

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – PPGEOC

Flaviana Jorge de Lima

**TAXONOMIA E POSICIONAMENTO  
ESTRATIGRÁFICO DE VEGETAIS FÓSSEIS DA  
FORMAÇÃO ROMUALDO, CRETÁCEO INFERIOR  
DA BACIA DO ARARIPE**

Dissertação de Mestrado

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – PPGEOC

**Dissertação de Mestrado**

**TAXONOMIA E POSICIONAMENTO ESTRATIGRÁFICO DE VEGETAIS  
FÓSSEIS DA FORMAÇÃO ROMUALDO, CRETÁCEO INFERIOR DA BACIA DO  
ARARIPE**

**Flaviana Jorge de Lima**

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Manso Sayão

Recife, 2013

Flaviana Jorge de Lima

**TAXONOMIA E POSICIONAMENTO ESTRATIGRÁFICO DE VEGETAIS  
FÓSSEIS DA FORMAÇÃO ROMUALDO, CRETÁCEO INFERIOR DA BACIA DO  
ARARIPE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

Recife, 2013



Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

L732t Lima, Flaviana Jorge de.  
Taxonomia e posicionamento estratigráfico de vegetais fósseis da formação Romualdo, cretáceo inferior da Bacia do Araripe / Flaviana Jorge de Lima. - Recife: O Autor, 2013.  
v, 75 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Manso Sayão.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2013.  
Inclui Referências e anexo.

1. Geociências. 2. Cretáceo. 3. Formação Romualdo. 4. Vegetais fósseis. 5. Posicionamento estratigráfico. 6. Paleoambiente. I. Sayão, Juliana Manso. (Orientadora). II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2013-248

**TAXONOMIA E POSICIONAMENTO ESTRATIGRÁFICO DE VEGETAIS  
FÓSSEIS DA FORMAÇÃO ROMUALDO, CRETÁCEO INFERIOR DA BACIA DO  
ARARIPE**

**Flaviana Jorge de Lima**

**APROVADA**

---

**Juliana Manso Sayão**

---

**Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann**

---

**Antônio Álamo Feitosa Saraiva**

17 de Julho de 2013

Este trabalho é dedicado a minha avó materna, Alzira Jorge (*in memoriam*).

## **Agradecimentos**

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.

Aos curadores do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri e do Museu de Ciências Naturais e de História Barra do Jardim pelo auxílio durante a visita às coleções e por me permitir analisar parte dos fósseis aqui estudados.

Aos Profs. Drs. Valéria Gallo e Marcelo Marinho, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, por me permitir estudar a coleção de vegetais fósseis.

A Profa. Dra. Juliana Sayão pela orientação e pelo companheirismo ao longo de todo o mestrado. Por acreditar na minha capacidade e dedicar tempo e esforço para que este potencial fosse transformado em realizações.

Ao Prof. Dr. Álamo Saraiva que foi sempre mais do que orientador, um pai e amigo que me deu a mão quando mais precisei. Obrigada por dividir conosco toda a sua experiência profissional e de vida.

A equipe do Museu Nacional pela ajuda inestimável durante as escavações, em especial ao Prof. Dr. Alexander Kellner.

Aos Profs. Drs. Virgínio Neumann, Lúcia Valença, Gorki Mariano e Adauto Souza Neto, pelos constantes ensinamentos sobre geologia e por estarem sempre dispostos a tirar minhas dúvidas.

A fotógrafa Regiana Salgado, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, por me auxiliar nas fotografias de alguns espécimes.

A equipe do Laboratório de Paleontologia da Universidade Regional do Cariri, que me ajudou durante as coletas e separação dos espécimes, sempre incentivando e colaborando com minha pesquisa: Olga Alcântara, Francivânia Santos, Edilson Bezerra, Thatiany Alencar, Jennyfer

Sobreira, Nathanael Ferreira, Naanderson Alves e Ayslanne Lucas. Obrigada por sempre me receberem tão bem.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação pelo companheirismo que tornou tudo mais tranquilo e alegre durante esse tempo: Alex Moraes, Edjane Santos, Fernando Barbosa, Gina Cardoso, Jefferson Tavares, Luciana França, Paulo Victor Oliveira, Rafael César Pedroso, Robbyson Mendes, Thaís Guimarães e Valdilenia Sousa.

Aos amigos que me acompanharam durante parte do meu mestrado, enquanto aprendíamos sobre geologia: Cecília Cysneiros, Dionísio Casimiro, Jefferson Tavares e João Artur Andrade.

Aos doutores que conheci em Recife e que me incentivaram constantemente, Sonia Agostinho, Aline Freitas e Gustavo Oliveira.

A todos que me auxiliaram com bibliografias, principalmente a Paula Sucerquia e Fabíola Braz.

A Olga Alcântara por sempre conversar comigo durante as madrugadas de trabalho, não me deixando dormir “contando os causos da vida”.

Ao Igor Bandim pela paciência invejável e disposição em sempre ajudar com os assuntos burocráticos da pós-graduação.

A Stela Bantim e Janedson Bantim pelo primoroso estímulo e auxílio nas horas mais necessárias.

Aos meus irmãos pelo companheirismo dedicado todos esses anos, Flávio, Flávia, Flaviano e Fábio, e aos meus pais, grandes incentivadores, José Fernandes e Francisca Jorge, os responsáveis pela minha formação, obrigada por tanta dedicação.

Ao Renan, pela ajuda, discussões e carinho indispensáveis para a realização deste trabalho.



*"Eu não tenho nenhum talento especial. Sou apenas apaixonadamente curioso."*

"I have no special talent. I am only passionately curious."

Albert Einstein

## **Resumo**

A Formação Romualdo é composta basicamente por folhelhos com concreções calcárias, arenitos e margas. É reconhecida por sua grande diversidade de vertebrados fósseis, mas são poucos os estudos referentes à sua paleoflora. Neste trabalho, foram identificados taxonomicamente os fósseis de vegetais ocorrentes nos níveis de concreções calcárias, margas, “matracão”, folhelhos e arenitos da Formação Romualdo. Foram realizadas três escavações controladas: Sítio Baixa Grande (Araripe – CE), Geossítio Parque dos Pterossauros (Santana do Cariri – CE) e Jamaru (Missão Velha – CE), abrangendo tanto a parte leste (sub-bacia Feira Nova), como também a parte oeste (sub-bacia Cariri) da Bacia do Araripe, áreas de deposição bastante distintas. Procedeu-se também uma coleta georreferenciada no Sítio Sobradinho, cidade de Jardim. Foram identificados 39 espécimes vegetais depositados em coleções de fósseis, 58 coletados em escavações controladas e 1 coletado em afloramento da Formação Romualdo. A localização e o controle estratigráfico daqueles coletados *in situ* foram determinados através de perfis detalhados. Os vegetais fósseis, aqui identificados, foram *Podozamites lanceolatus*, *Brachyphyllum castilhoi*, *Brachyphyllum obesum*, *Welwitschiophyllum brasiliensi*, *Welwitschiostrobus murili* e *Pseudofrenelopsis* sp.. Muitos destes restos vegetais exibem adaptações, tais como: folhas coriáceas com células epidérmicas de paredes espessas com uma cobertura de abundantes pelos e papilas, numerosos estômatos afundados e protegidos por papilas, principalmente na face abaxial e hipoderme resistente. A ausência de vegetais completos, com raízes associadas, atesta que os fluxos de correntes eram mais raros durante a deposição da Formação Romualdo, e a ocorrência de vegetais fósseis abre novas possibilidades para o melhor entendimento do paleoambiente deposicional.

**Palavras-chave:** Cretáceo, Formação Romualdo, vegetais fósseis, posicionamento estratigráfico, paleoambiente.

## ***Abstract***

The Romualdo Formation is composed mainly of shale with calcareous concretions, sandstone and marl. It is recognized for its great diversity of fossil vertebrates, but there are few studies concerning its paleoflora. In this work, fossil plants were taxonomically identified, occurring in the calcareous concretions, marl, "matracão", shales and sandstones levels of the Romualdo Formation. Controlled excavations were performed in: Sítio Baixa Grande (Araripe - CE), Geosite Parque dos Pterossauros (Santana do Cariri - CE) and Jamaru (Missão Velha - CE), covering both the eastern (sub-basin Feira Nova) as well as the western part (sub-basin Cariri) of the Araripe Basin, showing quite distinct deposition areas. Also fossils collecting in a georeferenced site in Sobradinho, Jardim City were included. Were identified 39 fossil plants deposited in institutional collections, 58 collected in controlled excavations and one collected in an outcrop from the Romualdo Formation. The stratigraphic control of those collected in situ were determined through detailed profiles. Here were identified the following taxa on the samples: *Podozamites lanceolatus*, *Brachyphyllum castilhoi*, *Brachyphyllum obesum*, *Welwitschiophyllum brasiliensis*, *Welwitschiostrobus murili* and *Pseudofrenelopsis* sp. Many of these taxa exhibit adaptations, such as leathery leaves with thick-walled epidermal cells with abundant coverage of the papillae and numerous stomata sunken and protected by papillae, especially on the abaxial hypodermis and sturdy. The absence of complete specimens with roots attached, attests that the stream flows were rarer during the deposition of the Romualdo Formation, and the occurrence of those fossil plants opens up new possibilities for a better understanding of the depositional paleoenvironment in this deposits.

**Keywords:** Cretaceous, Romualdo Formation, plant fossils, positioned stratigraphically, paleoenvironment.

## *Sumário*

Lista de abreviaturas .....	I
Lista de figuras .....	II
1 – INTRODUÇÃO .....	01
2 – GEOLOGIA REGIONAL .....	06
<b>2.1 – Sequência beta</b> .....	09
<b>2.2 – Sequência pré rifte</b> .....	10
<b>2.3 – Sequência sin rifte</b> .....	11
<b>2.4 – Sequência pós rifte</b> .....	12
<b>2.5 – Área de estudo</b> .....	16
3 – OBJETIVOS .....	18
<b>3.1 – Objetivo geral</b> .....	18
<b>3.2 – Objetivos específicos</b> .....	18
4 – MATERIAL E MÉTODOS.....	19
<b>4.1 – Material estudado</b> .....	19
<b>4.2 – Trabalho de campo</b> .....	19
<b>4.3 – Preparação mecânica</b> .....	21
<b>4.4 – Identificação taxonômica e comparação</b> .....	21
5 – RESULTADOS.....	24
<b>5.1 – Sistemática paleontológica</b> .....	24
<b>5.2 – Posicionamento estratigráfico</b> .....	35
<b>5.3 – Aspectos paleoambientais da Formação Romualdo</b> .....	47
6 – DISCUSSÃO .....	51
7 – CONCLUSÃO .....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	

## *Lista de Abreviaturas*

### **Abreviaturas Institucionais**

LPU – Laboratório de Paleontologia da Universidade Regional do Cariri (Crato – Brasil)

MPSC – Museu de Paleontologia de Santana do Cariri (Santana do Cariri – Brasil)

URCA – Universidade Regional do Cariri (Crato – Brasil)

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

MCNHBJ – Museu de Ciências Naturais e de História Barra do Jardim

## *Lista de Figuras*

**Figura 01:** Exemplos de vegetais fósseis da Bacia do Araripe. A) *Ruffordia goeppertii* - pteridófita; B) *Brachyphyllum obesum* Heer, 1881 - gimnosperma; C) *Araripia florifera* Mohr e Eklund, 2003 – angiosperma. Retirado de Mohr e Eklund, 2003.

Página 02

**Figura 02:** Exemplos de fósseis da Formação Romualdo preservados em concreções calcárias, indicando a excepcional preservação tanto de vertebrados quanto de vegetais: A) Peixe *Vinctifer comptoni* Agassiz, 1941; B) Vegetal *Brachyphyllum obesum*. Imagens fora de escala.

Página 04

**Figura 03:** Mapa geológico da Bacia do Araripe mostrando suas unidades estratigráficas. Modificado de Assine (2007).

Página 07

**Figura 04:** Estratigrafia e Tectono-Sequências da Bacia do Araripe mostrando as fases de deposição em colorido. Retirado de Neumann *et al.*, *no prelo*.

Página 08

**Figura 05:** Icnofósseis da Formação Cariri, *Chondrites* sp..

Página 09

**Figura 06:** Afloramento da Formação Brejo Santo, onde é possível observar a coloração avermelhada dos argilitos.

Página 10

**Figura 07:** Afloramento da Formação Missão Velha com fragmentos de madeira silicificada, atribuída a *Dadoxylon* sp.. Imagens fora de escala.

Página 11

**Figura 08:** Fácies da Formação Abaiara com arenitos finos a médios, com intercalações de folhelhos. Modificado de Assine (2007).

Página 12

**Figura 09:** A) Vista geral do afloramento; B) Extração de calcário laminado para a construção civil.

Página 13

**Figura 10:** Afloramento da Formação Ipubi na Mina Pedra Branca, município de Nova Olinda (CE), mostrando a discordância erosional que marca o contato entre as formações Ipubi e Romualdo.

Página 14

**Figura 11:** Visão geral da escavação realizada no Parque dos Pterossauros (Santana do Cariri – CE), onde é possível observar as concreções calcárias contendo fósseis, encaixadas nos folhelhos da assembleia fossilífera da Formação Romualdo.

Página 15

**Figura 12:** Contato dos arenitos da Formação Exu (topo) com a Formação Araripina (base). Modificado de Assine (2007).

Página 16

**Figura 13:** Posição geográfica do local de amostragem das escavações em Araripe, Santana do Cariri e Missão Velha e coleta em Jardim, na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Modificado de Fara *et al.* (2005).

Página 20

**Figura 14:** Preparação mecânica dos fósseis utilizando martelo e ponteira.

Página 21

**Figura 15:** Vegetais fósseis do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri sendo analisados.

Página 22

**Figura 16:** A) N. 93 Pb., holótipo de *Brachyphyllum castilhoi*; B) DGM 1294 Pb, *Brachyphyllum obesum*; C) N. 93 Pb, *Brachyphyllum obesum*. Escala: 2 cm.

Página 23

**Figura 17:** Espécimes de *Podozamites lanceolatus*. A) Espécime melhor preservado, LPU 737 PL; B) LPU 727 PL; C) LPU 726 PL; D) Detalhe das nervuras preservadas em LPU 737 PL; E) Ilustração de *Podozamites lanceolatus*, mostrando a base ausente nos fósseis encontrados. Escala: 2 cm.

Página 25

**Figura 18:** Espécimes de *Brachyphyllum obesum*, variando em tamanho e tipo de preservação. A) LPU 765 PL preservado em concreção; B) LPU 762 PL preservado em marga; C) MPSC PL 543; D) MPSC PL 1022; E) LPU 723 PL preservado em folhelho; F) MPSC PL 1178; G) LPU 721 PL; H) MPSC PL 545 completamente recristalizado. Escala: 2 cm.

Página 27

**Figura 19:** Espécime melhor preservado de *Brachyphyllum obesum* (LPU 767 PL); B) Parte fragmentada da concreção ao ser aberta; C) O detalhe mostra a excelente preservação das folhas com destaque para as nervuras. Escala: 2 cm.

Página 28

**Figura 20:** Espécimes de *Brachyphyllum castilhoi*. A) MPSC PL 528; B) LPU 761 PL; C) LPU 342 PL; D) LPU 749 PL. Escala: 2 cm.

Página 29

**Figura 21:** Espécimes de *Pseudofrenelopsis* sp. A) MCNHBJ 152; B) Detalhe do espécime MCNHBJ 152, mostrando a folha inserida no caule; C) LPU 666 PL; D) LPU 696 PL; E) LPU 684 PL; F) LPU 640 PL; G) LPU 644 PL; H) LPU 766 PL; I) MPSC PL 2206. Escala: 2 cm.

Página 31

**Figura 22:** Espécime de *Welwitschiophyllum brasiliense* (MPSC PL 597); B) Detalhe das nervuras preservadas; C) Reconstrução de *Welwitschia mirabilis*, representante atual das Welwitschiaceae, com destaque para a base foliar semelhante à *Welwitschiophyllum brasiliense* (Modificado de La Graine, 1878). Escala: 2 cm.

Página 33

**Figura 23:** Espécimes de *Welwitschiostrobus murili*. A) Vegetais fósseis preservados no arenito com detalhe para o cone de *Welwitschiostrobus murili* (LPU 101 PL); B) Impressão do cone (LPU 101 PL); C) Espécime LPU 745 PL preservado no folhelho; D) Ilustração de *Welwitschiostrobus murili* (Modificado de Friis *et al.*, 2011). Escala: 2 cm.

Página 34

**Figura 24:** Perfil litoestratigráfico da Bacia do Araripe com destaque para o perfil da Formação Romualdo, mostrando os níveis onde ocorrem os vegetais fósseis, representados pela folha. Perfis fora de escala.

Página 36

**Figura 25:** A) Coleta das concreções no nível Septária I; B) Peixe da espécie *Tharriar araripis* Jordan e Branner, 1908, preservado em concreção calcária encontrada no mesmo nível.

Página 37

**Figura 26:** Perfil estratigráfico da escavação controlada no Geossítio Parque dos Pterossauros.

Página 39

**Figura 27:** A) Escavação no Sítio Baixa Grande; B) Peixe *Vinctifer comptoni* encontrado no nível de folhelho; C) Inúmeros coprólitos em concreções calcárias; D) Análise das concreções coletadas na escavação.

Página 40

**Figura 28:** Perfil estratigráfico da escavação controlada no Sítio Baixa Grande.

Página 41



**Figura 29:** A) Abertura das concreções coletadas; B) Septária encontrada no nível de Septárias I; C) Peixe da espécie *Vinctifer comptoni* encontrado no Nível de Concreções II; D) Septária com suas cavidades características.

Página 42

**Figura 30:** Perfil estratigráfico da escavação controlada no Distrito Jamaru.

Página 44

**Figura 31:** A) Coleta no Sítio Sobradinho; B) Vértebra de peixe preservada tridimensionalmente no arenito. Escala: 2 cm.

Página 45

**Figura 32:** Perfil do afloramento no Sítio Sobradinho.

Página 46

**Figura 33:** Quantidade de fósseis encontrados nos diferentes níveis fossilíferos da Formação Romualdo, mostrando que o folhelho preservou mais vegetais fósseis.

Página 46

**Figura 34:** Porcentagem dos fósseis coletados nas escavações controladas.

Página 47

**Figura 35:** Reconstrução paleoambiental da Formação Romualdo. (Modificado de Moura *et al.*, 2006)

Página 50

## 1. INTRODUÇÃO

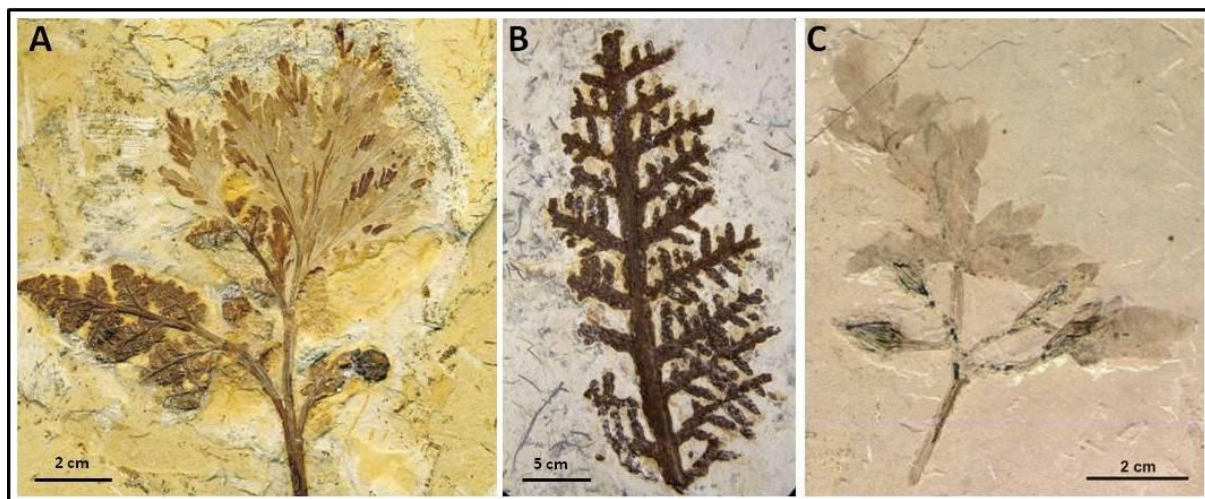
A Paleobotânica tem trazido dados importantes na sistemática vegetal. A compreensão das relações fundamentais de grandes grupos de vegetais terrestres vem do registro fóssil (Dilcher, 2001). O recente interesse na paleobotânica, alavancado por descobertas e avanços na sistemática dos vegetais atuais, proporciona uma perspectiva sobre a evolução de plantas terrestres primitivas e sugere novos caminhos para pesquisas futuras (Dilcher, 2001). O registro paleobotânico é uma ferramenta importante nos estudos evolutivos, sendo empregado em interpretações paleogeográficas, paleoecológicas, paleoclimáticas e paleobiogeográficas. O seu registro geológico, no entanto, é em sua maioria de natureza fragmentária, o que dificulta a correta interpretação das afinidades botânicas e paleobotânicas de muitos dos espécimes fósseis, encontrados em períodos geológicos distintos (Iannuzzi e Vieira, 2005).

Ao longo dos últimos anos, houve um enorme progresso na compreensão da origem e diversificação dos vegetais (Edwards, 1986; Edwards *et al.*, 1995). Estudos paleobotânicos detalhados têm documentado a estrutura de muitos fósseis que são considerados peças chaves para a evolução (por exemplo, Li e Edwards, 1992), e cuidadosos estudos comparativos de táxons atuais têm fornecido o quadro essencial em que os estudos de táxons extintos podem ser compreendidos. O resultado tem sido um entendimento cada vez mais integrado da origem e da diversificação dos vegetais (Crane *et al.*, 2004).

A origem e evolução dos vegetais terrestres foi um acontecimento importante na história da vida, que teve consequências de longo prazo para a evolução dos organismos terrestres (Archangelsky, 1970; Selden e Nudds, 2005). Os vegetais, como todos os seres vivos, possuem ancestrais aquáticos. A história da evolução dos vegetais está, portanto, inseparavelmente relacionada com a ocupação progressiva do ambiente terrestre e o aumento da sua independência da água para a reprodução (Cleal e Thomas, 1999; Willis e McElwain, 2002).

As pteridófitas foram os primeiros vegetais a conquistarem definitivamente o ambiente terrestre. Surgiram há cerca de 400 milhões de anos, durante o Siluro-Devoniano e apesar de sua extensiva dispersão e diversificação, não constituíram formas dominantes nos períodos sucessivos (Tryon e Tryon, 1982; Stewart, 1983; Bell, 1992). Estas Possuem alguns representantes na Bacia do Araripe, como a espécie *Ruffordia goeppertii* (Dunker) Seward (Fig. 1) (Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2003). Atualmente são representadas pelos grupos

Salviniales, Cyatheaceae, Dicksoniaceae, Polypodiaceae, Gleicheniaceae e Ophioglossales cujo surgimento e diversificação datam do período Cretáceo (Raven *et al.*, 2007).



**Figura 1:** Exemplos de vegetais fósseis da Bacia do Araripe. A) *Ruffordia goeppertii* - pteridófito; B) *Brachyphyllum obesum* Heer, 1881 - gimnosperma; C) *Araripia florifera* Mohr e Eklund, 2003 – angiosperma. Retirado de Mohr e Eklund, 2003.

Durante o Carbonífero, houve o surgimento das gimnospermas (Meyen, 1984; Taylor e Taylor, 1993). Estas já se encontravam diversificadas no Permiano e atingiram seu auge no Triássico. Constituíam o grupo vegetal mais abundante na Bacia do Araripe durante o Cretáceo Inferior (Duarte, 1985; 1993; Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2003; Kunzmann *et al.*, 2004; Dilcher *et al.*, 2005; Kunzmann *et al.*, 2006), como também acontecia no cenário global (Meyen, 1987). Nesta bacia são encontrados fósseis pertencentes à Coniferales e Gnetales (Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2012).

As angiospermas surgiram no Cretáceo Inferior, e desde o Cenozóico até os dias atuais dominam o ambiente terrestre. Seus principais grupos possuem representantes fósseis na Formação Crato, como a Magnoliidae *Araripia florifera* (Mohr e Eklund, 2003; Mohr *et al.*, 2006) e espécimes na Formação Romualdo (Duarte, 1985). Apesar de importantes registros, a origem das angiospermas continua sendo um dos maiores problemas ainda não solucionados, no que diz respeito à evolução dos grupos vegetais (Crane, 1997; Friis *et al.*, 2006).

O Cretáceo pode ser considerado um dos períodos mais expressivos da História da Terra em termos de eventos geológicos de longa duração (Lima, 1989a). Foi no Cretáceo que se iniciou a grande ruptura do supercontinente Gondwana, com a separação dos atuais continentes sul americano e africano (Fairhead, 1988; Binks e Fairhead, 1989; Guiraud, 1990; Sénant e Popoff, 1991). A dinâmica exercida na crosta terrestre, impulsionada pela

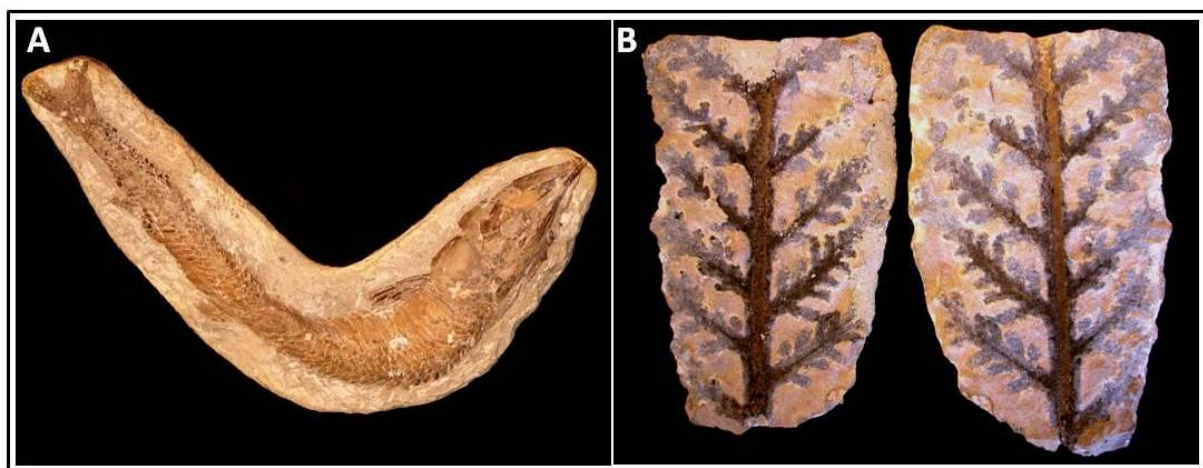
movimentação e separação das placas tectônicas, originou a abertura e instalação do Oceano Atlântico (Mendes *et al.*, 1972; Arai, 1990; Brito Neves, 1990; Assine, 1992). Todas essas mudanças ocorridas em função desses eventos geológicos ocasionaram mudanças ambientais e climáticas, que alteraram a composição da paleoflora, neste período geológico que é considerado um dos mais quentes da Terra (Mendes e Petri, 1971; Vakhrameev, 1973; 1975; 1978; 1981; Mendes, 1984; 1988; Lima, 1989a, b; Vakhrameev, 1991; Rees *et al.*, 2000; Tassinari e Dias Neto, 2009).

Dados paleobotânicos documentam que o Cretáceo Inferior foi um intervalo crítico na evolução da vegetação terrestre, caracterizado pelo primeiro aparecimento e extinção aparente de muitos táxons nos grupos vegetais (Crane e Maisey, 1991). Mais significativamente, entre o Barremiano e parte do Cenomaniano, as angiospermas foram submetidas a sua primeira grande diversificação sistemática, e outros táxons mostram mudanças igualmente drásticas quanto a sua abundância e diversidade. Embora tais alterações se manifestem em uma escala global, acredita-se que estejam associadas às mudanças ambientais marcantes que ocorreram em meados do Cretáceo. Dados palinológicos indicam que estas provavelmente tiveram origem em paleolatitudes baixas (Brenner, 1976; Hickey e Doyle, 1977). Nesse contexto, os vegetais fósseis da Bacia do Araripe nos fornecem informações sobre a vegetação do Cretáceo Inferior, nessas áreas de baixa latitude (Crane e Maisey, 1991). Através de órgãos vegetais macroscópicos como folhas e sementes e microfósseis (pólen e esporos) é possível traçar o aspecto geral da vegetação nas proximidades dessa bacia, que conta com fósseis muito bem preservados se comparados aqueles registros do leste da América do Sul e Oeste da África (Crane e Maisey, 1991). No entanto, este estudo é dificultado por um problema que afeta a grande maioria dos fósseis da Bacia do Araripe: a ausência de precisão geográfica e dados estratigráficos (por exemplo, Agassiz, 1844; Mabelsoone e Tinoco, 1973; Wenz e Brito, 1990; Maisey, 1991; Viana, 2001). Os conhecimentos atuais sobre biotas fósseis da Bacia do Araripe são, em grande parte, baseados em espécimes de museus e coleções científicas, sem dados sobre localidade e com observações limitadas e esporádicas de campo. Embora esta situação insatisfatória não impeça estudos sistemáticos e paleobiológicos, é uma questão importante para inferências paleoecológicas (Leal e Brito, 2004; Buffetaut *et al.*, 2004; Vila Nova *et al.*, 2011; Sayão *et al.*, 2011).

Os primeiros estudos científicos sobre a Formação Romualdo foram iniciados no século 19 (Gardner, 1841; Agassiz, 1841; 1844; Woodward, 1887) mantendo-se uma intensa pesquisa desde então. Com as inúmeras descrições taxonômicas, alguns autores têm notado

significativas variações litológicas e paleontológicas entre as concreções desta formação (por exemplo, Jordan e Branner, 1908; Maisey, 1991; 2000). De fato, cada nível litológico que contem concreções, parece conter fósseis que representam uma assembleia especial em termos de composição taxonômica, abundância e distribuição de tamanho (Saraiva *et al.*, 2007). Esta aparente correlação pode ser devido a uma acentuada heterogeneidade paleoambiental em toda a bacia durante o Cretáceo Inferior (Fara *et al.*, 2005). Dois fatores principais parecem estar envolvidos: geografia e estratigrafia. Geograficamente, Maisey (1991) distinguiu três tipos litológicos qualitativos de assembleias fósseis com referência para as três principais áreas de coleta na região da Bacia do Araripe: Santana do Cariri, Jardim e Missão Velha. O fator estratigráfico é pouco conhecido, mas existe mais do que uma camada contendo as concreções fossilíferas (Maisey, 1991; 2000; Martill, 1993; Fara *et al.*, 2005; Saraiva *et al.*, 2007; Vila Nova *et al.*, 2011).

Os vegetais fósseis encontrados nas concreções da Formação Romualdo não têm recebido a mesma atenção dos pesquisadores do que à sistemática, paleobiogeografia e paleoecologia de vertebrados fósseis. Restos de vegetais não são tão comuns nas concreções, quando comparados aos registros de peixes fósseis (por exemplo, Crane e Maisey, 1991; Martill *et al.*, 2011), no entanto eles apresentam as mesmas características dos ictiólitos, mostrando um excelente estado de preservação (Fig. 2) (Duarte, 1985; Saraiva *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2012).



**Figura 2:** Exemplos de fósseis da Formação Romualdo preservados em concreções calcárias, indicando a excepcional preservação tanto de vertebrados quanto de vegetais: A) Peixe *Vinctifer comptoni* Agassiz, 1941; B) Vegetal *Brachyphyllum obesum*. Imagens fora de escala.

A paleoflora da Formação Romualdo é estudada aqui, tendo em vista a identificação taxonômica de alguns de seus componentes, avaliação das condições ambientais nas quais se

desenvolveu e depositou esta flora, com base em seus dados morfológicos e anatômicos, complementados por informações geológicas e de componentes florísticos associados. Através de escavações realizadas nesta região, puderam-se desenvolver estudos taxonômicos com a procedência desses fósseis, antes desenvolvido apenas para os macrofósseis de vertebrados (Fara *et al.*, 2005; Saraiva *et al.*, 2007; Vila Nova *et al.*, 2011). Além disso, pouco se sabe a respeito da sistemática e paleoecologia dos grupos vegetais preservados na Formação Romualdo. Assim, o conhecimento dos vegetais encontrados nas concreções calcárias, arenitos, níveis de “matracão”, margas e folhelhos podem auxiliar na compreensão da evolução e distribuição de muitos grupos vegetais durante o Cretáceo Inferior.

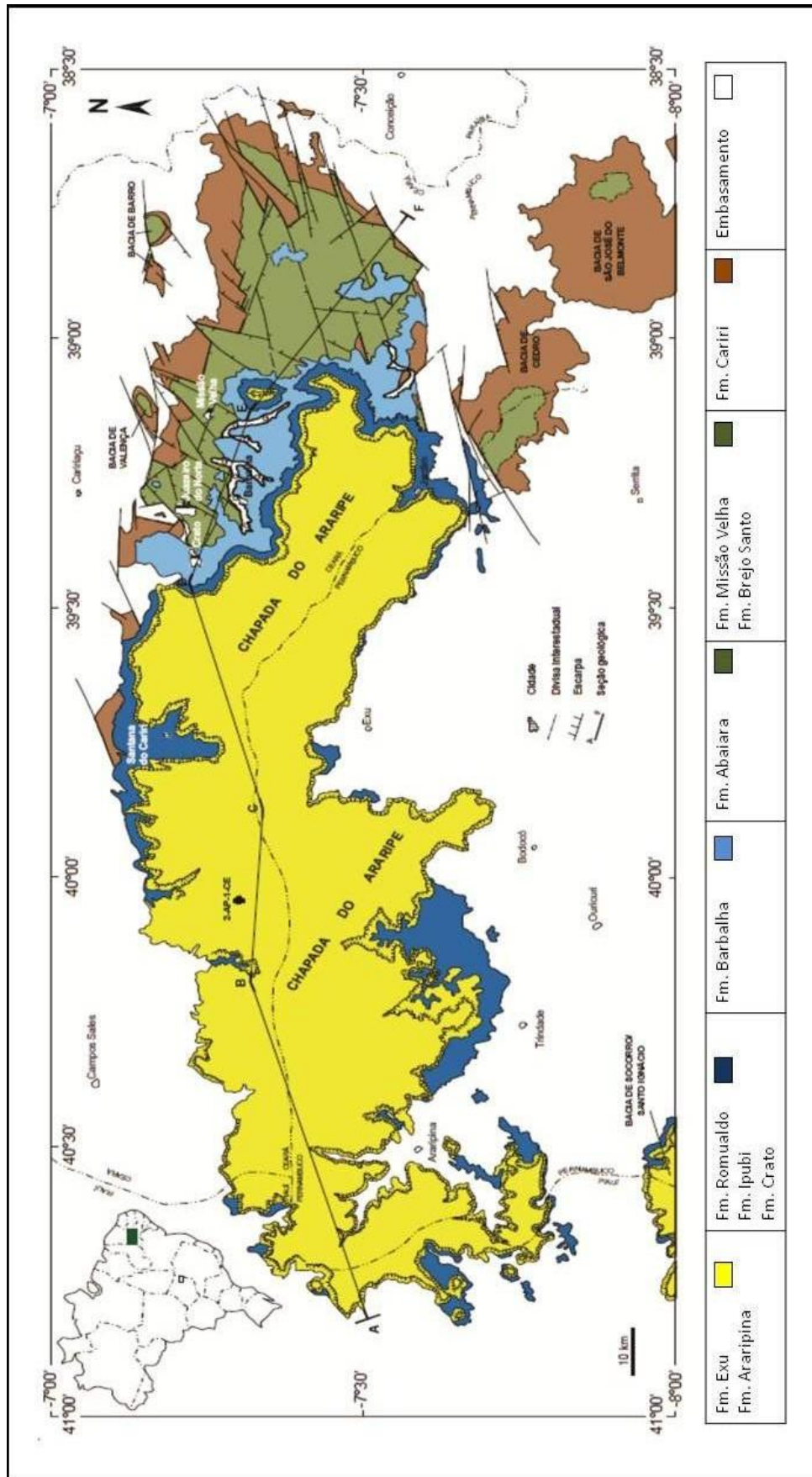
## 2. GEOLOGIA REGIONAL

As bacias interiores do Nordeste do Brasil constituem um conjunto de pequenas bacias fanerozoicas, que embora tenham sido consideradas fragmentos de uma única bacia interior (Cordani *et al.*, 1984), suas estratigrafias são particulares, indicando histórias geológicas distintas. O rifteamento, responsável pela origem e evolução destas bacias, é o resultado dos processos de separação da América do Sul e África (Berthou, 1990; Matos, 1992; Mabesoone, 1996; Ponte e Ponte-Filho, 1996).

A Bacia do Araripe é uma bacia intracratônica, constituindo a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil (Soares *et al.*, 1978; Mabesoone, 1982). Encontra-se na parte central da Província Borborema (Almeida e Hasui, 1984) e se estende até os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco (Fig. 3), ocupando uma área de aproximadamente 12.000km<sup>2</sup> (Saraiva *et al.*, 2007). Situa-se entre os meridianos 38° 30' e 40° 50' de longitude W de Greenwich e os paralelos 7° 05' e 7° 50' de latitude S. Os limites da Bacia do Araripe se apresentam através de falhamentos: ao Norte se limita pelo Lineamento da Paraíba, a noroeste pela falha de Farias Brito, ao sul pela falha de Sítio das Moreiras e a leste pela falha de Conceição (Rand e Manso, 1984; Castro e Castelo-Branco, 1999).

A Bacia do Araripe constitui-se na mais completa e complexa das bacias interiores do Nordeste do Brasil (Fambrini *et al.*, 2011). A origem e a evolução desta bacia relacionam-se com os eventos tectônicos que resultaram na ruptura e fragmentação do Supercontinente Gondwana e na abertura do Oceano Atlântico Sul (Matos, 1999; Assine, 2007). A Bacia do Araripe foi dividida por Assine (2007) em duas sub-bacias pré-Aptianas menores, chamadas de Feira Nova e Cariri, sendo estas caracterizadas por falhas de direção NE e WNW (Assine, 2007). A primeira proposição estratigráfica para a Bacia do Araripe foi feita juntamente com o início dos trabalhos geológicos nesta região (Small, 1913). Outras propostas foram elaboradas sobre a litoestratigrafia desta bacia, porém esta vem sofrendo subseqüentes mudanças para um maior detalhamento (Beurlen, 1962; 1971; Mabesoone e Tinoco, 1973; Assine, 1990; Brito-Neves, 1990; Ponte e Appi, 1990; Assine, 1994; Ponte e Ponte-Filho, 1996; Neumann e Cabrera, 1999; Viana e Neumann, 2002; Valença *et al.*, 2003; Martill, 2007; Assine, 2007). Do ponto de vista paleontológico, sua principal unidade litoestratigráfica é o Grupo Santana (Neumann e Cabrera, 1999) que engloba as formações: Barbalha, Crato, Ipubi e Romualdo. Neste contexto, destacam-se os fósseis encontrados principalmente nas Formações Crato e Romualdo.










**Figura 3:** Mapa geológico da Bacia do Araripe mostrando suas unidades estratigráficas. Modificado de Assine (2007).



Os ciclos de deposição da bacia estão associados aos mecanismos tectônicos de separação dos continentes da margem atlântica. Estes são: o pré rifte - estágio anterior à separação, o sin rifte - estágio simultâneo ao esforço de fragmentação dos blocos continentais e o pós rifte - estágio posterior a esta fragmentação (Carvalho e Santos, 2005). A bacia recebe seu nome devido a presença de uma feição geomorfológica denominada Chapada do Araripe, uma elevação de 900 m, alongada na direção Leste-Oeste (Valença *et al.*, 2003), de topo plano e escarpas erosivas íngremes. Além dos limites atuais da Chapada, a bacia estende-se a Leste, ocupando a depressão do Vale do Cariri, onde afloram unidades das sequências beta, pré rifte, sin rifte e pós rifte (Fig. 4).

MESOZOICO	CRETÁCEO	ALBIANO/ CENOMANIANO			SEQUÊNCIA PÓS RIFTE	GRUPO ARARIPE	Fm. EXU Fm. ARARIPINA	
		APTIANO	ANDAR ALA- GOAS			GRUPO SANTANA	Fm. ROMUALDO Fm. IPUBI Fm. CRATO Fm. BARBALHA	
		DISCORDÂNCIA PRÉ APTIANA						
			ANDAR RIO DA SERRA				SEQUÊNCIA SIN RIFTE	GRUPO VALE DO CARIRI
	JURÁSSICO	ANDAR DOM JOÃO		SEQUÊNCIA PRÉ RIFTE	Fm. MISSÃO VELHA Fm. BREJO SANTO			
	DISCORDÂNCIA PRÉ MESOZOICA							
PALEOZOICO	SILURIANO?			SEQUÊNCIA BETA	Fm. CARIRI			
	DISCORDÂNCIA PRÉ FANEROZOICA							
PRÉ CAMBRIANO				EMBASAMENTO CRISTALINO				

**Figura 4:** Estratigrafia e Tectono-Sequências da Bacia do Araripe mostrando as fases de deposição em colorido. Retirado de Neumann *et al.*, *no prelo*.

## 2.1. Sequência beta

A sequência é constituída por uma única unidade litoestratigráfica, denominada Formação Cariri por Beurlen (1962). A unidade aflora na porção leste da bacia, definindo os contornos do Vale do Cariri (Assine, 2007). É a camada mais basal a apresentar registros fósseis (Fig. 5), sendo considerada de idade Paleozoica (Braun, 1966), entre o Ordoviciano Superior e o Devoniano Inferior (Assine, 2007). Essa camada também já foi classificada como de idade Cretáceo Inferior, devido a presença de icnofósseis (pegadas de dinossauros) em estratos da unidade (Carvalho *et al.*, 1995), mas estudos recentes a reposicionaram no Paleozoico (Valença *et al.*, 2003; Assine, 2007), já que essas pegadas não foram encontradas por outros pesquisadores, tais como Kellner e Campos (2000). Além disso, a atribuição de idade cretácea é inconsistente já que a Formação Cariri ocorre sotoposta a Formação Brejo Santo, portadora de ostracodes típicos do Andar Dom João (Braun, 1966; Coimbra *et al.*, 2002) e relacionada à fase pré rifte.



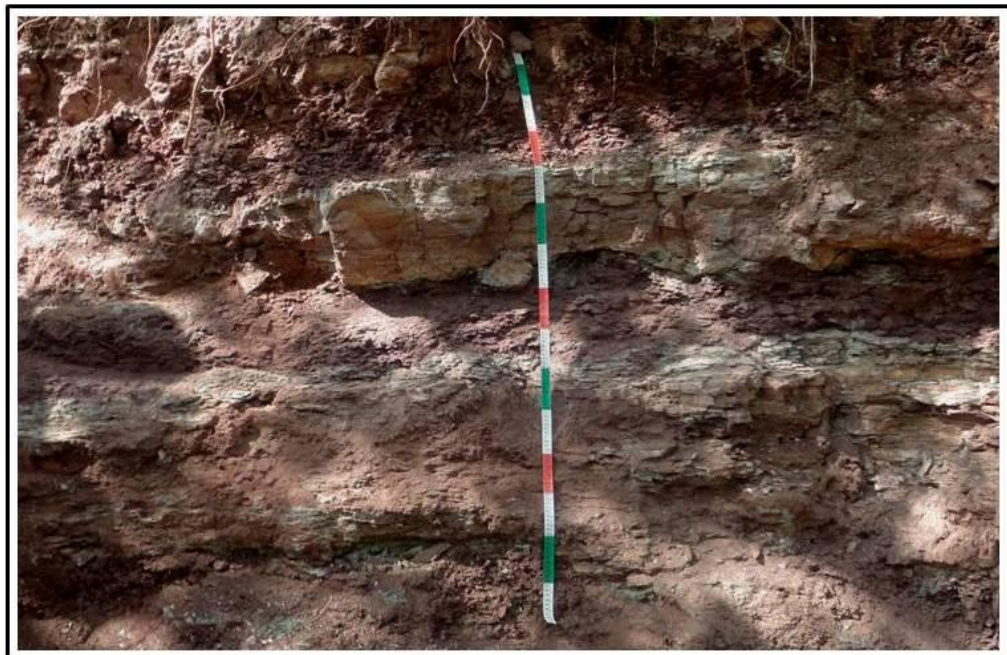
**Figura 5:** Icnofósseis da Formação Cariri, *Chondrites* sp..

A Formação Cariri, segundo Assine (2007), é constituída por arenitos grossos, de granulação média a grossa, com grãos angulares e subangulares, interpretados como fácies de sistemas fluviais entrelaçados. Níveis de ortoconglomerados ocorrem, sendo mais comuns na base, onde incluem fragmentos líticos do embasamento e clastos de feldspatos róseos bem preservados. O padrão de paleocorrentes da Formação Cariri, notavelmente constante ao

longo da bacia, indica que a sedimentação não teve relação alguma com a geometria dos sítios em que depósitos da unidade estão preservados (Assine, 1994). Braun (1966), Mabesoone e Tinoco (1973) e Lima (1978) correlacionaram essa formação com a Formação Tacaratu e com o Grupo Serra Grande. Assim, estes depósitos não teriam uma relação direta com a evolução tectonosedimentar da bacia, durante o Mesozoico.

## 2.2. Sequência pré rifte

Composta pelas formações Brejo Santo e Missão Velha, a sequência foi formada no contexto do estágio pré rifte (Assine, 2007). A Formação Brejo Santo repousa discordantemente sobre a Formação Cariri, de idade presumivelmente paleozoica, e faz contato com a unidade sobrejacente, a Formação Missão Velha. A Formação Brejo Santo constitui a unidade basal da sequência pré rifte e foi definida por Gaspary e Anjos (1964). Em termos litológicos, a Formação Brejo Santo, é constituída por argilitos e folhelhos calcíferos castanho-avermelhados, maciços a laminados, siltitos cinza esbranquiçados a esverdeados e, de forma subordinada, arenitos finos a muito finos argilosos laminados. Intercalados nos pelitos ocorrem níveis delgados de calcário argiloso e, principalmente, arenitos calcíferos, abundantemente fossilíferos (Fig. 6) (Fambrini *et al.*, 2012).



**Figura 6:** Afloramento da Formação Brejo Santo, onde é possível observar a coloração avermelhada dos argilitos.



A Formação Brejo Santo representa a primeira fase lacustre da bacia, evidenciando um ambiente lacustre raso com influência fluvial e eólica (Assine, 2007). Esta formação apresenta uma ostracofauna bastante abundante, pertencente à zona de *Bisulcocypris pricei*, bem como alguns conchostráceos datados como pertencente ao Jurássico (Valença *et al.*, 2003). O limite Jurássico-Cretáceo é desconhecido para esta formação, pois não existem dados precisos sobre o assunto (Da Rosa e Garcia, 2000).

A Formação Missão Velha, que sobrepõe concordantemente a Formação Brejo Santo, é litologicamente constituída por arenitos de granulometria grossa a média, por vezes conglomeráticos, de coloração avermelhada, amarelada ou esbranquiçada, embora existam níveis argilosos e arenitos finos intercalados (Fambrini *et al.*, 2009). Apresenta uma associação faciológica típica de planícies fluviais de sistemas entrelaçados caracterizados por canais rasos e de alta energia (Valença *et al.*, 2003). Suas rochas são portadoras de abundantes troncos e fragmentos de madeira silicificada, atribuídos à conífera *Dadoxylon* sp. (Fig. 7), o que sugere um crescimento de florestas nas planícies do rio (Lima *et al.*, 2012). As formações Brejo Santo e Missão Velha constituem unidades lito e cronocorrelatas às formações Aliança e Sergi (Beurlen, 1962) e às formações Bananeiras e Serraria da Bacia de Sergipe-Alagoas (Assine, 2007). Gaspary e Anjos (1964) situaram cronoestratigraficamente ambas as unidades no Jurássico Superior.

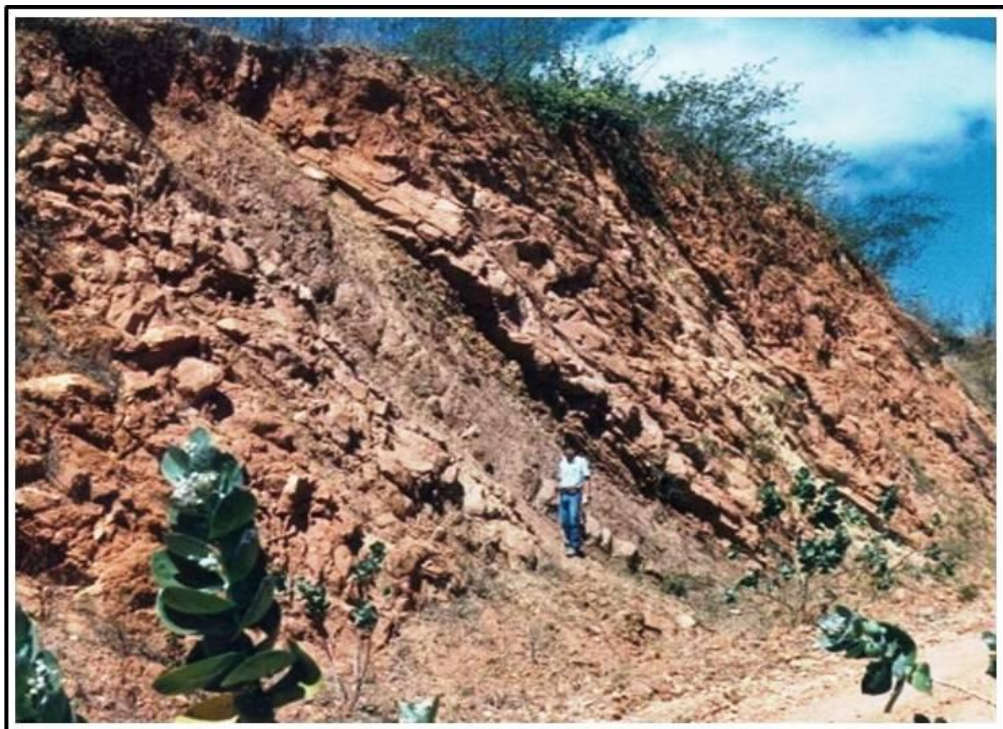


**Figura 7:** Afloramento da Formação Missão Velha com fragmentos de madeira silicificada, atribuída a *Dadoxylon* sp.. Imagens fora de escala.

### 2.3. Sequência sin rifte

A Formação Abaiara representa a parte superior da primeira fase lacustre (Ponte e Appi, 1990; Assine, 1990) que foi depositada durante o Cretáceo Inferior e é correlacionada com os andares Rio da Serra e Aratu (Neumann e Cabrera, 1999). É litologicamente composta

por arenitos finos na base e na parte superior da seção, folhelhos silticos, e siltitos vermelhos bem selecionados, com estratificações cruzadas e marcas de ondas (*ripples*). Intercalados por folhelhos ocorrem lentes de arenitos quartzosos finos e muito grossos, com níveis conglomeráticos (Fig. 8) (Assine, 2007). É interpretada como resultado de depósitos de deltas (Valença *et al.*, 2003). Os depósitos aluviais distais registram intercalações de folhelhos com siliclásticos grossos, similares aos da Formação Brejo Santo (Neumann, 1999). Assine (1992) registra a presença de madeira silicificada, provavelmente retrabalhada da Formação Missão Velha.



**Figura 8:** Fácies da Formação Abaiara com arenitos finos a médios, com intercalações de folhelhos. Modificado de Assine (2007).

#### 2.4. Sequência pós rifte

A Formação Barbalha, depositada acima da Formação Abaiara representa o estágio inicial da sequência pós rifte (Neumann e Cabrera, 1999). Esta formação é composta por duas fácies: uma fácies basal, representada por uma associação fluvial, constituída por arenitos friáveis, micáceos com intercalações de folhelhos; e uma associação lacustre-deltáica, representada por arenitos finos de coloração amarelada a cinza e folhelhos acinzentados (Neumann e Cabrera, 1999). Na porção intermediária desta formação ocorre uma sequência lutítico-carbonática que Hashimoto *et al.* (1987) denominaram de Camadas Batateiras, uma

brecha calcária, que mostra em seus contatos basal e superior, folhelhos argilosos e pirobetuminosos, com estruturas de algas e níveis com coprólitos e ostracodes (Neumann e Cabrera, 1999).

As camadas mais fossilíferas da região, pertencem ao Grupo Santana, que deve a origem do seu nome de uma descrição inicial de Small (1913) com o nome de Calcário de Sant'Anna, referente às camadas laminadas da atual Formação Crato (Valença *et al.*, 2003). Vários estudos comprovam a existência de dois *fossilagerstätten* com características próprias na Bacia do Araripe, correspondendo as Formações Crato e Romualdo, ambas do Grupo Santana (ver, Maisey, 1991; Martill *et al.*, 2007 para uma revisão).

A Formação Crato é constituída principalmente por calcários micríticos laminados (Fig. 9), de cores cinza e creme com pseudomorfos de halita. O registro fossilífero é abundante e muito diversificado (Mabesoone e Tinoco, 1973) nesse depósito foram registrados insetos, ostracodes, crustáceos, aracnídeos, pequenos peixes (*Dastilbe*), outros vertebrados e vegetais fósseis em excelente estado de preservação (Assine, 2007). A Formação Crato (lacustre-carbonática) mais a parte superior da subjacente Formação Barbalha (deltaica) constituem a sequência lacustre aptiano-albiana da fase pós rifte da Bacia do Araripe (Neumann *et al.*, 2002).

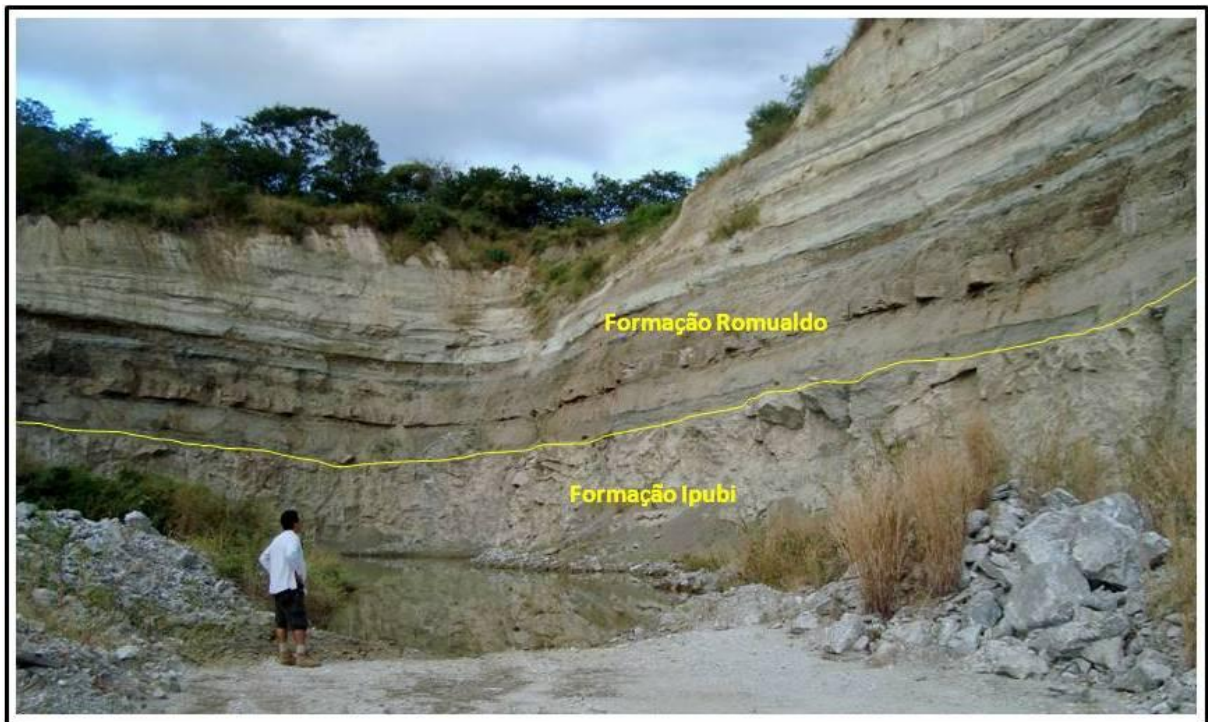


**Figura 9:** A) Vista geral do afloramento; B) Extração de calcário laminado para a construção civil.

Intermediária aos dois *fossilagerstätten*, está a Formação Ipubi (Valença *et al.*, 2003), que repousa sobre os calcários laminados da Formação Crato (Assine, 2007). A Formação Ipubi é composta principalmente por depósitos de gipsita, intercalados por folhelhos escuros, representando a fácies evaporítica do sistema lacustre Aptiano-Albiano da bacia (Neumann e Cabrera, 1999). Seu estudo se dá principalmente devido as camadas de evaporito que são

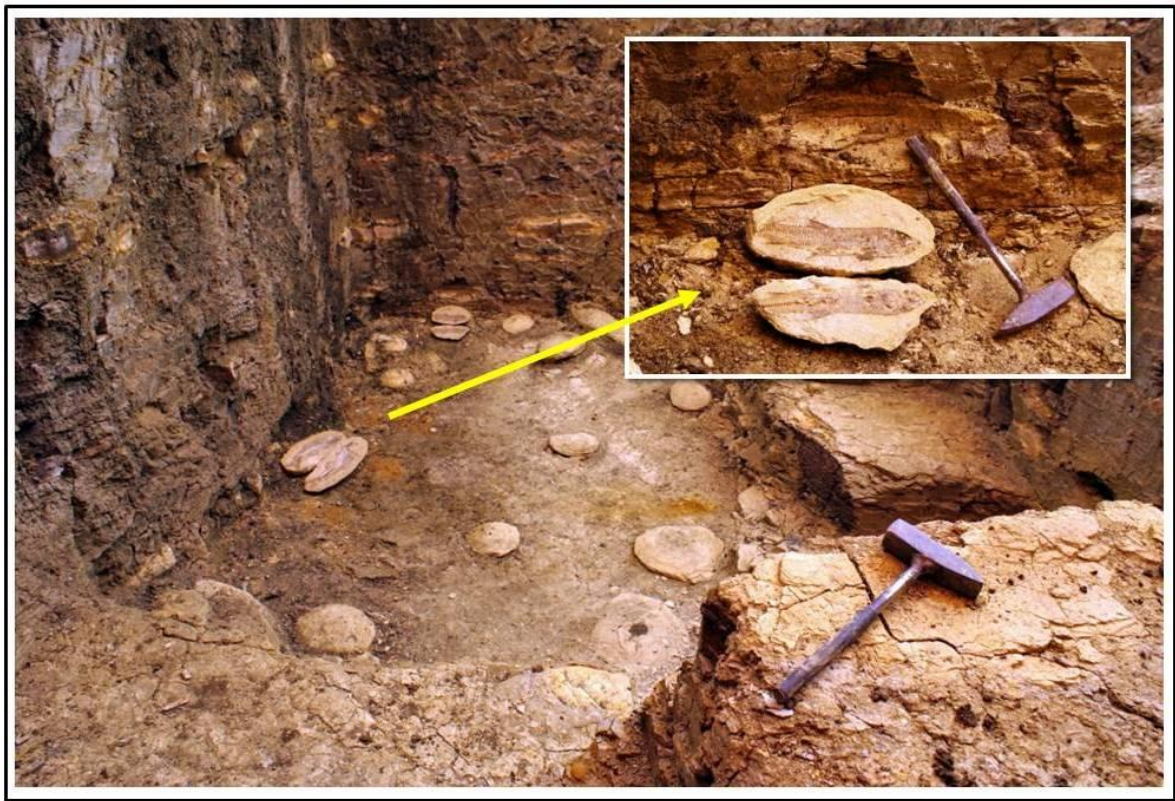


explorados para a extração de gipsita (Fig. 10) (Saraiva *et al.*, 2007). Seu conteúdo paleontológico, apesar de promissor, permanece ainda pouco estudado, apresentando poucos fósseis, em grande maioria peixes e vegetais, compactados nas camadas de folhelhos que compõem a formação (Carvalho e Santos, 2005), além de registros pontuais de tetrápodes como quelônios (Dentzien-Dias *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2011) e dinossauros terópodes (Sayão *et al.*, 2011).



**Figura 10:** Afloramento da Formação Ipubi na Mina Pedra Branca, município de Nova Olinda (CE), mostrando a discordância erosional que marca o contato entre as formações Ipubi e Romualdo.

Situada na porção superior do Grupo Santana, logo abaixo da Formação Araripina, a Formação Romualdo apresenta um perfil de rochas que variam desde folhelhos e margas fossilíferas, intercalações de níveis de calcários, gipsitas até arenitos friáveis (Neumann e Cabrera, 1999). A Formação Romualdo é constituída por folhelhos cinza-esverdeados com níveis de concreções carbonáticas, arenitos finos, calcários e níveis de folhelhos. As concreções são de calcário micrítico, finamente laminado, concordante com as lâminas de folhelhos que as contém (Neumann, 1999; Assine, 2007; Saraiva *et al.*, 2007). Dentro do pacote litológico da Formação Romualdo, os fósseis são encontrados não apenas nas concreções (Fig. 11), mas também nos folhelhos e margas que as envolvem (Kellner, 2002).



**Figura 11:** Visão geral da escavação realizada no Parque dos Pterossauros (Santana do Cariri – CE), onde é possível observar as concreções calcárias contendo fósseis, encaixadas nos folhelhos da assembleia fossilífera da Formação Romualdo.

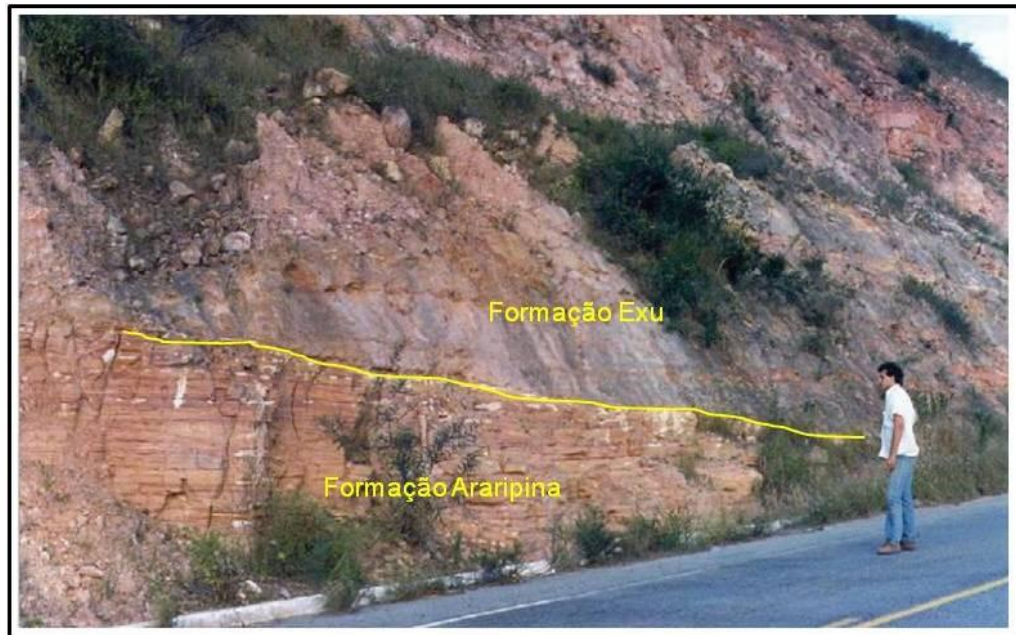
Seu ambiente de deposição é interpretado como sendo lagunar costeiro, com periódicas incursões marinhas, como sugerem os equinóides encontrados em nível acima dos ictiólitos (Beurlen, 1963; Mabesoone e Tinoco, 1973; Martill, 1993).

Logo acima da Formação Romualdo está depositada a Formação Araripina que, segundo Assine (1990), foi denominada para representar os sedimentos essencialmente terrígenos que ocorrem na base da Formação Exu. Essa formação é constituída por ritmitos compostos por arenitos finos e lamitos, de colorações avermelhadas, arroxeadas e amareladas, neles ocorrendo intercalados corpos lenticulares de arenitos médios a grossos, com espessuras que ultrapassam três metros (Assine, 2007). Exceto os palinórmorfos descritos por Lima (1978), não foram encontrados fósseis na unidade, cuja faciologia é condizente com sedimentação em planícies de leques aluviais (Valença *et al.*, 2003).

Os arenitos fluviais da Formação Exu recobrem em discordância erosiva a Formação Araripina em alguns locais, representando um novo evento tectono-sedimentar (Fig. 12) (Assine, 2007). É representada por uma sucessão de argila e arenito friável de diversas granulações, com a presença de estratificações cruzadas (Valença *et al.*, 2003). O ambiente deposicional sugerido para a Formação Exu é do tipo fluvial torrencial (Valença, 1987). Até o



momento, somente traços fósseis sem valor cronoestratigráfico foram encontrados na Formação Exu, de forma que sua idade ainda está por ser definida com mais precisão (Assine, 2007). Por correlação, a Formação Exu é posicionada no intervalo do Albiano ao Cenomaniano (Valença *et al.*, 2003).



**Figura 12:** Contato dos arenitos da Formação Exu (topo) com a Formação Araripina (base). Modificado de Assine (2007).

## 2.5. Área de estudo

A Formação Romualdo (Aptiano-Albiano) é um dos *fossillagerstätten* mais conhecidos do mundo e apresenta uma extensa história de descobertas (Maisey, 1991). As concreções calcárias contendo fósseis, em grande maioria peixes, característicos desta camada, são conhecidas desde o século XIX (Agassiz, 1841; Nobre 1978; Maisey 1991; Saraiva *et al.*, 2007).

Este nível é um importante marco estratigráfico, com continuidade lateral por toda a bacia (Fara *et al.*, 2005). As concreções carbonáticas da Formação Romualdo constituem o mais fossilífero nível estratigráfico da Bacia do Araripe (Assine, 1992; 2007; Mabesoone e Tinoco, 1973). No topo da Formação Romualdo, um nível de coquinas com a presença de moluscos marinhos e equinóides atesta um ambiente de condições marinhas (Beurlen, 1963; 1966; Martill, 1993; Sales, 2005).

Os afloramentos da Formação Romualdo estão localizados nas encostas da Chapada do Araripe, logo abaixo das camadas arenosas da Formação Araripina e, sobretudo, da Formação Exu, a uma cota de aproximadamente 700 m de altitude (Saraiva *et al.*, 2007). Sua seção tipo foi definida na Mina Pedra Branca (Nova Olinda – CE), havendo como localidades de referência o Sítio Romualdo (Crato – CE) e a Serra do Mãozinha (Missão Velha – CE) (Viana e Cavalcanti, 1991). Apresenta grande variação litológica e faciológica, sendo predominantemente composta por folhelhos calcíferos esverdeados (ricos em ostracodes) e margas, contendo concreções calcárias, frequentemente com macrofósseis (Cavalcanti e Viana, 1990; Viana e Cavalcanti, 1991; Assine, 1992; Kellner, 2002).

Praticamente no entorno de toda a Chapada do Araripe, na cota de aproximadamente 680 m, é possível encontrar concreções calcárias da Formação Romualdo, tanto no sul do Estado do Ceará como no noroeste de Pernambuco e leste do Piauí (Fara *et al.*, 2005). Entretanto, as que são mais abundantes e mais estudadas encontram-se nos municípios de Santana do Cariri, Crato, Jardim, Porteiras e Missão Velha, no estado do Ceará (Saraiva *et al.*, 2007).

Os fósseis preservados no núcleo das concreções calcárias estão, geralmente, não compactados e extremamente bem preservados, comumente documentando tecidos moles (Kellner, 2002). Os fósseis encontrados são especialmente peixes e ossos de tetrápodes pertencentes a vários grupos, como Crocodylomorpha (Price, 1959; Maissey, 1991; Riff *et al.*, 2010), Chelonia (Hirayama, 1998; Oliveira e Romano, 2007), Pterosauria (e.g. Kellner e Tomida, 2000; Kellner e Campos, 2002; Vila Nova e Sayão, 2012) e alguns dinossauros (Machado e Kellner, 2009). Além desses são conhecidos também invertebrados (Coimbra *et al.*, 2002), vegetais (Carvalho e Santos, 2005), assim como a provável ocorrência de âmbar (Castro *et al.*, 1970).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. **Objetivo Geral:**

Identificar taxonomicamente os fósseis de vegetais ocorrentes nos níveis de concreções calcárias, margas, níveis de “matracão”, folhelhos, e arenitos da Formação Romualdo, posicioná-los estratigraficamente e a partir de estudos morfológicos, traçar as características paleoambientais desta formação.

#### 3.2. **Objetivos Específicos:**

- Identificar taxonomicamente os fósseis de vegetais depositados nas coleções científicas e os coletados nas escavações controladas.
- Identificar taxonomicamente os fósseis de vegetais coletados nas camadas de arenito da Formação Romualdo.
- Verificar a posição estratigráfica dos fósseis de vegetais através das três escavações controladas realizadas nas cidades de Araripe, Santana do Cariri e Missão Velha, no Estado do Ceará, na Formação Romualdo, inferindo sobre o paleoambiente desta formação.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desta dissertação foram utilizados 39 espécimes vegetais depositados em coleções de fósseis, 58 coletados em escavações controladas e 1 coletados em afloramento da Formação Romualdo. A localização e o controle estratigráfico daqueles coletados *in situ* foram determinados através de perfis de “fina escala” (seguindo a metodologia proposta por Fara *et al.*, 2005). Os fósseis provenientes das escavações controladas foram coletados durante os trabalhos de campo do projeto “*Estudos sistemáticos e paleoecológicos da fauna vertebrados das formações Crato e Romualdo (Grupo Santana) da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*”. Seu desenvolvimento se deu em quatro etapas conforme descritas a seguir.

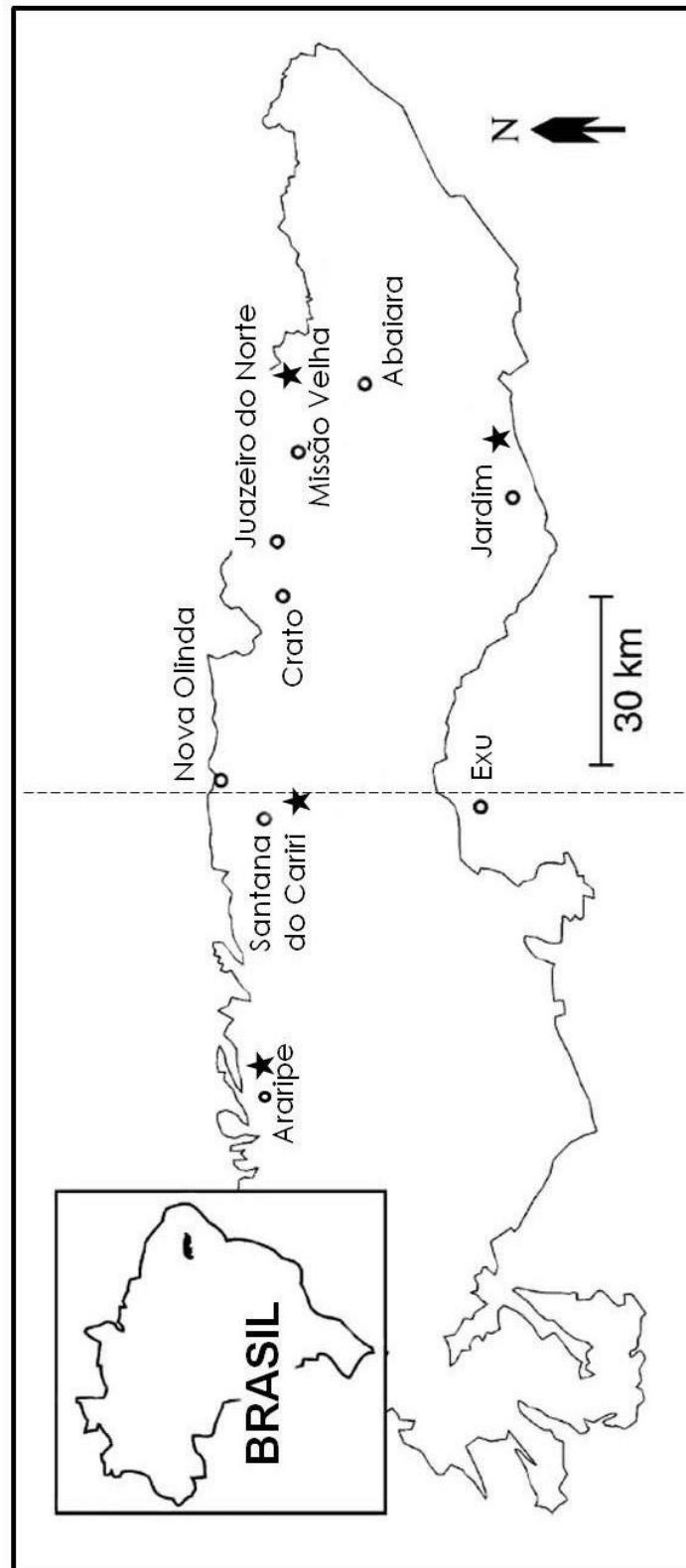
### 4.1. Material estudado

Os espécimes aqui estudados pertencem às coleções científicas do Laboratório de Paleontologia da Universidade Regional do Cariri (LPU), do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri (MPSC) e do Museu de Ciências Naturais e de História Barra do Jardim (MCNHBJ). Os exemplares do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri estão catalogados sob a sigla MPSC PL #, os espécimes do Laboratório de Paleontologia da URCA estão catalogados sob a sigla LPU # PL e os espécimes do Museu de Ciências Naturais e de História Barra do Jardim estão catalogados com a sigla MCNHBJ #. Seus respectivos números de coleção e a identificação taxonômica encontram-se relacionados na sistemática paleontológica.

### 4.2. Trabalho de campo

Para a execução deste trabalho, foram realizadas três escavações controladas nas localidades: Geossítio Parque dos Pterossauros (Santana do Cariri – CE), Sítio Baixa Grande (Araripe – CE) e Distrito Jamararu (Missão Velha – CE), abrangendo tanto a parte leste (sub-bacia Feira Nova), como também a parte oeste (sub-bacia Cariri) da Bacia do Araripe, áreas de deposição bastante distintas (Fig. 13). Além desses procedeu-se também uma coleta georreferenciada no Sítio Sobradinho, cidade de Jardim. Em cada nível foi procedida a descrição das características litológicas e paleontológicas. Para a terminologia de

identificação dos níveis utilizou-se as propostas de Fara *et al.* (2005) seguida por Vila Nova *et al.* (2011).



**Figura 13:** Mapa da Bacia do Araripe, indicando com uma estrela as escavações em Araripe, Santana do Cariri e Missão Velha e coleta em Jardim, na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Modificado de Fara *et al.* (2005).

### 4.3. Preparação mecânica

Os fósseis coletados foram preparados mecanicamente nas dependências do Laboratório de Paleontologia da URCA e os espécimes depositados no Museu de Paleontologia de Santana do Cariri foram preparados no próprio museu.

O método utilizado para a preparação dos espécimes foi estritamente mecânico utilizando a metodologia descrita por Fairon-Demaret *et al.* (1999), chamada “*degagement*”, que consiste no descobrimento de partes fósseis ainda envolvidas pela matriz. Primeiramente o fóssil foi desbastado com pequenas ponteiros de aço, com um auxílio de martelo pena, retirando uma parte da rocha matriz, sem se aproximar dos fósseis (Fig. 14).



**Figura 14:** Preparação mecânica dos fósseis utilizando martelo e ponteira.

Nesta etapa, foi possível preparar as estruturas mais delicadas sob uma lupa de braço articulado com amplificação de 10x. Em todo o processo de preparação, o fóssil foi recoberto com resina *Paraloid®* B-72/ Acryloide B-72, um copolímero de etilmetacrilato e metilacrilato que, solubilizado em acetona é fundamental para que seja conferida uma maior resistência aos fósseis. Eventuais quebras ocorrentes durante a preparação foram reparadas através da utilização de adesivo a base de cianoacrilato (adesivo instantâneo universal).

### 4.4. Identificação taxonômica e comparação

O estudo taxonômico deu-se pela observação a olho nu, em lupa binocular (OPTON, Modelo TIM 30) e fotografias digitais, a partir dos quais foram realizadas medições com paquímetro e descrições.

Previamente, foi realizado um levantamento bibliográfico das características utilizadas por diferentes autores, para a descrição de cada parte vegetal, a fim de facilitar a comparação dos espécimes estudados com aqueles descritos na literatura. A sistemática supragenérica segue Stewart e Rothwell (1993).

Foram realizadas ainda, visitas a coleção de fósseis do Setor de Paleontologia do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM Distrito Rio de Janeiro) e a coleção de fósseis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) para comparar os fósseis em estudo com os holótipos relacionados.

Os vegetais fósseis do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri foram os primeiros a serem estudados e comparados, alguns ainda estavam sem identificação taxonômica e após este trabalho foram devidamente identificados. Lima *et al.* (2012) reportaram alguns espécimes de vegetais fósseis da Formação Romualdo desta coleção, em uma revisão sobre a paleoflora da Bacia do Araripe, ressaltando a sua importância. Aqui foram analisados 29 espécimes (Fig. 15). O Museu de Ciências Naturais e de História Barra do Jardim guarda poucos fósseis na sua coleção, mas possui espécimes de vegetais fósseis da Formação Romualdo, aqui, foram analisados nove espécimes, alguns inclusive, bem preservados.

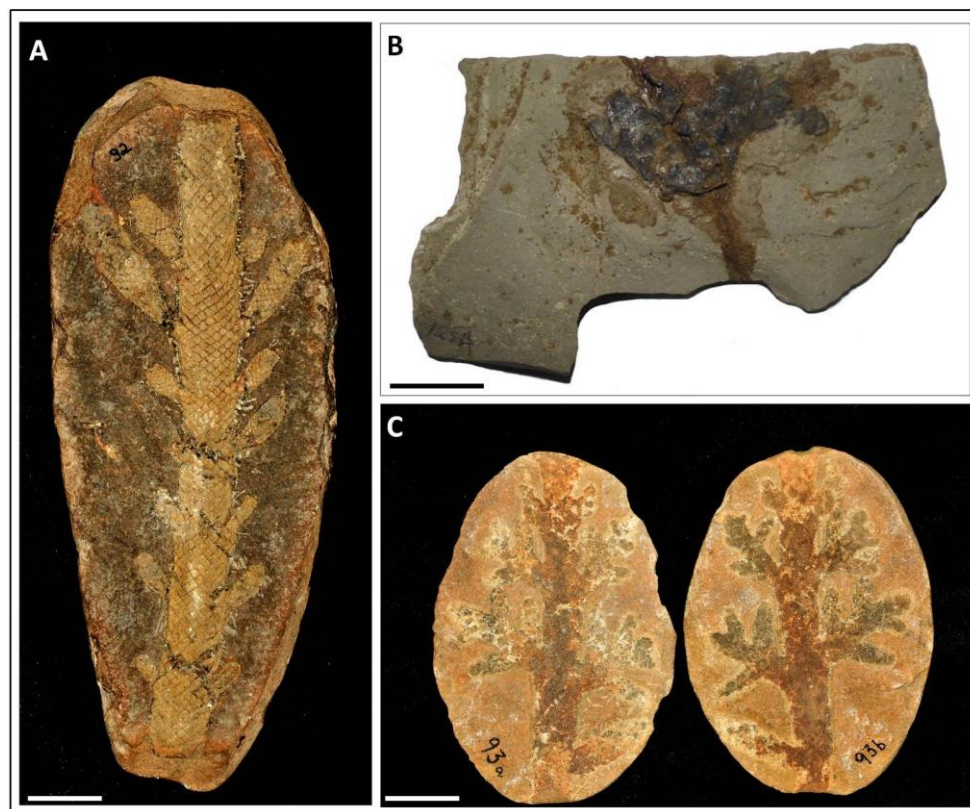


**Figura 15:** Vegetais fósseis do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri sendo analisados.



A visita à coleção de paleontologia do DNPM (Rio de Janeiro) foi realizada com o intuito de comparar os espécimes encontrados nas escavações com os espécimes descritos por Duarte (1985). Neste trabalho foram citados os primeiros fósseis de vegetais da Formação Romualdo, pouco tendo sido feito a partir daí para um melhor conhecimento da paleoflora Romualdo. Dos espécimes descritos por Duarte (DGM 1294 Pb, *Brachyphyllum obesum*; DGM 1298 Pb, *Podozamites lanceolatus*; DGM 1299 Pb, DGM 1300 Pb, DGM 1301 Pb, , *Choffatia francheti* e DGM 1302 Pb, DGM 1303 Pb, DGM 1304 Pb, *Klitzschophyllites flabellatus*) apenas o espécime DGM 1294 Pb foi encontrado na coleção, os demais não foram localizados pelos curadores.

Por último, foi realizada uma visita à coleção de vegetais fósseis da UERJ, com o mesmo propósito de comparar os espécimes descritos por Duarte (1985) com os encontrados nas escavações. Essa coleção é de extrema importância, pois guarda o único holótipo de vegetal registrado para a Formação Romualdo. Na ocasião, dos espécimes descritos em 1985 por Duarte (N. 93 Pb., *Brachyphyllum castilhoi* e N. 94 Pb., N. 92 Pb., *Brachyphyllum obesum*), puderam ser analisados os espécimes N. 93 Pb e N. 92 Pb (Fig. 16), o espécime N. 94 Pb não foi localizado.



**Figura 16:** A) N. 93 Pb., holótipo de *Brachyphyllum castilhoi*; B) DGM 1294 Pb, *Brachyphyllum obesum*; C) N. 93 Pb, *Brachyphyllum obesum*. Escala: 2 cm.



## 5. RESULTADOS

Aqui serão apresentados os resultados inerentes à pesquisa e coleta de dados, realizada nos locais específicos da Formação Romualdo. Os primeiros trabalhos similares foram iniciados a partir dos fósseis encontrados nas camadas desta formação (Fara *et al.*, 2005; Saraiva *et al.*, 2007; Vila Nova *et al.*, 2011), onde foram identificados marcos bioestratigráficos a partir de escavações controladas que dão importantes informações sobre a variação, composição e abundância da fauna e flora.

### 5.1. Sistemática paleontológica

A sistemática paleobotânica tenta ajustar-se ao sistema de classificação dos vegetais da sistemática botânica atual. Esta sistemática estabelece uma organização natural dos vegetais, baseada nas relações evolutivas verdadeiras, identificando linhagens de organismos ou clados que, independentemente de outros clados, atingiram algumas vantagens evolutivas (Sucerquia, 2006). Diferente da sistemática botânica, a paleobotânica se baseia nos vegetais preservados fragmentados, geralmente, órgãos isolados ou parte deles e, excepcionalmente, órgãos vegetais conectados.

A sistemática supra-genérica utilizada neste trabalho segue a estabelecida por Stewart e Rothwell (1993). A sequência tem um caráter cronológico e tenta inserir a flora fóssil dentro da sistemática dos grupos vegetais estabelecidos para a flora vivente.

Foram identificados 115 exemplares, destes, 3 pertencem a espécie *Podozamites lanceolatus*, 42 a espécie *Brachyphyllum obesum*, 4 a espécie *Brachyphyllum castilhoi*, 63 a espécie *Pseudofrenelopsis* sp., 1 a espécie *Welwitschiophyllum brasiliense* e 2 a espécie *Welwitschiostrobus murili* (ver anexo 1).

Classe CONIFEROPSIDA

Ordem CONIFERALES

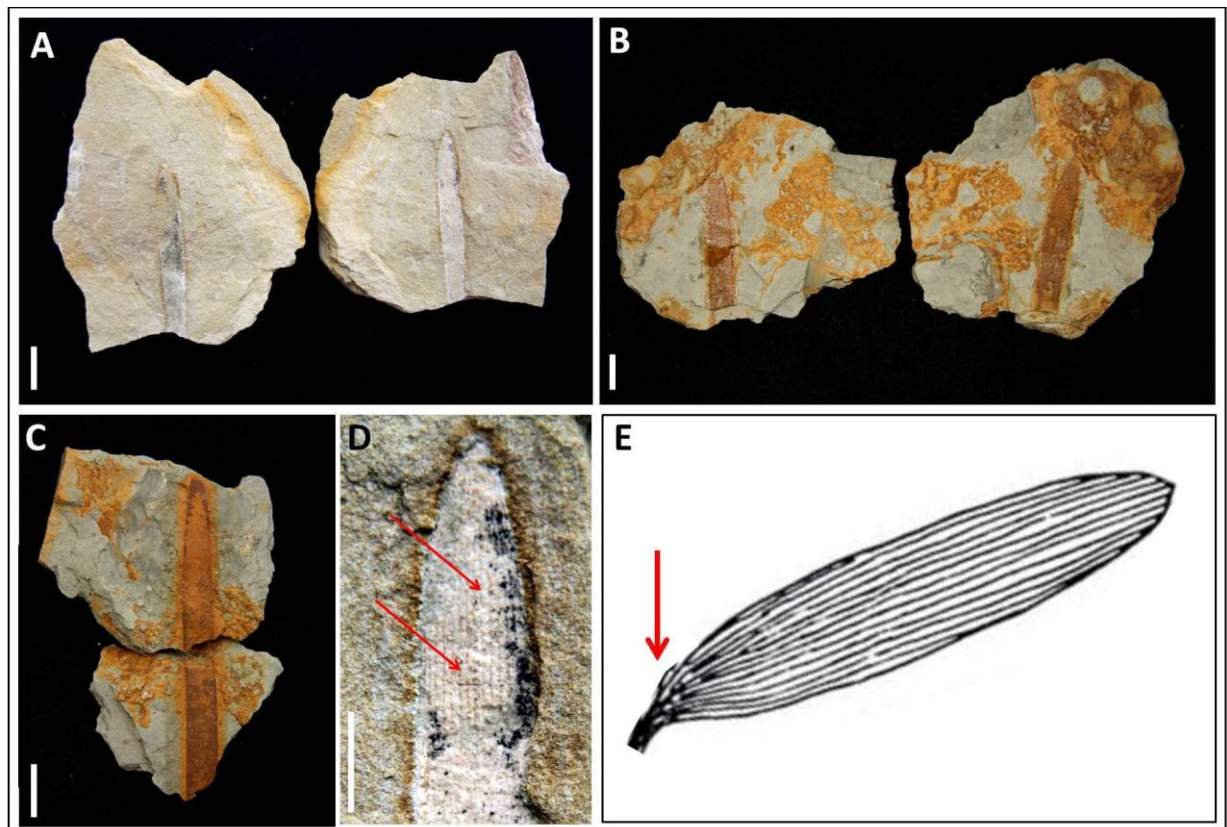
*Podozamites lanceolatus* (Lindley e Hutton, 1836) Braun, 1843

(Figura 17)

**Procedência:** Fósseis preservados em folhelho e no nível “matracão II” da Formação Romualdo, coletados no Sítio Baixa Grande, Araripe – CE.

**Descrição:** O gênero *Podozamites* foi criado por Braun (1843) e revisto por Schimper (1870). Este gênero é representado por folhas compostas, folíolos distantes e alternos, constritos em direção à base. As nervuras divergem na base dos folíolos, quase paralelas nas porções mediana e apical. Segundo Schimper (1870) as folhas de *Podozamites* são medianas e fixas na raque tênue. A espécie *Podozamites lanceolatus* apresenta folíolos distanciados, alternos a opostos alongados, com a base gradualmente estreita, lanceolada linear, a parte superior do folíolo é alongado-elíptico e as nervuras são espessas.

O espécime melhor preservado é LPU 737 PL que foi encontrado no nível de “matracão”. Possui uma coloração esbranquiçada e sua preservação provavelmente deu-se por substituição. Este espécime se caracteriza por um folíolo oblongo linear com 88,49 mm de comprimento por 11,95 mm de largura. As nervuras são em número de 13, formando arcos leves que se tornam paralelas na região mediana e convergem no ápice arredondado que mede 6,29 mm de largura.



**Figura 17:** Espécimes de *Podozamites lanceolatus*. A) Espécime melhor preservado, LPU 737 PL; B) LPU 727 PL; C) LPU 726 PL; D) Detalhe das nervuras preservadas em LPU 737 PL; E) Ilustração de *Podozamites lanceolatus*, mostrando a base ausente nos fósseis encontrados. Escala: 2 cm.

Os outros espécimes, LPU 727 PL e LPU 726 PL, encontrados em níveis de folhelho, possuem uma coloração amarronzada, provavelmente resultado da substituição por óxido de ferro. O fóssil LPU 727 PL é constituído por um folíolo com 56,55 mm de comprimento por 10,98 mm de largura, as nervuras são em número de 13, paralelas na região mediana e convergem no ápice arredondado (6,54 mm de largura). O fóssil LPU 726 PL, é constituído de um folíolo com 109,7 mm de comprimento por 11,27 mm de largura, as nervuras são em número de 13, paralelas na região mediana e convergem no ápice arredondado (6 mm de largura). Os espécimes estudados não possuem a base do folíolo preservada.

#### Família CHEIROLEPIDIACEAE

*Brachyphyllum obesum* Heer, 1881

(Figura 18)

**Procedência:** Fósseis preservados em folhelho, marga e concreção calcária da Formação Romualdo, coletados nas localidades Sítio Baixa Grande (Araripe – CE) e Geossítio Parque dos Pterossauros (Santana do Cariri – CE). Os espécimes que pertencem à coleção de fósseis do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri e ao Museu de Ciências Naturais e de História Barra do Jardim, o local de coleta é desconhecido.

**Descrição:** O gênero *Brachyphyllum* é considerado por muitos autores como membro da Família Cheirolepidiaceae (por exemplo, Srivastava, 1976; Watson, 1988) e por outros, como parte da Família Araucariaceae (Hollick e Jeffrey, 1906; Kendall, 1949; Harris, 1979; Kunzmann *et al.*, 2004), mas ainda são necessárias evidências adicionais para atribuí-lo seguramente a uma família (Watson, 1988), aqui é considerada a afinidade com a Família Cheirolepidiaceae devido a sua presença no Cretáceo Inferior. Este gênero foi definido por Brongniart (1828) para coníferas. De acordo com Harris (1979) agrupa ramos de coníferas com folhas escamiformes em arranjo espiralado. As folhas são adpressas, com a parte livre ou a folha inteira, de comprimento menor do que a largura total dela. Duarte (1985) verificou que a dicotomização dos ramos não deve ser levada em consideração, visto que esta difere de acordo com o estágio de maturação dos indivíduos.

Saporta (1894) descreveu a espécie *Brachyphyllum obesum* para diferentes localidades de Portugal, com folhas arranjadas helicoidalmente com um ápice e estrias longitudinais na superfície.

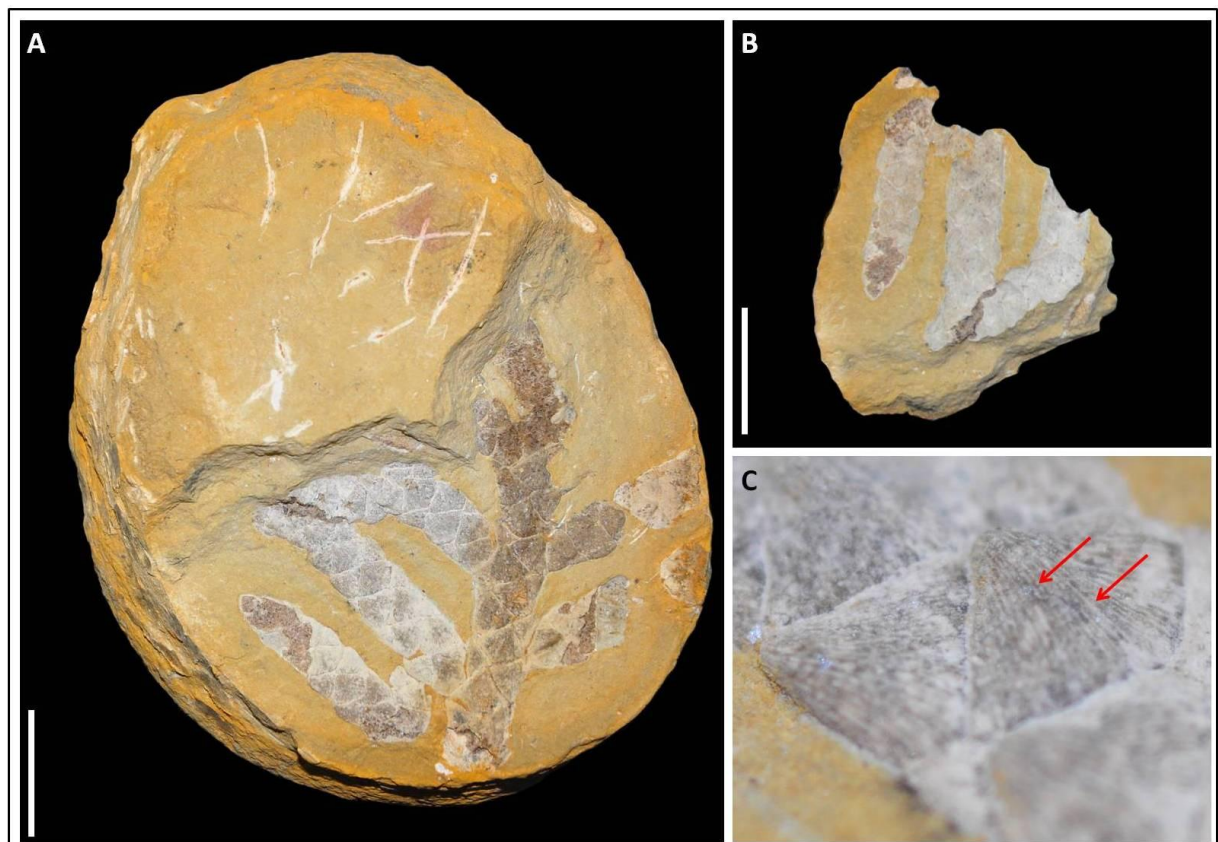


**Figura 18:** Espécimes de *Brachyphyllum obesum*, variando em tamanho e tipo de preservação. A) LPU 765 PL preservado em concreção; B) LPU 762 PL preservado em marga; C) MPSC PL 543; D) MPSC PL 1022; E) LPU 723 PL preservado em folhelho; F) MPSC PL 1178; G) LPU 721 PL; H) MPSC PL 545 completamente recristalizado. Escala: 2 cm.

O espécime melhor preservado é o LPU 767 PL, sua preservação é quase tridimensional e provavelmente deu-se por substituição. Foi encontrado em uma concreção calcária na escavação de Araripe, sua coloração é esbranquiçada (Fig. 19). LPU 767 PL corresponde a ramos folhosos não terminais, com ramificação monopodial e pinada até duas ordens. Neste, o ramo principal mede 76,01 mm de comprimento e 10 mm de largura na parte proximal, que vai se estreitando, progressivamente, em direção à parte distal até atingir 9,1 mm de largura, próximo ao ápice. O ramo principal ramifica-se num único plano. Todos os



ramos portam folhas densamente dispostas em filotaxia espiralada, com duas folhas em cada faixa oblíqua. As folhas são escamiformes em forma de rombo, sendo as basais assimétricas e as apicais simétricas, de base e ápice agudos. As folhas localizadas na porção mais proximal do ramo medem 6,1 mm de comprimento por 9 mm de largura máxima, as folhas menores medem aproximadamente 5,1 mm de comprimento e 3,2 mm de largura, existindo folhas de tamanho transicional entre estes dois tipos. Ao analisar os outros espécimes identificados como *Brachyphyllum obesum*, foi possível observar uma variação no tamanho e tipo de preservação.



**Figura 19:** A) Espécime melhor preservado de *Brachyphyllum obesum* (LPU 767 PL); B) Parte fragmentada da concreção ao ser aberta; C) O detalhe mostra a excelente preservação das folhas com destaque para as nervuras. Escala: 2 cm.

#### Família CHEIROLEPIDIACEAE

*Brachyphyllum castilhoi* Duarte, 1985

(Figura 20)

**Procedência:** Fósseis preservados em folhelho, marga e concreção calcária da Formação Romualdo, coletados na localidade Geossítio Parque dos Pterossauros, Santana do

Cariri – CE. O espécime MPSC PL 528 pertence à coleção de fósseis do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri e o local de coleta é desconhecido.



**Figura 20:** Espécimes de *Brachyphyllum castilhoi*. A) MPSC PL 528; B) LPU 761 PL; C) LPU 342 PL; D) LPU 749 PL. Escala: 2 cm.

**Descrição:** Segundo Duarte (1985) a espécie *Brachyphyllum castilhoi* apresenta ramos largos, pinados regularmente, cobertos completamente por folhas pequenas em número de dez por fileira, losangulares, agudas e lisas. A margem é inteira, o ápice foliar anguloso e os ramos são claviformes cobertos por folhas menores, em número de oito.

O espécime melhor preservado é o MPSC PL 528, este fóssil encontra-se em uma concreção calcária, tendo sua fossilização ocorrida por substituição. Consiste em um ramo

monopodial de até duas ordens, o ramo maior tem 164,02 mm de comprimento por 20,8 mm de largura e o ramo menor tem 100,4 mm de comprimento por 20 mm de largura, recobertos completamente por escamas foliares rômbricas, do tipo parástico, folhas pequenas, em número de dez em cada faixa que é possível observar, são densamente imbricadas, de superfície lisa, com uma carena central e ápice anguloso. As folhas medem 7 mm de largura por 10 mm de altura, decrescendo nos ramos e se tornando diminutas no ápice dos mesmos.

Os espécimes LPU 342 PL e LPU 749 PL foram encontrados em níveis de folhelho da Formação Romualdo e a preservação se deu apenas por substituição da matéria orgânica por óxido de ferro, assim como ocorreu com o espécime LPU 761 PL, mas que foi encontrado no nível de marga desta formação. LPU 342 PL são apenas fragmentos dos ramos preservados com folhas pequenas, em número de 11 em cada faixa, embora as margens não estejam bem preservadas. LPU 749 PL são quatro ramos de *Brachyphyllum castilhoi* que foram preservados na mesma rocha, o mesmo ocorreu com o espécime LPU 761 PL que possui 11 ramos de *Brachyphyllum castilhoi* preservados na marga.

#### Ordem CONIFERALES

##### Família CHEIROLEPIDIACEAE

*Pseudofrenelopsis* Nathorst (1893) emend. Watson (1974)

*Pseudofrenelopsis* sp.

(Figura 21)

**Procedência:** Fósseis preservados em folhelho e concreção calcária da Formação Romualdo, coletados na localidade Jamararu, distrito de Missão Velha/CE. Os espécimes das coleções de fósseis a procedência é desconhecida.

**Descrição:** O gênero *Pseudofrenelopsis* é amplamente distribuído na Ásia, América do Norte e Europa (Fontaine, 1889; Watson, 1974; 1977; 1988; Cao, 1989; Axsmith e Jacobs, 2005; Axsmith, 2006). Foram inicialmente designadas como *Frenelopsis* Schenk e posteriormente Nathorst (1893) criou o gênero *Pseudofrenelopsis* para fósseis do Cretáceo Inferior, na localidade de Tlaxiaco, no México.

Dentro do gênero *Pseudofrenelopsis* foram inseridas muitas das espécies descritas anteriormente como *Frenelopsis* (Alvin, 1977; Watson, 1977) evidenciando a dificuldade para delimitar estes dois gêneros. Algumas características podem ser diagnósticas para estabelecer



essa diferença, como a presença de entrenós com bases de folhas não soldadas, indicando claramente uma afinidade com *Pseudofrenelopsis*, mas a fusão das folhas está presente tanto nesse gênero quanto em *Frenelopsis* (Srinivasan, 1995). No geral, as folhas em *Frenelopsis* se encontram em verticilos de três e raramente de duas, *Pseudofrenelopsis* possui uma única folha por nó e as folhas formam uma espiral simples ao longo do ramo (Watson, 1977).



**Figura 21:** Espécimes de *Pseudofrenelopsis* sp. A) MCNHB 152; B) Detalhe do espécime MCNHB 152, mostrando a folha inserida no caule; C) LPU 666 PL; D) LPU 696 PL; E) LPU 684 PL; F) LPU 640 PL; G) LPU 644 PL; H) LPU 766 PL; I) MPSC PL 2206. Escala: 2 cm.



O espécime melhor preservado é MCNHB 152 que se encontra preservado em uma concreção calcária. Sua coloração é esbranquiçada e a preservação provavelmente deu-se por substituição. Consiste em um caule folhoso articulado, na amostra está ramificado quatro vezes, sendo mais monopodial do que dicotômico. Nessa amostra, as distâncias entre as ramificações são de 120,21 mm entre a mais inferior e a seguinte, de 40,30 mm entre a segunda e a terceira e de 50,30 mm entre a terceira e a quarta. O caule principal mede desde a base até a última ramificação 198,32 mm e tem 12,74 mm de largura. O caule e ramos são segmentados, portando geralmente uma folha por nó, escamiforme e soldada na base constituindo o internó, com sua parte livre adpressa, de forma triangular medindo 2 mm de altura. A filotaxia dos segmentos não está bem definida, parecendo helicoidal.

Alguns espécimes como LPU 619 PL e LPU 640 PL, apresentam numerosas fileiras longitudinais de estômatos. Os fósseis encontrados nas concreções calcárias estão melhor preservados dos que os encontrados nos níveis de folhelhos, porém todos os espécimes de *Pseudofrenelopsis* sp. estão fragmentados.

#### Ordem GNETALES

#### Família WELWITSCHIACEAE

*Welwitschiophyllum brasiliense* Dilcher, Bernardes-de-Oliveira, Pons e Lott, 2005

(Figura 22)

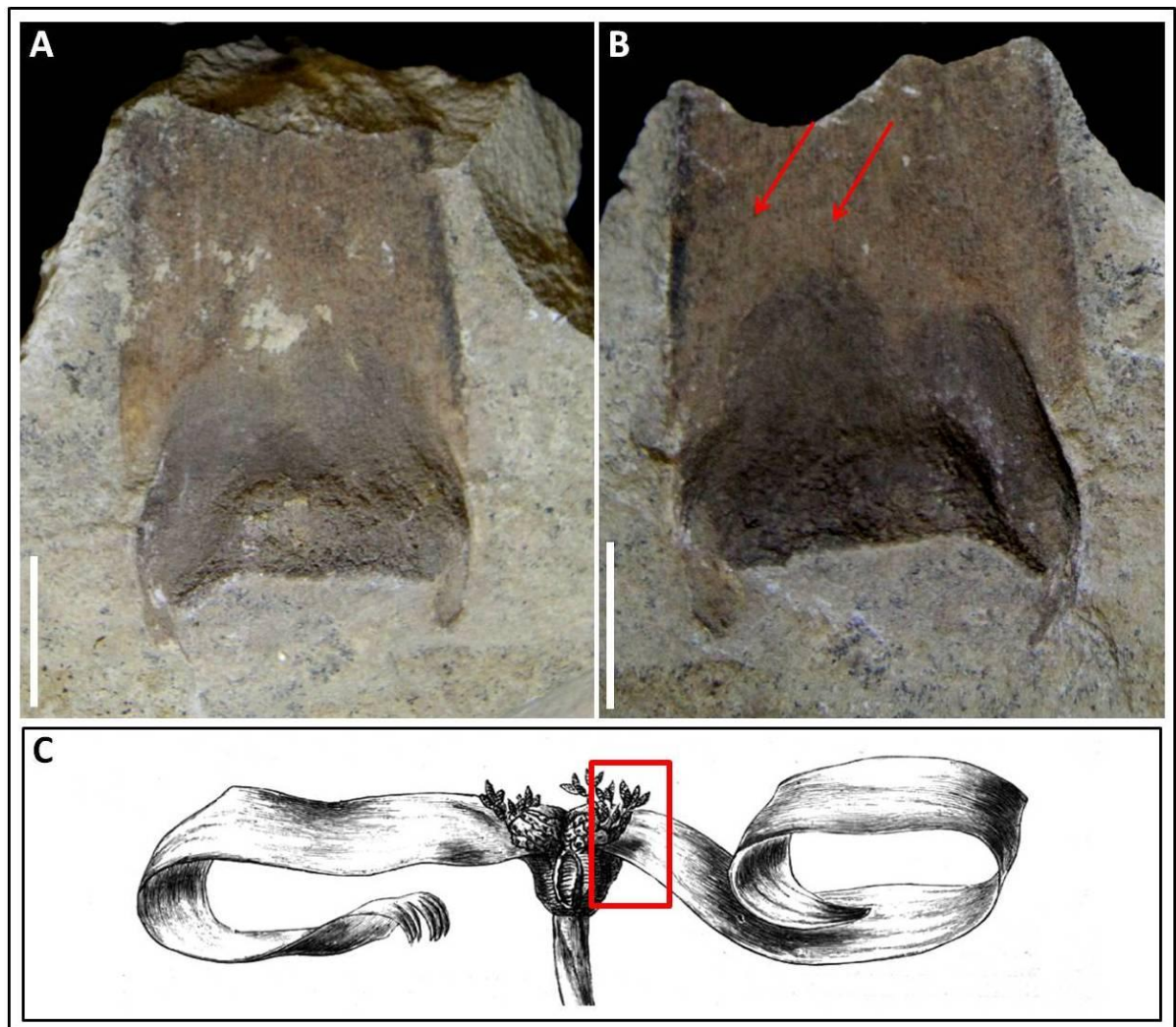
**Procedência:** Fóssil preservado em concreção calcária da Formação Romualdo, depositado na coleção de fósseis do Museu de Paleontologia de Santana do Cariri, sem informações sobre sua procedência.

**Descrição:** Dilcher *et al.* (2005) descreveram sete folhas completas isoladas de comprimento indefinido, curtas ou alongadas, triangular a linear, de *Welwitschiophyllum brasiliense* preservadas no calcário laminado da Formação Crato, Bacia do Araripe. Este foi o primeiro registro foliar de gnetales para a Bacia do Araripe.

*Welwitschiophyllum brasiliense* apresenta folha isolada de comprimento indefinido, margem inteira, simetria isobilateral, coriáceo, com numerosos feixes vasculares subparalelos, geralmente com alta densidade de venação. A largura máxima da base é curvada/enrolada.

MPSC PL 597 é o único espécime que foi identificado como *Welwitschiophyllum brasiliense*. É uma folha parcialmente preservada, linear, com 80 mm de comprimento e 49,54

mm de largura. A lâmina foliar é aparentemente grossa de textura coriácea e a base é curvada a semicircular onde o tecido se estende para baixo para formar a curva. A primeira nervura é subparalela e as nervuras secundárias são equidistantes com um espaço menor que 1 mm. A preservação da folha permite obter uma contagem aproximada das nervuras, que neste espécime são 67 nervuras, não é possível observar o comprimento total da folha, pois o espécime encontra-se fragmentado próximo à base foliar.



**Figura 22:** A) Espécime de *Welwitschiophyllum brasiliense* (MPSC PL 597); B) Detalhe das nervuras preservadas; C) Reconstrução de *Welwitschia mirabilis*, representante atual das Welwitschiaceae, com destaque para a base foliar semelhante à *Welwitschiophyllum brasiliense* (Modificado de La Graine, 1878). Escala: 2 cm.

Classe GNETOPSIDA

Ordem GNETALES

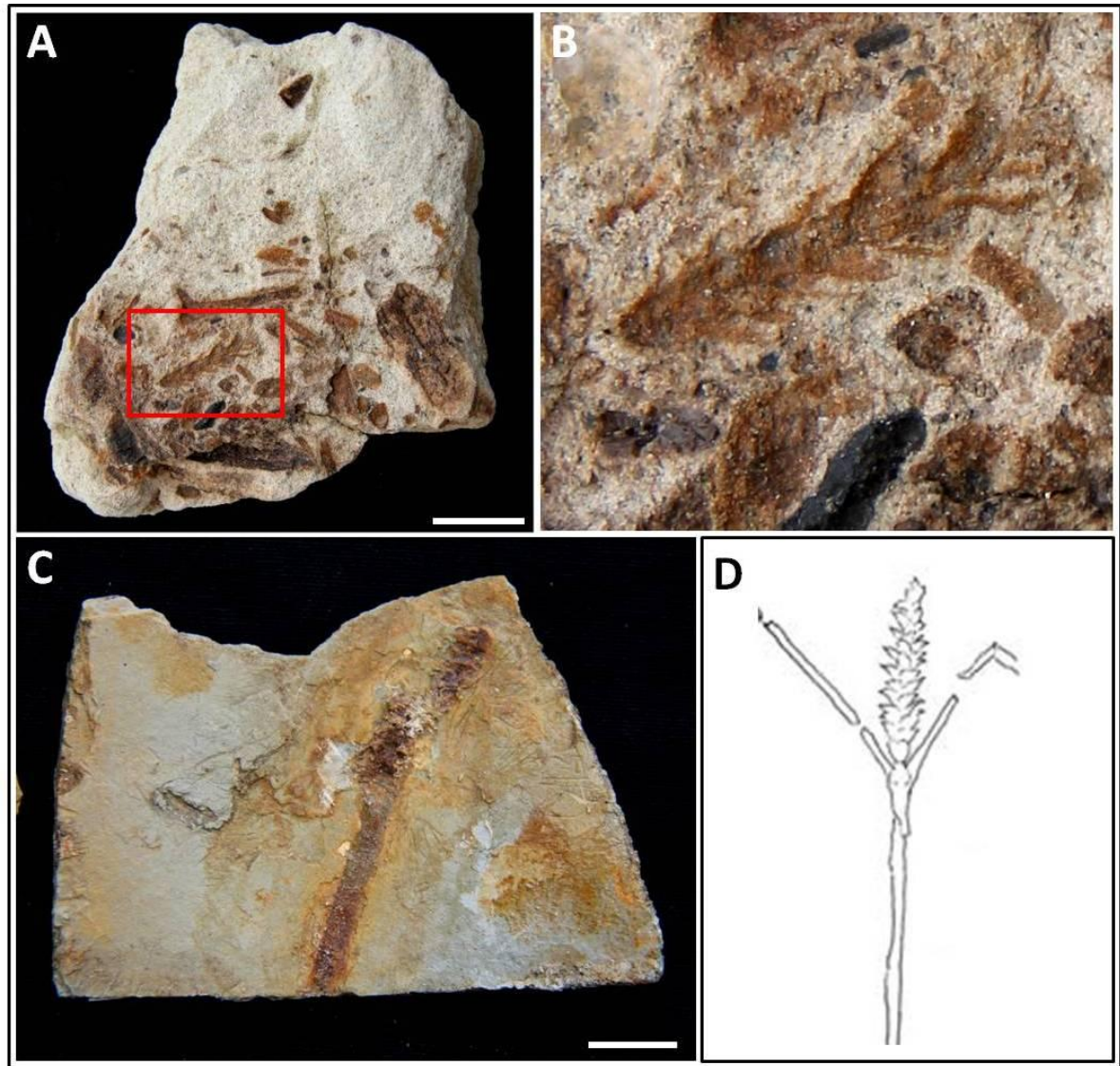
Família WELWITSCHIACEAE

*Welwitschiostrobus murili* Dilcher, Bernardes-de-Oliveira, Pons e Lott, 2005

(Figura 23)

**Procedência:** Fósseis preservados no arenito e folhelho da Formação Romualdo, coletados no Sítio Sobradinho - Jardim/CE (Arenito) e Sítio Baixa Grande - Araripe/CE (folhelho).

**Descrição:** Dilcher *et al.* (2005) descreveram eixos portando cones reprodutivos masculinos de *Welwitschiostrobus murili* para a Formação Crato, sendo a primeira vez que essas estruturas foram descritas para a Bacia do Araripe.

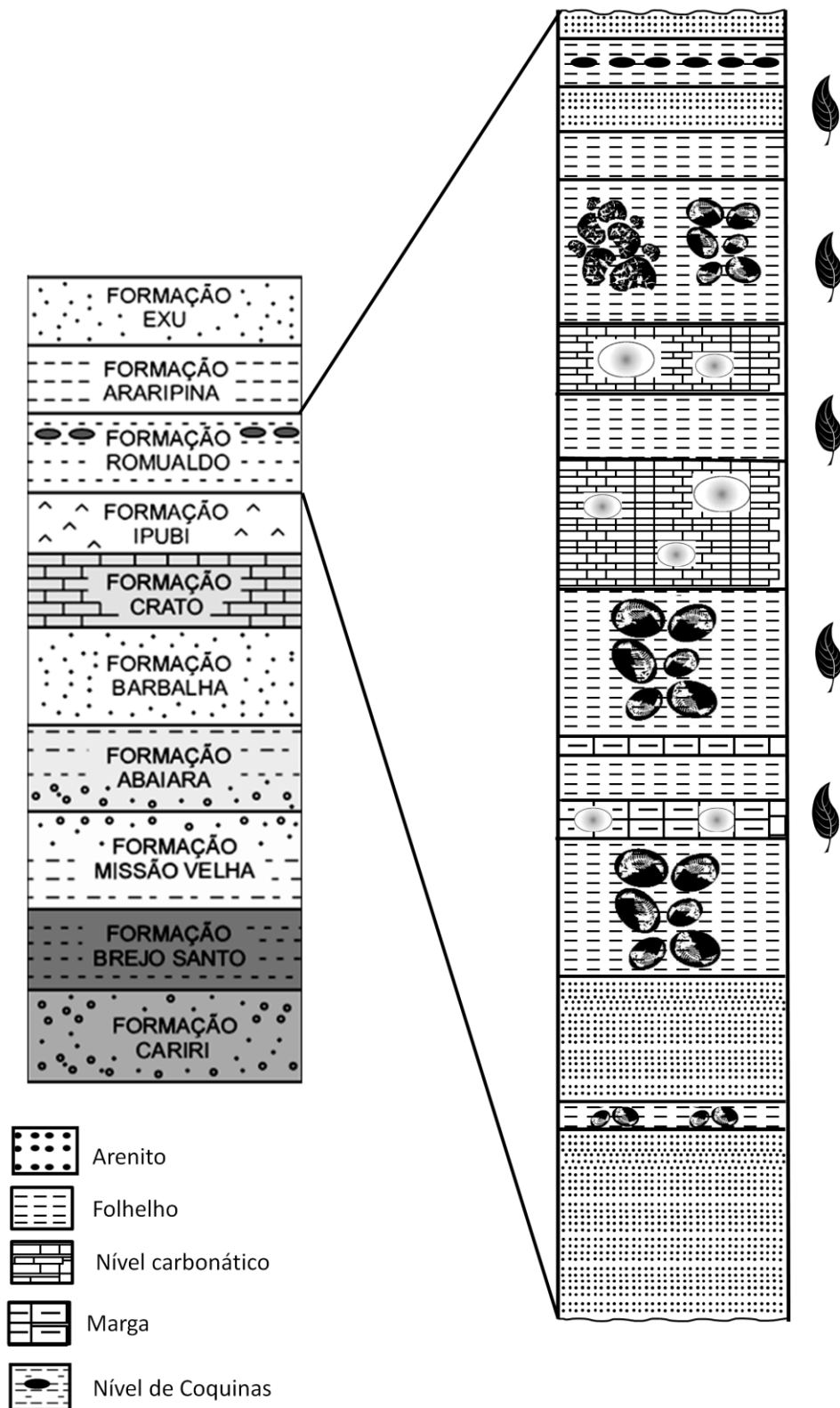


**Figura 23:** Espécimes de *Welwitschiostrobus murili*. A) Vegetais fósseis preservados no arenito com detalhe para o cone de *Welwitschiostrobus murili* (LPU 101 PL); B) Impressão do cone (LPU 101 PL); C) Espécime LPU 745 PL preservado no folhelho; D) Ilustração de *Welwitschiostrobus murili* (Modificado de Friis *et al.*, 2011). Escala: 2 cm.

Os espécimes foram identificados como cones reprodutivos, com um padrão de escamas decussadas emparelhadas. O espécime melhor preservado é o LPU 101 PL, que está preservado em um arenito bastante friável junto com outros fragmentos de vegetais não identificáveis. Este espécime tem 30 mm de comprimento e 7,2 mm de largura onde é possível observar as escamas com vértice agudo. O espécime LPU 745 PL está mal preservado e não é possível observar maiores detalhes, mas este cone está conectado ao ramo aparentemente terminal e mede 20,2 mm de comprimento e 7,1 mm de largura.

## **5.2. Posicionamento estratigráfico**

Na última década foram realizadas algumas escavações controladas nas camadas fossilíferas da Formação Romualdo, como mostram os trabalhos de Fara *et al.* (2005), Saraiva *et al.* (2007) e Vila Nova *et al.* (2011). Assim como em trabalhos anteriores, aqui os perfis foram elaborados com base na observação da disposição das camadas durante as escavações. Para compreender a diversidade fossilífera nas localidades estudadas aqui, foram descritos os horizontes contendo fósseis a partir da base para o topo (Fig. 24). Algumas camadas mostram as mesmas características e divisões daquelas propostas por Fara *et al.* (2005), adotadas em trabalhos subsequentes, trazendo assim uma estabilidade em sua utilização quando empregadas escavações controladas na Bacia do Araripe (Vila Nova *et al.*, 2011).



**Figura 24:** Perfil litoestratigráfico da Bacia do Araripe com destaque para o perfil da Formação Romualdo, mostrando os níveis onde ocorrem os vegetais fósseis, representados pela folha. Perfis fora de escala.



- Geossítio Parque dos Pterossauros (Santana do Cariri – CE)

A escavação foi realizada entre os dias 3 e 23 de dezembro de 2009 no Geossítio Parque dos Pterossauros, nas coordenadas 07° 11' 32" S–39° 42' 52" W. As amostras foram retiradas de uma área de 20 m<sup>2</sup> e a uma profundidade de 2,62 m. Nesta escavação (Fig. 25) foram coletados 190 espécimes, dentre estes foram identificados peixes (132), coprólitos (38) e vegetais fósseis (20). Os vegetais fósseis foram encontrados nas concreções (12), marga (2) e folhelho (6).



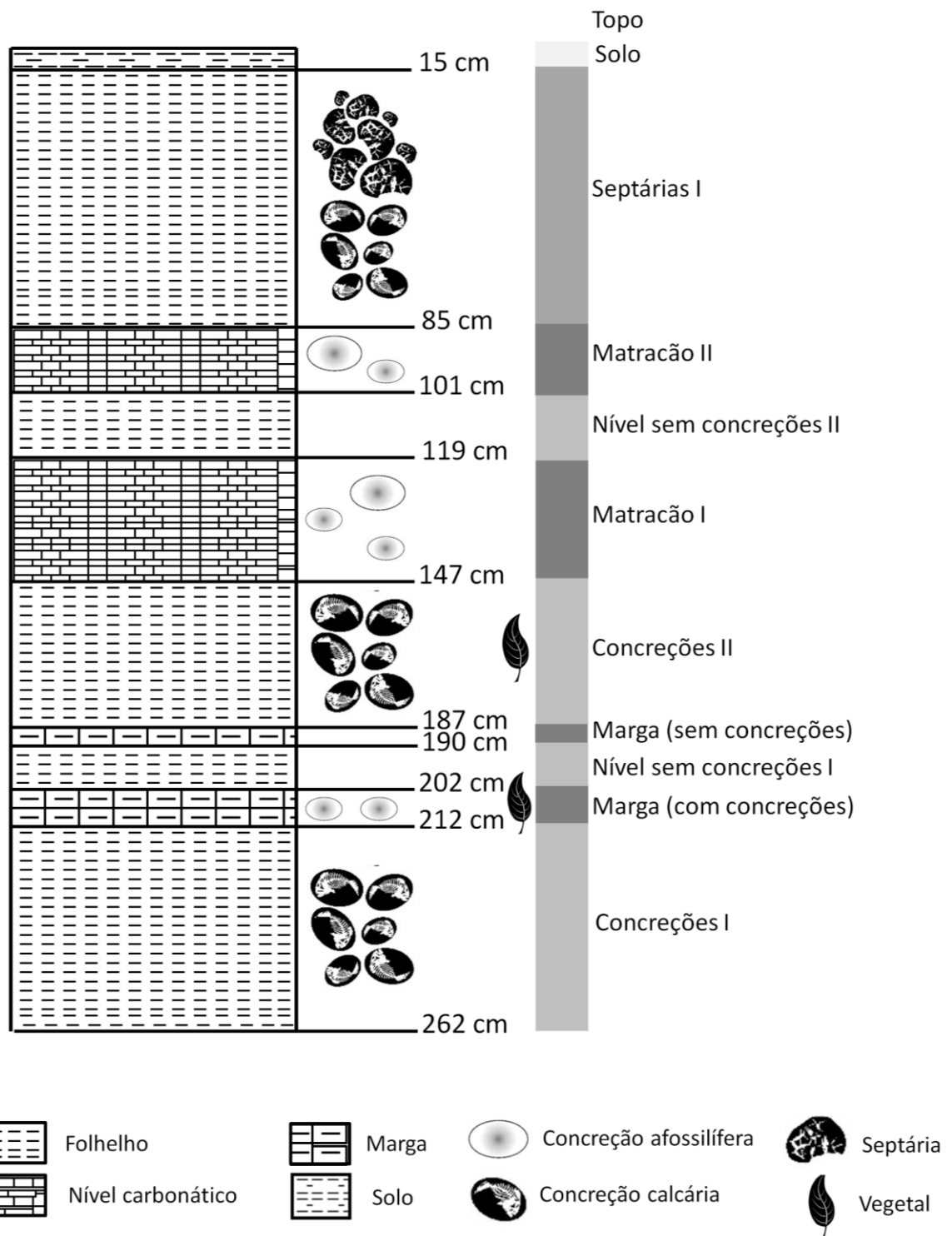
**Figura 25:** A) Coleta das concreções no nível Septária I; B) Peixe da espécie *Tharrias araripis* Jordan e Branner, 1908, preservado em concreção calcária encontrada no mesmo nível.

O primeiro nível denominado Nível de Concreções I, contém raramente concreções em sua parte inferior. Os folhelhos são finamente laminados, de coloração creme a amarelada, que preservaram alguns espécimes de coprólitos, a espessura desse nível é de 50 cm. O Nível de Calcário Lenticular I é revestido por uma camada de calcário, quase contínua, de 10 cm de espessura, rica em argila. Neste nível foram coletados dois espécimes de vegetais fósseis associados à *Brachyphyllum obesum* e *Brachyphyllum castilhoi*.

Continuando a sequência, acima do Nível sem Concreções (12 cm) ocorre o nível Calcário Lenticular II, nível argilo-calcário mais ou menos contínuo. Esta camada possui apenas 3 cm de espessura e é rica em ostracodes. A unidade Concreções II possui 40 cm de espessura, é bastante fossilífera, predominantemente composta por macrofósseis, apresentando peixes e vegetais fósseis, tanto nos níveis de folhelho quanto nas concreções calcárias. Sua composição da paleoflora estava composta de seis espécimes no folhelho, dois associados a *Brachyphyllum castilhoi*, dois associados a *Pseudofrenelopsis* sp. e dois ramos

indeterminados; quatro espécimes nas concreções, dois associados a *Brachyphyllum obesum* e dois associados a *Pseudofrenelopsis* sp.. Este nível é sobreposto pelo “Matracão I” (28 cm de espessura), seguido de um nível sem concreções (18 cm de espessura) sem fósseis e pelo “Matracão II” (16 cm de espessura). Ambos os níveis “Matracão I” e “Matracão II” apresentam algumas concreções, muito duras e compactas sem a presença de fósseis em seu interior.

Por último, observa-se o nível denominado Septárias I (concreções contendo peixes fósseis e septárias), com 70 cm de espessura (Fig. 26). As concreções ocorrem livremente na camada, podendo muitas vezes ser fossilífera. É neste nível que ocorrem septárias finalizando o contato com o solo.

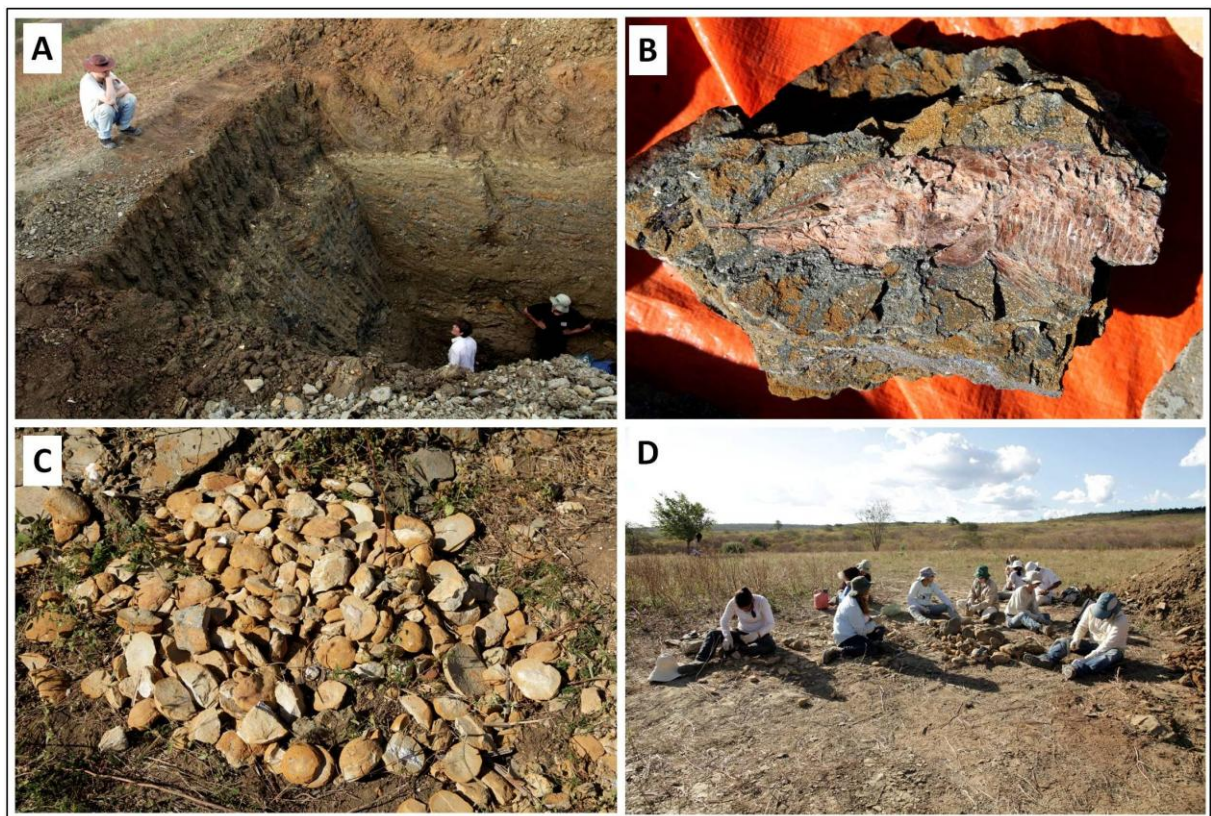


**Figura 26:** Perfil estratigráfico da escavação controlada no Geossítio Parque dos Pterossauros.



- Sítio Baixa Grande (Araripe – CE)

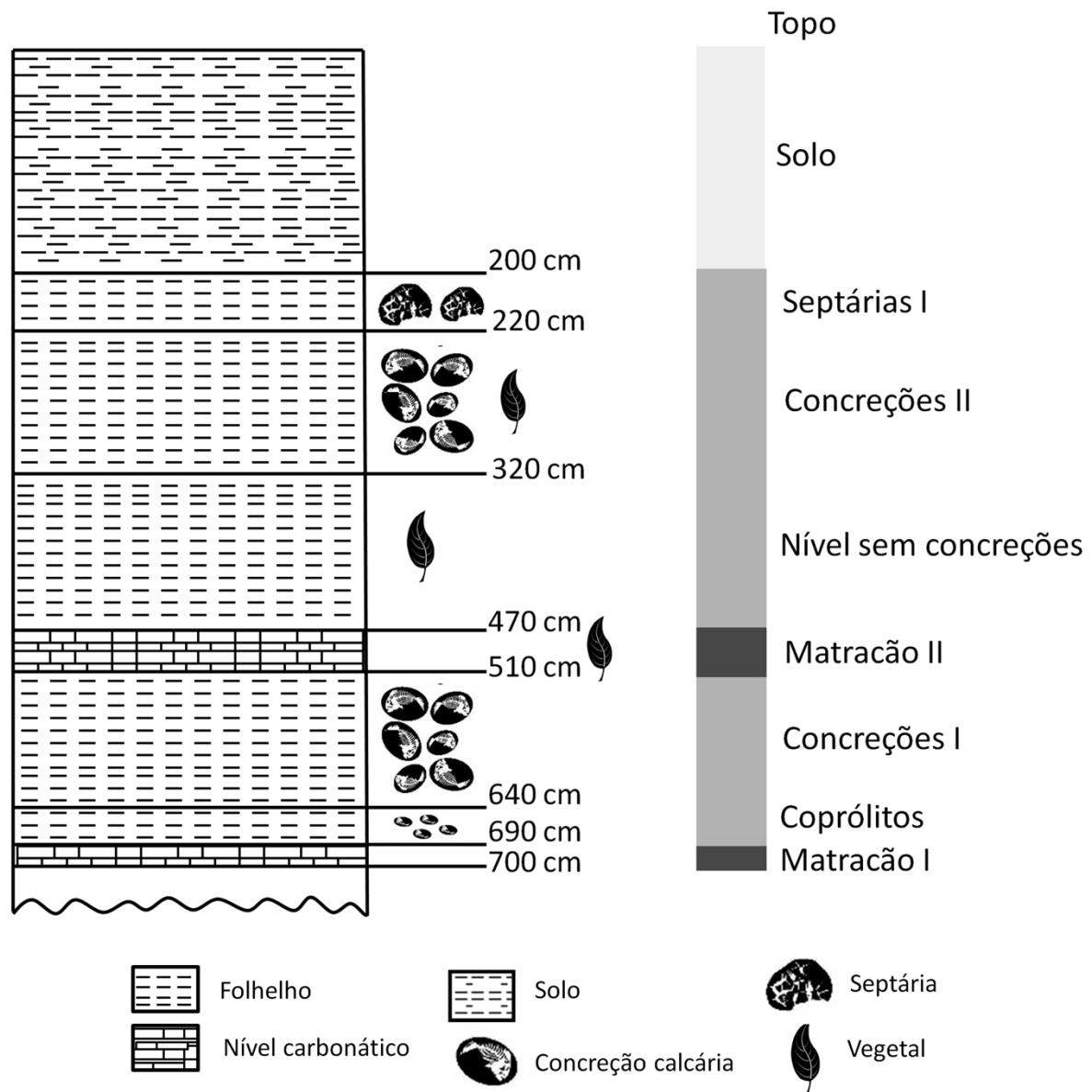
Esta foi a primeira escavação realizada na parte oeste da Bacia do Araripe, que ocorreu entre os dias 30 de julho e 6 de agosto de 2012, no Sítio Baixa Grande, nas coordenadas 07 09' 42.2" S–39° 59' 15.8" W. As amostras foram retiradas de maneira sistemática de uma área de 23 m<sup>2</sup> a uma profundidade de 7,4 m. Foram coletados 1.016 fósseis, dentre estes foi encontrado um pterossauro bem preservado no nível “Matracão II” (Kellner *et al.*, 2013), 457 peixes fósseis (450 em concreções calcárias e sete no folhelho). Também foram encontrados 45 espécimes de camarões fósseis preservados no folhelho e 436 coprólitos em concreções calcárias. Os vegetais fósseis, em um total de 77 espécimes estavam em três níveis diferentes na escavação: um espécime no nível de “Matracão II”, nove espécimes nas concreções no nível de Concreções II e 67 espécimes no nível de folhelho sem concreções (Fig. 27).



**Figura 27:** A) Escavação no Sítio Baixa Grande; B) Peixe *Vinctifer comptoni* encontrado no nível de folhelho; C) Inúmeros coprólitos em concreções calcárias; D) Análise das concreções coletadas na escavação.

Observando o perfil estratigráfico (Fig. 28), notamos que a camada mais basal corresponde ao nível carbonático denominado “Matracão I”, bastante consolidado, com 10 cm de espessura, sendo afossilífero. Logo acima, ocorre um nível de folhelhos esverdeados de 50

cm de espessura contendo fósseis de coprólitos. Acima deste está o nível denominado Concreções I, composto por folhelhos esverdeados a acinzentados com espessura de 130 cm, contendo concreções com fósseis de peixes bem preservados, também encontrados em menor quantidade nos folhelhos.



**Figura 28:** Perfil estratigráfico da escavação controlada no Sítio Baixa Grande.

Posteriormente, foi observada mais uma camada carbonática com 40 cm de espessura denominada “Matracão II”. Corresponde a uma camada consolidada, apesar disso preservou um espécime de pterossauro e um de vegetal associado à espécie *Podozamites lanceolatus*. Acima do “Matracão II” ocorre um nível bastante espesso constituído apenas por folhelhos,



com uma espessura de 150 cm. Neste nível foram encontrados inúmeros fósseis de camarões e 48 vegetais dos quais apenas 28 puderam ser associados ao gênero *Pseudofrenelopsis* e um a *Welwitschiostrobus murili*, dois a *Brachyphyllum obesum* e dois a *Podozamites lanceolatus*.

No nível de Concreções II foi encontrado o maior número de concreções calcárias contendo coprólitos e restos de peixes. Após o nível de Concreções II está o das Septárias I, uma pequena camada de 20 cm contendo septárias afossilíferas.

- Distrito Jamaru (Missão Velha – CE)

A escavação foi realizada entre os dias 22 e 30 de abril de 2012 no distrito de Jamaru, nas coordenadas 07° 25' 18.6" S–39° 07' 23.3" W. As amostras foram sistematicamente extraídas de uma área de 25 m<sup>2</sup> e a uma profundidade de 8,4 m. Foram coletadas 1.242 concreções calcárias (Fig. 29) contendo fósseis bem preservados: 286 peixes, 14 gastrópodes, 922 coprólitos, 1 contendo um fóssil de camarão descrito por Santana *et al.* (2013) e 19 espécimes vegetais fósseis.



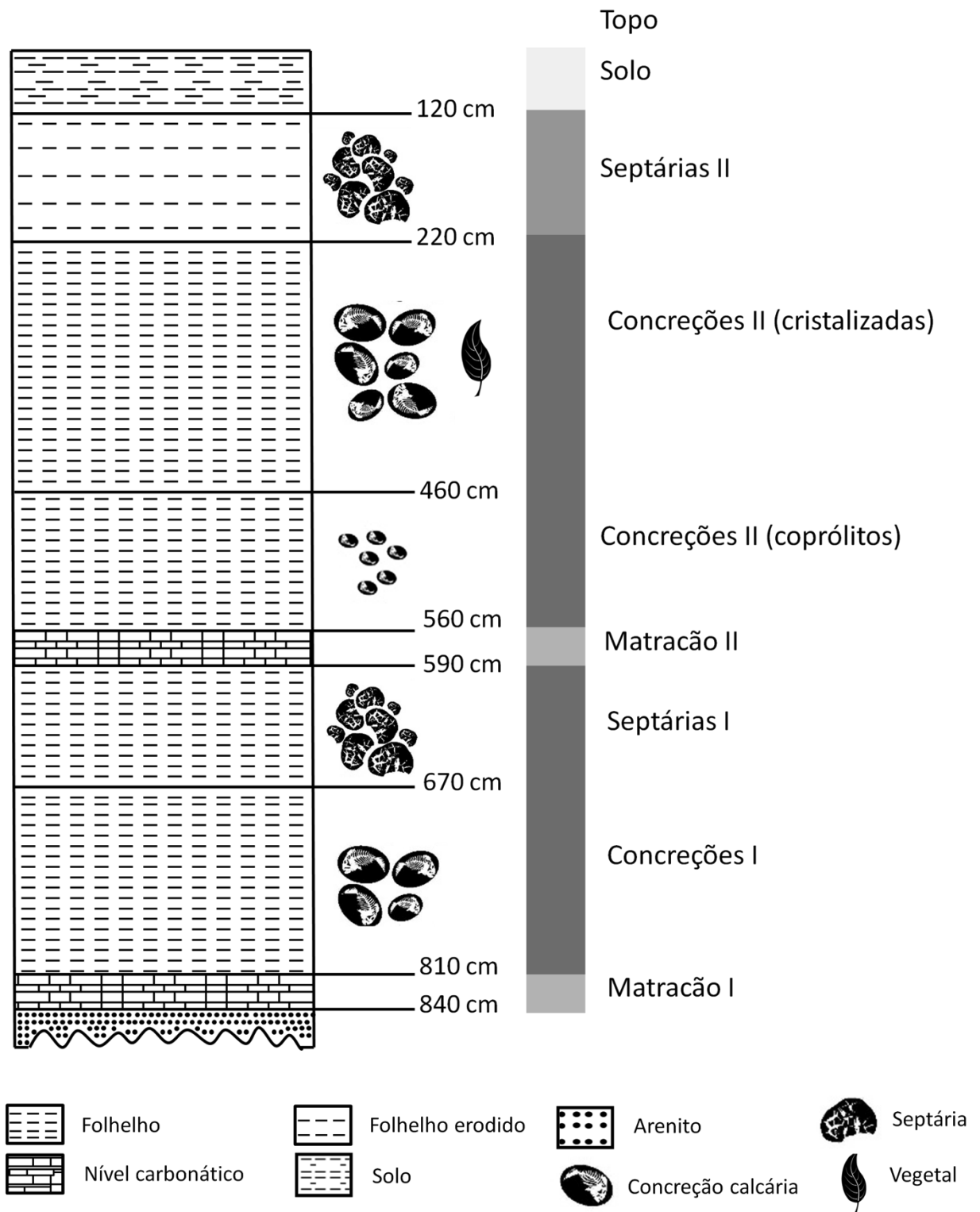
**Figura 29:** A) Abertura das concreções coletadas; B) Septária encontrada no nível de Septárias I; C) Peixe da espécie *Vinctifer comptoni* encontrado no Nível de Concreções II; D) Septária com suas cavidades características.

Observando o perfil estratigráfico da escavação em Jamaru (Fig. 30), verificamos que a camada mais basal consiste de um nível carbonático denominado “Matracão I”, bastante consolidado, com espessura de 30 cm, sendo afossilífera. O nível de Concreções I é composto por folhelhos cinza-escuro com espessura de 140 cm, contendo algumas concreções ferruginosas com fósseis de peixes bem preservados, neste nível foram encontradas duas concreções contendo peixes do gênero *Rhacolepis*.

Logo acima do nível de Concreções I, ocorre o nível de Septárias I, é a primeira vez que este nível é identificado em uma escavação da Formação Romualdo. As septárias estão inseridas em folhelhos cinza-escuro em uma camada com 80 cm espessura. Essas septárias, assim como as do segundo nível tem em média de 30 a 80 cm de diâmetro, com alguns fósseis de difícil identificação em seu interior, correspondendo provavelmente a coprólitos e restos de peixes.

Continuando a sequência, foi observada uma fina camada carbonática com 30 cm de espessura denominada “Matracão II”, uma camada bastante consolidada e sem a presença de fósseis. Acima do “Matracão II” está o nível denominado Concreções II (240 cm de espessura), composto por dois níveis que são diferenciados apenas pela forma das concreções calcárias. A base deste nível é caracterizada por apresentar diversas concreções não cristalizadas tendo preservado em seu interior apenas coprólitos. O topo constitui a camada mais fossilífera, é composto por concreções cristalizadas (gretas e cristais de calcita no centro), mas sem cavidades (características das septárias), onde foram encontrados gastrópodes, bivalves, camarão, coprólitos e vários gêneros de peixes fósseis.

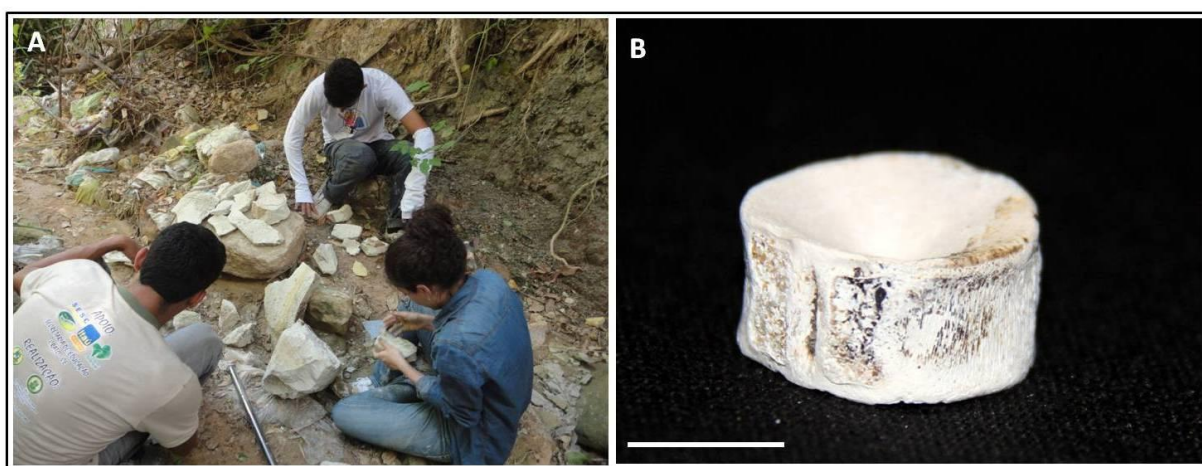
Todos os vegetais fósseis encontrados nessa escavação são provenientes dessa camada. Dos 19 exemplares, apenas quatro puderam ser associados a *Pseudofrenelopsis* sp. Estes estavam preservados em concreções bem consolidadas, constituídos de ramos esparsos e bastante fragmentados, embora suas estruturas (como estômatos) estivessem bem preservadas. A coloração desses vegetais fósseis é esbranquiçada e em alguns casos apresentam a coloração acinzentada. Os demais registros constituíam fragmentos de ramos e, portanto impossíveis de serem identificados devido a seu caráter fragmentário. Após o nível de Concreções II está o das Septárias II: a espessura da camada é de 100 cm e nela foram encontradas 11 septárias onde foi possível identificar apenas três com restos de peixes parcialmente desarticulados. Ainda neste nível, foram encontradas pequenas concreções (7 cm de diâmetro) contendo icnofósseis (coprólitos).



**Figura 30:** Perfil estratigráfico da escavação controlada no Distrito Jamararu.

- Sítio Sobradinho (Jardim – CE)

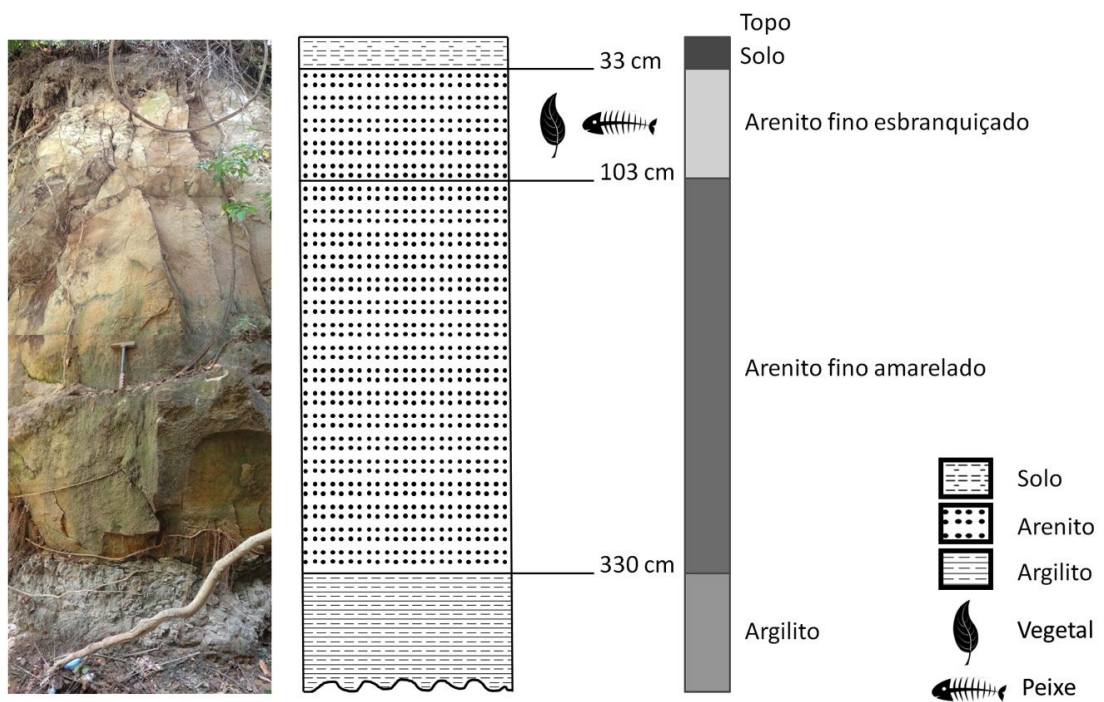
No município de Jardim foi realizada uma coleta de fósseis no dia 10 de Janeiro de 2012, no Sítio Sobradinho, nas coordenadas 07° 34' 12.2" S–39° 09' 90.7" W. Nessa localidade não foi realizada uma escavação como nos demais sítios e sim uma coleta em afloramento. Foram coletados nove fósseis, sendo um destes, uma vértebra de peixe bem preservada (Fig. 31) e oito de vegetais. A camada coletada corresponde ao topo da Formação Romualdo (Heimhofer e Hochuli, 2010) sendo composta por três níveis.



**Figura 31:** A) Coleta no Sítio Sobradinho; B) Vértebra de peixe preservada tridimensionalmente no arenito. Escala: 2 cm.

O primeiro nível, de baixo para cima, é formado por argilito de coloração esverdeada a cinza, afossilífero. O segundo nível é composto por um arenito fino, calcífero, bastante consolidado, de coloração amarelada, com uma espessura de 227 cm. Este nível não possui fósseis preservados. O terceiro e último nível, é composto de arenito fino esbranquiçado, com uma espessura de 70 cm (Fig. 32). É composta por muitos cristais de quartzo, com granulação média a fina. Os quartzos são predominantemente leitosos, ocorrendo alguns transparentes, hialinos e foscos, os grãos são subangulosos a subarredondados. Ocorre ainda, no arenito, a presença de algumas plaquetas de biotita e moscovita.

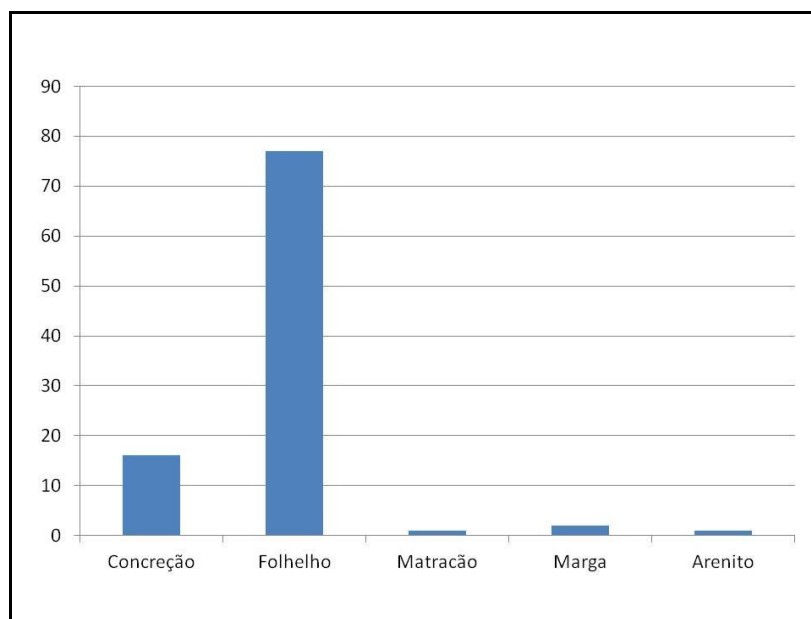




**Figura 32:** Perfil do afloramento no Sítio Sobradinho.

- Considerações Gerais

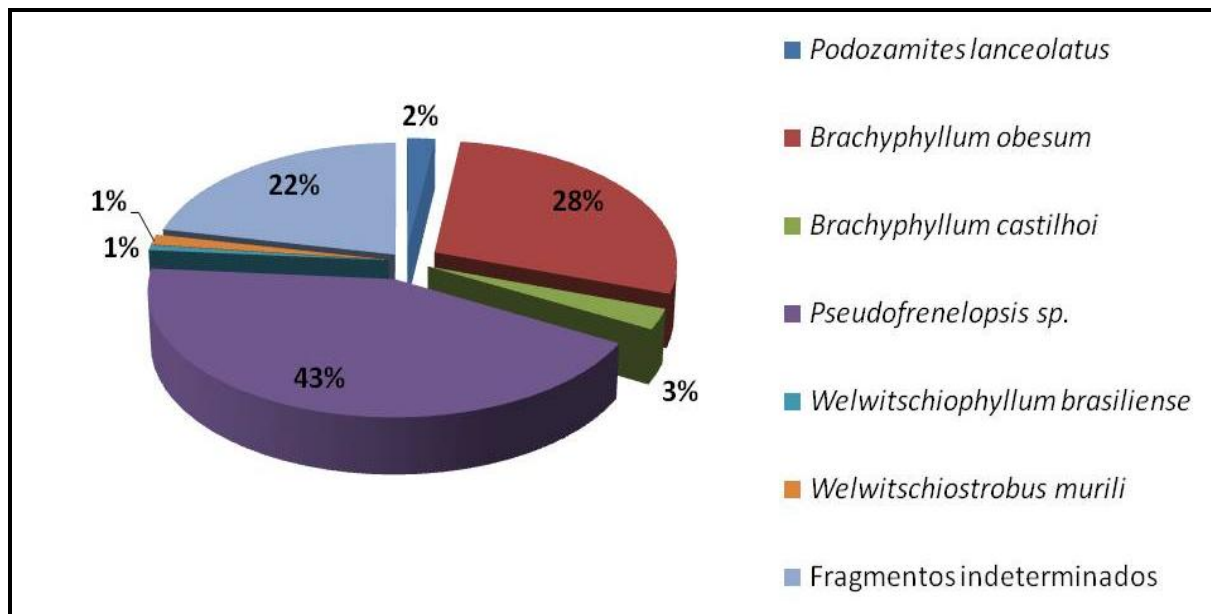
Nas três escavações e na coleta em afloramento, os fósseis melhor preservados foram encontrados nas concreções calcárias, embora a maior quantidade de fósseis tenha sido encontrada nos folhelhos (Fig. 33).



**Figura 33:** Quantidade de fósseis encontrados nos diferentes níveis fossilíferos da Formação Romualdo, mostrando que o folhelho preservou mais vegetais fósseis.



No que diz respeito a variação paleoflorística, os espécimes encontrados, mostraram que o gênero *Pseudofrenelopsis* é mais abundante na Formação Romualdo (Fig. 34).



**Figura 34:** Porcentagem dos fósseis coletados nas escavações controladas.

As observações durante a coleta mostraram que a assembleia taoflorística é composta basicamente por material fragmentado e algumas folhas inteiras. Entretanto, mesmo fragmentadas, alguns espécimes preservam feições morfológicas importantes. É importante ressaltar que alguns espécimes fragmentaram-se durante o transporte até o sítio de deposição (causas bioestratinômicas), enquanto outros, por serem extremamente frágeis, na matriz intemperizada, fragmentaram-se durante a coleta e transporte do campo para o laboratório.

Observou-se aqui, como proposto por Vila Nova *et al.* (2011), uma tendência na compactação dos fósseis, os níveis superiores mostram fósseis mais tridimensionais enquanto as camadas inferiores são dominadas por concreções com organismos compactados.

### 5.3. Aspectos paleoambientais da Formação Romualdo

Com base nas informações obtidas a partir da morfologia dos vegetais identificados nas escavações aqui estudadas é possível traçar algumas inferências paleoambientais. O registro paleobotânico é bom indicador paleoambiental, uma vez que os organismos dessa natureza são mais suscetíveis às variações ambientais por estarem fixos ao solo. Além disso, sua deposição demanda que ocorra um transporte para dentro do paleolago, já que não se

tratam de vegetais aquáticos, em sua grande maioria. A alternância de camadas observadas nas quatro áreas estudadas, evidencia mudanças bruscas no paleoambiente, exibindo ou não concentrações de diferentes biotas que ali viviam, ou nas áreas circunvizinhas.

Muitos dos restos vegetais encontrados na Formação Romualdo exibem adaptações tanto à seca climática quanto fisiológica. Dentre estas feições adaptativas têm-se: folhas coriáceas com células epidérmicas de paredes espessas com uma cobertura de abundantes pelos e papilas, numerosos estômatos afundados e protegidos por papilas, principalmente na face abaxial e hipoderme resistente. O gênero *Pseudofrenelopsis* dentre os vegetais ocorreu com maior abundância. Este gênero possui estruturas denominadas estômatos, constituídas por um conjunto de células especializadas para suportar grandes variações ambientais. Apesar de abundantes, seus registros são fragmentados, levando-se em consideração que são organismos muito frágeis em vida, provavelmente viviam na borda do paleolago. Dessa forma sua presença indica que esse local se tratava de ambiente seco, com variação de salinidade.

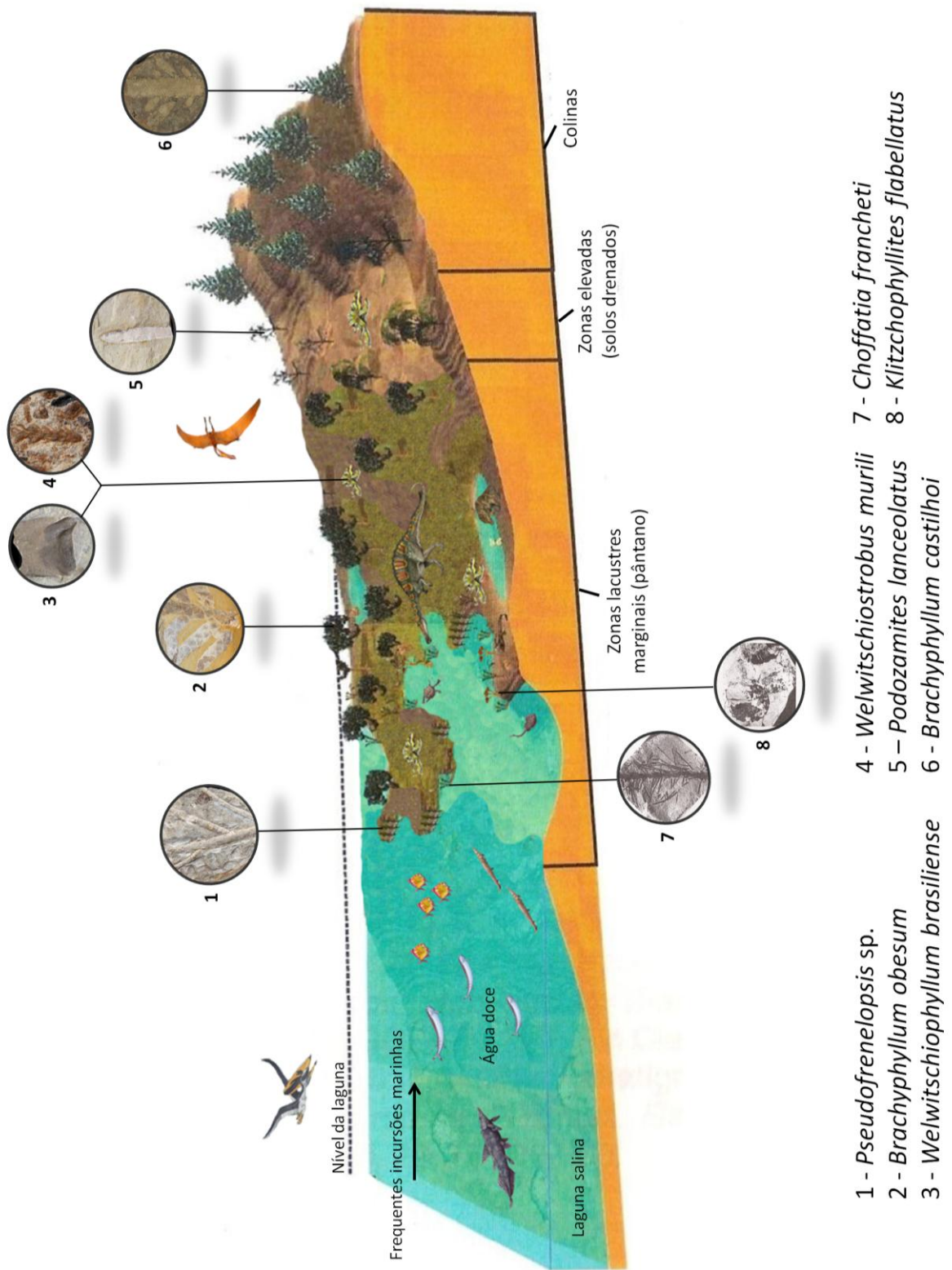
O segundo gênero mais frequente foi *Brachyphyllum* com 31% das ocorrências. Esta planta é considerada xeromórfica, apresentando a capacidade de inibir a perda de água pelo processo de evaporação (e.g. Watson e Alvin, 1996). Apesar de apresentar estrutura diferente de *Pseudofrenelopsis* sp., ambos vegetais desenvolveram estratégias para suportar a falta de água em momentos de adversidade. Apesar disso, *Brachyphyllum* possui hábito diferente da anterior, apresentando porte arbóreo, sendo, portanto mais resistente aos processos intempéricos. Dessa forma, provavelmente estaria habitando uma área mais distante da borda do paleolago, o que indica que em sua periferia existiria provavelmente uma variação no clima. Kunzmann *et al.* (2004), baseiam-se na anatomia das coníferas de *Brachyphyllum* para concluir que estavam adaptadas a um clima moderadamente quente ou quente sazonalmente seco.

De acordo de acordo com Duarte (1985) a paleoflora da Formação Romualdo é composta por vegetais arbustivos, *Choffatia francheti*, *Podozamites lanceolatus*; arbóreos, *Brachyphyllum castilhoi*, *Brachyphyllum obesum*; e plantas aquáticas, *Klitzchophyllites flabellatus*. A estes agregamos aqui a presença das plantas arbustivas *Welwitschiophyllum brasiliensi*, *Welwitschiostrobus murili* e *Pseudofrenelopsis* sp.. Tomando como base os trabalhos de Neumann (1999) e Moura *et al.* (2006), é possível afirmar que esta vegetação paleoequatorial foi claramente adaptada a diferentes ambientes (Fig. 35). Plantas aquáticas, como *Klitzchophyllites flabellatus*, cresciam sobre a superfície e em áreas submersas rasas marginais de corpos aquosos. Nos pântanos, provavelmente, encharcados por água salobra,

meandravam as Coniferales da Família Cheirolepidiaceae que também poderiam crescer em locais mais distantes do corpo aquoso. Nas áreas mais distantes do corpo d'água e muito acima do lençol freático, dominavam as Gnetales da Família Welwitschiaceae, podendo se desenvolver em leitos secos de rios temporários.

As gnetaleanas preferencialmente se distribuiriam nas áreas elevadas drenadas, mas não influenciadas por inundações periódicas. As angiospermas, possivelmente restritas ao porte herbáceo e arbustivo (Batten, 1984; Doyle *et al.*, 1982) se desenvolveriam ao longo das planícies periodicamente inundáveis e competiriam com as gnetaleanas pelos habitats abertos (Fanton, 2007).

Quando a África e América do Sul estavam unidas (pré-rifte), as condições paleoclimáticas da época eram mais temperadas no Jurássico Inferior, possuindo fauna e flora homogêneas. No Jurássico Médio, a separação iniciou (sin-rifte) com a extensão litosférica continental, sob influência das descontinuidades do subsolo que eram muito significativas, ocasionando a reabertura ao longo das linhas antigas de fraqueza e causando o rejuvenescimento e destruição do relevo posteriormente (Valença *et al.*, 2003). As condições paleoclimáticas impostas neste momento (tropicalidade) começam a afetar gradativamente a flora e a fauna, tornando-as heterogêneas, na medida em que as placas continentais sul-americana e africana (pós-rifte) migravam em direção à linha do Equador. Em consequência disso, originou uma biota fóssil endêmica, na maioria dos achados paleontológicos da Bacia do Araripe, com poucos fósseis que podem ser correlacionados com as outras bacias interiores nordestinas, principalmente durante a fase de ingressões marinhas (Arai e Coimbra, 1990; Sales, 2005).



**Figura 35:** Reconstrução paleoambiental da Formação Romualdo (Modificado de Moura *et al.*, 2006).

## 6. DISCUSSÃO

A paleoflora da Formação Romualdo é menos conhecida que a paleoflora da subjacente Formação Crato, pois os espécimes vegetais são mais raros nas concreções calcárias que mais contêm fósseis de vertebrados, como por exemplo, os peixes (Crane e Maisey, 1991; Kellner e Campos, 1999; Kunzmann *et al.*, 2006; Martill, 2007; 2011). No entanto, estas concreções também contêm vários restos de coníferas (Duarte, 1985; Maisey, 1991; Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2005). Isto, provavelmente se deve à extração diária de calcário laminado na Formação Crato, permitindo que novos fósseis sejam encontrados com frequência (Vidal *et al.*, 2005; 2008a, b). Diferente do que ocorre na Formação Romualdo, onde é necessária a realização de escavações controladas para que novos fósseis sejam encontrados (Saraiva *et al.*, 2007). Isso justifica a escassez de trabalhos relacionados à paleoflora desta formação e o amplo conhecimento sobre a paleoflora da Formação Crato (Mohr *et al.*, 2000; Bernardes-de-Oliveira, 2003).

Dentro da paleoflora da Formação Romualdo, destaca-se o registro do gênero *Podozamites*, identificado pela primeira vez no Brasil (Duarte, 1985). A espécie *Podozamites lanceolatus* tem ampla distribuição geográfica, sendo encontrada na América do Sul, América do Norte, Índia, Ásia, Groenlândia e Austrália (Harris, 1935; Duarte, 1985; MacLeod e Hills, 1991). Seu *biocron* abrange do Triássico Superior ao Cretáceo Superior, sendo assim considerada cosmopolita (Barale e Ouaja, 2001; Van Waveren *et al.*, 2002) e sem valor estratigráfico. No registro fóssil, a espécie *Podozamites lanceolatus*, geralmente, apresenta apenas fósseis de folíolos isolados (MacLeod e Hills, 1991), poucos exemplares são conhecidos com os folíolos inseridos na raque, é o que ocorre com o registro fóssil da Bacia do Araripe.

As espécies do gênero *Podozamites* são bastante similares morfologicamente e possuem características compartilhadas entre estas, tais como, nervuras paralelas e folhas lineares (Sze, 1931; Harris, 1935). Estas espécies diferem apenas quanto à estrutura da epiderme e número de nervuras foliares preservadas (Doludenko, 1967). A espécie *Podozamites lanceolatus* difere de outras espécies do mesmo gênero, por apresentar 13 nervuras foliares paralelas, a *Podozamites eichwaldii* Chimper, 1870 possui 25 nervuras (Doludenko, 1967) e a espécie *Podozamites distans* Kon'no, 1961 possui apenas nove (Kon'no, 1961).

Uma das formas dominantes na Bacia do Araripe é o gênero *Brachyphyllum* (Lima *et al.*, 2012). O morfogênero de coníferas do Mesozóico com folhas curtas e helicoidais (Harris, 1979), que apresenta afinidade ainda controversa (Hollick e Jeffrey, 1906; Kendall, 1949; Srivastava, 1976; Harris, 1979; Watson, 1988). No entanto, os paleobotânicos defendem a ideia de se tratar de uma planta xeromórfica, com capacidade de inibir a perda de água pelo processo de evaporação, com base nas características anatômicas representadas por várias espécies (Watson e Alvin, 1996), bem como por sua ampla distribuição geográfica em diversas bacias sedimentares mesozoicas do globo (ver Spicer *et al.*, 1993 para uma revisão). A espécie *Brachyphyllum obesum* foi relatada para o Cretáceo Inferior de Portugal, Inglaterra, América do Norte, China (Heer, 1881; Harris, 1979) e Cretáceo Superior do Japão (Ohsawa *et al.*, 1995), sendo também, encontrada em outros depósitos cretáceos brasileiros a exemplo da Bacia de Tucano, Formação Marizal (Kunzmann *et al.*, 2004). *Brachyphyllum obesum* foi descrito para ambas as formações Crato e Romualdo (Duarte, 1985; Kunzmann *et al.*, 2004). Esta espécie é semelhante à *Brachyphyllum squammosum* Velenovský, 1885 que apresenta o mesmo padrão de cutícula, mostrando estômatos alinhados, mas as suas folhas são anfiestomática (Kvaček, 2007). Também é possível distinguir espécies de *Brachyphyllum obesum* apenas por suas características de morfologia como, por exemplo, o tamanho da folha, o tamanho da parte livre da folha e a margem da folha (Harris, 1979). De acordo com Yabe e Kubota (2004), a espécie *Brachyphyllum obesum* está adaptada às condições climáticas subtropicais devido a suas estruturas anatômicas.

Na Formação Romualdo, ocorre uma segunda espécie do gênero *Brachyphyllum*, denominada *Brachyphyllum castilhoi* (Duarte, 1985) após sua descrição apenas Lima *et al.* (2012) relataram a existencia de um novo espécime preservado em uma concreção calcária. Dentre as características exclusivas de *Brachyphyllum castilhoi* estão um sistema com ramificação regularmente pinulada, ramos claviformes e disposição foliar diferente (ramo principal em número de dez). Esta espécie também foi relatada posteriormente para a Formação Crato (Kunzmann *et al.*, 2004; Martill, 2007; Lima *et al.*, 2012), no entanto apenas um espécime foi figurado para esta formação (Martill, 2007) não havendo uma descrição formal desses vegetais nessa unidade litoestratigráfica (Lima *et al.*, 2012).

O gênero *Frenelopsis* foi relatado para a Formação Romualdo e posteriormente descrito para a Formação Crato (Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2005; Kunzmann *et al.*, 2006). Espécimes com características similares aos aqui descritos, pertencentes à Formação Crato, foram colocados dentro do gênero *Frenelopsis*. Segundo Kunzmann *et al.* (2006), os ramos de

*Frenelopsis* sp. apresentam segmentos com uma ou duas folhas por verticilo que embora, nem sempre estejam preservadas, as estrias longitudinais dos segmentos mostrariam a posição inicial das folhas, as quais, em muitos casos apresentam arranjos decussados. A atribuição ao gênero *Frenelopsis* de Kunzmann *et al.* (2006), é baseada no número de folhas por eles encontrado e pelo fato de não apresentar suturas no segmento. Tais características são, muitas vezes, também encontradas em representantes do gênero *Pseudofrenelopsis*. Nos espécimes estudados neste trabalho, não foram identificados segmentos com duas folhas, registrando aqui, a primeira ocorrência do gênero *Pseudofrenelopsis* nas camadas da Formação Romualdo. Martill *et al.* (2011) relataram a presença de ramos de Equisetáceas e cones de Cicadáceas para a Formação Romualdo. Nos três locais escavados não foi encontrado nenhum registro fóssil referente a essas famílias, o que, indica ter ocorrido uma associação equivocada, confundindo ramos de *Pseudofrenelopsis* com Equisetales. Nestas escavações também não foram encontrados fósseis relacionados às Cicadáceas.

*Pseudofrenelopsis* é amplamente distribuído na Ásia, América do Norte e Europa (Fontaine, 1889; Watson, 1974; 1977; 1988; Cao, 1989; Axsmith e Jacobs, 2005; Axsmith, 2006). Globalmente, o gênero *Pseudofrenelopsis* se restringe ao Cretáceo Inferior, e a espécie *Pseudofrenelopsis parceramosa* Fontaine 1889, é possivelmente a ocorrência mais antiga do gênero (Berriasiano) (Yang, 2005; Sun *et al.*, 2011). A maioria das outras espécies é encontrada em sedimentos que datam do Aptiano ao Albiano (Yang, 2005).

A presença de restos fósseis de *Pseudofrenelopsis* sp. é uma indicativa de ambientes sedimentares áridos (Alvin, 1977; Deng *et al.*, 2005). Oldham (1976) afirmou que as cheirolepidiáceas provavelmente viveram em pântanos, nas margens de rios. Alvin *et al.* (1981) e Alvin (1982; 1983) apontaram que *Pseudofrenelopsis* sp. habitavam os solos com disponibilidade de água variável. *Pseudofrenelopsis parceramosa* indica um flora costeira, forçada pelas marés afetando o habitat, e podem ter se adaptado a uma variedade de ambientes de diferentes salinidades ou até mesmo para habitats não salinos (Sun *et al.*, 2011). Uma variação do gênero *Pseudofrenelopsis* do Texas (EUA) indica que esta parece ter sido uma planta verdadeiramente halofítica, essencialmente terrestre, mas adaptada a viver próximo do mar, sendo tolerante a salinidade podendo habitar pântanos (Upchurch e Doyle, 1981). Portanto, o gênero pode apresentar uma grande amplitude ecológica e é possível que as diferentes interpretações reflitam uma diversidade paleoecológica interespecífica (Axsmith, 2006). A preferência por habitats halofíticos e xerofíticos de ambientes tropicais áridos e marinhos costeiros, apontada para a maioria das cheirolepidiáceas, é compatível com o



ambiente deposicional atribuído a Formação Romualdo (Sales, 2005) por outras evidências geológicas e paleontológicas. Essa tendência pôde ser observada aqui, uma vez que o gênero *Pseudofrenelopsis* foi encontrado abundantemente, constituindo 43% do registro fossilífero aqui descrito. Além disso, a presença de estômatos regularmente distribuídos em orientação longitudinal na epiderme superior atesta que *Pseudofrenelopsis* sp. necessitava de estar próximo ou em contato com o corpo aquoso para realizar as trocas gasosas (ver Taylor *et al.*, 2009, para uma revisão).

A escassez de registros da espécie *Welwitschiophyllum brasiliense* na Formação Romualdo, quando comparados com os da Formação Crato (Lima e Saraiva, 2011; Lima *et al.*, 2012) pode ser atribuídas a questões tafonômicas (Martill, 2011). A espécie *Welwitschiophyllum brasiliense* foi registrada, pela primeira vez, para a Formação Crato por Dilcher *et al.* (2005) e foi relacionada com as Gnetales. Os autores compararam os espécimes da Formação Crato com as folhas da atual *Welwitschia*, por não existirem outros registros fósseis que apresentasse a mesma forma: folhas isobilaterais, alongadas triangularmente com base larga contendo numerosas nervuras paralelas (Dilcher *et al.*, 2005). Aos poucos registros na unidade superior (Formação Romualdo) é adicionado aqui um espécime fragmentado, preservado em uma concreção calcária, também com inúmeras nervuras e base curvada a semicircular, o que a caracteriza (Lima *et al.*, 2012), aumentando o conhecimento sobre esse vegetal.

A espécie *Welwitschiostrobus murili* é registrada pela primeira vez neste trabalho para a Formação Romualdo. Essa espécie foi comparada com a espécie *Drewria potomacensis* Crane e Upchurch, 1987 por Dilcher *et al.* (2005) quando a descreveram para a Formação Crato. No entanto, os cones reprodutivos da Bacia do Araripe são muito semelhantes aos recentes cones de *Welwitschia* (Dilcher *et al.*, 2005). Esses cones são pequenos e muito raros no registro fóssil (Dilcher *et al.*, 2005). Este registro nas formações Crato e Romualdo, atesta a possibilidade de climas semelhantes entre as duas formações, pois se trata de um cone reprodutivo que necessita de ambientes quentes para reproduzir.

Trabalhos referentes ao posicionamento estratigráfico de vegetais fósseis são escassos (por exemplo, Maranhão e Petri, 1996; Iannuzzi *et al.*, 2003; Bardola, 2011; Sun *et al.*, 2011). O panorama se agrava quando verificamos a falta de dados sobre o posicionamento estratigráfico dos vegetais fósseis descritos para a Bacia do Araripe. São poucos os trabalhos que informam o local exato de coleta, dificultando a realização de estudos tafonômicos e paleocológicos.

Na Formação Romualdo apenas três trabalhos levaram em consideração o posicionamento estratigráfico dos organismos fósseis. Fara *et al.* (2005) realizaram uma escavação controlada da Formação Romualdo na cidade de Santana do Cariri e obtiveram a primeira sequência estratigráfica já estabelecida para esta formação, podendo se distinguir pelo menos sete horizontes. Estes obtiveram uma amostragem de 233 concreções, mostrando que a distribuição das concreções estratigraficamente é muito heterogênea e sua densidade varia (0.8 a 1.5 concreções/m<sup>3</sup>). Ainda analisaram o padrão de orientação das concreções e sugeriram uma paleocorrente permanente de baixo nível de energia. Fara *et al.* (2005) estudaram os organismos preservados em concreções calcárias, a fim de compreender as relações espaços-temporais entre paleocomunidades e seu paleoambiente. Saraiva *et al.* (2007) propuseram uma classificação para os diversos tipos de concreções calcárias da Formação Romualdo, traçando algumas considerações sobre a sua distribuição geográfica, e sugerindo uma uniformização terminológica para as descrições destas concreções, podendo fornecer dados sobre o momento de deposição. Os critérios utilizados para esta proposta foram: número de espécimes, posição do fóssil contido na concreção, dimensionalidade do macrofóssil, relação matriz/fóssil, forma, estrutura e textura sedimentar. Vila Nova *et al.* (2011) apresentaram os resultados da terceira escavação controlada nas camadas da Formação Romualdo. Os dados obtidos confirmaram a sucessão de fauna da biota de peixes fósseis. Na camada mais superior e fossilífera, os autores observaram uma composição de fauna com peixes nunca observados antes. Restos de pterossauros foram registrados pela primeira vez em campo, contrariando a ideia geral de que estes répteis voadores são comuns nas camadas da Formação Romualdo, concluindo que as assembleias de pterossauros desta formação, provavelmente ocorriam aglomeradas, e esses répteis não pareciam tão difundidos e abundantes como se pensava anteriormente. Apesar do aumento do controle estratigráfico dos fósseis obtidos com esses trabalhos, cerca de 75% da bacia ainda não foi amostrada, sendo essa a primeira vez que os resultados de três escavações são analisados em conjunto. Ainda, os vegetais foram pela primeira vez estudados com mais acurácia, trazendo novos dados importantes.

Nas três escavações realizadas para este trabalho, foram encontrados vegetais fósseis, alguns de valor taxonômico e paleoambiental. Na escavação realizada no Geossítio Parque dos Pterossauros foram coletados 15 vegetais fósseis, destes, 12 puderam ser identificados, pois estavam bem preservados. A paleoflora pouco variou taxonomicamente, mas dois espécimes estavam preservados na marga, ambos do gênero *Brachyphyllum*. A marga é

originada em depósitos marinhos e lacustres de material clástico, que se afundaram progressivamente, tornando possível a preservação de fósseis. Na escavação do Sítio Baixa Grande foi a mais abundante em termos de vegetais fósseis, foram coletados ao todo 67 espécimes. Taxonomicamente, esse local se mostrou mais diversificado. Já na escavação realizada em Jamacaru, foi possível coletar 19 espécimes vegetais, sendo apenas quatro passíveis de identificação.

Nesse trabalho foi observado o nível de septárias nas três escavações, no entanto na escavação realizada em Jamacaru, foi encontrado um segundo nível de septárias nunca antes reportado em trabalhos dessa natureza na Formação Romualdo (Fara *et al.*, 2005; Saraiva *et al.*, 2007; Vila Nova *et al.*, 2011), que identificaram em suas localidades apenas um nível. A heterogeneidade litológica da Formação Romualdo também é ilustrada pelo nível denominado “Matracão”, em alguns casos, este nível contém concreções grandes e compactas e ocorre em toda a bacia. Mabesoone e Tinoco (1973) e Maisey (1991) notaram que o padrão na orientação dos níveis da Formação Romualdo não possui uma preferência determinada, e este último autor sugere que as correntes fortes são improváveis, devido ao tamanho fino dos sedimentos e da qualidade da preservação dos fósseis, como confirmaram Fara *et al.* (2005), posteriormente, com a análise da orientação das concreções.

Nas três escavações, os fósseis melhor preservados foram encontrados nas concreções calcárias, embora a maior quantidade de fósseis tenha sido encontrada nos folhelhos, confirmando a hipótese de Martill *et al.* (2011), de que os vegetais que viviam próximos do paleolago eram mais propensos a fossilização e assim justificando o raro registro de vegetais de grande porte.

As observações durante a coleta dos fósseis mostraram que a assembleia tafoflorística é composta basicamente por material fragmentado. Os processos tafonômicos que afetam restos orgânicos variam de acordo com o ambiente e podem resultar em padrões gerais de conservação, que são característicos de diferentes ambientes deposicionais (Behrensmeier, 1991). Ambientes lacustres ou lagunares são particularmente sensíveis às alterações ambientais, e depósitos de granulação fina comumente apresentam mudanças rápidas nas fácies sedimentares (Talbot e Allen, 1996; Soares, 1996), o que influencia a preservação de fósseis. As assembleias de plantas fósseis nada mais são do que uma sedimentação de partes desarticuladas de um ou vários indivíduos, constituindo uma tanatocenose. Tanatocenoses de plantas ("assembleias mortas") são assembleias fundamentalmente diferentes das de animais, já que as plantas desenvolvem ao longo das suas vidas um grande número de órgãos que

podem ser destacados, sem causar a morte do produtor individual (Behrensmeyer, 1991). Além disso, as diferentes partes de uma planta (vegetativa ou reprodutiva) são produzidas em proporções significativamente diferentes. A maioria das árvores, por exemplo, desenvolvem um único tronco, mas milhares de folhas e milhões de pólenes durante sua vida (Martín-Closas e Gomez, 2004). Todos os restos orgânicos não têm o mesmo potencial de preservação, apenas uma fração dessas partes, terminam sendo preservadas. A tafonomia de vegetais tem aplicações diretas na paleoecologia. Na verdade, as plantas, como organizações geralmente sésseis, estão estreitamente relacionadas com a litosfera durante a sua vida e quando isto se torna o local de conservação final, pode potencialmente ser rico em informações paleoecológicas (Martín-Closas e Gomez, 2004).

Com a realização das três escavações controladas em áreas da Formação Romualdo, é possível compará-las quanto aos aspectos litológicos e paleontológicos. A espessura da Formação Romualdo varia significativamente na Chapada do Araripe (de 2 a 10 m), mas a causa dessa variação é desconhecida (Martill e Wilby, 1993, Fara *et al.*, 2005).

A escavação no Geossítio Parque dos Pterossauros possui somente 2,62 m de profundidade, mas é neste local que se encontra a sequência mais completa da Formação Romualdo, concordando com Fara *et al.* (2005) que realizaram escavações no mesmo local. As informações limitadas verticalmente da unidade podem alterar dados como estimativa da espessura e quantidade de concreções, mas não altera a composição da assembleia fóssil, isto também foi verificado nas outras escavações realizadas para este trabalho. Como observado por autores anteriores, os fósseis não são encontrados apenas em concreções, mas também nos folhelhos adjacentes (Maisey, 1991; Wenz *et al.*, 1993; Maisey *et al.*, 1999; Kellner e Tomida, 2000). Encontramos poucas formas articuladas de pequenos e médios portes, bem como alguns fragmentos de plantas raras.

Até o presente momento nenhum trabalho relatou a ocorrência de vegetais fósseis preservados nos arenitos brancos e calcíferos do topo da Formação Romualdo, sendo esta a primeira vez que foram realizadas coletas no afloramento com a finalidade de encontrar fósseis.

Estudos paleoclimáticos abrangentes sugeriram que o clima mais quente prevaleceu globalmente no período Cretáceo Inferior (125-90 Ma) (Ziegler *et al.*, 1993; 1996; Rees *et al.*, 2000). Muitos dos restos fósseis de coníferas, encontrados nas escavações, são relativamente fragmentados e parcialmente desgastados. Portanto, assume-se que a maioria destas plantas não cresceu nas proximidades da zona de deposição, mas em um interior que pode ter sido

relativamente distante e as partes da planta foram provavelmente transportados através dos rios para a área de deposição. Diferentemente, as cheirolepidiáceas, parecem ter crescido próximas a zona de deposição.

A presença, na flora fóssil da Formação Romualdo, de coníferas da Família Cheirolepidiaceae do gênero *Pseudofrenelopsis* confirma, além de condições climáticas de aridez, a presença de um corpo de água salino. Este gênero, da mesma forma que o gênero morfológicamente semelhante, *Frenelopsis*, outra conífera da Família Cheirolepidiaceae, são frequentemente encontrados em ambientes salinos. Abundantes estômatos em folhas e caules de plantas herbáceas poderiam ter constituído adaptações a climas mais secos, que provavelmente ficariam abertos unicamente à noite ou em intervalos de tempo curtos, para fazer o intercâmbio gasoso e prevenir a perda de água, como acontece no gênero atual *Welwitschia*. Palinomorfos, também indicam condições climáticas áridas a semiáridas para esta bacia durante o Cretáceo Inferior, como acontece com outras floras e associações palinológicas do nordeste de *Gondwana*. Evidências sedimentológicas e paleobotânicas indicam que a área NE do *Gondwana* esteve submetida, no Aptiano-Albiano, a um clima árido a semiárido com estacionalidade hídrica de espocas secas e chuvosas (Neumann, 1999).

## 7. CONCLUSÃO

Este é o primeiro trabalho que versa sobre os registros de vegetais fósseis na Formação Romualdo posicionando-os estratigraficamente, e que apresenta a primeira ocorrência de vegetais fósseis no topo desta formação, preservados em camadas de arenito tidas anteriormente como afossilíferas.

Dos espécimes encontrados, *Brachyphyllum obesum* e *Pseudofrenelopsis* parecem dar melhores informações sobre o paleoambiente e até mesmo sobre o paleoclima. O gênero *Pseudofrenelopsis*, sugere condições climáticas áridas a semiáridas e a presença, não muito distante, de corpos salinos de água.

Os vegetais fósseis são tão abundantes e importantes quanto os peixes encontrados na Formação Romualdo. Porém, nas concreções observou-se uma maior ocorrência de peixes fósseis, enquanto que nos folhelhos os vegetais foram encontrados em maior quantidade. Isto se deve ao fato das concreções representarem a fase em que o paleolago encontrava-se completamente ou parcialmente cheio de água, ocupando uma grande extensão, permitindo a excelente preservação dos ictiólitos e de alguns vertebrados, mas não dos organismos que habitavam a sua zona periférica. Durante a fase de deposição de sedimentação fina, o mais provável é que tenha havido escassez de água, permitindo a preservação de vegetais fósseis que sofreram pouco transporte.

Até este trabalho, nenhuma espécie da Formação Romualdo foi encontrada em todos os níveis considerados fossilíferos, mas isso não é impossível de ocorrer, ressaltando que mais 70% da Formação Romualdo ainda não foi escavada. O que indica que mais trabalhos são necessários para aprimorar os conhecimentos acerca de sua tafoflora.

A ausência de vegetais completos, articulados e com raízes associadas atesta que os fluxos de correntes eram mais raros durante a deposição da Formação Romualdo, onde são encontradas apenas folhas isoladas, ramos ou fragmentos lenhosos. O que difere do momento de deposição da Formação Crato (subjacente), onde os fluxos provavelmente arrancavam as plantas e depositavam-nas no paleolago, de acordo com Mohr *et al.* (2006). Os vegetais fósseis encontram-se fragmentados, indicando que houve transporte, embora nesses fósseis seja possível analisar estruturas extremamente bem preservadas, como nervuras e células.

Com as escavações pode-se concluir que grandes quantidades de vegetais foram transportadas para o paleolago e que as gimnospermas dominavam o ambiente no momento de deposição da Formação Romualdo. Em suma, a ocorrência de vegetais fósseis na



Formação Romualdo abre novas possibilidades para o melhor entendimento do paleoambiente deposicional desta formação, permitindo a correlação com outras bacias do interior do nordeste brasileiro e a reconstrução da história dessa região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agassiz, L.** 1841. On the fossil found by Mr. Gardner in the Province of Ceará, in the North of Brazil. *Edinb. New Philo. J.* **30**: 82–84.
- Agassiz, L.** 1844. Sur quelques poissons fossiles du Brésil. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **18**: 1007–1015.
- Almeida, F.F.M. e Hasui, Y.** 1984. *O Pré-Cambriano do Brasil*. Edgard Blücher, São Paulo. 378 pp.
- Alvin, K.L.** 1977. The conifers *Frenelopsis* and *Manica* in the Cretaceous of Portugal. *Palaeontology*, **20**: 387–404.
- Alvin, K.L., Fraser, C.J. e Spicer, R.A.** 1981. Anatomy and Palaeoecology of *Pseudofrenelopsis* and associated conifers in the English Wealden. *Palaeontology*, **24** (4): 759–778.
- Alvin, K.L.** 1982. Cheirolepiciaceae: biology, structure and paleoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **37**: 71–98.
- Alvin, K.L.** 1983. Reconstruction of a Lower Cretaceous conifer. *Botanical Journal of Linnean Society*, **86**: 169–76.
- Arai, M.** 1990. *Análise Paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe)*. In: Atas do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. Crato (CE), 225–240p.
- Arai, M. e Coimbra, J.C.** 1990. *Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe)*. In: Atas do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. DNPM/PICG/CPCA/SBP. Crato. 225–239p.
- Archangelsky, S.** 1970. *Fundamentos de Paleobotanica*. Universidade Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales Y Museo. Serie Técnica Y Didáctica. N. 11. La Plata. Republica Argentina. 347p.
- Assine, M.L.** 1990. Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 124p.
- Assine, M.L.** 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **22**(3): 289–300.
- Assine, M.L.** 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **24**(4): 223–232.
- Assine, M.L.** 2007. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**: 371–389.

**Axsmith, B.J.** 2006. The vegetative structure of a Lower Cretaceous conifer from Arkansas: Further implications for morphospecies concepts in the Cheirolepidiaceae. *Cretaceous Research*, **27**: 309–17.

**Axsmith, B.J. e Jacobs, B. F.** 2005. The conifer *Frenelopsis ramosissima* (Cheirolepidiaceae) in the Lower Cretaceous of Texas: Systematic, biogeographical, and paleoecological implications. *International Journal of Plant Sciences*, **166**: 327–37.

**Barale, G. e Ouaja, M.** 2001. Découvert de nouvelles flores avec des restes à affinités angiospermiennes dans le Crétacé inférieur du Sud Tunisien. *Cretaceous Res.*, **22**: 131–143.

**Bardola, T.P.** 2011. Caracterização anatômica e relações estratigráficas da lignoflora triássica da região de São Pedro do Sul, RS. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 61 p.

**Batten, D.J.** 1984. Palynology, climate, and the development of Late Cretaceous floral provinces in the Northern Hemisphere; a review, pp. 127–164. In Brenchley, P. J. (ed.), *Fossils and Climate. Geological Journal*, Special Issue, **11**.

**Bell, P.R.** 1992. *Green plants: their origin and diversity*. Cambridge, University Press, 315p.

**Behrensmeyer, A. K.** 1991, Terrestrial vertebrate accumulations, in Allison, P.A. and Briggs, D.E.G., eds., *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*: Plenum Press, New York, p. 291–335.

**Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Dilcher, D., Barreto, A.M.F., Branco, F.R., Mohr, B. e Fernandes, M.C.C.** 2003. *La Flora del Miembro Crato, Formación Santana, Cretácico Temprano de la Cuenca de Araripe, Noreste del Brasil*. 10 Congreso Geológico Chileno, Concepción. Actas, p. s/n-s/n.

**Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Mohr, B., Kunzmann, L., Barreto, A.M.F., Fernandes, M.C.C., Sucerqui, P.R. e Andrade, A.F.G.** 2005. Conífera Frenelopsida (Cheirolepidiaceae), Presente no Membro Romualdo, Formação Santana, Albo-Aptiano da Bacia do Araripe, NE do Brasil. In: XIX Congresso Brasileiro de Paleontologia, Aracaju. *Boletim de Resumos*.

**Berthou, P.Y.** 1990. *Le bassin d'Araripe et les petits bassins intracontinentaux voisins (NE du Brésil): formation et évolution dans le cadre de l'ouverture de l'Atlantique Equatorial. Comparaison avec les bassins ouest-africains dans le même contexte*. Atas I Simp. Bacia Araripe e Bacias Inter. Nord., Crato (CE). Departamento Nacional de Produção Mineral, Crato, Brazil, pp. 113–134.

**Beurlen, K.** 1962. A geologia da Chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **34**(3): 365–370.

**Beurlen, K.** 1963. *Geologia e estratigrafia da chapada do Araripe*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 17, Rio de Janeiro, 1963. SBG, Anais: 1–47.

**Beurlen, K.** 1966. Novos equinóides no Cretáceo do Nordeste do Brasil. *An. Acad. bras. Cienc.*, **389**(3/4): 455–464.

**Beurlen, K.** 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43**: 411–418.

**Binks, R.M. e Fairhead, J.D.** 1989. *The opening of the Equatorial Atlantic and it's relationship to continental tectonic deformation*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 1, 1989, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, p. 853–858.

**Braun, C.F.W.** 1843. *Beiträge zur Urgeschichte der Pflanzen*. In: G.G. Muenster (Editor), *Beiträge zur Petrefactenkunde*, Bayreuth, **6**: 5–25.

**Braun, O.P.G.** 1966. *Estratigrafia dos sedimentos da parte inferior da Região Nordeste do Brasil: Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim 236, 75p.

**Brenner, G.J.** 1976. *Middle Cretaceous floral provinces and early migrations of Angiosperms*. In C.B. Beck (ed.), *Origin and early evolution of angiosperms*. Columbia University Press, New York, USA. 23–47.

**Brito Neves, B.B.A.** 1990. Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. In: Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1., Crato. Atas... Crato: DNPM/SBP/SBG. p. 21–33.

**Brongniart, A.T.** 1828. *Prodrome d'une histoire des vegetaux fossiles*. F.G. Levrault, Paris.

**Buffetaut, E., Martill, D.M. e Escuillié, F.** 2004. Pterosaurs as part of a spinosaur diet. *Nature*, 430: 33.

**Cao, Z.Y.** 1989. Some Lower Cretaceous gymnospermae from Zhejiang with study on their cuticles. *Acta Palaeontologica Sinica*, **28**: 435–46.

**Carvalho, M.S.S. e Santos, M.E.C.M.** 2005. Histórico das pesquisas paleontológicas na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, **28**: 15–35.

**Carvalho, I.S., Viana, M.S.S. e Lima Filho, M.F.** 1995. Os icnofósseis de dinossauros da Bacia do Araripe (Cretáceo Inferior, Ceará-Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **67**: 433–442.

**Castro, D.L. e Castelo-Branco, R.M.G.** 1999. Caracterização da arquitetura interna das bacias do Vale do Cariri (NE do Brasil) com base em modelagem gravimétrica 3-D. *Revista Brasileira de Geofísica*, **17** (2-3): 130–144.

**Castro, C., Menor, E.A. e Campantra, V.A.** 1970. Descoberta de resinas fósseis na Chapada do Araripe Município de Porteiras, Ceará. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento Petroleum, Serie C., Notas Preliminares, **1**: 1–11.

**Cavalcanti, V. e Vianna, M.** 1990. *Faciologica dos sedimentos não-lacustres da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil)*. In: Atas do I Simposio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste (D. Campos, C.F. Viana, P.M. Brito e G. Beurlen, eds), pp. 193–202. Crato, Ceará, Brasil.

**Cleal, C.J. e Thomas, B.A.** 1999. *Plant fossils. The history of land vegetation*. Woodbridge: The Boydell Press. 188p.

**Coimbra, J.C., Arai, M. e Carreño, A.L.** 2002. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe basin, northeastern Brazil. *Geobios*, **35**(6): 687–698.

**Cordani, U.G., Brito-Neves, B.B., Fuck, R.A., Porto, R., Thomaz Filho, A. e Cunha, F.M.B.** 1984. Estudo preliminar da integração do pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Serie Ciência – Técnica - Petróleo*, **15** (3): 1–70.

**Crane, P.R.** 1997. The origin and early diversification of angiosperms. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, II (nº especial): 229.

**Crane, P.R. e Maisey, J.G.** 1991. *Fossil plants*. In: Maisey, J. G. 1991 (ed.). *Santana fossils: an illustrated atlas*. T. F.H. Publications, Neptune City, NJ, USA, p. 414–419.

**Crane, P.H., Peter, R. e Friis, E.M.** 2004. Fossils and plant phylogeny. *American Journal of Botany*, **91**(10): 1683–1699.

**Crane, P.R. e Upchurch, G.R.** 1987. *Drewria potomacensis* gen. et sp. nov., an Early Cretaceous member of Gnetales from the Potomac Group of Virginia. *American Journal of Botany*, **74**:1722–1736.

**Da Rosa, A.A.S. e Garcia, A.J.V.** 2000. Palaeobiogeographic aspects of northeast Brazilian basins during the Berriasian before the break up of Gondwana. *Cretaceous Research*, **21**: 221–239.

**Deng, S.H., Yang, X.J. e Lu, Y.Z.** 2005. *Pseudofrenelopsis* (Chirolepidiaceae) from the Lower Cretaceous of Jiuquan, Gansu, Northwestern. *Acta Palaeontologica Sinica*, **44**: 505–516.

**Dentzien-Dias, P.C., Figueiredo, A.E.Q., Pinheiro, F.L. e Schultz, C.L.** 2010. Primeira evidência icnológica de um tetrápode natante no Membro Crato (Cretáceo Inferior), Formação Santana (Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, **13**: 257–260.

**Dilcher, D.L.** 2001. Paleobotany: some aspects of non-flowering and flowering plant evolution. *Taxon*, **50**: 697–711.

**Dilcher, D.L., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Pons D. e Lott T.A.** 2005. Welwitschiaceae from the Lower Cretaceous of Northeastern Brazil. *American Journal of Botany*, **92**: 1294–1310.

**Doyle, J.A., Jardine, S. e Doerenkamp, A.** 1982. *Afropollis*, a new genus of early angiosperm pollen, with notes on the Cretaceous palynostratigraphy and paleoenvironments

of northern Gondwana. *Bulletin des Centre de Recherches Exploration-Production, Elf-Aquitaine*, **6**: 39–117.

**Doludenko, M.P.** 1967. Epidermal structure of Podozamites leaves, *International Geology Review*, **9**(2): 214–217.

**Duarte, L.** 1985. Vegetais fósseis da Chapada do Araripe, Brasil. *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos*, DNPM, Brasília, **27**: 585–617.

**Duarte, L.** 1993. Restos de Araucariáceas da Formação Santana – Membro Crato (Aptiano), NE do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **65**: 357–362.

**Edwards, D.S.** 1986. Aglaophyton major, a non-vascular land-plant from the Devonian Rhynie Chert. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **93**: 177–188.

**Edwards, D., Duckett, J.E. e Richardson, J.B.** 1995. Hepatic characters in the earliest land plants. *Nature*, **374**: 635–636.

**Fairhead, J.D.** 1988. *Mesozoic plate tectonics reconstructions of the central – South Atlantic ocean: the role of the West and Central African rift system*. *Tectonophysics*, v. 155, p. 181–191.

**Fairon-Demaret, M., Hilton, J. e Berry, C.M.** 1999. Surface preparation of macrofossils (dégagement). In: Jones, T. P. & Rowe, N. P. (eds). **Fossil plants and spores: modern techniques**. The Geological Society of London. London. Cap. 7: 33–35p.

**Fambrini, G.L., Tesser, S.J., Neumann, V.H.M.L., Souza, B.Y.C. e Filho, W.F.S.** 2009. Facies e Sistemas Depositionais na Área-Tipo da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos*, **19** (1): 161–190.

**Fambrini, G.L., Lemos, D.R., Jr, S.T., Araújo, J.T., Silva-Filho, W.F., Souza, B.Y.C. e Neumann, V.H.M.L.** 2011. 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. *Revista do Instituto de Geociências*, **11** (2): 55–87.

**Fambrini, G.L., Neumann, V.H.M.L., Barros, C.L., Agostinho, S.M., Galm, P.C, Araújo, J.T. e Filho, J.A.B.M.** 2012. Análise de fácies da Formação Brejo Santo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: implicações paleodeposicionais. *Estudos Geológicos*, **22** (1): 131–155.

**Fanton, J.C.M.** 2007. Novas gimnospermas e possível angiosperma da paleoflora Crato, Eocretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, São Paulo. 194p.

**Fara, E., Saraiva, A.A.F., Campos, D.A., Moreira, J.K.R., Carvalho Siebra, D. e Kellner, A.W.A.** 2005. Controlled excavation in the Romualdo Member of the Santana Formation (early Cretaceous, Araripe Basin, northeast Brazil): stratigraphic, palaeoenvironmental and palaeoecological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **218**: 145–160.



**Friis, E., Crane, P.R. e Pedersen, K.R.** 2011. *Early flowers and Angiosperm evolution*. Cambridge University Press, 585 p. 11.

**Friis, E.M., Pedersen, R. e Crane, P.R.** 2006. Cretaceous angiosperm flowers: Innovation and evolution in plant reproduction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **232**: 251–293.

**Fontaine, W.M.** 1889. The Potomac or younger Mesozoic flora. *Monographs of the United States Geological Survey*, **15**: 1–377.

**Gardner, G.** 1841. Geological notes made during a journey from the coast into the interior of the Province of Ceará, in the north of Brazil, embracing an account of a deposit of fossil fishes. *Edinb. New Philo. J.*, **30**: 75–82.

**Gaspary, J. e Anjos, N.F.R.** 1964. Estudo Hidrogeológico de Juazeiro do Norte - Ceará. Recife, *SUDENE*. 25 p. (Serie Hidrogeologia 3).

**Guiraud, D.M.** 1990. Tectono-sedimentary framework of the Early Cretaceous continental Bima Formation (Upper Benue Trough, NE-Nigéria). *Journal of African Earth Science*, **10**(1/2): 341–353.

**Harris, T.M.** 1935. *Fossil flora of scoresby sound, East Greenland*. Medd. GrOnland, **112**(1) 3–176.

**Harris, T.M.** 1979. *The Yorkshire Jurassic Flora, vol. 5. Coniferales*. London: British Museum of Natural History, 166 p.

**Hashimoto, A.T., Appi, C.J., Soldan, A.L. e Cerqueira, J.R.** 1987. O neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental. *Revista Brasileira de Geociências*, **17** (2): 118–122.

**Heer, O.** 1881. Contributions à la Flore fossile Du Portugal, Lisboa, 20, est. 17.

**Heimhofer, U. e Hochuli, P.A.** 2010. Early Cretaceous angiosperm pollen from a lowlatitude succession (Araripe Basin, NE Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **161**: 105–126.

**Hickey, L.J. e Doyle, J.A.** 1977. Early Cretaceous fossil evidence for angiosperm evolution. *Botanical Review*, **43**: 3–104.

**Hirayama, R.** 1998. Oldest known sea turtle. *Nature*, London, **392**: 705–708.

**Hollick, A. e Jeffrey, E.C.** 1906. Affinities of certain Cretaceous plant remains commonly referred to the genera Dammara and Brachyphyllum. *The American Naturalist*, **40** (471): 189–215.

**Iannuzzi, R., Marques-Toigo, M., Scherer, C.M.S., Caravaca, G., Vieira, C.E.L. e Pereira, L.S.** 2003. *Reavaliação da fitobioestratigrafia da sequência gonduânica sul-riograndense: estudo de caso do afloramento Morro do Papaléo (Bacia do Paraná, Permiano*

*Inferior*). In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDO E BACIAS, 2003. Anais, Porto Alegre, p. 183–185.

**Ianuzzi, R. e Vieira, C.E.L.** 2005. *Paleobotânica*. Série Didática. Porto Alegre. Editora da UFRGS. 167p.

**Jordan, D.S. e Branner, J.C.** 1908. The Cretaceous fishes of Ceará, Brazil. *Smithson. Misc. Collect*, **25**: 1–29.

**Kellner, A.W.A.** 2002. Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo brasileiro. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M. & Born, M.L.C.B. (eds). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília, DNPM/CPRM/SIGEP, p. 121–130.

**Kellner, A.W.A. e Campos, D.A.** 1999. Archosaur soft tissue from the Cretaceous of the Araripe Basin, northeastern Brazil. *Bol. Mus. Nac.* **42**: 1–22.

**Kellner, A.W.A. e Campos, D.A.** 2000. Brief review of dinosaur studies and perspectives in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **72**: 509–538.

**Kellner, A.W.A. e Tomida, Y.** 2000. Description of a new species of Anhangueridae (Pterodactyloidea) with comments on the Pterosaur Fauna from the Santana Formation (Aptian-Albian), Northeastern Brazil. National Science Museum, Tóquio, *Monographs*, **17**: 1–135.

**Kellner, A.W.A., Campos, D.A., Sayão, J.M., Saraiva, A.A.F., Rodrigues, T., Oliveira, G., Cruz, L.A., Costa, F.R., Silva, H.P. e Ferreira, J.S.** 2013. The largest flying reptile from Gondwana: a new specimen of *Tropeognathus* cf. *T. mesembrinus* Wellnhofer, 1987 (Pterodactyloidea, Anhangueridae) and other large pterosaurs from the Romualdo Formation, Lower Cretaceous, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **85** (1): 113–135.

**Kendall, M.W.** 1949. A Jurassic member of the Araucariaceae. *Annals of Botany*, **13** (50): 151–161.

**Kon'no, E.** 1961. Some Cycadocarpidium and *Podozamites* from the Upper Triassic formations in Yamaguchi Prefecture, Japan. *Sci. Rep.*, **32**(2): 195–211.

**Kunzmann, L., Mohr, B. e Bernardes-de-Oliveira, M.E.C.** 2004. Gymnosperms from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). I. Araucariaceae and Lindleycladus (incertae sedis). *Mitteilung aus dem Museum für Naturkunde Berlin, Geowissenschaftliche Reihe*, **7**: 155–174.

**Kunzmann, L., Mohr, B., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. e Wilde, V.** 2006. Gymnosperms from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). II. Cheirolepidiaceae. *Fossil Record*, **9**(2): 213–225.

**Kvaček, J.** 2007. The conifer *Brachyphyllum squammosum* from the Bohemian Cenomanian. *Acta Palaeobotanica*, **47**(1): 25–35.

**La Graine.** 1878. d'Usine de Mirabilis de Welwitschia de Jardin Part de Cotyledonary.

**Leal, M.E.C. e Brito, P.M.** 2004. The Ichthyodectiform Cladocycclus Gardneri (Actinopterygii: Teleostei) from the Crato and Santana Formations, Lower Cretaceous of Araripe Basin, north-eastern Brazil. *Ann. Paléontol.*, **90**: 103–113.

**Li, C.S. e Edwards, D.** 1992. A new genus of early land plants with novel strobilar construction from the Lower Devonian Posongchong Formation, Yunnan Province, China. *Palaeontology*, **35**: 257–272.

**Lima, F.J. e Saraiva, A.A.F.** 2011. Registro de *Welwitschiophyllum brasiliense* para a Formação Romualdo Bacia do Araripe. In: XIII Semana de Iniciação Científica, 2011, Crato.

**Lima, F.J., Saraiva, A.A.F. e Sayão, J.M.** 2012. Revisão da paleoflora das formações Missão Velha, Crato e Romualdo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos*, **22** (1): 99–115.

**Lima, M.R.** 1989a. *Fósseis do Brasil*. T.A.; Queiroz: Editora da Universidade de São Paulo. SP. v. 14., 118p.

**Lima, M.R.** 1989b. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). IV. Systematic description of pollen from plicate and porous pollen, spores, incertae sedis and marine microplankton. *Ameghiniana*, **26**: 63–81.

**Lima, M.R.** 1978. Caracterização Palinológica do Albiano no Brasil. *Boletim do IG. Instituto de Geociências*. Universidade de São Paulo. **9**: 140–143.

**Lindley, J. e Hutton, W.** 1831-1837. The fossil flora of Great Britain or figures and descriptions of the vegetable remains found in a fossil state in this country, vol. 1 (1831-1833): pp. 1-233; Vol. 2 (1833-1835): pp. 80-156; vol. 3 (1835-1837): pp. 1-208. James Ridways, London, England.

**Mabesoone, J.M.** 1996. *Petrografia de alguns sedimentos calcários e microclásticos do Grupo Araripe (Nordeste do Brasil)*. Anais XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia. 1: 262–270.

**Mabesoone, J.M. e Tinoco, I.M.** 1973. Palaeoecology of the Aptian Santana Formation (northeastern Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **14**(2): 97–118.

**Mabesoone, J.M.** 1982. Problemas sedimentológicos-Estratigráficos das Bacias Interiores do NE. DEGEO, UFPE.

**Machado, E.B. e Kellner, A.W.A.** 2009. On a spinosaurid manus (Dinosauria, Theropoda) from the Romualdo Formation (Santana Group), Araripe Basin, Brazil. In: XXI Congresso brasileiro de Paleontologia, 2009, Belem. Boletim de resumos do XXI Congresso brasileiro de Paleontologia. p. 193–193.

- MacLeod, S.E. e Hills, L.V.** 1991. Late Jurassic to Early Cretaceous (Tithonian to pre-Albian) plant macrofossils, northern Bowser Basin, British Columbia, Canada *Review of Palaeobotany and Palynology*, **70**: 9–45
- Maisey, J.G.** 1991. *Santana Fossils: An Illustrated Atlas*. T.F.C. Publications, Neptune. 459p.
- Maisey, J.G., Campos, D.A. e Kellner, A.W.A.** 1999. *A new specimen of Obaichthys (Lepisosteidae) from the Romualdo Member (Albian), Santana Formation, Northeast Brazil*. XVI Congr. Bras. Paleont., Boletim de Resumos. URCA, Crato, 62–63.
- Maisey, J.G.** 2000. Continental break up and the distribution of fishes of Western Gondwana during the Early Cretaceous. *Cretac. Res.*, **21**: 281–314.
- Maranhão e Petri.** 1996. Novas ocorrências de fósseis nas formações Corumbataí e Estrada Nova do Estado de São Paulo e considerações preliminares sobre seus significados paleontológicos e bioestratigráfico. *Revista IG*, **17**: 33–54.
- Martill, D.M.** 1993. Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. *Palaeontol. Assoc. Field Guides Foss*, **5**: 1–159.
- Martill, D.M.** 2007. The age of the Cretaceous Santana Formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: A historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its palaeobiota. *Cretaceous Research*, Amsterdam, **29**: 1–26.
- Martill, D.M.** 2011. A new pterodactyloid pterosaur from the Santana Formation (Cretaceous) of Brazil, *Cretaceous Research*, **32**: 236–243.
- Martill, D.M., Bechly, G. e Loveridge, R.F.** 2007. *The Crato Fossil Beds of Brazil – Window into an Ancient World*. Cambridge University Press. 625p.
- Martill, D.M., Loveridge, R.F., Mohr, B.A.R. e Simmonds, E.** 2011. A wildfire origin for terrestrial organic debris in the Cretaceous Santana Formation Fossil Lagerstätte (Araripe Basin) of north-east Brazil. *Cretaceous Research*, **34**: 135–141.
- Martill, D. M. e Wilby, P.** 1993. *Stratigraphy*. In Martill, D. M. (ed.), *Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil*. London: The Palaeontological Association pp. 20–50.
- Martín-Closas, C. e Gomez, B.** 2004 Taphonomie des plantes et interprétations paléoécologiques. Une synthèse Plant taphonomy and palaeoecological interpretations. A synthesis. *Geobios*, **37**: 65–88.
- Matos, R.M.D.** 1992. The northeast Brazilian rift system. American Geophysical Union, USA. *Tectonics*, **11**: 766–791.
- Matos, R.M.D.** 1999. *History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa*. In: CAMERON *et al.* (Ed.). *The oil and gas habitats of the South Atlantic*. London: Geological Society, p. 55–73.

**Mendes, J.C.** 1984. *Elementos de Estratigrafia*. T. A. Queiroz. Editora da Universidade de São Paulo. Biblioteca de Ciências Naturais, 566p.

**Mendes, J.C.** 1988. *Paleontologia Básica*. T.A. Queiroz. Editora da Universidade de São Paulo. 347p.

**Mendes, J.C., Bigarella, J.J., Salamuni, R., Campos A.C.R. e Petri, S.** 1972. *Estratigrafia e sedimentologia Geologia estrutural Aerofotogeologia*. Enciclopédia Brasileira. Biblioteca Universitária. Instituto Nacional do Livro. Brasília. 50p.

**Mendes, J.C. e Petri, S.** 1971. *Geologia do Brasil*. Instituto Nacional do Livro- Ministério da Educação e Cultura. Rio de Janeiro. 207p.

**Meyen, S.V.** 1984. Basic features of gymnosperm systematics and phylogeny as evidenced by the fossil record. *Botanical Review*, **50**: 1–112.

**Meyen, S.V.** 1987. *Fundamentals of palaeobotany*. Chapman and Hall, London. 432 p.

**Mohr, B. e Eklund, H.** 2003. *Araripia florifera*, a magnoliid angiosperm from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 126: 279–292.

**Mohr, B.A.R. e Friis, E.M.** 2000. Early angiosperms from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil), a preliminary report. *Int. J. Plant Sci.*, **161**(6): 155–167.

**Mohr, B., Kunzmann, L. e Bernardes-de-Oliveira, M.E.C.** 2006. Reconstruction of the Crato Flora (Northeastern Brazil), a Lower Cretaceous vegetation from Northern Gondwana. In: Second Palaeontological Congress, Beijing. *Abstracts of the Second Palaeontological Congress, Ancient Life and Modern Approaches*, p. 13–18.

**Moura, G., Barreto, A. e Báez, A.M.** 2006. *A biota da Formação Crato, Eocretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. Livro Rápido, Olinda, 101 p.

**Nathorst, A.G.** 1893. Pflanzenreste aus dem Neocom von Tlaxiaco. In Felix J. & Lenk H. (eds.) *Beitraege zur Geologie Und Paleontologie der Republik Mexico*, **2**: 51–4, Felix, Leipzig.

**Neumann, V.H.M.L.** 1999. Estratigrafia, sedimentologia, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres aptiense-albienses de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil). 244 p. Tesis de Doctoral, Universitat de Barcelona, DEP, DGPPG.

**Neumann, V.H.M.L. e Cabrera, L.** 1999. *Una nueva propuesta estratigrafica para La tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, noreste de Brasil*. In: BOLETIM DO 5º SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, São Paulo, p. 279–285.

**Neumann, V.H.M.L., Cabrera, L., Mabesoone, J.M., Valença, L.M.M. e Silva, A.L.** 2002. *Ambiente sedimentar e facies da sequência lacustre aptiana-albiana da bacia do Araripe, NE do Brasil*. In: 6º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e 2º Simpósio sobre el Cretácico de América del Sur, Rio Claro. Anais... Rio Claro, UNESP, p 37–51.



- Nobre, G.S.** 1978. *João da Silva Feijó: um naturalista no Ceará*. Gráfica Editorial Cearense, Fortaleza. 256p.
- Oldham, T.C.B.** 1976. Flora of the Wealden plant debris beds of England. *Palaeontology*, **19**: 437–502.
- Oliveira, G.R. e Romano, P.S.R.** 2007. Histórico dos achados de tartarugas fósseis do Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, **65**: 113–133.
- Oliveira, G.R., Saraiva, A.A.F, Silva, P.H., Andrade, J.A.F.G. e Kellner, A.W.A.** 2011. First turtle from the Ipubi formation (Early Cretaceous), Santana Group, Araripe Basin, Brazil. *Rev. Bras. Paleontol.* **14**(1): 61–66.
- Ohsawa, T., Nishida, H. e Nishida, M.** 1995. *Yezonia*, a new section of *Araucaria* (Araucariaceae) based on permineralized vegetative and reproductive organs of *A. vulgaris* comb. nov. from the Upper Cretaceous of Hokkaido, Japan. *J. Plant Res.*, **108**: 25–39.
- Price, L.I.** 1959. Sobre um crocodilídeo Notossuquio do Cretáceo Brasileiro. *Departamento Nacional da Produção Mineral/Divisão de Geologia e Mineralogia*. Boletim 188, 56 p.
- Ponte, F.C. e Appi, C.J.** 1990. *Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe*. Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal, Anais, SBG: 211–226.
- Ponte, F.C. e Ponte Filho, F.C.** 1996. Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe. *Departamento Nacional da Produção Mineral*, Recife, 68p.
- Rand, H.M. e Manso, V.A.V.** 1984. *Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. p. 2011–2016.
- Raven, P.H., Evert, R.F. e Eichhorn, S.E.** 2007. *Biologia vegetal*. 7th ed. Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 906p.
- Rees, P.M., Ziegler, A.M. e Valdes, P.J.** 2000. *Jurassic phytogeography and climates: new data and model comparisons*. In: Huber, B.T., Macleod, K.G. e Wing, S.L. (eds.), *Warm climates in earth history*, Cambridge University Press, Cambridge, 297–318.
- Riff, D., Romano, P.S.R., Oliveira, G.R. e Aguilera, O.A.** 2010. Neogene crocodile and turtle fauna in northern South America. In *Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past*. Editores Hoorn, C. e Wesselingh, E. P.. Blackwell Publishing.
- Sales, A.M.F.** 2005. Análise tafonômica das ocorrências fossilíferas de Macroinvertebrados do Membro Romualdo (Albiano) da Formação Santana, Bacia do Araripe, NE do Brasil: Significado Estratigráfico e Paleoambiental. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. 131p.
- Santana, W., Pinheiro, A.P., Silva, C.M. R. e Saraiva, A.A.F.** 2013 A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the Cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Zootaxa*, **3620** (2): 293–300.

**Small, H.L.** 1913. *Geologia e supprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí*. Rio de Janeiro, Inspectoria Federal de Obras contra as Secas, 181p.

**Saporta, G. De.** 1894. *Flore fossile du Portugal*. Lisbonne, pp. 1--228 (pl. I--XXXIX).

**Saraiva, A.A.F., Hessel, M.H., Guerra, N.C. e Fara, E.** 2007. Concreções Calcárias da Formação Santana, Bacia do Araripe: uma proposta de classificação. *Estudos Geológicos*, **17**(1): 40–58.

**Sayão, J.M., Saraiva, A.A.F. e Uejima, A.M.K.** 2011. New evidence of feathers in the Crato Formation supporting a reappraisal on the presence of Aves. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **83**(1): 197–210.

**Schimper, W.Ph.** 1870. *Traite de paleontologie vegetale*, v. 2. Paris, 960 pp.

**Selden, P.A. e Nudds, J.R.** 2005. *Evolution of Fossil Ecosystems*. Manson Publishing, Ltd., London. 192p.

**Sénant, J. e Popoff, M.** 1991. Early Cretaceous extension in northeast Brazil related to the South Atlantic opening. *Tectonophysics*, **19**: 35–46.

**Soares, M.B.** 1996. Mesossaurídeos da Formação Irati, Bacia do Paraná: Implicações tafonômicas. 203f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

**Soares, P.C., Landim, P.M.B. e Fúlfaro, V.J.** 1978. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. *Bulletin Geological Society of America*, **89**: 181–191.

**Spicer, R.A., Rees, P.M. e Chapman, J.L.** 1993. Cretaceous phytogeography and climate signals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, **341**: 277–286.

**Srinivasan, V.** 1995. Conifers from the Puddelock locality (Potomac Group, Early Cretaceous) in eastern North America. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **89**: 257–286.

**Srivastava, S.K.** 1976. The fossil pollen genus *Classopollis*. *Lethaia*, **9**: 437–457.

**Stewart, W.N.** 1983. *Paleobotany and the evolution of plants*. New York, Cambridge University Press, 405p.

**Stewart, W.N. e Rothwell, G.W.** 1993. *Paleobotany and the evolution of plants*. Cambridge: Cambridge University Press. 521p.

**Sucerquia, P.A.R.** 2007. Gimnospermas eocretáceas da Formação Crato, bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. 108 p.

**Sun, B., Dai, J., Wang, Y., Jia, H., Yan, D. e Jiang, Z.** 2011. *Pseudofrenelopsis* fossils from Cretaceous gypsum beds in Guixi, Jiangxi Province, China and their geological significance. *Island Arc*, **20**: 43–56.

**Sze, H.C.** 1931. Beitrage zur Liassischen flora von China. *Mem. Nat. Res. Inst. Geol. Acad. Sin*, **12**: 1–85.

**Talbot, M.R. e Allen, P.A.** 1996. Lakes. in Reading, H.G., eds., *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*: Oxford University Press, Cambridge and Blackwell Science, p. 5–36.

**Tassinari, C.C.G. e Dias Neto, C.M.** 2009. *Tectônica Global*. In: Teixeira, W.; Fairchild, T.R.; Toledo, M.C.M. e Taioli, F. (Org). *Decifrando a Terra*. 2ª Edição. Companhia Editora Nacional. Capítulo 3, 107p.

**Taylor, T.N. e Taylor, E.L.** 1993. *The biology and evolution of fossil plants*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 544 p.

**Taylor, T.N., Taylor, E.L. e Krings, M.** 2009. *Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants*. Amsterdam: Elsevier. 1253p.

**Tryon, R.M. e Tryon, A.F.** 1982. The biogeography of species, with special reference to ferns. *The Botanical Review*, **52** (2): 117–156.

**Upchurch, G.R. e Doyle, J.A.** 1981. Paleoecology of the conifers *Frenelopsis* and *Pseudofrenelopsis* (Cheirolepidiaceae) from the Cretaceous Potomac Group of Maryland and Virginia. In Romans R. C. (ed.) *Geobotany*, Vol. 2, pp. 167–202, Plenum Press, New York.

**Vakhrameev, V.A.** 1973. Mesozoic floras of the Southern Hemisphere and their relationship to the floras of the Northern continents. *Paleontological Journal*, **6**(3): 409–421.

**Vakhrameev, V.A.** 1975. Main features of global phitogeografhy in the Jurassic and Early Cretaceous. *Paleontological Journal*, **9**(2): 24 –255.

**Vakhrameev, V.A.** 1978. The climates of the Northern Hemisphere in the Cretaceous in the light of paleobotanical data. *Paleontological Journal*, **12** :143–154.

**Vakhrameev, V.A.** 1981. Pollen Classopollis: indicator of Jurassic and Cretaceous climates. *The Palaeobotanist*, **28**: 301–307.

**Vakhrameev, V.A.** 1991. *Jurassic and Cretaceous floras and climates of the Earth*. Cambridge University Press. 318p.

**Valença, L.M.M.** 1987. Estudo dos sedimentos que capeiam a chapada do Araripe (CE-PE). Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, 125p.

**Valença, L.M.M., Neumann, V.H. e Mabesoone, J.M.** 2003. An overview on Calloviane Cenomanian intracratonic basins of northeast Brazil: onshore stratigraphic record of the opening of the southern Atlantic. *Geological Acta*, 1: 261–275.

**van Waveren, I.M., van Konijnenburg-van Cittert, J.H.A., van der Burgh, J. e Dilcher, D.L.** 2002. Macrofloral remains from the Lower Cretaceous of the Leiva region (Columbia). *Scr. Geol.*, **123**: 1–39.

**Velenovsky, J.** 1885. Die Gymnospermen der Bohmischen Kreideformation. E. Greger, Prag.

**Viana, M.S.S.** 2001. *164 anos de pesquisas paleontológicas na Chapada do Araripe: Formação Santana (Cretáceo Inferior)*. In: Barros, L.M., Nuvens, P.C., Filgueira, J.B.M. (Eds.), I e II Simpósios sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1990–1997. Coleção Chapada do Araripe no. 1, Crato, pp. 195–211.

**Viana, M.S.S. e Cavalcanti, V.M.M.** 1991. Sobre a estratigrafia da Formação Santana, Bacia do Araripe. *Revista de Geologia*, **4**: 51–60.

**Viana, M.S.S. e Neumann, V.H.L.** 2002. *Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE, riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo*. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert- Born, M. L. C. (Edit.) 2002. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) - Brasília 2002; 554pp.

**Vidal, F.W.H., Castro, N.F. e Peiter, C.C.** 2008a. The cariri stone local productive cluster. Rio de Janeiro, II Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. 429–434p.

**Vidal, F.W.H., Castro, N.F. e Campos, A.C.** 2008b. Quarrying limestones and saving fossils of the Araripe Basin, Brazil. Rio de Janeiro, II Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. 63–69p.

**Vidal, F.W.H., Sales, F.A.C.B., Roberto, F.A.C., Sousa, J.F. e Mattos, I.C.** 2005. *Rochas e minerais industriais do Ceará*. CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, Fortaleza: 174p.

**Vila Nova, B.C., Saraiva, A.A.F., Moreira, J.K.R. e Sayão, J.M.** 2011. Controlled excavations in the Romualdo Formation Lagerstätte (Araripe Basin, Brazil) and pterosaur diversity: remarks based on new findings. *Palaio*, **26**(3):173–179.

**Vila Nova, B. e Sayão, J.M.** 2012. On wing disparity and morphological variation of the Santana Group pterosaurs. *Historical Biology (Print)*, **24**: 567–574.

**Yang, X.J.** 2005. A scanning electron microscopical observation on a cheirolepidiaceus conifer from the Lower Cretaceous of Hualong, Qinghai. *Acta Palaeontologica Sinica*, **44**: 79–86.

**Watson, J.** 1974. *Manica*: A new fossil conifer genus. *Taxon*, **23**: 428.

**Watson, J.** 1977. Some Lower Cretaceous conifers of the Cheirolepidiaceae from the U.S.A. and England. *Palaeontology*, **20**: 715–49.

- Watson, J.** 1988. The Cheirolepidiaceae. In Back Ch. B. (ed.). *Origin and Evolution of Gymnosperms*, pp. 382–447, Columbia University Press, New York.
- Watson, J. e Alvin, K.L.** 1996. An English Wealden floral list, with comments on possible environmental indicator. *Cretaceous Research*, **17**: 5–26.
- Wenz, S. e Brito, P.M.** 1990. *L'ichthyofaune des nodules fossilifères de la Chapada do Araripe (N-E du Bresil)*. In: Campos, D.A., Viana, M.S.S., Brito, P.M., Beurlen, G. (Eds.), Atas do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. URCA, Crato, pp. 337–349.
- Wenz, S., Brito, P.M. e Martill, D.M.** 1993. *The fish fauna of the Santana Formation concretions*. In: Martill, D.M. (Ed.), Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. Palaeont. Ass. Field Guide to Fossils, **5**: 76–107.
- Willis, K.J. e McElwain, J.C.** 2002. *The Evolution of Plants*. Oxford: University Press. 378p.
- Woodward, A.S.** 1887. On the fossil teleostean genus *Rhacolepis* Agassiz. *Proc. Zool. Soc. Lond*, 1887: 535–542.
- Yabe, A. e Kubota, K.** 2004. *Brachyphyllum obesum*, newly discovered Thermophilic conifer branch from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of the Tetori Group, Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, **3**: 23–29.
- Ziegler, A.M., Parrish, J.M. e YAO, J.** 1993. Early Mesozoic phytogeography and climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society London. Series B*, **341**: 297–305.
- Ziegler, A.M., Rees, P.Mc.A., Rowley, D.B., Bekker, A., Qing, L. e Hulver, M.L.** 1996. *Mesozoic assembly of Asia: Constraints from fossil floras, tectonics, and paleomagnetism*. In Yin A. & Harrison M. (eds.) *The Tectonic Evolution of Asia*, pp. 371–400, Cambridge University Press, Cambridge.



## ANEXO:

**Anexos 1:** Espécimes da Formação Romualdo, identificados neste trabalho.

<i>Podozamites lanceolatus</i>	<i>Brachyphyllum obesum</i>	<i>Brachyphyllum castilhoi</i>	<i>Pseudofrenelopsis</i> sp.	<i>Welwitschiophyllum brasiliense</i>	<i>Welwitschiostrobus murili</i>
LPU 726 PL					
LPU 727 PL					
LPU 737 PL					
	LPU 243 PL				
	LPU 720 PL				
	LPU 721 PL				
	LPU 722 PL				
	LPU 723 PL				
	LPU 762 PL				
	LPU 765 PL				
	LPU 767 PL				
	MPSC PL 33				
	MPSC PL 529				
	MPSC PL 530				
	MPSC PL 532				
	MPSC PL 534				
	MPSC PL 535				
	MPSC PL 537				
	MPSC PL 539				
	MPSC PL 540				
	MPSC PL 541				
	MPSC PL 542				
	MPSC PL 543				
	MPSC PL 544				
	MPSC PL 545				
	MPSC PL 546				
	MPSC PL 547				
	MPSC PL 724				
	MPSC PL 904				
	MPSC PL 911				
	MPSC PL 1022				
	MPSC PL 1023				
	MPSC PL 1027				
	MPSC PL 1032				
	MPSC PL 1078				
	MPSC PL 1178				
	MPSC PL 1214				
	MPSC PL 1276				
	MPSC PL 2149				
	MPSC PL 2196				
	MCNHBJ 268				
		MPSC PL 528			
		LPU 342 PL			
		LPU 749 PL			
		LPU 761 PL			
			LPU 243 PL		
			LPU 619 PL		
			LPU 640 PL		
			LPU 664 PL		
			LPU 644 PL		
			LPU 661 PL		
			LPU 662 PL		
			LPU 663 PL		
			LPU 665 PL		
			LPU 666 PL		
			LPU 667 PL		
			LPU 668 PL		
			LPU 669 PL		
			LPU 670 PL		
			LPU 680 PL		
			LPU 681 PL		
			LPU 682 PL		

			LPU 683 PL		
			LPU 684 PL		
			LPU 685 PL		
			LPU 686 PL		
			LPU 687 PL		
			LPU 688 PL		
			LPU 689 PL		
			LPU 690 PL		
			LPU 691 PL		
			LPU 692 PL		
			LPU 693 PL		
			LPU 694 PL		
			LPU 696 PL		
			LPU 697 PL		
			LPU 698 PL		
			LPU 699 PL		
			LPU 700 PL		
			LPU 701 PL		
			LPU 702 PL		
			LPU 703 PL		
			LPU 705 PL		
			LPU 706 PL		
			LPU 710 PL		
			LPU 717 PL		
			LPU 718 PL		
			LPU 719 PL		
			LPU 725 PL		
			LPU 730 PL		
			LPU 731 PL		
			LPU 732 PL		
			LPU 735 PL		
			LPU 738 PL		
			LPU 739 PL		
			LPU 740 PL		
			LPU 741 PL		
			LPU 742 PL		
			LPU 743 PL		
			LPU 746 PL		
			LPU 751 PL		
			LPU 753 PL		
			LPU 760 PL		
			LPU 764 PL		
			LPU 765 PL		
			LPU 766 PL		
			MPSC PL 2206		
			MCNHBJ 152		
				MPSC PL 597	
					LPU 101 PL
					LPU 745 PL