA SANTOS & VALENÇA 1968	BEURLEN 1971	MADESORN E & TINOCO 1973	MORAES ET AL. 1976	LIMA 1978 1979	SILVA 1983; 1986	PONTE & APPI 1990	ASSINE 1994	NEUMANN 1999
											FM. BARREIRAS			
ARENITO SUPERIOR	FM. EXU	FM. ARAJARA	FM. EXU	FM. FEIRA NOVA	FM. EXU	FM. FEIRA NOVA	FM. EXU	FM. EXU	FM. EXU	FM. EXU	FM. EXU	FM. EXU FM. ARAJARA	FM. EXU SUP. INF.	FM. EXU FM. ARAJARA
CALCÁRIO SANTANA	FM. SANTANA	FM. SANTANA	FM. SANTANA FM. CRATO	FM. SANTANA	FM. SANTANA	FM. SAN- TANA MB. SUP. MB. INF.	FM. SAN- TANA MB. SUP. MB. INF.	MB. ROMU- ALDO FM. SAN- TANA MB. IPUBI MB. CRATO	MB. ROMU- ALDO FM. SAN- TANA MB. IPUBI MB. CRATO	Fác. Argilo- silt- ovap. Fác. Carb.	FM. SAN- TANA MB. CRATO	FM. SANTANA FM. SAN- TANA MB. CRATO	MB. ROMU- ALDO FM. SAN- TANA MB. IPUBI MB. CRATO	FM. ROMUALDO FM. IPUBI FM. CRATO
ARENITO INFERIOR	FM. MISSÃO VELHA	FM. MISSÃO VELHA	FM. MISSÃO VELHA	FM. MISSÃO VELHA	FM. SERGI	FM. MISSÃO VELHA	FM. MISSÃO VELHA	FM. SERGI	FM. MISSÃO VELHA	SUP.	FM. SERGI	FM. SERGI	FM. RIO DA BATATEIRA FM. ABAIARA	FM. RIO DA BATATEIRA FM. ABAIARA
				FM. BREJO SANTO	FM. ALINAÇA			FM. ALINAÇA	INF.	FM. ALINAÇA	FM. ALINAÇA	FM. BREJO SANTO	FM. BREJO SANTO	FM. BREJO SANTO
CONGLO- MERADO BASAL	FM. CARIRI	FM. CARIRI	FM. CARIRI	FM. MAURITI	FM. TARACATÚ	FM. CARIRI	FM. CARIRI	FM. TARACATÚ	FM. CARIRI	FM. TARACATÚ	PALEOZOICO	FM. MAURITI	FM. CARIRI	FM. MAURITI

Figura 3.1: Quadro comparativo das colunas litoestratigráficas propostas para a Bacia do Araripe.
FONTE: Modificado de Chagas (2006).

M.a.	Era	Período	Época	Formação
100	Mesozoico	Cretáceo	Cenomaniano	Fm. Exu
			Albiano	Fm. Arajara
113			Aptiano	Fm. Santana
				Fm. Barbalha
125				
129			Barremiano	
			Neocomiano	Fm. Abaiara
145				
	Jurássico	Fm. Missão Velha		
		Fm. Brejo Santo		
195	Paleozoico			
		Fm. Mauriti		
542	Pré-Cambriano		Embasamento	

Figura 3.2: Carta estratigráfica da Bacia do Araripe. FONTE: Modificado de Marques *et al.* (2014).

3.2. Evolução tectonossedimentar da Bacia do Araripe

As bacias do Araripe, Icó, Iguatu, Lavras da Mangabeira e outras menores (Figura 3.3) constituem um conjunto de bacias interiores do Nordeste brasileiro, que se encontram alinhadas segundo o *trend* Cariri-Potiguar (Matos, 1999).

O registro geológico da Bacia do Araripe inclui litologias que apresentam idades desde o Paleozoico até ao Cretáceo Superior. A implantação tectônica da Bacia do Araripe foi estudada por Ponte (1991) com enfoque semelhante ao adotado para o estudo das bacias da margem continental brasileira (Santos, 2014).

O registro apresentado por Ponte (op. cit.) reflete diferentes estágios de subsidência, divididos posteriormente por Ponte & Ponte Filho (1996) e reformulados por Ponte et al. (1997) em cinco fases limitadas por discordâncias regionais ou descontinuidades deposicionais: (1) A Tectonossequência Beta, de idade neordoviciana a siluriana, representada na bacia pela Formação Mauriti; (2) a Tectonossequência Pré-Rifte, de idade neojurássica a eocretácea, representada pelas formações Brejo Santo e Missão Velha; (3) a Tectonossequência Sin-Rifte, de idade neocomiana, representada pela Formação Abaiara; (4) a Tectonossequência Pós-Rifte, de idade mesocretácea, representada pelo Grupo Araripe, que inclui as formações Barbalha (Assine, 1990), Santana, Arajara e Exu; e (5) a Tectonossequência Zeta, de idade cenozoica, que inclui coberturas de depósitos eluvionares, coluvionares (depósitos de tálus) e aluvionares (Tabela 1).

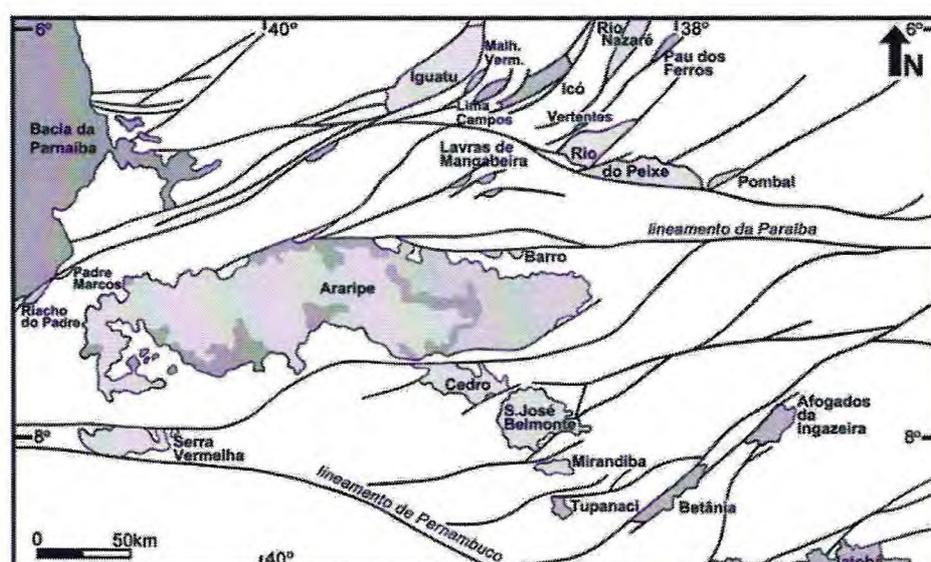


Figura 3.3: Bacias interiores do Nordeste alinhadas segundo o trend Cariri-Potiguar. FONTE: Hessel *et al.* (2006).

Scherer *et al.* (2012, 2014) compartimentaram a Bacia do Araripe levando-se em consideração apenas a seção Juro-Neocomiana, desconsiderando-se assim a Formação Mauriti como parte do desenvolvimento tectonossedimentar da bacia. Essa nova compartimentação trouxe quatro sequências deposicionais, denominadas de sequências I a IV. As sequências I e II, equivalentes à Formação Brejo Santo e à porção inferior da Formação Missão Velha, respectivamente, foram interpretadas por aqueles autores como depositadas nos estágios iniciais do rifteamento da bacia. Ainda segundo tais autores, a Sequência III, correspondente à seção superior da Formação Missão Velha, relaciona-se ao início da implantação de altos e grábens internos juntamente a uma importante reorganização estrutural. A Sequência IV, por sua vez, foi acumulada em um sistema de semigráben bem definido.

Para este trabalho mantém-se a compartimentação de tectonossequências de Ponte *et al.* (1997), por considerar de forma mais abrangente as unidades tradicionalmente relativas à Bacia do Araripe.

Tabela 1: Proposta de tectonossequências da Bacia do Araripe. FONTE: Ponte *et al.* (1997).

TECTONOSSEQUÊNCIA	IDADE	UNIDADE	DESCRIÇÃO
1. Tectonossequência Beta	Neordoviciano	Fm. Mauriti	Associada à colmatação de suaves depressões, ocorrida em condições de estabilidade tectônica no interior da Plataforma Brasileira;
2. Tectonossequência Pré-Rifte	Neojurássico - Eocretáceo	Fm. Brejo Santo e Fm. Missão Velha	Precede a ruptura do paleocontinente Gondwana, caracterizando-se por uma intumescência crustal formando um extenso geoanticlinal, alongado no sentido N-S/NE. Esse processo iniciou no final do Permiano, prolongando-se até o final do Jurássico
3. Tectonossequência Sin-Rifte	Neocomiano	Fm. Abaiara	Caracteriza-se pela ruptura crustal após ultrapassar a sua capacidade de deformação elástica, no limiar do Cretáceo. Eventos distensivos orientados predominantemente NW-SE, e a reativação transcorrente de lineamentos pretéritos, moldaram a zona de Rifte. Nos trabalhos de diversos autores* é censo comum que este estágio está relacionado aos eventos que resultaram na ruptura e fragmentação do Gondwana durante o Eocretáceo e que, conseqüentemente, culminaram na abertura do Oceano Atlântico Sul
4. Tectonossequência Pós-Rifte	Mesocretáceo - Neocretáceo	Fm. Barbalha (Assine, 1990), Fm. Santana, Fm. Arajara e F. Exu	Encerra a evolução tectônica da Bacia do Araripe em uma fase de bacia marginal materializada por um ciclo transgressivo-regressivo, fruto de subsidência térmica e eventos eustáticos globais (Assine, 2007), sendo a Fm. Barbalha representante de depósitos flúvio-lacustres que se dispuseram preenchendo depressões de subsidência. Na Fm. Santana, a sedimentação passou a ser gradualmente lacustre, originando as fácies carbonático-argilosas do Mb. Crato. Uma ingressão marinha foi responsável pela deposição de fácies evaporíticas das camadas Ipubi, e de fácies arenó-argilosas de ambiente marinho raso no Mb. Romualdo. Na transição Albiano-Cenomaniano teve início a fase regressiva, que impulsionou a sedimentação fluvial da bacia, representada por rochas siliciclásticas da Fm. Exu (Ponte & Ponte Filho 1996). Durante esse período, ocorreram pulsos tectônicos tardios que reativaram falhamentos e promoveram o basculamento de blocos.
5. Tectonossequência Zeta	Cenozoico		Coberturas de depósitos eluvionares, coluvionares (tálus) e aluvionares.

*.: (Ponte & Ponte Filho, 1996; Matos, 1999; Assine, 2007; Aquino, 2009; Cardoso, 2010; Araújo Netto, 2011).

3.3. O Andar Dom João

No Nordeste do Brasil, durante o estágio evolutivo Pré-Rifte formou-se uma longa, estreita e rasa calha de estiramento, com extensão desde o sul da Bahia, até o sul do Ceará, onde era limitada pelo Lineamento da Paraíba. Esta paleobacia foi designada por Ponte (1971) como Depressão Afro-Brasileira (Figura 3.4). O desenvolvimento desta bacia se deu a partir do Neojurássico prosseguindo durante o rifteamento no Cretáceo. Esta fase da bacia compõe-se exclusivamente de depósitos continentais, com sistemas fluviais, lacustres e eólicos (Ghignone, 1979). A área de abrangência deste depósito estendia-se do Brasil (principalmente na região Nordeste) à África (nas porções equatoriais de Guiné, Gabão, Congo e Angola), compreendendo um depósito original com área superior a 300.000 km² (Kuchle *et al*, 2011).

Estes depósitos compõem-se principalmente de folhelhos e siltitos vermelhos recobertos por arenitos médios a grossos, representados no Brasil pelas formações Aliança e Sergi na Bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá, e seus equivalentes: formações Bananeiras e Serraria (Bacia Sergipe-Alagoas), formações Brejo Santo e Missão Velha (Bacia do Araripe), e formações Agoula, M'Vonne e N'Dombo (Bacia do Gabão).

Estas unidades são separadas da mais antiga para a mais nova por inconformidades caracterizadas por parâmetros paleontológicos: na porção inferior, por ostracodes lacustrinos de tamanho expressivamente reduzidos, pertencentes à biozona *Bisulcoypris pricei*, também representada por outros fósseis como *B. Uninodosa* e alguns espécimes de *Metacypris*, *Candona* e *Darwinula*. Na porção superior da sequência, composta em geral por arenitos médios a grossos, são encontrados em localidades restritas troncos silicificados de árvores atribuídos ao táxon *Dadoxylon benderi* (Brito & Campos, 1983).

Schaller (1969) sugeriu a designação “Andar Brotas” a esta sequência. O autor discute que o Andar Brotas corresponde a uma sequência do Jurássico Superior que, devido à ausência de fósseis marinhos, não poderia se estabelecer uma correlação exata à coluna estratigráfica internacional. De acordo com Schaller (*op. cit.*), os sedimentos do Andar Brotas são reconhecidos na bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá, Bacia Sergipe-Alagoas, Bacia do Araripe, e na África na Bacia do Gabão. Para as numerosas denominações locais para a litoestratigrafia nestas e em outras diferentes bacias, Kuchle *et al.* (2011) em trabalho mais moderno listaram um reconhecimento destas unidades equivalentes.



R-J BACIAS JURO-TRIÁSSICAS (130-225md)

P SINÉCLISES NEO-PALEOZÓICAS

PP COBERTURAS CAMBRO-ORDOVICIANAS

**PA-B
C-D** PLATAFORMAS PRÉ-CAMBRIANAS

0 500 1000 km

Figura 3.4: Localização da Depressão Afro-Brasileira no mapa paleogeológico Juro-Cretáceo do Gondwana.
FONTE: Modificado de Cesero & Ponte (1997).

Na Bacia do Recôncavo, onde o Andar Dom João foi inicialmente descrito no Brasil, subdividiu-se nas formações Sergi (arenitos do topo) e Aliança, subdividida em arenitos basais (Membro Boipeba) e o depósito de folhelhos e siltitos no topo (Membro Capianga). Estas formações compreendem o Grupo Brotas. As mesmas unidades litoestratigráficas são observadas nas bacias Tucano e Jatobá, exceto pela ausência do Membro Boipeba. Nas bacias Sergipe-Alagoas, os arenitos basais são a Formação Candeeiro (ocorrentes apenas na Bacia Alagoas), o depósito intermediário de folhelhos e siltitos é chamado Formação Bananeiras, e os arenitos do topo são a Formação Serraria. Na Bacia do Gabão, no Oeste Africano, os arenitos basais sucedidos pelo depósito de folhelhos e siltitos são chamados Formação M'Vonne, sobreposto pelos arenitos da Formação N'Dombo. Por fim, até então, na Bacia do Araripe, o depósito basal de folhelhos, siltitos e arenitos são chamados Formação Brejo Santo e os arenitos do topo, Formação Missão Velha, objeto de estudo deste trabalho (Figura 3.5).

Viana *et al.* (1971) substituiu o nome Andar Brotas pela designação Andar Dom João, um nome obtido de um campo petrolífero localizado a noroeste da Baía de Todos os Santos, aproximadamente 4 km a nordeste da cidade de São Francisco do Conde, Bahia.

Viana (1980) relata que “o sedimento pertencente a este andar tectônico compreende as camadas fossilíferas mais antigas da sequência continental mesozoica, e são considerados como de idade jurássica superior. São representados por uma associação de ostracodes lacustrinos onde *Bisulcocypris* e *Metacypris* são predominantes, onde os dois espécimes mostram dimensões reduzidas fora do normal. Lado a lado com *B. Pricei*, o principal fóssil guia, são encontrados *Darwinula* cf. *D. Oblonga* (Roemer), razoavelmente frequentes e de dimensões

CARTAS CRONOESTRATIGRÁFICAS									
	ALMADA	CAMAMU	RECÔNCAVO	TUCANO	JATOBÁ	ARARIPE	SERGIPE	ALAGOAS	GABON
CRET	Fm. Itaípe	Fm. Itaípe	Fm. Itaparica	Fm. Itaparica	Fm. Itaparica	Fm. Abaiara	Fm. Feliz Deserto	Fm. Feliz Deserto	Fm. Kissenda/Kekélé
NEOJURÁSSICO	Fm. Sergi	Fm. Sergi	Fm. Sergi	Fm. Sergi	Fm. Sergi	Fm. Missão Velha	Fm. Serraria	Fm. Serraria	Fm. N'Dombo
		Mb. Capianga	Mb. Capianga	Mb. Capianga	Mb. Capianga	Fm. Brejo Santo	Fm. Bananeira	Fm. Bananeira	M'Vonne Fm.
		Mb. Boipeba	Mb. Boipeba					Fm. Candeeiro	
PALEOZOICO		Fm. Afogados	Fm. Afogados	Fm. S. Sérgio/Carilá Alagoas, Sergipe, Tocantins	Fm. S. Sérgio/Carilá Alagoas, Sergipe, Tocantins	Fm. Cariri	Gr. Igreja Nova	Gr. Igreja Nova	Fm. Agoula
PC					EMBASAMENTO				

Figura 3.5: Carta Integrada das bacias da Depressão Afro-Brasileira e as unidades equivalentes ao Andar Dom João, com a denominação local para cada unidade. FONTE: Modificado de Kuchle *et al.* (2011).

normais; conchostráceos e restos de peixes são também encontrados e, na porção superior da sequência, onde microfósseis são praticamente inexistentes, são encontrados troncos silicificados de *Dadoxylon benderi* em certas regiões, dentro de uma espessa camada arenosa”.

Quanto aos troncos fósseis encontrados na porção superior da sequência, atribuído o táxon *Dadoxylon benderi*, Mussa (1959) descreveu a espécie baseado num fragmento dito coletado nas proximidades de Malhada dos Bois, localizada na estrada para Propiá, Sergipe; estes terrenos eram àquela época atribuídos à Formação Japoatã.

3.4. Revisão de floras fósseis globais do Devoniano ao Cenozoico

A Formação Missão Velha, na área de estudo denominada “Floresta Petrificada do Cariri”, abriga uma singular assembleia fossilífera jurássica na Bacia do Araripe, com a ocorrência de uma espécie conífera (*Dadoxylon benderi*) comum às províncias paleofitogeográficas do Andar Dom João (Brito & Campos, 1983). Sobretudo, as populações de coníferas para o Gondwana do Neojurássico ao Eocretáceo, em ocorrências restritas no Gondwana Central e endêmica no Gondwana Sul, envolvem os demais táxons *Araucariaceae*, *Cheirolepidiaceae*, *Podocarpaceae* e *Cupressaceae* (Archangelsky & Del Fueyos, 2010). As concentrações restritas originaram as ocorrências fósseis do Andar Dom nas unidades cronocorrelatas à Formação Missão Velha, e as concentrações endêmicas originaram as extensas ocorrências fósseis na Patagônia (Falaschi *et al.*, 2010; Massini *et al.*, 2012) e África do Sul (Bamford, 2000), respectivamente.

Outro fato que destaca a unidade em estudo é o elevado grau de preservação dos troncos fósseis, reiterado por diversos autores (Beurlen, 1963; Assine, 1992; Freitas *et al.*, 2008). Isto se deve ao processo de eodiagênese dos fósseis, por meio de processo de permineralização por sílica. Entretanto, permanece aberto à discussão e a estudos mais detalhados o grau envolvimento dos fatores diagenéticos atuantes na Formação Missão Velha com a maturidade da subsidência mecânica da Bacia do Araripe, apresentada por Ponte & Ponte Filho (1996).

A denominação de “floresta petrificada” é amplamente utilizada no meio científico, embora sejam raros os casos em que os processos diagenéticos e tafonômicos sejam elucidados, tendo sido utilizada para denominar assembleias fossilíferas quando seus fitofósseis são preservados tridimensionalmente (Capretz, 2010). Citações de florestas petrificadas são comuns desde meados do Século XIX, sendo Crossman (1831) um dos primeiros artigos científicos sobre “madeiras petrificadas” (Arizona, Estados Unidos).

O termo “*petrification*” recebe a definição literal “espécime submetido à progressiva ação de litificação” (Mussa, 2004). Desse modo, a “petrificação” seria a permineralização progressiva da matéria orgânica por até a completa substituição (Buurman, 1972).

Segundo Carson (1991), a silicificação é um processo diagenético que ocorre devido ao aumento da concentração de sílica com o tempo, após o sepultamento dos vegetais, sendo este processo concomitante à perda progressiva de água. O autor também afirma que a silicificação não é uma substituição, mas uma permineralização de fato, onde a estrutura orgânica age como uma fôrma para a deposição da sílica. Em casos mais avançados, como dos troncos fósseis da Formação Missão Velha, a sílica pode preservar microestruturas celulares.

Capretz (op. cit.) elaborou um mapa apresentando as localidades a partir de levantamento sistemático das ocorrências de florestas petrificadas pelo globo de acordo com as publicações mais recentes de periódicos de paleobotânica (Figura 5.16). A maioria das localidades apresentadas no mapa, subdivididas de acordo com a idade, são descritas nos seguintes itens deste mesmo subcapítulo. Este autor conclui ainda que o maior nível de preservação celular ocorre predominantemente em depósitos de eventos vulcânicos, embora a maioria dos estudos levantados relatam assembleias fossilíferas em depósitos sedimentares continentais.

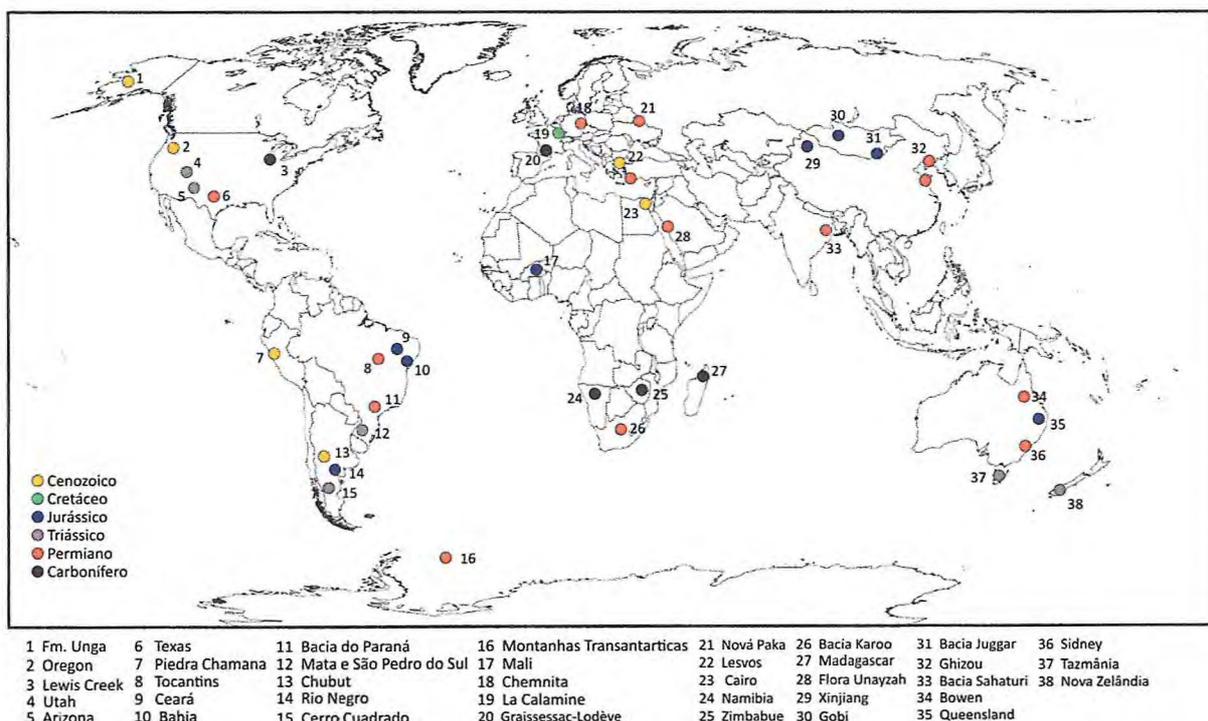


Figura 3.6: Registros de florestas petrificadas pelo globo, de acordo com seu período geológico. FONTE: Modificado de Capretz (2010).

A flora petrificada mais antiga descrita na literatura é a conhecida Flora de Rhynie, no Devoniano da Escócia (Dernbach 1996, Dernbach & Tidwell 2002). Fungos permineralizados também são relatados na região em artigo que aborda relações de micoparasitismo (Haas, 1994).

Três registros de vegetais fósseis permineralizados do Carbonífero merecem destaque na província Euroamericana: na Bélgica (Gerrienne *et al.* 1999), nos Estados Unidos (Brack 1970) e na França (Martín-Closas & Galtier 2005).

Gerrienne *et al.* (1999) descrevem uma flora fóssil do Carbonífero da região de Engihoul (Bélgica). Espécimes dos gêneros *Dubiocarpon*, *Lepidophloios*, *Arthropitys* e *Psaronius* estão permineralizados em nódulos dolomíticos. Neste trabalho também é ressaltado que os registros de *Dubiocarpon*, *Arthropitys* e *Psaronius* são os mais antigos já registrados para os três gêneros.

Brack (1970) descreve cones fossilizados de troncos de licófitas arborescentes da espécie *Ledidostrobus schopfii* do Carbonífero Superior no estado de Kentucky, Estados Unidos, não apresentando dados detalhadas sobre os processos deposicionais e de fossilização.

Martín-Closas & Galtier (2005) descrevem uma assembleia fossilífera do Carbonífero Superior da Bacia de Graissessac-Lòdeve, na França. Em ambiente lacustre-fluvial de baixa energia teria existido uma flora dominada pela licófitas *Sigillaria brardii*, com *Psaronius*, *Pecopteris*, *Calamites*, *Sphenophyllum* e *Cordaites*. Uma relação ecológica entre pteridófitas, gimnospermas e licófitas é sugerida pelos autores: as pteridófitas ocupavam preferencialmente planícies de inundação e margens dos corpos d'água; sob suas copas as gimnospermas encontravam condições propícias para desenvolver-se; as licófitas ocupavam os pequenos pântanos e brejos.

A Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional, descrita por Capretz (2010), apresenta uma rica assembléia fossilífera dominada por pteridófitas arborescentes (destaques para os gêneros *Psaronius* e *Tietea*, entre outros), além de gimnospermas (especialmente o gênero *Dadoxylon*) e esfenófitas (especialmente o gênero *Arthropitys*).

Várias espécies foram registradas também na Província Euroamericana e em outros registros da Flora Gondwânica, como *Psaronius brasiliensis* e *Tietea singularis*, na Bacia do Paraná (Capretz, 2010). Rößler (2006) estudou o processo de silicificação dos fósseis encontrados em Chemnitz (Alemanha), definindo-o como a ação de fluídos originários dos sedimentos vulcânicos ricos em sílica que preencheram células de fragmentos de caules e

troncos, este caso claramente diferindo da ocorrência da Formação Missão Velha pois não há, até então, registros de vulcanismos associados aos depósitos da Bacia do Araripe.

Ricardi (1994), em seu estudo sobre floras fósseis do Permiano Inferior da Venezuela, encontrou similaridade florística com uma assembleia do Texas, Estados Unidos. A autora encontrou gêneros incomuns à Flora Gondvânica na Venezuela, e por isso propôs uma província de transição denominada de Gondwana Tropical. Outros autores apontaram similaridades entre elementos da flora permiana típica de latitudes maiores e de floras setentrionais (Rösler, 1978; Archangelski, 1978; Rohn & Rösler, 1987).

Troncos fósseis do Permiano na Antártica foram descritos em uma série de estudos iniciados por Taylor *et al.* (1992), Pigg & Taylor (1993) e McManus *et al.* (2002). A similaridade das assembleias fossilíferas encontradas nas Montanhas Transantárticas Centrais, próximas ao Glacial Beardmore, com a flora fóssil da Bacia do Paraná é evidente quando se observa os gêneros descritos, pertencentes à chamada Flora *Glossopteris* (Capretz, 2010).

Mussa & Coimbra (1987) compararam tafofloras das bacias do Parnaíba e do Paraná, por meio de espécimes dos gêneros *Tietea*, *Cyclomedulloxylon*, *Cycadoxylon* e *Araguainorachis*.

Mussa (1988) fez a revisão dos caracteres diagnósticos do gênero *Dadoxylon*, e em estudo subsequente, comparando com gêneros de pteridospermas dos gêneros *Taxopitys*, *Kaokoxyton*, *Solidoxylon* e *Krauselapitys* (Mussa 1989).

DiMichele *et al.* (2001) descreveu uma floresta petrificada do Permiano Inferior no Texas, Estados Unidos, onde espécies típicas do período como *Walchia* sp. foram encontradas ao lado de exemplares de coníferas dos gêneros *Ulmannia* e *Pseudovoltzia*, comuns a floras do Permiano superior da Alemanha e Inglaterra, e do gênero *Podozamites* sp., de floras mesozoicas. Tais observações evidenciariam a transição de florestas sempre-verdes permianas, ricas em pteridófitas, para uma vegetação mais seca de marcante caráter sazonal, rica em gimnospermas, que dominariam paisagens mesozoicas. O paleoambiente é interpretado como um sistema de canais influenciados por marés. Os vegetais fósseis encontrados no Texas foram associados com fósseis de peixes, répteis e anfíbios em depósitos fluviais e costeiros das formações San Angelo e Blaine. A presença de invertebrados marinhos propiciou correlações bioestratigráficas mais precisas, posicionando os depósitos no Artinskiano (Cisuraliano, Permiano Inferior).

Lemoigne (1981) identificou folhas e caules silicificados dos gêneros *Dadoxylon* e *Pecopteris*, além de exemplares de *Cordaites*, *Neuropteridium*, *Fascipteris* e *Marattiopsis*, na região central da Arábia Saudita em sedimentos do Permiano Superior da chamada Flora Unayzah. Neste trabalho verifica-se similaridade florística entre esta assembleia com outra encontrada na Turquia, denominada de Flora Hazro.

Hill *et al.* (1985) descreveram exemplares de *Qasimia*, um novo gênero de pteridófitas da Ordem Marattiales na Flora Unayzah. Pteridófitas semelhantes teriam sido encontradas no Permiano da China, no extremo leste da Rússia e no Sudeste asiático.

No Norte da China, Hilton *et al.* (2001) relatam ter encontrado frondes permineralizadas em estágio reprodutivo de pteridófitas do gênero *Pecopteris*, *Psaronius*, *Botryopteris* e *Dadoxylon*. A fossilização dos vegetais descritos na China foi relacionada com eventos vulcânicos em ambiente deltaico.

Li *et al.* (1994) estudaram folhas permineralizadas de *Gigantonoclea guizhouensis* na Província de Guizhou, no Sudoeste da China. Os sedimentos pertencem à Formação Wangjiazhai, rica em megafósseis do Permiano Superior.

O Parque Nacional da Floresta Petrificada do Arizona, Estados Unidos, destaca-se pela exuberância de seus vegetais fósseis (Capretz, 2010). Os principais espécimes são encontrados em sedimentos não-marinhos do Triássico Superior, na Formação Chinle (Heckert & Lucas 1998, Dubiel *et al.* 1999). Trata-se de arenitos com estratificação cruzada e conglomerados, pertencentes ao Membro Sonsela, e em menor grau ao chamado “*Black Forest Bed*”. A maioria dos fósseis encontrados se refere ao gênero *Araucarioxylon*. De acordo com estes autores, o ambiente poderia ser descrito como um sistema fluvial de baixa sinuosidade. Therrien & Fastovsky (2000) atribuem aos sedimentos da Formação Chinle clima semiárido, com chuvas sazonais. Dubiel *et al.* (1991) descreve o padrão climático como típico de monções.

Tanner *et al.* (2003) descreveram a Floresta Petrificada de Snyder Quarry, no Triássico Superior do Novo México, Estados Unidos, interpretando o paleoambiente como uma ampla planície de inundação de baixo gradiente topográfico.

Importantes registros de vegetais fósseis do Triássico brasileiro foram feitos por Minello (1994a, 1994b, 1994c) e Guerra-Sommer & Scherer (2000). A região de São Pedro do Sul e Mata, no Rio Grande do Sul, apresenta o maior registro de fósseis vegetais da região Sul do Brasil. Minello (1994a) aponta que a região sofre com comerciantes ilegais de fósseis há

tempos. O alto nível de preservação celular dos espécimes levou Minello (1994b) a estudar sua diagênese por sílica. Com base na identificação dos espécimes dos gêneros *Coniferophyta*, *Araucarioxylon* e *Rhexoxylon*, Minello (1994c) sugeriu clima árido, e atribuiu hábitos mesomórfico a xeromórfico aos vegetais.

Guerra-Sommer & Scherer (op. cit.) descreveram os troncos silicificados do arenito Mata. Os sedimentos pertencem às formações Santa Maria e Caturrita, no Triássico Médio e Superior e são interpretados como um antigo sistema fluvial entrelaçado. Os autores discutem que os fósseis petrificados pertencem à Flora *Dicroidium*, especialmente em áreas mais proximais. Em áreas mais distais os vegetais apresentam afinidade maior à Flora *Rhex*.

Bamford (2004) revisou as floras petrificadas carboníferas a eocretáceas na Bacia de Karoo, na África do Sul. A principal ocorrência de vegetais fósseis encontra-se em sedimentos da Formação Molteno, no Triássico Superior, e Formação Kirkwood, no Eocretáceo.

Para as sequências relativas ao Andar Dom João, são conhecidas ocorrências do gênero *Dadoxylon* na Formação Missão Velha (Bacia do Araripe), Formação Sergi (Bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá, Camamu e Almada), Formação Serraria (Bacia Sergipe-Alagoas) e Formação N'Dombo (Bacia do Gabão) (Kuhle *et al.*, 2011). O táxon *Podocarpaceae* ocorre no Nordeste de Mali, na África, onde ocorrem troncos silicificados nos arenitos neojurássicos-eocretáceos da Formação Continental Intercalaire (Bamford *et al.*, 2002).

São registradas ocorrências de populações endêmicas de coníferas para o Gondwana juro-cretáceo em Cerro Cuadrado (Stockey, 1977), Formação La Matilde (Falaschi *et al.*, 2011; Massini *et al.*, 2012); Formação Lajas (Stukins *et al.*, 2013); Formação Baqueró (Seoane, 1998); Formação Roca Blanca (Gnaedinger, 2012); Formação Anfiteatro de Ticó (Del Fueyo & Archangelsky, 2005) e Formação Kachaike (Passalia, 2007), todas na Região Sul da Argentina.

No entanto, destacam-se os estudos de Stockey (1977) da Floresta Petrificada de Cerro Cuadrado, na Patagônia, em que ocorrem troncos silicificados de *Pararaucaria patagonica*, inicialmente descritos por Windhausen (1924). A silicificação se deu em depósitos de cinzas vulcânicas, ocasionando ótimas condições de preservação que propiciaram o estudo de mecanismos de dispersão de propágulos e fechamento dos cones após a polinização. Hernandez-Castillo & Stockey (2002) estudaram cones, plântulas e madeira fóssil de *Araucaria mirabilis* encontradas também em Cerro Cuadrado.

Keller & Hendrix (1997) estudaram troncos silicificados do Jurássico Superior do Deserto de Gobi, na Mongólia, documentando 72 troncos em posição de vida e 49 troncos caídos. A análise de anéis de crescimento permitiu concluir que o regime de chuvas era sazonal, e que a água era um importante fator limitante para os vegetais.

Artabe *et al.* (2004) descreveram os vegetais fósseis cretáceos da Província de Rio Negro, Argentina, com caules bem preservados de *Cycadales*, e espécimes silicificados dos gêneros *Brunoa* e *Worsdellia*, concluindo tratar-se de um sistema fluvial meandrante com fácies de canais e planícies de inundação, com progressiva influência marinha.

Roberts & Hendrix (2000) encontraram mais de 200 troncos soterrados por cinzas vulcânicas em sedimentos da Formação Two Medicine, no Cretáceo de Montana, Estados Unidos. Sedimentos encontrados abaixo das cinzas apresentam estratificação cruzada, indicando que os vegetais viviam em planícies de inundação fluviais.

Brea *et al.* (2005) analisaram anéis de crescimento de troncos de gimnospermas encontrados na Província de Chubut, Argentina, em sedimentos do Paleoceno Inferior. Uma das conclusões foi a de que o clima da região apresentava verão seco e inverno chuvoso. Os vegetais provavelmente viviam em ambiente fluvial a deltaico.

Woodcock & Meier (2003) estudaram fósseis de angiospermas em sedimentos vulcânicos do Eoceno Médio dos Andes peruanos, na Floresta Petrificada de Piedra Chamana. Os autores traçam um paralelo entre esta assembleia com a evolução de florestas pluviais tropicais da América do Sul. A floresta teria vivido em terras baixas, constituindo uma floresta baixo-montana, em período imediatamente anterior ao soerguimento dos Andes.

Orsen & Reidel (2003) trabalharam com as florestas petrificadas de Ginkgo e de Saddle Mountains, no Basalto Wanapum, e de Untanum, no basalto Grande Ronde, as três no Estado de Columbia, Estados Unidos.

Koufos *et al.* (2003) citam a exuberância da Floresta Petrificada da Ilha de Lesvos, na Grécia. Ao lado da Floresta Petrificada do Arizona, constitui as duas florestas petrificadas mais conhecidas atualmente. Os troncos silicificados foram encontrados *in situ*, e compreendem diversos gêneros de angiospermas, gimnospermas e pteridófitas.

CAPÍTULO 4

4. GEOLOGIA DA FORMAÇÃO MISSÃO VELHA

4.1. Litoestratigrafia

A Formação Missão Velha corresponde aos arenitos imediatamente sobrejacentes aos folhelhos da Formação Brejo Santo. O contato entre as duas unidades é concordante, com uma passagem gradual de fácies pelíticas avermelhadas para fácies psamíticas sobrepostas, que apresentam pouca variação granulométrica na vertical. A espessura média da unidade é de cerca de 200 m, constante ao longo da bacia. Esta homogeneidade litológica é também observada na área de afloramento ao longo do Vale do Cariri (Assine, 1992).

A unidade é caracterizada por arenitos quartzosos, ligeiramente subarcóseos ou pouco caulíníficos, com presença de níveis areníticos e subordinadamente conglomeráticos portadores de troncos fósseis, entretanto, os limites de ocorrência destes ainda não é muito bem definida.

Os arenitos ocorrem em sets comumente decimétricos, com predominantemente estratificação cruzada planar ou acanalada. Aos arenitos intercalam-se níveis descontínuos, decimétricos a métricos, de siltitos arroxeados, interpretados como níveis de paleossolos (Fambrini *et al.*, 2009, 2011).

O perfil estratigráfico vertical, mostrando granocrescência ascendente gradual dos pelitos avermelhados da Formação Brejo Santo para os arenitos da Formação Missão Velha, permite interpretar um empilhamento sedimentar progradante, onde lagos rasos e/ou planícies aluviais distais úmidas foram colmatadas por sistemas fluviais, através de rios entrelaçados de pequeno a médio porte, mas de alta energia a julgar pelas litologias e dimensões dos sets. (Assine, 1992).

4.2. Geocronologia

Arai (2006, 2011) determinou a idade jurássica para a Formação Missão Velha com base em análises palinológicas preliminares e posteriormente através de uma associação palinológica do Neojurássico em intercalações argilosas, ressaltando inclusive ser esta a primeira datação palinológica efetiva do Jurássico no Brasil. No entanto, a atribuição do Neojurássico para a Formação Missão Velha Superior deve ser feita com cautela, permanecendo esta correlação em aberto (Costa, 2014).

4.3. Fácies e sistema deposicional

Uma análise de fácies e de sistemas deposicionais realizada por Fambrini *et al.* (2009) proporcionou a melhor compreensão da distribuição e da evolução das rochas sedimentares da Formação Missão Velha, através do detalhamento dos conjuntos previamente identificados, o reconhecimento de alguns sistemas deposicionais de menor abrangência anteriormente não observados (um dos quais é de fundamental importância para as discussões apresentadas no presente trabalho) e uma correlação mais clara das transições laterais dos sistemas deposicionais. Estes autores utilizaram o afloramento do Geossítio Floresta Petrificada do Cariri para o estudo. O detalhamento do conjunto faciológico apresentado por estes autores está expresso na Tabela 2.

Fambrini *et al.* (op. cit.) interpretam as fácies e associações de fácies descritas na Formação Missão Velha como geradas por sistemas aluviais representados por (I) sistemas fluviais entrelaçados de alta energia com ciclos granodecrescentes, estratificações cruzadas acanaladas, truncamentos entre estratos cruzados, feições de corte e preenchimento (*cut-and-fill*), presença de corpos de arenitos de geometria lenticular, feições canalizadas, seixos esparsos e por (II) sistemas fluviais meandantes marcados pela presença de depósitos de planície de inundação (folhelhos), de *crevasse splay*s e de barras em pontal que caracterizariam o sistema. As interdigitações entre corpos de folhelhos e arenitos podem ser interpretados como pequenas planícies de inundação em meio ao sistema fluvial entrelaçado, ou ainda relacionados à implantação de sistemas fluviais meandantes.

Tabela 2: O detalhamento do conjunto faciológico da Formação Missão Velha. FONTE: Modificado de Fambrini *et al.* (2009).

FÁCIES	DESCRIÇÃO E SISTEMA DEPOSICIONAL
1) Conglomerados com estratificação plano-paralela	Conglomerados de seixos, organizados em camadas lenticulares delgadas (até 30 cm), sustentados pelo arcabouço da granulometria seixo, cujos clastos são subangulosos a subarredondados. Depósitos de correntes aquosas em barras longitudinais fluviais.
2) Arenitos grossos a médios com estratificações cruzadas acanaladas	Arenitos grossos a médios, feldspáticos, conglomeráticos de grânulos, formando ciclos granodecrescentes, mal selecionados, com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno e médio porte, geralmente com abundantes troncos fósseis silicificados e com concentração de clastos bem arredondados a subangulosos nos estratos frontais das estratificações. Ocorrem como delgados pacotes homogêneos, frequentemente com bolsões conglomeráticos marcando base erosiva. Depósitos de dunas subaquáticas de regime de fluxo inferior em canais fluviais entrelaçados.
3) Arenitos grossos a médios com estratificações cruzadas acanaladas	Arenitos grossos a médios com grânulos, feldspáticos, mal selecionados, geometria lenticular, com abundantes troncos fósseis silicificados, formando ciclos granodecrescentes, com estratificações cruzadas acanaladas de pequeno e médio porte, geralmente com concentração de clastos bem arredondados a subangulosos nos estratos frontais das estratificações. Ocorrem como espessos pacotes homogêneos, comumente com bolsões conglomeráticos marcando base erosiva. Migração de formas de leito 3D, Depósitos de dunas subaquáticas de cristas sinuosas em regime de fluxo inferior em canais fluviais entrelaçados de alta energia.
4) Arenitos grossos a médios com estratificações cruzadas tabulares	Arenitos grossos a médios, feldspáticos, com seixos esparsos, mal selecionados, com estratificações cruzadas tabulares de médio ângulo, em camadas normalmente lenticulares de pequeno e médio porte. Depósitos de barras longitudinais de correntes fluviais de rios entrelaçados, associados com arenitos da fácies Aa ou de ocorrência isolada.
5) Arenitos grossos a médios com estratificação plano-paralela	Arenitos grossos a médios, excepcionalmente finos, geralmente micáceos e feldspáticos, bem estratificados, dispostos em camadas normalmente tabulares de espessuras decimétricas. Além da estratificação plano-paralela, apresentam frequentemente níveis centimétricos de seixos pequenos e grânulos na base das camadas que originam gradação normal. Depósitos de fluxo laminar superior, associado a diversos processos conforme a associação de fácies em que se encontram.
6) Horizontes heterolíticos, arenitos finos com laminações cruzadas cavalgantes e pelitos laminados	Camadas decimétricas de horizontes heterolíticos formados por interlaminacões paralelas de arenitos finos com estratificação plano-paralela e com laminações cruzadas cavalgantes e pelitos com laminação plano-paralela. Canais de <i>crevasse</i> gerados por canais secundários formados pelo rompimento de diques marginais
7) Arenitos finos com estruturas de deformação	Arenitos finos a siltosos, geometria tabular, de espessura decimétrica (20-60cm), estratificados, com estruturas de deformação por sobrecarga tais como laminações convolutas e estruturas em chama. Ação de correntes subaquosas densas que provocaram deformação nas camadas não consolidadas de substrato fluvial.

8) Arenitos finos a médios com estratificações cruzadas truncantes	Arenitos finos a médios, bem selecionados por nível, com estratificação cruzada de baixo-ângulo, truncantes, laminações granulométricas bimodais e laminações cavalgantes de baixo-ângulo. Depósitos de lençóis eólicos devido ao retrabalhamento de sedimentos fluviais.
9) Siltitos e arenitos finos laminados	Siltitos e arenitos finos a muito finos muito micáceos, cuja estrutura principal é a laminação plano-paralela. Ocorrem em camadas geralmente tabulares, e raramente lenticulares, de espessura centimétrica a decimétrica. Depósitos de correntes subaquáticas predominantemente de regime de fluxo inferior.
10) Argilitos laminados	Argilitos com laminação plano-paralela milimétrica demarcada por níveis esbranquiçados e acastanhados intercalados. Lâminas geralmente tabulares, e raramente lenticulares, de espessura centimétrica. Depósitos distais de planície de inundação sob ação de correntes subaquáticas predominantemente em regime de fluxo inferior.
11) Argilitos maciços	Argilitos de coloração vermelho-lilás, maciços com níveis de paleossolos, bioturbações e marcas de raízes. Depósitos distais de planície de inundação sob ação de suspensão.
12) Paleossolo	Níveis de siltito de coloração lilás a púrpura, com diversas evidências de bioturbações, marcas de raízes e feições pedogenéticas. Nível de exposição subaérea e pausa na sedimentação.

4.3. Paleontologia

Segundo Carvalho & Santos (2005), após as publicações de Spix e Von Martius, ilustrando pela primeira vez um peixe fóssil da região do Cariri, foram realizadas inúmeras expedições de naturalistas ingleses e franceses na bacia, dando origem à primeira datação em território brasileiro com base em dados paleontológicos, ainda naquele século.

Beurlen (1962, 1963) no seu trabalho de detalhe da geologia e da estratigrafia da Bacia do Araripe, documentou os troncos fósseis da Formação Missão Velha, onde registrou troncos com até 30 cm de diâmetro. As ocorrências dos troncos foram conferidas por Braun (1966), que considerou as unidades da Formação Missão Velha como correlatas à Formação Sergi da Bacia Recôncavo-Tucano-Jatobá, de idade neojurássica (Mussa & Muniz, 1985).

Os táxons atualmente empregados para os troncos fósseis da Formação Missão Velha são os gêneros *Dadoxylon* (Freitas *et al.*, 2008; Brito, 1987) e *Araucarioxylon* (Beurlen, 1963 *apud.* Carvalho *et al.*, 2012). Entretanto, a primeira atribuição dos troncos fósseis do Andar Dom João ao táxon *Dadoxylon* não fora baseada nas ocorrências da Formação Missão Velha.

Mussa (1959) identificou a espécie a partir de uma amostra de tronco silicificado coletado na localidade de Malhada dos Bois, em Sergipe. Na época, a unidade foi definida como pertencente à Formação Japoatã na Bacia Sergipe-Alagoas.

Segundo Archangelsky & Del Fueyos (2010) as populações de coníferas para o Gondwana do Neojurássico ao Eocretáceo envolvem os táxons *Araucariaceae* (*Araucarioxylon*), *Cheirolepidiaceae*, *Podocarpaceae* e *Cupressaceae* (Figura 4.1). Essa concentração endêmica daria origem às extensas ocorrências fósseis na Patagônia (Falaschi *et al.*, 2010; Massini *et al.*, 2012) e África do Sul (Bamford, 2000).

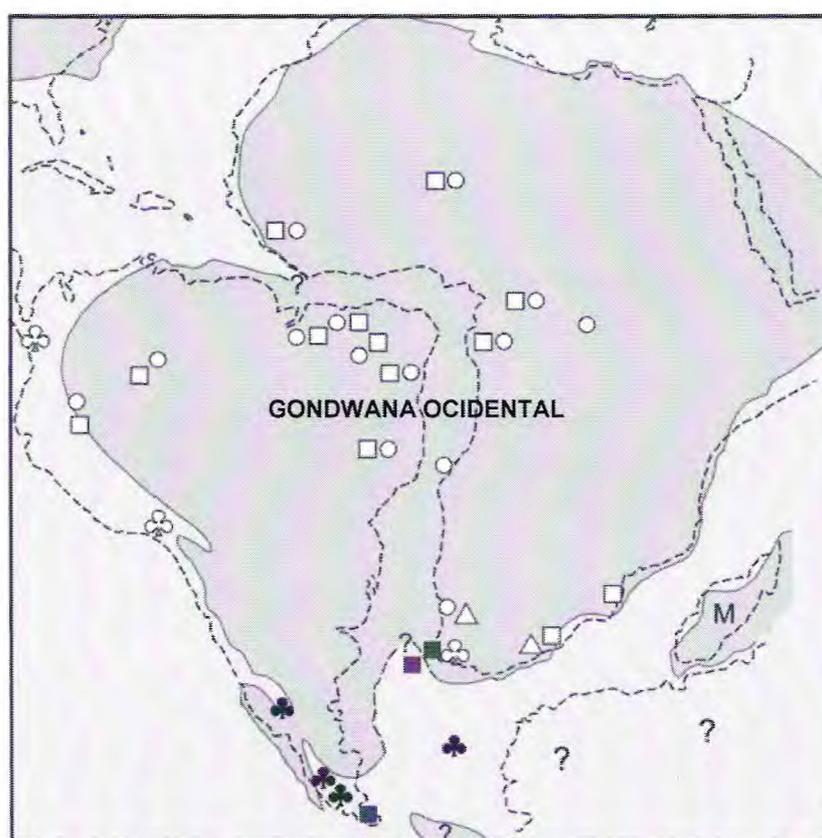


Figura 4.1: Mapa simplificado do Gondwana Ocidental, apontando as localidades onde as ocorrências de coníferas fósseis de acordo com a família taxonômica. Bloco cinza corresponde à reconstrução paleogeográfica para o Eocretáceo; linhas pontilhadas representam as fronteiras atuais. Símbolos: □ = Araucariaceae; ■ = Araucariaceae endêmica; ○ = Cheirolepidiaceae; △ = Podocarpaceae; ▲ = Podocarpaceae endêmica; ⊕ = Araucariaceae, Cheirolepidiaceae e Podocarpaceae; ♣ = Araucariaceae, Cheirolepidiaceae e Podocarpaceae endêmicas. FONTE: Modificado de Archangelsky & Del Fueyos (2010).

A unidade basal destas sequências, equivalente à Formação Brejo Santo, é reconhecida principalmente pela presença de fósseis de ostracodes pertencentes à biozona do *Bisulcocypris pricei* e alguns espécimes de *Metacarpys*, *Candona* e *Darwinula*. A unidade superior, equivalente à Formação Missão Velha, é predominantemente arenosa e praticamente estéril em fósseis, exceto por concentrações locais de troncos da conífera *Dadoxylon benderi* (Brito & Campos, 1983). Mais recentemente, Cupello *et al.* (2012) empregou espécimes vertebrados à unidade. É estabelecida a idade do Jurássico Superior para as unidades mais antigas do Andar Dom João (Viana, 1980). O mesmo autor atesta como fóssil guia para a unidade arenítica os troncos fósseis de coníferas, que ocorrem num intervalo estratigráfico restrito dentro da unidade.

Cupello *et al.* (*op. cit.*) atribuiu à Formação Missão Velha a ocorrência de espécimes fósseis de dois táxons de tubarão, peixes, tartarugas raras, crocodiliformes e terápodas (dentes e vértebras cefálicas e dorsais), em detalhamento a horizontes fossilíferos de vertebrados desta formação apresentados por Brito *et al.* (1994). O primeiro autor reforça que a ausência de fósseis de organismos estenoalinos na Formação Missão Velha não pode ser usada como indicador para ambientes de água doce, levantando a possibilidade de pelo menos a camada hospedeira destes vertebrados tenha se depositado em condições salobras, ainda que este não esteja bem esclarecido na estratigrafia da Formação Missão Velha de acordo com a publicação. Visto que este material foi encontrado em camadas de argilitos esverdeados e avermelhados entre séries descontínuas de arenitos e siltitos, pode-se questionar se sua colocação estratigráfica não poderia corresponder, na realidade, à Formação Brejo Santo.

CAPÍTULO 5

5. TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA

O estudo da tafonomia e dos processos tafonômicos consiste na investigação do grau de preservação e fidelidade das informações disponíveis no registro fóssil (Efremov, 1940; Simões & Holz, 2004). Conceitos clássicos em tafonomia, como bioestratigrafia, diagênese e reconstituição de paleoambientes foram revistos com propriedade por Fernandez-Lopez (1995) e Martín-Closas & Gomez (2004). Para a realização do presente trabalho foram consultados os também os métodos tafonômicos utilizados por Capretz (2010) como ferramenta de análise dos troncos fósseis da Formação Missão Velha.

A determinação do caráter bioestratigráfico de registros fossilíferos é assunto frequentemente tratado em tafonomia. A síntese de Martín-Closas & Gomez (op. cit.) sobre o assunto foi apresentada como tabela na Tabela 3. Ainda de acordo com a síntese destes autores, foi possível propor um esquema de *pathway* tafonômico da deposição dos troncos nos sedimentos Formação Missão Velha, considerando-se que caules e partes maiores permanecem proximais à sua área fonte; fragmentos e troncos são transportados a pequenas distâncias; e fragmentos menores e folhas são levados pela corrente (Figura 5.1).

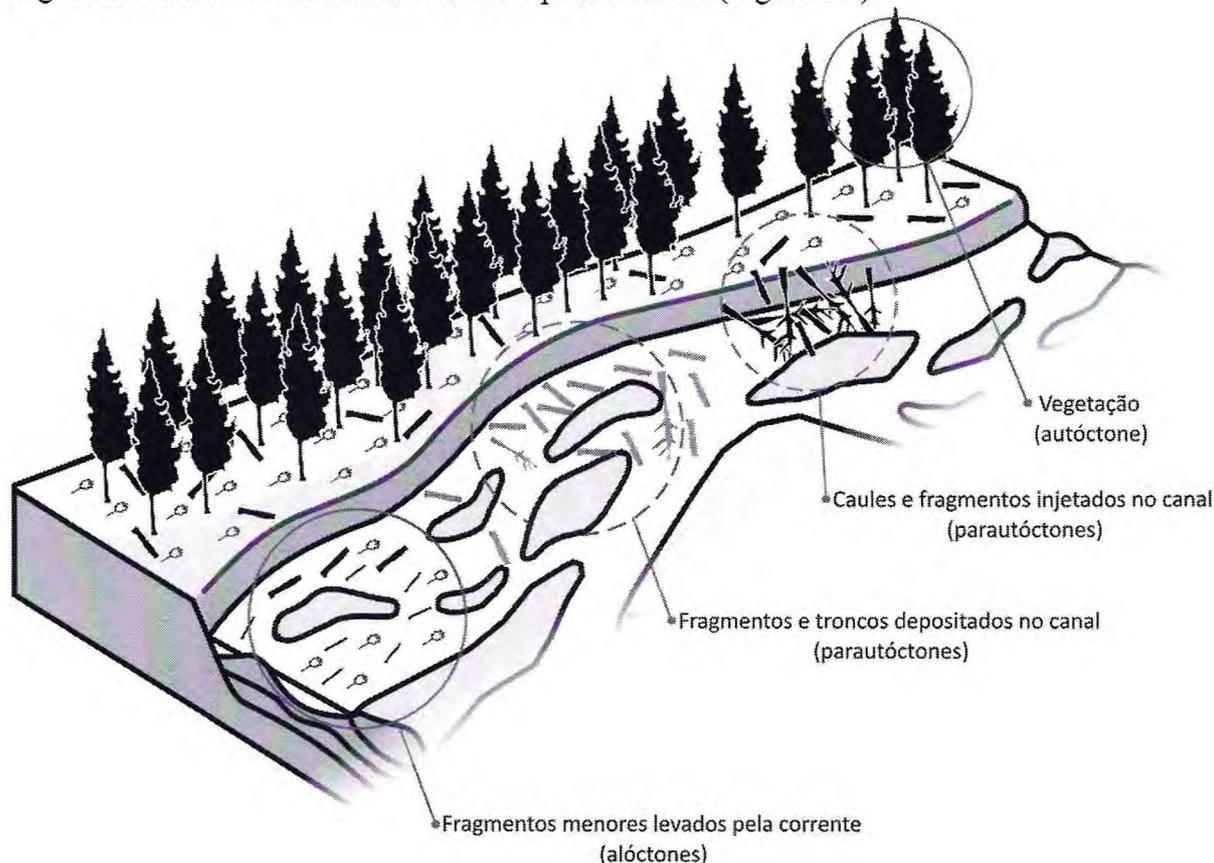


Figura 5.1: Proposição de Pathway tafonômico para a deposição dos troncos nos sedimentos da Formação Missão Velha.

Tabela 3: Definições dos possíveis caracteres tafonômicos de assembleias vegetais fósseis e suas características bioestratinômicas gerais. FONTE: Adaptado de Martín-Closas & Gomez (2004).

CARÁTER	DEFINIÇÃO	CARACTERÍSTICAS BIOESTRATINÔMICAS
Taflora autóctone	Conjuntos de vegetais fósseis conservados em seu local de crescimento e morte, ou seja, seu habitat original*	<p>Oferecem informações mais precisas sobre a paleoflora e seu habitat. Em muitos casos, ocorrem devido a soterramentos catastróficos em eventos vulcanoclásticos (Burnham y Spicer, 1986;), sedimentação episódica de grande volume ou, ao contrário desta, sedimentação lenta em ambientes de fluxo praticamente nulo, como ocorrem em pântanos e turfeiras (Gastaldo et al., 1995).</p> <p>Em todos estes casos, sabendo-se a composição taxonômica de uma parte significativa da comunidade vegetal, se poderá obter informação de sua densidade de ocorrência, dinâmica populacional, estratégias de concorrência, etc.</p> <p>Nas plantas terrestres, a única prova absoluta de autoctonia são a presença de paleossolos com raízes ou marcas de arraigação.</p> <p>Cepas ou outras partes importantes do tronco frequentemente acompanham este tipo de registro fóssil, de acordo com possíveis acontecimentos sedimentares sindeposicionais.</p>
Taflora parautóctone (ou hipoautóctone)	Conjuntos florísticos transportados a uma certa distância de seu local de crescimento, porém dentro dos arredores de seu habitat natural*	<p>Estes conjuntos não devem apresentar estruturas de quebra, seleção de órgãos, ou orientação. No caso de plantas terrestres, estes critérios indicam que o conjunto procede da vegetação entorna do meio deposicional.</p> <p>Por exemplo os restos vegetais depositados em um lago haverão cruzado uma breve etapa bioestratinômicas que incluirá geralmente a caída por gravidade e um período de flutuação e submersão.</p>
Taflora alóctone	Fósseis de restos vegetais deslocados do seu habitat natural – ou dos seus arredores*	<p>A maioria dos conjuntos vegetais fósseis tem um grau maior de aloctonia, entretanto não deixam de trazer informação paleobiológica por este aspecto se o processo de transporte e sedimentação for interpretado.</p> <p>A maioria de experimentos e modelos actua tafonômicos levados a cabo nos últimos anos (Martín-Closas & Gomez, 2004) pretendem deduzir o agente de transporte a partir de caracteres tafonômicos e interpretar a tendência bioestratinômicas para obter um sinal paleobiológico no conjunto fóssil.</p>
*: Definições adaptadas de Behrensmeyer & Hook (1992).		

A orientação de troncos fósseis é grande diretriz para estudos tafonômicos, havendo diversas publicações com tomam esta investigação como enfoque. São trabalhos de referência na metodologia os estudos de Froggatt *et al.* (1981) na Nova Zelândia; Roberts & Hendrix (2000) nos Estados Unidos; Fielding & Alexander (2001) na Austrália; Martín-Closas & Galtier (2005) na França; Banerjee (2005) na Índia; e Gastaldo *et al.* (2005) na África do Sul. No entanto, a literatura sobre orientação de caules em rochas sedimentares quase sempre envolva assembleias de vegetais pouco diversificadas.

Para estudos de orientação de vegetais fósseis em sistemas fluviais, Capretz (2010) aponta destaque para os trabalhos de McKnight *et al.* (1990), Heckert & Lucas (1998), Guerra-Sommer & Scherer (2000) e Dubiel *et al.* (1999).

Heckert & Lucas (op. cit.) e Dubiel *et al.* (op. cit.) descrevem a Floresta Petrificada do Arizona, Estados Unidos. Os troncos foram encontrados em arenitos com estratificação cruzada do Membro Sonsela da Formação Chinle, de idade triássica. Os referidos autores interpretaram o ambiente como um sistema fluvial de pouca sinuosidade (graças às interpretações das paleocorrentes, a partir da medição da orientação dos troncos fósseis), com clima típico de monções.

Guerra-Sommer & Scherer (2000) estudaram troncos silicificados do Triássico Médio a superior da Formação Santa Maria, Bacia do Paraná, com grande número de ocorrência de troncos orientados. Interpretou-se que esta poderia corresponder a uma Tafoflora alóctone devido à dificuldade em relacioná-los com alguma unidade litológica específica. O paleoambiente desta assembleia é interpretado como um sistema fluvial entrelaçado, e que a abundância de troncos fósseis de grande porte seja resultante de um evento catastrófico, como uma grande tempestade com grandes inundações.

Assine *et al.* (2003) estudaram paleocorrentes em sedimentos da Formação Tatuí, no Permiano da Bacia do Paraná. Os autores encontraram 12 troncos silicificados em arenitos finos a médios, nas margens de uma rodovia próxima a Tupi, entre as cidades de Piracicaba e Santa Bárbara D'Oeste. Com base na orientação dos troncos os autores puderam identificar a área fonte dos sedimentos. O paleoambiente é interpretado como canais tributários em ambientes costeiros.

McKnight *et al.* (1990) registraram quinze troncos silicificados depositados na planície de inundação de paleocanais, encontrados posicionados em direções paralelamente ao rio, na Floresta Petrificada de Xinjiang, no Jurássico Superior da China. O clima deveria ser predominantemente úmido, com precipitação sazonal, onde um evento de larga escala, como grandes tempestades ou monções, teria sido responsável pela morte e sepultamento dos vegetais. Diversas regiões na Ásia Central teriam experimentado, durante o Jurássico, padrões regionais de clima típico de monções (Capretz, 2010). McKnight *et al.* (1990) e Keller & Hendrix (1997) chegaram a conclusões semelhantes em duas assembleias fossilíferas distintas.

5.1. Considerações geológicas e paleontológicas da Formação Missão Velha

A geologia observada nas localidades da área de estudo coincide em praticamente tudo com as bibliografias pretéritas, sobretudo tratando-se das fácies definidas por Fambrini *et al.* (2009), que serviu de guia para correlação de afloramentos em diferentes localidades, ou simplesmente verificação das litologias observadas.

Nos afloramentos em que foi dada relevância ao estudo, ou seja, aqueles que por si estavam diretamente ligados às ocorrências dos fósseis, foi possível identificar as fácies de arenitos grossos a médios com estratificações cruzadas acanaladas, arenitos finos a médios com estratificações cruzadas truncantes, siltitos e arenitos finos laminados e mais de um nível de paleossolo foi identificado.

O processo de fossilização dos troncos fósseis da Formação Missão Velha é de silicificação dos troncos. Carson (1991) definiu a silicificação é um processo diagenético que ocorre devido ao aumento da concentração de sílica com o tempo, após o sepultamento dos vegetais, sendo este processo concomitante à perda progressiva de água. Para a Bacia do Araripe, não há evidências de vulcanismo contemporâneo à deposição dos caules.

Tavares & Rohn (2009) abordaram a alteração química dos minerais silicáticos como processo de permineralização no Permiano da Bacia do Parnaíba, considerando, condições extremamente alcalinas, causadas por intensa evaporação da água, permitindo a presença de sílica em solução. Segundo os autores, soluções silicosas chegam aos poros dos depósitos com troncos, levemente soterrados, possivelmente na zona freática, havendo a lenta decomposição dos troncos, liberando gás carbônico e outros gases orgânicos menores. O primeiro, dissolvido na água, dá origem ao ácido carbônico, que por sua vez reduzia o pH até níveis incompatíveis com a sílica em solução. Desta maneira, a sílica precipitava nos tecidos e células vegetais.



Figura 5.2: Amostra de tronco fóssil coletada nas áreas de cercanias, apresentando feição de desgaste superficial por conta de abrasão de água e/ou sedimentos em transporte, onde em (a) e (b) apresenta-se a morfologia geral da amostra e em (c) clastos e grânulos cimentados dentro das feições de desgaste.

Os troncos fósseis da Formação Missão Velha são descritos comumente como “troncos e fragmentos de troncos bem preservados”, ainda ausentes descrições individuais e detalhadas. Os seguintes itens deste subcapítulo abordarão individualmente as formas de jazimento dos troncos fósseis para cada localidade e suas particularidades utilizadas para a realização do estudo.



Figura 5.3: Fragmento de tronco encontrado no GFP, que apresenta cavidades em seu interior, com limites externos bem definidos, interpretadas como feições de processos tanatológicos.

5.2.1. Geossítio Floresta Petrificada do Cariri (GFP)

O GFP corresponde a 1/3 da área estudada, situando-se mais a Leste, como referenciada na Figura 2.1. Esta localidade possui a maior riqueza fossilífera e litoestratigráfica comparando-se aos demais sítios, entretanto, as ocorrências enquadram-se em totalidade no caso dos troncos totalmente alóctones ao sítio de fossilização. Também é nesta localidade que ocorrem as melhores exposições, sendo a localidade-tipo da Formação Missão Velha (Ponte & Appi, 1990).

Os afloramentos desta localidade consistem predominantemente de arenitos grossos a médios, ligeiramente arcoseanos, geralmente mal selecionados, com estratificações cruzadas acanaladas de grande e médio porte, e constantemente ocorrendo cascalhos arredondados a subangulosos nos estratos frontais das estratificações (Figura 5.4). Frequentemente ocorrem níveis conglomeráticos marcando base erosiva nos pacotes arenosos. Os níveis fossilíferos da unidade são frequentemente associados a estes pacotes arenosos e subordinadamente conglomerático (Assine, 1992; Freitas *et al*, 2008; Fambrini *et al*, 2009, 2011), entretanto, nesta localidade, esta relação não pôde ser realizada pela ausência de troncos *in situ*. Estas sequências são interpretadas como os depósitos de canais fluviais entrelaçados.

Destaca-se nessa localidade a ocorrência de níveis areníticos muito finos a siltíticos de coloração lilás, geralmente interpretadas como níveis de paleossolos (Fambrini *et al*, op. cit.). Foram identificadas estruturas de bioturbações e marcas de raízes no topo de um nível específico, ainda sem estudo detalhado (Figura 5.5). Em porções restritas é possível identificar laminações cruzadas pertencentes à formação do paleossolos. O presente estudo localizou duas ocorrências de paleossolos em áreas distintas do GFP e correlacionou as colunas estratigráficas de sua sequência através de altimetria de precisão, atestando-se assim a continuidade lateral destas duas sequências sedimentares isoladas (Figuras 5.6a e 5.6b). Na mesma figura (Figura 5.6c) expressa-se também outra correlação altimétrica realizada a ser descrita ainda neste item sobre uma camada cimentada em ferro contendo um tronco *in situ*.

Subordinadamente ocorrem intercalações de níveis areníticos finos tabulares, folhelhos, e argilitos, interpretados como depósitos de planície de inundação ocorrentes em planície aluvial, com áreas alagadas e lagos temporários.

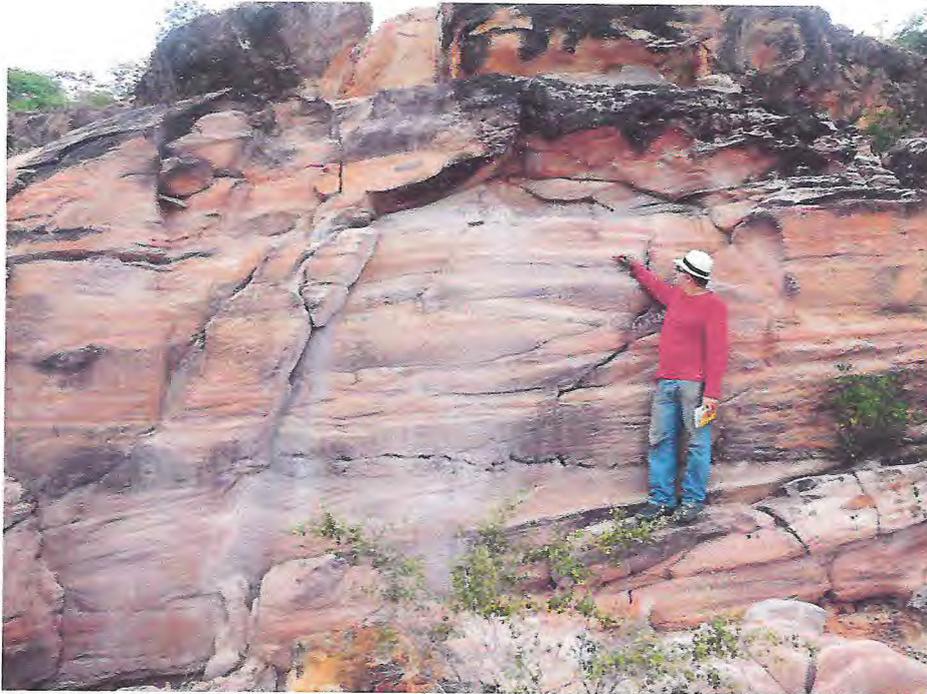


Figura 5.4: Aspecto geral dos afloramentos do GFP.

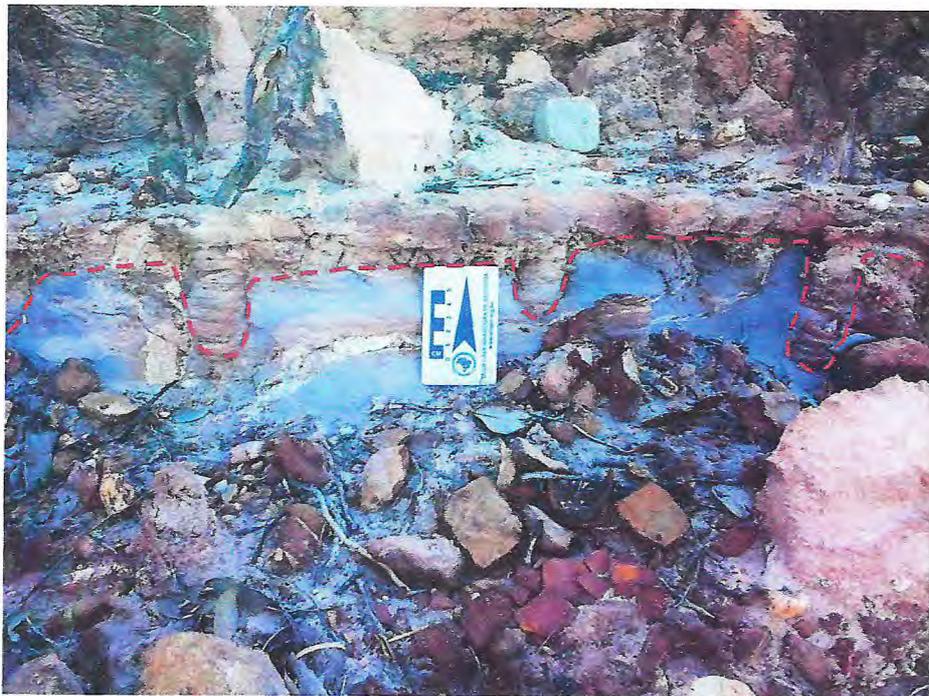


Figura 5.5: Marcas de raiz/bioturbações (?) na fácies de paleossolo, destacadas pelo tracejado vermelho.

NW ————— 600 m ————— SE ————— 350 m ————— NE

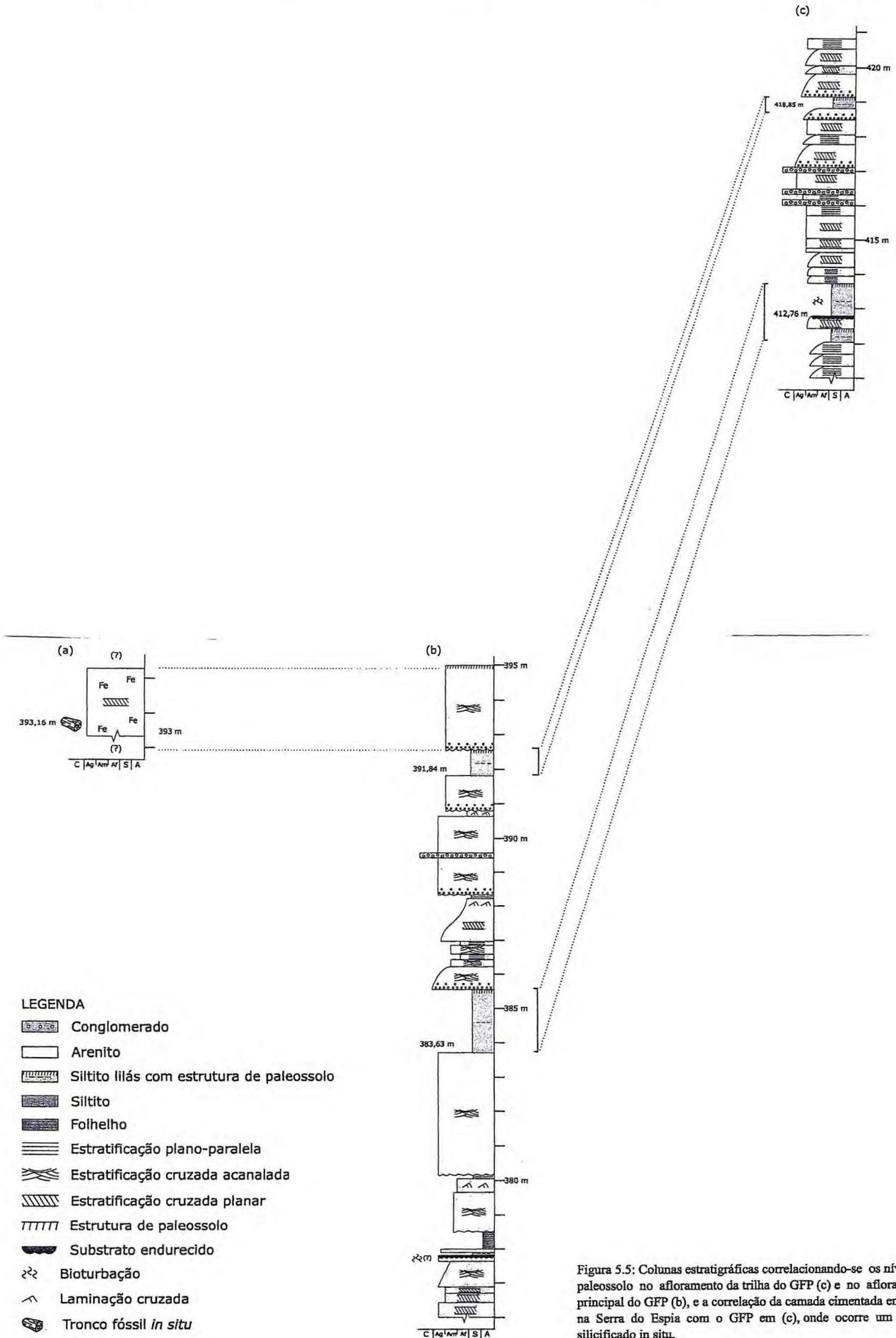


Figura 5.5: Colunas estratigráficas correlacionando-se os níveis de paleossolo no afloramento da trilha do GFP (c) e no afloramento principal do GFP (b), e a correlação da camada cimentada em ferro na Serra do Espia com o GFP em (c), onde ocorre um tronco silicificado *in situ*.

Os troncos encontrados nesta localidade são abundantes e enquadram-se em totalidade nas ocorrências alóctones ao seu sítio de fossilização, apresentando-se em fragmentos de troncos de dimensões variadas, desde cascalhos de 5 cm a fragmentos de 80 cm, dos quais estes de maior porte geralmente estão movidos por ação de visitantes do GFP (Figura 5.7).



Figura 5.7: "Monumentos" edificados por visitantes do GFP utilizando os troncos do geossítio.

5.2.2. Serra do Espia

Está localizada a Oeste do GFP, correspondendo ao 1/3 da área estudada situado mais a Oeste, como indicado na Figura 2.1. Esta localidade apresenta uma menor densidade de fósseis em comparação com a primeira, porém são notáveis as ocorrências de troncos *in situ* em excelentes condições de preservação. Neste sítio há pouco registro de atividade ilegal de captura e contrabando de fósseis por tratar-se de uma propriedade particular.

A localidade da Serra do Espia trata-se de um pasto em uma colina com uma camada de solo em desenvolvimento, ocultando assim, a exposição de afloramentos rochosos. Fora alguns pequenos fragmentos de arenito que ocorriam de modo basal rente ao solo, apenas três afloramentos da Formação Missão Velha viáveis para observação de parâmetros mais avançados foram identificados na unidade e estes, por sua vez, possuem pouca exposição.

O afloramento melhor exposto ocorre num declive no pasto formando “degraus naturais”. Corresponde a um pacote arenossiltoso, subarcóseo, de coloração marrom, com laminações cruzadas e topo dos sets bem marcados (Figura 5.8). Neste afloramento foram tomadas medidas de paleocorrente. Este nível, em primeira instância, pôde ser comparado com as fácies de paleossolo ou de arenitos finos a médios com estratificações cruzadas truncantes do GFP (Fambrini *et al.*, 2009).

O segundo afloramento ocorre em forma de escarpa num leito sem água escavado numa pequena grotá. Entretanto, o afloramento encontra-se potencialmente deteriorado e sua exposição vertical do afloramento é inferior a 1,7 m. Neste afloramento ocorrem arenitos médios a finos, com laminação a estratificação cruzada planar, sobrepostos por siltitos esbranquiçados (Figura 5.9). Este, por sua vez, pode corresponder às fácies de Arenitos finos a médios com estratificações cruzadas truncantes e siltitos e arenitos finos laminados ou até, em último caso, às fácies de paleossolo de Fambrini *et al.* (2009).

Por fim, destaca-se na localidade uma ocorrência de blocos que foi considerada como um afloramento, devido às grandes dimensões em que podem ocorrer, chegando a 1,5 m de largura e 1 m de altura, e a grade densidade de exemplares em praticamente toda metade inferior da Serra do Espia. Validou-se a ocorrência do bloco maior, com as dimensões citadas acima, como o possível nível original desta ocorrência, com pouca remobilização/rotação. Correspondem a arenitos grossos a médios, com cascalhos marcando a base dos sets, e por vezes é possível identificar porções cascalhosas marcando bases erosivas. Esta ocorrência é equivalente às fácies de arenitos grossos a médios com estratificações cruzadas acanaladas



Figura 5.8: Aspecto geral do primeiro aforamento na Serra do Espia.



Figura 5.9: Aspecto geral do segundo aforamento na Serra do Espia.

(Fambrini *et al.*, 2009). A particularidade que destaca este afloramento é o fato de os blocos pertencentes a este nível estarem completamente cimentados em ferro, conferindo-lhe coloração cinza-escuro, e subordinadamente castanho e ocre (Figura 5.10).

Subindo-se na topografia da Serra do Espia, imediatamente acima do último afloramento descrito, passam a ocorrer blocos da Formação Exu, que podem ser vistos no canto direito-superior da Figura 9.12.

Os troncos encontrados nesta localidade apresentam igual qualidade de preservação, porém em muito menor densidade de ocorrência, com relação ao GFP. Uma particularidade destas ocorrências está nos troncos que ocorrem nas camadas relativas ao arenito com cimentação em ferro, onde porções desse arenito impregnaram superficialmente alguns troncos. Ocorrem troncos e fragmentos esparsos pelo terreno com comprimentos até 30 cm, havendo possibilidade de uma considerável remobilização ou rotação, entretanto o destaque desta localidade está na ocorrência de vários troncos *in situ*, nos quais foram tomados os estudos tafonômicos de orientação dos troncos juntamente àqueles fragmentos esparsos de dimensões consideráveis que não apresentaram direção incoerente com a paleocorrente da região, a ser tratado no subcapítulo 5.3.



Figura 5.10: Exemplo de blocos de arenito cimentados em ferro. No centro, bloco com molde de tronco fóssil preservado.

Os troncos *in situ* encontram-se alojados numa fina camada de solo, parcialmente soterrados, em posição horizontal e fragmentados, sendo esta fragmentação e conseguinte remobilização o recurso concreto em que se baseia o grau de confiabilidade da posição do tronco com sua posição original de soterramento. Os troncos *in situ* apresentam dimensões variáveis entre 80 e 150 cm de comprimento e largas de, no máximo, 50 cm. Estes exemplares apresentam fraturas aproximadamente perpendiculares seu eixo maior, com espaçamentos que variam de 1 a 20 cm, levemente deslocados ou rotacionados, um fragmento com relação ao outro (Figura 5.11).

Uma ocorrência excepcional recebeu destaque nesta localidade, tratando-se de um fragmento isolado de tronco de aproximadamente 80 cm de comprimento e 50 cm de diâmetro irregular, completamente impregnado em cimento de ferro e, singularmente, apresentando um fragmento do arenito cimentado em ferro com estratificações cruzadas preservadas (Figura 5.12). A preservação da paleocorrente da unidade, predominantemente para sul, neste fragmento em particular faz considerar-se sua remobilização irrelevante, e, deste modo, o tronco considerando-se *in situ*, orientado para ESE. Neste exemplar foi realizada a altimetria de precisão, a fim de correlacioná-lo com as fácies presentes no GFP, estando os resultados expressos na Figura 5.6c.

Merece documentação neste trabalho, sem inferência de autoctonia, a ocorrência da porção basal de um tronco fóssil, em formato trapezoide tridimensional, com dimensões aproximadas de 40 e 50 cm na menor e maior base, respectivamente, e 30 cm de altura. Este exemplar foi encontrado soterrado até a metade, com a maior base fixada à camada de solo, semelhante à posição de um tronco em posição de vida (Figura 5.13).

5.2.3. *Cercanias*

A área posicionada entre a Serra do Espia e o GFP também foi explorada. Ocorrem troncos esparsos de dimensões variáveis entre 10 e 30 cm, parcialmente soterrados pelo solo, entretanto, fragmentados e notavelmente alóctones ao sítio de fossilização, com fragmentos rotacionados até 90° um com relação ao outro (Figura 5.14). Deste modo, para levantamento de características tafonômicas, esta área não agrega informações relevantes.

Entretanto, uma importante verificação estratigráfica foi realizada nesta localidade, pois o “teto” da escarpa principal do afloramento do GFP está inserido na mesma, tornando possíveis

análises e comparações em outras perspectivas não realizadas anteriormente. A verificação feita foi de que nesta zona topograficamente mais elevada ocorrem troncos fósseis acima do segundo



Figura 5.11: Disposição de troncos possivelmente *in situ* utilizados para os estudos tafonômicos. Fita métrica: 50 cm.



Figura 5.12: Estratificações cruzadas preservadas em bloco arenítico impregnado em ferro, “encrustado” em tronco fóssil. Devido à paleocorrente do bloco coerente com as medidas locais, considera-se o bloco como *in situ*. A coloração castanha e ocre devido à oxidação da camada ferruginosa é melhor evidenciada nesta fotografia.



Figura 5.13: Porção basal de um tronco fóssil. Este exemplar foi encontrado soterrado até a metade, com a maior base fixada à camada de solo, semelhante à posição de um tronco em posição de vida (todavia este trabalho não propõe autoctonia para o mesmo).

nível de paleossolo, porém, em quantidade muito reduzida com relação à abundância do GFP, mas, não é impossível deduzir que pelo menos uma parcela dos troncos presentes neste último fazia parte original deste depósito superior antes de sua erosão.



Figura 5.14: Exemplo de jazimento de troncos remobilizados nas cercanias do GFP.

5.3. Estudo da orientação dos troncos

Os troncos fósseis mais adequados para o estudo de orientação são os presentes na Serra do Espia, pois os mesmos encontram-se *in situ* ou com remobilizações ou rotações irrelevantes entre si, como apresentados na Figura 5.11. Para fragmentos de troncos próximos que representam um único tronco semi-alinhado fragmentado, é dado um maior grau de confiabilidade de sua posição com a posição original de soterramento, considerando-se, assim, o deslocamento irrelevante. Para fragmentos isolados, é dado um maior grau de confiabilidade àqueles que, claramente, não estão posicionados incoerentemente ao sentido da paleocorrente (Figura 5.15), considerando-se, assim, o deslocamento irrelevante. Deste modo, é possível determinar se há um padrão consistente nas orientações medidas.

Na Serra do Espia é evidente a ocorrência dos troncos em posições ortogonais com relação ao sentido da paleocorrente da Formação Missão Velha, apesar de a localidade não oferecer condições muito amplas para medidas de paleocorrente. Entretanto, são ainda desconhecidas localidades ou áreas mais amplas na região que contenham afloramentos e que ao mesmo tempo possibilitem a medida de direções de um grande número de troncos *in situ* ou pouco remobilizados.



Figura 5.15: Fragmento de tronco não relacionado a outro e com direções de eixo incoerentes aos sentidos de paleocorrente.

Para demonstrar o padrão de orientação e os sentidos de paleocorrente locais foram elaborados diagramas de roseta. Os troncos que ocorrem na Serra do Espia apresentam direção preferencial E, enquanto a paleocorrente da Formação Missão Velha nos afloramentos desta mesma localidade é SW-S (Figura 5.16).

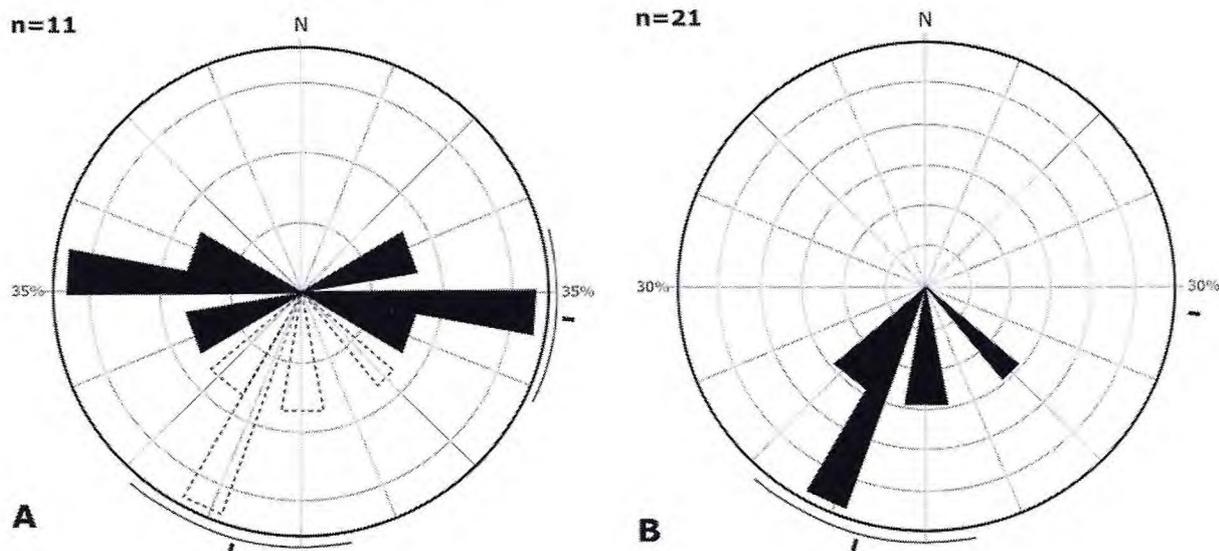


Figura 5.16: Diagramas de roseta referentes às (A) medidas de direção dos troncos fósseis possivelmente *in situ* da Serra do Espia ($M = 95.7^\circ\text{Az}/275.5^\circ\text{Az}$) com medidas de paleocorrentes aproximadamente ortogonais em tracejado e (B) às direções de paleocorrente medidas nos afloramentos da mesma localidade ($M = 195.4^\circ$).

5.4. Considerações paleoclimáticas e paleoambientais

Pires & Guerra-Sommer (2011), através do estudo de anéis de crescimento nos troncos do GFP, apresentaram conclusões relevantes sobre os padrões paleoclimáticos para a época de vida dos troncos. As autoras sugerem um ambiente de crescimento irregular com eventos climáticos extremos, porém, com boas condições para o desenvolvimento das árvores, com grande variabilidade anual de suprimento de água, assemelhando-se ao clima de monções segundo a classificação de Köppen (1936), onde a sazonalidade da circulação de monções resulta em invernos frios e secos e verões quentes e úmidos nas regiões continentais.

Deste modo, as autoras citadas concluem que o clima tropical quente e úmido seria a melhor proposição para o período de deposição da Formação Missão Velha, com um longo inverno seco e um verão muito úmido. Assim como o clima de monções, o clima tropical quente e úmido apresenta uma sazonalidade de precipitação chuvosa bem distinta, ainda assim sua temporada úmida é muito mais curta e consideravelmente menos chuvosa que os climas de monções (Ritter, 2006). A evidência de composição paleoflorística e os indicadores sedimentológicos sugerem que a região se caracterizou por climas subúmidos a semiáridos típicos de regiões de savanas atuais.

Entretanto, esta proposição conflita com a hipótese de Creber & Chaloner (1985) de que o Mesozoico era consideravelmente mais isotérmico que o presente. De acordo com estes autores, que estudaram troncos fósseis tendo como objetivo de compreender os climas mesozoicos, climas não sazonais deviam alcançar as paleolatitudes de até 32°N a 32°S.

Lefranc & Guiraud (1990) sugerem que uma preservação notável de madeira silicificada em depósitos continentais, como é o caso dos troncos em estudo, podem indicar ambientes semiáridos.

A primeira interpretação paleoambiental para os troncos fósseis da Formação Missão Velha foi feita por Braun (1966), sugerindo que os troncos “deveriam pertencem a uma exuberante floresta de coníferas provavelmente arrancados das montanhas adjacentes e levados para a bacia por correntes de grande competência, sofrendo rápido soterramento”.

Freitas *et al.* (2008) ressalva que as estruturas sedimentares da Formação Missão Velha, sobretudo as observáveis no GFP indicam canais com fluxo de baixa viscosidade devido à pouca quantidade de finos, e fluxos torrenciais de alta energia, caracterizando assim os ambientes de rios entrelaçados, além de depósitos indicativos de fluxo de detritos. Os mesmos

autores sugerem que “a área fonte da Formação Missão Velha estava situada a Norte, onde provavelmente existia uma região mais elevada em relação aos blocos meridionais do lineamento da Paraíba. Nesta área topograficamente mais alta deveria se desenvolver uma vegetação arbórea, que ocasionalmente fornecia restos vegetais e fragmentos de troncos que foram sedimentados na planície aluvial. Os troncos de grande porte devem ter sido depositados bastante próximos a estes locais mais elevados (...), porém, a grande maioria de fragmentos menores de madeira silicificada provavelmente foi depositada em leques e planícies aluviais. A forma de preservação destas madeiras (...) sugere pequeno transporte e rápido soterramento em ambiente rico em silício”.

Estatísticas de pluviosidade da ilha Tenerife, componente do arquipélago espanhol das Ilhas Canárias onde existe uma vegetação moderna de coníferas (*Pinus canariensis*) (Figura 15.17), com dados do observatório meteorológico de Izaña, levantaram em dados de 1987 a 1992, pluviosidades médias de 101,5 a 141,0 mm entre os meses de fevereiro e março, e pluviosidades médias de 10,8 a 15,0 entre os meses de agosto e outubro, reiterando que a pluviosidade total é superior a 100 mm em 47% da estação chuvosa, sendo o número de dias chuvosos inferiores a 10 em 88% dos períodos (Jiménez & García-Fernández, 2000). O regime climático das Ilhas Canárias é representado predominantemente como semiárido a de desertos quentes, existindo também excepcionalmente climas subtropicais úmidos na porção central das ilhas La Gomera e Tenerife, ambas classificações segundo a classificação de Köppen (1936).

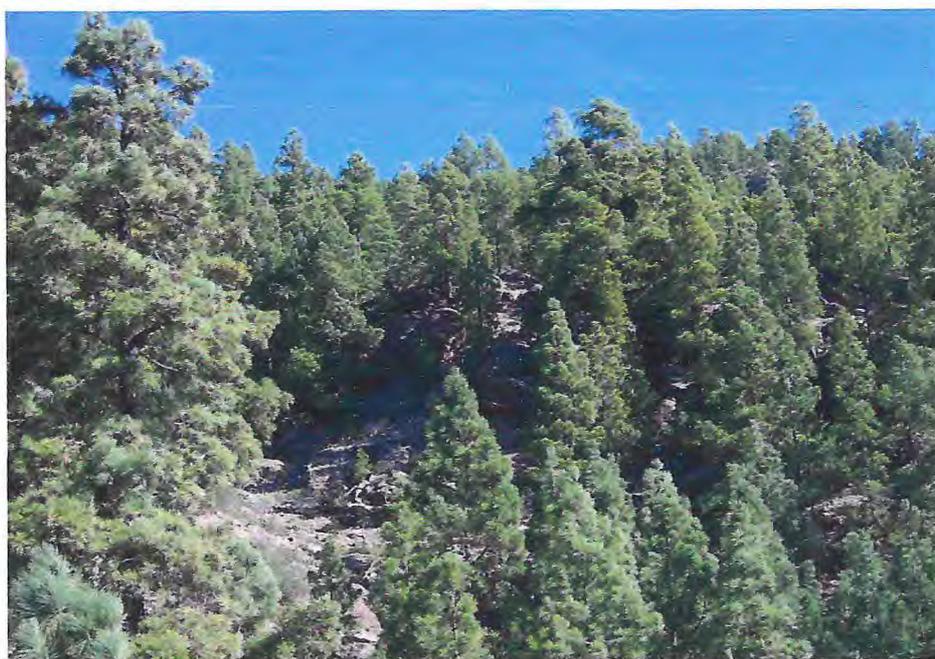


Figura 15.17: Vegetação moderna de coníferas (*Pinus canariensis*) de zona temperada, na ilha Tenerife das Ilhas Canárias. FONTE: Field Ecology Center (2008).

CAPÍTULO 6

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os troncos fósseis da Formação Missão Velha estão hospedados em espessos pacotes areníticos médios a grossos com estratificação cruzada, e cascalhosos na base dos sets. Esses estratos ocorrem em repetições com suas porções superiores bem definidas representadas por porções arenossiltosas de coloração lilás a púrpura, identificadas na unidade como níveis de paleossolo, limitadas no topo por discordâncias erosivas que limitam a base do pacote arenítico sobreposto. Esta sequência está bem exposta na seção-tipo da Formação Missão Velha. Os troncos, por sua vez, encontram-se remobilizados e rolados, não havendo sido encontradas ocorrências *in situ* nesta localidade. De qualquer modo, a visão clássica de que os troncos fósseis da Formação Missão Velha estão disseminados na unidade deve ser abandonada.

Os arenitos que hospedam os troncos fósseis representam depósitos de dunas subaquáticas em canais fluviais entrelaçados, enquanto os paleossolos indicam níveis de exposição subaérea e pausa na sedimentação. A mudança brusca de ambiente deposicional pode indicar fases de ativação tectônica da Bacia, onde a entrada brusca do canal fluvial representa episódios de subsidência tectônica, possivelmente relacionada aos primeiros estágios do rifteamento do Gondwana. Nesses episódios, o novo canal era repentino e surgia com alta energia, causando graves danos ao solo e carreando os elementos orgânicos, onde os itens mais pesados, os troncos, tendiam a afundar ainda em regiões próximas à origem, mantendo-se em parautoctonia. Na área estudada, os troncos ocorrem ligeiramente orientados perpendicularmente ao fluxo da corrente, e os demais elementos vegetais, devido à menor densidade, carregados a maiores distâncias e com pouca ou nenhuma chance de serem preservados.

As orientações predominantes dos troncos fósseis *in situ* da Formação Missão Velha é ortogonal ao sentido da paleocorrente local. Wnuk & Pfefferkorn (1987) interpretam padrões unidirecionais de caules e troncos como relacionados a eventos de grande magnitude, como tempestades sobre áreas florestadas. (Gurnell *et al.*, 2002) consideram que orientações unidirecionais associadas ao sistema deposicional indicam canais fluviais de alta energia, entretanto, o alinhamento de forma perpendicular ao sentido de corrente caracteriza canais de menor porte, tornando-se gradativamente paralela à medida que o canal se torna maior. Abbe & Montgomery (2003), em estudos ambientais fluviais modernos, afirmam que os canais precisam ser suficientemente largos e profundos para que os caules possam girar livremente na superfície da água até encontrarem a posição mais estável de transporte.

Para a localidade da Serra do Espia, onde os troncos *in situ* foram investigados em parâmetros tafonômicos de orientação e apresentam orientações ortogonais com relação à paleocorrente, pode-se interpretar o ambiente deposicional como de canais fluviais entrelaçados amplos e rasos, com baixa sinuosidade, em que, a partir da entrada do tronco no canal fluvial, não houvera desenvolvimento suficiente no deslocamento para aferir orientações paralelizadas. A ocorrência de troncos fossilizados apresentando retrabalhamento por abrasão fluvial/sedimentar ou parcialmente apodrecidos aponta que o evento que deu origem a esta assembleia injetou no canal não apenas troncos em posição de vida, como também demais troncos já depositados em situação subaérea ou possivelmente subaquosa. Deste modo é possível ressaltar a possibilidade de os troncos terem sido injetados por um evento catastrófico, como grandes tempestades ou inundações. Troncos que caem nos rios geralmente são relacionados a ocorrência dos troncos em vida em porções proximais às margens, o que pode ser considerado também para os troncos da Formação Missão Velha.

A vegetação moderna de coníferas da ilha Tenerife, do arquipélago das Ilhas Canárias, está num regime climático excepcional subtropical úmido numa região predominantemente semiárida a desértica, onde o regime de pluviosidade é sazonal com grande variabilidade anual do suprimento de água (médias de 101,5 a 141,0 mm entre os meses de fevereiro e março; 10,8 a 15,0 mm entre agosto e outubro). Esta configuração climática aponta um elevado grau de semelhança aos resultados paleoclimáticos obtidos para a época de deposição da Formação Missão Velha e, conseqüentemente, ao período de vida e deposição dos troncos fósseis, deste modo, de acordo com o princípio do atualismo, este ecossistema se apresenta análogo ao que se supõe para a paleoecologia dos troncos fósseis da Formação Missão Velha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBE, T.B.; MONTGOMERY, D.R. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets rivers basin, Washington. **Geomorphology**, v.51. p.81-107. 2003.
- ARCHANGELSKI, S. Nuevos elementos paleoflorísticos de la Formación Trampeadero (Carbónico), Sierra de Ambato, Provincia de La Rioja. **Ameguiniana**, v.15, n.3-4. p. 429-439. 1978.
- ARCHANGELSKY, S.; DEL FUEYOS, G.M. Endemism of Early Cretaceous conifers in Western Gondwana. In: GEE, C.T. (Org.), **Plants In Mesozoic Time: Morphological Innovations, Phylogeny, Ecosystems**. 1 ed. Indiana University Press. p. 247-268. 2010.
- AQUINO, M.M. **A Formação Abaiara e o arcabouço tectonoestratigráfico da região de Abaiara-Brejo Santo, Bacia do Araripe, NE do Brasil**. 2009. 84 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
- ARAÚJO NETO, J.M. **Caracterização Multi-escalar de Bandas de Deformação nas Tectonossequências Paleozoica, Pré e Sinrifte da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geologia), Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- ARAI, M. Revisão estratigráfica do Cretáceo Inferior das bacias interiores do Nordeste do Brasil. **Geociências**, v.25, n.1. p. 7-15. 2006.
- ARAI, M. 2011. Palinoflora Jurássica da Bacia do Araripe (Formações Missão Velha e Brejo Santo do poço 2-AP-1-CE) In: CARVALHO, I.S; SRIVASTAVA, N.K.; STROHSCHOEN JR, O; LANA, C.C. (Org.), **Paleontologia: Cenários de Vida**. 1 ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência Ltda., p. 357-366. 2004.
- ARTABE, A.; ZAMUNER, A.; STEVENSON, D. Two New Petrified Cycad Stems, *Brunoa* gen. nov. and *Worsdellia* gen. nov., from the Cretaceous of Patagonia (Bajo de Santa Rosa, Río Negro Province), Argentina. **The Botanical Review**, v. 70, n.2, p. 121-133, 2004.
- ASSINE, M.L. **Sedimentação e Tectônica da bacia do Araripe (Nordeste do Brasil)**. 1990. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidades Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.

- ASSINE, M.L. Análise Estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.22, n.3. p. 289-300. 1992.
- ASSINE, M.L. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v.15, n.2. p. 371-389. 2007.
- ASSINE, M.L.; ZACHARIAS, A.A.; PERINOTTO, J.A. Paleocorrentes, paleogeografia e sequências deposicionais da Formação Tatuí, Centro-Leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, n.1. p. 33-40. 2003.
- BAMFORD, M.K. Fossil woods of Karoo age deposits in South Africa and Namibia as an aid to biostratigraphical correlation. **Journal of African Earth Sciences**, v.31, n.1. p. 199-123. 2000.
- BAMFORD, M.K. Diversity of the Woody Vegetation of Gondwanan Southern Africa. **Gondwana Research**, v.7, n.1, p. 153-164, 2004.
- BAMFORD, M.K.; ROBERTS, E.M.; SISSOKO, F.; BOUARÉ, M.L.; O'LEARY, M.A. Na extensive deposit of fossil conifer wood from the Mesozoic of Mali, Southern Sahara. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.186, p. 115-126. 2002
- BANERJEE, M. Autochthonous deposition of Indian coal beds with palaeobotanical evidences of in situ plants from Saharjuri Basin, Jharkhand. **Current Science**, v.88, n.9. 2005.
- BEHRENSMEYER, A.K.; HOOK, R.W. Paleoenvironmental contexts and taphonomic modes in the terrestrial fossil record. In: BEHRENSMEYER, A.K.; DAMUTH, A.K.; DiMICHELE, W.A.; POTTS, R. (Org.), **Terrestrial Ecosystems Through Time. Evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals**. University of Chicago, Chicago, 1992, 15-138.
- BEURLIN, K. A geologia da Chapada do Araripe. **Acad. Bras. Ciênc.**, v. 24, n. 3, p. 365-370. 1962.
- BEURLIN, K. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 17. 1963. Recife. **Anais**. Recife: SBG/SUDENE, 1963. 47 p.
- BEURLIN, K. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). **Acad. bras. Ciênc.**, v.43. p. 411-415. 1971.

- BRACK, S.D. On a new structurally preserved arborescent Lycopsid fructification from the Lower Pennsylvanian of North America. **American Journal of Botany**, v.57, n.3. p. 317-330. 1970.
- BRAUN, O.P.G. Estratigrafia dos Sedimentos da Parte Inferior da Região Nordeste do Brasil (Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe). DNPM/DGM. Rio de Janeiro, 1966. 75 p. (Boletim 236).
- BREA, N.; MATHEOS, S.; ZAMUNER, A.; GANUZA, D. Analisis de los anillos de crecimiento del bosque fosil de Victor Sziapelis, Terciario inferior Del Chubut, Argentina. **Ameghiniana**, v.42, n.2, p.407-418. 2005.
- BRITO, LM. As unidades litoestratigráficas da passagem Jurássico Cretáceo do Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Geoc.**, v.17, n.2. p. 81-85. 1987
- BRITO, P. M.; BERTINI, R. J.; MARTILL, D. M.; SALLES, L. O. Vertebrate fauna of the Missão Velha Formation (Lower Cretaceous, NE, Brazil). In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 3, 1994, Rio Claro. **Boletim de Reumos Expandidos...** Rio Claro: UNESP, 1994. p. 139-140.
- BRITO, I.M.; CAMPOS, D.A. The Brazilian Cretaceous. **Zitteliana, Abhandlungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie**, v.10, Munique, p. 277-283. 1983.
- BURNHAM, R.J.; SPICES, R.A. Forest litter preserved by volcanic activity at El Chichón, Mexico: A potentially accurate record of the pre-eruption vegetation. **Palaios**, v.1. p. 158-161. 1986.
- BUURMAN, P. Mineralization of fossil wood. **Scripta Geologica**, v.12. p.1-43. 1972.
- CAPRETZ, R.L. **Paleoecologia e tafonomia da Floresta Petrificada do Tocantins Setentrional (Bacia do Parnaíba, Permiano)**. 2010. 172 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, Brasil, 2010.

CARDOSO, F.M.C. **O grabén da Palestina: contribuição à estratigrafia e estrutura do estágio rifte na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil.** 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

CARSON, G. Silicification of fossils. In: ALLINSON, P. & BRIGGS, D. (Org.), **Taphonomy: Releasing the data locked in fossil record.** 9 ed. Nova York, Plenum Press. 1991.

CARVALHO, I.S., FREITAS, F.I., NEUMANN, V.H.M.L. Chapada do Araripe. In: HASUI, Y., CARNEIRO, C. DAL R., ALMEIDA, F. F. M. DE, BARTORELLI, A. (Org.), **Geologia do Brasil.** 1 ed. São Paulo, Editora Beca. p. 520–543. 2012.

CARVALHO, M.S.S.; SANTOS, M.E.C.M. Histórico das pesquisas paleontológicas na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v.28, n.1. p. 15-34. 2005.

CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; MEDEIROS, M.F.; PAIVA, I.P.; GOMES, F.E.M.; CAVALCANTE, S.N.; CAVALCANTE, J.E.; MELO, A.C.R.; DUARTE NETO, V.C.; BENEVIDES, H.C. Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.00. Ministério das Minas e Energia/CPRM. Fortaleza, 2003.

CHAGAS, D.B. **Litoestratigrafia da Bacia do Araripe: Reavaliação e Propostas para Revisão.** 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Geoparques.** 2006. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/sigep/destaques/PROJETO_GEOPARQUES.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2015.

CREBER, G.T., CHALONER, W.G. Tree growth in the Mesozoic and early Tertiary and the reconstruction of palaeoclimates. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.52. p. 35–60. 1985.

CUPELLO, C.D.; BERMUDEZ-ROCHAS, D.D.; MARTILL, D.M.; BRITO, P.M. The Hybodontiformes (Chondrichthyes: Elasmobranchii) from the Missão Velha Formation (?Lower Cretaceous) of the Araripe Basin, North-East Brazil. **Compter Rendus Palevol**, v. 11. p. 41-47. 2012.

- DERNBACH, U. **Petrified Forests**. 1 ed, D'Oro Publishers, Heppenheim, 1996. 188 p.
- DERNBACH, U.; TIDWELL, W. **Secrets of Petrified Plants: Fascination from Millions of Years**. 1 ed, D'Oro Publishers, Schlehenweg, 2002. 232 p.
- DIMICHELE, W.; PFEFFERKORN, H.; GASTALDO, R. Response Of Late Carboniferous and Early Permian Plant Communities to Climate Change. **Annual Review of Earth and Planetary Science**, v. 29. p. 461-487. 2001.
- DUBIEL, R.F.; HASIOTIS, S.T.; DEMKO, T.M. Incised valley fills in the lower part of the Chinle Formation, Petrified Forest National Park, Arizona: Complete measured sections and regional stratigraphic implications of Upper Triassic rocks. **National Service Paleontological Research**, v.3. p.78-84. 1999.
- DUBIEL, R.F.; PARRISH, J.T.; PARRISH, J.M.; GOOD, S.C. The Pangaen Megamonsoon – Evidence from the Upper Triassic Chinle Formation, Colorado Plateau. **Palaios**, v.6, p.347-360. 1991.
- EFREMOV, J. Taphonomy: new branch of paleontology. **Pan American Geology**, v.74, p.81-93. 1940.
- FALASCHI, P.; GROSFELD, J.; ZAMUNER, A.B.; FOIX, N.; RIVERA, S.M. Growth architecture and silhouette of Jurassic conifers from La Matilde Formation, Patagonia, Argentina. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.302, n.3. p. 122-141. 2011.
- FAMBRINI, G. L.; ARAÚJO, J. T.; LEMOS, D. R.; NEUMANN, V. H. M. L.; TESSER JR., S.; SOUZA, B. Y. C.; SILVA FILHO, W. F. A Formação Missão Velha na Área-Tipo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Fácies e Sistemas Depositionais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 23. 2008. Fortaleza. Boletim, v.1, n.21. Fortaleza: SBG/Núcleo NE, 2009. Disponível em CD-ROM.
- FAMBRINI, G. L.; LEMOS, D. R.; TESSER JR., S.; ARAÚJO, J. T.; SILVA FILHO, W. F.; SOUZA, B. Y. C.; NEUMANN, V. H. M. L. Estratigrafia, Arquitetura Depositional e Faciologia da Formação Missão Velha (Neojurássico-Eocretáceo) na Área-Tipo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: exemplo de sedimentação de Estágio de Início de Rife a Clímax de Rife. **Geologia USP**, v.11. n.2. p. 55-87. 2011.

- FERNANDEZ-LOPEZ, S. Taphonomie et interprétation des paléoenvironnements. **Geobios**, v.18. p.137-154. 1995.
- FIELDING, C.; ALEXANDER, J. Fossil trees in ancient fluvial channel deposits: evidence of seasonal and longer-term climatic variability. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.170. p. 59-80. 2001.
- FREITAS, F.I.; HESSEL, M.H.; NOGUEIRA NETO, J.A. Troncos fósseis da Formação Missão Velha na porção leste da Bacia do Araripe, Ceará. **Revista de Geologia**, v. 21, n. 2, p. 193-206. 2008.
- FROGGATT, P.C., WILSON, C.J.N. & WALKER, G.P.L. Orientation of logs in the Taupo Ignimbrite as an indicator of flow direction and vent position. **Geology**, v.9. p. 109-111. 1981.
- GASPARY, J.; ANJOS, N.F.R. Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte – Ceará. SUDENE. Recife, 1964. 25 p. 1964.
- GASTALDO, R.; ADENDORFF, R.; BAMFORD, M.; LABANDEIRA, C.; NEVELING, J. & SIMS, H. Taphonomic Trends of Macrofloral Assemblages Across the Permian–Triassic Boundary, Karoo Basin, South Africa. **Palaios**, v. 20. p. 479-497. 2005.
- GASTALDO, R.A.; PFEFFERKORN, H.W.; DIMICHELE, W.A. Taphonomic and sedimentologic characterization of roof-shale floras. **Geological Society of America**, v.185. p. 341-351. 1995.
- GERRIENNE, P.; FAIRON-DEMARET, M.; GALTIER, J. A Namurian A (Silesian) permineralized flora from the Carrière du Lion at Engihoul (Belgium). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.107. p. 1-15. 1999.
- GHIGNONE J. I. Geologia dos sedimentos fanerozóicos do Estado da Bahia. In. INDA, H. A (Org.), **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia**. Salvador: Textos básicos. Secretaria do Estado e Energia da Bahia, v. 1, 1979. p. 24-117.
- GNAEDINGER, S. Ginkgoalean woods from the Jurassic of Argentina: Taxonomic considerations and palaeogeographical distribution. **Geobios**, v.45. p. 187–198. 2012
- GUERRA-SOMMER, M.; SCHERER, C. Middle-Late Triassic Petrified Forests from Mata Sandstone, at Rio Grande do Sul State, BR: Preliminary geological, taphonomic and biostratigraphic setting. **Geociências**, v.5. p. 117-120. 2000.

- GURNELL, A.M.; PIÉGAY, H.; SWANSON, F.J. & GREGORYS, S.V. Large wood and fluvial processes. **Freshwater Biology**, v.47. p. 601-619. 2002.
- HAAS, J.N. First identification key for charophyte oospores from central Europe. **European Journal of Phycology**, v.229, p.227-235. 1994.
- HASHIMOTO, A.T.; APPI, C.J.; SOLDAN, A.L.; CERQUEIRA, J.R. O neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental. **Rev. Bras. Geoc.**, v.17, n.2. p. 118-122. 1987.
- HECKERT, A. & LUCAS, S. Stratigraphic distribution and age of Petrified Wood in Petrified National Park, Arizona. **National Park Service Paleontological Research**, v.98, n.1, p.129-134. 1998.
- HERNANDEZ-CASTILHO, G.; STOCKEY, R. Palaeobotany of the Bunya Pine. **'On the Bunya Trail' Queensland Review**, v.9, p. 2, 2002.
- HESSEL, M.H., TOMÉ, M.E. & MOURA, C.R. Ostracodes mesozóicos das bacias do interior nordestino: estado da arte. In: SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7, 2006, São Pedro, **Boletim...**, v.66.
- HILL, C.; WAGNER, R.; EL-KHAYLAL, A. Qasimia gen. nov., an early Marattia-like fern from the Permian of Saudi Arabia. **Scripta Geologica**, v.79. p.1-50. 1985.
- HILTON, J.; WANG, S.; GALTIER, J.; LI, C. An Early Permian plant assemblage from the Taiyuan Formation of northern China with compression/impression and permineralized preservation. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.114, p. 175-189, 2001.
- JIMÉNEZ, M.J.; GARCÍA-FERNÁNDEZ, M.; Occurrence of shallow earthquakes following periods of intense rainfall in Tenerife, Canary Islands. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v.103-1, p. 463-468, 2000.
- KELLER, A.; HENDRIX, M. Palaeoclimatologic analysis of a Late Jurassic Petrified Forest, Southeastern Mongolia. **Palaios**, v.12. p.282-291. 1997.
- KÖPPEN, W. Das geographische system der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, H. (Org.), **Handbuch der Klimatologie**. 1 ed. Gebrüder Bornträger, 1936, 44 p.

- KOUFOS, G.; ZOUROS, N.; MOUROUZIDOU, O. *Prodeinotherium bavaricum* (Proboscidea, Mammalia) from Lesvos island, Greece; the appearance of deinotheres in the Eastern Mediterranean. **Geobios**, v. 36, p. 305–315, 2003.
- KUCHLE, J.; SCHERER, C. M. S.; BORN, C. C.; ALVARENGA, R. S.; ADEGAS, F. A. Contribution To Regional Stratigraphic Correlations Of The Afro-Brazilian Depression – The Dom João Stage (Brotas Group And Equivalent Units - Late Jurassic) In Northeastern Brazilian Sedimentary Basins. **Journal South American Earth Sciences**, v. 31. p. 358-371. 2011.
- LEFRANC, J.P. & GUIRAUD, R. The Continental Intercalaire of Northwestern Sahara and its equivalents in the neighbouring regions. **Journal of African Earth Sciences**, v.10, n.2. p. 27-77. 1990
- LEMOIGNE, Y. Flore Mixte au Permian Supérieur en Arabie Saoudite. **Géobios**, v.14, n.5, p.611-635. 1981.
- LI, H.; TIAN, B.; TAYLOR, E. & TAYLOR, T. Foliar anatomy of *Gigantonoclea guizhouensis* (Gigantopteridales) from the Upper Permian of Guizhou Province, China. **American Journal of Botany**, v.81, n.6. p.678-689. 1994.
- LIMA, M.R.; PERINOTTO, J.A.J. Palinologia de sedimentos da parte superior da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe. **Geociências (UNESP)**, v.3. p. 67-76. 1984.
- MARQUES, F.O.; NOGUEIRA, F.C.C.; BEZERRA, F.H.R.; CASTRO, D.L. The Araripe Basin in NE Brazil: An intracontinental graben inverted to a high-standing horst. **Tectonophysics**, v.630. p. 251–264. 2014.
- MARTÍN-CLOSAS, C.; GALTIER, J. Plant taphonomy and paleoecology of Late Pennsylvanian Intramontane Wetlands in the Graissessac-Lodevè Basin (Languedoc, France). **Palaios**, v.20. p. 249-265. 2005.
- MARTÍN-CLOSAS, C.; GOMEZ, B. Taphonomie des plantes et interprétations paléoécologiques; une synthèse. **Geobios**, v.37. p. 65-88. 2004.
- MASSINI, J. L. G.; FALASCHI, P.; ZAMUNER, A. B. Fungal–arthropod–plant interactions from the Jurassic petrified forest Monumento Natural Bosques Petrificados, Patagonia, Argentina. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 329. p. 37-46. 2012.

MATOS, R.M.D. History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa. In: Cameron, N.R., Bate, R.H., Clure, V.S. (Org.), **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. Londres: Geological Society, 1999, p. 55–73.

MCKNIGHT, C.; GRAHAM, S.; CARROLL, A.; GAN, Q.; DILCHER, D.; ZHAO, M. & LIANG, Y. Fluvial sedimentology of an Upper Jurassic Petrified Forest assemblage, Shishu Formation, Jungarr Basin, Xinjiang, China. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.79. p.1-9. 1990.

MCMANUS, H.; TAYLOR, E.; TAYLOR, T. & COLLINSON, J. A petrified Glossopteris flora from Collinson Ridge, central Transantarctic Mountains: Late Permian or Early Triassic?. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.120. p. 233-246. 2002.

MINELLO, L.F. As “Florestas Petrificadas” da região de São Pedro do Sul e Mata, RS. I – Preservação x Exploração. **Acta Geologica Leopoldensia**, v.39, n.1, p.49-55. 1994a.

MINELLO, L.F. “Florestas Petrificadas” da região de São Pedro do Sul e Mata, RS. II – Processo de fossilização e composição mineral. **Acta Geologica Leopoldensia**, v.39, n.1, p.57-73. 1994b.

MINELLO, L.F. “Florestas Petrificadas” da região de São Pedro do Sul e Mata, RS. III – Análise morfológica megascópica, afinidades e considerações paleoambientais. **Acta Geologica Leopoldensia**, v.39, n.1, p.75-91. 1994c.

MOCHIUTTI, N. F.; GUIMARÃES, G.B.; MOREIRA, J.C.; LIMA, F.F.a; FREITAS, F.I. Os Valores da Geodiversidade: Geossítios do Geopark Araripe/CE. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro: UFRJ, v. 35. p.173-189. 2012.

MOUNT, J. 1995. California Rivers and Streams: Chapter Four. University of California Press (on-line). <http://www.ucpress.edu/books/>. Acesso em 15 dez. 2015.

MUSSA, D. Contribuição à paleoanatomia vegetal. 1 – Madeira fóssil do Cretáceo de Sergipe. 1959, Rio de Janeiro: Div. Geol. Mineral, DNPM. 15 p.

- MUSSA, D. O gênero complexo *Dadoxylon* Endlicher 1847 e as questões sistemáticas a ele relacionadas. **Acad. Bras. Ciênc.**, v.60, n.4. p.487-488. 1988.
- MUSSA, D. Afinidades pteridospérmicas de alguns gêneros de caules gondwânicos. *Anais da Acad. Bras. Ciênc.*, v.61, n.4, p. 482. 1989.
- MUSSA, D. Paleobotânica: conceituação geral e grupos fósseis. In: CARVALHO, I.S.; SRIVASTAVA, N.K.; STROHSCHOEN JR, O; LANA, C.C. (Org.), **Paleontologia: Cenários de Vida**. 1º ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência Ltda., p. 413-508. 2004.
- MUSSA, D.; COIMBRA, A.M. Novas Perspectivas de Comparação entre as tafofloras permianas (de lenhos) das Bacias do Parnaíba e do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, 1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBP, v.2, p.901-923.
- MUSSA D.; MUNIZ, G. C. B. Tronco silicificado da Formação Sergi, Estado de Pernambuco, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 9, 1985, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBP, 1985, 58 p.
- NEUMANN V.H.M.L. **Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptienses-Albienses de lá Cuenca de Araripe (Nordeste do Brasil)**. 1999. 225 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, 1999.
- ORSEN, M.; REIDEL, S. Biostratigraphy of Columbia River Basalt Group petrified forests. **Geological Society of America**, v.35, n.6, p.551. 2003.
- RITTER, M.E. 2006. The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography. <http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title_page.html>. Acesso em: 6 set. 2015.
- PASSALIA, M. A mid-Cretaceous flora from the Kachaike Formation, Patagonia, Argentina. **Cretaceous Research**, v.28, p. 830-840. 2007.
- PIGG, K. & TAYLOR, T. Anatomically preserved *Glossopteris* stems with attached leaves from the Central Transantarctic Mountains, Antarctica. **American Journal of Botany**, v.80, n.5. p.500-516. 1993.

PINTO, I.D., SANGUINETTI, Y.T. *Bisulcocypris*, a new mesozoic genus and preliminary note about its relation with *Metacypris* and allied forms. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v.7. p. 75-90. 1958.

PIRES, E. F.; GUERRA-SOMMER, M. Growth ring analysis of fossil coniferous woods from early cretaceous of Araripe Basin (Brazil). **Acad. Bras. Ciênc.**, v.83, n.2, p. 409-423. 2011.

PONTE, F.C. *Evolução paleogeográfica do Brasil Oriental e África Ocidental*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS / DEXPRO / DIVEX, 1971.

PONTE, F. C. Arcabouço estrutural e evolução tectônica da bacia mesozoica do Araripe, Nordeste do Brasil. In: Ponte, F. C. et al. (Org.) – **Geologia das Bacias Sedimentares Mesozoicas do Interior do Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Petrobrás / CENPES / DIVEX / SEBIPE, 1991.

PONTE, F. C.; APPI, C. J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36. 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG, 1990. p. 211-226.

PONTE F. C.; PONTE FILHO F. C. *Evolução tectônica e classificação da Bacia do Araripe*. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4, 1996. Águas de São Pedro. **Boletim...** Rio Claro: UNESP / IGCE. p. 123 - 133.

PONTE, F.C.; MEDEIROS, R.A.; PONTE FILHO, F.C. *Análise estratigráfica da Bacia do Araripe: Parte 1 - Análise de Seqüências*. In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 2, 1997. Crato, Departamento Nacional da Produção Mineral, Universidade Regional do Cariri, Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2001, p. 83-92.

RICARDI, F. **Flora das Formações Carache e Palmarito (Neopaleozóico) na Região de Carache, Estado de Trujillo, Venezuela**. 1994. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

RÖßLER, R. Two remarkable Permian petrified forests: correlation, comparison and significance. **Geological Society Special Publications**, v.265. p. 39–63. 2006.

ROBERTS, E.M.; HENDRIX, M.S. Taphonomy of a Petrified Forest in the Two Medicine Formation (Campanian), Northwest Montana: Implications for Palinspastic Restoration of the Boulder Batholith and Elkhorn Mountains Volcanics. **Palaios**, v.15. p. 476-482. 2000.

ROHN, R.; RÖSLER, O. Relações entre a Flora Permiana do Gondwana e as floras das províncias setentrionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, 1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBP, v.2, p.885-899.

RÖSLER, O. The Brazilian Eogondwanic floral succession. **Boletim IG-USP**, v.9. p.85-91. 1978.

SANTOS, C.H.O. **Mapeamento geológico da porção centro-norte da Bacia do Araripe: Área Missão Velha**. 2014. 86 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SCHALLER, H. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe-Alagoas. Rio de Janeiro, Boletim Técnico da Petrobras, v.12, n.1, p. 21-86. 1969.

SCHERER, C.M.S.; JARDIM DE SÁ E.F.; CÓRDOBA, V. C.; SOUSA, D. C.; AQUINO, M. M.; CARDOSO, F. M. C. Evolução Estratigráfica da Seção Juro-Neocomiana da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46, 2012. Santos. **Anais...** Santos: SBG. 2012.

SCHERER C.M.S.; JARDIM DE SÁ E.F.; CÓRDOBA V.C.; SOUSA D.C.; AQUINO M.M., CARDOSO F.M.C. Tectono-stratigraphic evolution of Upper Jurassic-Neocomian rift succession, Araripe Basin, Northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.49. p. 106-122. 2014.

SEOANE, L.V. Comparative study of extant and fossil conifer leaves from the Baqueró Formation (Lower Cretaceous), Santa Cruz province, Argentina. **Rev Palaeobot Palynol**, v.99. p. 247-263. 1998.

SIMÕES, M.; HOLZ, M. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: CARVALHO, I.S; SRIVASTAVA, N.K.; STROHSCHOEN JR, O; LANA, C.C. (Org.), **Paleontologia: Cenários de Vida**. 1º ed. Rio de Janeiro, Editora Interciência Ltda., 861 p. 2004.

SMALL, H.I. Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará. Insp. Obras Contra Secas. Recife, 1913. 80 p. 1913.

- STOCKEY, R.A. Reproductive biology of the Cerro Cuadrado (Jurassic) Fossil Conifers: *Pararaucaria patagonia*. **American Journal of Botany**, v.64, n.6. p.733-744. 1977.
- STUKINS, S.; JOLLEY, D.W.; MCILROY, D.; HARTLEY, A.J. Middle Jurassic vegetation dynamics from allochthonous palynological assemblages: An example from a marginal marine depositional setting; Lajas Formation, Neuquén Basin, Argentina. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.392, p. 117-127. 2013.
- TANNER, L.; CHAPMAN, M.; ZEIGLER, K. Facies analysis and sedimentologic model for deposition of bone-bearing strata in the Upper Triassic Petrified Forest Formation at the Snyder Quarry, north-central New Mexico. **Bulletin of New Mexico Museum of Natural History and Science**, v.24, p.41-48. 2003.
- TAVARES, T.M.V. & ROHN, R. First record of petrified Permian pectopterids from the Paraná Basin, Brazil (Corumbataí Formation, Passa Dois Group, northeastern State of São Paulo): Morphology, anatomy and paleoecological implications. **Journal of South American Earth Sciences**, v.27. p.60-73. 2009.
- TAYLOR, E.; TAYLOR, T. & CÚNEO, N. The Present is Not the Key to the Past: A Polar Forest from the Permian of Antarctica. **Science**, v.257. p. 1675-1677. 1992.
- Tenerife Island (Canaries). Field Ecology Center "Ecosystem". Moscou, 2008. Disponível em <<http://www.ecosystema.ru/08nature/world/52ten/040e.htm>>. Acesso em: 17 dez. 2015.
- TERRIEN, F. & FASTVOSKY, D. Paleoenvironments of Early Theropods, Chinle Formation (Late Triassic), Petrified Forest National Park, Arizona. **Palaios**, v.15, p. 194-211, 2000.
- UNESCO. **International Network of Geoparks**, 2005. Disponível em: <<http://www.unesco.org/science/earthsciences/geoparks/geoparks.htm>>. Acesso em: 19 mai. 2015.
- VEIGA, P.M.O. Geologia da quadrícula Juazeiro do Norte (E-082) Folha Crato-Ceará. SUDENE/DRN-Divisão de Geologia. Recife, 1966. 57 p. 1966.
- VIANA, C. F. Cronoestratigrafia dos sedimentos da margem continental brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980, Balneário do Camboriú. **Anais...** Balneário do Camboriú: SBG, 1980. p. 832-843.

VIANA, C.F.; GAMA JUNIOR, E.G.; SIMÕES, I.A.; MOUREA, J.A.; FONSECA, J.R.; ALVES, R.J. Revisão Estratigráfica da Bacia do Recôncavo-Tucano. **Boletim Técnico da Petrobrás**, v.14, n.3 e 4. p. 157-192. 1971.

WINDHOUSEN, A. Lineas generales de la constitución geológica de la región situada al oeste del Golfo de San Jorge. **Boletín de la Academia Nacional de Ciencias**, v.27, 167-320. 1924.

WNUK, C.; PFEFFERKORN, H.W. A Pennsylvanian-age terrestrial storm deposit: using plant fossils to characterize the history and process of sediment accumulation. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.57. p.212-221. 1987.

WOODCOK, D.; MEIER, H. Investigation and conservation of the Eocene Piedra Chamana Petrified Forest, Peru. **Geological Society of America**, v.35, n.6, p.59. 2003.