



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

LEOMIR DOS SANTOS CAMPOS

**AVALIAÇÃO FOSSILDIAGENÉTICA EM ZONAS DE ASSOCIAÇÃO FAUNÍSTICA
TRIÁSSICAS DA SUPERSEQUÊNCIA SANTA MARIA**

Recife
2020

LEOMIR DOS SANTOS CAMPOS

**AVALIAÇÃO FOSSILDIAGENÉTICA EM ZONAS DE ASSOCIAÇÃO FAUNÍSTICA
TRIÁSSICAS DA SUPERSEQUÊNCIA SANTA MARIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor.

Área de concentração: Geologia
Sedimentar e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Manso Sayão

Recife
2020

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

- C198a Campos, Leomir dos Santos.
Avaliação fossildiagenética em zonas de associação faunística triássicas da supersequência Santa Maria / Leomir dos Santos Campos – Recife, 2020.
207 f.: fig., tabs., abrev. e siglas.
- Orientadora: Profa. Dra. Juliana Manso Sayão.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2020.
Inclui referências e apêndices.
1. Geociências. 2. Fossildiagênese. 3. Paleoalterações. 4. Osteohistologia. 5. Dinodontosaurus. 6. Hyperodapedon. I. Sayão, Juliana Manso (Orientadora). II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG / 2020-237

LEOMIR DOS SANTOS CAMPOS

**AVALIAÇÃO FOSSILDIAGENÉTICA EM ZONAS DE ASSOCIAÇÃO FAUNÍSTICA
TRIÁSSICAS DA SUPERSEQUÊNCIA SANTA MARIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor.

Aprovado em: 24/ 04/ 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Juliana Manso Sayão (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Luciano Artemio Leal (Titular)
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Átila Augusto Stock Da Rosa (Titular)
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Renan Alfredo Machado Bantim (Titular)
Universidade Regional do Cariri

Prof. Dr. Gustavo Ribeiro de Oliveira (Titular)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Sonia Maria Agostinho Oliveira da Silva (Suplente)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Marina Bento Soares (Suplente)
Museu Nacional – UFRJ

Para minha flor mais linda, que me ensinou a ser quem sou, que lutou tanto por mim e não pôde presenciar fisicamente o nosso sonho sendo realizado. A primeira a acreditar no meu potencial, a primeira a me inspirar com suas histórias de superação de uma vida sofrida, mas acima de tudo, vitoriosa.

Você continua movendo minha vida, me inspirando a ser mais, a ir o mais longe que eu puder. Por mais trabalhoso que tenha sido até aqui, tudo é simples, fácil e tranquilo porque as verdadeiras dificuldades foram as suas.

AGRADECIMENTOS

A fé não se explica, ela é presença ou ausência. Sempre agradeço a Deus por aquele sopro de energia que me faz continuar até um pouco mais tarde, e pela alegria de ter me carregado até aqui.

Não teria chegado até aqui sem contar com apoio de grandes pessoas que tive o privilégio de conviver, observar, trabalhar e aprender. Acho que essa é a palavra mais importante, “aprender”. A aprendizagem adquirida com a convivência de quem ser e como ser, passa também pela ideia excludente ou de aversão, do que não ser ou do que não se tornar.

Por isso, levo com profundo apreço os conhecimentos partilhados em laboratório e em campo pela Professora Juliana Sayão, minha orientadora, quem me deu a oportunidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço imensamente ao Professor Luciano Artemio Leal, meu coorientador, que desde sempre acompanhou meus passos não só profissionalmente, assim como em muitas das escolhas que me fizeram chegar a Recife. Sou muito grato a você pela oportunidade cedida de desenvolver minha iniciação científica no Laboratório de Geociências. Você sabe que teria que escrever algumas páginas para agradecer por tudo, mas farei isso ao longo dos trabalhos que virão.

Não poderia esquecer o Professor Átila Da Rosa, a quem devo muito, (e um muito com inúmeras vogais) pela parceria acadêmica e pelo apoio incondicional dispensado a mim, emprestando o objeto de estudo para este trabalho e para continuação nos estudos subsequentes. Agradeço pela sua confiança e por me auxiliar sempre que foi solicitado, até nos momentos mais agitados da sua vida.

Agradeço ao Professor Pedro Guzzo pela parceria e pela confiança na minha palavra. Pessoas como você reforçam ainda mais o poder da honra e competência dentro das instituições públicas do Brasil. E como esquecer da Professora Sandra Brito, parceira, atenciosa, sempre solícita e disposta a compartilhar o conhecimento.

Agradeço a Michele, minha namorada, e a minha família (pai, irmãos, tios, tias) que apesar de estarem distantes sempre me incluíram em suas orações e pensamentos positivos, me dando força e coragem pra manter o foco e a confiança para chegar onde eu tenho que chegar.

Aos amigos e colegas que compartilharam momentos de alegria e ajudaram indiretamente nos instantes em que a minha calma era parcialmente reduzida, quando quase me chatiei, quase fiquei estressado ou desesperado com algo que parecia estar fora dos trilhos.

*A memória é uma ilha de edição, câmara de ecos...
Eu tenho o pé no chão, porque sou de virgem, mas
a cabeça, gosto que avoe (WALY SALOMÃO, 2008)*

RESUMO

Esta tese apresenta um estudo sobre a fossilização em duas zonas de associação faunística da Supersequência Santa Maria. Os vertebrados desta unidade compõem uma fauna abundante de rincossauros, dicinodontes, cinodontes, rauisiquios, procolofonóides, esfenodontes e dinossauros. Estes paleovertebrados exibem uma variedade de formas preservacionais macroscópicas que limitam a identificação taxonômica, com fósseis bem preservados e mal preservados resgatados nos mesmos afloramentos. Para investigar a expressão destas modificações macroscópicas ao longo da fossilização, foram estudados os tipos de microalterações diagenéticas sobre os vertebrados das zonas de associação de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*. Para isso, foram realizadas análises morfológicas, osteohistológicas e de difração de raios X sobre os fósseis, além da avaliação de paleoalterações sedimentares nos afloramentos investigados. Os resultados obtidos com a difração de raios X indicaram a presença de calcita, quartzo, fluorapatita, siderita, além de feldspatos como albita, microclínio e ortoclásio, com destaque para o desenvolvimento em *granification* da calcita. As alterações microestruturais, identificadas através das análises osteohistológicas, possibilitaram a avaliação dos estágios de preservação da microarquitetura nos fósseis e a identificação do paleoambiente de sepultamento proximal ou distal ao longo do depósito aluvial. Estas planícies apresentaram paleoalterações pedogênicas e freáticas que indicam o predomínio de hidromorfismo, oxidação e carbonatação com grau variado de desenvolvimento. Foram elencados cinco estágios de preservação macro e microscópicos, que evidenciaram que a conservação macroscópica pode não se expressar de forma análoga sobre as microestruturas. Além disso, foi possível detalhar a evolução dos estágios de preservação microestruturais e a correlação destes com as paleoalterações formadas nestes afloramentos. Em suma, concluiu-se que a preservação macroscópica não se expressa sobre a microestrutura de elementos depositados principalmente em *ponds*, além disso, que existe um padrão preservacional ao longo dos depósitos, com fósseis com boa preservação em planícies proximais, porção com reduzidas paleoalterações carbonáticas, e elementos com preservação progressivamente ruins em planícies distais, onde o contato freático contínuo promove a destruição gradual da arquitetura interna dos fósseis.

Palavras-chave: Fossildiagênese. Paleoalterações. Osteohistologia.
Dinodontosaurus. Hyperodapedon.

ABSTRACT

This Phd thesis presents a study on fossilization in two zones of faunal association of the Santa Maria Supersequence. The vertebrates of this unit make up an abundant fauna of rincosaurs, dicynodonts, cynodonts, rauisuchians, procolophonoids, sphenodonts and dinosaurs. These paleovertebrates exhibit a variety of macroscopic preservation forms that limit taxonomic identification, with well-preserved and poorly preserved fossils rescued from the same outcrops. To investigate the expression of these macroscopic changes during fossilization, the types of diagenetic microalterations on the vertebrates of the *Dinodontosaurus* and *Hyperodapedon* association zones were studied. In this case, morphological, osteohistological and X-ray diffraction analyzes were performed on the fossils, as well as the evaluation of sedimentary paleoalterations in the investigated outcrops. The results obtained with X-ray diffraction indicated the presence of calcite, quartz, fluorapatite, siderite, as well as feldspar such as albite, microcline and orthoclase, highlighting the development of calcite granification. The microstructural alterations identified through osteohistological analysis allowed the evaluation of the preservation stages of the fossil microarchitecture and the identification of the proximal or distal burial paleoenvironment along the alluvial deposit. These plains presented pedogenic and phreatic paleoalterations that indicate the predominance of hydromorphism, oxidation and carbonation with varying degrees of development. Five stages of macro and microscopic preservation were listed, showing that macroscopic conservation may not be expressed analogously on microstructures. In addition, it was possible to detail the evolution of the microstructural preservation stages and their correlation with the paleoalterations formed in these outcrops. Summing up, it was concluded that macroscopic preservation is not expressed on the microstructure of elements deposited mainly in ponds, besides that there is a preservational pattern along the deposits, with well preserved fossils in proximal plains, portion with reduced carbonate paleoalterations, and progressively poorly preserved elements in distal plains, where continuous groundwater contact promotes the gradual destruction of the fossil internal architecture.

Keywords: Fossilization. Paleoalterations. Osteohistology. *Dinodontosaurus*. *Hyperodapedon*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Esquema ilustrando os principais componentes estruturais de um osso. (FRANCILLON - VIEILLOT, 1990).....	25
Figura 2 -	Esquema ilustrando as porções de um osso longo e região de secção convencionalmente adotada na osteohistologia.....	31
Figura 3 -	Padrões vasculares encontrados no complexo ósseo fibrolamelar.....	33
Figura 4 -	Esquema demonstrando uma seção transversal de um osso longo, ilustrando os diversos componentes que podem compor a microestrutura óssea. Adaptado de Ray et al. (2009).....	36
Figura 5 -	Processo de preparação de lâminas osteohistológicas.....	51
Figura 6 -	Cronoestratigrafia do Triássico do Sul do Brasil, demonstrando as sequências deposicionais com suas respectivas Zonas de Associação Faunísticas. Adaptado de Soares et al. (2011).....	61
Figura 7 -	Blocos estruturais limitados pelos principais lineamentos localizados na porção central do estado do Rio Grande do Sul. Modificado de Da Rosa (2005). A) Imagem de radar; B) Imagem de satélite.....	63
Figura 8 -	Mapa hipsométrico de parte do estado do Rio Grande do Sul, com delimitação de porção da Depressão Central Gaúcha onde estão inseridos os afloramentos aqui estudados.....	64
Figura 9 -	Elementos encontrados na ZA de <i>Hyperodapedon</i> utilizados para análise de Difração de Raio-X. A) Espécime UFSM11070, indicando uma <u>Boa</u> preservação macroscópica, apesar de fragmentado o elemento exibe perióstio íntegro, marcas de inserção muscular preservada e algumas fissuras na região da epífise; B) Espécime UFSM11116, ilustrando um exemplo de preservação macroscópica <u>Muito Ruim</u> , o fragmento apresenta distorções aparentes, alterações volumétricas e craquelamento com pedaços do perióstio flutuando na matriz carbonática. Escala referente a 4 cm.....	66

Figura 10 -	Preservação microestrutural do espécime UFSM11070. A) Seção transversal completa com destaque para porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis. CM - canal medular totalmente preservado; Cx - córtex preservado, vascularização laminar/reticular; Setas amarelas indicando LAGs - linhas de pausa de crescimento. Escalas referentes a 100 µm em A) e 300 µm em B).....	67
Figura 11 -	Preservação microestrutural do espécime UFSM11116. A) Seção transversal completa com destaque para porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis. C - concreção/incrustação suprapariosteal; Cx - córtex fragmentário disperso em meio à matriz carbonática; CM - canal medular com trabéculas totalmente obliteradas. Escalas referentes a 100 µm em A) e 300 µm em B).....	69
Figura 12 -	Análise de DRX de UFSM11070. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos.....	70
Figura 13 -	Análise de DRX de UFSM11116. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos.....	71
Figura 14 -	Elementos coletados na ZA de <i>Dinodontosaurus</i> utilizados para análise de Difração de Raio-X. A) Espécime UFSM11100 classificado com <u>boa</u> preservação macroscópica, o elemento apesar de apresentar fraturas é completo, exibe perióstio aparente, predominantemente íntegro e marcas de inserção muscular preservada; B) Espécime UFSM11073 ilustrando um exemplo de preservação macroscópica <u>Muito Ruim</u> , o fragmento apresenta recobrimento total do perióstio por incrustação carbonática, alteração volumétrica que resultam em grande dificuldade na identificação taxonômica. Escala referente a 4 cm.....	72

Figura 15 -	Preservação microestrutural do espécime UFSM11100. A) Seção transversal completa com destaque para a porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis. Moldura em amarelo destacando porção do córtex parcialmente obliterada com presença de ósteons secundários (OS) identificáveis. CM – canal medular. Escalas referentes a 100 µm em A) e 300 µm em B).....	73
Figura 16 -	Preservação microestrutural do espécime UFSM11073. A) Seção transversal completa com detalhe para porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis, Cx – córtex preservado com vascularização laminar (VI); C – Concreção/incrustação suprapariosteal; CM – canal medular. Escalas referentes a 100 µm em A) e 300 µm em B).....	74
Figura 17 -	Análise de DRX de UFSM11100. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos.....	76
Figura 18 -	Análise de DRX de UFSM11073. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos.....	77
Figura 19 -	Variação da disponibilidade de Fluoreto (F ⁻) em níveis permanentemente úmidos e em níveis esporadicamente úmidos. Em A) o fóssil se encontra em um nível mais seco no qual a disponibilidade de F ⁻ é elevada promovendo uma maior possibilidade de trocas dentro da Hidroxiapatita óssea e consequente formação de Fluorapatita, tornando a microestrutura azulada; em B) um fóssil mergulhado em meio a zona de oscilação freática, nesta situação o F ⁻ se liga preferencialmente ao Ca ⁺² resultando no predomínio do Fluoreto de Cálcio (CaF ₂) e Ácido Fluorídrico liquefazendo a microestrutura óssea.....	86

Figura 20 -	Modelo esquemático de elementos arquiteturais identificados nos depósitos sedimentares triássicos. Da Rosa (2005).....	90
Figura 21 -	Coluna estratigráfica do Afloramento Cerro do Alemoa localizado no Bloco Estrutural Santa Maria e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.....	93
Figura 22 -	Coluna estratigráfica do Afloramento Dona Francisca localizado no Bloco Estrutural Faxinal do Soturno e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.....	95
Figura 23	Coluna estratigráfica do Afloramento Linha Várzea localizado no Bloco Estrutural Paraíso do Sul e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.....	97
Figura 24 -	Coluna estratigráfica do Afloramento Picada do Gama localizado no Bloco Estrutural São Pedro do Sul e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.....	100
Figura 25 -	Principais paleoalterações encontradas nas ZAs de <i>Dinodontosaurus</i> e <i>Hyperodapedon</i> e sua correlação com os momentos de oscilação freática. A) Slickensides e B) Calcário nodular são relacionados a um nível freático (NF) alto ou aflorante; C) Vênulas e Rizoconcreções indicam nível freático intermediário ao alcance das raízes; D) Hidromorfismo Pedogenético, E) Hidromorfismo Freático e F) Cimentação Micrítica e Espática indicam oscilação dentro do pacote sedimentar.....	106
Figura 26 -	Esquema representando os momentos de oscilação do Nível Freático (NF). A) Nível freático alto ou aflorante com cimentação carbonática micrítica, formação de hidromorfismo, <i>Slickensides</i> , lenticulas carbonáticas e nódulos em pequenas poças ao longo da planície de inundação; B) Nível freático intermediário com oscilação do nível freático no interior do perfil. Ocorre a formação de fendas e torrões (<i>Peds</i>), oxidação por Ferro e Manganês por exposição às zonas aeradas, vênulas carbonáticas e rizoconcreções indicando (NF) ao alcance das raízes, hidromorfismo associado a oscilação	

	rápida dentro do perfil e <i>Slickensids</i> na superfície. C) Nível nível freático baixo, surgem fendas de ressecamento e oxidação por Ferro e Manganês.....	108
Figura 27 -	Representação esquemática da microestrutura óssea de um espécime fossilizado em zona do nível freático predominantemente alto.....	112
Figura 28 -	Representação esquemática da microestrutura óssea de um espécime fossilizado na Zona Vadosa.....	115
Figura 29 -	Áreas pertencentes ao depósito aluvial. A) Depósitos de Canal (CH) com alta taxa de sedimentação, com poucas alterações carbonáticas dos fósseis como resultado do nível freático baixo. B) Planície de Inundação Proximal (PP), ocorre sedimentação progressivamente reduzida com predomínio de pelitos e contato com o nível freático alto. C) Planície de Inundação Distal (PD), longe do canal fluvial a planície distal apresenta baixas taxas de sedimentação, nível freático alto com grande alteração carbonática nos fósseis.....	117
Figura 30 -	Esquema ilustrando os tipos de micropreservação ao longo do depósito aluvial. Elementos Bem preservados em área de Depósitos de Canal (CH), onde o nível freático é baixo. E elementos com preservação progressivamente ruins a partir da região de Planície de Inundação Proximal (PP) em direção a Planícies de Inundação Distal (PD), onde o nível freático é alto ou oscilante, e com intensa substituição das estruturas ósseas.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Materiais utilizados para as análises macro e microestruturais na ZA <i>Hyperodapedon</i> , com informações do número de registro, elemento ósseo, classificação filogenética e afloramento onde foram coletados.....	48
Tabela 2 -	Materiais utilizados para as análises macro e microestruturais na ZA <i>Dinodontosaurus</i> , com informações do número de registro, elemento ósseo, classificação filogenética e afloramento onde foram coletados.....	49
Tabela 3 -	Estágios microscópicos de preservação elencados para classificação dos fósseis encontrados nas Zonas de Associação de <i>Hyperodapedon</i> e <i>Dinodontosaurus</i>	52
Tabela 4 -	Ficha modelo utilizada para identificação das principais características dos táxons em análise, como elemento utilizado para secção, nº do espécime, nível bioestratigráfico e procedência (Afloramento). Também é identificada a classe preservacional macroscópica e microscópica, com detalhamento das microestruturas osteohistológicas que resistiram ao processo fossildiagenético nas Zonas de Associação de <i>Dinodontosaurus</i> e <i>Hyperodapedon</i>	53
Tabela 5 -	Estágios macroscópicos de preservação elencados para classificação dos fósseis coletados nas Zonas de Associação de <i>Hyperodapedon</i> e <i>Dinodontosaurus</i>	55
Tabela 6 -	Espécimes coletados na ZA de <i>Hyperodapedon</i> utilizados para análise de Difração de Raio-X, classificação preservacional macroscópica e microscópica e constituição mineralógica a partir do DRX.....	68
Tabela 7 -	Espécimes coletados na ZA de <i>Dinodontosaurus</i> utilizados para análise de Difração de Raio-X, classificação preservacional macroscópica e microscópica e constituição mineralógica a partir do DRX.....	75

Tabela 8 -	Afloramentos da ZA de <i>Hyperodapedon</i> inseridos no Bloco Estrutural Santa Maria, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.....	91
Tabela 9 -	Afloramento da ZA <i>Dinodontosaurus</i> inserido no Bloco Estrutural Faxinal do Soturno, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.....	96
Tabela 10 -	Afloramentos da ZA <i>Dinodontosaurus</i> inseridos no Bloco Estrutural Paraíso do Sul, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.....	99
Tabela 11 -	Afloramentos da ZA <i>Dinodontosaurus</i> inseridos no Bloco São Pedro do Sul, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AE	Depósitos eólicos
An.	<i>Annuli</i>
Cav.	Cavidade
CH	Canais Fluviais
Cort.	Córtex
CR	Canais de Crevasse Splays
Cr.	Cavidade de reabsorção
DRX	Difratometria de Raios X
EFS	Sistema Fundamental Externo
FF	Planície de Inundação
FLB	Osso Fibrolamelar
JMFZ	Zona de Falhamentos Jaguari-Mata
LAG	Linha de pausa de crescimento
LV	Diques Marginais
NI	Nível Inferior da planície de inundação
NS	Nível Superior da planície de inundação
OP	Ósteons Primários
OS	Ósteons Secundários
PD	Planície Distal
PP	Planície Proximal
SMS	Sequências Santa Maria
Tb.	Trabéculas
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
VRFZ	Zona de falhamento Vigia-Roque
ZA	Zona de Associação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	OBJETIVOS	23
1.1.1	Objetivo Geral	23
1.1.2	Objetivos Específicos	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL	24
2.1.1	A Matriz Óssea e sua Constituição	24
2.1.2	O Surgimento da Osteohistologia	26
2.1.3	O Papel do Estudo Osteohistológico	29
2.1.4	Classificação da Matriz Óssea	31
2.1.5	O Significado das Marcas de Crescimento	34
2.1.6	A Osteohistologia em Synapsida	36
2.2	PROCESSOS PEDOGENÉTICOS E FREÁTICOS	37
2.2.1	Processos Pedogenéticos Químicos	38
2.2.2	Hidrólise (Acidificação) vs Alcalinização	38
2.2.3	Oxidação vs Redução	38
2.2.4	Hidratação vs Desidratação	39
2.2.5	Dissolução vs Precipitação	40
2.3	PROCESSOS PEDOGENÉTICOS MAIS COMUNS EM AMBIENTES ALUVIAIS	40
2.3.1	Marmorização “Mottling ou Mosqueamento”	40
2.3.2	Argilização	41
2.3.2.1	Micromorfologia em Processos de Argilização.....	41
2.3.3	Ferruginização	41
2.3.3.1	Rubefação.....	42
2.3.3.2	Laterização.....	42
2.3.3.3	Crostas Freáticas.....	42
2.3.3.4	Micromorfologia dos Processos de Ferruginização.....	43
2.3.4	Carbonatação	43
2.3.4.1	Nódulos.....	43
2.3.4.2	Crostas Carbonáticas.....	44

2.3.4.3	Crostras Freáticas.....	44
2.3.4.4	Micromorfologia das Carbonatações.....	45
2.3.5	Silicificação.....	45
2.3.5.1	Micromorfologia das Silicificações.....	45
3	MATERIAL.....	47
3.1	MÉTODOS DE ANÁLISE.....	49
3.1.1	Posicionamento Bioestratigráfico dos Sítios.....	50
3.1.2	Osteohistologia.....	50
3.1.3	Identificação da Preservação Microestrutural.....	52
3.1.4	Difração de Raio-X (DRX)	54
3.1.5	Identificação da Preservação Macroestrutural.....	54
4	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA.....	56
4.1	CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO.....	56
4.1.1	Contexto Litoestratigráfico.....	57
4.1.2	Contexto Bioestratigráfico.....	59
4.1.2.1	Táxons Encontrados nas Zonas de Associação.....	61
4.1.3	Contexto Estrutural dos Sítios Fossilíferos.....	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
5.1	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS FÓSSEIS DA ZA <i>HYPERODAPEDON</i>	65
5.2	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS FÓSSEIS DA ZA <i>DINODONTOSAURUS</i>	71
5.3	ORIGEM E TRANSFORMAÇÃO DOS MINERAIS.....	77
5.3.1	A Dinâmica Climática ao Longo do Triássico.....	78
5.3.2	Condições Ácidas e a Formação do Quartzo.....	78
5.3.3	Constituição dos Feldspatos.....	79
5.3.4	Alterações da Apatita na Matriz Óssea.....	80
5.3.5	Preservação Óssea Sob Influência da Fluorapatita.....	82
5.3.6	Oxidação e Minerais de Ferro.....	87
5.3.7	A Gênese da Siderita e sua Relação com os Fósseis.....	88
5.4	PALEOALTERAÇÕES NOS DEPÓSITOS FOSSILÍFEROS.....	89
5.4.1	Descrição dos Sítios da ZA de <i>Hyperodapedon</i> – Bloco Santa Maria.....	90

5.4.1.1	Paleoalterações Encontradas no Bloco Santa Maria.....	91
5.4.2	Descrição dos Sítios da ZA de <i>Dinodontosaurus</i> – Bloco Faxinal do Soturno.....	93
5.4.2.1	Paleoalterações Encontradas no Bloco Faxinal do Soturno.....	94
5.4.3	Descrição dos Sítios da ZA de <i>Dinodontosaurus</i> - Bloco Paraíso do Sul.....	96
5.4.3.1	Paleoalterações Encontradas no Bloco Paraíso do Sul.....	98
5.4.4	Descrição dos Sítios da ZA de <i>Dinodontosaurus</i> – Bloco São Pedro do Sul.....	99
5.4.4.1	Paleoalterações Encontradas no Bloco São Pedro do Sul.....	101
5.5	PALEOALTERAÇÕES E SEUS SIGNIFICADOS.....	102
5.5.1	Fatores Condicionantes das Paleoalterações.....	109
5.5.2	Modelo de Preservação das Microestruturas.....	110
5.5.3	Análise dos fatores Condicionantes Verticais.....	111
5.5.4	Análise dos Fatores Condicionantes Horizontais.....	116
5.5.5	Assinatura Diagenética das Paleoalterações e da Micropreservação.....	117
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
7	CONCLUSÕES.....	123
	REFERÊNCIAS.....	124
	APÊNDICE A - FICHAS DE IDENTIFICAÇÃO MACROSCÓPICA.....	136
	APÊNDICE B - FICHAS DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA.....	165
	APÊNDICE C - FICHAS ESTRATIGRÁFICAS COM PALEOALTERAÇÕES DOS AFLORAMENTOS.....	196

1 INTRODUÇÃO

Os vertebrados fósseis da Supersequência Santa Maria são estudados desde o início do século XX (HOLZ et al., 1994; ZERFASS et al., 2003). Estudos taxonômicos revelam uma fauna variada e abundante, incluindo rincossauros, dicinodontes, cinodontes, rauisúquios, procolofonídeos, esfenodontes e dinossauros (BARBERENA, 1977; SCHERER et al., 1995; SCHULTZ et al., 2000; SCHULTZ; LANGER, 2007; CABREIRA et al., 2011). O rico conteúdo de tetrápodes fósseis do Triássico Médio-Superior do estado do Rio Grande do Sul (RS) é dividido em quatro conhecidas Zonas de Associação Faunística (ZA) de tetrápodes que se sucederam ao longo do tempo: *Dinodontosaurus*, *Santacruzodon*, *Hyperodapedon* e *Riograndia* (SOARES et al., 2011).

Essa variedade de fósseis apresenta uma notável influência da diagênese sobre a morfologia de tais ossos, reconhecida pela primeira vez por Huene (1936), onde são descritos normalmente fósseis distorcidos, “inchados” ou comprimidos, resultando em interpretações equivocadas e problemas taxonômicos. Em contrapartida, Huene (1936) também cita outros materiais também coletados nos afloramentos triássicos que foram encontrados perfeitamente preservados.

Diversos trabalhos referentes aos processos de preservação de vertebrados triássicos foram realizados desde então, por Bertoni-Machado et al. (2008), e por pesquisadores pioneiros, tanto na abordagem sobre os padrões de morte, transporte e soterramento sofridos pela fauna triássica da Formação Santa Maria (HOLZ; BARBERENA, 1994), quanto pela relação de classes tafonômicas e modos de preservação com o tipo de sistema deposicional vigente, resultante na deposição dos sedimentos característicos das Formações Santa Maria e Sanga do Cabral (HOLZ; SOUTO-RIBEIRO, 2000).

Vale destacar outro relevante trabalho acerca deste tema, no qual Holz; Schultz, (1998) descrevem três grupos tafonômicos para classificar os espécimes coletados nesta região: o primeiro grupo composto por ossos que mantêm quase inteiramente a sua estrutura e forma original; o segundo, formado por aqueles cuja estrutura interna é destruída, mas que ainda tem superfície óssea externa sólida; e o terceiro grupo, reúne aqueles ossos que apresentam fragmentos de apatita óssea “flutuantes” em uma matriz carbonática.

Uma outra avaliação da preservação macroscópicas destes vertebrados fósseis foi levantada por Da Rosa (2005a), no qual, são discutidas duas condições principais atuantes neste processo: taxa de sedimentação e grau de exposição. Segundo Da Rosa (2005a), uma alta taxa de sedimentação controla um alto grau de preservação, resultando em fósseis bem preservados; por outro lado, uma baixa taxa de sedimentação está ligada a baixo grau de preservação. Quanto à exposição, esta promove a desarticulação das carcaças, enquanto um rápido soterramento permite manter uma conexão anatômica. Da Rosa et al. (2004a) já destacavam em seu trabalho que os processos de modificação pós-deposicional (também conhecidos como paleoalteração) nos depósitos de planície de inundação da região central do RS poderiam estar diretamente correlacionados aos processos de preservação dos fósseis de vertebrados ali coletados, e que um exame detalhado, em nível macroscópico e microscópico destes ossos, poderia revelar de forma mais nítida que os modelos de preservação sugeridos até então representam exemplos extremos de um processo mais complexo de preservação.

Nesse sentido, é importante ressaltar que o termo paleoalteração ao qual nos referimos acima corresponde a modificações formadas em porções mais superficiais dos depósitos sedimentares, ocasionadas por processos de remobilização de sedimentos e solutos no interior do perfil de solo, através da pedogênese, oscilação do nível freático, e eodiagênese (ANDREIS et al., 1980; DA ROSA, 2005a). Estas alterações de origem pedogênica ou eodiagenética constituem processos de infiltração de argilas, fissuramento, brechificação, horizonção, dissolução, hidromorfismo e carbonatação, enquanto as paleoalterações freáticas são constituídas por processos de hidromorfismo e carbonatação, gerados pela oscilação do nível freático (PIMENTEL et al., 1996; SILVÉRIO DA SILVA, 1997; DA ROSA et al., 2004a).

Neste trabalho, paleoalterações pós deposicionais identificadas nos afloramentos fossilíferos são correlacionadas aos processos desencadeadores das preservações macro e microscópicas desenvolvidas nos fósseis de vertebrados de duas zonas de associação faunísticas, *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*, referentes ao Triássico brasileiro.

1.1 OBJETIVOS

Neste trabalho são desenvolvidas análises comparativas entre os padrões preservacionais macroscópicos e microscópicos de elementos ósseos de duas Zonas de Associação distintas.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e descrever os processos de preservação macro e microestruturais dos vertebrados fósseis pertencentes às Zonas de Associação de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon* descritas para os depósitos triássicos da região central do Estado do Rio Grande do Sul, além de relacionar tais processos com as paleoalterações pedogênicas e freáticas formadas nestes depósitos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os tipos de preservação macroscópicas em fósseis das Zonas de Associação de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*.
- Confeccionar lâminas paleohistológicas para avaliar os níveis de alteração microestrutural sofridos pelos espécimes fósseis;
- Identificar a composição mineralógica atuante no processo fissildiagenético;
- Avaliar as paleoalterações pedogênicas e freáticas, e a relação dessas alterações com os processos de fossilização;
- Analisar padrões microestruturais de permineralização, substituição, incrustação, recristalização e dissolução nestes fósseis;
- Comparar os padrões de alteração macro e microestruturais dos fósseis de vertebrados nas diferentes Associações Faunísticas descritas para o Triássico do Rio Grande do Sul.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O arcabouço teórico utilizado nesta pesquisa leva em consideração duas vertentes de análise: a identificação das microestruturas restantes na matriz óssea após o processo de fossilização através da osteohistologia; e a investigação dos eventos atuantes dentro do pacote sedimentar, também chamados de paleoalterações, que culminaram nos diversos graus de alteração dos fósseis ali sepultados.

2.1 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

Basicamente, o esqueleto de um animal vertebrado desempenha três funções: mecânica (ancoragem de músculos e tendões, atuando na locomoção e alimentação do animal); de proteção (a órgãos internos, como o cérebro, o coração e os pulmões, por exemplo); e metabólica (armazenamento e liberação de cálcio e fósforo) (FRANCILLON - VIEILLOT et al., 1990; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004).

2.1.1 A Matriz Óssea e sua Constituição

O osso é um tipo de tecido conjuntivo mineralizado que está presente em todos os vertebrados, sendo composto por alguns componentes básicos como a matriz orgânica, constituída por fibras de colágeno, as células e os vasos sanguíneos e linfáticos; além da matriz inorgânica, formada por microcristais de Hidroxiapatita $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$. Embora os componentes orgânicos se decomponham quando o animal morre, os componentes inorgânicos se preservam e podem manter a organização estrutural intacta, dependendo das condições de fossilização. É possível que tanto a morfologia geral quanto a microestrutura se preservem, possibilitando que esta última seja comparada com a de animais vivos, por meio da interpretação dos variados aspectos que esta estrutura pode apresentar (RAY et al., 2010; CHINSAMY, 2005).

Observando a olho nu uma seção transversal de um osso, é possível distinguir duas regiões de morfologias distintas, o córtex, uma parte mais densa e externa, também chamado de osso compacto, onde se localizam as células e canais vasculares; e a medula, que é a porção central, interna e menos densa, também

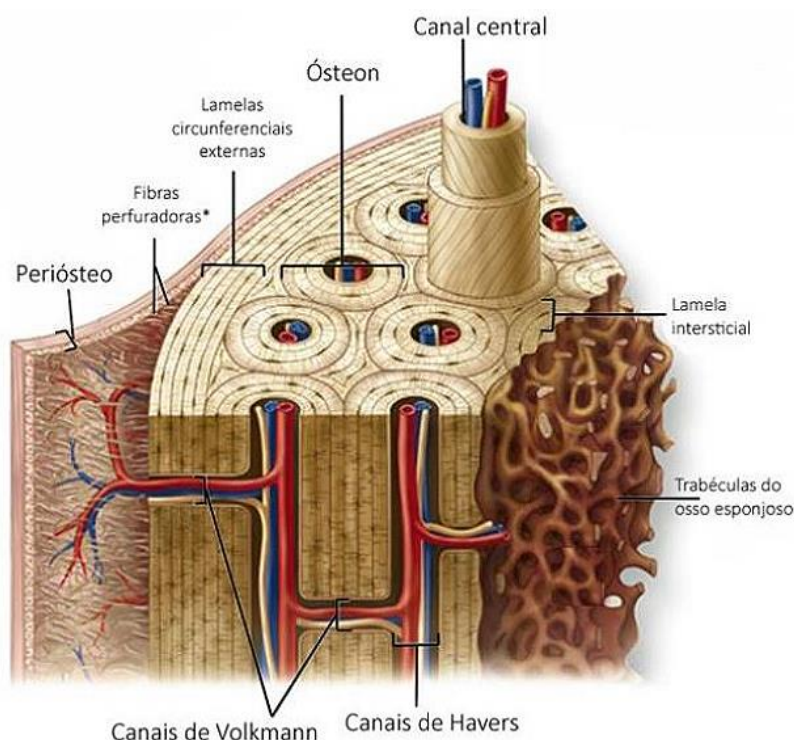
chamada de osso esponjoso, por ser formada por grandes cavidades (Fig.1) (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004).

Num olhar mais detalhado, através de um microscópio óptico, é possível observar a microestrutura básica de um osso compacto (a região medular é constituída basicamente por grandes cavidades). Diminutos pontos que permeiam, de maneira geral, todo o córtex, são as lacunas onde ficam as células ósseas – osteócitos – sendo responsáveis pela manutenção da matriz óssea. Os osteócitos se comunicam uns com os outros através de canaliculos, por onde expandem seus citoplasmas.

Quanto maior a necessidade, o tecido ósseo desenvolverá uma maior quantidade de canais vasculares, assim como a sua organização no córtex. Geralmente o que mais se observa são lacunas, referentes ao corte transversal de um canal longitudinal ao osso, chamados de Canais de Havers, mas também se observam os canais adjacentes, que conectam os canais longitudinais, e são chamados de Canais de Volkmann (CHINSAMY, 2005; JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004; CURREY, 2002).

O canal central como pode ser visualizado na Figura 1, refere-se ao duto haversiano, em torno do qual a matriz inorgânica se deposita, formando os ósteons.

Figura 1 - Esquema ilustrando os principais componentes estruturais de um osso.



Adaptado de Francillon – Vieillot (1990).

O periósteo é uma camada fibrosa e celular localizada no entorno externo do osso, e, como matriz orgânica, dificilmente se preserva em ossos fósseis. Entretanto, é comum o uso do termo para se referir às camadas mais externas da matriz inorgânica em ossos fósseis; as fibras perfuradoras, em destaque com o asterisco, referem-se às fibras que penetram no osso, ancorando-o aos músculos, e relacionam-se às chamadas fibras de Sharpey, estruturas observadas em ossos fósseis e que variam em tamanho e quantidade dependendo da função mecânica do membro (FRANCILLON - VIEILLOT, 1990).

2.1.2 O Surgimento da Osteohistologia

Os primeiros estudos relacionados com histologia óssea foram impulsionados pela invenção do microscópio de luz, no século XVII, com os holandeses Hans e Zacarias Janssen (SCHELLNHUBER, 1999). O conhecimento sobre a microestrutura óssea se desenvolveu em paralelo com o avanço da tecnologia em microscopia, desde o microscópio de luz, microscópio com luz polarizada e, mais recentemente, ao microscópio de varredura e de transmissão de elétrons (CHINSAMY, 2005).

Os estudos pioneiros foram análises de tecido ósseo de dinossauros, que tiveram início a mais de 170 anos atrás com estudos de Owen (1845) e Quekett (1855). Estes trabalhos foram o primeiro a tratar as lacunas dos osteócitos em ossos de *Iguanodon*, as quais foram referidas por ele como "células ósseas" (CHINSAMY, 2005). No início os estudos tinham apenas caráter descritivo, já que análises comparativas dos dados histológicos e suas implicações paleobiológicas ainda não eram realizadas naquela época (ERICKSON; TUMANOVA, 2000).

O primeiro trabalho sistemático sobre microestrutura óssea a descrever a histologia óssea de inúmeros dinossauros (*Megalosaurus*, *Iguanodon*, *Trachodon*) foi realizado por Seitz (1907). Neste trabalho, são descritas ainda diferenças entre canais vasculares primários e secundários no osso compacto, sendo também o primeiro a fornecer uma descrição de zoneamento ósseo em dinossauros, identificando-o em *Allosaurus* e *Stegosaurus*.

Um grande avanço nos estudos ontogenéticos ocorreu com o trabalho realizado por Nopsca; Heidsieck (1933), no qual utilizaram a microestrutura óssea

para identificar diversas classes ontogenéticas entre juvenis e indivíduos imaturos de hadrossauros. Já nessa época havia ocorrido um grande avanço nos estudos relacionados com a organização fibrilar, com a utilização de ossos de *Plateosaurus* e *Brachiosaurus* para desenvolver conceitos de osso laminar e estabelecer o real significado de ósteons primários e secundários (GROSS, 1934).

Em 1947, o pesquisador italiano R. Amprino propôs que as diferenças encontradas no tipo de tecido ósseo são resultado de uma variação na taxa de deposição óssea, e esta não é determinada apenas pela quantidade de tecido ósseo depositado, mas também influenciada pela organização fibrilar. Assim, o tecido ósseo é um tecido vivo que registra diretamente a sua taxa de formação ao longo da existência dos indivíduos. De acordo com esta hipótese, uma baixa taxa de formação óssea resultaria em um tecido lamelar. Este é caracterizado por um arranjo organizado das fibras de colágeno e dos osteócitos, os quais tendem a ser mais achatados. Ao contrário, uma alta taxa de formação óssea resultaria em um tecido fibrolamelar, caracterizado pelo arranjo aleatório, tanto das fibras do colágeno como também dos osteócitos. Esta hipótese é amplamente aceita para identificar a taxa de formação óssea a partir do tipo de tecido depositado, sendo conhecida como regra de Amprino (AMPRINO, 1947).

Já na década de 1950, os americanos Sidney Enlow e Donald Brown publicaram uma série de trabalhos, onde foi documentado e fornecido um melhor entendimento sobre os padrões histológicos ocorrentes entre os maiores grupos de vertebrados. Dentre estas contribuições, destacam-se temas como a influência dos padrões evolutivos da paleohistologia, a histologia óssea comparativa e a biologia óssea. A análise comparativa entre animais recentes e fósseis, desde peixes a mamíferos, mostrou a grande variabilidade apresentada pelo tecido ósseo (histovariabilidade). Porém, os resultados obtidos com esta abordagem comparativa não possibilitaram o reconhecimento de uma relação entre o tamanho corporal e o padrão de tecidos ósseos. Os trabalhos de Enlow e Brown exerceram uma grande influência sobre os estudos subsequentes e mudaram a interpretação das causas da histovariabilidade, desde explicações filogenéticas e outras mais funcionais como a ontogenia. Além disso, seus trabalhos histológicos comparativos, realizados principalmente com dinossauros, deram um grande impulso na área da osteohistologia e muitas informações paleobiológicas, a partir das análises histológicas começaram a ser inferidas (CONKLIN et al., 1965).

Em meados de 1962, Currey descreveu o tecido ósseo de dois Prossaurópodes, verificando que estes eram densamente vascularizados, e ainda mais vascularizados do que o encontrado em répteis modernos (com exceção de aves), equivalente aos encontrados em mamíferos recentes de tamanho similar. Currey postulou que talvez esse alto nível de vascularização encontrado nos prossaurópodes poderia estar relacionado com especializações fisiológicas que não são vistas nos répteis atuais (CURREY, 1962).

Em 1963, Enlow publicou seu livro mais famoso intitulado *Principles of Bone Remodeling*, onde há mudança de uma abordagem extensivamente comparativa, para uma análise intensiva em modelos ósseos, selecionando apenas poucas espécies. Esta nova abordagem nos estudos histológicos mostrou a influência da ontogenia na histovariabilidade. Assim, o autor relacionou em vez da estrutura e função, uma explicação mais completa de remodelamento e crescimento de uma maneira funcionalmente significativa (ENLOW, 1963).

Em 1969, Donald Enlow realizou uma detalhada revisão sobre a microestrutura óssea de répteis recentes e fósseis. Ele ilustrou a microestrutura de uma costela de *Triceratops* mostrando a ocorrência de reconstrução secundária, notando que a presença extensiva de remodelação Harvesiana é em geral uma característica encontrada tanto nos dinossauros ornitíscios quanto nos sauríscios (ENLOW, 1969).

Já no início dos anos 1970, Ricqlès avançou para o campo da paleohistologia, estudando uma gama de tetrápodes extintos, incluindo terápsidos não-mamalianos e dinossauros não-avianos. Como resultado de sua tese de doutorado, foram publicados 12 artigos nos *Annales de Paléontologie* de 1968 até 1981, sob o título geral *Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes* (RICQLÈS, 1968, 1969, 1972, 1974b, 1975, 1976b, 1977a, 1977b, 1978a, 1978b, 1981, 1983). Estes trabalhos foram inovadores por analisarem a geração de tecido ósseo e a forma como este crescia dentro do esqueleto apendicular, explicando como um único osso pode expressar diferentes subtipos de tecidos em diferentes regiões, bem como a presença de diferentes subtipos de tecidos durante o desenvolvimento até chegar a maturidade do indivíduo.

Em seus trabalhos, Ricqlès (1974b, 1976b, 1981), ao analisar a distribuição do tecido ósseo em diferentes grupos de tetrápodes, observou que o tecido ósseo compacto dos dinossauros é composto por tecido fibrolamelar, apresentando

remodelação Harvesiana, diferente do tecido lamelar típico dos répteis, e sendo mais parecido com o tecido encontrado em mamíferos e aves, que apresentam alta taxa de crescimento e rápida deposição óssea.

Robin Reid em 1981 contestou tal afirmação, e anunciou em seu trabalho a presença de tecido lamelar em dinossauros saurópodes, fato que acabou chamando atenção, pois a ideia que começava a ser aceita na época afirmava que o tecido ósseo depositado em dinossauros seria resultado de altas taxas de deposição, semelhante ao encontrado em animais endotérmicos. Reid também publicou uma série de artigos relacionando a microestrutura óssea com a fisiologia (REID, 1984a, 1984b, 1987) e crescimento (REID, 1997a) em dinossauros.

No final dos anos 1980, John R. Horner descreve em seus trabalhos uma série ontogenética de esqueletos de um dinossauro indeterminado com presença de embriões até indivíduos adultos, o que o estimulou a estudar o crescimento e o desenvolvimento destes animais (HORNER; MAKELA, 1979; HORNER; GORMAN; 1988).

A partir dos anos 1990, Ricqlès e Horner em parceria passaram a intensificar as pesquisas sobre o crescimento e evolução do tecido ósseo de forma mais abrangente, analisando não só uma espécie, mas todo o grupo dos arcossauros. Com isso, eles identificaram quatro fatores que parecem controlar a presença de determinados tecidos ósseos numa certa região: ontogenia, filogenia, meio ambiente e fatores mecânicos (HORNER et al., 1990).

2.1.3 O Papel do Estudo Osteohistológico

O início do estudo sobre os fósseis de animais vertebrados ocorreu principalmente por meio de análises e descrições morfológicas dos espécimes preservados. Desse modo, ao longo de sua história a osteohistologia elucidou diversos aspectos biológicos das formas de vida do passado e ainda auxilia no aprimoramento de estudos referentes à sistemática, filogenia, biomecânica, alimentação, além de outras características fisiológicas dos grupos biológicos.

Apesar da vasta aplicação à Paleontologia, um aspecto nos ossos por muito tempo passou despercebido, a microestrutura óssea dos elementos fossilizados. A Paleohistologia é a ciência que analisa a arquitetura interna, mais precisamente os

arranjos microscópicos que resultam da deposição óssea ao longo da vida de um animal.

A histologia óssea é uma ferramenta que traz informações substanciais sobre a paleobiologia dos animais fósseis (CHINSAMY et al., 2009). Vários aspectos da história de vida de vertebrados extintos podem ser inferidos a partir da microestrutura do osso fossilizado. Por meio da análise histológica, é possível entender as adaptações no estilo de vida, os gradientes e estratégias de crescimento adotadas por um clado, indicar a ontogenia e as possíveis mudanças ao longo de cada estágio de vida, e assim, concluir sobre vários aspectos da fisiologia, ontogenia e filogenia de um animal (ERICKSON; TUMANOVA, 2000; CHISAMY, 2005).

A depender do nível de preservação, alguns ossos quando fossilizados são caracterizados por apresentarem uma excelente preservação histológica. A quantidade e o tipo de tecido ósseo encontrado na estrutura óssea servem de indício para compreender como se deu o seu desenvolvimento ao longo das fases ontogenéticas percorridas por um indivíduo.

As estruturas depositadas na formação do osso em vida são compostas por tecido conjuntivo mineralizado produzido pela deposição de hidroxapatita e fosfato de cálcio cristalino (CHINSAMY et al., 1995). Internamente esta acresção é realizada por osteoblastos em conjunto com os numerosos canais, vasos sanguíneos e linfáticos. Após a morte do animal, os componentes orgânicos, incluindo as células e os vasos sanguíneos se decompõem, enquanto a parte inorgânica torna-se fossilizada, mantendo a microestrutura e preservando a forma daquelas decompostas (CHINSAMY, 1997).

Por conta da preservação das estruturas deixadas durante a vida do animal, ao serem fossilizados os ossos podem carregar informações retrospectivas do desenvolvimento mostrados pelas marcas do crescimento, descritas comumente como linhas de pausa de crescimento (*lines of arrested growth*, ou LAGs), indicando a parada total do crescimento ou deposição óssea mesmo que por duração desconhecida (RIMBLOT-BALY et al., 1995). Uma outra evidência do ritmo de crescimento, os *annuli*, podem ser formados por uma ou mais camadas de osso paralelo fibroso ou de osso lamelar indicando períodos de crescimento ou deposição óssea lenta (PADIAN; LAMM, 2013).

Através das taxas de aposição em que os tecidos ósseos são depositados sazonalmente ao longo do crescimento do animal, marcas resultantes da variação de

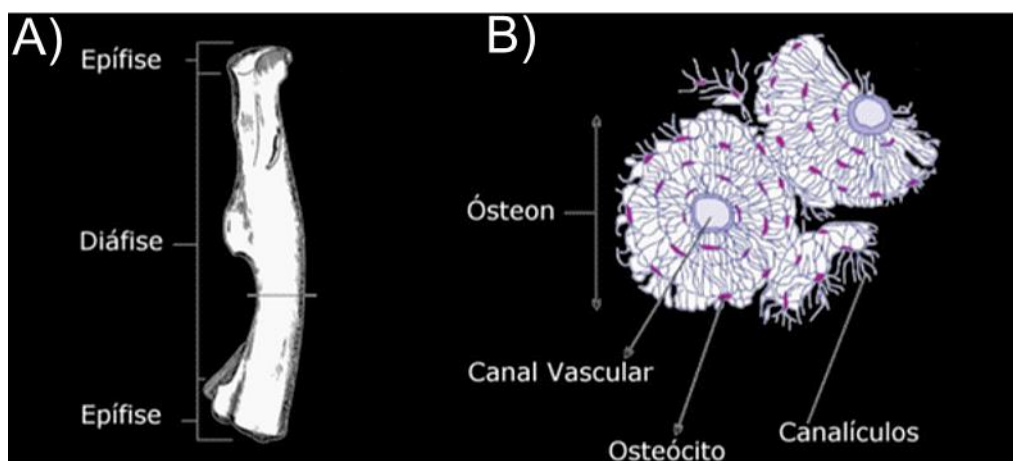
tecidos depositados ficam registradas na matriz do osso, podendo ser quantificadas e interpretadas (RICQLÈS, 1980; CASTANET et al., 1993; CASTANET, 1994).

Os registros de crescimento estão contidos em cada tipo de osso, isso porque, cada um está ligado a uma determinada taxa de deposição, uma relação conhecida como Regra de Amprino, como registrado anteriormente (RICQLÈS et al., 1991; SANDER, 2000; PADIAN et al., 2001; MARGERIE et al., 2002). Em linhas gerais, existem três grupos principais de tipos de tecido ósseo: crescimento rápido, composto por osso fibrolamelar sem linhas de pausa de crescimento (encontrados hoje em grandes mamíferos); taxas de crescimento intermediário, indicadas por osso fibrolamelar com linhas de pausa de crescimento; e baixas taxas de crescimento, sendo indicadas por osso lamelar e osso paralelo fibroso (RICQLÈS et al., 1991; MARGERIE et al., 2002; PADIAN; LAMM, 2013).

2.1.4 Classificação da Matriz Óssea

As descrições realizadas ao longo deste estudo seguem a classificação tipológica de Francillon-Vieillot et al. (1990), que caracteriza os sistemas baseando-se na organização vascular da matriz mineralizada, resultando em uma variedade de padrões organizacionais. Assim, neste trabalho será utilizado o termo complexo ósseo fibrolamelar ou osso fibrolamelar em substituição ao termo osso plexiforme descrito anteriormente por Enlow; Brown (1957) e por Currey (1960). Porém, termos antigos serão usados apenas para descrição da orientação vascular (Fig. 2).

Figura 2 - Esquema ilustrando as porções de um osso longo e região de secção adotada na osteohistologia em A); Níveis de organização microestrutural do osso em B).



Fonte: o autor (2020)

Ossos longos podem ser divididos em duas regiões, a diáfise ou eixo, e as epífises, que são as duas extremidades (Fig. 2). A região de transição entre as epífises e diáfise é chamada metáfises. A diáfise de um osso longo consiste do córtex, a área de osso esponjoso interior, e a cavidade medular, localizado aproximadamente no centro do osso. Epífises e metáfises consistem, sobretudo, de osso esponjoso (RICQLÈS et al., 1991; CASTANET et al., 1993; CHINSAMY et al., 1994).

O córtex é geralmente constituído por tecido ósseo primário, o qual pode ser estruturado com vários tipos de ossos. Sob o microscópio, osso primário sempre contém osteócitos claramente visíveis ligados por uma densa rede de canaliculos.

Os espaços para os vasos sanguíneos são visíveis a olho nu, chamados de canais vasculares. O seu número depende do tecido ósseo, bem como da espécie, e eles podem apresentar orientações variáveis (Fig. 3). Assim, um tipo de osso específico não só é caracterizado pelo seu tecido ósseo, pois o sistema vascular também é muito importante para a classificação e interpretação. Quando um canal vascular é delimitado por tecido ósseo primário, ele é chamado de ósteon primário. No entanto, o tecido ósseo pode também ser avascular (PADIAN; LAMM, 2013).

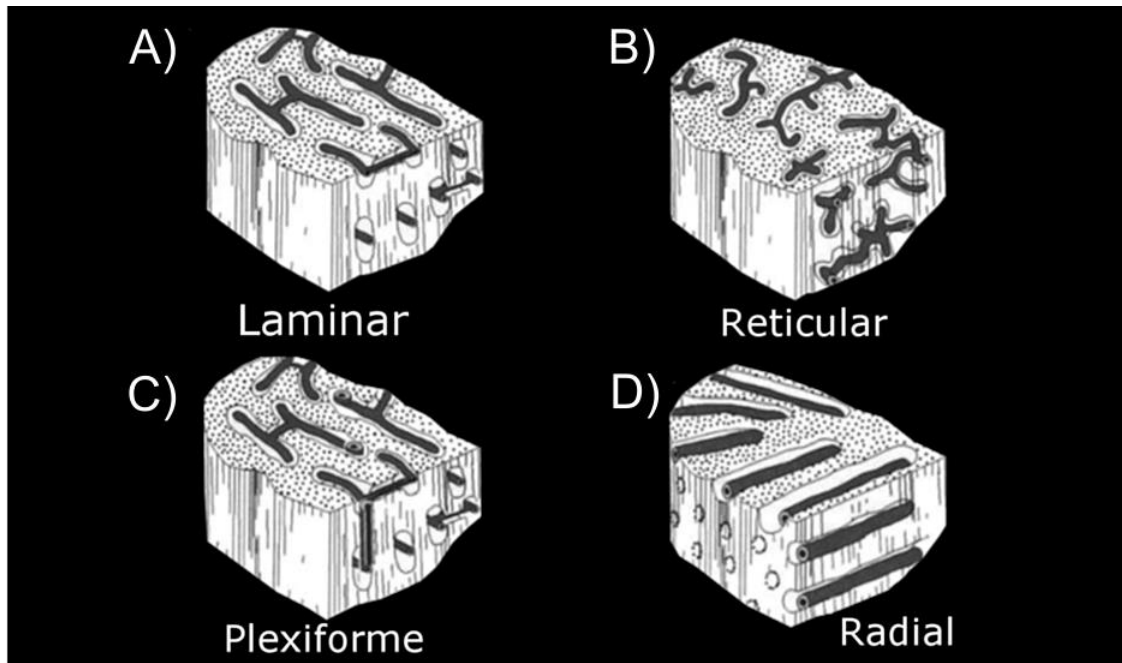
Estruturalmente o complexo fibrolamelar caracteriza-se por apresentar uma rede vascular incorporada, sendo normalmente definido como um complexo ósseo composto por um feixe de tecido fibroso e interceptado por ósteons primários em várias orientações (Fig. 3). Dependendo do arranjo dos ósteons primários, o tecido fibrolamelar pode ser subdividido em: laminar, plexiforme, radial e reticular (Fig. 3).

Assim como ocorre com a vascularização, os tipos de tecido ósseo do complexo fibrolamelar não são inteiramente separados e diferentes. Em um único osso pode ocorrer a presença de características intermediárias entre dois tipos de tecido. Também é comum observar tecido fibrolamelar na porção mais profunda do córtex em indivíduos adultos (ou próximo ao tamanho adulto) limitado por tecido lamelar ou paralelo fibroso predominantemente próximo à superfície periosteal (CHINSAMY, 2005).

No osso lamelar a matriz óssea consiste de finas camadas (lamelas) de fibras colágenas estreitamente compactadas, sendo por isso, um tecido altamente organizado espacialmente. As lamelas são depositadas em um padrão de camadas compactadas e com fibras colágenas alternando a direção de deposição em cada camada concêntrica. Marcas de crescimento são comumente observadas nesse

tecido, e seu nível de aposição óssea é um dos mais baixos. O osso lamelar pode formar uma grande porção de osso primário compacto em vertebrados e mamíferos de pequeno tamanho, e pode também ser encontrado dentro de outro tipo de osso (PADIAN; LAMM, 2013).

Figura 3 - Padrões vasculares encontrados no complexo ósseo fibrolamelar.



Fonte: o autor (2020)

Semelhante ao osso lamelar, a matriz do osso paralelo fibroso contém as fibras colágenas estreitamente compactadas arranjadas em paralelo com a mesma direção. A matriz do osso paralelo fibroso é lentamente depositada, e parece ser intermediária entre o tecido ósseo fibroso e osso lamelar (FRANCILLON-VIEILLOT et al., 1990). Tanto o osso lamelar quanto o osso paralelo fibroso são frequentemente associados a tartarugas, crocodilos, e outros répteis, mas estes ossos também são encontrados em muitos mamíferos (PADIAN; LAMM, 2013).

Diferente do osso lamelar ou do osso paralelo fibroso, a matriz do tecido ósseo fibroso consiste de fibras colágenas altamente desorganizadas de tamanho variado, arranjadas frouxamente e de forma aleatória. Essa falta de organização é um reflexo das rápidas taxas de deposição do tecido ósseo, por isso é o tipo de osso depositado mais rapidamente. Consiste de tecido ósseo mais frequente em animais imaturos com altas taxas de crescimento, apresenta elevada vascularização e porosidade, contendo frequentemente muitas cavidades primárias ou Haversianas (PADIAN; LAMM, 2013).

Em uma compilação de estudos comparativos em animais modernos, observou-se que diferentes taxas de deposição óssea resultaram na formação de diferentes tipos de ossos. Na referida análise de dados sobre deposição óssea de vertebrados, Ricqlès et al. (1991) descobriu que a formação de tecido ósseo fibroso frequentemente excede a deposição de 40 $\mu\text{m}/\text{dia}$, mas pode também formar até 5 $\mu\text{m}/\text{dia}$, enquanto o osso paralelo fibroso é geralmente formado entre 0.10 a 0.5 $\mu\text{m}/\text{dia}$, e os resultados do osso lamelar mostraram taxas que não ultrapassaram 30 $\mu\text{m}/\text{dia}$, mas, podendo ocorrer também a partir de taxas de deposição óssea tão baixas quanto 0.04 $\mu\text{m}/\text{dia}$. Estes dados demonstram que existe uma sobreposição substancial de taxas nas quais os diferentes tecidos ósseos se formam (CHINSAMY, 2005).

O tecido ósseo secundário é resultado da substituição de tecido ósseo primário por osso secundário em um processo chamado de remodelamento. Inicialmente, o remodelamento começa com a erosão dos ossos pelos osteoclastos ao longo dos canais vasculares (reabsorção). Mais tarde, após a diminuição da reabsorção, toda a cavidade, até mesmo o canal vascular original, é preenchido por osso depositado centripetamente, e passa a ser chamado de ósteon secundário ou canal Harvesiano. Normalmente, quanto maior a cavidade, mais jovem é o ósteon secundário. Ósteons secundários pode ser facilmente distinguido dos ósteons primários por uma linha de reabsorção ou linha de cimentação em torno deles. Osso Haversiano se forma após várias gerações de ósteons secundários depositados, sendo também denominadas secundárias as deposições posteriores de osso secundário (CHINSAMY, 1994).

O significado funcional da reconstrução e remodelamento não é totalmente claro ainda, mas parece estar ligado às tensões mecânicas e fisiológicas que o osso, ou uma parte dele, tem que suportar durante a sua vida. Além disso, parece ser um processo gradual, relacionado com a idade do tecido num local específico. Portanto, o remodelamento não é uma característica de uma espécie, ou específica de um osso, ocorrendo principalmente em indivíduos adultos, mas encontrado também em indivíduos jovens (RICQLÈS et al., 1991; CASTANET et al., 1993; CHINSAMY, 1994).

2.1.5 O Significado das Marcas de Crescimento

A estrutura geral do osso primário fornece acesso direto sobre a forma de deposição óssea, ou seja, se esta ocorreu de forma contínua ou cíclica. A deposição cíclica fica evidente na região do osso compacto, com formação de distintos anéis de crescimento conhecidos também como marcas de crescimento, ou ainda, podem resultar em bandas formadas por diferentes tipos de tecido ósseo (CHINSAMY, 2005).

As marcas de crescimento indicam uma variação ou pausa das taxas de crescimento ósseo, e elas são depositadas ciclicamente na matriz do osso lamelar ou osso paralelo fibroso (comumente encontradas na matriz do tecido ósseo de dinossauros e alguns outros vertebrados terrestres). Marcas de crescimento cíclicas (ou linhas de pausa) são normalmente delimitadas por zonas de crescimento. Uma zona representa um período de deposição numa taxa de crescimento relativamente elevado e pode consistir de qualquer tipo de osso ou padrão vascular (CHINSAMY, 2005; PADIAN; LAMM, 2013).

Um *annulus* pode ser formado por uma ou mais camadas, tanto de osso lamelar ou osso paralelo fibroso, representando um período de lento crescimento sendo mais estreito que uma zona. As linhas de pausa de crescimento (*lines of arrested growth*; LAGs) representam uma parada completa do crescimento, na qual, pode ocorrer alguma reabsorção óssea. Quando ocorrem períodos de taxas elevadas de crescimento alternadas por momentos de lento crescimento, ou por períodos de parada total do desenvolvimento ósseo, utiliza-se o termo bandas. Estas são formadas por zonas e por marcas de crescimento, que podem ser compostas por *annuli* e/ou LAGs (Fig. 4) (CHINSAMY, 2005; PADIAN; LAMM, 2013).

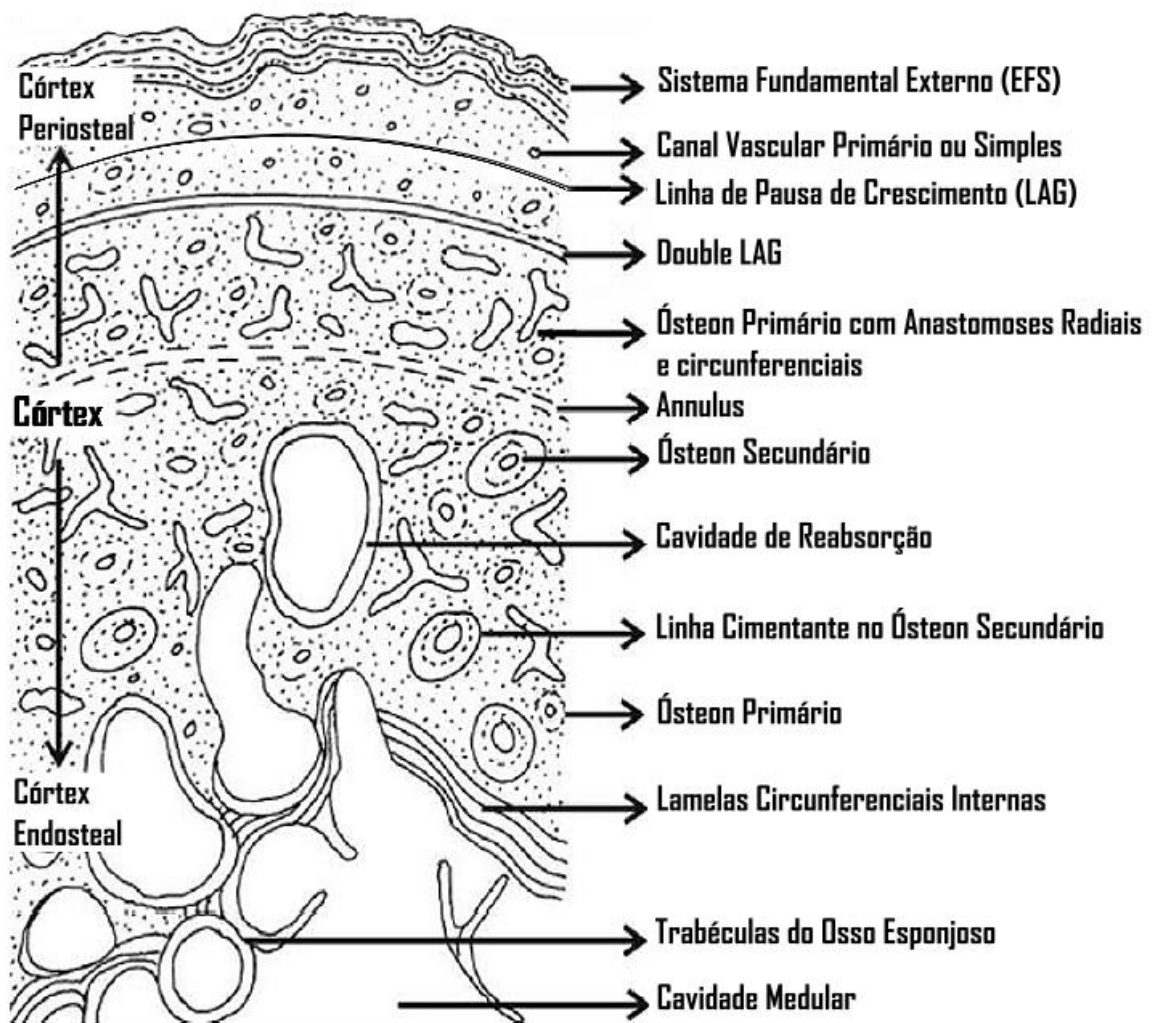
A deposição contínua, ininterrupta, ocorre sem a formação de ciclos de crescimento na região do osso compacto. Neste tipo de deposição o tecido pode ser totalmente fibrolamelar ou apresentar uma proporção de osso lamelar e/ou de osso paralelo fibroso (CHINSAMY, 1997; CHINSAMY, 2005).

Entre os répteis existentes atualmente, encontra-se geralmente uma única zona e/ou *annuli* formada por ano. Experimentos utilizando marcadores verificaram que os padrões de deposição óssea são relatados sazonalmente, com a formação de zonas durante os meses mais quentes e *annuli* durante períodos desfavoráveis. Apesar da possibilidade de ocorrência de linhas acessórias ou linhas duplas (*double*) no tecido ósseo como resultado de ciclos bianuais em animais que vivem em elevadas altitudes (CAETANO, 1999), não há relatos da formação de uma LAG em um intervalo

de dois anos, confirmando as suposições de que as LAGs em vertebrados fósseis foram provavelmente anuais (CHINSAMY, 2005).

Portanto, através da esqueletocronologia a contagem das marcas de crescimento (zonas e *annuli*) conservadas na microestrutura dos ossos é possível, obtendo-se as idades tanto de animais extintos quanto viventes (CHINSAMY, 2005).

Figura 4 - Esquema demonstrando uma seção transversal de um osso longo, ilustrando as diversas estruturas que podem compor a microarquitetura óssea.



Adaptado de Ray et al. (2009).

2.1.6 A Osteohistologia em Synapsida

Atualmente, os estudos sobre a histologia óssea têm sido ampliados para diversos grupos abordando os mais variados clados, com análises que abrangem espécimes mais basais como os dinossauros, a outras mais derivadas como os

terápsidos não-mamalianos (CHINSAMY-TURAN, 2012). Trabalhos osteohistológicos específicos sobre o clado Synapsida (linhagem que inclui os mamíferos) têm crescido muito nos últimos anos e demonstrado resultados que evidenciam o desenvolvimento de uma grande diversidade em relação às estratégias de crescimento e desenvolvimento, além de apresentar uma ampla gama de características osteohistológicas, que parecem ser dependentes de uma variedade de fatores, como ontogenia, ambiente e biomecânica (RAY et al., 2004, 2009).

De forma geral, a evolução dessas estratégias sugere uma tendência no aumento das taxas metabólicas. Sinápsidos basais (conhecidos informalmente como “pelicossauros”) possuem um crescimento ósseo cíclico e lento, similar ao de tetrápodes basais - indicado pela presença de um córtex (parte compacta do osso) pobremente vascularizado. Em contrapartida, ossos com uma matriz altamente vascularizada, que são relacionados a uma rápida osteogênese, são comuns em ossos longos de terápsidos não-mamalianos. Embora a deposição óssea seja ciclicamente interrompida em muitos grupos, a taxa geral de osteogênese em terápsidos não-mamalianos é mais comparável à estratégia de crescimento de mamíferos que tetrápodes basais (BOTHÁ; CHINSAMY, 2004; RAY et al., 2004; BOTHÁ-BRINK; ANGIELCZYK, 2010; GREEN et al., 2010.).

2.2 PROCESSOS PEDOGENÉTICOS E FREÁTICOS

As paleoalterações correspondem a todas as modificações pós-deposicionais ocorridas nos depósitos sedimentares, incluindo pedogênese, alteração por oscilação do nível freático, e eodiagênese. Estas modificações nos sedimentos ocorrem a pouca profundidade, próximos da superfície, e, portanto, com grande dependência dos fatores externos, relacionados ao clima e ao ambiente (PIMENTEL et al., 1996). Assim, o estudo das paleoalterações possibilita resgatar informações acerca do clima, dinâmica sedimentar, e evolução bacinal, em um sentido amplo. Tanto a formação de paleossolos quanto a oscilação do nível freático são exemplos de paleoalterações, termo cunhado para diferenciar-se de intemperismo, que é usado principalmente para o estudo das modificações de rochas, como a formação de perfis de solos autóctones (RUTHERFORD, 1987; WRIGHT, 1995).

Em termos petrológicos, pode-se reconhecer dois tipos de paleoalterações relacionadas com o momento de sua geração: pedogênicas ou freáticas. As

paleoalterações pedogênicas correspondem às alterações formadas a pouca profundidade de formação no solo, correspondente às porções mais superficiais dos depósitos sedimentares a poucos metros de profundidade. Através de processos de remobilização de sedimentos e solutos no interior do perfil de solo, ocorre infiltração de argilas, fissuramento, brechificação, horizonção, dissolução, hidromorfismo e carbonatação. Outro tipo são as paleoalterações freáticas, constituídas por processos de hidromorfismo e carbonatação gerados pela oscilação do nível freático (RETALLACK, 2001; PIERINI et al., 2010).

2.2.1 Processos Pedogenéticos Químicos

As reações químicas são a procura de equilíbrio, podendo decorrer num ou noutro sentido. A descrição dos processos pedogenéticos químicos mais comuns apresenta as alterações de um mineral com o seu reverso de neoformação. Ambos podem decorrer no interior de um mesmo solo, como descreve Da Rosa (2005a).

2.2.2 Hidrólise (Acidificação) vs Alcalinização

Hidrólise é a reação de H_2CO_3 (água + dióxido de Carbono) com um mineral silicatado, produzindo uma argila + cátions + ácidos (H_4SiO_4 e HCO_3^-).

A acidez dos paleossolos não pode ser “medida”, mas pode ser inferida:

Solos muito ácidos – têm quartzo, pirita e carvão, sem calcita;

Solos ácidos – sem calcita, mas com alguns feldspatos e interestratificados de illita e caulinita (I+K);

Solos neutros – com alguma calcita e Ca, Mg, Na, K, além de marcas biogênicas;

Solos alcalinos – com calcita em nódulos e argilas ricas em Ca e Mg;

Solos muito alcalinos – com nódulos de calcita e argilas tipo esmectita (E);

Solos extremamente alcalinos – com minerais evaporíticos e argilas esmectita/paligorskita (E/P) (RUTHERFORD, 1987).

2.2.3 Oxidação vs Redução

É um processo que se inicia na área fonte, com o intemperismo da rocha que dá origem, passa pela aeração durante o transporte (aquoso ou não) dos sedimentos, e finaliza-se pela aglomeração dos grãos, junto com água, elementos em suspensão e espaços vazios. A coloração avermelhada dos sedimentos é o produto mais característico deste processo, sendo em parte responsável pela formação de *red beds* (O'SULLIVAN, 1999; GRYGAR et al., 2003).

Em um perfil de solo, a oxidação ocorre em um ambiente necessariamente oxidante, embora pH seja ora ácido, ora alcalino. Em um solo ácido, há uma tendência à formação de hidróxidos de Fe com uma estrutura cristalográfica distinta (β -FeOOH) daquela formada em solos alcalinos, com $\text{pH} \approx 12$ (α -FeOOH) (SARIC et al., 1998). Ainda assim, observa-se que em pH baixo, só ocorre oxidação pela ação de bactérias. Goethita sulfatada é formada em pH 2,9, em ambiente oxidante, e na presença de bactéria tipo *Leptospirillum*; Achwertmannita, um outro hidróxido de ferro, forma-se, por sua vez, em pH 3, ambiente anóxico, e sob precipitação ativa de bactérias tipo TRA 3-20 (WEBSTER et al., 2000).

A oxidação é a cedência de elétrons, nomeadamente por ligação com o oxigênio. Embora o potencial de oxirredução (Eh) dos paleossolos não possa ser medido, algumas características podem ser indicativas, para, portanto, inferir o Eh: solos reduzidos apresentam tons esverdeados ou azulados pálidos com Fe^{+2} (com descoloração e presença de carvão) indicando que houve hidromorfismo sob condições de saturação permanente em água a qual ocorre o isolamento dos elementos químicos do O_2 atmosférico; Solos neutros exibem manchas coloridas com Fe^{+2} e Fe^{+3} (laranja), neste ocorre carvão, mas não sulfetos. Estas condições indicam variações da saturação em água (nível freático), de origem sazonal ou local; solos oxidados apresentam cores quentes, com hematita vermelha, goethita laranja e ferrihidrita castanha; sem matéria orgânica, mas pode ter marcas de raízes. Indicam aeração total, por drenagem e/ou evaporação eficientes (WEBSTER et al., 2000).

2.2.4 Hidratação vs Desidratação

A hidratação é a introdução de H_2O na estrutura de um mineral. Frequentemente os paleossolos estão desidratados por soterramento e diagênese posteriores. Os casos mais comuns são as reações em ambos os sentidos:



2.2.5 Dissolução vs Precipitação

A Dissolução é a separação total de um mineral nos seus íons. Os casos mais comuns são a dissolução da calcita em água com HCO_3 atmosférico, ou dos sais em águas meteóricas. A precipitação é a cristalização de um mineral apenas a partir dos íons presentes numa solução muito concentrada. Os casos mais comuns são a Calcita, a Halita e o Gesso, além da neoformação de certas argilas (Palygorskita e Sepiolita). A precipitação destes minerais, em condições alcalinas, pode ser acompanhada pela dissolução de outros, como no caso do Quartzo que pode ser visualizado em lâmina delgadas (WRIGHT, 1995).

2.3 PROCESSOS PEDOGENÉTICOS MAIS COMUNS EM AMBIENTES ALUVIAIS

A pedogênese em sistemas aluviais diferencia-se daquela existente em ambientes transicionais e costeiros, pois resultam de processos característicos e além de uma micromorfologia distinta entre os ambientes de sedimentação (PIMENTEL, 2001; BLANCO, 1991).

2.3.1 Marmorização (Mottling ou Mosqueamento)

Processo associado à mobilização do Fe reduzido (solúvel) e precipitação do Fe oxidado, à escala do perfil do solo. Hidromorfismo ou condições *gley* representam um solo saturado em água, redutor, originando minerais com Fe^{+2} (pirita, siderita e argilas), acumulação de M.O. e preservação dos minerais primários (alteração inibida pela drenagem deficiente).

Na interface dos níveis saturados com os níveis aerados pode precipitar Fe^{+3} sob a forma de hematita. Existem dois processos de marmorização:

- i) Descida do nível freático – precipitação em espaços abertos e aerados, tal como na superfície dos pedos (*gley Mottling*).
- ii) Subida do nível freático – redução localizada, num solo antes aerado e oxidado (*pseudo-gley Mottling*).

De forma resumida, portanto, a marmorização é um indicador da posição do nível freático no interior dos solos e de sua oscilação temporal (BLANCO, 1991).

2.3.2 Argilização

O processo de argilização citados abaixo, consiste na acumulação de argilas neoformadas por alteração de minerais primários ou pela transformação de argilas detríticas. A argilização causada por alteração de minerais primários implica em uma hidrólise (de um feldspato, p.ex.) seguida de uma precipitação. No segundo caso, a argilização formada pela transformação de argilas detríticas ocorre a liberação de cátions por hidrólise (“degradação”) ou a introdução de cátions provenientes de hidrólise prévia. Os tipos de argilas resultantes ou argilas neoformadas servem, portanto, como importantes indicadores das condições paleoambientais:

Caulinita - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ – resultante da lixiviação total das bases, devido a uma drenagem intensa, com precipitação abundante e relevo significativo.

Esmectita - $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_8(\text{Al}, \text{Si})_5\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ – resulta de uma concentração de bases no perfil do solo, devido a uma drenagem deficiente, com precipitação moderada e relevo aplanado.

Palygorskita - $[\text{Mg}, \text{AlSiO}(\text{OH})_8\text{HO}]$ e Sepiolita - $[\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ – implica uma concentração extrema de Mg no perfil, resultante de uma drenagem deficiente com precipitação escassa e evaporação intensa (PIMENTEL, 2001; BLANCO, 1991).

2.3.2.1 Micromorfologia em Processos de Argilização

Material original é constituído por minerais resistentes (quartzo) e minerais frágeis (feldspatos, micas, etc.), onde ocorre o início da pedogênese, com alteração dos minerais frágeis e neoformação de argilas, gradual reorientação do plasma argiloso e bioturbação.

Com a pedogênese avançada surge fissuração do plasma argiloso; formação de cutanes; alteração total dos minerais frágeis; corrosão dos minerais resistentes.

No final do processo pedogenético ocorrerá a formação de um horizonte argílico com tendência monomineral (PIMENTEL, 2001).

2.3.3 Ferruginização

Consiste na acumulação de óxidos e oxihidróxidos de Fe neoformados por combinação de íons Fe^{3+} com O_2 e $(\text{OH})^-$ presentes na água e atmosfera. Na presença de água o íon Fe^{3+} é estável apenas a $\text{pH} < 2$, e os óxidos de Fe não são solúveis. A mobilização de Fe tem, portanto, que ser na forma de Fe^{2+} (facilmente oxidável) sendo que a sua origem tem que estar no interior do próprio solo.

A hidrólise intensa de um mineral ferromagnesiano pode originar Fe^{2+} pelas seguintes reações:

- Fe^{2+} (solúvel) em ambiente confinado, mas oxidante a Fe^{3+} (insolúvel)
- $\text{Fe}^{3+} + 3 (\text{OH})^- \rightarrow \text{FeO}(\text{OH})$ (Goethita) + H_2O
- $\text{Fe}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Hematita) + 6H^+

Com o decorrer do tempo a Goethita tende a desidratar e transforma-se em Hematita (BLANCO, 1991; PIMENTEL, 2001; DA ROSA, 2005a).

2.3.3.1 Rubefação

Este processo resulta da presença do íon Fe^{3+} (Hematita) num solo, bastando uma concentração de $<5\%$ para que ocorra o tingimento de solos em vermelho. Desenvolve-se em clima subtropicais ou mediterrâneos, sendo sempre precedida de decarbonatação (em pH ácido) (BLANCO, 1991).

2.3.3.2 Laterização

A laterização é o progressivo enriquecimento em Fe nos solos desenvolvidos em climas tropicais, com intensa lixiviação das bases e da sílica. O perfil completo apresenta da base para o topo marmorização a rubefação (PIMENTEL, 2001; DA ROSA, 2005a).

2.3.3.3 Crostas Freáticas

A formação destas estruturas resulta da circulação freática de soluções com Fe^{2+} , as quais estagnam em níveis impermeáveis e são sujeitas a evaporação, precipitando os óxidos de Fe em níveis horizontais no interior do solo. As variações do nível freático originam a sucessão destes níveis (PIMENTEL, 2001; DA ROSA, 2005a).

2.3.3.4 Micromorfologia dos Processos de Ferruginização

As etapas iniciais são idênticas às da Argilização, produzindo um plasma argiloso abundante. Os oxi/hidróxidos de Fe penetram nas fissuras e a partir destas para o plasma argiloso, surgindo também manchas isoladas no plasma em torno de antigos grãos libertadores de Fe que passaram por Rubefação.

Em condições climáticas e de drenagem extremas o processo pode ser acompanhado pela lixiviação intensa dos alumino-silicatos, restando apenas compostos ferruginosos originários da laterização (PIMENTEL, 2001).

2.3.4 Carbonatação

O processo de carbonatação ocorre pela precipitação de calcita ou dolomita a partir de Ca/Mg^{2+} e CO_2 em solução nas águas de um solo. A precipitação é disparada por aumento da concentração e/ou temperatura, o que ocorre geralmente por evaporação. O Ca e Mg são abundantes nas águas meteóricas devido a sua abundância nos minerais que são sujeitos a alterações (feldspatos, micas, etc) e a elevada solubilidade e mobilidade destes elementos.

A liberação inicial destes elementos por alteração, seguida pela fixação destes em carbonatos, necessita de condições específicas que serão listadas a seguir:

O clima deve ser suficientemente agressivo para hidrolisar silicatos na área fonte e/ou no interior do solo, mas com estações secas e quentes para precipitar sais;

Uma drenagem suficiente para dispersar Ca e o Mg, porém lenta para permitir a sua precipitação em carbonatos. Estas condições são possíveis em climas com sazonalidade acentuada e morfologia aplainada; ou em sedimentos pouco porosos onde haja a precipitação de calcita (PIMENTEL, 2001; DA ROSA, 2005a).

2.3.4.1 Nódulos

Pequenas acumulações com dimensões de 1-3 cm de calcita pulverulenta que pode passar por recristalização diagenética. Esta calcita é resultante da infiltração de soluções carbonatadas no solo e precipitação da calcita em torno de grãos alterados,

raízes, poros, etc. A coalescência destes nódulos pode originar crostas carbonáticas (DA ROSA, 2005a).

2.3.4.2 Crostas Carbonáticas

As crostas carbonáticas são formadas pela acumulação de calcita, cimentando os materiais do solo, em níveis sub-horizontais e com espessuras variáveis entre 0,1 – 5 m. Num perfil completo podem-se encontrar os sucessivos estágios de carbonatação:

Base	Topo
Carbonatação Pulverulenta → Nodular → Laminar → Brechificada	

Na Epigênese se dá substituição total ou parcial do material silicatado. Isto implica em uma desestabilização maciça dos silicatos e uma neoformação concomitante dos carbonatos, tal ocorrência de processos em simultâneo apenas pode existir em ambientes muito básicos, com $\text{pH} > 9$ (WRIGHT, 1991).

2.3.4.3 Crostas Freáticas

A formação de crostas freáticas ocorre devido à precipitação de calcita em zona vadosa, por capilaridade e evaporação, acima do lençol freático rico em águas carbonatadas. Podem originar crostas muito espessas com 5 – 20 m sem qualquer estrutura interna, por movimentação vertical do nível freático.

A carbonatação próxima à superfície em depósitos aluviais acontece em ambientes fluviais, pedogênicos, freáticos, palustres e lacustres. Processos avançados de carbonatação formando calcretes ou caliches, associam alguns processos de carbonatação precoce em calcretes à ação de vegetação freatofítica, por modificação geoquímica localizada ao redor das raízes. A ação de ácidos orgânicos fracos enriquecidos por matéria orgânica em putrefação, diminui gradativamente o pH do solo, dissolvendo carbonatos e precipitando quartzo na forma de sobrecrecimentos secundários (WATTS, 1980; WILLIAMS; KRAUSE, 1998; PURVIS; WRIGHT, 1991).

2.3.4.4 Micromorfologia das Carbonatações

A carbonatação é geralmente precedida de uma pedogênese geradora de um Plasma argiloso abundante e fissuração intensa.

A infiltração de soluções carbonatadas dá-se pelas fissuras, a partir das quais penetram no Plasma, carbonatando-o por cimentação e/ou epigênese. Estas são distinguíveis através das texturas apresentadas, ALFA e BETA.

A textura ALFA tem origem química, apresenta mosaico de cristais de dimensões variadas com nódulos e fissuras circum-granulares, ocorrem grãos detríticos flutuantes e corroídos resultantes da evaporação, dessecação e precipitação.

A textura BETA tem origem biogênica, com rizoconcreções e estruturas alveolares, cristais aciculares (*needle-fibre*) *Microcodium*, etc. São resultantes da atividade de micro-organismos e plantas.

Em um mesmo calcrete podem ocorrer simultaneamente ambas as texturas, no entanto as carbonatações freáticas apresentam exclusivamente texturas ALFA (BLANCO, 1991; PIMENTEL, 2001; DA ROSA, 2005a).

2.3.5 Silicificação

Precipitação química de sílica proveniente de alteração meteórica de silicatos no interior de um solo. A sílica pode provir da dissolução do quartzo ou da hidrólise de feldspatos e minerais ferro-magnesianos, produzindo H_4SiO_4 , transportado em solução. Este H_4SiO_4 facilmente se combina com cátions em solução, originando argilas neoformadas. Deste modo, apenas precipitará sílica pura quando: em condições de drenagem deficientes os cátions (Ca e Mg, Fe e Al) se esgotarem, só assim, se justifica a associação dos silcretes com argilas muito alcalinas como a Palygorskita e a Sapiolita (PIMENTEL, 2001).

2.3.5.1 Micromorfologia das Silicificações

Quando o material de origem da silicificação é de origem terrígena (argilito fluvial) o processo é precedido de neoformação intensa da esmectita – palygorskita – sepiolita, seguindo-se a precipitação de sílica pura em espaços vazios, ocasionando

a formação de opala e quartzo; ou da sílica difusa no plasma argiloso resultando na formação de opala.

Quando o material de origem é quartzítico (arenito fluvial) os grãos tendem a crescer centrifugamente e são soldados pela sílica.

Se o material originário for carbonatado (paleossolo) as soluções ácidas irão dissolver a calcita, precipitando posteriormente sílica nos espaços vazios. Este processo tardio pode ser pedogênico (evolução das soluções meteóricas, por evaporação no centro da bacia p.ex.) ou freático (infiltração em outro ciclo climático, p.ex.) (PIMENTEL, 2001).

3. MATERIAL

Para a realização deste trabalho foram utilizados ossos longos pertencentes à coleção paleontológica do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), além de outros elementos coletados durante as prospecções desenvolvidas especificamente para a realização desta tese de doutoramento. Os espécimes foram tombados na coleção paleontológica da UFSM e são provenientes de afloramentos que estão inseridos na Bacia do Paraná, especificamente na porção central do estado do Rio Grande do Sul, área esta onde foram identificadas as Zonas de Associação (ZA) faunísticas de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*.

A escolha por ossos longos a exemplo de úmeros, fêmures, tíbias, fíbulas, metatarsais entre outros, deve-se às características de aposição óssea sofridas nestes espécimes, uma vez que, estes elementos não são tão intensamente remodelados, particularmente na região intermediária - diafiseal, e, portanto, permitem uma avaliação mais aguçada do padrão de crescimento ontogenético do animal em questão (CHINSAMY et al., 1995). Além disso, a contagem das Linhas de Pausa de Crescimento (LAG) essenciais para a determinação do estágio de vida do espécime são mais nítidas e permanecem melhor preservadas na região da diáfise de ossos compactos (HORNER et al., 1999), uma característica distinta da que geralmente ocorre nas epífises, onde o tecido esponjoso é predominante e as informações gravadas durante o crescimento ósseo são constantemente obliteradas.

Como a análise desenvolvida neste estudo refere-se a padrões de preservação macro e microscópicos, os elementos classificados aqui não seguem apenas o padrão de preservação macroscópico “bem ou mal preservado”, descrito anteriormente por Da Rosa (2005a). Desta forma, estão contidos neste estudo elementos com morfologia macroscópica facilmente distinguível, assim como espécimes que são fragmentados e altamente permineralizados, exibindo alterações volumétricas, achatados ou torcidos, muitas vezes de difícil identificação taxonômica como já mencionado por Holz; Schultz (1998) sobre os afloramentos da Supersequência Santa Maria.

De forma geral os elementos examinados resgatados na ZA *Hyperodapedon* tratam-se de fragmentos esqueléticos de dinossauros, rincossauros, e aetossauros provenientes dos Sítios Faixa Nova, Sítio Vila Kennedy e Sítio Cerro da Alemoa (Tab. 1).

Tabela 1 - Materiais utilizados para as análises macro e microestruturais na ZA *Hyperodapedon*, com informações do número de registro, elemento ósseo, classificação taxonômica e afloramento onde foram coletados.

ESPÉCIME	ELEMENTO ÓSSEO	CLASSIFICAÇÃO	AFLORAMENTO
UFSM11319	Ulna, Costela	Rhynchosauria	Cerro da Alemoa – NS*
UFSM11330	Metatarsal	Herrerasauridae	Cerro da Alemoa – NS
UFSM11326	Úmero	Sauropodomorpha	Cerro da Alemoa – NS
UFSM11074	Distal de Tíbia	Rhynchosauria, ' <i>Scaphonyx</i> ' <i>fischeri</i>	Faixa nova – Cerrito I - NS
UFSM11070	Costela	Rhynchosauria	Faixa nova - Cerrito III - NS
UFSM11505	Costela	Stagonolepidae, <i>Aetosauroides</i> <i>scagliai</i>	Faixa Nova – Cerrito I NS
UFSM11240	Fragmento de Costela	Rhynchosauria	Cerro da Alemoa - NS
-----	Costela FX	<i>Indet.</i>	Cerro da Alemoa - NS
-----	Costela T	<i>Indet.</i>	Cerro da Alemoa - NS
UFSM11516	Fragmentos de ossos rolados	Reptília	Cerro da Alemoa - NI**
UFSM11517	Distal de Rádio	Reptília	Cerro da Alemoa - NI
-----	Distal de Úmero		Cerro da Alemoa - NI
UFSM11518	Fragmentos do Úmero	Reptília	Cerro da Alemoa - NI
UFSM11514	Fragmentos de Costela	Reptília	Cerro da Alemoa - NI
UFSM11116	Costela	Rhynchosauria	Vila Kennedy - NI
UFSM A75***	Costela	<i>Indet.</i>	Cerro da Alemoa – NI

*NS – Nível superior na antiga planície de inundação referente à planície proximal. **NI – Nível inferior na antiga planície de inundação referente à planície distal. *** Espécime parcialmente descrito em Da Rosa (2005b).

Fonte: o autor (2020)

Além dos elementos supracitados, foram analisados também restos de cinodontes e dicinodontes coletados no Sítio Cortado, Sítio Linha Várzea, Sítio Picada do Gama, Sítio São Pedro do Sul, Sítio Novo Cabrais RST 287 – Km 174 e Sítio Dona Francisca, referentes a ZA de *Dinodontosaurus* (Tab. 2).

Tabela 2 - Materiais utilizados para as análises macro e microestruturais na Z.A *Dinodontosaurus*, com informações do número de registro, elemento ósseo, classificação taxonômica e afloramento onde foram coletados.

ESPÉCIME	ELEMENTO ÓSSEO	CLASSIFICAÇÃO	AFLORAMENTO NÍVEL NA PLANÍCIE
UFSM11242	Úmero	Synapsida, Cynodontia	Sítio Linha Várzea I - NS*
UFSM11137	Costela	Diapsida, Archosauria	São Pedro do Sul - Chiniquá - Sanga Vazia - NS
UFSM11100	Tíbia	Reptilia	Sítio Dona Francisca - NS
UFSM A61***	Costela	Cynodontia	Sítio Linha Várzea I - NI
UFSM11250	Fragmento de Fêmur	Synapsida, Cynodontia	Therapsida, Sítio Linha Várzea I - NI**
UFSM11253	Fêmur	Synapsida, Cynodontia	Therapsida, Sítio Linha Várzea I - NI
UFSM11412	Úmero	Synapsida	Sítio Cortado - NI
UFSM11314	Costela	Dicynodontia	Sítio Linha Várzea I - NS
UFSM11098	Fragmentos de Úmero	Synapsida, Cynodontia	Therapsida, Sítio Picada do Gama - NI
UFSM11162	Úmero esquerdo	Synapsida, Cynodontia, <i>Massetognathus</i> sp.	Therapsida, Sítio Cortado - NI
UFSM11096	Costela	Synapsida, Cynodontia	Therapsida, Novo Cabrais, RS 287, Km 174 - NI
UFSM11073	Fragmentos Indet.	Diapsida, Archosauria	São Pedro do Sul - Chiniquá - Sanga da Árvore - NI
UFSM11500	Tíbia e fíbula	Rincossauro?	Sítio Dona Francisca – NS
UFSMA74***	Distal de Tíbia	Indet.	Sítio Linha Várzea I - NS

*NS – Nível superior na antiga planície de inundação referente à planície proximal. **NI – Nível inferior na antiga planície de inundação referente à planície distal. *** Espécime parcialmente descrito em Da Rosa (2005b).

Fonte: o autor (2020)

3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE

Para compreender os processos e o recorte temporal em que os fósseis estavam inseridos foi realizado o levantamento bioestratigráficos nos sítios, e a partir destas informações procedeu-se com análises fossildiagnéticas.

3.1.1 Posicionamento Bioestratigráfico dos Sítios

Os depósitos prospectados ao longo da porção central do estado do Rio Grande do Sul foram escolhidos com base na composição faunística apresentada em coletas anteriormente realizadas. Com base na presença de determinados grupos taxonômicos puderam ser mapeados e posicionados bioestratigraficamente dez afloramentos: Sítio Cortado (DA ROSA et al., 2004b), Sítio Linha Várzea (DA ROSA et al., 2005b), Sítio Picada do Gama (DA ROSA et al., 2005d), Novo Cabrais RST 287 – Km 174 (MARTINELLI et al., 2017) e Sítio Dona Francisca inseridos Zona de Associação *Dinodontosaurus* - Sequência Pinheiros-Chiniquá; e Sítios Faixa Nova Cerrito I e Faixa Nova - Cerrito III, Sítio Vila Kennedy e Sítio Cerro da Alemoa inseridos na Zona de Associação *Hyperodapedon*, Sequência Candelária.

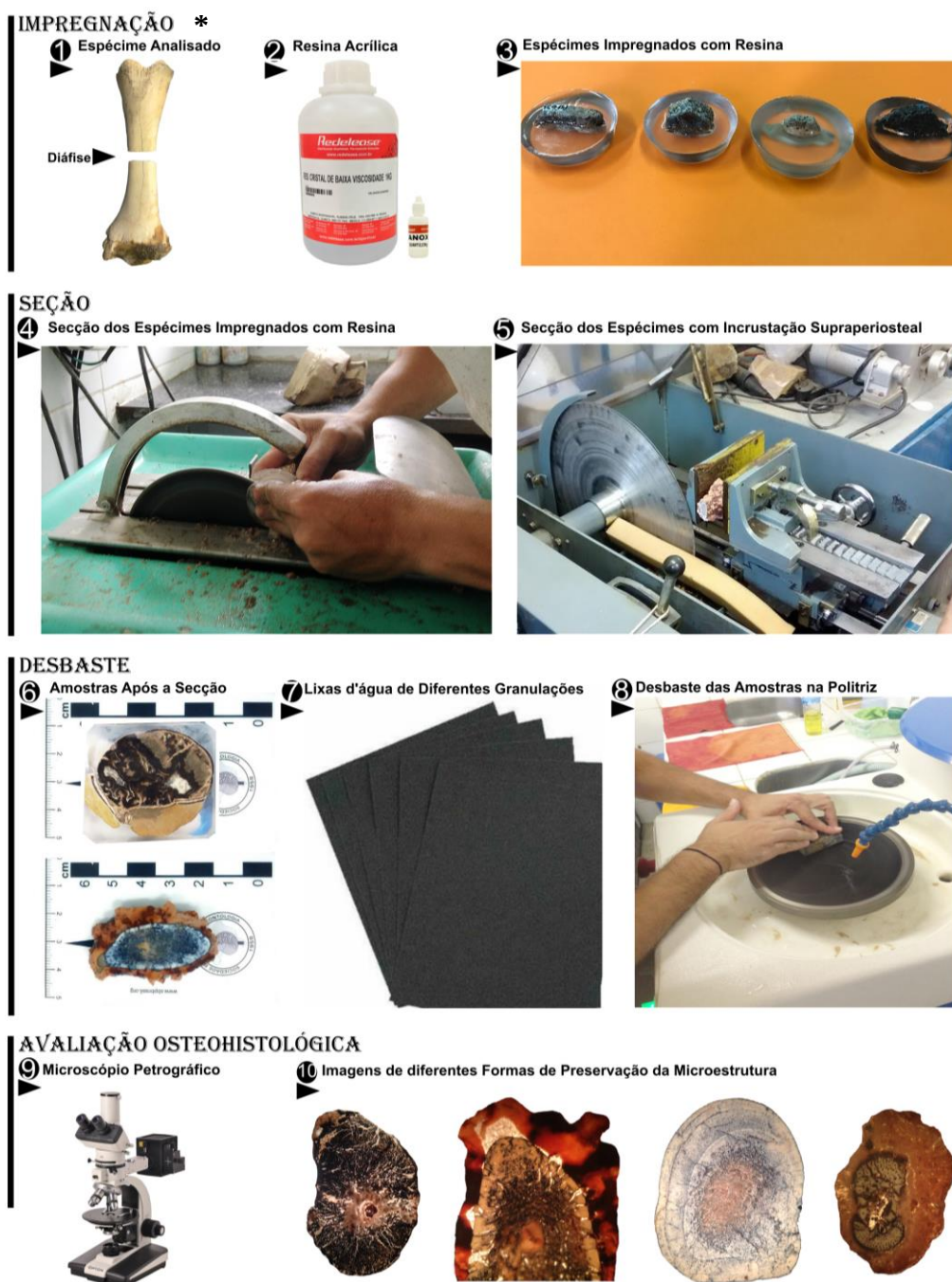
As prospeções realizadas nos afloramentos supracitados também serviram para listar as paleoalterações pedogenéticas e freáticas existentes nos estratos aflorantes e a ligação dessas interferências sobre as modificações durante a diagênese dos fósseis.

3.1.2 Osteohistologia

Para iniciar as avaliações microscópicas dos materiais inorgânicos restantes nestes fósseis, foram utilizadas técnicas de interpretação osteohistológicas baseadas em metodologias clássicas propostas por Chinsamy; Raath (1992). Para tal, os elementos foram medidos, fotografados, moldados e descritos antes de serem seccionados. Através destes cuidados, as informações morfológicas, assim como as proporções originais do material utilizado não foram perdidas após a retirada de porções dos ossos.

Após serem preservadas as informações acerca dos elementos, estes foram impregnados em resina acrílica transparente e posteriormente seccionados no sentido transversal na região diafiseal dos ossos. Só então, uma das extremidades do fragmento foi desbastada e polida numa politriz metalográfica com lixas d'água de diferentes granulações (granulação maior para menor), e coladas com Araldite na lâmina de observação microscópica. O mesmo procedimento de desbaste e polimento foi realizado na outra extremidade do fragmento ósseo até que fosse possível a visualização e identificação das microestruturas (Fig. 5).

Figura 5 - Processo de preparação de lâminas osteohistológicas.



*1) Ponto de secção dos ossos; 2) Resina utilizada para impregnação dos elementos antes do corte; 3) Blocos com elementos ósseos antes do desbaste; 4) Serra utilizada para o corte de grande elementos; 5) Serra diamantada usada para corte de elementos com dureza elevada, devido a incrustações carbonáticas; 6) Amostras preparadas para as fases de desbaste; 7, 8) Lixas de diferentes granulações são fixadas a máquina politriz para iniciar a fase de desbaste, e finalização com polimento das amostras; 9) As amostras são então analisadas ao microscópio petrográfico, onde é possível visualizar as microestruturas preservadas e o grau de substituição e permineralização em cada amostra.

Fonte: o autor (2020)

3.1.3 Identificação da Preservação Microestrutural

Os processos e estágios de preservação das estruturas microscópicas dos ossos foram analisados com base na integridade destes elementos contidos na matriz do osso compacto e do osso esponjoso. Deste modo, foram descritas todas as estruturas ósseas restantes na arquitetura do osso fossilizado.

A caracterização de preservação do osso compacto leva em consideração o tipo de osso formado, os tecidos que compõem estes ossos, os tipos de canais e orientação das conexões vasculares que irrigavam tais tecidos, compondo os padrões vasculares naqueles indivíduos (Tab. 3).

Tabela 3 - Estágios microscópicos de preservação elencados para classificação dos fósseis encontrados nas Zonas de Associação de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*.

PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA	CARACTERÍSTICAS
Muito boa	Íntegro, com trabéculas do osso esponjoso inteiras sem fraturas ou deslocamentos aparentes; matriz do osso compacto preservada, todas as microestruturas identificáveis; sem presença de fraturas, incrustações, ou alterações volumétricas e morfológicas.
Boa	Quase íntegro, com trabéculas pontualmente deslocadas pelo preenchimento; estruturas do osso compacto preservadas e identificáveis; com fraturas ou incrustações; sem alterações volumétricas e morfológicas.
Intermediária	Trabéculas amplamente deslocadas pelo preenchimento; estruturas do osso compacto parcialmente preservadas e identificáveis; com fraturas e incrustações, com leve alteração volumétrica e morfológica.
Ruim	Fragmentos trabeculares dispersos em meio ao preenchimento; poucas estruturas do osso compacto preservadas de difícil identificação; fraturas internas e grandes incrustações supra periosteais com alteração volumétrica e morfológica.
Muito Ruim	Fragmentos trabeculares e estruturas do osso compacto obliteradas e/ou dispersas no preenchimento; com fraturas e grandes incrustações; obliteração do limite periosteal e grande alteração volumétrica e morfológica.

Fonte: o autor (2020)

Na porção medular, o osso esponjoso é avaliado com relação aos níveis de preservação da arquitetura trabecular, levando-se em conta a preservação destas

estruturas frente aos estágios de preenchimento da cavidade medular durante a fossilização. Todos os espécimes deste trabalho apresentam estrutura trabecular, e este arranjo foi caracterizado como íntegro; deslocado pontualmente pelo preenchimento; ou dispersado em meio ao preenchimento.

O nível de preenchimento e obliteração das estruturas também foi avaliado, tanto na porção interna (córtex e cavidade medular), quanto na porção supra periosteal, identificando a ocorrência de incrustações/concreções diagenéticas que pudessem alterar o volume e a morfologia do exemplar analisado.

As informações elencadas sobre cada espécime analisado foram inseridas nas Fichas de Estimativa Osteohistológica (Tab. 4), que contém ainda dados sobre o afloramento no qual o fóssil foi coletado, nível bioestratigráfico do afloramento, nível litológico onde o fóssil estava inserido, número do espécime na coleção e elemento ósseo utilizado para seção (Apêndice B).

Tabela 4 – Ficha modelo utilizada para identificação das principais características dos táxons em análise, como elemento utilizado para secção, nº do espécime, nível bioestratigráfico e procedência (Afloramento). Também é identificada a classe preservacional macroscópica e microscópica, com detalhamento das microestruturas osteohistológicas que resistiram ao processo fossilizante nas Zonas de Associação de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*.

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA			
Projeto: Avaliação Fossilizante em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria			
Instituição: UFPE			
Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos			
Táxon: Reptília		Espécime: UFSM11516	
Procedência: Cerro da Alemoa - NI		Bioestratigrafia: Z.A <i>Hyperodapedon</i>	
Elemento: Fragmentos rolados		Região Seccionada: Diáfise	
CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA			
Muito Boa ()	Boa ()	Intermediária ()	Ruim (X) Muito Ruim ()
CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA			
Muito Boa ()	Boa (X)	Intermediária ()	Ruim () Muito Ruim ()
DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA			
CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG –	LAG - 4
	OS - X	AN -	EFS - X
		OP - X	AN - 2

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido paralelo fibroso, vascularização longitudinal à reticular.

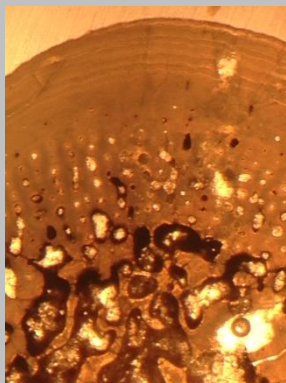
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: É possível analisar todas as porções do osso, desde o esponjoso ao compacto periosteal.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Sem Incrustações, porém, com grau elevado de fragmentação, restando apenas uma pequena fração do elemento original.

IMAGEM:



Fonte: o autor 2020

3.1.4 Difração de Raio-X (DRX)

Nas análises de difração de raio X foi utilizado o pó dos elementos ósseos no equipamento *Bruker D2 PHASER*, operando com voltagem de 30 kV e corrente de 10 mA ($P=300$ W), radiação de Cu-Ka = $\Theta 1,54060$ Å e usando detector *Bruker-AXS-Lynxeye*. A faixa de varredura (2Θ) foi de 4 a 80° , com passo de goniômetro de $0,02019^\circ$ e rotação constante da amostra de 10 rpm. A abertura da fenda primária foi de 0,4 mm, a fenda utilizada foi 3 mm e o tempo de contagem por passo de 1,0 segundo. As amostras foram indexadas usando o aplicativo *DIFFRAC.EVA* com banco de dados COD (REV 89244 20131011).

O pó analisado pelo DRX foi extraído de restos de fragmentos dos elementos utilizados para preparação das secções osteohistológicas, utilizando uma broca acoplada a uma Retífica Rotativa Dremel, Série 3000. Foram retiradas duas amostras de cada espécime listado para este estudo, uma amostra entre a porção externa e periosteal do osso, e outra amostra extraída da região da cavidade medular e córtex endosteal. Após cada perfuração o elemento era lavado com spray de água e posteriormente secado para evitar contaminação da segunda amostra.

3.3.5 Identificação da Preservação Macroestrutural

Para caracterização dos estágios macroscópicos de preservação dos elementos coletados nas Zonas de Associação de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*, levou-se em consideração o nível de conservação morfológica do espécime, o grau de preservação da superfície periosteal (com perióstio totalmente preservado ou “craquelado”), a presença de fraturamento e distorção (com alteração do volume, torções e/ou compressões), além da preservação de marcas de inserção muscular (presentes ou ausentes). Com base nas características elencadas foram estabelecidas cinco categorias macroscópicas de preservação para os espécimes: muito boa/excelente, boa, intermediária, ruim e muito ruim/péssima (Tab. 5).

Tabela 5 - Estágios macroscópicos de preservação elencados para classificação dos fósseis coletados nas Zonas de Associação de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon*.

PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA	CARACTERÍSTICAS
Muito boa	Quase íntegro, inteiro, com perióstio totalmente preservado, com poucas fraturas, e com marcas de inserção muscular preservadas.
Boa	Quase íntegro, inteiro, com maior parte do perióstio, com fraturas, e alguns pontos com marcas de inserção muscular descontínua.
Intermediária	Ossos ou fragmento de ossos, perióstio fraturado, craquelamento ausente ou pontual, com raras marcas de inserção muscular.
Ruim	Fragmento de osso raramente inteiro, com perióstio craquelado ou sem perióstio visível, fraturas evidentes, com distorções aparentes (volume, torção ou compressão) sem marcas de inserção muscular.
Muito Ruim	Fragmento de osso, fortemente craquelado com pedaços do perióstio bioando sobre uma massa de carbonato, distorções aparentes (volume, torção, compressão), de difícil identificação por vezes impossível.

Fonte: o autor (2020)

4. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA

Este capítulo traz o detalhamento da evolução geológica da Bacia do Paraná na qual estão inseridos os estados sul brasileiros. Nesse contexto, são explicitadas as principais informações estratigráficas, litológicas e bioestratigráficas para os afloramentos estudados.

4.1 CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO

A Bacia do Paraná é uma grande bacia intracratônica alongada no sentido NE-SW na América do Sul, com cerca de 1750 km de comprimento e 900 km de largura, que cobre uma área de superfície com cerca de 1,7 milhão de km² entre Paraguai, Uruguai, Argentina e Brasil (ZALÁN et al., 1990).

Esta bacia é composta de sequências vulcânicas e sedimentares que evoluiu durante o Paleozóico e Mesozóico, com os pacotes sedimentares depositados totalmente sobre crosta continental entre o Ordoviciano Superior ao Cretáceo Superior (ZALÁN et al., 1990). Milani et al. (2007) ressaltam também que a Bacia do Paraná não foi continental desde sua origem, já que no início de sua formação foi gerada como um golfo aberto para o Pantalassa, e ao longo da evolução da bacia teria havido um progressivo fechamento durante o Fanerozóico culminando na condição de bacia continental.

São reconhecidas para esta bacia seis sequências estratigráficas de segunda ordem (MILANI; RAMOS, 1998), três sequências que representam grandes ciclos transgressivos-regressivos de variação de nível de base, são elas, Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Neocarbonífero-Eotriássico), e outras três sequências que apresentam sucessões sedimentares continentais com rochas ígneas associadas, correspondendo a Gondwana II (Mesotriássico-Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). O Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma seção condensada, apresentando apenas os Grupos Itararé, Guatá e Grupo Passa Dois (Gondwana I), Formações Piramboia, Sanga do Cabral e Supersequência Santa Maria (Gondwana II), e Formação Botucatu (Gondwana III).

A Supersequência Gondwana II, foco deste estudo, é uma unidade cuja ocorrência é restrita à região central do Estado do Rio Grande do Sul, e caracteriza-

se pela importante paleofauna de vertebrados que tem grande relevância para os estudos de correlação entre unidades análogas na Argentina e África (MILANI et al., 2007). São identificadas nesta Supersequência duas grandes zonas de falhas delimitantes que também dividem a área de exposição destas rochas triássicas em três blocos estruturais ao longo da direção Leste-Oeste do Estado (DA ROSA; FACCINI, 2005b): a Zona de Falhamentos Jaguari-Mata (JMFZ) para o oeste, e Zonas de Falhamentos Vigia-Roque (VRFZ), para o leste. Este sistema de falhas é orientado principalmente nas direções NE-SW e NW-SE (DA ROSA; FACCINI, 2005b), marcando uma reorganização dos estratos originais, ao longo de toda a porção central do estado na Supersequência Santa Maria (ZERFASS et al., 2003).

4.1.1 Contexto Litoestratigráfico

As primeiras inferências estratigráficas realizadas na Bacia do Paraná tiveram início com os trabalhos do início do século XX de White (1908) através do estudo dos carvões e a identificação de ocorrências da Flora de *Glossopteris* ao longo do Gondwana.

Huene; Stahlecker (1968) estudaram afloramentos fossilíferos próximos aos municípios de Santa Maria e São Pedro do Sul onde descreveram um espesso pacote de lentes avermelhadas (*red beds*) compostos por uma “alternância de arenitos vermelhos claros, mais ou menos argilosos” que continham fósseis de tetrápodes. Estes autores interpretaram e dividiram estas camadas da região do Rio Grande do sul em dois membros: um membro mais inferior e afossilífero, com grande quantidade de arenitos de origem fluvial; e outro membro superior, rico em tetrápodes fósseis e que apresentaria crustáceos em suas camadas mais basais, com um nível acima destas camadas composto por uma matriz de arenitos e argilitos de origem fluvial e eólica contendo troncos silicificados de *Araucarioxylon*.

Só em 1947, Gordon Jr. propôs a primeira nomenclatura litoestratigráfica para esta região com a separação das “Camadas Santa Maria” das “Camadas Vermelhas do Rio do Rastro”, com base em estudos geológicos feitos nos estados da região sul do Brasil e em dados paleontológicos. Este mesmo autor propôs então as idades triássicas para a Formação Santa Maria, e idade permiana para a Formação Rio do Rastro.

Posteriormente, outras propostas foram realizadas seguindo as ideias da litoestratigrafia clássica, culminando com o trabalho de Andreis et al. (1980), amplamente aceito para o Triássico sulbrasileiro. Neste trabalho, o Grupo Rosário do Sul é subdividido nas formações Sanga do Cabral, Santa Maria (membros Passo das Tropas e Alemoa) e Caturrita.

Já utilizando a metodologia da estratigrafia de sequências, Faccini (1989) foi o primeiro a estudar a Bacia do Paraná no RS, sob este ponto de vista, dividindo o pacote referente ao intervalo Neopermiano-Eocretáceo em quatro sequências deposicionais. A sequência I representaria as Formações Rio do Rastro/Sanga do Cabral; a sequência II a Formação Santa Maria; a III o “Arenito Mata” e a IV a Formação Botucatu.

Uma década depois, Zerfass (1998) apresentou uma proposta estratigráfica complementar que foi refinada pelo mesmo autor em parceria com colaboradores em 2003, na qual descrevem as Sequências Santa Maria I, II e III e as integram como uma única Supersequência Santa Maria (SMS).

Portanto, a SMS I e II correspondem às Formações Santa Maria e Caturrita, e SMS III corresponde ao Arenito Mata (ZERFASS et al., 2003). A Formação Santa Maria é dividida nos Membros Passo das Tropas e Alemoa (ANDREIS et al., 1980; FACCINI, 1989; ZERFASS et al., 2003; DA ROSA, 2005a). O Membro Passo das Tropas é formado por conglomerados e arenitos grossos, correspondendo a um sistema fluvial de sinuosidade moderada, e de alta energia (FACCINI, 1989; ZERFASS et al., 2003), com arenitos lenticulares, estratificações cruzadas acanaladas de pequeno a médio porte, e com laminações plano paralelas.

O Membro Alemoa contém pelitos avermelhados, maciços ou finamente laminados, intercalados com siltitos e arenitos finos, níveis de calcretes e paleosolos (FACCINI, 1989; ZERFASS et al., 2003; DA ROSA, 2005a). Neste Membro, os pelitos são intercalados com arenitos tabulares e lenticulares finos a médios, ricos em intraclastos esbranquiçados, com laminação horizontal e *climbing ripples* (SCHULTZ et al., 2000). Esses estratos foram acumulados por sistemas deposicionais continentais flúvio-eólicos associados a lagos rasos (MILANI et al., 1994).

Já a Formação Caturrita é composta por uma sucessão granocrescente formada por lentes de arenito com estratificação cruzada de pequeno porte, ritmitos e corpos de arenitos com estratificação cruzada cavalgante ou maciços, interpretados

como pertencentes a um sistema fluvial/deltaico/lacustre (FACCINI, 1989; ZERFASS et al., 2003).

A hipótese cronoestratigráfica mais recente foi proposta por Horn et al. (2014), onde a Supersequência Santa Maria é dividida nas sequências Pinheiros/Chiniquá (Zona de Associação *Dinodontosaurus*), Santa Cruz (Zona de Associação *Santacruzodon*), Candelária (Zona de Associação *Hyperodapedon* e *Riograndia*), e Mata (ZA *Rhexoxylon*), conforme o contexto bioestratigráfico sugerido por Soares et al. (2011).

4.1.2 Contexto Bioestratigráfico

A primeira proposta bioestratigráfica para a Formação Santa Maria foi realizada por Barberena (1977), baseada em diferenças entre as paleofaunas das regiões de Pinheiros (Candelária), Chiniquá (São Pedro do Sul) e Santa Maria. As Zonas-Associação foram propostas naquele trabalho com o nome de Cenozonas, e foram agrupadas das mais antigas para as mais recentes. A Cenozona de Therapsida (região de Pinheiro e Chiniquá) composta predominantemente por terápsidos e tecodontes e sem a presença de rincossauros, teria idade ladiniana; A Cenozona de *Dicrodium*, composta por uma paleoflora representada pelo gênero homônimo, com alguns registros de invertebrados e restos de peixes, e sem registros de tetrápodes teria idade triássica não detalhada; Cenozona de Rhynchocephalia (Santa Maria), rica em rincossauros, ocorrências raras de cinodontes e ausência de dicinodontes, com idade carniana.

Anos depois, Barberena et al. (1985) propuseram para o intervalo Permo-Triássico da Bacia do Paraná sete unidades denominadas de Faunas-Locais, das quais quatro foram atribuídas ao intervalo Meso-Neotriássico: Fauna-Local de Pinheiro do Ladiniano, Fauna-Local de Chiniquá e Fauna-Local de Alemoa do Carniano, e a Fauna-Local de Botucaraí do Neocarniano-Eonoriano.

No ano 2000, Schultz e colaboradores retomaram o modelo proposto por Barberena (1977), baseado nas Zonas-Associação, porém, utilizando apenas as faunas de tetrápodes. Na descrição proposta permaneceram a Cenozona de Therapsida como unidade mais basal, seguida pela Cenozona de Rhynchosauria (com mudança na nomenclatura em relação à proposta original), e acreção do Nível de *Jachaleria* que corresponderia ao nível estratigráfico onde este gênero de

dicinodonte foi encontrado, antes contido na Fauna-Local de Botucaraí (Barberena et al., 1985).

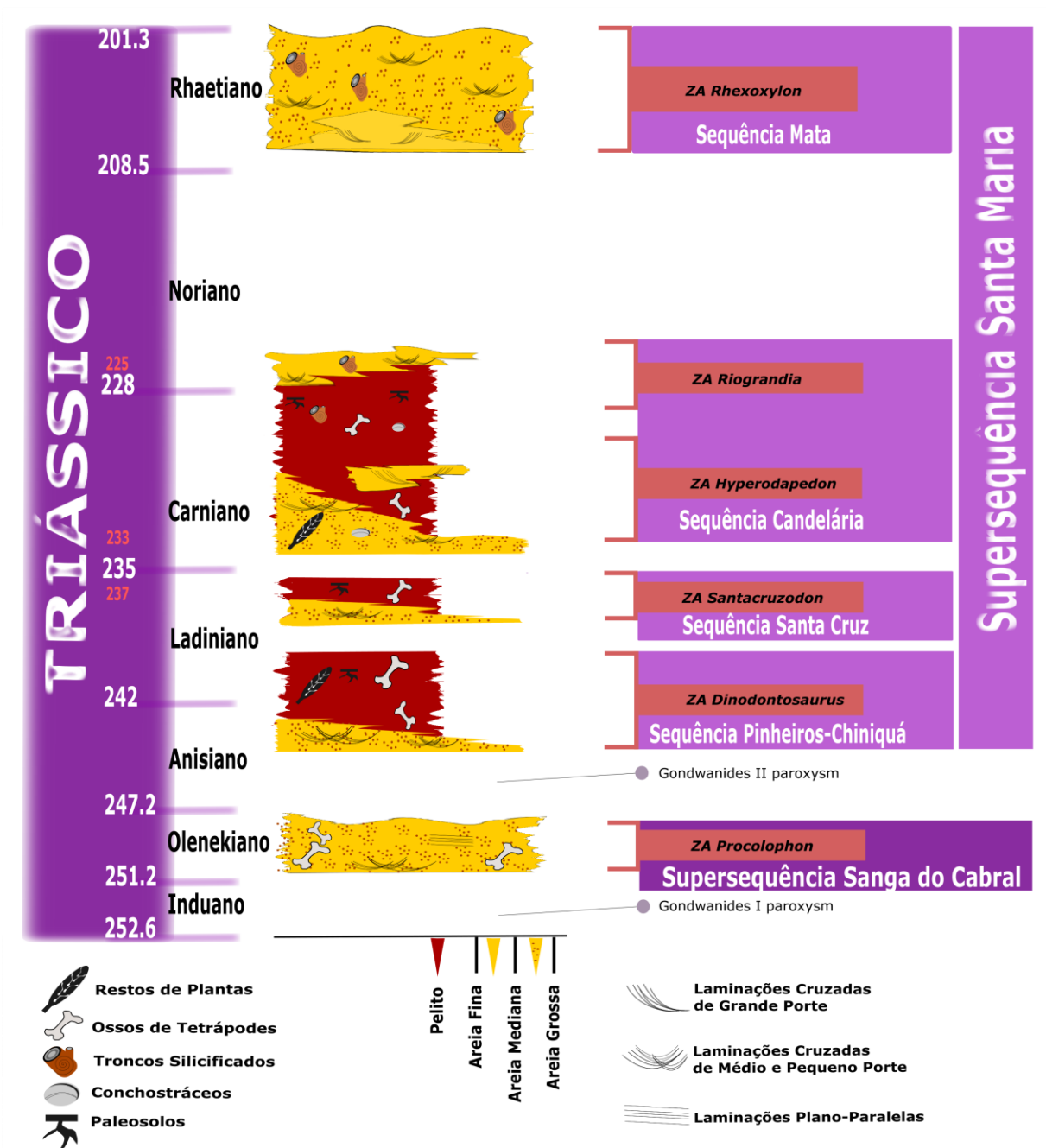
Em 2001, Abdala e colaboradores adicionaram alterações às nomenclaturas das Cenozonas de Therapsida e Rhynchosauria, denominando-as de Biozona de *Dinodontosaurus* e Biozona de *Hyperodapedon*, respectivamente, e propuseram uma nova Biozona intermediária entre estas, a Biozona de Traversodontídeos.

A camada informal conhecida como “Nível de *Jachaleria*” foi denominada de Zona de Associação de Ictidosauria a partir do trabalho de Rubert; Schultz (2004), com novas evidências estratigráficas e paleontológicas provenientes da porção superior da Formação Santa Maria. Esta designação seria alterada posteriormente por Soares; Schultz (2011), para Cenozona Mammaliamorpha, devido a questões filogenéticas referentes ao nome do grupo usado na primeira denominação desta Cenozona, que caiu em desuso em trabalhos mais atuais.

Em uma compilação de trabalhos de Barberena et al. (1993); Scherer et al. (2000); Schultz (1995); Schultz et al. (2000); Abdala et al. (2001); Rubert; Schultz, (2004), referentes à bioestratigrafia do Rio Grande do Sul, Schultz; Langer (2007), reconheceram quatro distintas associações paleofaunísticas: Cenozona Therapsida (Mesotriássico – Eoladiniano), Cenozona de Traversodontídeos (Mesotriássico – Neoladiniano/Eocarniano), Cenozona de Rhynchosauria (Neotriássico – Carniano) e Cenozona de Mammaliamorpha (Neotriássico).

A proposta apresentada neste trabalho segue a nomenclatura mais recente para designações referentes às Zonas de Associação (antigas Cenozonas), preliminarmente apresentada por Soares et al. (2011), como Zona de Associação (ZA) de *Dinodontosaurus*, ZA de *Santacruzodon*, incluídas na Sequência Santa Maria I, e as ZA de *Hyperodapedon* e ZA de *Riograndia*, contidas na Sequência Santa Maria II (Fig. 6).

Figura 6 - Cronoestratigrafia do Triássico do Sul do Brasil, demonstrando as seqüências deposicionais com suas respectivas Zonas de Associação Faunísticas.



Adaptado de Soares et al. (2011)

4.1.2.1 Táxons Encontrados nas Zonas de Associação

A composição faunística descrita para estratos referentes ao Triássico Médio e Superior das Sequência Santa Maria Sul brasileiro é agrupada nas quatro Zonas de Assembleia apresentada a seguir (LANGER et al., 2007; SOARES et al., 2011), com

idades corrigidas a partir de datações absolutas (LANGER et al., 2018; PHILIPP et al., 2018).

- ✓ A Zona de Associação de *Dinodontosaurus* considerada do Ladiniano Superior – Carniano Inferior é formada por dicinodontes, cinodontes, arcossauros e procolofonóides.
- ✓ A Zona de Associação de *Santacruzodon* composta por traversodontídeos, cinodontes e arcossauros do Ladiniano Superior - Carniano Inferior, com datação absoluta de 236 Ma (PHILIPP et al., 2018).
- ✓ Zona de Associação de *Hyperodapedon* com rincossauros, cinodontes, arcossauros e dinossauros do Carniano, com datação absoluta de 233 Ma (LANGER et al., 2018).
- ✓ E a Zona de Associação de *Riograndia* formada por cinodontes, procolofonídeos, esfenotídeos dicinodontes, arcossauros e dinossauros datadas do Noriano inferior, com datação absoluta de 226 Ma (LANGER et al., 2018).

4.1.3 Contexto Estrutural dos Sítios Fossilíferos

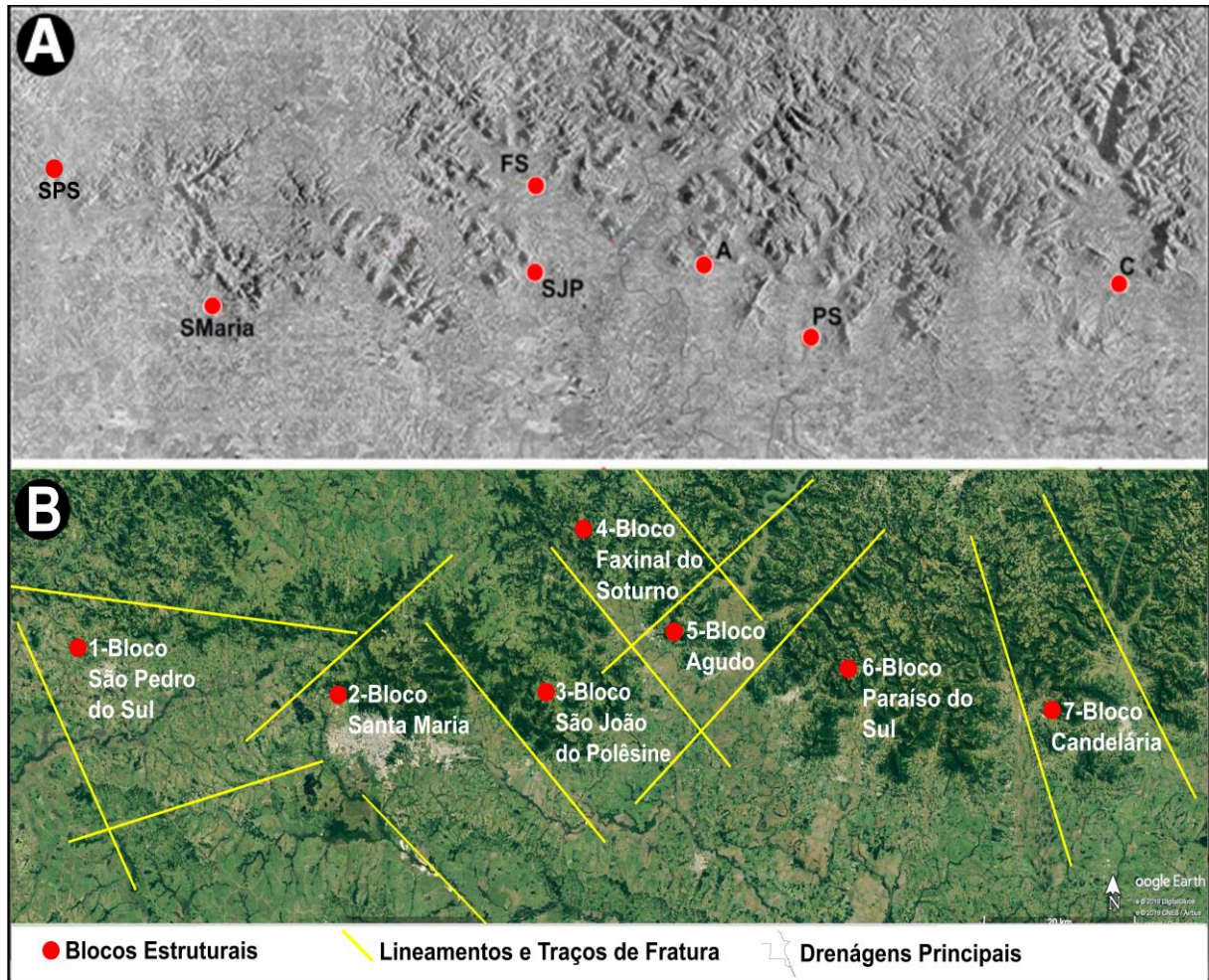
Na região central do Estado do Rio Grande do Sul, onde afloram as litologias triássicas analisadas neste trabalho, são reconhecidos seis blocos estruturais que são delimitados por um sistema de falhas originadas pela tectônica deformadora desenvolvida durante o Mesozóico (DA ROSA, 2005c). São eles: Bloco Santa Maria; Bloco São João do Polêsine; Bloco Faxinal do Soturno; Bloco Paraíso do Sul e Bloco Candelária. Posteriormente, Da ROSA, (2015c) reconheceu também os blocos Mata, São Pedro do Sul, Santa Cruz do Sul, Venâncio Aires e Bom retiro do Sul. Estes blocos foram demarcados através de fotolineamentos e alinhamentos de drenagem e correspondem ao atual posicionamento dos Sítios fossilíferos aqui estudados (Fig.7).

No Bloco Santa Maria, que é limitado a noroeste pelo lineamento Ibicuí Mirim e a nordeste pelo lineamento Três Barras – Vacacaí Mirim, estão inseridos os afloramentos: Cerro da Alemoa, Faixa Nova Cerrito I e Cerrito II e Vila Kennedy. Destes sítios, foram coletados e analisados fósseis da ZA de *Hyperodapedon*.

No Bloco Faxinal do Soturno, limitado a oeste pelo lineamento Rio Soturno e a leste pelo lineamento Agudo está localizado o Sítio Dona Francisca, de onde foram resgatados fósseis da ZA de *Dinodontosaurus*.

O Bloco São Pedro do Sul está localizado a oeste do Bloco Santa Maria, onde estão localizados os Sítios Picada do Gama e Sanga da Árvore – Chiniquá, com fósseis da ZA de *Dinodontosaurus*.

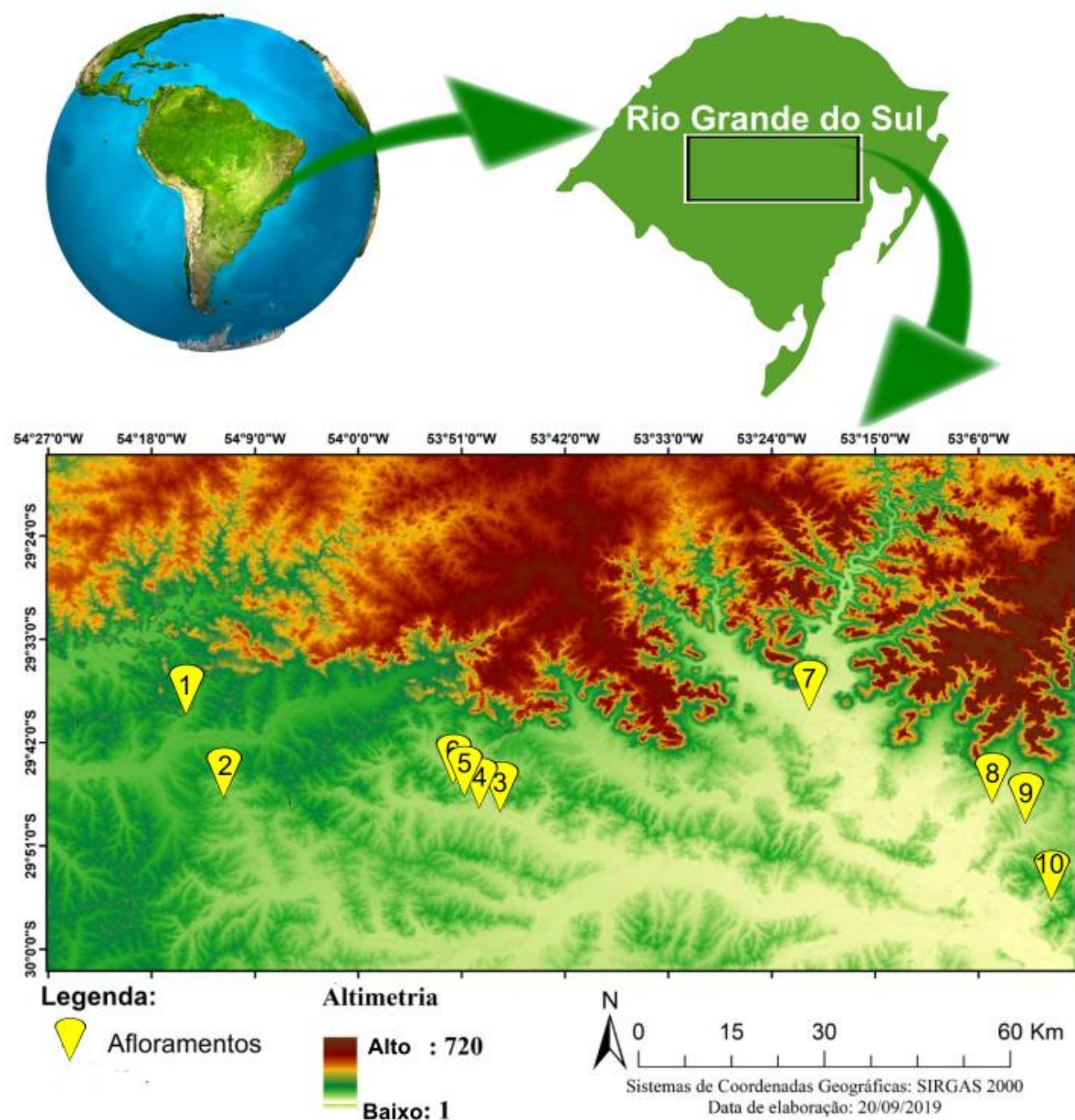
Figura 7 - Blocos estruturais limitados pelos principais lineamentos localizados na porção central do estado do Rio Grande do Sul. A) Imagem de radar; B) Imagem de satélite.



Adaptado de Da Rosa (2005).

No Bloco Estrutural Paraíso do Sul, limitado a noroeste pelo lineamento Paraíso do Sul, a sudoeste pelo lineamento Rio do Soturno e a leste pelo lineamento Rio Botucarái, encontram-se os afloramentos Novo Cabrais RST 287 – Km 174, Sítio Cortado e Linha Várzea, onde também foram coletados fósseis da ZA de *Dinodontosaurus* (Fig.8).

Figura 8 - Mapa hipsométrico de parte do estado do Rio Grande do Sul, com delimitação de porção da Depressão Central Gaúcha onde estão inseridos os afloramentos aqui estudados.



Nº1 - Sítio Sanga da Árvore – Chiniquá, nº2 - Sítio Picada do Gama localizados no Bloco Estrutural São Pedro do Sul onde aflora a ZA de *Dinodontosaurus*; nº3 - Sítio Cerro do Alemoa, nº4 - Faixa Nova Cerrito I, nº5 - Faixa Nova Cerrito II, nº6 - Vila Kennedy localizados no Bloco Estrutural Santa Maria onde aflora a ZA de *Hyperodapedon*; nº7 - Sítio Dona Francisca localizado no Bloco Estrutural Faxinal do Soturno onde aflora a ZA de *Dinodontosaurus*; nº8 - Sítio Cortado, nº9 - Sítio Picada do Gama e nº10 - Sítio Novo Cabrais - RST 287 localizados no Bloco Paraíso do Sul onde aflora a ZA de *Dinodontosaurus*.

Fonte: o autor (2020)

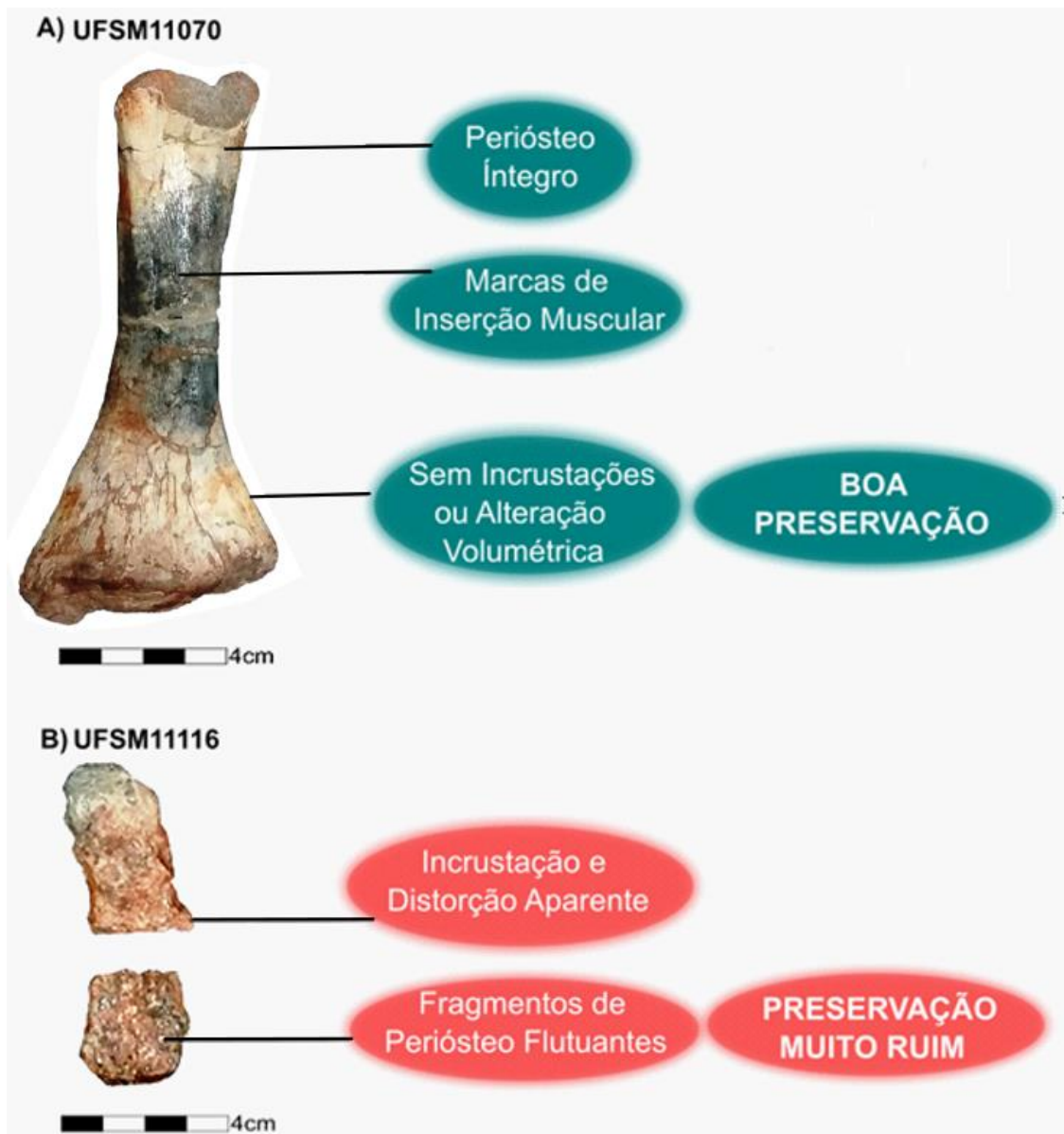
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos elementos fossilizados foi realizada a partir da investigação da ZA de *Hyperodapedon* mediante a comparação preservacional dos afloramentos ali inseridos, e posteriormente, sobre a ZA de *Dinodontosaurus* e os respectivos sítios encontrados nestes perfis.

5.1 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS FÓSSEIS DA ZA *HYPERODAPEDON*

Dois elementos ósseos fragmentários foram analisados a partir da Difração de Raio-X, o primeiro espécime é identificado taxonomicamente como um Rhynchosauria (UFSM11070) coletado no Sítio Faixa Nova - Cerrito III. O elemento foi classificado macroscopicamente com características que o inserem na categoria de Boa preservação. Nesta classe o osso apesar de fragmentado e com algumas fraturas, apresenta maior parte do perióstio íntegro com pontos de marcas de inserção muscular (Fig. 9).

Figura 9 - Elementos encontrados na ZA de *Hyperodapedon* utilizados para análise de Difração de Raio-X. A) Espécime UFSM11070, indicando uma Boa preservação macroscópica, apesar de fragmentado o elemento exibe perióstio íntegro, marcas de inserção muscular preservada e algumas fissuras na região da epífise; B) Espécime UFSM11116, ilustrando um exemplo de preservação macroscópica Muito Ruim, o fragmento apresenta distorções aparentes, alterações volumétricas e craquelamento com pedaços do perióstio flutuando na matriz carbonática. Escala referente a 4 cm.

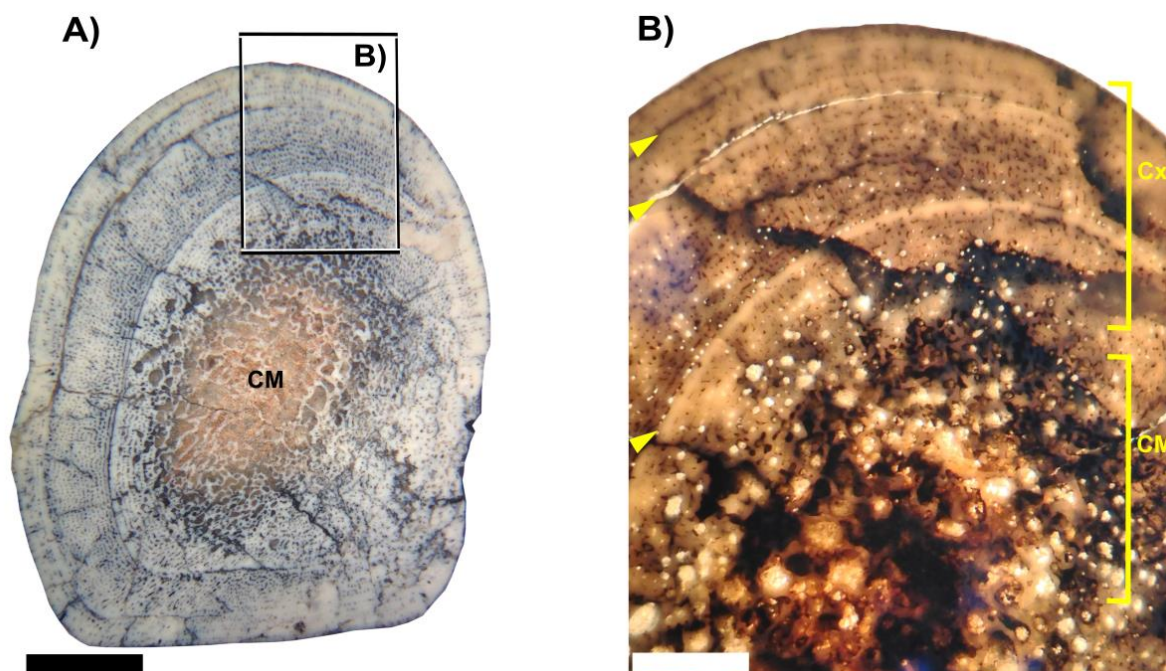


Fonte: o autor (2020)

A porção microestrutural de UFSM11070 apresenta todos os elementos corticais identificáveis, com trabéculas do osso esponjoso inteiras e conectadas ao córtex endosteal. Não ocorrem fraturas radiais cisalhando a matriz ou deslocando-a em fragmentos, não ocorre expansão volumétrica a partir da cavidade medular ou

incrustações subperiosteais que dificultem a identificação morfológica macroscópica (Fig 10).

Figura 10 - Preservação microestrutural do espécime UFSM11070. A) Seção transversal completa com destaque para porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis. CM - canal medular totalmente preservado; Cx – córtex preservado, vascularização laminar/reticular; Setas amarelas indicando LAGs – linhas de pausa de crescimento. Escalas referentes a 100 μ m em A) e 300 μ m em B).



Fonte: o autor (2020)

A análise mineralógica das porções corticais do espécime UFSM11070, é possível a visualização de cristais de Calcita nos poros da matriz óssea, preenchendo canais vasculares e cavidades de reabsorção. Nota-se também que estes cristais parecem acomodar-se ao formato arredondado e subelíptico dos espaços estruturais que compõem a matriz cortical. Nesta e em outras amostras, provenientes da porção superior destes afloramentos (planície de inundação proximal) a identificação de cristais de Fluorapatita foi possível apenas por difração. Esta técnica indicou a presença deste mineral tanto na amostra retirada da cavidade medular quanto da amostra vinda da porção superior do osso, contudo, a composição da Fluorapatita ao longo das porções endo e periosteal sofreu alterações, ou seja, ocorre incorporação de Estrôncio (Sr) como elemento adicional na molécula de Fluorapatita encontrada na porção superior do osso (Tab. 6). Neste tipo de reação o Estrôncio altera a molécula

de Fluorapatita ocupando o sítio do Ca. Com essa substituição na apatita de ossos e dentes o Estrôncio contribui para estabilizar ainda mais esta molécula, provendo menor solubilidade da matriz óssea (HORN, 2013).

Na cavidade medular além da presença de cristais de Calcita e Fluorapatita, foi identificada uma maior variação mineralógica (Fig.12). Na visualização através de microscopia, esta região demonstra um preenchimento composto por cimento carbonático, com predomínio de partículas finas de silte/argila, grãos precipitados de calcita e cristais detríticos de quartzo dispersos neste preenchimento. A análise por DRX desta porção apresentou resultados indicativos de Quartzo, Calcita, Fluorapatita e Albita, Microclina ambos Feldspatos (Tab. 6).

Tabela 6 - Espécimes coletados na ZA de *Hyperodapedon* utilizados para análise de Difração de Raio-X, classificação preservacional macroscópica e microscópica e constituição mineralógica a partir do DRX.

Amostras	Preservação		Composição Mineralógica
	Macro	Micro	
<i>ZA Hyperodapedon</i>			
UFSM11070	Boa	Muito Boa	Canal Medular
Sítio Faixa Nova			Quartzo (SiO ₂)
Planície Proximal – PP			Calcita (CaCO ₃)
Nível Superior - NS			Albita (NaAlSi ₃ O ₈)
			Microclínio (KAlSi ₃ O ₈)
			Fluorapatita (Ca ₅ (PO ₄) ₃ F)
			Porção Superior
			Calcita (CaCO ₃)
			Fluorapatita (Ca ₄ (PO ₄) ₃ FSr)
UFSM11116	Muito Ruim	Muito Ruim	Canal Medular
Sítio Vila Kennedy			Calcita (CaCO ₃)
Planície Distal – PD			Quartzo (SiO ₂)
Nível Inferior - NI			Porção Superior
			Calcita (CaCO ₃)
			Quartzo (SiO ₂)
			Albita (NaAlSi ₃ O ₈)

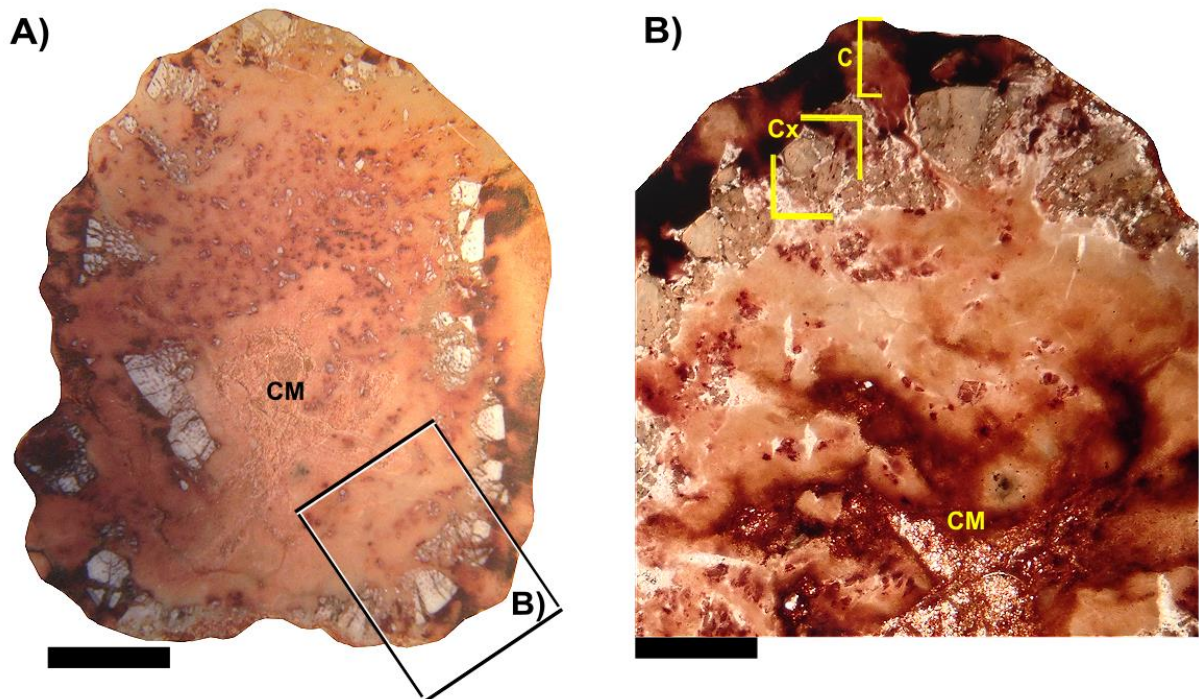
Fonte: o autor (2020)

A segunda amostra refere-se a fragmentos esqueléticos de um Rhynchosauria proveniente do Sítio Vila Kennedy (UFSM11116), identificado com um grau de preservação macroscópico muito ruim. Os elementos classificados como muito ruins apresentam-se fortemente craquelados, com pedaços do periósteo

“flutuando” sobre uma matriz de carbonato. As distorções volumétricas nestes ossos são aparentes, o que dificulta a identificação taxonômica (Fig. 11).

Figura 11 - Preservação microestrutural do espécime UFSM11116. A) Seção transversal completa com destaque para porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis.

C – concreção/incrustação suprapariosteal; Cx – córtex fragmentário disperso em meio à matriz carbonática; CM – canal medular com trabéculas totalmente obliteradas. Escalas referentes a 100 μm em A) e 300 μm em B).

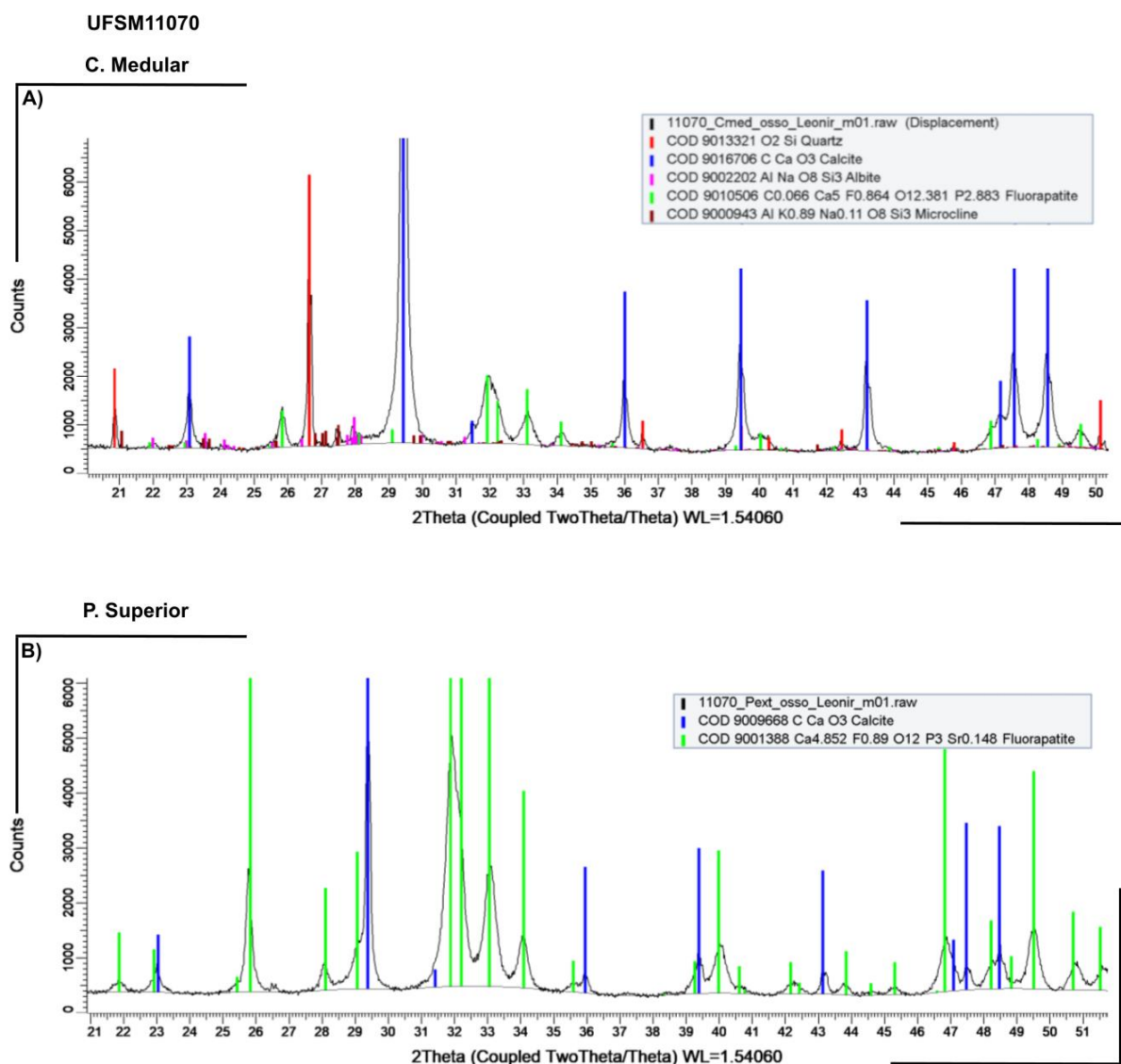


Fonte: o autor (2020)

A preservação microestrutural deste elemento indica a obliteração quase total das informações deste espécime. Todas as trabéculas e os limites da cavidade medular foram substituídos pelo cimento micrítico carbonático. As estruturas do osso compacto também encontram-se obliteradas e dispersas em meio ao preenchimento.

Nesta amostra é possível notar o cisalhamento do córtex e as fraturas que separaram o osso compacto, a expansão causada pelo preenchimento da cavidade medular em conjunto com as incrustações suprapariosteais promoveram grande alteração volumétrica e difícil identificação morfológica deste elemento (Fig.11).

Figura 12 - Análise de DRX de UFSM11070. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos.

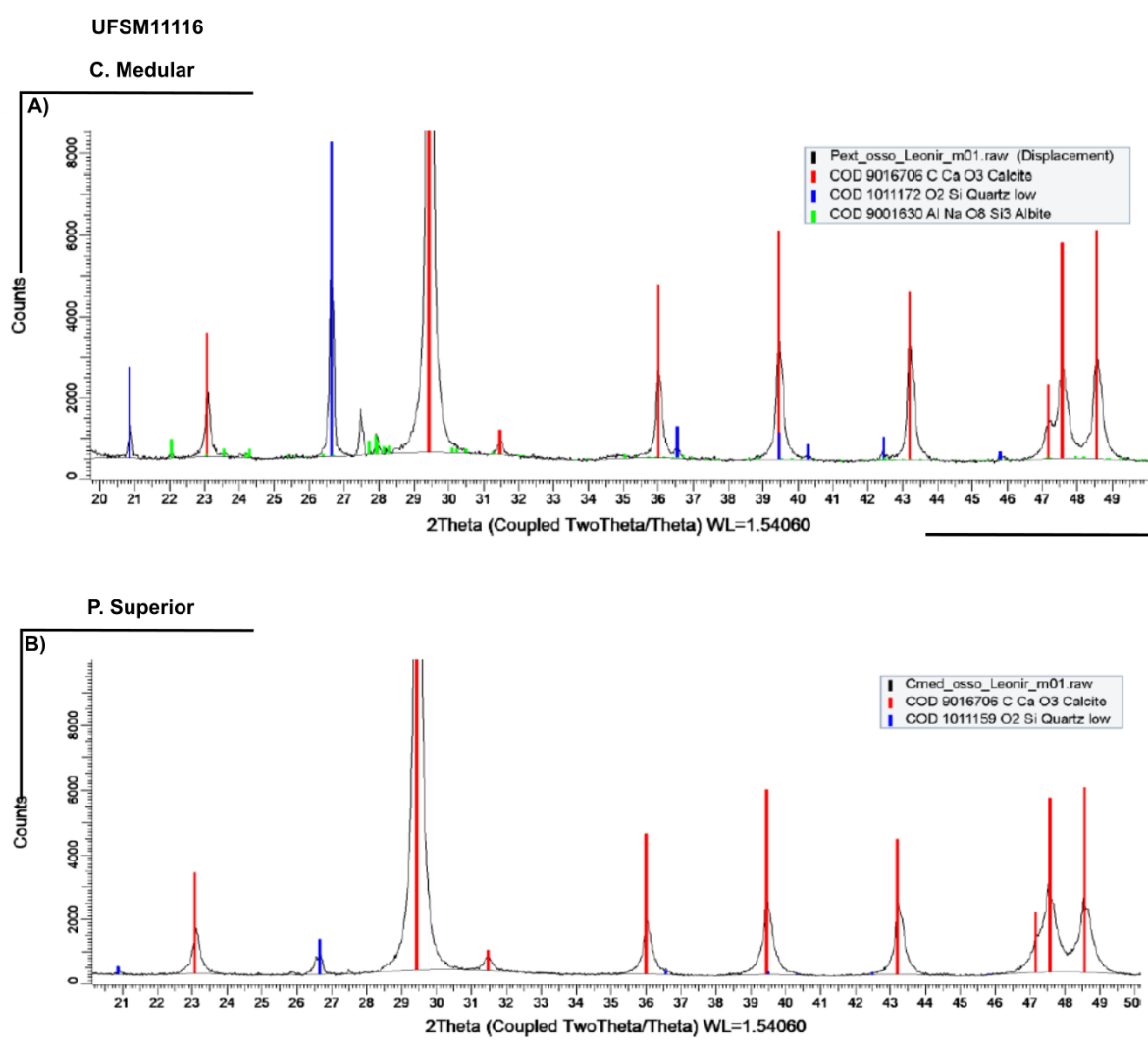


Fonte: o autor (2020)

O elemento ósseo referente ao espécime UFSM11116 apresenta mineralização composta basicamente por Quartzo e Calcita ao longo de todas as porções do córtex e com concentrações menores na cavidade medular. O preenchimento é composto principalmente por uma matriz carbonática cimentante síltico/argilosa micrítica, com pontos de precipitação de calcita, que resultaram em obliteração de informações histológicas, portanto, nesta amostra restam apenas poucos vestígios da matriz óssea. A composição da porção externa deste espécime indicou além da presença de cristais de Quartzo e Calcita a ocorrência de Albite na

cavidade medular (Fig. 13). Não foram identificados vestígios de Fluorapatita em seu estado estrutural normal ou com qualquer forma de alteração na matriz óssea periosteal ou na cavidade medular.

Figura 13 - Análise de DRX de UFSM11116. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos.



Fonte: o autor (2020)

5.2 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DOS FÓSSEIS DA ZA DINODONTOSAURUS

Nesta associação faunística foram analisados dois elementos ósseos parcialmente completos, o espécime UFSM11100 apresenta características que o

inserir na classe de preservação macroscópica boa, pois apesar de apresentar a superfície periosteal fraturada, não possui craquelamento aparente na superfície e ainda conservar marcas pontuais de inserção muscular (Fig.14).

Figura 14 - Elementos coletados na ZA de *Dinodontosaurus* utilizados para análise de Difração de Raio-X. A) Espécime UFSM11100 classificado com boa preservação macroscópica, o elemento apesar de apresentar fraturas é completo, exibe periósteo aparente, predominantemente íntegro e marcas de inserção muscular preservada; B) Espécime UFSM11073 ilustrando um exemplo de preservação macroscópica Muito Ruim, o fragmento apresenta recobrimento total do periósteo por incrustação carbonática, alteração volumétrica que resultam em grande dificuldade na identificação taxonômica. Escala referente a 4 cm.

A) UFSM11100



Periósteo
Preservado

Sem Incrustações
Supraperiosteais

**BOA
PRESERVAÇÃO**

4cm

B) UFSM11073



Incrustação e
Alterção Volumétrica

Periósteo
Recoberto

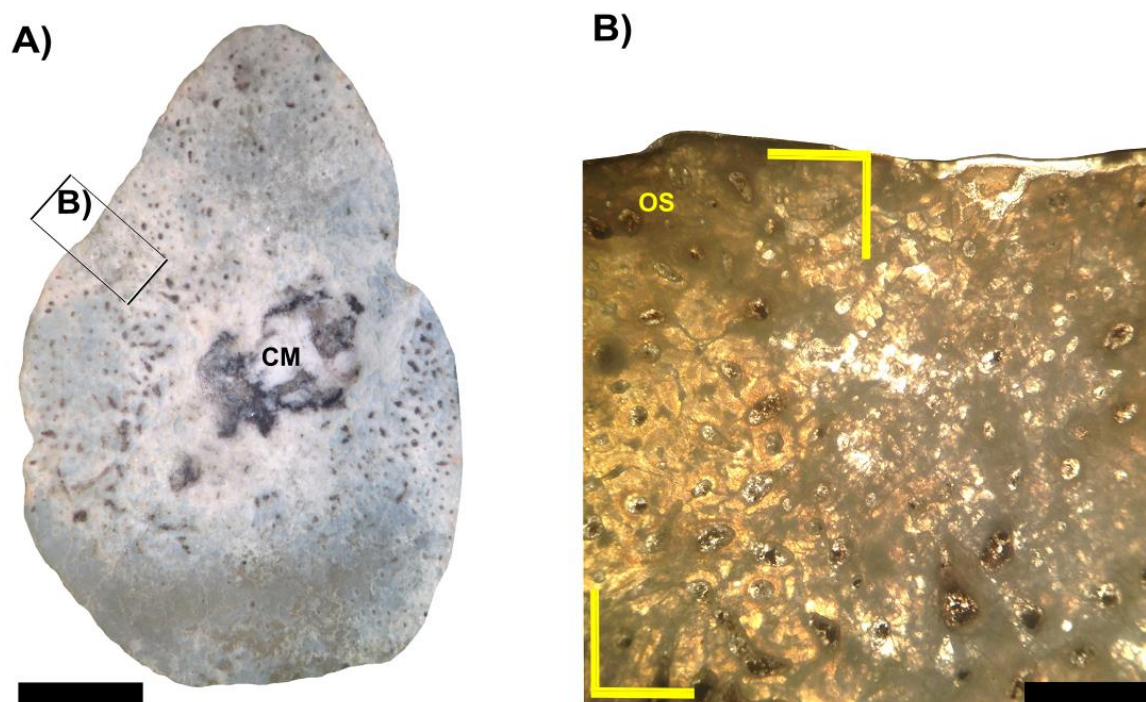
**PRESERVAÇÃO
MUITO RUIM**

4cm

Fonte: o autor (2020)

A preservação microestrutural deste elemento possibilita a identificação parcial das informações deste espécime, apesar de apresentar o córtex inteiro, poucas estruturas estão íntegras e a cavidade medular exhibe preenchimento total com ausência de fragmentos trabeculares dispersos em meio ao preenchimento; poucas estruturas do osso compacto encontram-se preservadas, porém, com difícil visualização; apesar da obliteração parcial das estruturas corticais não ocorrem fraturas radiais internas, muito menos incrustações suprapariosteais que resultem na alteração volumétrica, ou que interfiram na classificação morfológica macroscópica (Fig. 15).

Figura 15 - Preservação microestrutural do espécime UFSM11100. A) Seção transversal completa com destaque para a porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis. Moldura em amarelo destacando porção do córtex parcialmente obliterada com presença de ósteons secundários (OS) identificáveis. CM – canal medular. Escalas referentes a 100 μm em A) e 300 μm em B).



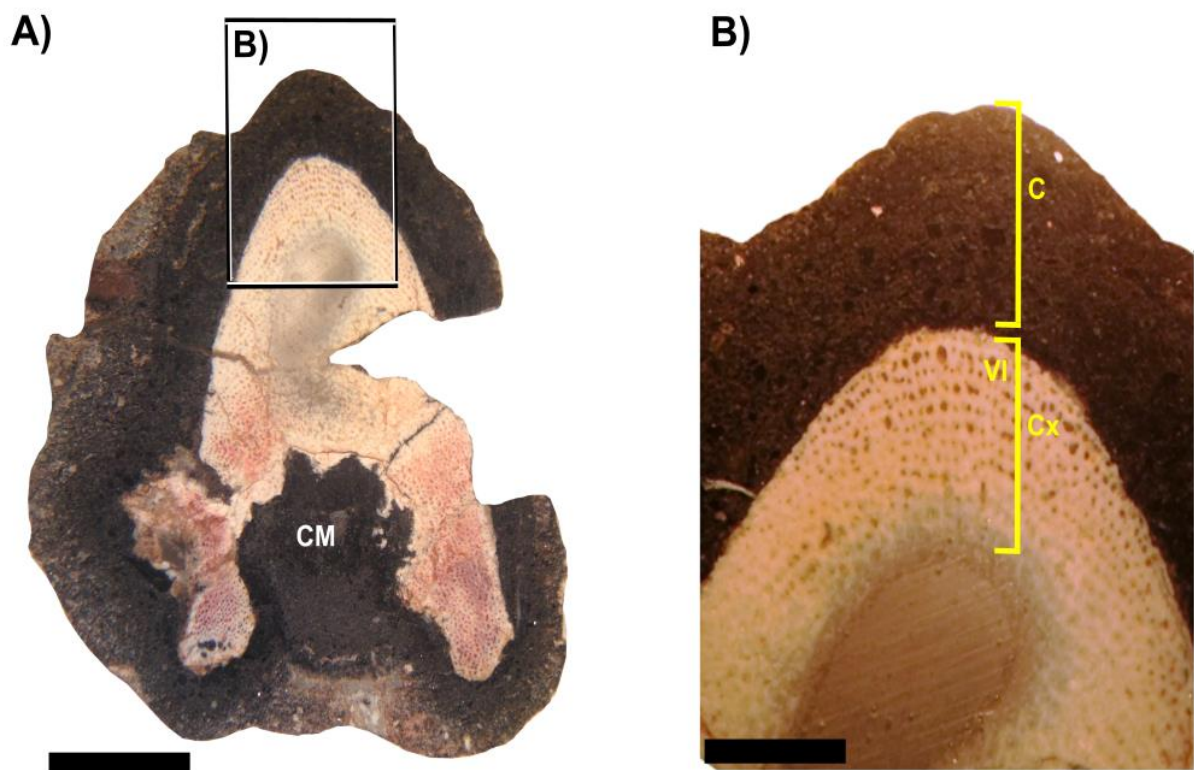
Fonte: o autor (2020)

O elemento UFSM11073, identificado com padrão macroscópico de preservação Muito Ruim, encontra-se bastante fragmentado, sem superfície periosteal visível e com recobrimento por concreção carbonática sobre as estruturas ósseas,

distorções aparentes do volume, em difícil estado de identificação taxonômica (Fig. 14).

As características microestruturais deste elemento o inserem na categoria de preservação microscópica intermediária, pois a cavidade medular não exibe trabéculas preservadas, muito menos fragmentos trabeculares dispersos em meio à matriz de preenchimento. A estrutura do osso compacto encontra-se parcialmente preservada e de fácil identificação das estruturas corticais. Não ocorrem fraturas radiais no córtex, porém, a incrustação carbonatica escurecida por óxidos de Ferro na porção suprapariosteal depositada, altera a morfologia e o volume deste osso, de tal forma que torna a sua investigação taxonômica macroscópica muito dificultada (Fig. 16).

Figura 16 - Preservação microestrutural do espécime UFSM11073. A) Seção transversal completa com detalhe para porção analisada em detalhe; B) Detalhe com principais estruturas identificáveis, Cx – córtex preservado com vascularização laminar (VI); C – Concreção/incrustação suprapariosteal; CM – canal medular. Escalas referentes a 100 μ m em A) e 300 μ m em B).



Fonte: o autor (2020)

A análise de Difração de Raios-X possibilitou a identificação de Quartzo, Calcita, Fluorapatita e Feldspatos (Albita, Microclínio e Ortoclásio). A Calcita, o Quartzo e a Fluorapatita foram identificados em todas as amostras da zona de associação de *Dinodontosaurus*, e outros minerais feldspáticos foram se alternando entre os elementos fósseis analisados (Tab. 7).

Tabela 7 - Espécimes coletados na ZA de *Dinodontosaurus* utilizados para análise de Difração de Raio-X, classificação preservacional macroscópica e microscópica e constituição mineralógica a partir do DRX.

Amostras	Preservação		Composição Mineralógica
ZA <i>Dinodontosaurus</i>	Macro	Micro	
UFSM11100	Inter./Boa	Ruim	Canal Medular
Sítio Dona Francisca			Quartzo (SiO_2)
Planície Proximal – PP			Calcita (CaCO_3)
Nível Superior - NS			Fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$)
			Porção Superior
			Calcita (CaCO_3)
			Fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{FC}$)
UFSM11073	Muito Ruim	Inter.	Canal Medular
Sítio Chiniquá			Quartzo (SiO_2)
Planície Distal – PD			Calcita (CaCO_3)
Nível Inferior - NI			Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)
			Ortoclásio (KAlSi_3O_8)
			Fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{FC}$)
			P. Superior
			Quartzo (SiO_2)
			Calcita (CaCO_3)
			Siderita (FeCO_3)
			Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)
			Microclínio (KAlSi_3O_8)
			Ortoclásio (KAlSi_3O_8)

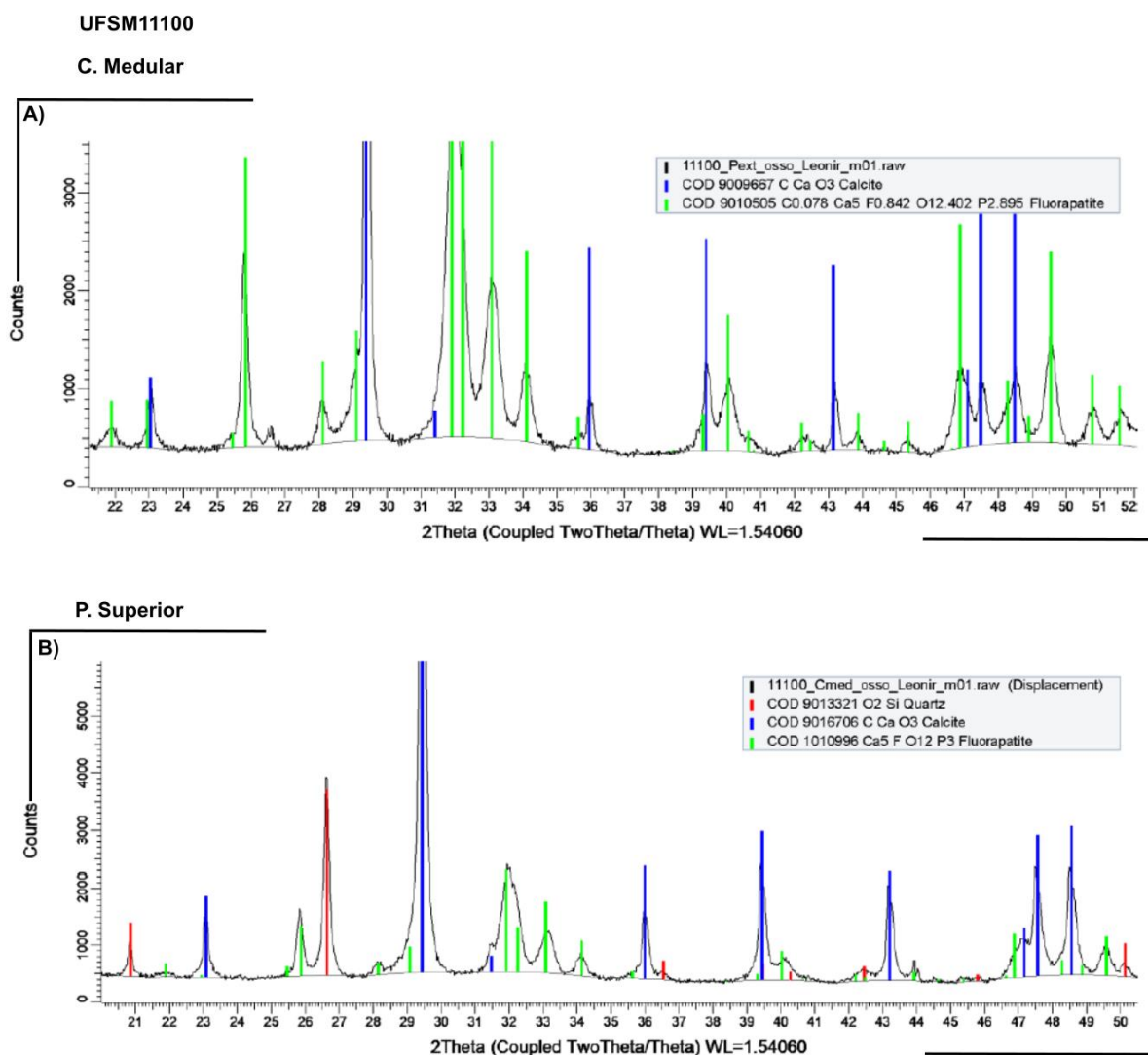
Fonte: o autor (2020)

Nas amostras de UFSM11100 a Fluorapatita foi identificada na cavidade medular e na porção superior do córtex, porém, também indicou alteração estrutural deste mineral na porção superior do córtex com presença de Carbono (C), enquanto que na cavidade medular o mineral aparece em sua forma original (Fig. 17).

O elemento UFSM11073 aponta uma composição mineralógica semelhante a do espécime UFSM11100 na porção medular, com Fluorapatita alterada por Carbono (C) indicado na molécula pelo DRX, já na porção superior do córtex ocorre a presença

do mineral Siderita, um carbonato de ferro, junto com os minerais predominantes nas demais amostragens já citadas, Quartzo, Calcita e vários Feldspatos (Fig. 18).

Figura 17 – Análise de DRX de UFSM11100. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos

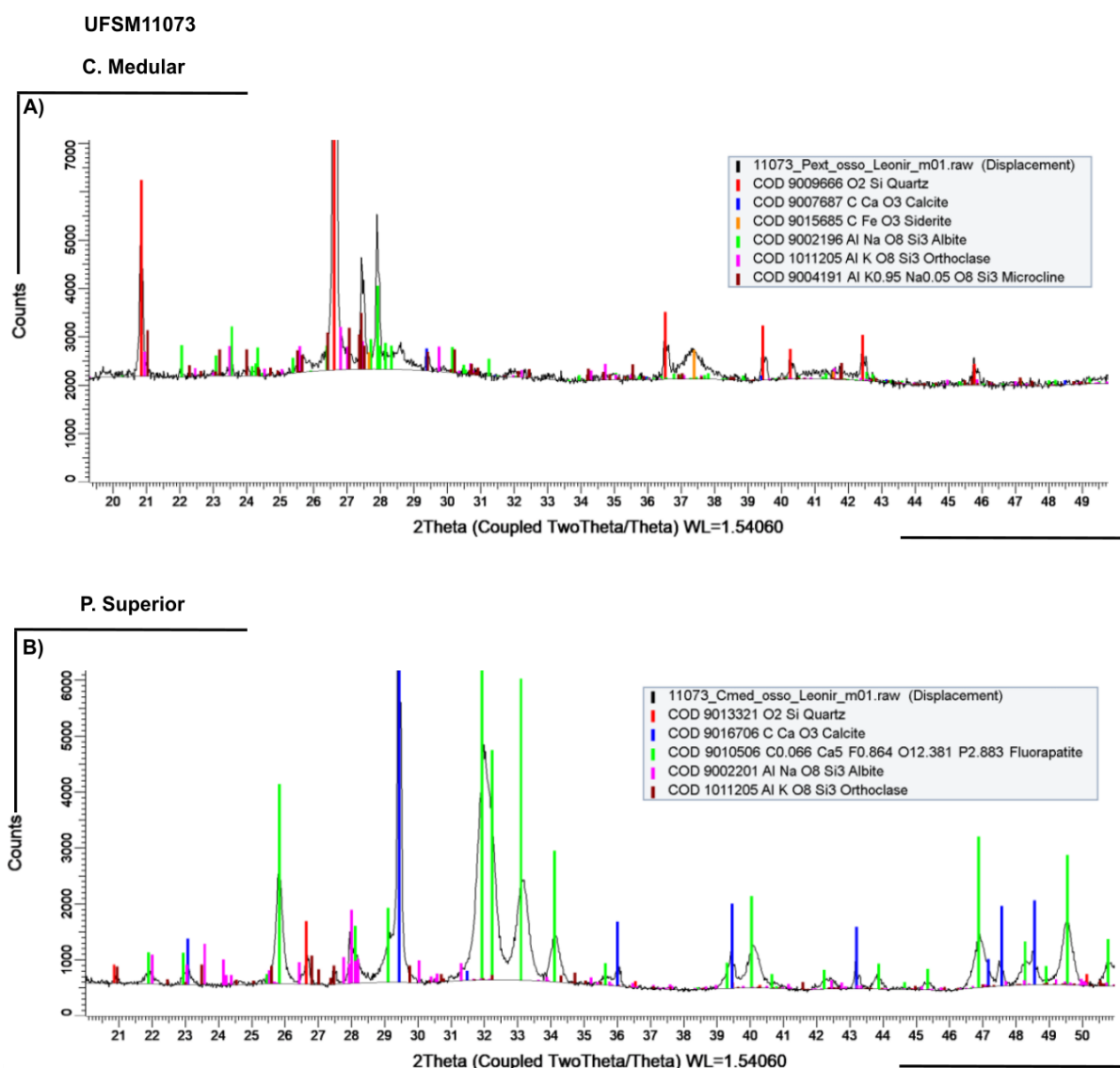


Fonte: o autor (2020)

A Fluorapatita é resultante da alteração da Hidroxiapatita óssea alterada, pela adição do íon Flúoreto que estabiliza a molécula em condições subsuperficiais úmidas, (detalhado a seguir). A Fluorapatita é amplamente formada durante a fossilização nos afloramentos das sequências estratigráficas aqui estudadas, enquanto o Quartzo e os Feldspatos são autigênicos, originários do sedimento circundante. Estes minerais dificilmente são visualizados nestas amostras através da

mineralogia óptica, pois encontram-se precipitados nas cavidades dos ossos fossilizados ou em meio à matriz carbonática cimentante. A Calcita é o mineral mais comum nas amostras analisadas, ocorrendo tanto na forma micrítica quanto espática dentro dos elementos fossilizados.

Figura 18 – Análise de DRX de UFSM11073. A) Composição mineralógica retirada a partir da cavidade medular; B) Composição mineralógica da porção superior do córtex, ambas com destaque para os principais picos.



Fonte: o autor (2020)

5.3 ORIGEM E TRANSFORMAÇÃO DOS MINERAIS

Para entender melhor a dinâmica de formação destes paleoambientes com grande variação geoquímica e alternância na formação mineralógica dentro dos estratos triássicos, é necessário compreender a dinâmica climática deste período.

5.3.1 A Dinâmica Climática ao Longo do Triássico

No início do Triássico o supercontinente Pangaea estava completamente agrupado e apresentava a maior dimensão contínua de terra já existente. Naquele momento o continente era dividido em duas zonas climáticas que variavam de acordo com a latitude, uma zona sazonalmente úmida em latitudes médias, e outra zona úmida em baixas latitudes. Além disso, o clima era extremamente árido e quente com temperaturas entre 30° e 40°C durante o Induano e Olenkiano (VEIZER et al., 2000).

No Triássico Médio as temperaturas eram mais amenas, entre 20° e 30°C, o clima era predominantemente semi-árido com pulsos de umidade que foram relacionados a eventos de vulcanismo que alteraram a dinâmica climática a nível global durante o Anisiano e Ladiniano. Segundo Holz; Barberena (1994), esses episódios foram momentos de fortes chuvas intercalados por períodos de baixo nível de água nas planícies do Gondwana durante do Ladiniano.

Já em sua ultima fase, o Triássico foi marcado pelo retorno das condições de elevada temperatura devido aos altos níveis de CO₂ atmosférico, os dias eram mais quentes e com menores índices pluviométricos resultando em condições exponenciais de aridez. O interior do Gondwana durante o Triássico Superior, portanto, apresentava elevadas taxas de evaporação que atravessavam a maior parte do ano durante o Noriano e o Carniano (RETALLACK, 2013).

5.3.2 Condições Ácidas e a Formação do Quartzito

A presença de Quartzito encontrado tanto na porção medular quanto nas porções externas dos ossos tem origem a partir dos processos freáticos e principalmente em condições de pedogênese inicial sob condições ácidas próximo a superfície onde os fósseis foram sepultados. Os processos de oscilação freática possibilitam o abandono de condições alcalinas ideais à precipitação da Calcita, nestes níveis, a sílica passa a ser depositada apenas sob condições ácidas, quando a Calcita se torna instável e passa a ser dissolvida. Sob estas condições se processa a variação mineralógica ao longo dos estratos alcançados pelo lençol freático, com a

precipitação de Sílica inorgânica originando posteriormente o Quartzo durante a pedogênese, na formação de solos ou intemperização destes (HESSE, 1989).

Neste contexto, estes minerais são encontrados porque os ossos participam como pontos de acumulação, tanto para a silicificação quanto para a carbonatação, ambas as situações reguladas pelas condições geoquímicas dos fluidos percolantes, nesse caso, com elevada concentração de Sílica e percolação de águas meteóricas aciduladas. Tanto os processos freáticos quanto pedogênicos relacionados à precipitação de Quartzo são processados a nível eodiagenético, e estariam intimamente condicionados não apenas a elevada concentração de Sílica, mas também as condições de pH. Assim como mencionado por Krauskopf (1972), as variações dos valores de pH seria um dos gatilhos desencadeadores para precipitação tanto de Sílica em instantes de ambiente ácido, quanto do Carbonato em condições alcalinas, e à medida que surgem modificações dos valores pH pode ocorrer a dissolução, corrosão ou substituição dos cristais de Quartzo por Calcita e vice-versa.

Estas variáveis geoquímicas são compatíveis com os períodos sazonais ou climáticos alternos, secos e úmidos descritos acima, sugerindo que durante a estação de chuvas a água teria dissolvido o sedimento quartzoso e produzido uma solução dentro do perfil contendo elevadas concentrações de Sílica (SiO_2). A elevação da concentração de sais, os valores de pH progressivamente ácidos, e a crescente evaporação com o fim das chuvas, teriam sido a força motriz para a precipitação de Sílica na forma de Quartzo.

5.3.3 Constituição dos Feldspatos

Os feldspatos são minerais muito abundantes nas rochas ígneas e metamórficas como granitos e gnaisses, mas relativamente escasso em sedimentos. Esta diminuição de frequência nas rochas sedimentares se deve à facilidade com que este mineral é decomposto principalmente em climas quentes e úmidos.

O Ortoclásio é o feldspato predominante nas rochas sedimentares em função da sua alta disponibilidade, seguido pelo Microclínio, já que são os tipos mais estáveis frente ao intemperismo, em terceiro lugar os plagioclásios, neste caso a Albita, bastante instável e por isso, com teores muito baixos em sedimentos fluviais.

Desta forma, os grãos de feldspatos pouco alterados ocorrem durante a deposição em clima bastante seco e/ou frio. Quando a deposição ocorre em climas

áridos em áreas com relevo peneplanizados, os feldspatos apresentam grãos arredondados e ocorrem quantidades moderadas a abundantes. No entanto, quando a deposição ocorre em áreas de topografia suave e paleoclima bastante úmido e quente os grãos são totalmente alterados ou ausentes (SUGUIO, 2003).

A presença dos feldspatos nas amostras analisadas é compatível com depósitos de áreas aplainadas como neste depósito aluvial, remetendo a ambientes pouco turbulentos com aporte sedimentar esporádico de clima árido e semi-árido.

Ortoclásio, Microclínio e Albita também podem ser formados autigenicamente sobre grãos detríticos, fraturas e poros no sedimento, embora não sejam tão comuns em calcários de água doce, o que sugere, desta forma, uma origem ligada a fluidos alcalinos. Nas rochas pelíticas a origem autigênica poderia ser relacionada a substituição de argilominerais durante a percolação destes fluidos intersticiais saturados em sódio e potássio (DE ROS, 1986).

5.3.4 Alterações da Apatita na Matriz Óssea

Embora não tenha sido identificada em sua forma original nas amostras analisadas por DRX a Apatita participa da composição estrutural da matéria mineral dos ossos e dentes como Hidroxiapatita. As substituições químicas possíveis são muito variáveis nesta molécula, pois as trocas entre os elementos podem ocorrer tanto nos sítios do Ca^{2+} quanto do ânion PO_4^{3-} (TOLEDO; PEREIRA, 2001).

A composição da Apatita depende do meio em que ela se forma, e da necessidade de compensação de cargas, quando ocorre substituição de íons com cargas diferentes em relação à Apatita estável ideal (TOLEDO; PEREIRA, 2001).

As variações da Apatita após a fossilização nos ossos soterrados é causada por modificações ao longo da cavidade medular e dos espaços na porção periosteal. A percolação de soluções supersaturadas em ossos fragmentários tem início na cavidade medular onde a porosidade óssea é maior, estendendo-se para o restante das porções corticais. Estes espaços vazios no interior dos ossos são condutos facilitadores para soluções percolantes, assim, quando a solução interage com a Apatita óssea, ocorrem substituições de íons no interior da molécula promovendo modificações na estrutura cristalina ou apenas sendo adsorvido na superfície dos ossos.

À medida que o osso permanece sob ação contínua de fluidos percolantes como nos níveis de oscilação do lençol freático, a estrutura original da Apatita óssea (Hidroxiapatita) tende a modificar-se química e fisicamente para estruturas com densidade e solubilidade mais estáveis, já que a Hidroxiapatita é um mineral relativamente insolúvel em pH alto, mas torna-se progressivamente mais solúvel à medida que o pH é reduzido para 6,5 ou valores ainda mais ácidos, com pH abaixo de 6.

A Hidroxiapatita é alterada nestes ossos inicialmente pelo Flúoreto (F^-) formando a Fluorapatita, encontrada na maioria dos ossos fossilizados estudados aqui, e posteriormente, sofre substituição por Carbonato Fluorapatita, comum em ambientes sedimentares com presença de F^- e CO_3^{2-} , como verifica-se nos afloramentos estudados.

As modificações cristalinas da Apatita seguem a seguinte sucessão: Apatita – Hidroxiapatita – Fluorapatita – Carbonato Fluorapatita – Substituição total da matriz óssea.

O grau de preservação das estruturas histológicas, portanto, parece estar diretamente relacionado à estabilização da molécula de Hidroxiapatita frente a diferentes condições de umidade e sob concentrações variáveis de soluto atuantes sobre a matriz óssea. Paralelamente às progressivas alterações moleculares, cada vez mais acentuada, as estruturas osteohistológicas tornam-se menos preservadas devido ao constante rearranjo na estrutura cristalina formada após a modificação da Hidroxiapatita original, fator que preserva a forma macroscópica, porém, causa expansão das microestruturas, devido a recristalização.

Na substituição por Apatita carbonatada, grande parte do carbonato (CO_3^{2-}) contido na molécula está na superfície do cristal, e por isso, facilmente disponível para trocas superficiais (LEGEROS; LEGEROS, 1984). Nos fósseis estudados, a presença de carbonato foi predominante quando comparado a outros minerais, entrando na constituição fossilífera tanto ao alterar a matriz óssea molecular por meio da percolação, quanto como cimento carbonático micrítico preenchendo os interstícios da microestrutura óssea.

À medida que o carbonato é progressivamente inserido na estrutura óssea, ocorre alteração do hábito da Apatita, tornando a matriz óssea mais solúvel, isso porque, com a presença do CO_3^{2-} na estrutura ocorre aumento da superfície específica e aceleração da velocidade de dissolução de íons. Este ânion pode ocupar tanto a

posição do PO_4^{3-} como a posição do F^- ou OH^- , podendo resultar deste modo na formação de duas formas estruturais de Apatita carbonatada, no caso dos elementos analisados, com ocorrência de substituição do íon fosfato comum nas variedades minerais (ELLIOTT et al., 1985).

5.3.5 Preservação Óssea Sob Influência da Fluorapatita

A presença de Fluorapatita tanto nas amostras da porção externa quanto da cavidade medular do UFSM11070, coletado na área deposicional de planície de inundação proximal (PP) do Afloramento Faixa Nova – Cerrito I, indicam a substituição da Hidroxiapatita presente na constituição mineralógica original da matriz óssea por Fluorapatita.

O exemplo ocorrido nestas amostras é mais uma ocorrência da cristalização de Fluorapatita a partir da combinação com estruturas já consolidadas como Hidroxiapatita contida em matrizes biológicas. Além de ser o mineral de fosfato mais comum, a Fluorapatita ocorre como elemento acessório em rochas ricas em cálcio ou ainda pode ter origem diagenética em rochas sedimentares (REICHEL et al., 2005).

Sob uma ótica química estrutural, a substituição aqui observada ocorre através da remobilização do radical hidroxila (OH^-) da molécula de Hidroxiapatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ pelo íon Fluoreto (F^-) da Fluorapatita. Assim como o fluoreto, outros íons podem ser incorporados à composição da Hidroxiapatita, e apesar desta molécula ser estável sob condições normais dentro da matriz óssea durante a vida do animal, ela é solúvel dentro de uma faixa que atravessa baixos valores de pH. O osso torna-se mais solúvel à medida que as peças esqueléticas entram em contato com ambientes úmidos com pH ácidos a levemente ácidos, fato que pode ocorrer após a morte do indivíduo com a exposição dos ossos a águas meteóricas em superfície ou água subsuperficiais.

Ao se combinar com a Apatita, o íon fluoreto apesar de tornar-se uma impureza natural ao mineral, proporciona maior resistência aos ossos em contato com ambientes de acidez moderada, tornando os fósseis substituídos por Fluorapatita, mais estável nestes ambientes. No entanto, a longo prazo, a dissolução sobre a molécula de Apatita é continuada, e ao ser dissolvida em meio ácido gera como subproduto o Fluoreto de Hidrogênio (quando em ambientes secos) ou Ácido Fluorídrico (quando em solução aquosa). Caso seja formado, o Ácido Fluorídrico

assume um poder de acidez moderada tendo entre suas propriedades mais comuns a facilidade em atacar moléculas silicáticas.

Ao investigarmos a história diagenética destes fósseis depositados tanto na porção proximal quanto na porção distal de deposição, percebe-se que as variações do nível freático causadas pelas oscilações sazonais de umidade pós-deposicional puderam ser bem definidas por meio das paleoalterações preservadas dentro dos perfis em que se inserem os afloramentos supracitados (DA ROSA, 2005a). Estas variações de umidade dentro das camadas mais próximas à superfície alteravam os valores de alcalinidade no solo, possibilitando o aporte e a precipitação de íons de fluoreto sobre matriz óssea.

As informações da CPRM (1997) apontam que a principal fonte de fluoreto em rochas ígneas é por meio do intemperismo da Fluorita, que, em regiões de clima árido pode ocorrer em quantidades elevadas. Contudo, sob estas condições inicia-se a precipitação do cálcio, e este íon pode limitar a concentração de flúor disponível no ambiente. Normalmente, em locais com uma combinação de variáveis como aridez + pH neutro a básico, ocorre substituição do radical fosfato na molécula de fosfato de cálcio $[Ca_3(PO_4)_2]$ pelo íons Fluoreto, resultando na formação do fluoreto de cálcio (CaF_2), que é mais estável em pH neutro e reduz a disponibilidade deste íon.

Outra importante fonte de flúor poderia ser fornecida pelas rochas sedimentares de granulação fina (silte/argila), neste segundo caso, as elevadas concentrações de flúor podem ocorrer por associação com a matriz sedimentar de fração argilosa ($< 2 \mu m$), indicando maior potencial de associação do flúor com os grupamentos hidroxila (OH^-) dos argilominerais Illita, e secundariamente Caolinitas.

Estas reações de trocas iônicas contendo o flúor tanto em minerais como em solos foi detalhada por Hem (1985), que destaca que a quantidade de adsorção de flúor foi mais acentuada em argilominerais como é o caso da Caolinita, Gibbsita, Halloisita, e especialmente nas espécies contendo o precipitado de hidróxidos (OH^-), no caso deste argilominerais, o hidróxido de alumínio $Al(OH_3)$, contido em ambos os minerais. A explicação para esta eletroafinidade aguçada é relacionada à força iônica dos complexos de flúor presentes na solução, o que aumenta substancialmente a solubilidade destas moléculas.

Nos estratos referentes ao nível inferior ou planície de inundação distal (PD) a atuação das oscilações freáticas acentuaram a solubilização dos íons cálcio (Ca^{2+}) e bicarbonato (HCO_3^-) desses perfis, ocorrendo maior precipitação e substituição por

compostos carbonatados na diagênese sedimentar, e consequentemente na alteração dos ossos soterrados em meio a estas camadas subsuperficiais.

A microestrutura interna dos ossos depositados no nível inferior dos afloramentos citados, apresenta uma matriz micrítica carbonática (CO_3^{2-}), de granulação predominantemente síltico/argilosa, de aspecto fluido, compondo os espaços estruturais antes ocupados por tecidos ósseos.

A precipitação predominante de cristais de Calcita e a reduzida proporção de cristais de Quartzo na matriz de preenchimento síltico/argilosa observadas ao microscópio nas amostras estudadas está relacionada com as condições químicas que dominavam o ambiente de oscilação freática, nesse caso, variações de pH entre valores neutro a alcalino e fluidos supersaturados em Carbonato (CO_3^{2-}). Nestas condições ocorre de forma similar a formação de nódulos carbonáticos, rizoconcreções e calcretes, paleoalterações estas que são comumente relacionadas aos níveis intermediários e níveis inferiores destes afloramentos (DA ROSA et al., 2004a).

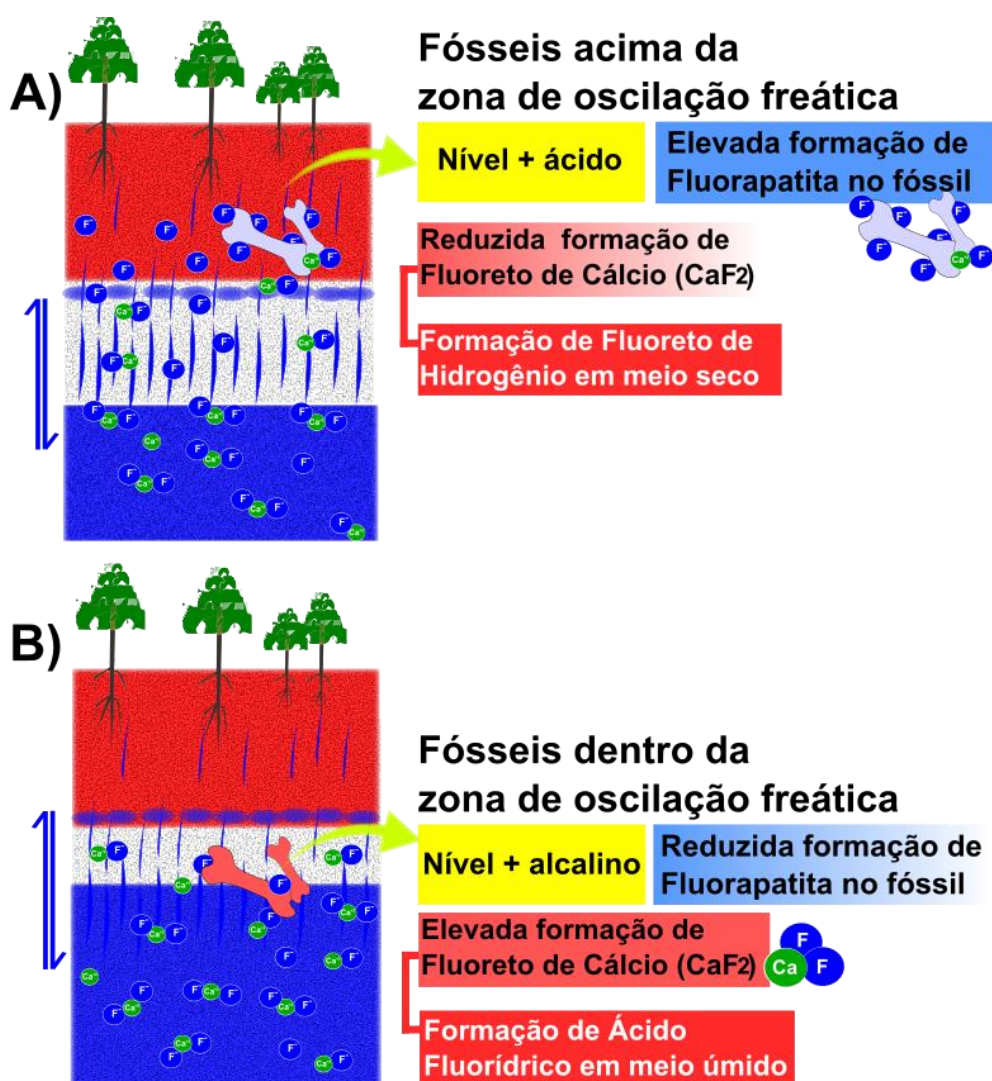
Nesses níveis inferiores onde há uma preservação fossilífera ruim, o preenchimento dos interstícios sedimentares com águas subterrâneas alcalinas proporcionavam condições favoráveis ao enriquecimento iônico da matriz calcítica, porém, esta poderia absorver o flúor amplamente dissolvido na água, translocando-o para porções superiores dos estratos em momentos de variação de condições alcalinas para ácidas, ideia também levantada por Silvério da Silva (1997), ao investigar a adsorção de íons fluoreto em matrizes cimentantes de composição carbonática em estudos sobre a mineralogia de silcretes e calcretes parcialmente silicificados (Fig. 19).

A baixa concentração de flúor disponível nas camadas inferiores destes afloramentos enriquecidas por CaCO_3 teria reduzido as trocas Hidroxiapatita-Fluorapatita na formação diagenética destes fósseis, tornando a microestrutura do tecido ósseo mais suscetível a solubilização sob condições de variação de pH nestes estratos.

Nas porções superiores dos afloramentos estudados (planície de inundação proximal), onde houve uma boa preservação macroscópica, os ossos exibem uma estrutura histológica amplamente preservada com cristalização de calcita nos poros e nas cavidades de reabsorção, ocorrem fósseis com tons azulados e substituição da composição óssea original por Fluorapatita.

Como os níveis freáticos ocupavam porções próximas à superfície apenas de forma eventual, as formações carbonáticas depositadas nestes perfis superiores ocorriam de forma incipiente. Os elementos ósseos soterrados nestas porções dos estratos apresentavam-se imersos em um sedimento composto por matriz de preenchimento micrítico menos fluido, resultante da pluviosidade esporádica e do eventual contato com nível freático. Deste modo, os ossos sofriam permineralização por cálcio, bicarbonato ou precipitação de Calcita apenas de forma esporádica, e a concentração destes íons no sedimento era menos acentuada.

Figura 19 - Variação da disponibilidade de Fluoreto (F^-) em níveis permanentemente úmidos e em níveis esporadicamente úmidos. Em A) o fóssil se encontra em um nível mais seco no qual a disponibilidade de F^- é elevada promovendo uma maior possibilidade de trocas dentro da Hidroxiapatita óssea e consequente formação de Fluorapatita, tornando a microestrutura azulada; em B) um fóssil mergulhado em meio a zona de oscilação freática, nesta situação o F^- se liga preferencialmente ao Ca^{+2} resultando no predomínio do Fluoreto de Cálcio (CaF_2) e Ácido Fluorídrico liquefazendo a microestrutura óssea.



Fonte: o autor (2020)

Os íons fluoreto translocados em conjunto com o cálcio na molécula de fluoreto de cálcio dos níveis inferiores, e os íons de flúor originários do intemperismo de cristais detríticos originários de rochas ígneas e/ou argilominerais, mencionados anteriormente, tornavam-se mais disponíveis à medida que as condições de umidade superficial deram espaço a condições secas, predominante naquelas camadas (Fig. 19). A maior disponibilidade do íon fluoreto nestas camadas resultou em trocas Hidroxiapatita-Fluorapatita, tornando a estrutura básica dos fósseis nesses níveis menos solúvel e mais estável diante das oscilações geoquímicas de pH.

A hipótese descrita para a boa preservação fossilífera nos níveis superiores estaria relacionada, entre outros fatores, à elevada disponibilidade de flúor nestes níveis e à sua utilização ao substituir a molécula básica estrutural destes ossos, indicando condições locais antagonistas para disponibilidade de íons flúoreto e cálcio. Esta situação se repete de forma análoga em poços artesianos ao longo da região da

Depressão Central Gaúcha (SILVÉRIO DA SILVA, 1997), neles as concentrações mais elevadas de flúor observadas nas águas subterrâneas ocorreram em poços contendo baixa concentração relativa de cálcio.

5.3.6 Oxidação e Minerais de Ferro

Nos processos fossilídiagenéticos o ferro pode ser disponibilizado sendo dissolvido e transportado na forma de íon ferroso Fe^{2+} , principalmente sob condições redutoras, nas quais, não há oxigênio disponível atuando na oxidação. Além das raras condições anóxicas, outros íons comumente mais abundantes, como sulfetos, carbonatos ou silicatos, podem igualmente formar com o Fe compostos insolúveis também dificultando outras reações (HEDGES; MILLARD, 1995).

Apesar disso, a solubilização do ferro ocorre sob variáveis faixas de pH, sendo facilitada em ambientes ácidos nos quais podem ocorrer a precipitação de diversos íons. Por esse motivo, uma quantidade substancial de íons ferrosos livres é facilmente mantida em ambientes com acúmulo de matéria orgânica, além do mais, a decomposição cria uma deficiência de oxigênio com tendência à manutenção de condições ácidas a dissolução dos compostos orgânicos na água.

Os fósseis preservados nas Zonas de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon* exibem uma constituição mineralógica que remete a ambientes subsuperficiais com momentos de elevada umidade ocasionada pelo contato esporádico do nível freático, por isso, apresentam grandes alterações como incrustação ou permineralização por compostos de ferro e manganês, um caso recorrente em muitos dos espécimes aqui analisados. Nestes elementos, o óxido de ferro e óxido de manganês atuam tanto em conjunto com o carbonato depositando na superfície dos ossos, quanto permineralizando a microarquitetura da matriz óssea.

Alguns afloramentos da Zona de *Dinodontosaurus* apresentam fósseis com incrustações suprapariosteais extremamente oxidadas, que sob uma análise macroscópica resultaram em classificações preservacionais Ruins à Muito Ruins, mas que conservam estruturas delicadas da microestrutura dos fósseis (Fig. 14). Segundo Pimentel (2002), estes óxidos são frequentemente integrantes nos processos de permineralização e podem produzir boa preservação de estruturas originais dos ossos. Isso pode ser explicado pela disponibilidade de íons ferrosos nos estratos,

estes são carregados até que as condições se tornem oxidantes, nestas condições, são precipitados principalmente na forma de Hematita e Goethita.

5.3.7 A Gênese da Siderita e sua Relação com os Fósseis

A ocorrência de Siderita identificada através das análises de DRX pode ser relacionada a crostas e sedimentos formados sob condições anaeróbicas, típicas de áreas de relevo rebaixado onde encontravam-se os *Ponds*, e onde os ossos poderiam ter sido sepultados.

As condições geradoras da Siderita envolvem acúmulo de substâncias húmicas em um processo de interação gradativa entre essas substâncias e minerais de Fe^{3+} como Goethita, em presença de HCO_3^- junto a ambientes com bactérias do tipo *Schwanella putrefaciens* e micronutrientes necessários ao crescimento bacteriológico (HPO_4^-). Sob estas condições específicas, pode ocorrer a precipitação da Siderita (FeCO_3) ou de Vivianita [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$] (NRIAGU, 1972).

Os mecanismos envolvidos no processo de oxi-redução bacteriológica indicam que durante a oxidação das substâncias húmicas associadas com a dissolução biogênica de hidróxidos férricos, os microorganismos obtêm a energia necessária ao crescimento e a reprodução através da transferência de elétrons a partir de uma espécie reduzida para outra oxidada.

Nos ambientes de planície de inundação, principalmente em *Ponds*, onde o nível freático era aflorante, as águas apresentavam disponibilidade de ácido fosfórico (HPO_4^-), cálcio (Ca^{2+}) e outros íons originados da decomposição de organismos. Adicionalmente, as crostas predominantemente alagadas acumulavam uma camada ferruginosa, que ao longo do tempo reunia elementos nesses corpos d'água que foram sendo gradualmente soterrados e submetidos à modificação em suas propriedades físico-químicas.

A associação destas substâncias húmicas, em interação com Goethita e presença de microorganismos, está relacionada aos ambientes alagadiços e/ou predominantemente úmidos, pois, estas são condições que propiciam elevadas taxas de dissolução biogênica. Nesse caso específico, podem ser elencados nesse processo: (i) a dissolução da Goethita; (ii) oxidação de substâncias húmicas; (iii) e redução do Fe^{3+} com liberação de íons Fe^{2+} e HCO_3^- e HPO_4^- ocasionando a formação de Siderita.

Conforme evidenciado em experimentos, a variação das condições do ambiente seria determinante para o tipo de mineral formado a partir do íon Fe^{2+} . Um ambiente redutor a levemente oxidante com $\text{pH} < 5,0$ propiciaria a formação de Pirita (FeS_2); em ambiente com $\text{pH} = 5,0 - 6,0$ resultaria na precipitação de Vivianita; e ambientes levemente oxidantes a redutores com pH neutro a alcalino predominaria a formação de Siderita (GARRELS; CHRIST, 1965).

5.4 PALEOALTERAÇÕES NOS DEPÓSITOS FOSSILÍFEROS

A partir do conjunto de litofácies e do arranjo espacial dos elementos arquiteturais descritos para região em estudo, algumas inferências paleoambientais puderam ser elencadas para melhor compreensão dos processos geradores que resultaram na preservação dos fósseis nos afloramentos estudados neste trabalho.

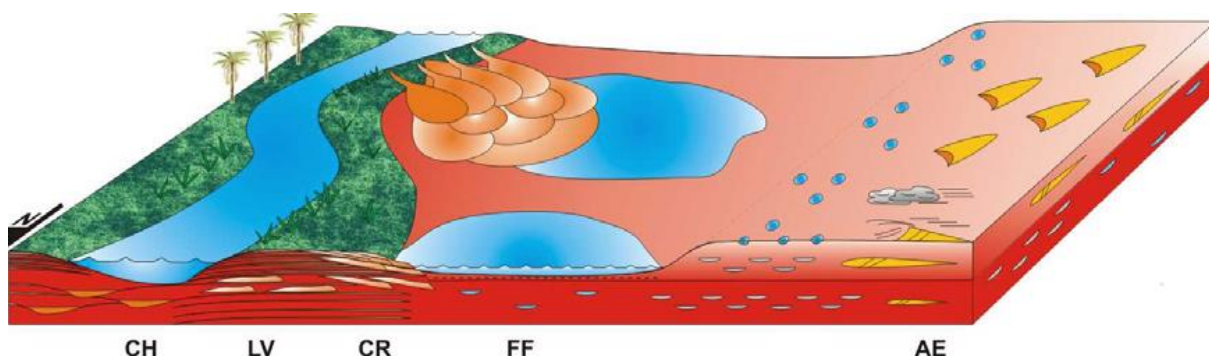
As principais litofácies encontradas nas áreas estudadas são de canais fluviais (CH), representados por arenito médios a grossos (com topo plano e base acanalada), estratificação cruzada acanalada e planar. Podem ocorrer litofácies não tão comuns compostas por laminações horizontais, pelitos maciços e conglomerados com intraclastos pelíticos ou nódulos carbonáticos.

Os depósitos de diques marginais (LV) ocorrem de forma pontual ao longo dos depósitos analisados. Estes são caracterizados por intercalações laterais de arenitos maciços finos com raízes e bioturbações e pelitos maciços.

Os canais de extravasamento (*crevasse splays*, CS) são identificados em porções mais próximas ao paleocanal, caracterizados por arenitos finos maciços, dispostos com base plana e topo ondulado. Em depósitos mais distais são comuns arenitos maciços ou com laminação plano-paralelas bioturbadas, ou com delgadas camadas de arenitos muito finos, com laminação plano paralela e laminação cruzada cavalgante.

As fácies de planície de inundação (FF) correspondem a pelitos maciços, geralmente bioturbados, com nódulos ou lentes carbonáticas ou laminações incipientes, enquanto os depósitos eólicos (AE) são representados por arenitos bimodais, depósitos de dunas e siltitos maciços acumulados por sedimentação de poeira (Fig. 20) (DA ROSA, 2005a).

Figura 20 - Modelo esquemático de elementos arquiteturais identificados nos depósitos sedimentares triássicos. CH – Canais fluviais; LV – Diques marginais; CR – Canais de crevasse splay; FF – Planície de inundação; AE – Depósitos eólicos.



Fonte: Da Rosa (2005)

5.4.1 Descrição dos Sítios da ZA de *Hyperodapedon* – Bloco Santa Maria

De forma geral, o Bloco Santa Maria apresenta na base do pacote sedimentar arenitos médios intraclásticos a finos, com lentes delgadas de pelitos contendo impressões vegetais. O conjunto é composto por fácies de canal e planície de inundação.

A porção intermediária do pacote é composta por pelitos avermelhados, maciços, com lentes carbonáticas ou intercalações com arenitos finos contendo traços de raízes, bioturbações, pelitos maciços, intercalações de arenitos médios a finos com traços de raízes e lentes carbonáticas, pelitos avermelhados com lentes de arenitos finos com cimentação carbonática e calcretes. Esta porção é integrada pelas seguintes fácies: I) fácies de planície de inundação; II) dique marginal; III) *loess*; IV) canais de crevasse; V) lagos efêmeros de planície de inundação.

A porção superior do pacote sedimentar apresenta contatos recorrentes com a Formação Caturrita, é formada por arenitos finos tabulares entremeados em pelitos (Faixa Nova cerrito I e III, Alemoa), arenitos médios com estratificação cruzada acanalada e intraclastos (Vila Kennedy), lobos de arenitos finos intercalados com arenitos muito finos e pelitos, e arenitos finos com lentes pelíticas contendo nódulos e crostas carbonáticas. Neste conjunto, estão representadas: I) fácies de canais de crevasse; II) canal; III) leques de crevasse; IV) depósitos de inundação.

As feições referidas para porção inferior destes estratos indicam um sistema fluvial com canais de baixa a moderada sinuosidade, diques marginais cobertos por vegetação arbustiva, e planície de inundação com pequenos e espaçados lagos ou poças com lama carbonática (FACCINI et al., 2003). A interpretação de Faccini (2000) destas feições aponta a presença de canais que migravam lateralmente, com deposição incipiente na porção intermediária onde é registrada uma planície de inundação quase permanentemente seca, que às vezes era recortada por pequenos canais, com rápida infiltração de águas e colonização por vegetação arbustiva, pequenos invertebrados e deposição eólica fina (*loess*).

Em direção ao topo do pacote sedimentar o padrão fluvial é alterado, os depósitos distais de planície de inundação são cobertos por canais fluviais isolados, sinuosos a anastomosados, com migração lateral de canais de baixa sinuosidade, formação de lobos de *crevasse*, depósitos de planície de inundação menos estáveis e raros terraços com crosta carbonática.

5.4.1.1 Paleoalterações Encontradas no Bloco Santa Maria

Os sítios inseridos no Membro Passo das Tropas têm uma diagênese relacionada a processos de oxidação e silicificação, enquanto a porção relacionada ao Membro Alemoa é caracterizada pela intercalação de arenitos e pelitos com processos de hidromorfismo e carbonatação freática.

A porção intermediária deste pacote ainda inserida no Membro Alemoa, apresenta processos pedogenéticos com colonização vegetal e animal, hidromorfismo e carbonatação localizada.

Na porção superior onde ocorrem pelitos e arenitos intercalados pertencentes ao Membro Alemoa e da Formação Caturrita, ocorre hidromorfismo localizado, formação de fendas com ou sem preenchimento carbonático, bioturbação e a ocorrência de crostas carbonáticas (Tab. 8).

Tabela 8 - Afloramentos da ZA de *Hyperodapedon* inseridos no Bloco Estrutural Santa Maria, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.

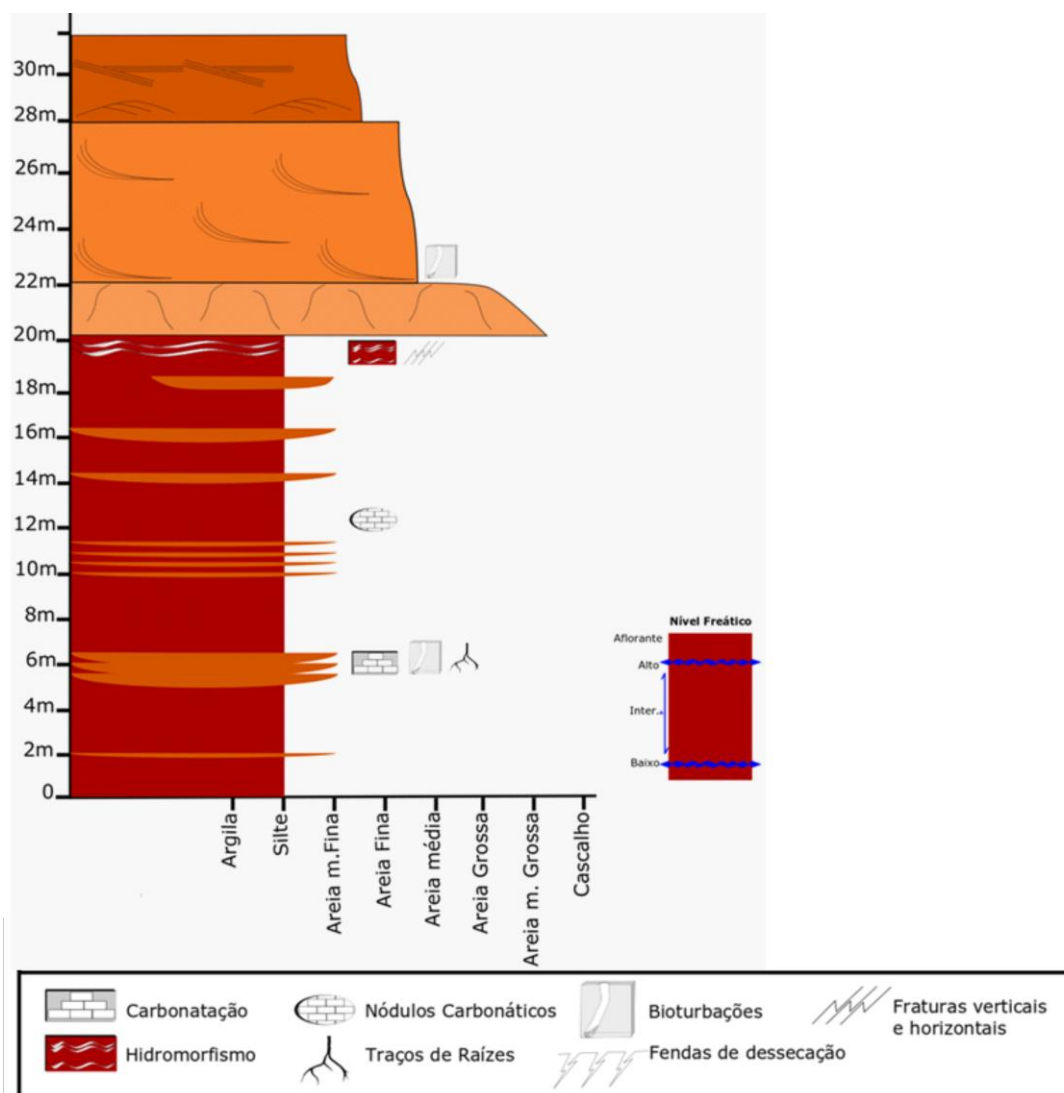
Zona de Associação	Afloramentos	Paleoalterações	Alterações na Microestrutura Óssea
Hyperodapedon	Nível Superior	Hidromorfismo; Fendas Carbonatadas;	Com fraturas e leve deslocamento das trabéculas;

Cerro da Alemoa 11319, 11330, 11240 Faixa Nova – 11074, 11070	Cerro do Alemoa (CH+CS) Faixa Nova – Cerrito I (CS+FF)	Bioturbação; Crosta Carbonática;	Sem incrustações ou alterações volumétricas.
Cerro da Alemoa 11326	Nível Intermediário Cerro da Alemoa (CS+FF)	Colonização vegetal; Bioturbação; Hidromorfismo; Carbonatação localizada.	Trabéculas pontualmente deslocadas; Estrutura do osso compacto deslocadas parcialmente identificável com fraturas ou incrustações; Leve alteração volumétrica e morfológica.
Cerro da Alemoa 11516, 11517, 11518, 11514, Vila Kennedy 11116	Nível Inferior Cerro da Alemoa (FF) Vila Kennedy (CH+FF)	Oxidação; Hidromorfismo; Carbonatação Freática Localizada;	Trabéculas amplamente deslocadas, dispersas ou obliteradas; Estruturas do osso compacto de difícil identificação; Grande alteração volumétrica e morfológica com obliteração do limite periosteal.

Fonte: o autor (2020)

O afloramento Cerro do Alemoa e.g., apresenta bioturbações em seu nível inferior e superior, com carbonatação, ocorrência de nódulos carbonáticos e hidromorfismo, o nível freático era oscilante ao longo dos níveis inferiores e intermediários desse pacote sedimentar (Fig. 21). Para mais Informações sobre a estratigrafia dos demais afloramentos deste Bloco Estrutural, ver Apêndice C.

Figura 21 - Coluna estratigráfica do Afloramento Cerro do Alemoa localizado no Bloco Estrutural Santa Maria e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.



Fonte: o autor (2020)

5.4.2 Descrição dos Sítios da ZA de *Dinodontosaurus* – Bloco Faxinal do Soturno

Diferente dos sítios fossilíferos da ZA de *Hyperodapedon*, que estão inseridos apenas no Bloco Estrutural Santa Maria, os afloramentos estudados na ZA de *Dinodontosaurus* estão localizados ao longo três blocos estruturais na Depressão Central Gaucha.

No Bloco Faxinal do Soturno observa-se alguns elementos arquiteturais encontrados apenas nestes pacotes, como pelitos laminados com lentes de arenito em uma fácies lacustre, depositados diretamente sobre depósitos de canal.

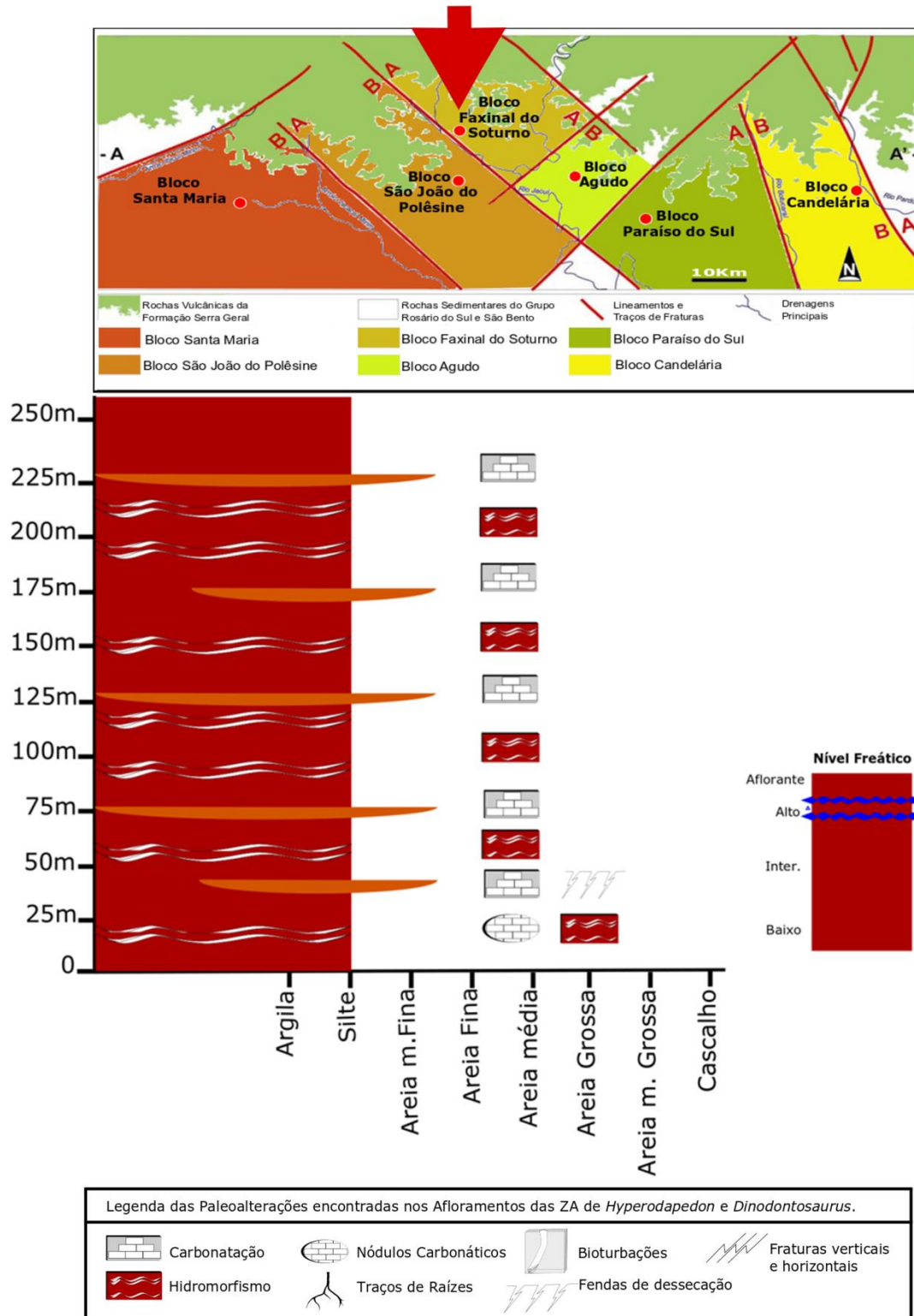
No Sítio fossilífero Dona Francisca (Posto) pertencente a este bloco, ocorrem pelitos maciços avermelhados, e podem ocorrer ainda arenitos finos, lenticulares, às vezes intercalados com arenitos médios a finos com estratificação cruzada acanalada. Ocorrem nódulos carbonáticos e fendas de ressecamento preenchidas por carbonato.

Estes depósitos encontrados na porção inferior do pacote registram uma planície de inundação relativamente distante dos canais, com um nível freático alto e carbonatação de depósitos previamente expostos. A porção intermediária apresenta um predomínio de lobos de *crevasse* e canais de moderada sinuosidade.

5.4.2.1 Paleoalterações Encontradas no Bloco Faxinal do Soturno

Na base do pacote sedimentar ocorrem paleoalterações pedogênicas e freáticas sobre os pelitos avermelhados, com descoloração dos pedotúbulos, formação de nódulos por calcita fibro-radiada, e carbonatação de fendas de ressecamento. Estas alterações também indicam um nível freático oscilante alto com formação principalmente de carbonatação e hidromorfismo (Fig. 22).

Figura 22 - Coluna estratigráfica do Afloramento Dona Francisca localizado no Bloco Estrutural Faxinal do Soturno e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.



Fonte: o autor (2020)

Além das paleoalterações os elementos ósseos encontrados neste afloramento apresentam características microestruturais bastante distintas ao longo dos níveis sedimentares (Tab. 9).

Tabela 9 - Afloramento da ZA *Dinodontosaurus* inseridos no Bloco Estrutural Faxinal do Soturno, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.

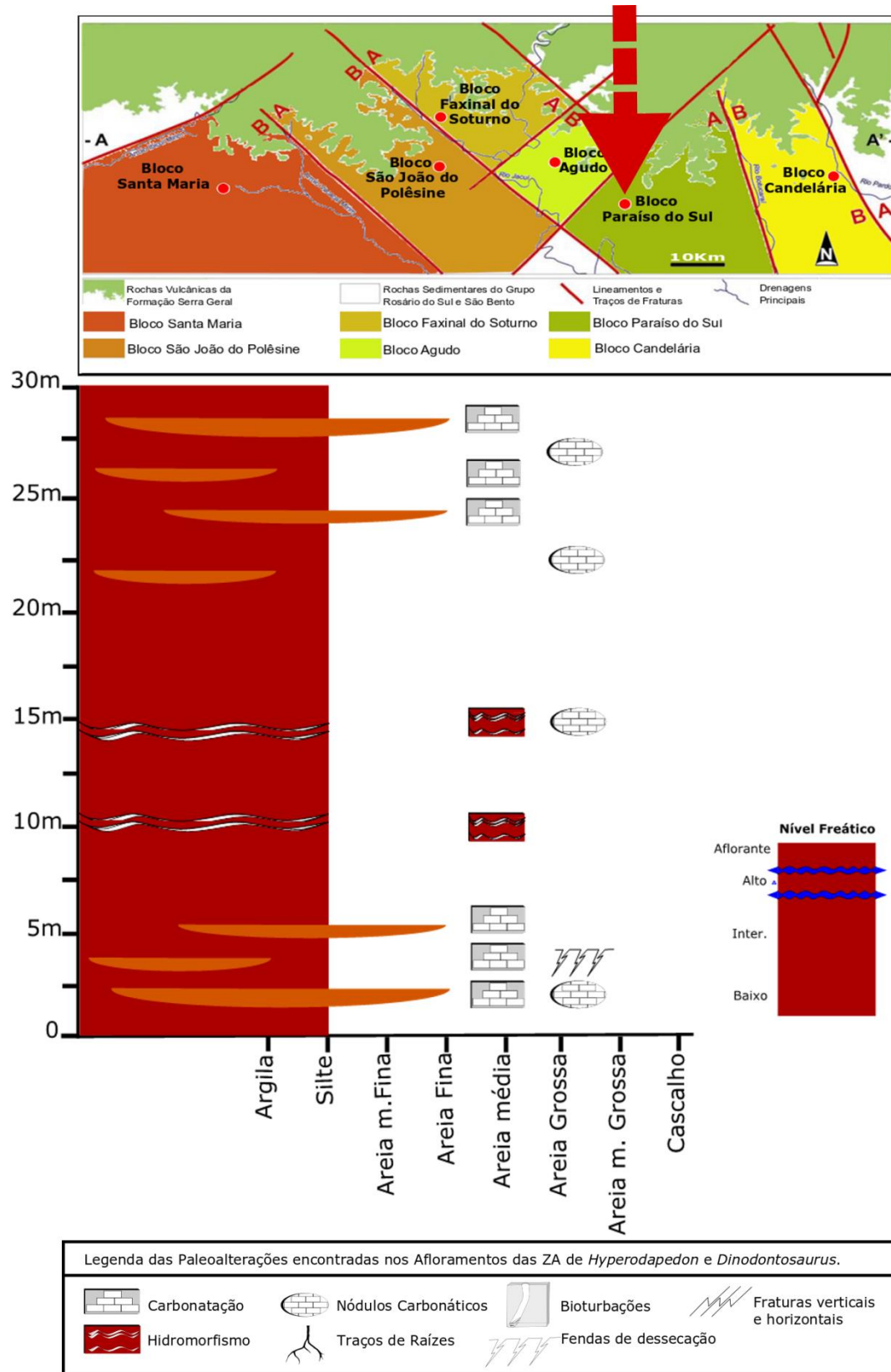
Zona de Associação	Afloramentos	Paleoalterações	Alterações na Microestrutura Óssea
<i>Dinodontosaurus</i> <i>Dona Francisca</i> 11100,	Nível Superior Dona Francisca (CS+FF)	Hidromorfismo; Carbonatação.	Sem fraturas; trabéculas dispersas em meio ao preenchimento; Osso compacto parcialmente obliterado; Sem incrustações ou alterações volumétricas.
	11500 Nível Inferior Dona Francisca (FF)	Hidromorfismo; Nódulos (calcita fibro-radiada); Fendas Carbonatadas	Trabéculas amplamente deslocadas, dispersas ou obliteradas; Estruturas do osso compacto de difícil identificação com fraturas radiais; Grande alteração volumétrica e morfológica com obliteração do limite periosteal.

Fonte: o autor (2020)

5.4.3 Descrição dos Sítios da ZA de *Dinodontosaurus* - Bloco Paraíso do Sul

Os afloramentos Sítio Cortado e Linha Várzea, descritos para este bloco estrutural (DA ROSA et al., 2004b, 2005c), apresentam pelitos vermelhos maciços, com frequentes nódulos carbonáticos, muitas vezes aglutinados em formatos diversos, desenvolvendo placas, lentes ou aglomerados carbonáticos (Sítio Cortado). Nos afloramentos Linha Várzea os depósitos de planície de inundação registram lentes delgadas de arenitos finos com laminação horizontal e estratificação cruzada acanalada de pequeno porte geralmente carbonatados e com fendas de ressecamento (Fig. 23). Para mais Informações sobre a estratigrafia dos demais afloramentos deste Bloco Estrutural, ver Apêndice C.

Figura 23 - Coluna estratigráfica do Afloramento Linha Várzea localizado no Bloco Estrutural Paraíso do Sul e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.



Fonte: o autor (2020)

O Sítio Novo Cabrais apresenta, na base, lentes semelhantes a pequenos canais, com depósitos de arenitos muito finos cimentados por sílica fibro-radiada, formando esferulitos. No topo, ocorrem arenitos finos com presença de conchostráceos fósseis indicando ocorrência de lagos temporários na planície de inundação (GALLEGO, 1996), além de cimentação carbonática, intercalada com pelitos com fendas preenchidas por arenitos carbonatados. O contato com os estratos intermediários do pacote registra depósitos de *crevasses*.

Os sítios localizados na porção inferior deste pacote sedimentar registram fácies de depósitos de planície de inundação relativamente estáveis. A presença de carbonatação, seja na forma de nódulos ou de lentes remetem a um nível freático alto e relativa distância dos canais fluviais.

5.4.3.1 Paleoalterações Encontradas no Bloco Paraíso do Sul

A pedogênese na porção inferior dos afloramentos Sítio Cortado e Linha Várzea é marcada pela formação de nódulos carbonáticos, lentículas carbonáticas de pequena extensão lateral derivada da coalescência de nódulos preservados em meio aos depósitos de planície de inundação, evidenciado um nível freático alto e relativa distância dos canais fluviais.

No Sítio Linha Várzea são identificadas ainda fraturas verticais que ocorrem abaixo das lentículas carbonáticas, estas apresentam preenchimento com óxido de manganês, assumindo um formato dendrítico.

A porção intermediária deste pacote é representada pelos arenitos intercalados com pelitos dos depósitos distais de *crevasse* encontrados no Sítio Novo Cabrais RST 287 – Km 174, com poucas paleoalterações pedogenéticas e freáticas, registradas através de fraturas horizontais com preenchimento de calcita fibrorradiada (Tab. 10).

Os elementos ósseos deste bloco não apresentam substituição total das estruturas corticais pela matriz cimentante. Aqui, os óxidos de Ferro e Manganês impregnam a microestrutura (permineralizam) e impedem a destruição e cisalhamento do córtex em fragmentos flutuantes dispersos. A oxidação é predominante apesar da precipitação de Calcita. Elementos com preservação extrema (Muito Ruim) neste bloco estrutural apresentam além da cristalização da calcita, cristais de calcita acicular.

Tabela 10 - Afloramentos da ZA *Dinodontosaurus* inseridos no Bloco Estrutural Paraíso do Sul, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.

Zona de Associação	Afloramentos	Paleoalterações	Alterações na Microestrutura Óssea
<i>Dinodontosaurus</i> Linha Várzea 11242, 11314, A67	Nível Superior Linha Várzea (CS+FF)	Nódulos coalescentes e lentes carbonáticas de pequena extensão lateral; fraturas Oxidadas Fe, Mn.	Sem fraturas e trabéculas abliteradas; Estrutura do osso compacto amplamente oxidada e identificáveis; Leve incrustação superficial.
A74			Trabéculas pontualmente deslocadas; Estrutura do osso compacto identificável com fraturas incrustações; Grande alteração volumétrica e morfológica.
Linha Várzea A61, 11250, 11253 Sítio Cortado 11162, 11412 Novo Cabrais 11096	Nível Inferior Linha Várzea (FF) Sítio Cortado (FF) Novo Cabrais (FF)	Hidromorifismo, carbonatação, fraturas preenchidas por carbonato, concreções coalescentes	Trabéculas amplamente deslocadas, dispersas ou obliteradas; Estruturas do osso compacto de difícil identificação; Grande alteração volumétrica e morfológica com obliteração do limite periosteal.

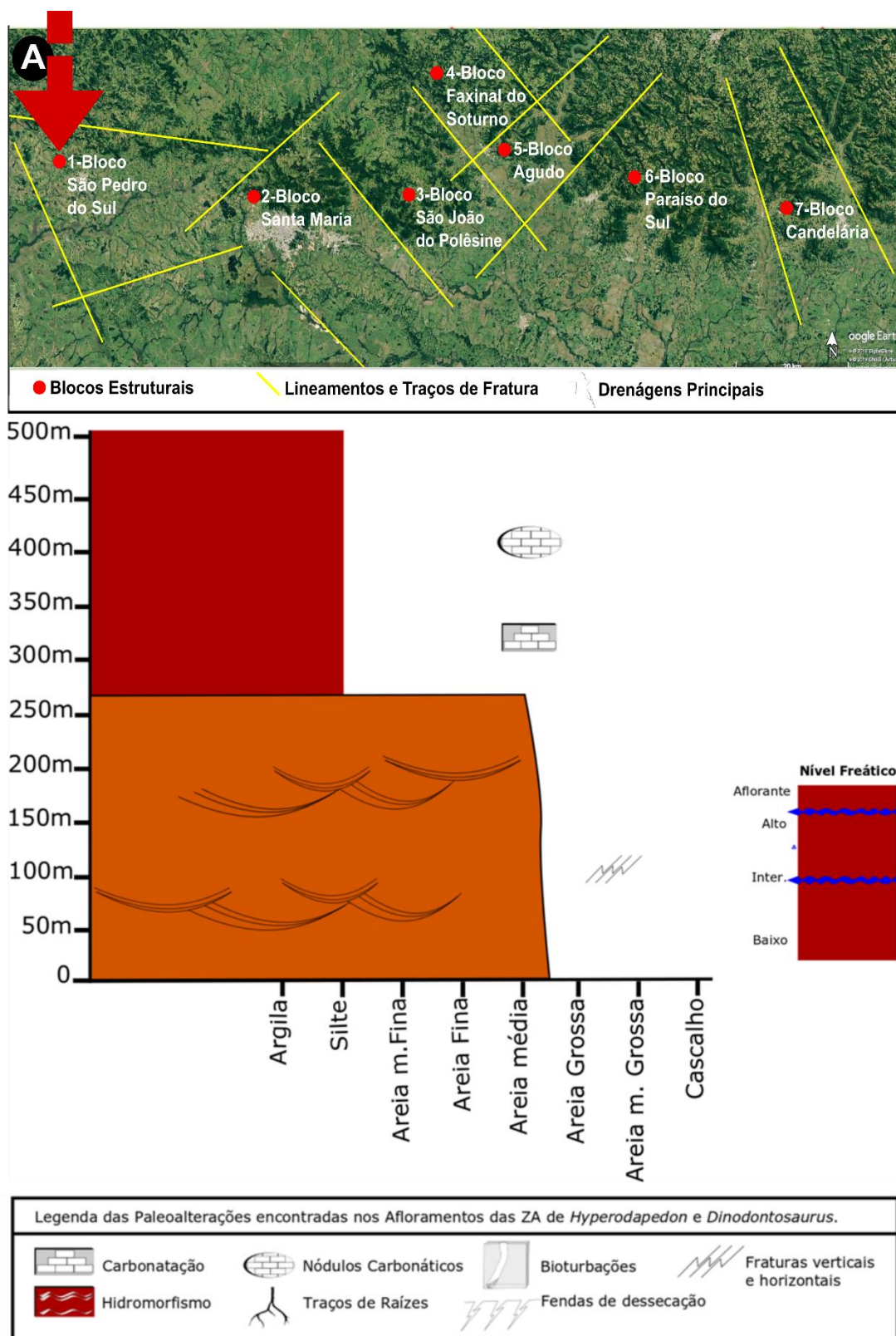
Fonte: o autor (2020)

5.4.4 Descrição dos Sítios da ZA de *Dinodontosaurus* – Bloco São Pedro do Sul

No afloramento Picada do Gama as litologias predominantes são compostas por arenitos médios a grossos com estratificação cruzada acanalada de médio porte em contato com falhas de pelitos vermelhos maciços e conteúdo fossilífero da Fauna de Chiniquá (BARBERENA et al., 1985) (Fig. 24).

No afloramento Sanga da Árvore – Chiniquá ocorre arenitos finos a médios e conglomerados com clastos pelíticos fortemente carbonatados.

Figura 24 - Coluna estratigráfica do Afloramento Picada do Gama localizado no Bloco Estrutural São Pedro do Sul e ocorrências das principais paleoalterações sedimentares.



Fonte: o autor (2020)

No Bloco São Pedro do Sul os canais fluviais registrados na base são sobrepostos por pelitos de planície de inundação. Isso se repete na porção intermediária, onde pelitos com vertebrados fósseis da ZA *Dinodontosaurus* sobrepõe arenitos fluviais. Para mais Informações sobre a estratigrafia dos demais afloramentos deste Bloco Estrutural, ver Apêndice C.

5.4.4.1 Paleoalterações nos Afloramentos Inseridos no Bloco São Pedro do Sul

No afloramento Picada do Gama ocorre o contato entre pelitos avermelhados do Membro Alemoa com os arenitos médios a grossos com estratificação cruzada acanalada do Membro Passo das Tropas. As pelaeoalterações registradas nestes pelitos são nódulos ou lentículas carbonatadas, enquanto os arenitos possuem fraturas verticais com preenchimento composto pela própria rocha triturada.

No sítio Sanga da Árvore – Chiniquá são registradas intercalações de arenitos e pelitos, e são predominantes os processos de carbonatação em diferentes estágios (Tab. 11).

Tabela 11 - Afloramentos da ZA *Dinodontosaurus* inseridos no Bloco São Pedro do Sul, alterações microestruturais identificadas e paleoalterações.

Zona de Associação	Afloramentos	Paleoalterações	Alterações na Microestrutura Óssea
<i>Dinodontosaurus</i> Chiniquá – Sanga Vazia 11137 <i>Sanga da Árvore</i> 11073	Nível Superior Chiniquá – Sanga Vazia (CH)	Nódulos e lentes carbonáticas; Fraturas preenchidas com pó da rocha matriz	Trabéculas levemente deslocadas; Córtex com fraturas radiais; Sem incrustações ou alterações volumétricas.
	Nível Inferior Chiniquá – Sanga da Árvore (CS+FF)	Lentes carbonáticas; Fraturas verticais	Trabéculas sem preenchimento; Estruturas do osso compacto íntegra e identificável; Grande alteração volumétrica e morfológica resultante de incrustação superficial

Picada do Gama 11098	Picada do Gama (CH+FF)	Oxidadas Fe, Mn Hidromorfismo, carbonatação, fraturas carbonatadas	oxidada; obliteração do limite periosteal. Trabéculas amplamente deslocadas e obliteradas; Estrutura do osso compacto parcialmente identificável; Grande alteração volumétrica resultante de incrustação.
---------------------------------	---------------------------	---	--

Fonte: o autor (2020)

5.5 PALEOALTERAÇÕES E SEUS SIGNIFICADOS

Os sedimentos aluviais são materiais transportados e depositados por um fluxo aquoso em permanente movimento, constituído predominantemente por partículas terrígenas de granulação variável em função da energia. Uma vez processada a deposição dessas partículas, este material fica sujeito a modificações físico-químicas que alcançam níveis superficiais e subsuperficiais pouco profundos onde pode ocorrer neoformação de carbonatos, pedogênese e a fossilização de materiais alocados nestas camadas (DA ROSA et al., 2004a).

Os processos de alteração destes pacotes sedimentares estão diretamente associados à profundidade e frequência de oscilação do nível freático. As neoformações a partir destes sedimentos depositados resultam em diferentes paleoalterações que evidenciam características dos paleoambientes nos quais os fósseis foram sepultados.

A sequência oscilatória do nível freático ocasiona alterações nestas camadas sedimentares, tanto por adição e remoção de íons mobilizados pelas águas subterrâneas, quanto pela precipitação e/ou alteração de minerais. Os momentos de descida do nível freático, por exemplo, resultam em uma exposição prolongada destes depósitos com precipitação de óxidos de Ferro e Manganês, enquanto que, momentos com nível freático elevado ou aflorante ocasionam carbonatação lateralmente extensas. Em casos de afloramento das águas freáticas, principalmente em áreas de depressão do terreno, tal acúmulo pode gerar condições palustres e/ou lacustres (Fig. 20).

Com a variação do nível d'água dentro dos estratos, um misto de transformação físicas, químicas e biológicas atuam sobre o conjunto fóssil-sedimento,

ocasionando marcas que se expressam através de paleoalterações nas camadas mais superficiais dos perfis, resultando também em alterações morfológicas e mineralógicas dos fósseis ali depositados.

As modificações podem ter caráter biogênico com a precipitação de minerais como a siderita ou vivianita, ou podem gerar precipitados que alterem a textura e a microestrutura dos ossos, além de modificar a composição mineralógica dentro das camadas de sedimento. Os processos mais comuns que foram identificados nos afloramentos estudado são relacionados principalmente com a produção de marcas resultantes da bioturbação; moldes de raízes de plantas freatófitas que alcançavam a zona vadosa e tiveram o molde de suas raízes preservadas pela carbonatação localizada, resultando na formação de rizoconcreções; acumulação de matéria orgânica; a neoformação de minerais de natureza variada, originando argilas, óxidos de Fe e Mn, carbonatos, sílica, etc.; o carreamento de partículas no interior do solo, tanto por ação da gravidade, quanto por intermédio do movimento oscilatório dos fluidos intersticiais, contribui para eluviação e iluviação; e a formação de horizontes pedogênicos caracterizados por torrões (*peds*), fendas.

Além das alterações pedogênicas e freáticas registradas para os estratos predominantemente oxidados das Sequências Santa Maria, foram registradas feições litológicas semelhantes em ambas as Zonas de Associação, porém, com graus variáveis de modificação. As ZA de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon* estão inseridas em depósitos pelíticos com intercalação variável de arenitos que estão relacionados a preservação macro e microscópica dos tetrápodes ali fossilizados.

Pode ser observado que em afloramentos com pelitos sílticos argilosos maciços com fraturas verticais a oblíquas preenchidas por argila escura sem contato prolongado com as águas freáticas, os elementos fossilizados apresentaram-se bem preservados, os fósseis exibem o predomínio de óxido de Ferro e Manganês tingindo os ossos, com substituição carbonática de baixo grau e raras incrustações carbonáticas.

No entanto, em afloramentos formados por siltitos ou arenitos finos com alterações carbonáticas e as bioturbações verticalizadas com preenchimento argiloso (*Scoyenia*) indicativas de ambiente úmido com nível freático elevado, os fósseis demonstraram elevado grau de destruição das paredes ósseas por crescimento displacivo dos carbonatos, com incrustação externa grosseira.

É possível perceber em meio a estas fácies sedimentares, portanto, os dois padrões extremos de preservação macroscópica dos elementos fossilizados: no primeiro pacote, composto por depósitos pelíticos maciços, os fósseis são bem preservados, com identificação das paredes e estruturas ósseas internas, bem como das suturas entre ossos. Os elementos não apresentam deformações, a porção externa dos ossos mantém as estruturas e formas originais (forma e tamanho) e características superficiais como ornamentação e cicatrizes musculares evidentes, refletindo quase exatamente a morfologia original do osso (HOLZ; SCHULTZ, 1998; DA ROSA, 2005a).

A preservação fossilífera nos estratos silticos ou areníticos carbonatados evidencia fósseis mal preservados com identificação apenas do formato externo, geralmente expandidos (“inchados”) pela cristalização de carbonato de cálcio. Muitas vezes, os restos fragmentários das camadas superficiais destes ossos flutuam na matriz de carbonato, sendo comum a alteração do tamanho original e da forma (HOLZ; SCHULTZ, 1998; DA ROSA, 2005a).

Contudo, apesar dos macro-padrões de preservação encontrados nos depósitos pelíticos maciços e nos silticos arenosos carbonatados, padrões de preservação intermediários são comuns nos afloramentos com litofácies transitórias e com alterações resultantes da oscilação momentânea do nível freático, deste modo, ocorre variação na granulação sedimentar, na coloração dos estratos e principalmente no grau de substituição e impregnação carbonática dos pacotes sedimentares.

A exemplo disso, observa-se que em algumas áreas a composição siltica do estrato não tão enriquecida por argila como no primeiro exemplo mencionado acima, ganha tons alaranjados a esbranquiçados, e produzem estruturas prismáticas como “torrões” ou *peds* que são intercaladas por níveis pelíticos avermelhados maciços. Esta variação de cores confere o aspecto mosqueado macroscópico característico nestes afloramentos.

Em outros casos, o interior dos pelitos avermelhados pode apresentar em muitas áreas algumas variações referentes ao grau de substituição carbonática, como o caso dos veios carbonáticos esbranquiçados (vênulas carbonáticas) desenvolvidos principalmente na vertical em meio aos estratos. Além dos níveis de pelitos avermelhados, estas alterações também ocorrem no topo e no centro dos estratos formados por siltito e arenito carbonatados, nestes pacotes também são registradas

de forma recorrente lentículas carbonáticas esbranquiçadas à acinzentadas com reduzida extensão lateral.

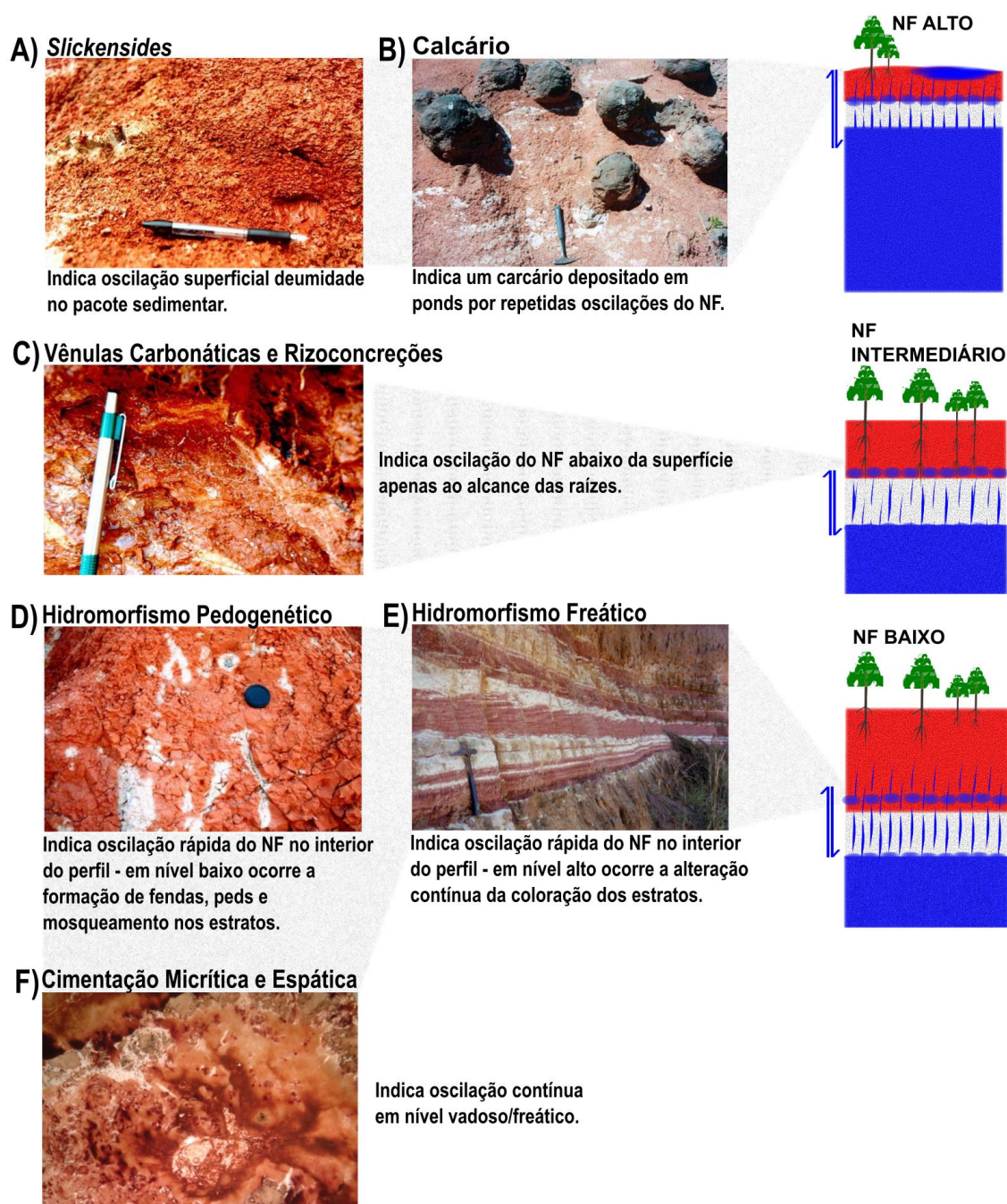
Nos níveis com veios e lentes carbonáticas da Sequência Candelária o calcário é muito compacto, com elevada cristalinidade e dureza, cor clara, com veios entrecruzados de preenchimento espático com ou sem presença de óxidos de Fe e Mn. São comuns ainda, nódulos carbonáticos que são formados a partir de lentes de material carbonatado micrítico e microespático (DA ROSA et al., 2004a).

Cada uma destas paleoalterações ou conjunto de alterações ocorridas nestes pacotes sedimentares podem ser interpretados e relacionados aos ambientes de deposição (Fig. 25). Tais significados foram amplamente descritos por Wright (1989); Retallack (2001); Da Rosa et al. (2004a) e indicam uma dinâmica deposicional característica de depósitos aluviais, com fácies representativas de leques aluviais, canais de rios ou planícies de inundação, que tem sua gênese associada a momentos de inundação da superfície, oscilação do nível d'água dentro dos perfis ou períodos de baixa umidade.

Os pelitos avermelhados maciços pouco espessos representam momentos de deposição na antiga planície de inundação. A permanência dos níveis d'água oscilando dentro destes perfis ocasiona grandes períodos de exposição subaérea destas camadas e consequentemente oxidação destas argilas. Estes pacotes por sua vez, apresentam feições de umedecimento e ressecamento (*slickensides*) que remontam a condições superficiais variantes de umidade (Fig. 26 A, B).

Os pacotes compostos por pelitos mosqueados, também depositados ao longo da planície de inundação, são resultantes do hidromorfismo destas camadas devido à oscilação rápida do nível freático. Assim, como também permaneceram expostos, estes estratos são oxidados e devido à variação da água no interior do perfil ocorrem a formação de fendas e *peds* quando os níveis são baixos, e alteração da coloração do estrato (claros) quando os níveis são altos (Fig. 26 A, B).

Figura 25 - Principais paleoalterações encontradas nas ZAs de *Dinodontosaurus* e *Hyperodapedon* e sua correlação com os momentos de oscilação freática. A) Slickensides e B) Calcário nodular são relacionados a um nível freático (NF) alto ou aflorante; C) Vênulas e Rizoconcreções indicam nível freático intermediário ao alcance das raízes; D) Hidromorfismo Pedogenético, E) Hidromorfismo Freático e F) Cimentação Micrítica e Espática indicam oscilação dentro do pacote sedimentar.



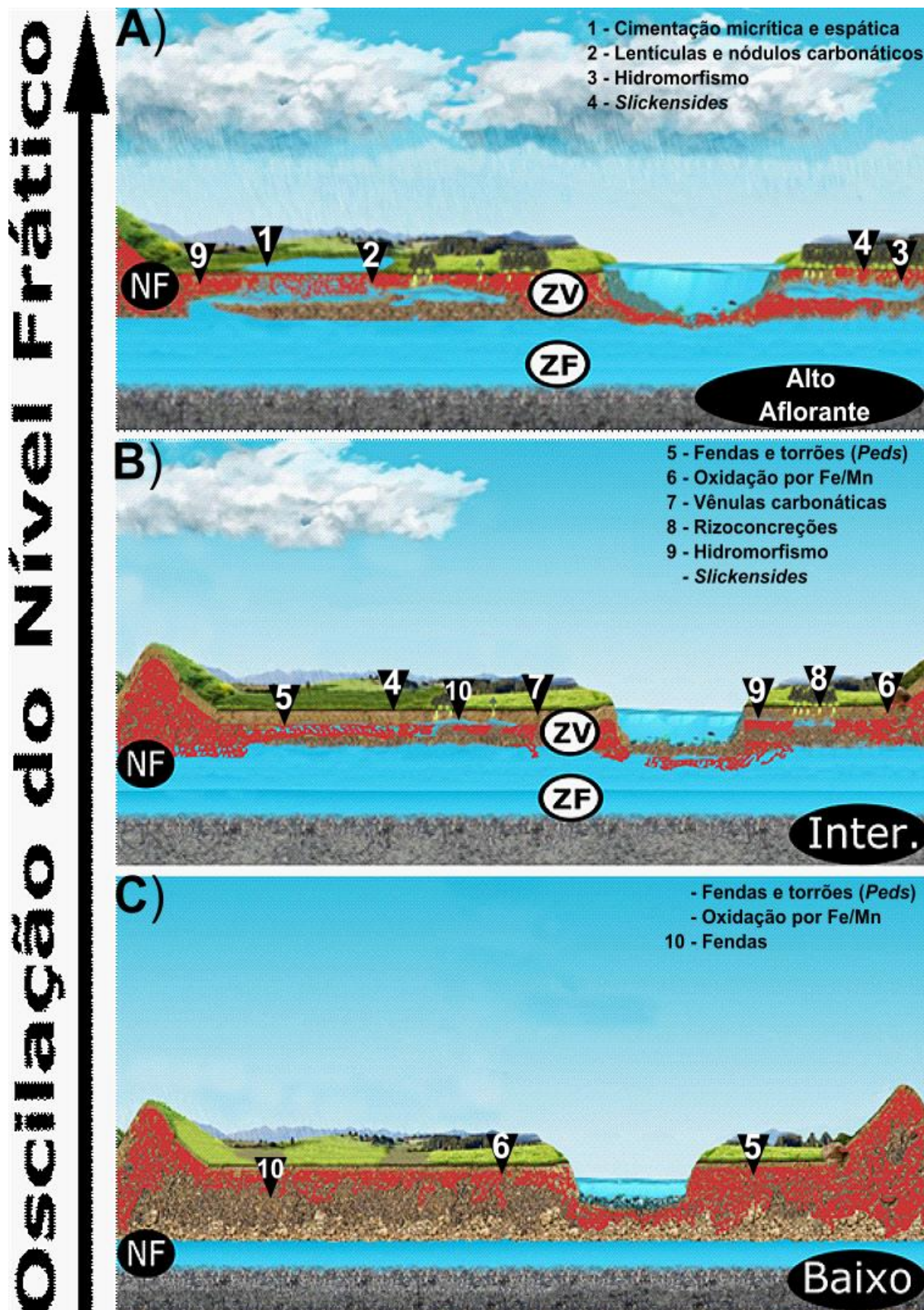
Adaptado de Da Rosa (2005)

A ocorrência de vênulas carbonáticas e rizoconcreções em meio aos pelitos oxidados são interpretadas como feições que indicam um período de exposição das camadas superficiais ainda mais prolongado, se comparado com as feições anteriormente descritas. Nestes perfis, o nível freático continuava oscilante abaixo da superfície, ao alcance de raízes. Estas feições observadas nos afloramentos apontam baixa umidade na superfície do solo e uma subsuperfície relativamente úmida (Fig. 26 B).

A ocorrência de siltitos e arenitos carbonatados é relacionada à deposição de finos por fluxo aquoso no qual ocorre preenchimento dos poros por carbonato. A cimentação total ou parcial sobre os grãos e fósseis se dá por carbonato micrítico que em muitos casos resulta na corrosão das bordas dos grãos e obliteração da matriz óssea. O significado atrelado a estas feições indica instantes oscilatórios de umidade-ressecamento-umidade, resultando respectivamente em cimentação por carbonato – formação de fendas e oxidação – preenchimento por carbonato espático, comum para ambientes vadoso/freático (Fig. 26 A, B).

As lentículas carbonatadas micríticas associadas à formação de nódulos são feições que indicam uma precipitação em ambiente aquático de um calcário depositado em pequenas poças (*ponds*) acumuladas em áreas de depressão do relevo ao longo da planície de inundação. Estas feições refletem estágios repetidos de variação do nível freático, que podem ser relacionadas a ambientes palustres por apresentarem similaridade dimensionais e equidistância das lentículas dentro dos estratos (BOWEN; BLOCH, 2002; DA ROSA et al., 2004a) (Fig. 26 A).

Figura 26 - Esquema representando os momentos de oscilação do Nível Freático (NF). A) Nível freático alto ou aflorante com cimentação carbonática micrítica, formação de hidromorfismo, *Slickensides*, lentículas carbonáticas e nódulos em pequenas poças ao longo da planície de inundação; B) Nível freático intermediário com oscilação do nível freático no interior do perfil. Ocorre a formação de fendas e torrões (*Peds*), oxidação por Ferro e Manganês por exposição às zonas aeradas, vênulas carbonáticas e rizoconcreções indicando (NF) ao alcance das raízes, hidromorfismo associado a oscilação rápida dentro do perfil e *Slickensids* na superfície. C) Nível freático baixo, surgem fendas de ressecamento e oxidação por Ferro e Manganês.



Fonte: o autor (2020)

5.5.1 Fatores Condicionantes das Paleoalterações

O significado das paleoalterações descritas anteriormente podem ser utilizado para reconstrução da evolução destes afloramentos fossilíferos ao longo do processo diagenético, pois, através das alterações pedogenéticas e freáticas podem ser reconhecidas camadas com evidência de exposição subaérea assim como a evolução deposicional ao longo da planície de inundação, fatores de extrema relevância na preservação dos fósseis dessa região.

Para entender a correlação entre as paleoalterações descritas para cada bloco estrutural, seus afloramentos e a grande variedade de formas de preservação macro e microscópicas, é necessário associar três elementos já citados ao longo deste trabalho: i) as litologias que compõe cada sítio fóssilífero – entendendo a partir destas fácies o paleoambiente naquela região onde foram formados os fósseis; ii) as paleoalterações desenvolvidas em meio a estes paleoambientes – identificando quais os processos desencadeadores de modificações nestes perfís; iii) e a composição e disposição dos elementos fossilizantes dentro da microestrutura óssea – interpretando através destas substituições mineralógicas o grau de exposição do fóssil aos processos diagenéticos sofridos pelos pacotes sedimentares.

Um dos aspectos determinantes para a ocorrência e intensidade de paleoalterações em um determinado nível sedimentar está relacionado a maior proximidade ou distanciamento dos paleocanais. Nos níveis que exibem estrutura de fácies de canal as paleoalterações freáticas são menos comuns, com predominância de alterações pedogenéticas como hidromorfismo localizado e descoloração. Por outro lado, em afloramentos que apresentam fácies de planície de inundação as paleoalterações predominantes são freáticas, com formações carbonáticas que se expressam como nódulos, lentes e crostas carbonáticas.

Esta sucessão de componentes identificados ao longo deste depósito sedimentar pode ser explicada, portanto, pela variação lateral na profundidade do nível freático em relação à superfície do terreno, à medida que se afasta do canal fluvial (DA ROSA, 2005a). Deste modo, os produtos de alteração sobre o conjunto fóssil/sedimento estão relacionados principalmente com a proximidade aos paleocanais inseridos no depósito, e, além disso, com a presença de um nível freático oscilante.

As taxas de sedimentação daqueles ambientes podem ser intimamente associadas à proximidade ou distanciamento dos canais, pois, o aporte sedimentar é mais elevado quanto mais próximo ao canal os afloramentos eram localizados, neste contexto são identificadas sequências faciológicas de canais de crevasse, leques de crevasse e depósitos de inundação, indicativas de episódios recorrentes de sedimentação.

O estágio de desenvolvimento das paleoalterações também pode ser correlacionado à proximidade dos paleocanais, já que, afloramentos que eram posicionados mais distantes do canal fluvial na planície estavam progressivamente mais suscetíveis ao contato constante com as oscilações do nível freático. Portanto, a ocorrência de paleoalterações freáticas principalmente com precipitação carbonática estariam incorporadas em afloramentos distantes dos paleocanais, enquanto as paleoalterações pedogenéticas, não carbonatadas, estariam relacionadas aos afloramentos proximais, com elevada taxa de sedimentação e contato incipiente com o nível freático oscilante.

Não é uma regra geral que a delimitação das alterações pedogenéticas sejam restritas às porções proximais, ou que as alterações freáticas ocorrem apenas nas áreas mais distantes dos paleocanais. Alguns afloramentos são exceções a regra, pois, apesar de estarem localizados com relativa distância dos paleocanais apresentam taxas de sedimentação inconsistente quando relacionadas a depósitos distais, visto que ocorrem fácies de extravasamento sobrepondo às de planície de inundação. Da Rosa (2005a), explica que nestes casos incomuns, o relativo distanciamento dos canais e o grau de paleoalteração atuante nestes estratos de planície podem ser mascarados por extravasamentos episódicos de lobos de areia (*Crevasse splays*). Nestes locais, mesmo que as fácies de planície de inundação distal sejam predominantes e o nível freático seja alto ou aflorante, esses episódios de aporte sedimentar tornam estas áreas menos sujeitas às paleoalterações freáticas em detrimento das alterações pedogenéticas.

5.5.2 Modelo de Preservação das Microestruturas

Ao entender os fatores determinantes para a formação das paleoalterações e a dinâmica sedimentar para os depósitos (descrita acima), identifica-se dois fatores condicionantes que explicam a dinâmica preservacional dos fósseis nesse contexto.

Os elementos ósseos, portanto, podem estar depositados em afloramentos dentro da faixa de pedogênese ou inseridos em níveis um pouco mais profundos, na zona vadosa ou freática, o que pode ser determinado como um fator condicionante vertical para a preservação macro e microestrutural.

Em adição, estes mesmos afloramentos também podem ser analisados com relação à proximidade ou distanciamento dos paleocanais ao longo destes depósitos aluviais, determinando assim um fator condicionante horizontal para boa preservação dos fósseis.

5.5.3 Análise dos Fatores Condicionantes Verticais

1) Preservação de elementos inseridos na zona de nível freático alto

O cimento carbonático atuante aqui, composto por uma mistura de argila, silte e água supersaturada em carbonato, penetra na estrutura óssea preferencialmente pelos condutos da cavidade medular que disponibiliza maior área para percolação após a quebra dos elementos ósseos.

A precipitação de grandes cristais de calcita ocorre posteriormente, ela se processa de tal modo que o crescimento dos cristais se acomoda as estruturas internas, preenchendo-as. No primeiro estágio há preservação das microestruturas, ocorre a penetração da matriz micrítica nos ossos, seguida por uma etapa de precipitação de cimentação espática a partir desse cimento microcristalino.

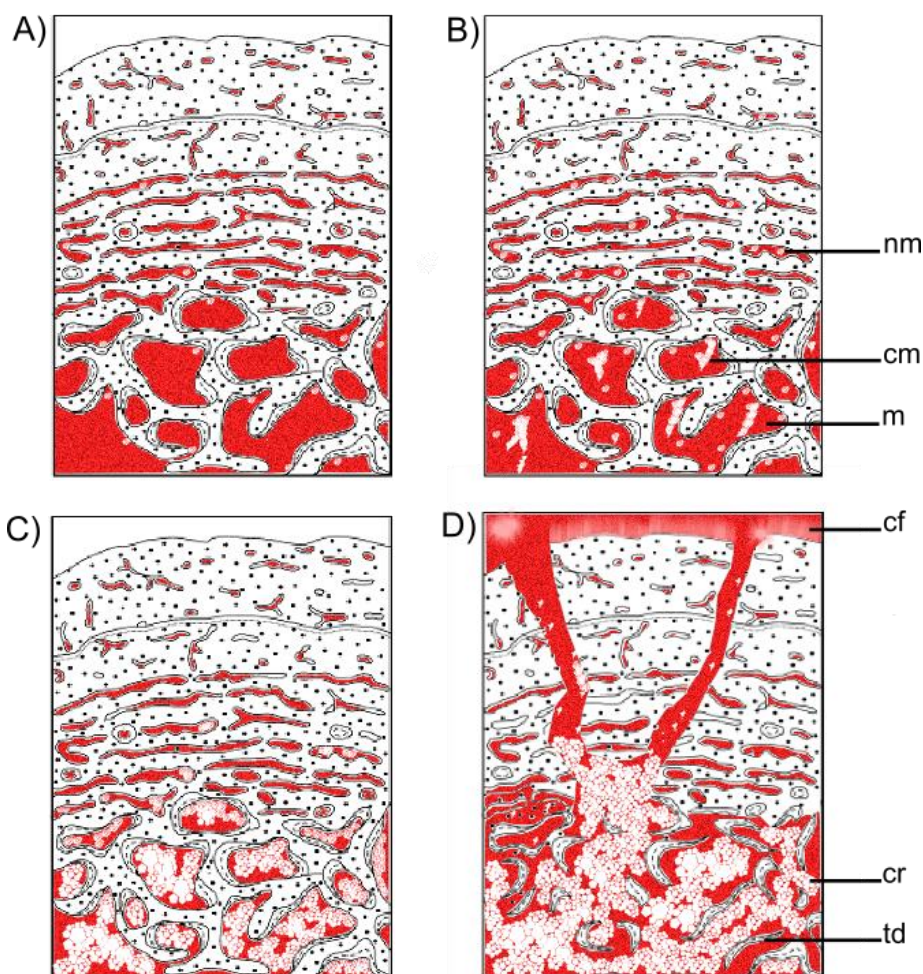
Com a manutenção das condições do pH (neutro/básico) neste perfil, os cristais continuam a se formar dentro do córtex, porém, a medida que um novo aporte de cimento micrítico é adicionado ao meio interno como consequência do alcance do lençol freático nesse nível, o processo é realimentado por essa solução supersaturada, matéria prima básica para o crescimento e recristalização da calcita.

A entrada de mais solução carbonatada culmina em novas porções com precipitação de cristais ou recristalização da calcita dentro da matriz óssea, estes cristais agora ainda maiores, rompem as microestruturas osteológicas nas quais antes estavam apenas acomodados de forma harmônica, deslocando e alterando trabéculas, canais vasculares, ósteons e até mesmo as LAGs (Fig. 27).

A preservação do elemento ósseo dentro desse nível é dependente do tempo de permanência sob a influência do nível freático e sua suscetibilidade as condições dominantes em cada instante: com o nível freático alto o fóssil seria exposto a

condições relativamente constantes, com soluções concentradas em carbonato, fluoreto, cálcio e outros íons carregados em condições de pH básico à alcalino, resultando em fósseis com estruturas internas preenchidas por matriz de cimento micrítico - grãos de mícrita - precipitação de cristais de calcita - recristalização de calcita, em outras palavras, um processo de escalada da *granification* da calcita.

Figura 27 - Representação esquemática da microestrutura óssea de um espécime fossilizado em zona do nível freático predominantemente alto.



A) Preenchimento dos espaços internos do osso por matriz cimentante micrítica (m) com formação de nódulos de mícrita (nm) e preservação do arranjo interno; B) Precipitação de calcita macrocristalina (cm) em meio fissuras no cimento micrítico de preenchimento; C) Princípio da recristalização da calcita (cr) em meio as cavidades internas do osso, com início da expansão de trabéculas, cavidades erosionais, ósteons e linha de crescimento; D) Ampla recristalização da calcita macrocristalina com deslocamento das estruturas (td) na região endosteal do córtex (trabéculas, cavidades erosionais). Surgem fraturas que cisalham o córtex, resultantes da recristalização da calcita macrocristalina. Na porção externa ocorre incrustação suprapariosteal formada por cimento micrítico e precipitação de nódulos de mícrita e calcita fibrorradiada (cf).

Fonte: o autor (2020)

2) Preservação de elementos inseridos na Zona Vadosa

Os fósseis depositados na zona vadosa também apresentam uma gênese resultante de uma sequência de eventos que podem ser detalhados de forma análoga. Em momentos de oscilação do nível freático (alto-baixo-alto), o fóssil seria exposto não apenas às condições ideais a progressiva carbonatação interna (*granification*), mas também, a situações em que a concentração do pH estaria potencialmente mais ácido, nestes instantes de ausência momentânea do contato do fóssil com o nível freático, ocorreria o carreamento e precipitação de sílica para dentro do fóssil junto a águas meteóricas, resultando em corrosão dos precipitados de carbonato e/ou substituição destes por cristais de quartzo em casos extremos.

Na zona vadosa, após a redução do nível freático, espaços deixados com a secagem da água nesta camada sedimentar propiciaria a entrada de mais oxigênio ao meio. Nestas condições, o ambiente antes alcalino se tornaria progressivamente mais ácido, possibilitando a precipitação não apenas da sílica (como descrito acima), como do Fe^{+3} e Mn remobilizado de camadas inferiores. À medida que estes íons entram em contato com o oxigênio, agora disponível nos poros com a ausência de água, são oxidados e precipitam sobre as estruturas dos ossos. Desse modo, os óxidos de ferro e manganês podem ser precipitados nas estruturas internas, misturados a matriz carbonática cimentante como resultado do início da descida do nível freático em uma camada da zona vadosa sob condições de pH progressivamente ácido, ou precipitados sobre a cristais de calcita neoformada em meio a microestrutura óssea. A acomodação dos fósseis em um nível vadoso abandonado pelo contato freático gera uma manutenção dos precipitados carbonáticos, até que, as condições de pH ácido promovam momentos de progressiva entrada de sílica nos ossos. Nesta fase, ocorreria precipitação de sílica em forma de cristais de quartzo e a corrosão de cristais carbonáticos devido a percolação de água meteórica acidificadas.

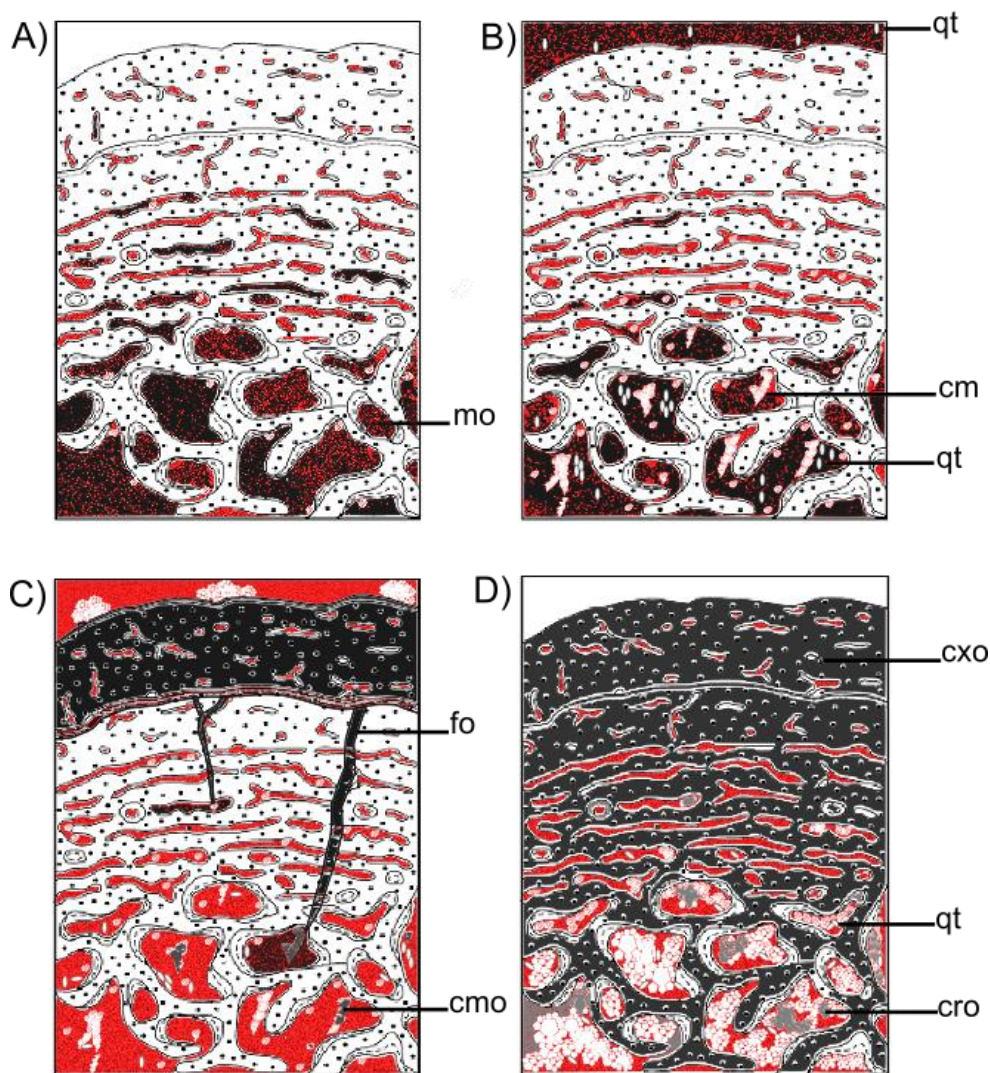
Em outros casos, o processo de oxidação resulta na formação de uma película delgada que recobre a superfície periosteal, esta camada de óxido de ferro ou manganês quando formada sobre elementos antes da precipitação de cristais carbonáticos atenua a ação despoladora dos cristais entre as estruturas do osso, fato que prolonga a boa preservação interna mesmo que ocorra formação de incrustações suprapariosteais.

A precipitação da matriz micrítica e o desenvolvimento continuado de cristais de calcita junto com óxidos também pode ocorrer de forma harmônica com a microestrutura óssea, ou seja, sem alterações na arquitetura interna, desde que, o fóssil não permaneça sob condições oscilatórias do nível freático, caso contrário, o supercrescimento dos cristais e a consequente ruptura das estruturas internas serão inevitáveis, causando a expansão volumétrica do elemento.

Em contrapartida, apesar da acomodação harmônica de cristais de calcita em ossos soterrados a nível vadoso, pode acontecer o processo contínuo de ressecamento do perfil com a ausência do contato com o freático. Deste modo, as microestruturas não sofrem o processo de expansão, porém, estas condições desencadeiam o surgimento de rupturas como trincas e fraturas internas devido à ausência da água freática que antes estava presente. A preservação osteológica sob estas condições ganha mais um elemento indicativo deste nível, representado pelas fraturas em meio ao arranjo microestrutural. Estas fraturas rompem o córtex e seus elementos, ocasionando o cisalhamento pontual em canais vasculares, e ósteons, progredindo sob condições extremas para uma fragmentação total do córtex alcançando a superfície periosteal.

O surgimento das microtrincas e fraturas nestes elementos depositados a nível vadoso sob condições de baixa profundidade e pressão de camadas sedimentares sobrepostas resultam do ressecamento nesses perfis e ocorre de forma semelhante aos processos que o sedimento pelítico circundante atravessa durante a diagênese (Fig. 28).

Figura 28 - Representação esquemática da microestrutura óssea de um espécime fossilizado na Zona Vadosa.



A) Preenchimento dos espaços internos do osso por matriz cimentante micrítica com óxidos de ferro ou manganês (mo) com formação resultante da exposição na zona vadosa aerada após a descida do nível freático. B) Precipitação de sílica na forma de cristais de quartzo (qt) em meio a incrustação suprapariosteal; Cristais de calcita macrocristalina (cm) formados sob condições anteriores de nível freático elevado e pH alcalino; C) Princípio da oxidação sobre o tecido ósseo fibroso na região periosteal; Ocorre manutenção das estruturas internas e recrystalização da calcita apenas na porção suprapariosteal, na porção perimedular a calcita macrocristalina sofrem oxidação (cmo), porém, sem expansão das estruturas internas; Ocorrem ainda fraturas de ressecamento (fo) preenchidas por micrita oxidada que dividem parcialmente o córtex. D) Ampla oxidação do tecido ósseo fibroso no córtex (cx) e da calcita recrystalizada (cro) na porção medular; precipitação de cristais de quartzo devido as condições de pH progressivamente ácido na zona vadosa.

Fonte: o autor (2020)

5.5.4 Análise dos Fatores Condicionantes Horizontais

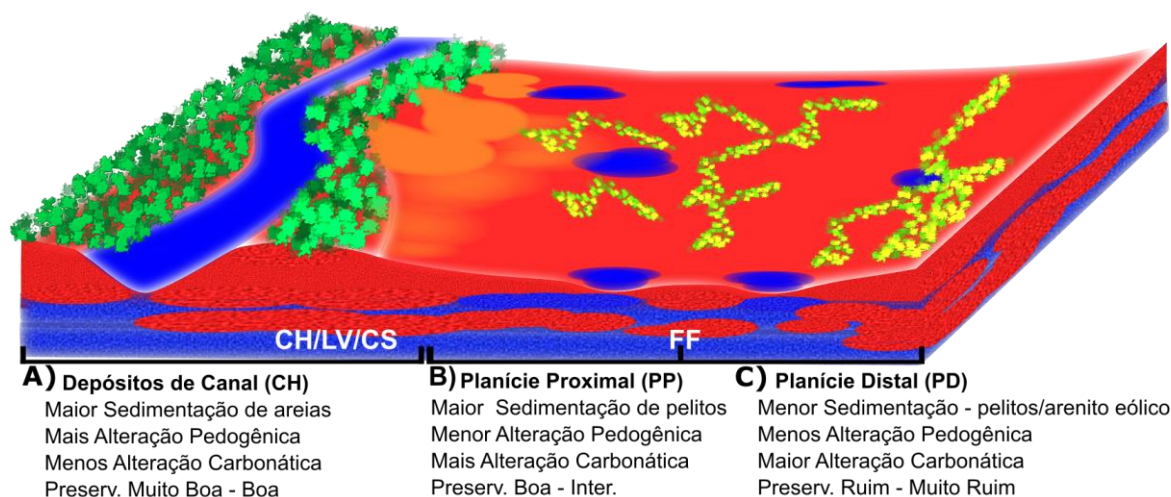
Além das condicionantes verticais que envolvem todas as alterações de âmbito pedogenético e freático, de forma similar, os elementos fossilizados também estão sujeitos a variáveis relacionadas a proximidade do afloramento ao paleocanal e as taxas e formas de sedimentação que eram depositadas em cada área ao longo da planície aluvial (Fig. 29).

Sob essa ótica, os fósseis apresentaram um bom padrão preservacional macroscópico condizente com a proximidade dos paleocanais. As áreas de depósito de canal (CH) com fácies arenosas de canais ou crevasses representam pontos onde a sedimentação era frequente e originaram elementos com maior grau de preservação da superfície periosteal, conservando marcas de intersção muscular e apresentando menos fraturas como resultado do rápido soterramento dos elementos ósseos nessa área.

Nas áreas de planície de inundação proximal (FF), onde ocorre sedimentação esporádica, os fósseis podem apresentar características transitória de preservação, visto que, afloramentos destas áreas apesar de receberem um aporte sedimentar reduzido podem atravessar momentos episódicos de extravasamentos dos paleocanais representados por lobos de área (*Crevasse Splays*) e originarem boas condições de preservação dos fósseis.

Em direção a planícies de inundação distal (PD), os afloramentos apresentam sedimentação gradativamente reduzida, marcada por pelitos maciços ou intercalados por lentes delgadas de arenitos finos. Nestas áreas ocorre a maior influência da variação do nível freático e uma forte tendência ao aumento dos processos de carbonatação, por isso, os fósseis produzidos nestas porções contêm incrustações carbonáticas de grau variável que recobrem o perióstio e alteram a forma e o volume dos ossos. Os elementos ainda podem demonstrar fraturas preenchidas pela carbonatação e substituição total das microestruturas pela matriz cimentante em casos extremos.

Figura 29 - Áreas pertencentes ao depósito aluvial. A) Depósitos de Canal (CH) com alta taxa de sedimentação, com poucas alterações carbonáticas dos fósseis como resultado do nível freático baixo. B) Planície de Inundação Proximal (PP), ocorre sedimentação progressivamente reduzida com predomínio de pelitos e contato com o nível freático alto. C) Planície de Inundação Distal (PD), longe do canal fluvial a planície distal apresenta baixas taxas de sedimentação, nível freático alto com grande alteração carbonática nos fósseis.



Fonte: o autor (2020)

5.5.5 Assinatura Diagenética das Paleoalterações e da Micropreservação

A partir das observações da conservação microestrutural e das paleoalterações identificadas para cada afloramento é possível remontar o ambiente de sepultamento em que os elementos ósseos estiveram depositados durante o processo fossildiagenético, estas alterações que ficaram gravadas dentro dos ossos e no seu entorno geram uma espécie de assinatura diagenética para cada elemento.

Os fósseis com concreções carbonáticas, normalmente oxidados, com desenvolvimento de estruturas cone-em-cone ou calcita fibrorradiada e fraturamentos ou fissuramentos preenchidos por carbonato espático originários de camadas sedimentares constituídas por arenitos ou siltitos com nódulos esparsos, são relacionados a uma fossildiagênese desenvolvida em ambiente úmido próximo a superfície. Estes nódulos e lentículas carbonáticas esparsas indicam o topo das parasequências sedimentares onde eram formados, nestas áreas da planície pequenas poças se formavam devido ao contato do nível freático sobre depressões do relevo.

Estas poças ao longo da planície de inundação proximal e distal possibilitavam condições de preservação ainda mais excepcionais, que propiciavam melhores condições de preservação das microestruturas destes elementos. Os espécimes sepultados nestas poças, estavam associados as substâncias húmicas acumuladas nesses corpos d'água em interação com goethita e microorganismos, à medida que se processava a dissolução da goethita, as substâncias húmicas eram

gradativamente oxidadas devido a liberação de íons Fe^{2+} , ocasionando a acumulação de uma película ferruginosa depositada sobre a superfície periosteal.

Nestes ambientes alagados e abandonados pelo contato freático, as condições do pH tornavam-se crescentemente ácidas devido ao aporte da água meteórica acidificada, favorecendo a precipitação de minerais de Fe^{2+} como a Siderita (demonstrado anteriormente), ou de Sílica, no entanto, estas circunstâncias eram um fator limitante que impedia a precipitação de cristais carbonáticos.

Num estágio seguinte, estas poças eram novamente alcançadas pelo nível freático e as condições alcalinas da água supersaturada tornavam-se progressivamente predominantes. Nestes instantes, a precipitação carbonática ocorria continuamente e imediatamente sobre a película ferruginosa, formando cimento micrítico e incrustações carbonáticas oxidadas sobre a superfície periosteal.

Os ossos fossilizados nas poças de planície de inundação exibem um padrão de preservação macroscópico descontínuo, que não se expressa sobre a microestrutura óssea. Nos afloramentos com este conjunto de feições, portanto, a preservação macroscópica predominante é intermediária à Muito Ruim, com distorções volumétricas aparentes resultantes das incrustações superficiais, porém, a porção interna exibe uma preservação Boa à Intermediária, na qual as microestruturas encontram-se preservadas e identificáveis apesar das fraturas, e com poucas ou nenhuma alteração da morfologia interna.

Os fósseis que revelaram uma substituição composta por precipitação de cimento micrítico (mícrita) são predominantes nas áreas de planície de inundação distal com recorrentes oscilações do nível freático. Nessas áreas, acumulam-se sedimentos finos tamanho silte/argila que são carregados junto a água freática supersaturada em íons.

A variação freática dentro dos pacotes sedimentares nas PD possibilita a destruição contínua do arranjo microestrutural interno dos ossos, já que, até mesmo a alteração da Hidroxiapatita por Fluorapatita, mais estável, parece não ser suficiente para estabilizar a preservação das estruturas mergulhadas na matriz carbonática fluida dentro do pacote sedimentar (Fig. 30).

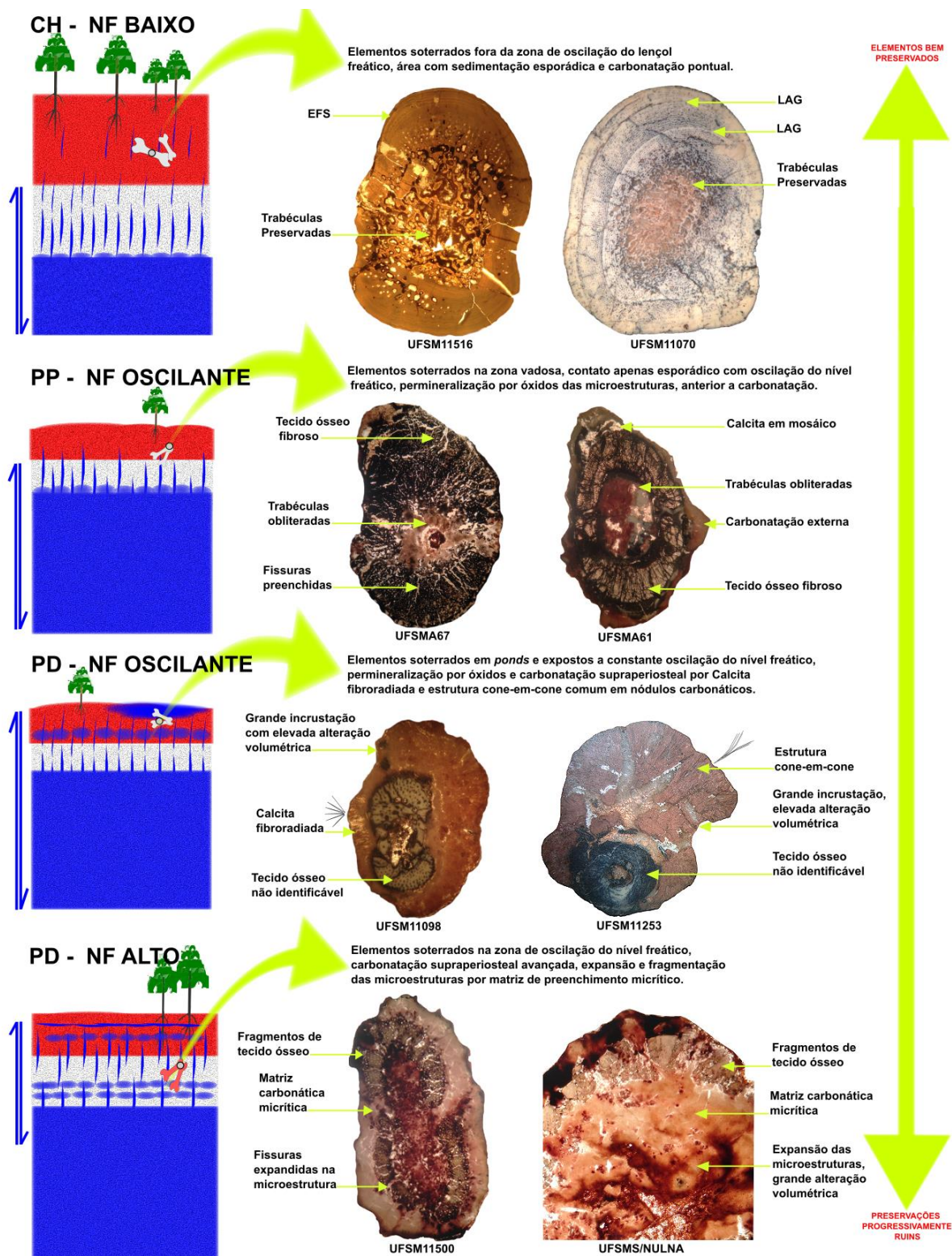
Os ossos soterrados nas porções distais dos afloramentos com nível oscilante, demonstram preservação macroscópica predominantemente Ruim à Muito Ruim, com perióstio “craquelado” flutuando na matriz carbonática ou ausente, distorções volumétricas com torções e/ou compressões. As incrustações superficiais

penetram continuamente nos ossos com deposição de cimento micrítico nas fraturas que progressivamente liquefazem a microestrutura dos ossos obliterando as trabéculas e o osso compacto, o resultado final, são fragmentos ósseos dispersos na microestrutura e a distorção total da forma macroscópica dos ossos que ganham um aspecto nodular.

A assinatura das paleoalterações junto a estes fósseis se expressa com a formação de diferentes tipos de carbonatação, sendo proporcionais as profundidades dentro da planície de inundação. As transformações encontradas nesses níveis resultam num processo completo de *granification* da calcita, com formação micrita primária, posteriormente cimentação espática, precipitação de macrocristais de calcita e recristalização preenchendo fraturas resultantes da oscilação freática.

A identificação das alterações após o soterramento nestes fósseis, indicam modificações diagnósticas de eodiagênese, e, deste modo, é importante salientar que são comuns elementos com sobreposição de modificações pós deposicionais (paleoalterações) que resultam em preservações transitórias resultantes de processos tanto freáticos quanto pedogênicos. Por esse motivo, tais inferências devem ser seguidas pela descrição das paleoalterações desenvolvidas em cada afloramento.

Figura 30 - Esquema ilustrando os tipos de micropreservação ao longo do depósito aluvial. Elementos Bem preservados em área de Depósitos de Canal (CH), onde o nível freático é baixo. E elementos com preservação progressivamente ruins a partir da região de Planície de Inundação Proximal (PP) em direção a Planícies de Inundação Distal (PD), onde o nível freático é alto ou oscilante, e com intensa substituição das estruturas ósseas.



Fonte: o autor (2020)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das descontinuidades do padrão de preservação macro e microscópicos em muitos elementos originários dos afloramentos desta Zona de Associação faunística, nota-se que a utilização da correlação osteohistológica entre espécimes pertencentes ao mesmo recorte temporal pode ser uma ferramenta de extrema relevância no auxílio a identificação de grupos taxonômicos, visto que estes apresentam preservação macroscópica Ruim à Muito Ruim, com distorções severas ou quebras em porções essenciais utilizadas nas análises filogenéticas. Contudo, muitas das vezes, estes elementos possuem informações microestruturais identificáveis devido ao grau de preservação interna com padrão Intermediário à Bom, garantindo assim um acréscimo valioso nas informações sobre o espécime.

Esta técnica comparativa foi utilizada no espécime UFSM11330 (CAMPOS et al., 2017) que é representado apenas por um fragmento aparentemente relacionado a porção distal de um osso longo (provável metatarsal). Através de comparações osteohistológicas foram notadas similaridades com espécimes dinossaurianos basais, estes indivíduos compartilhavam características como osso compacto formado predominantemente por tecido ósseo fibroso. O padrão vascular subplexiforme com anastomoses radiais, ocupando toda a porção perióstica do córtex era bastante similar ao padrão plexiforme do Sauropodomorpha *Mussaurus patagonicus* (CERDA et al., 2013), o que reforçava a ideia que aquele elemento poderia se tratar realmente de um osso de um dinossauro que já alcançava um grande tamanho, quando comparado a outros táxons vivos durante o Triássico.

De maneira análoga, as comparações osteohistológicas puderam ser realizadas no espécime UFSM11326 (CAMPOS et al., em preparação) composto por cinco elementos com dimensões reduzidas e com grau de preservação macroscópico Ruim à Intermediário, apresentando distorções volumétricas aparentes, porém, com um padrão preservacional interno Intermediário, já que apresentava fragmentos corticais dispersos em meio a matriz carbonática micrítica. Este elemento foi comparado com outros indivíduos juvenis triássicos, apresentando maiores similaridades com o Sauropodomorpha *Saturnalia tupiniquim* (STEIN, 2010) um espécime que também apresenta no desenvolvimento inicial osso fibrolamelar (FLB) composto com tecido ósseo fibroso e vascularização reticular interrompida por Linhas

de Pausa de Crescimento (LAG) pouco pronunciadas, precedidas por *annuli* resultantes da desaceleração do crescimento.

Portanto, com base na composição faunística de cada ZA e no posicionamento bioestratigráfico dos sítios fossilíferos estudados, muitos outros trabalhos de correlação taxonômica podem ser desenvolvidos, incluindo não só elementos dinossaurianos, mas fragmentos de rincossauros, cinodontes e aetosauros e.g.,. Esta técnica comparativa, revela imensa relevância nas investigações microestruturais sobre os fósseis triássicos, estes que por muito tempo tiveram informações ocultadas sob formas macroscópicas distorcidas e aparentemente mal preservadas.

7. CONCLUSÕES

A partir das informações elencadas, pôde-se identificar que os elementos ósseos destas duas ZA apresentam cinco categorias preservacionais macro e microscópicas. Com esta classificação, ficou claro que a preservação da microarquitetura óssea interna pode não acompanhar os padrões de distorção, incrustação e destruição revelados externamente na porção suprapariosteal.

O estudo microestrutural destes fósseis aqui analisados, aponta um padrão preservacional ao longo dos depósitos fossilíferos semelhante ao descrito por Da Rosa (2005a) para feições macroscópicas de fósseis triássicos. Os fósseis com bons níveis de preservação interna e externa originam-se em planícies proximais onde o aporte sedimentação é recorrente, nestas áreas, os fósseis concentram menor ocorrência de alterações carbonática. Em contrapartida, os elementos com preservação progressivamente ruins ocorrem em planícies mais distais, nas quais o contato freático contínuo promove a destruição gradual da arquitetura interna dos fósseis. Nestas porções dos depósitos aluviais, processos de oxidação, fraturação/preenchimento e carbonatação são as paleoalterações mais comuns, estas se expressam também sobre a microestrutura óssea e são determinantes na conservação interna.

Dentre os minerais participantes destas alterações fossilidiagnéticas estão principalmente a Calcita, Quarto, Feldpatos. As análises mineralógicas e de DRX indicaram a Calcita como mineral substituinte principal na maioria dos fósseis encontrados nas Zonas de Associação de *Hyperodapedon* e *Dinodontosaurus*, revelando que as condições ao longo do Triássico Médio/Superior nestes afloramentos foram de predominância à progressiva carbonatação (*granification*) das microestruturas por oscilação freática nas planícies intermediárias e distais com valores de pH neutros à alcalinos, e precipitação esporádica de Sílica na forma de Quartzo em momentos de pH ácido.

A correlação entre as informações sobre paleoalterações e preservação microestrutural dos fósseis triássicos tornou possível a partir deste trabalho a elaboração de um modelo de assinatura fossilidiagnética para cada elemento analisado, possibilitando a identificação do contexto estratigráfico e da porção ao longo do depósito aluvial em que os elementos foram sepultados.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, F.; RIBEIRO, A.M.; SCHULTZ, C.L. A rich cynodont fauna of Santa Cruz do Sul, Santa Maria Formation (Middle-Late Triassic), Southern Brazil. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie**, Monatshefte, 2001:669-687. 2001.
- AMPRINO, R. La structure du tissue osseux envisage comme expression de differences dans la vitesse de l'accroissement. **Archives de Biologie**, v. 58, p. 315-330, 1947.
- ANDREIS, R. R.; BOSSI, G. E. E; MONTARDO, D. K. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul - Brasil. **31º Congresso Brasileiro de Geologia** (Camboriú), Anais v. 2, p. 659-673, 1980.
- BARBERENA, M. C. Bioestratigrafia Preliminar da Formação Santa Maria. **Pesquisas**, v.7, p. 111-119, 1977.
- BARBERENA, M.C.; ARAÚJO, D.C.; LAVINA, E.L., AZEVEDO, S.K. O estado atual do conhecimento sobre os tetrápodes permianos e triássicos do Brasil meridional. **Coletânea de Trabalhos Paleontológicos, série Geologia**. Brasília DNPM, v.27, n. 2: 21-28. 1985.
- BERTONI-MACHADO, C., SOARES, M.B., KISLOWSKI, F.F., DENTZIEN-DIAS, P.C. Uma Peculiar Tafocenose Controlada por Ação Biogênica no Triassico Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Pesquisa em Geociências**, 35 (1): 57-69. 2008.
- BONAPARTE, J. F.; VINCE, M. El hallazgo del primer nido de dinosaurios triásicos (Saurischia, Prosauropoda). Triásico Superior de Patagonia. Argentina. **Ameghiniana**, v.16, p.173-182, 1979.
- BLANCO, J.A. Los procesos de alteración em lãs cuencas terciárias meseteñas. In: Blanco, J.A.; Molina, E. & Martin-Serrano, A. (coords.), Alteraciones y Paleoalteraciones en la Morfologia Del Oeste Peninsular. Instituto Tecnológico Geominero de Espana – Sociedade Española de Geomorfología, **Monografia** n. 6, Salamanca, p. 45-67. 1991.
- BOTHA-BRINK, J.; ANGIELCZYK, K. D. Do extraordinarily high growth rates in Permo-Triassic dicynodonts (Therapsida, Anomodontia) explain their success before and after the end-Permian extinction? **Zoological Journal of the Linnean Society**, 160, 341-365. 2010.
- BOTHA, J.; CHINSAMY, A. Growth and life habits of the Triassic cynodont *Trirachodon*, inferred from bone histology. **Acta Palaeontologica Polonica**, 49 (4): 619-627. 2004.
- BOWEN, G.J.; BLOCH, J.I. Petrography and geochemistry of floodplain limestones from the Clarks Fork Basin, Wyoming, U.S.A.: carbonate deposition and fossil accumulation on a Paleocene-Eocene floodplain. **Journal of Sedimentary Research**, 72(1):46-58. 2002.

CABREIRA, S. F.; SCHULTZ, C. L.; BITTENCOURT, J. S.; SOARES, M. B.; FORTIER, D. C.; SILVA, L. R.; LANGER, M. C. New stem-sauropodomorph (Dinosauria, Saurischia) from the Triassic of Brazil, **Naturwissenschaften**, v. 98, p. 1035–1040, 2011.

CAETANO, M. H. Use and results of skeletochronology in some urodeles (*Triturus marmoratus*, Latreille 1800 and *Triturus boscai*, Lataste 1879). **Annales des Sciences Naturelles, Zoologie**, v. 11, p. 197-199, 1999.

CAMPOS, L. S.; ARAUJO, E. V.; LEAL, L. A.; Da ROSA, A.A.S.; SAYAO, J. M. A histologia óssea como ferramenta para caracterização de um novo saurischia basal do Triássico sulbrasileiro, **Anais Congresso Brasileiro de Paleontologia**, Ribeirão Preto – SP. 2017.

CAMPOS, L. S.; ARAUJO, E. V.; LEAL, L. A.; Da ROSA, A.A.S.; SAYAO, J. M. Desenvolvimento osteohistológico de *Hyperodapedon* sp. (Rhynchosauria) do Triássico Médio da Supersequência Santa Maria. **Anais Congresso Brasileiro de Paleontologia**, Ribeirão Preto – SP, 2017.

CAMPOS, L. S.; SAYAO, J. M.; LEAL, DA ROSA, A. A. S. A new tiny basal Sauropodomorpha (Dinosauria - Saurischia) from the Santa Maria Supersequence, Upper Triassic of southern Brazil. (Em preparação).

CASTANET, J.; SMIRINA, E. Introduction to the skeletochronological method in amphibians and reptiles. In: Annales des sciences naturelles. **Zoologie et Biologie Animale**. Elsevier, p. 191-196, 1990.

CASTANET, J.; FRANCILLON-VIEILLOT, H.; MEUNIER, F.J.; RICQLÈS, A. DE. Bone and individual aging. In: Hall, B.K. (Ed.), Bone. Volume 7: **Bone Growth — B**. CRC Press, Boca Raton, p. 245–283, 1993.

CASTANET, J. Age estimation and longevity in reptiles. **Gerontology**, v. 40, p. 174 – 192, 1994.

CERDA, I. A.; POL, D.; CHINSAMY, A. Osteohistological insight into the early stages of growth in *Mussaurus patagonicus* (Dinosauria, Sauropodomorpha). **Historical Biology**, v. 26, n. 1, p. 110-121, 2013.

CHINSAMY, A. Bone histology and growth trajectory of the prosauropod dinosaur *Massospondylus carinatus* (Owen). **Mod. Geol.** v. 18, p. 319–329, 1993.
CHINSAMY, Anusuya. Assessing the biology of fossil vertebrates through bone histology. 1997.

CHINSAMY, A. The microestructure of dinosaur bone. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press, p 195, 2005.

CHINSAMY, A; RAATH, M. A. Preparation of fossil bone for histological examination. 1992.

CHINSAMY, A.; CODORNIÚ, L.; CHIAPPE, L. Palaeobiological implications of the bone histology of *Pterodaustro guinazui*. **The Anatomical Record**, v. 292, n. 9, p. 1462-1477, 2009.

CHINSAMY, A.; CHIAPPE, L. M.; DODSON, P. Growth rings in Mesozoic birds. **Nature**, v. 368, p. 196-197, 1994.

COPE, E. D. On the origin of genera. Merrihew & Son, **Printers**, 1869.

CONKLIN, J. L.; ENLOW, D. H.; BANG, S. Methods for the demonstration of lipid applied to compact bone. **Stain technology**, v. 40, n. 4, p. 183-191, 1965.

CPRM. Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações, Coordenação FEITOSA, F. A.C. e MANOEL FILHO, J. Laboratório de Hidrogeologia da UFPE, Fortaleza; CPRM, p 412. 1997.

CURREY, J. D. Differences in the blood-supply of bone of different histological types. **Quarterly Journal of Microscopical Science**, v. 3, n. 55, p. 351-370, 1960. CURREY, J. D. The histology of the bone of a prosauropod dinosaur. **Paleontology**, v. 5, p. 238-246, 1962.

CURREY, J. D. **Bones: structure and mechanics**. Princeton University Press, Princeton, N. J. p 436. 2002.

DA ROSA, A. A. S.; PIMENTEL, N. L. V.; FACCINI, U. F. Paleoalterações e carbonatos em depósitos aluviais na região de Santa Maria, Triássico Médio a Superior do Sul do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 31(1), p. 3-16, 2004a.

DA ROSA, A. A. S.; SCHWANKE, C.; CISNEROS, J.C.; WITECK NETO, L.; AURÉLIO, P.L.P.; POITEVIN, M. Sítio Cortado - Uma nova assembléia fossilífera para o Triássico Médio do sul do Brasil. In: **Revista Brasileira de Paleontologia**. v.7, 289-300. 2004b.

DA ROSA, A. A. S. Paleoalterações em depósitos sedimentares de planícies aluviais do Triássico Médio a Superior do sul do Brasil: caracterização, análise estratigráfica e preservação fossilífera. **Tese de Doutorado**, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil, p. 211, 2005a.

DA ROSA, A. A. S.; SCHWANKE, C.; AURÉLIO, P.L.P.; POITEVIN, M.; WITECK NETO, L. Sítio Linha Várzea - uma nova assembléia fossilífera do Triássico Médio do sul do Brasil. In: **Geociências** (São Paulo). v.24, 115-129. 2005b.

DA ROSA, A. A. S.; FACCINI, U.F. Delimitação de Blocos Estruturais de Diferentes Escalas em Sequências Mezósoicas do Estado do Rio Grande do Sul: Implicações Bioestratigráficas. **Gaia**, 1, 16 e 23. 2005c.

DA ROSA, A. A. S.; Schwanke, C.; Witeck Neto, L.; Aurélio, P.L.P. "Sítio Picada do Gama": a new fossiliferous locality for the Middle Triassic of southern Brazil. In: **Boletim de Resumos II Congresso Latino-Americano de Paleontologia de Vertebrados**. Rio de Janeiro, 91-92. 2005d.

DE ROS, L.F. Petrologia e características de reservatório da Formação Sergi (Jurássico) no Campo de Sesmaria, bacia do Recôncavo, Brasil. Ouro Preto, UFOP. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Ouro Preto, 1986.

ELLIOTT, J. C.; HOLCOMB, D. W.; YOUNG, R. A. Infrared determination of the degree of substitution of hydroxyl by carbonate ions in human dental enamel. **Calcified Tissue International**, v. 37, p.372-375. 1985.

ENLOW, D. H. The bone of Reptiles. In: Gans, C. (Ed.) **Biology of the Reptilia**, Academic Press, London, p. 45-80, 1969.

ENLOW, D. H. **Principles of bone remodeling**. Thomas, C. C. (Ed). Springfield, Illinois. 1963.

ENLOW, D. H.; BROWN, S. O. A comparative histological study of fossil and recent bone tissues. Part I. **Texas Journal of Science**, v. 8, p.403-443, 1950.

_____; BROWN, Sidney O. A comparative histological study of fossil and recent bone tissues. Part II. **Texas Journal of Science**, v. 9, n. 2, p. 186-204, 1957.

ERICKSON, G. M.; TUMANOVA, T. A. Growth curve of *Psittacosaurus mongoliensis* Osborn (Ceratopsia: Psittacosauridae) inferred from long bone histology. **Zoological Journal of the Linnean Society**. v. 130, p. 551-566, 2000.

FACCINI, U. F. O Permo -Triássico do Rio Grande do Sul. Uma análise sob o ponto de vista das sequências deposicionais. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, Brasil, p. 121, 1989.

FACCINI, U. F. Estratigrafia do Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: Estilos Depositionais versus Espaço de Acomodação. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, p. 297. 2vol. 2000.

FACCINI, U. F.; GIARDIN, A.; MACHADO, J. L. F. Heterogeneidades litofaciológicas e hidroestratigrafia do Sistema Aquífero Guarani na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Paim, P.S.G.; Faccini, U.F. & Netto, R.G. (eds.), Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares – estudos de casos. Edição PPGeo-UNISINOS – Editora Unisinos, p. 147-173. 2003.

FRANCILLON-VIEILLOT, H.; BUFFRÉNIL, V. DE.; CASTANET, J.; GERANDIE, J.; MEUNIER, F. J.; SIRE, J. Y.; ZYLBERBERG, L. L.; DE RICQLÈS, A. J. Microstructure and mineralization of vertebrate skeletal tissues. In: CARTER, J. G. (Ed). **Skeletal biomineralization: Patterns, process and evolutionary trends**. New York: Van Nostrand Reinhold, p. 471-530. 1990.

GALLEGO, O. Revisión de algunos conchostracos de la Formación Santa Maria (Triásico Médio) de Rio Grande do Sul (Brasil). **Acta Geologica Leopoldensia**, 19(43):59-76. 1996.

GARRELS, R. M.; CHRIST, C.L. *Solutions Minerals and Equilibria*. New York, Harper & Row, 450 p. 1965.

GAMA JR.; ERCÍLIO, G. Contribuição ao estudo da ressedimentação no Subgrupo Itararé: tratos de fácies e hidrodinâmica deposicional. **Brazilian Journal of Geology**, v. 22, n. 2, p. 228-236, 1992.

GORDON Jr, M. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. **DNPM-DGM**, Rio de Janeiro." *Not. Prel. Est* 38 (1947): 20. 1947.

GREEN, J. L.; SCHWEITZER, M. H.; LAMM, E. Limb Bone Histology and Growth in *Placerias hesternus* (Therapsida: Anomodontia) from the Upper Triassic of North America. **Palaeontology**, vol. 53, part 2, pp. 347-364. 2010.

GROSS, W. Die typen des mikroskopischen Knochenbaues bei fossilen Stegocephalen und reptilien. **Zeitschrift fur Anatomie und Entwicklungsgeschichte**, v. 203, p. 731-764, 1934.

GRYGAR, T.; DĚDECĚK, J.; KRUIVER, P.P.; DEKKERS, M.J.; BEZDIČKA, P.; SCHNEEWEISS, O. Iron oxide mineralogy in late Miocene red beds from La Gloria, Spain: rock-magnetic, voltammetric and Vis spectroscopy analyses. **Catena**, **53** (2003):115–132. 2003.

HEDGES, R. E. M.; MILLARD, A. R., Bones and groundwater: Towards the modeling of diagenetic process. **Journal of Acheaological Science**, v. 22, p. 155-164. 1995.
HEM, J. D. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, **USGS**. 22. 54. 1985.

HESSE, R. Silica diagenesis: origin of inorganic and replacement cherts. **Earth-Science Reviews**, 1989, 26.1-3: 253-284. 1989.

HOLZ, M.; BARBERENA, M. C. Taphonomy of the south Brazilian Triassic paleoherpetofauna: pattern of death, transport and burial. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 107:179-197. 1994.

HOLZ, M.; SCHULTZ, C. L. Taphonomy of the south Brazilian Triassic herpetofauna: fossilization mode and implications for morphological studies. **Lethaia**, v. 31, p. 335-345, 1998.

HOLZ, M.; SOUTO-RIBEIRO, A. Taphonomy of the south-Brazilian Triassic vertebrates. **Revista Brasileira de Geociências**, 30 (3):487-490. 2000.

HORN, B. L. D. A fossildiagênese do pacote Meso-Neotriássico do RS. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS – BR. 2013.

HORN, B. L. D.; MELO, T. M.; SCHULTZ, C. L.; PHILIPP, R. P.; KLOSS, H. P.; GOLDBERG, K. A new third-order sequence stratigraphic framework applied to the Triassic of the Paraná Basin, Rio Grande do Sul, Brazil, based on structural,

stratigraphic and paleontological data. **Journal of South American Earth Sciences**, 55: 123-132. 2014.

HORNER, J.; MAKELA, R. Nest of juveniles provides evidence of family structure among dinosaur. **Nature**, v. 282, p. 296-298, 1979.

_____; GORMAN, J. Digging Dinosaur. New York: Workman. p. 210, 1988.

_____; RICQLÈS, A. J. DE; PADIAN, K. Variation in dinosaur skeletochronology indicators: implications for age assessment and physiology. **Paleobiology**, v. 25, n. 03, p. 295-304, 1990.

_____; RICQLÈS, A. J. DE; PADIAN, K. The bone histology of the hadrosaurid dinosaur *Maiaasaura peeblesorum*: growth dynamics and physiology based on an ontogenetic series of skeletal elements. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 20, p. 15-129, 2000.

HUENE, F. Die fossilen Reptilien des Sudamerikanischen Gondwanalandes. Ergebnisse der Sauriergrabungen in Sudbrasilien 1928-29. **Leiferung 2**. Tubingen: Verlag Franz F. Heine, p, 93-159. 1936.

HUENE, F. V.; STAHLCKER, R. Observações geológicas no Rio Grande do Sul. Trad. R. Beltrão. **Bol. Inst. Ciên. Nat. UFSM**, 3:1-108. 1968.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. Histologia Básica: texto & atlas. São Paulo: São Paulo, 10ªed., p 554. 2004.

KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à geoquímica**. Ed. da USP. 1972.

LANGER, M. C.; RIBEIRO, A. M.; SCHULTZ, C. L.; FERIGOLO, J. The continental tetrapod-bearing Triassic of south Brazil. **Bulletin of the New Mexico Museum History and Science**. v. 41, p. 201-218, 2007.

LANGER, M. C.; RAMEZANI, J.; DA ROSA, A. A. S. U-Pb age constraints on dinosaur rise from south Brazil. **Gondwana Research**. v. 57: 133-140. 2018.

LEGEROS, R.; LEGEROS, J. P. Phosphate minerals in human tissues. In: NRIAGU, J.O.; MOORE, P. B. (Ed.) **Phosphate Minerals**. Springer Verlag. p. 351-385. 1984.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista eletrônica de Materiais e Processos**, 8.3: p.110-117. 2013.

LUCAS, S. G.; HECKERT, A. B. The *Hyperodapedon* Biochron, Late Triassic of Pangea. **Albertiana**, v. 27, p. 30-38. 2002.

MACHADO, J. L. F. A redescoberta do Aquífero Guaraní. In: **Scientific American Brasil**. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/a_redescoberta_do_aquifero_guarani.html. Acessado em: 12 de jan. 2017.

MARGERIE, E. DE.; CUBO, J.; CASTANET, J. Bone typology and growth rate: testing and quantifying Amprino's rule in the mallard (*Anas platyrhynchos*). **Acad. Sci. Paris Biol.** v. 325, p. 221–230, 2002.

MARTINELLI, A. G.; KAMMERER, C. F.; MELO, T. P.; PAES NETO, V. D.; RIBEIRO, A. M.; DA ROSA, Á. A. S. The African cynodont *Aleodon* (Cynodontia, Probainognathia) in the Triassic of southern Brazil and its biostratigraphic significance. **PLoS ONE** 12(6): e0177948. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177948>. 2017.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. v. 8, p. 69-82, 1994.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; MEDEIROS, R. A. Roteiros geológicos. Rochas geradoras e rochas reservatório da Bacia do Paraná, faixa oriental de afloramentos, Estado do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 135-62. 2007.

NOPCSA, F. V.; HEIDSIECK, E. On the bone histology of the ribs in immature and half-grown tracodont dinosaur. In: **Proceedings of the Zoological Society of London**, v. 12, p. 221-226, 1993.

NRIAGU, JEROME O. Stability of vivianite and ion-pair formation in the system $Fe_3(PO_4)_2-H_3PO_4-H_2O$. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. 36.4: 459-470. 1972.

O'SULLIVAN, R. B. Correlation of Jurassic San Rafael Group and related rocks from Blanding, Utah, to Dove Creek, Colorado. Mapa do USGS, disponível em: <http://greenwood.cr.usgs.gov>. 1999.

OWEN, R. Odontography or a Treatise on the Comparative Anatomy of the Teeth, Their Physiological Relations, Mode of Development, and Microscopic Structure, in **the Vertebrate Animals: Text**. Bailliere, 1845.

PADIAN, K.; RICQLES, A. D.; HORNER, J. R., Dinosaurian growth rates and bird origins. **Nature**. v. 412, p. 405-408, 2001.

PADIAN, K.; LAMM, E., Bone Histology of Fossil Tetrapods: advancing methods, analysis, and Interpretation. **University of California Press**, pp. 185, 2013.

PHILIPP, R. P.; SCHULTZ, C. L.; KLOSS, H. P.; HORN, B. L.; SOARES, M. B.; BASEI, M. A. Middle Triassic SW Gondwana paleogeography and sedimentary dispersal revealed by integration of stratigraphy and U-Pb zircon analysis: The Santa Cruz Sequence, Paraná Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 88, 216-237. 2018.

PIERINI, C.; MIZUSAKI, A. M.; PIMENTEL, N.; FACCINI, U. F.; SCHERER, C. M. Paleoweathering features in the Sergi Formation (Jurassic-Cretaceous), northeastern Brazil, and implications for hydrocarbon exploration. **Journal of South American Earth Sciences**, 29(2), 412-426. 2010.

PIMENTEL, N. L.; WRIGHT, V. P.; AZEVÊDO, T. M. Distinguishing early groundwater alteration effects from pedogenesis in ancient alluvial basins, examples from the Palaeogene of southern Portugal. **Sedim. Geology** 105, p.1-10. 1996.

PIMENTEL, N. L. Paleosolos em sistemas aluviais – uma ferramenta para a interpretação da dinâmica deposicional. Programa de Pós-Graduação em Geologia – UNISINOS, **Apostila de Curso**, datilografado, p. 61 2001.

PIMENTEL, N. L. Pedogenic and early diagenetic processes in alluvial fan and lacustrine deposits from the Sado Basin (S Portugal). **Sedimentary Geology**, 148 (1-2):123-138. 2002.

PURVIS, K.; WRIGHT, V.P. Calcretes related to phreatophytic vegetation from the Middle Triassic Otter Sandstone of South West England. **Sedimentology**, 38:539-551. 1991.

QUEKETT, J. T. Descriptive and illustrated catalogue of the histological series contained in the Museum of the Royal College of Surgeons of England. London. v. 2, p. 320, 1855.

RAY, S. B. J.; CHINSAMY, A. Bone histology of the growth patterns of some non-mamalian therapsids. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 24, p. 634-648, 2004.

RAY, S.; CHINSAMY, A. *Diictodon feliceps* (Therapsida, Dicynodontia): bone histology, growth, and biomechanics. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 24, n. 1, p. 180-194. 2004.

_____; MUKHERJEE, D.; BANDYOPADHYAY, S. Growth patterns of fossil vertebrates as deduced from bone microstructure: case studies from India. **Journal of Bioscience**, 34, 661-672. 2009.

RAY, S.; BANDYOPADHYAY, S.; APPANA, R. Bone Histology of a Kannemeyeriid Dicynodont *Wadiasaurus*: Paleobiological Implications. chapter 5: **New Aspects of Mesozoic Biodiversity**, 73, S. Bandyopadhyay (ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010.

REID, R. E. H. Lamellar-zonal bone with zones and annuli in the pelvis of a sauropod dinosaur. **Nature**, v. 292, p. 49-51, 1981.

_____. The histology of dinosaur bone, and its possible bearing on Dinosaurian physiology. In: FERGUSON, M. W. J. (Ed.). **Structure, Development and Evolution of Reptiles**. Academic Press, London. p. 629-663, 1984a.

_____. Primary bone and dinosaurian physiology. **Geological Magazine**. v. 121, p. 585-598, 1984b.

_____. Bone and dinosaurian "endothermy". **Modern Geology**. v. 11, p. 133-154, 1987.

_____. Dinosaurian physiology: the case for "intermediate" dinosaurs. In: FARLOW J. O.; BRETT-SUR-MAN, M. (Ed.). **The complete dinosaur**, Indiana University Press, Bloomington. p. 449-473, 1997a.

REICHEL, M.; SCHULTZ, C.L.; PEREIRA, V.P. Diagenetic pattern of the vertebrate fossils from the Traversodontid Biozone, Santa Maria Formation (middle Triassic of Rio Grande do Sul, southern Brazil). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v.8, n.3, p. 173-180. 2005.

RETALLACK, G. J. Soils of the Past – An Introduction to Paleopedology. **Blackwell Science**, 2 Edition, 404 p. 2001.

RETALLACK, G. J. Permian and Triassic greenhouse crises. **Gondwana Research**. 24.1: 90-103. 2013.

RICQLÈS, A. J. DE. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes I. - Origine du tissu osseux plexiforme des dinosauriens sauropodes. **Annales de Paléontologie**, v. 54, p. 133-145, 1968.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes II. - Quelques observations sur la structure des os longs des thériodontes. **Annales de Paléontologie**, v. 55, p. 3-52, 1969.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes III. - Titanosuchiens dinocéphales et dicynodontes. **Annales de Paléontologie**, v. 58, p. 17-60, 1972.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes V. Cotylosaures et méso-saures. **Annales de Paléontologie**. v. 60, p. 171-216, 1974b.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes. Sur la classification, la signification fonctionnelle et l'histoire des tissus osseux des tétrapodes. Première partie, structure. **Annales de Paléontologie**. v. 61, p. 51-129, 1975.

_____. On bone histology of fossil and living reptiles, with comments on its functional and evolutionary significance. in: BELLAIRS, A. D'A.; COX, C. B. (Ed.) **Morphology and Biology of Reptiles**. Academic Press: London, p. 123-150, 1976b.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes VII. - Sur la classification, la signification fonctionnelle et l'histoire des tissus osseux des tétrapodes. Deuxième partie, fonctions, suite. **Annales de Paléontologie**. v. 63, p. 33-56, 1977a.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes VII. - Sur la classification, la signification fonctionnelle et l'histoire des tissus osseux des tétrapodes. Deuxième partie, fonctions, fin. **Annales de Paléontologie**. v. 63, p. 133-160, 1977b.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes VII. - Sur la classification, la signification fonctionnelle et l'histoire des tissus osseux des tétrapodes. Troisième partie, évolution. **Annales de Paléontologie**. v. 64, p. 85-111, 1978a.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes VII. - Sur la classification, la signification fonctionnelle et l'histoire des tissus osseux des tétrapodes. Troisième partie, évolution fin. **Annales de Paléontologie**. v. 64, p. 153-184, 1978b.

_____. Recherches paléohistologiques sur les os longs des tétrapodes VI. Stégocephales. **Annales de Paléontologie**, v. 67, p. 141-160, 1981.

_____. Cyclical Growth in the long limb bones of a sauropod dinosaur. **Acta Palaeontologia Polonica**, v. 28, n. 225-232, 1983.

RICQLÈS, A. DE.; MEUNIER, F. J.; CASTANET, J.; FRANCILLON-VIEILLOT, H. Comparative microstructure of bone. In: Hall, B.K. (Ed.), Bone. **Bone Matrix and Bone Specific Products**. CRC Press, Boca Raton, FL, v. 3, p. 1-78, 1991.

RIMBLOT-BALY, F.; RICQLÈS, A. DE.; ZYLBERBERG, L. Analyse paleohistologique d'une serie de croissance partielle chez *Lapparentosaurus madagascariensis* (Jurassique moyen): Essai sur la dynamique de croissance d'un dinosaure sauropode. **Ann. Paleontol. (Invertebr.-Vertebr.)** v. 81, p. 49-86, 1995.

RUTHERFORD, G. K. Pedogenesis of two ultisols (red earth soils) on granite in Belize, Central America. **Geoderma**, 40:225-236. 1987.

SANDER, P. M. Long bone histology of the Tendaguru sauropods: implications for growth and biology. **Paleobiology**, v. 26, p. 466-488. 2000.

SHELLNHUBER, H. J. Earth system analysis and the second copernican revolution. **Nature**, v. 402, p. 19-23, 1999.

SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F.; BARBERENA, M. C.; SCHULTZ, C. L.; LAVINA, E. L. Bioestratigrafia da Formação Santa Maria: utilização das cenozonas como horizontes de correlação. Comunicações do Museum de Ciências e Tecnologia UBEA/PUCRS. **Série Ciências da Terra**, v. 1, p. 43-50, 1995.

SCHERER, C. M. S.; FACCINI, U. F.; LAVINA, E. L. Arcabouço estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. Em: M. Holz e L.F. De Ros (eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**, CIGO/UFRGS. Porto Alegre, p. 335-354, 2000.

SCHULTZ, C.L.; SCHERER, C.M.S.; BARBERENA, M. C. Uma nova proposta de zoneamento bioestratigráfico para o Triássico Superior Sul-Riograndense. In: **Anais do CONGR. BRAS. GEOL.**, 38, Balneário de Camboriú, 1994. Balneário de Camboriú, SBG, v.1, p.107-108. 1994.

SCHULTZ, C. L. Subdivisão do Triássico do Rio Grande do Sul com base em microfósseis: problemas e perspectivas. *Comum. Mus. Ciên. Tecnol. UBEA/PUCRS, Série Ciên. Terra*, 1:25-32. 1995.

SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S.; BARBERENA, M. C. Biostratigraphy of Southern Brazilian Middle-Upper Triassic. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 30, p. 495-498, 2000.

SCHULTZ, C. L.; LANGER, M. C. Tetrápodes Triássicos do Rio Grande do Sul. In: CARVALHO, I. S. (Ed.) **Paleontologia: Cenários de Vida**. V.1, p. 269-285. 2007.

SEITZ, A. L. Vergleichenden Studien über den mikroskopischen Knochenbau fossiler und rezenter Reptilien. **Nova Acta**. Abhandlungen der Kaiserlichen Leopold-Carolignischen Deutschen Akademie der Naturforscher. v. 37, p. 230-370, 1907.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Estudos dos Processos de Silicificação e Calcificação em Rochas Sedimentares Mesozóicas do Estado do Rio Grande do Sul. **Tese de Doutorado**, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Rio Grande do Sul, Brasil, 2 vol. 1997.

SOARES, M. B.; SCHULTZ, C. L.; HORN, B. L. D. New Information on *Riograndia guaibensis* Bonaparte, Ferigolo & Ribeiro, 2001 (Eucynodontia, Trithelodontidae) from the Late Triassic of Southern Brazil: Anatomical and Biostratigraphic Implications. *An. Acad. Bras. Ciências*, v. 83 (1), p. 329-354, 2011.

STEIN, K. H. W. Long bone histology of basalmost and derived Sauropodomorpha: the convergence of fibrolamellar bone and the evolution of giantism and nanism. **Tese de Doutorado**, Universidade de Bonn, Antuérpia - Bélgica, pp. 213, 2010.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. Editora Blucher, 2003.

TOLEDO, M. C. M.; PEREIRA, V. P. A variabilidade de composição da apatita associada a carbonatitos. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 22, n. 1 p. 27-64. 2001.

VEIGA, F.; SOARES, M.; SAYÃO, J. Osteohistology of hyperodapedontine rhynchosaurs (Diapsida, Archosauromorpha) from the Upper Triassic of Southern Brazil. **Acta Palaeontologica Polonica**. v. 60, p. 829-836, 2014.

VEIZER, J; GODDERIS, Y; FRANÇOIS, L. M. Evidence for decoupling of atmospheric CO₂ and global climate during the Phanerozoic eon. **Nature**. 408.6813: 698-701. 2000.

WATTS, N. L. Quaternary pedogenetic calcretes from the Kalahari, mineralogy, genesis and diagenesis. **Sedimentology**, 27, 661-687. 1980.

WHITE. D. Fossil flora of the coal measures of Brazil. **Imprensa Nacional**, 1908.

WEBSTER, J.; LANE, V.; HOWARTH, R.; SWEDLUND, P.; SAUL, D. Factors Influencing the Precipitation of Sulphate-rich Iron Oxides, and Their Ability to Adsorb

Trace Metals. In: Goldschmidt 2000, September 3rd–8th, 2000, Oxford, UK, Journal of Conference Abstracts, Volume 5(2): 1073.

WILLIAMS, C. A.; KRAUSE, F. F. Pedogenic-phreatic carbonates on a Middle Devonian (Givetian) terrigenous alluvial-deltaic plain, Gilwood Member (Watt Mountain formation), northcentral Alberta, Canada. **Sedimentology**, **45**:1105-1124. 1998.

WILSON J. A. Vertebral laminae in sauropods and other saurischian dinosaurs. **Journal of Vertebrate Paleontology**, v. 19, p. 639-653, 1999.

WILSON J. A.; D'EMIC M. D.; IKEJIRI, T.; MOACDIEH E. M.; WHITLOCK J. A. A nomenclature for vertebral fossae in sauropods and other saurischian dinosaurs. **PLoS ONE** v. 6, p. 17-25, 2011.

WRIGHT, V. P., Paleosol recognition. In: Allen, J.R.L. & Wright, V.P. (eds.), Paleosols in siliciclastic sequences. P.R.I.S. Short-courses 1, Univ. of Reading, p. 1-15. 1989.

WRIGHT, V. P. Losses and gains in weathering profiles and duripans. In: A. Parker and B.W. Sellwood (eds.), Quantitative Diagenesis – Recent Developments and Applications to Reservoir Geology, Kluwer Academic Imbl, Dordrecht, p. 95-123. 1995.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, G. A. Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia, G.P. & Milani, E.J. (coords.) 1991. **Origem e evolução das Bacias Sedimentares**. Cenpes-Petrobrás, 2^a edição, p. 135-168, 1990.

ZERFASS, H. Estratigrafia da Sedimentação Meso e Neotriássica no Município de São Pedro do Sul, RS: Faciologia, Análise de Proveniência e História Diagenética. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Geologia, Centro de Ciências Exatas/Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, p. 177 1998.

ZERFASS, H.; LAVINA, E. L.; SCHULTZ, C. L.; GARCIA, A. G. V.; FACCINI, U. F.; CHEMALE JR. F. Sequence stratigraphy of continental Triassic strata of southernmost Brazil: a contribution to Southwestern Gondwana palaeogeography and palaeoclimate. **Sedimentary Geology**. v. 161: p. 85-105, 2003.

APÊNDICE A - FICHAS DE IDENTIFICAÇÃO MACROSCÓPICA
Espécimes Pertencentes a Zona de Associação de *Hyperodapedon*

Ficha 1. UFSM 11070

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Rhynchosauria
Espécime - UFSM 11070
Elemento - Úmero
Procedência - Faixa Nova
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Proximal - PP
Nível Superior- NS
Preservação Macro - Boa
Preservação Micro - Muito Boa



Ficha 2. UFSM 11074

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Rhynchosauria
Espécime - UFSM 11074
Elemento - Distal de Tíbia
Procedência - Faixa Nova
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Proximal - PP
Nível Superior- NS
Preservação Macro - Intermediária
Preservação Micro - Boa

Ficha 3. UFSM 11116

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Rhynchosauria
Espécime - UFSM 11116
Elemento - Costela, distal de Úmero
Procedência - Vila Kennedy
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Distal - PD
Nível Inferior- NI
Preservação Macro - Muito Ruim
Preservação Micro - Muito Ruim



Ficha 4. UFSM 11240

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Rhynchosauria
Espécime - UFSM 11240
Elemento - Úmero
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Proximal - PP
Nível Superior- NS
Preservação Macro - Inter - Ruim
Preservação Micro - Intermediária

4cm

Ficha 5. UFSM 11319

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Rhynchosauria
Espécime - UFSM 11319
Elemento - Ulna, Costela
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Proximal - PP
Nível Superior - NS
Preservação Macro - Intermediário
Preservação Micro - Boa



Ficha 6. UFSM 11330

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Herrerasauridae
Espécime - UFSM 11330
Elemento - Metatarsal
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Proximal - PP
Nível Superior - NS
Preservação Macro - Boa
Preservação Micro - Boa



Ficha 7. UFSM 11505

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Stagonolepidae

Espécime - UFSM 11505

Elemento - Costela

Procedência - Faixa Nova, Cerrito I

ZA - *Hyperodapedon*

Planície Distal - PP

Nível Inferior- NS

Preservação Macro - Boa

Preservação Micro - Intermediária

Ficha 8. UFSM 11514

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Reptília
Espécime - UFSM 11514
Elemento - Costela
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Muito Ruim
Preservação Micro - Muito Ruim



Ficha 9. UFSM 11517

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Reptília
Espécime - UFSM 11517
Elemento - Rádio
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Intermediária
Preservação Micro - Boa

Ficha 10. UFSM 11518

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos

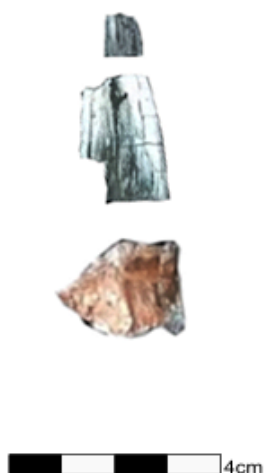


Táxon - Reptília
Espécime - UFSM 11518
Elemento - Úmero
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Muito Ruim
Preservação Micro - Muito Ruim



Ficha 11. UFSM A75

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Reptília
Espécime - UFSM A75
Elemento - Frag. de Costela
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Distal - PD
Nível Inferior- NS
Preservação Macro - Intermediária
Preservação Micro - Boa

Ficha 12. UFSM Distal de Úmero

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Reptília

Espécime - UFSM S/N

Elemento - Distal de Úmero

Procedência - Cerro do Alemoa

ZA - *Hyperodapedon*

Planície Distal - PD

Nível Inferior - NI

Preservação Macro - Muito Ruim

Preservação Micro - Muito Ruim

Ficha 13. UFSM Falange

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Reptília

Espécime - UFSM S/N

Elemento - Falange

Procedência - Cerro do Alemoa

ZA - *Hyperodapedon*

Planície Distal - PD

Nível Inferior - NI

Preservação Macro - Muito Ruim

Preservação Micro - Muito Ruim

Ficha 14. UFSM Distal de Ulna

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



4cm

Táxon - Reptília

Espécime - UFSM S/N

Elemento - Distal de Ulna

Procedência - Cerro do Alemoa

ZA - *Hyperodapedon*

Planície Distal - PD

Nível Inferior - NI

Preservação Macro - Muito Ruim

Preservação Micro - Muito Ruim

Ficha 15. UFSM 11516

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Reptília
Espécime - UFSM 11516
Elemento - Proximal de Costela
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície Distal - PP
Nível Inferior- NS
Preservação Macro - Ruim
Preservação Micro - Boa

Ficha 16. UFSM 11326

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Sauropodomorpha
Espécime - UFSM 11326
Elemento - Umero
Procedência - Cerro do Alemoa
ZA - *Hyperodapedon*
Planície proximal - PP
Nível Intermediário - NI
Preservação Macro - Ruim
Preservação Micro - Intermediária

Espécimes Pertencentes a Zona de Associação de *Dinodontosaurus***Ficha 17. UFSM 11073****Universidade Federal de Pernambuco - UFPE****Ficha de Identificação****Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos****4 cm****Táxon - Archosauria****Espécime - UFSM11073****Elemento - Proximal de Costela****Procedência - Chiniquá, Sanga da Árvore****ZA - *Dinodontosaurus*****Planície Distal - PD****Nível Inferior - NI****Preservação Macro - Muito Ruim****Preservação Micro - Intermediária**

Ficha 18. UFSM 11098

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia
Espécime - UFSM11098
Elemento - Distal de Tíbia
Procedência - Picada do Gama
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior- NI
Preservação Macro - Ruim
Preservação Micro - Inter - Ruim



Ficha 19. UFSM 11100

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Reptília
Espécime - UFSM11100
Elemento - Tíbia
Procedência - Dona Francisca
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Proximal - PP
Nível Superior - NS
Preservação Macro - Boa
Preservação Micro - Ruim



Ficha 20. USFM 11137

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Archosauria
Espécime - UFSM11137
Elemento - Costela
Procedência - Chiniquá, Sanga Vazia
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Proximal - PP
Nível Superior- NS
Preservação Macro - Boa
Preservação Micro - Intermediária



Ficha 21. UFSM 11162

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia
Espécime - UFSM11162
Elemento - Úmero
Procedência - Sítio Cortado
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior- NS
Preservação Macro - Muito Ruim
Preservação Micro - Ruim



Ficha 22. UFSM 11242

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia
Espécime - UFSM11242
Elemento - Úmero
Procedência - Linha Várzea
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Proximal - PP
Nível Superior- NS
Preservação Macro - Inter - Ruim
Preservação Micro - Intermediária



Ficha 23. UFSM 11250

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia
Espécime - UFSM11250
Elemento - Fêmur
Procedência - Linha Várzea
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Ruim
Preservação Micro - Ruim- Muito Ruim



Ficha 24. UFSM 11253

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia
Espécime - UFSM11253
Elemento - Fêmur
Procedência - Linha Várzea
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Ruim
Preservação Micro - Muito Ruim



Ficha 25. UFSM 11412

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Synapsida
Espécime - UFSM11412
Elemento - Úmero
Procedência - Sítio Cortado
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Muito Ruim
Preservação Micro - Muito Ruim

Ficha 26. UFSM 11500

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Rhynchosauria
Espécime - UFSM11500
Elemento - Metatarsal
Procedência - Dona Francisca
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Muito Ruim
Preservação Micro - Muito Ruim



Ficha 27. UFSM A61

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Ficha de Identificação
Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia
Espécime - UFSM A61
Nº- UFSM A61
Elemento - Costela
Procedência - Linha Várzea
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Ruim
Preservação Micro - Ruim



Ficha 28. UFSM A74

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia
Espécime - UFSM A74
Elemento - Distal de Tíbia
Procedência - Linha Várzea
ZA - *Dinodontosaurus*
Planície Distal - PD
Nível Inferior - NI
Preservação Macro - Muito Ruim
Preservação Micro - Boa

Ficha 29. UFSM Costela LV

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Ficha de Identificação

Examinador: Msc Leomir dos Santos Campos



Táxon - Cynodontia

Espécime - UFSM S/N

Elemento - Costela

Procedência - Linha Várzea

ZA - *Dinodontosaurus*

Planície proximal - PP

Nível Superior- NS

Preservação Macro - Intermediária

Preservação Micro - Intermediária

4cm

APÊNDICE B - FICHAS DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Dicotylodontia

Espécime: UFSM11319

Procedência: Cerro da Alema - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG -
	OP -	CV -	EFS -
	OS - X	OP - X	AN -
		OS - X	

Obs.: Osso Fibrolamelar com vascularização laminar.

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Sem deslocamento das trabéculas, estruturas íntegras.

CÓRTEX: Inteiro sem carbonatação ou formação de cristais de calcita.

PORÇÃO EXTERNA: Sem incrustações ou fissuras expandindo a microestrutura óssea.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagnética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Sauropodomorpha

Espécime: UFSM11326

Procedência: Cerro da Alemoa - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - Obliterada	CR -	LAG -	LAG - 1
	OP - X	CV -	EFS -
	OS -	OP - X	AN -
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido ósseo fibroso e vascularização reticular.

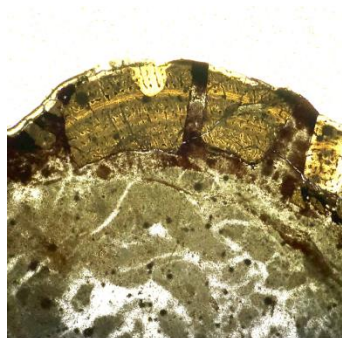
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Trabéculas obliteradas.

CÓRTEX: Parcialmente preservado, composto por fragmentos que ainda encontram-se em posição original tornando possível a identificação da microestrutura óssea.

PORÇÃO EXTERNA: Sem incrustações de grande porte na superfície periosteal, porém, com aparentes distorções volumétricas que resultam da substituição deslocante através de fraturas que atravessam todo o córtex.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Saurischia

Espécime: UFSM11330

Procedência: Cerro da Alemoa - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Metatarsal

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - Obliterada	CR -	LAG -	LAG -
	OP - X	CV -	EFS -
	OS -	OP - X	AN -
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido ósseo fibroso e vascularização reticular e laminar.

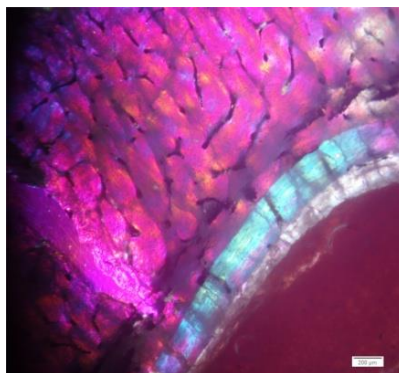
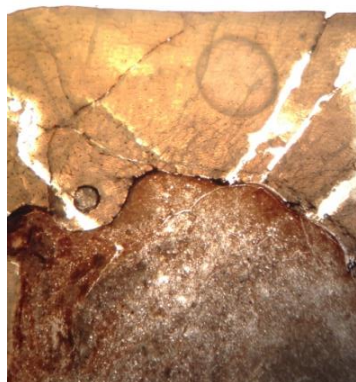
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Obliterada.

CÓRTEX: No córtex endosteal a vascularização reticular alcança até a parte medial do córtex, a partir desta região cortical a vascularização passa a laminar típica da encontrada em Sauropodomorphas, avançando até o córtex periosteal.

PORÇÃO EXTERNA: Sem incrustações supra periosteais ou alterações volumétricas e morfológicas.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Rhyncosauria

Espécime: UFSM11074

Procedência: Faixa Nova - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG - 1
	OP -	CV -	EFS -
	OS - X	OP - X	AN -
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, vascularização longitudinal

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Na cavidade medular o preenchimento alterou parcialmente a estrutura das trabéculas do osso esponjoso resultando na obliteração inicial deste osso.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Superfície externa do osso bem preservada, sem incrustações ou alterações volumétrica.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Aetosauria

Espécime: UFSM11070

Procedência: Faixa Nova - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa (X) Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG - 1	LAG - 2
	OP -	AN - 1	AN - 2
	OS - X	OP -	EFS -
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, transição de tecido fibroso e paralelo fibroso, vascularização longitudinal à subreticular.

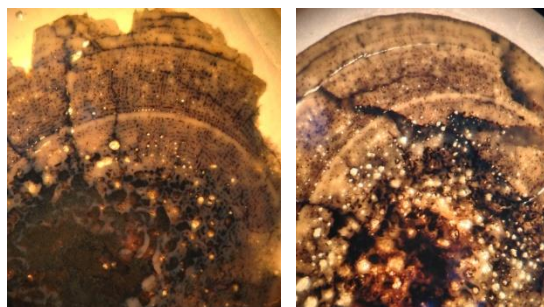
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: A presença de óxidos (Mn, Fe) acompanha os canais, estruturas de pausa de crescimento e lamina de vascularização. O caminho percorrido pelos óxidos é marcado por linhas escuras que por impregnarem tais canais ressaltam a transição dos ritmos de crescimento do animal, como visto nas LAGs.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Superfície periosteal fragmentada, sem incrustações ou alterações volumétrica.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Aetosauria

Espécime: UFSM11505

Procedência: Faixa Nova - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG - 2
	OP - X	AN -	EFS -
	CS - X	OP - X	AN -
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido fibroso e vascularização longitudinal.

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Canal medular preenchido com sedimentos finos de tamanho homogêneo, que promovem a alteração e quebra das trabéculas do osso esponjoso.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Sem incrustação suprapariosteal ou distorções volumétricas aparentes.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: S/N

Espécime: UFSMS/N

Procedência: Cerro da Alemoa - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Fragmentos de Costela T

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (x) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG -
	OP -	AN -	EFS -
	CS -	OP - X	AN -
		OS - X	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido paralelo fibroso e vascularização longitudinal.

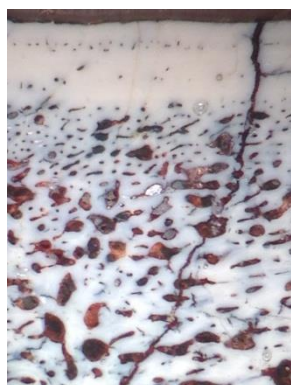
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: É possível analisar todas as porções do osso, desde o esponjoso ao compacto periosteal.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Com a porção periosteal preservada e sem incrustações externas.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Rhyncosauria

Espécime: UFSM11240

Procedência: Cerro da Alema - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG - 2
	OP - X	AN -	EFS - X
	CS -	OP - X	AN -
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido ósseo fibroso e paralelo fibroso, vascularização laminar.

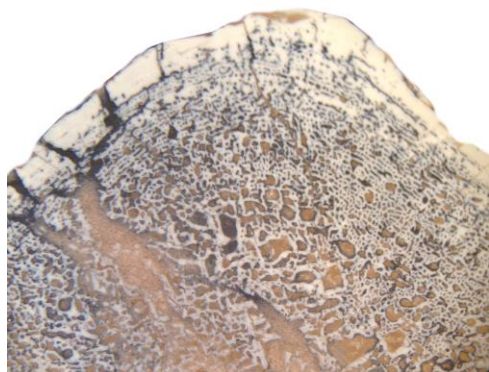
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: É possível analisar todas as porções do osso, desde o esponjoso ao compacto.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Sem incrustações suprapariosteais, porém, apresenta distorções por compressão e torção.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Indet.*

Espécime: UFSM S/N

Procedência: Cerro da Alemoa - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Fragmentos de Costela Fx

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG - 3
	OP - X	AN -	EFS -
	CS -	OP - X	AN -
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido paralelo fibroso, vascularização longitudinal.

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: É possível analisar todas as porções do osso, desde o esponjoso ao compacto periosteal.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Sem marcas de inserção muscular, mas com periósteo preservado e com pontos de craquelamento.

IMAGEM:



FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília.

Espécime: UFSM11516

Procedência: Cerro da Alemoa - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Fragmentos

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG - 4
	OS - X	AN -	EFS - X
	CS -	OP - X	AN - 2
		OS -	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido paralelo fibroso, vascularização reticular e longitudinal.

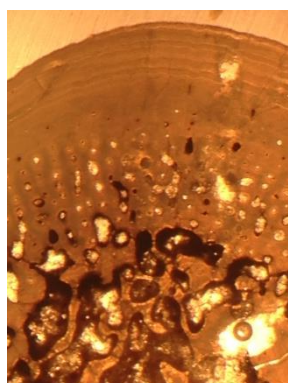
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: É possível analisar todas as porções do osso, desde o esponjoso ao compacto periosteal.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Sem Incrustações, porém, com grau elevado de fragmentação, restando apenas uma pequena fração do elemento original.

IMAGEM:



FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília

Espécime: UFSM11517

Procedência: Cerro da Alemoa - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Fragmento de rádio

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR - X	LAG -	LAG - 1
	OS - X	AN -	EFS -
	CS -	OP - X	AN
		OS - X	

Obs.: Osso Fibrolamelar, tecido fibroso, vascularização radial e laminar.

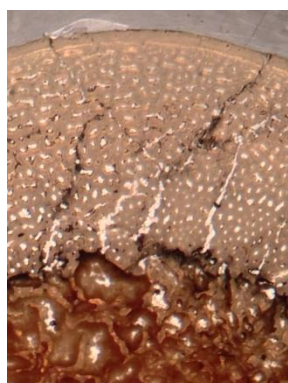
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: As porções do osso esponjoso se apresentam deslocadas em meio ao preenchimento.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Sem incrustações, bastante fragmentado, com destaque para elevada quantidade de fissuras no perióstio.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília

Espécime: UFSM S/N

Procedência: Cerro da Alemoa - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (x)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS -	

Obs.: Sem possibilidade de identificação de microestruturas.

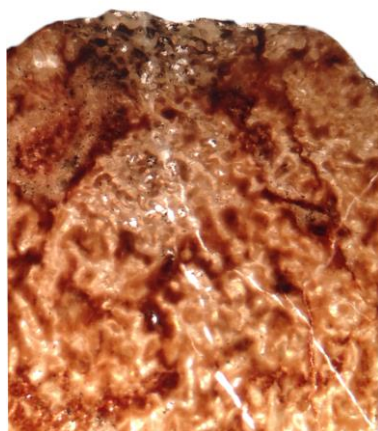
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Pequenos fragmentos das trabéculas dispersos em meio ao preenchimento.

CÓRTEX: Tecido obliterado.

PORÇÃO EXTERNA: Alteração acentuada da morfologia periosteal, as distorções obliteram os limites periosteais devido ao preenchimento (substituição), alteração volumétrica por expansão das microestruturas.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília

Espécime: UFSM11518

Procedência: Cerro da Alemoa - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS -	

Obs.: Sem possibilidade de identificação de microestruturas.

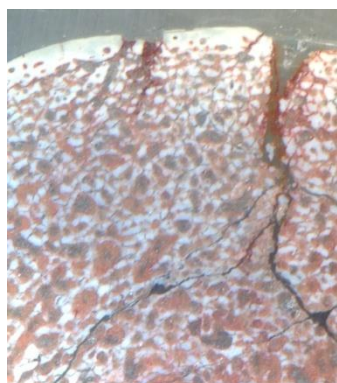
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Pequenos fragmentos trabeculares dispersos em meio ao preenchimento.

CÓRTEX: Preenchimento e obliteração das estruturas ósseas.

PORÇÃO EXTERNA: Não há incrustações sobre a superfície periosteal e o volume continua inalterado.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília

Espécime: UFSM S/N

Procedência: Cerro da Alema - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Ulna

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS -	

Obs.: Possível identificar apenas fragmentos do tecido fibroso.

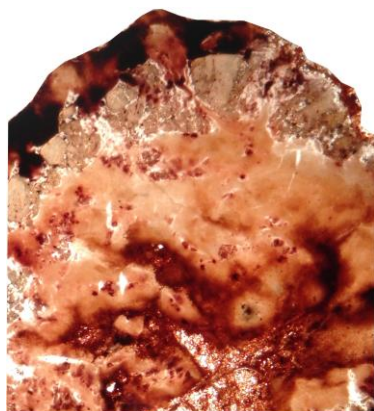
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Totalmente obliteradas as estruturas do osso esponjoso.

CÓRTEX: Matriz óssea dispersa em meio ao sedimento que substituiu a amostra.

PORÇÃO EXTERNA: Ocorrem incrustações sobre a superfície periosteal e alteração volumétricas do osso.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília

Espécime: UFSM11514

Procedência: Cerro da Alema - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS - X	

Obs.: Osso Fibrolamelar, com tecido paralelo fibroso.

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Trabéculas parcialmente deslocadas pelo preenchimento ocupante.

CÓRTEX: Matriz óssea dispersa em meio ao sedimento que substituiu a amostra.

PORÇÃO EXTERNA: Os sedimentos micríticos quebram a estrutura óssea de tecido paralelo fibroso da periferia e se depositam sobre a superfície periosteal, havendo alteração morfológica e volumétrica da porção periosteal.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília

Espécime: UFSM A74

Procedência: Linha Várzea - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Corte A74

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR - X	LAG -	LAG - 5
	OS - X	AN -	EFS - X
	CS -	OP -	AN
		OS - X	

Obs.: Osso Haversiano com vascularização longitudinal seguido de tecido paralelo fibroso em direção a região periosteal.

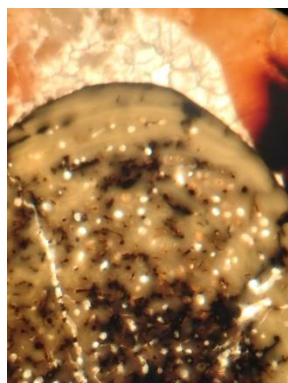
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Parcialmente obliteradas as estruturas do osso esponjoso.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Na região periosteal ocorre incrustação superficial por oxidação (Fe, Mn) seguida de cristalização de calcita e incrustação por cimentação micrítica, grande alteração morfológica e volumétrica do osso original.

IMAGEM:



FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Cynodontia

Espécime: UFSM11242

Procedência: Sítio Linha Várzea - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR - X	LAG -	LAG - 1
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS -	

Obs.: Osso fibrolamelar com tecido fibroso e paralelo fibroso, vascularização laminar.

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Obliteração total do tecido esponjoso, cristalização bem desenvolvida de calcita.

CÓRTEX: Possível identificar tecidos ósseos com permineralização por óxidos de Fe/Mn em grau avançado em todas as estruturas.

PORÇÃO EXTERNA: Não há fraturamento radial do córtex, leve incrustação carbonática sobre a porção periosteal.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagnética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Cynodontia*

Espécime: UFSM11137

Procedência: São Pedro do Sul - Chiniquá - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG –	LAG -
	OS - X	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS - X	

Obs.: Osso fibrolamelar com tecido fibroso, vascularização longitudinal.

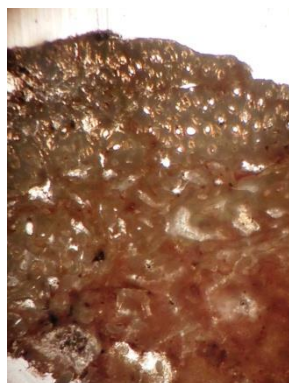
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Trabéculas preservadas com alguns pontos de fraturamento e deslocamento das estruturas.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Ocorre fraturamento no periósteo, sem incrustação ou alteração volumétrica.

IMAGEM:



FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Reptília.

Espécime: UFSM11100

Procedência: Sítio Dona Francisca - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Tíbia

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (x) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR - X	LAG -	LAG -
	OS - X	OP - X	EFS -
	CS -	CS - X	AN
		OS - X	

Obs.: Tecido ósseo fibroso, vascularização longitudinal.

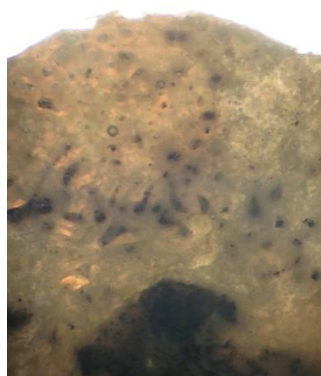
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Trabéculas totalmente alteradas, deslocadas pelo preechimento.

CÓRTEX: Parcialmente obliterado.

PORÇÃO EXTERNA: Osso íntegro, sem fraturamento, ou alteração volumétrica.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Cynodontia*

Espécime: UFSM11250

Procedência: Sítio Linha Várzea - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Fragmento de Fêmur

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim (X)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS -	

Obs.: Osso fibrolamelar com tecido fibroso, estruturas substituídas por óxidos (Fe, Mn).

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Estruturas obliteradas pela cristalização de calcita.

CÓRTEX: Os cristais de carbonato avançaram também sobre a porção médio-periosteal do córtex, ocorrendo em todas as regiões corticais através de fraturas radiais que se estendem desde a CM até as camadas depositadas sobre o periósteo, o que alterou sobremaneira a morfologia e volumes macroscópicos do osso.

PORÇÃO EXTERNA: Ocorre fraturamento no periósteo, grande alteração na morfológica interna e no volume ósseo, crescimento acicular de calcita nas extremidades concrecionadas.

IMAGEM:



FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Cynodontia*

Espécime: UFSM11253

Procedência: Sítio Linha Várzea - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Fragmento de Fêmur

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		OS -	

Obs.: Sem possibilidade de identificação microestrutural.

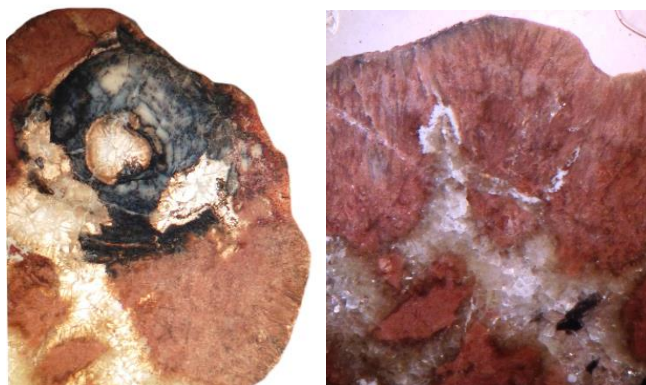
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Trabéculas obliteradas pela cristalização de calcita.

CÓRTEX: Osso compacto amplamente permineralizado por óxido de Fe, de difícil identificação das estruturas.

PORÇÃO EXTERNA: Obliteração do limite periosteal; grande alteração volumétrica e morfológica resultante de incrustação carbonática.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Cynodontia*

Espécime: UFSM (A 61)

Procedência: Sítio Linha Várzea - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR - X	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP - X	AN
		CS - X	

Obs.: Osso fibrolamelar, tecido fibroso e vascularização longitudinal.

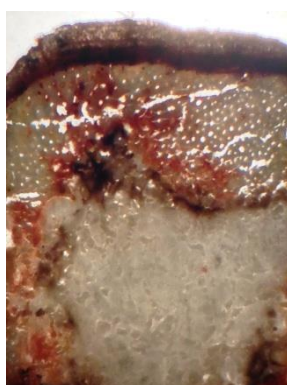
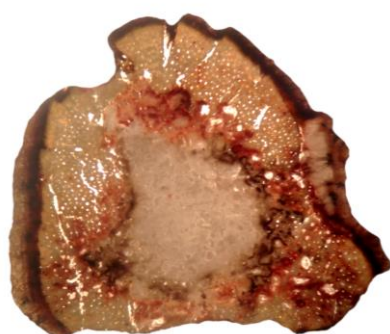
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Arquitetura trabecular totalmente destruída apresentando fragmentos do osso esponjoso dispersos em meio ao preenchimento.

CÓRTEX:

PORÇÃO EXTERNA: Perióstio fraturado e com incrustação, pequena alteração volumétrica. Desenvolvimento de grandes cristais aciculares de calcita.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Indet.*

Espécime: UFSM S/N

Procedência: Sítio Linha Várzea - NS

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Costela LV

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR - X	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP - X	AN
		CS - X	

Obs.: Osso fibrolamelar, tecido fibroso, vascularização não é nítida.

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Totalmente obliterada.

CÓRTEX: A oxidação impede qualquer possibilidade de identificação histológica.

PORÇÃO EXTERNA: Perióstio fraturado e com incrustações bastante oxidadas, pequena alteração do volume.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Cynodontia*

Espécime: UFSM11098

Procedência: Sítio Picada do Gama - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

D098ESCRITÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR - X	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		CS - X	

Obs.: Osso fibrolamelar, tecido fibroso e vascularização longitudinal.

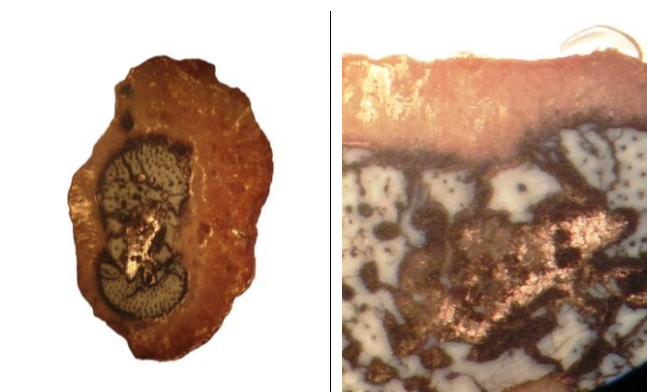
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Fragmentos de osso esponjoso encontram-se dispersos em meio ao preenchimento, sem estruturas trabeculares íntegras.

CÓRTEX: A calcita cristalizada com oxidação e escurecimento dos cristais, fraturas radiais atravessam todo o córtex.

PORÇÃO EXTERNA: Perióstio com intensa incrustação e oxidação, grande alteração na morfologia e volume ósseo.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagnética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Cynodontia*

Espécime: UFSM11096

Procedência: Sítio Novos Cabrais, Km 174 - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR - X	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP -	AN
		CS - X	

Obs.: Osso fibrolamelar, tecido fibroso e vascularização longitudinal.

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Trabéculas preservadas com cristais de calcita acomodados entre os espaços trabeculares.

CÓRTEX: O tecido ósseo de difícil identificação, bastante fissurado com grandes rupturas na matriz fato que dificulta a visualização da direção das lacunas de osteócitos e consequentemente dos tecidos.

PORÇÃO EXTERNA: Perióstio com intensa incrustação suprapariosteal e oxidação, grande alteração na morfologia e volume ósseo.

IMAGEM:



FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Archosauria.

Espécime: UFSM11073

Procedência: Chiniquá, Sanga da Árvore - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Fragmento de Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB - X	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OP - X	AN
		CS - X	

Obs.: Osso fibrolamelar, tecido fibroso e vascularização longitudinal à laminar.

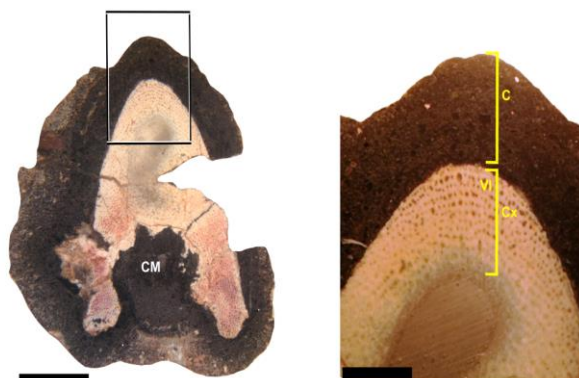
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Íntegra sem preenchimento.

CÓRTEX: Íntegro.

PORÇÃO EXTERNA: Material com alto grau de incrustação e alteração morfológica e volumétrica, apesar disso a preservação interna é boa, resultado do isolamento interno por incrustação supraperiosteal oxidada.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Rynchosauria*

Espécime: UFSM11500

Procedência: Sítio Dona Francisca - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Frag. de tíbia

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS - X	AN -	EFS -
	CS -	OS - X	AN
		CS -	

Obs.: Osso fibrolamelar, tecido fibroso e vascularização longitudinal.

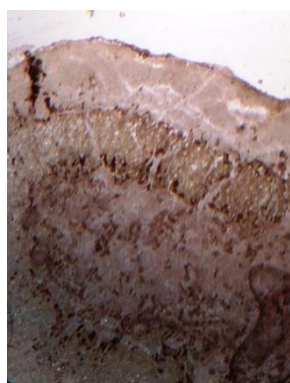
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Osso esponjoso parcialmente destruído, bastante fragmentado.

CÓRTEX: Fraturas radiais que rompem o córtex em diversos pontos.

PORÇÃO EXTERNA: Espessa camada de incrustação sobre o perióstio alterando a forma e o volume do osso.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: Cynodontia

Espécime: UFSM A61

Procedência: Linha Várzea - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim (X) Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OS -	AN
		CS -	

Obs.:

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Osso esponjoso obliterado.

CÓRTEX: Dificil identificação do tecido ósseas, porém, a estrutura permineralizada por óxidos permanece sem distorções.

PORÇÃO EXTERNA: Camada de incrustação sobre o periósteeo, com alteração acentuada do formato externo e do volume.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagnética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Indet.*

Espécime: S/N

Procedência: Cerro do Alemoa - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Distal de Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OS -	AN
		CS -	

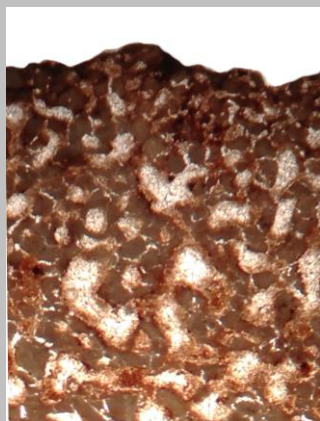
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Osso esponjoso obliterado.

CÓRTEX: Totalmente substituído, com matriz dispersa em meio ao sedimento.

PORÇÃO EXTERNA: Periosteó amplamente alterado, com distorções aparentes de volume e morfologia.

IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagenética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Táxon: *Indet.*

Espécime: A75

Procedência: Cerro do Alemoa

Bioestratigrafia: Z.A *Hyperodapedon*

Elemento: Costela

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária (X) Ruim () Muito Ruim ()

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa (X) Intermediária () Ruim () Muito Ruim ()

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OS -	AN
		CS -	

DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Osso esponjoso parcialmente deslocado.

CÓRTEX: Preservado, com matriz óssea identificável.

PORÇÃO EXTERNA: Sem incrustações ou concreções que possam alterar a morfologia externa.

IMAGEM:



FICHA DE ESTIMATIVA OSTEOHISTOLÓGICA

Projeto: Avaliação Fossildiagnética em Zonas de Associação Faunística Triássicas da Supersequência Santa Maria.

Instituição: UFPE

Examinador: Msc.: Leomir dos Santos Campos

Taxon: *Synapsida*

Espécime: UFSM 11412

Procedência: Sítio Cortado - NI

Bioestratigrafia: Z.A *Dinodontosaurus*

Elemento: Úmero

Região Seccionada: Diáfise

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MACROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

CLASSE DE PRESERVAÇÃO MICROSCÓPICA

Muito Boa () Boa () Intermediária () Ruim () Muito Ruim (X)

DESCRIÇÃO OSTEOHISTOLÓGICA

CAV. MEDULAR:	CORT. ENDOSTEAL:	CORT. MEDIAL:	CORT. PERIOSTEAL:
TB -	CR -	LAG -	LAG -
	OS -	AN -	EFS -
	CS -	OS -	AN
		CS -	

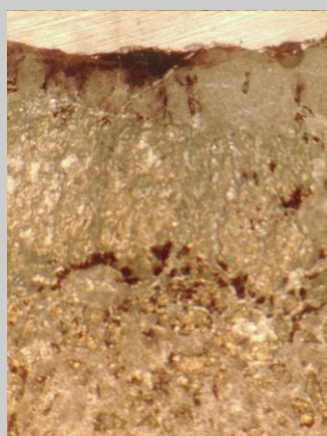
DESCRIÇÃO PRESERVACIONAL

CAV. MEDULAR: Osso esponjoso obliterado.

CÓRTEX: Totalmente substituído com fragmentos do córtex dispersos em meio ao preenchimento.

PORÇÃO EXTERNA: Com distorções aparentes, morfologia alterada por compressão, torção e incrustação incipiente.

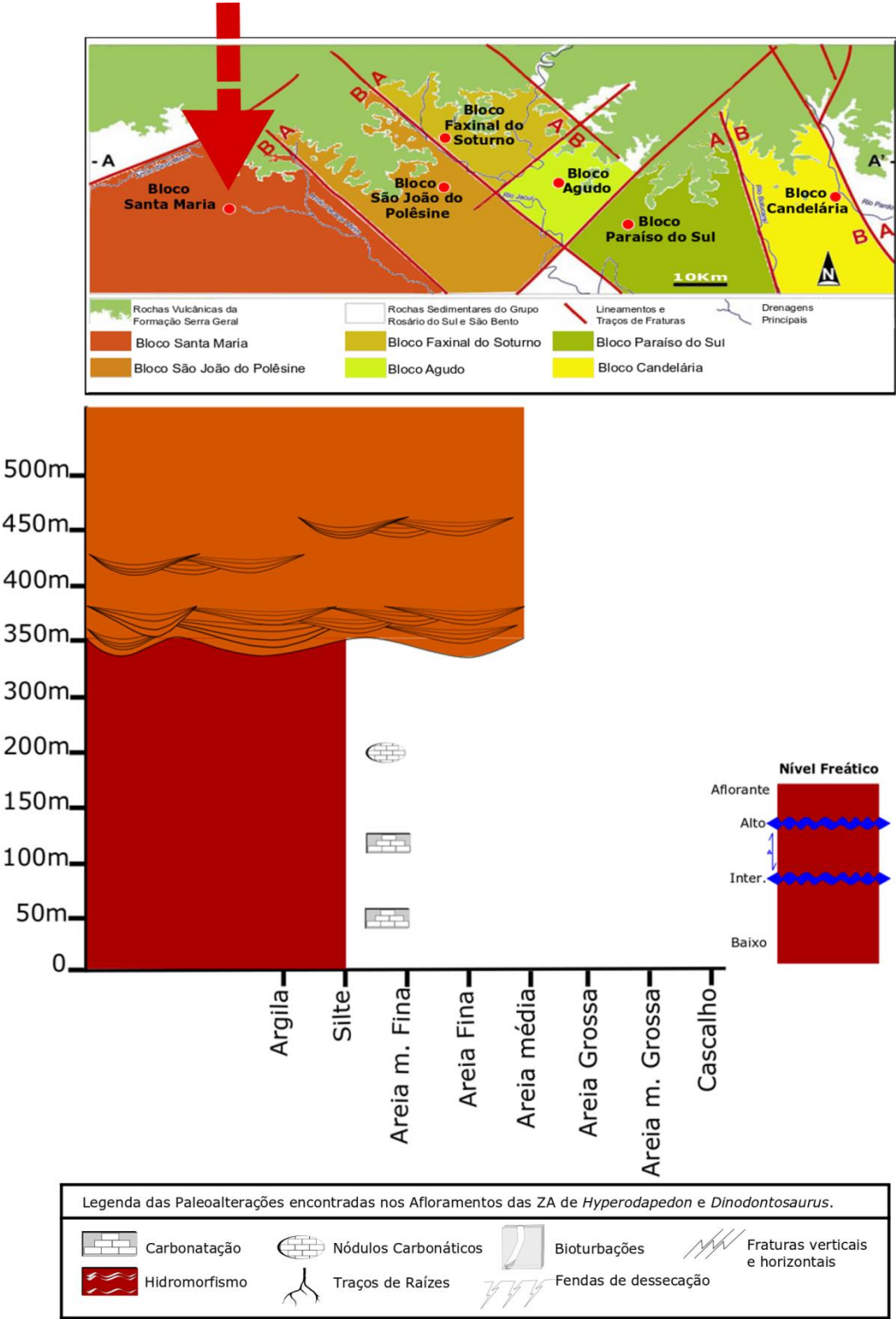
IMAGEM:



Fonte: o autor (2020)

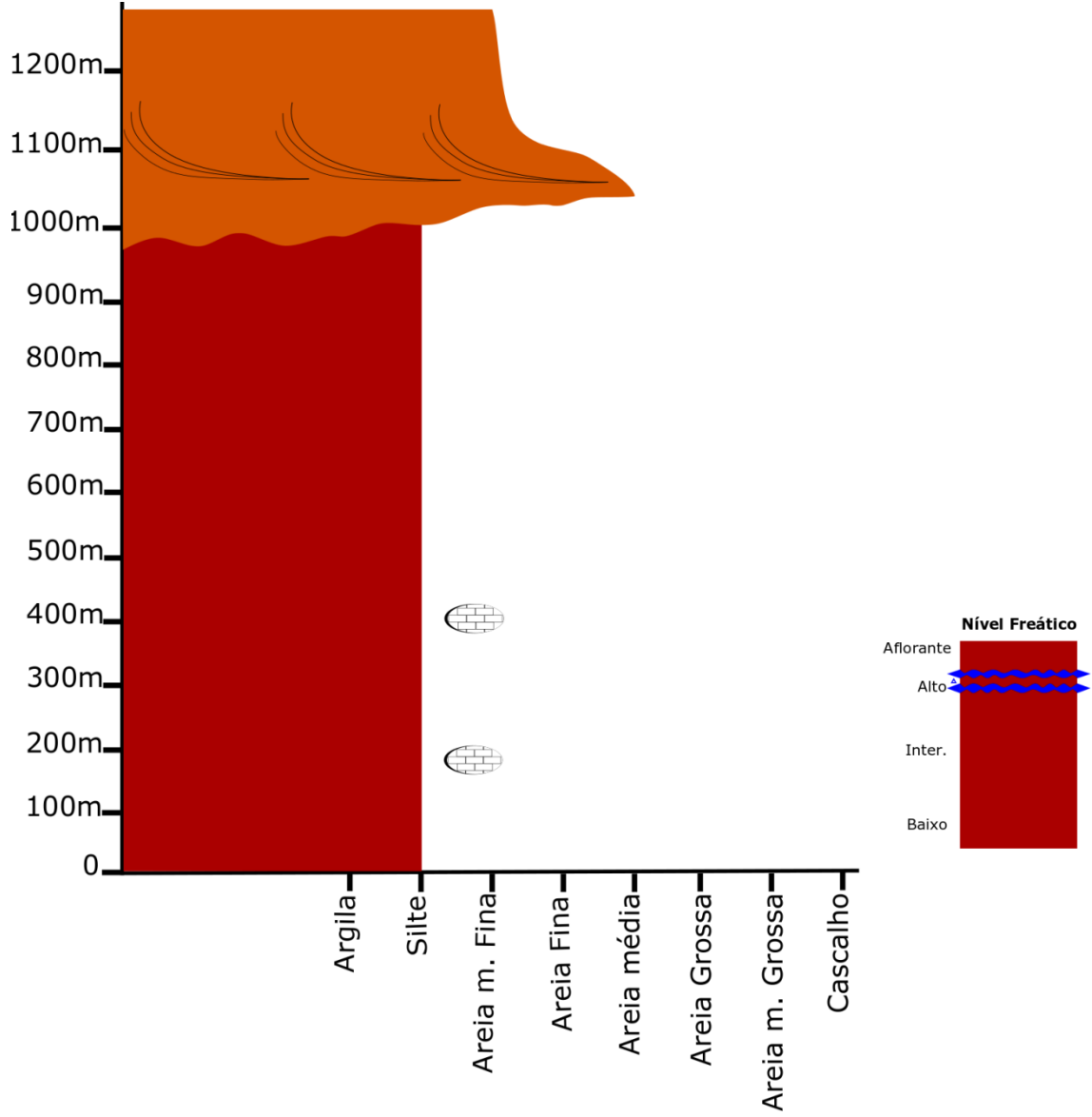
APÊNDICE C - FICHAS ESTRATIGRÁFICAS COM PALEOALTERAÇÕES DOS
AFLORAMENTOS

Bloco Estrutural Santa Maria – ZA de *Hyperodapedon*
Afloramento Vila Kennedy



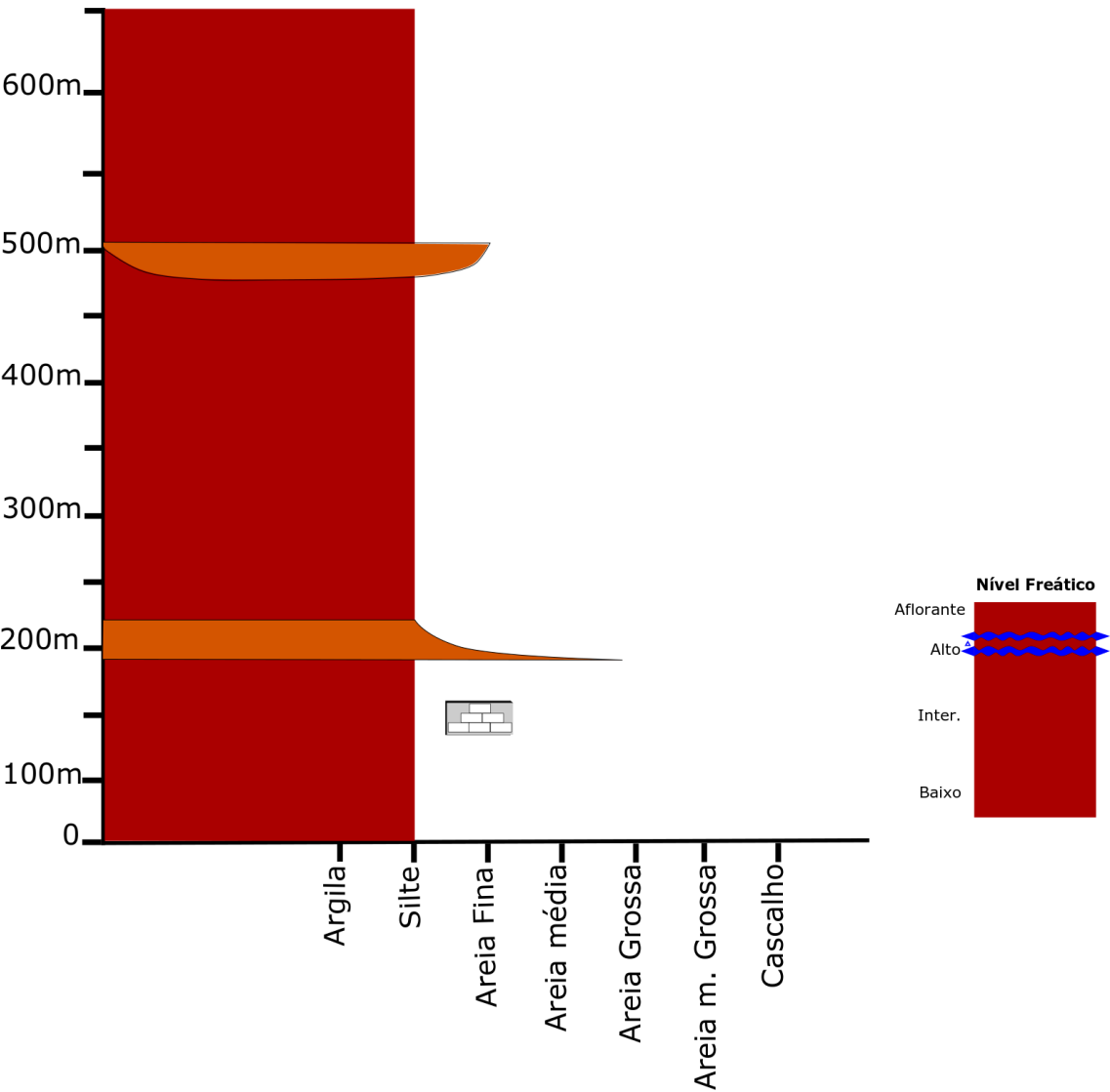
Fonte: o autor (2020)

Afloramento Faixa Nova – Cerrito I



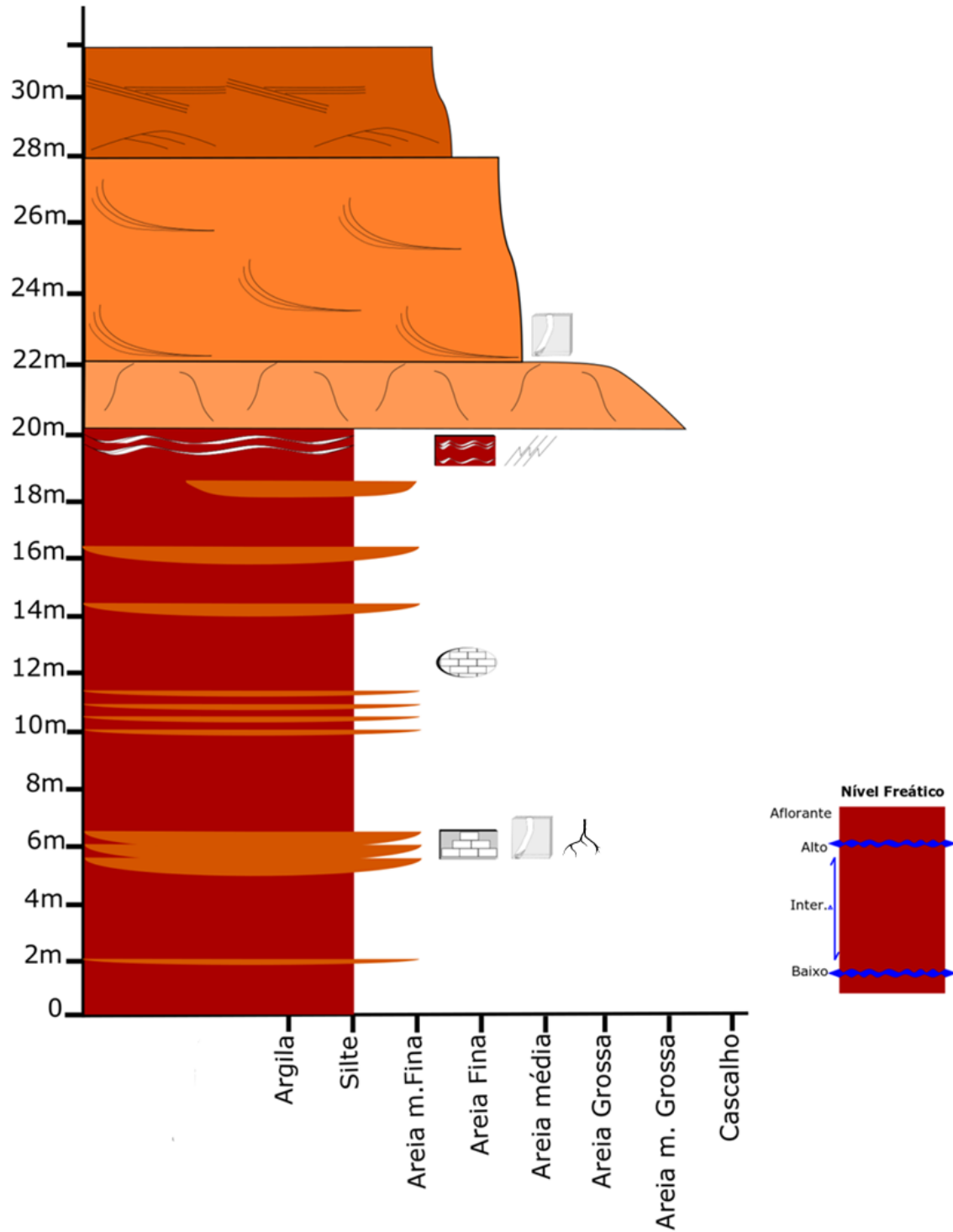
Fonte: o autor (2020)

Afloramento Faixa Nova – Cerrito III



Fonte: o autor (2020)

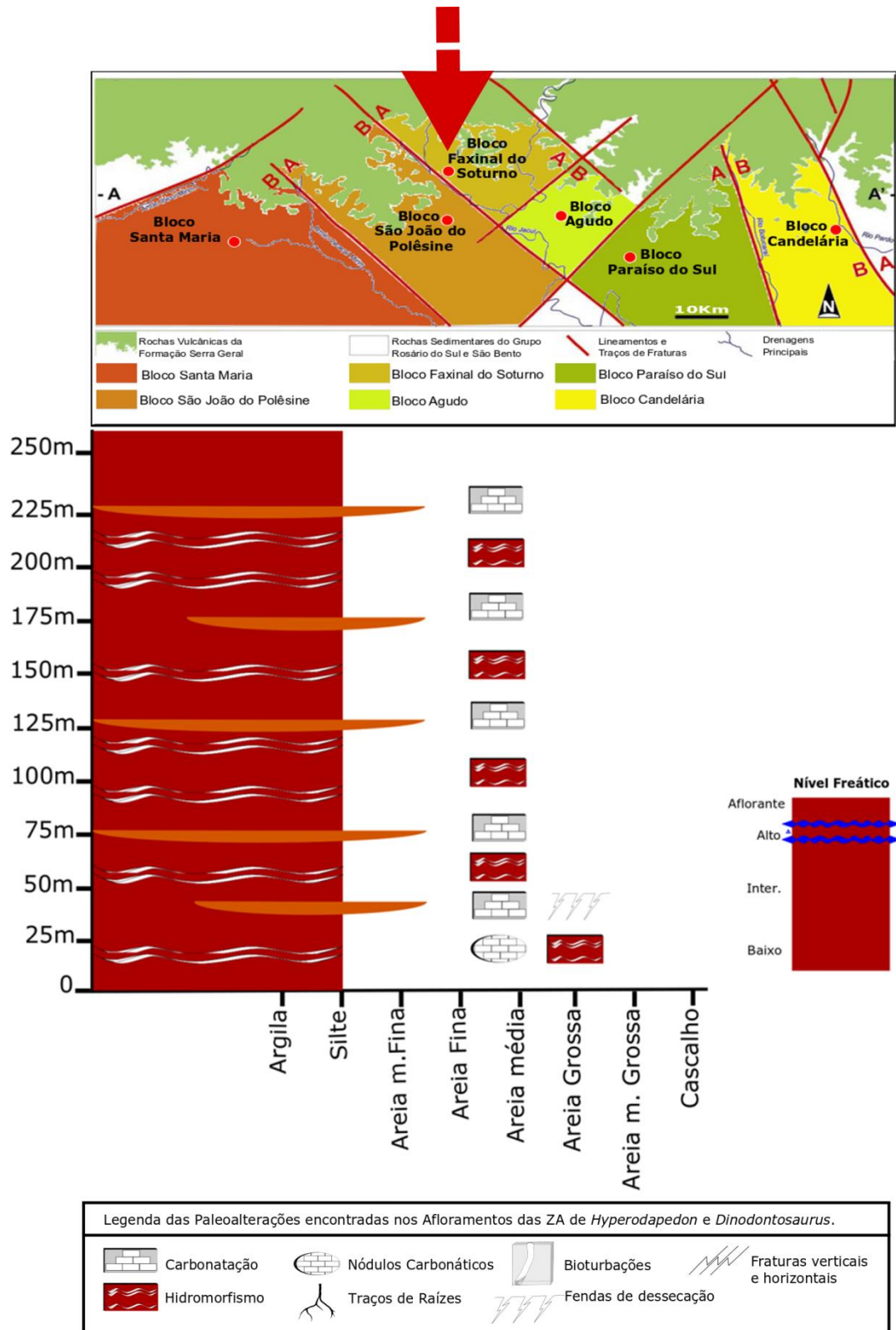
Afloramento Cerro do Alemoa



Fonte: o autor (2020)

Bloco Faxinal do Soturno – ZA de *Dinodontosaurus*

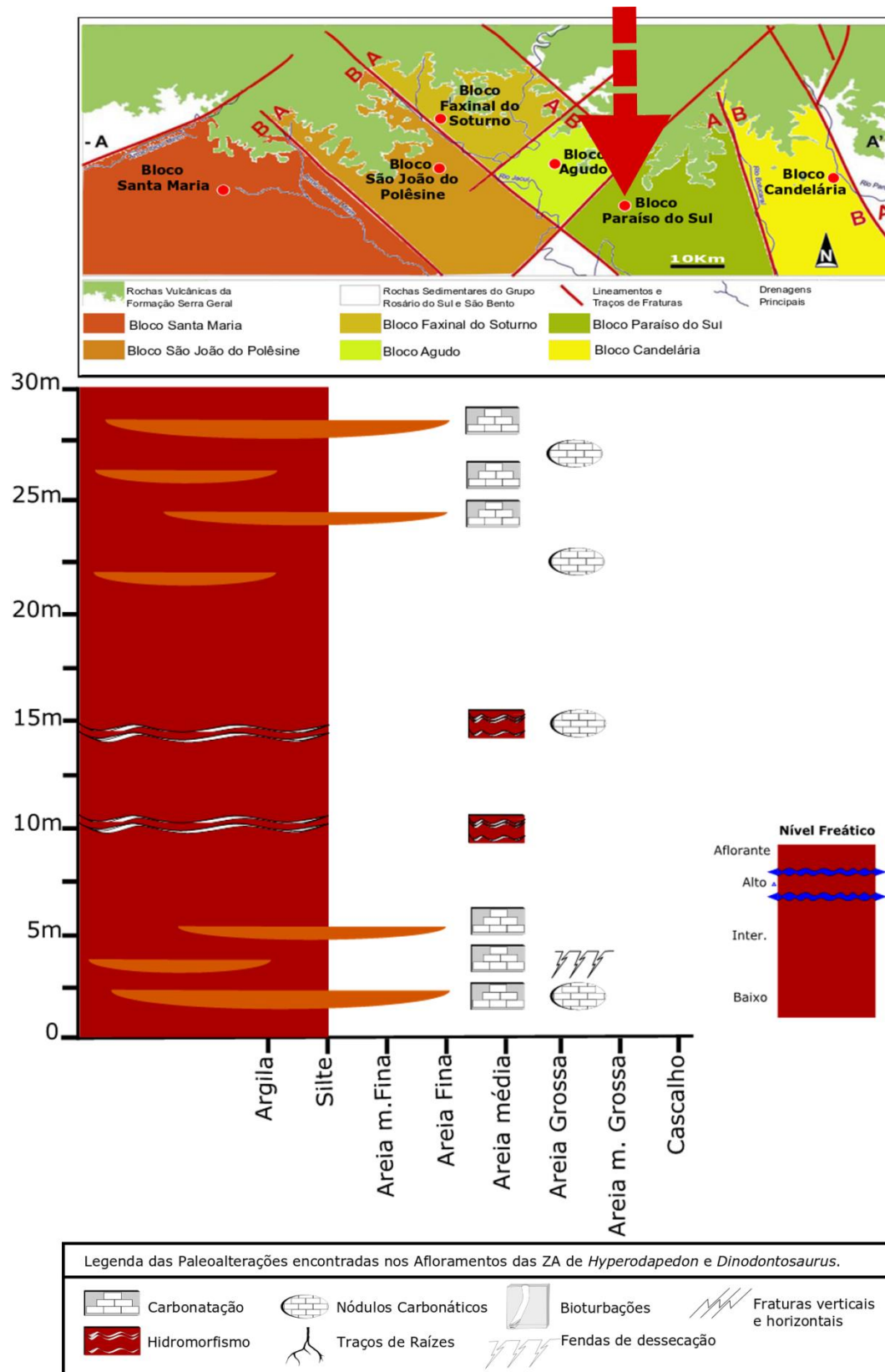
Afloramento Dona Francisca – Posto



Fonte: o autor (2020)

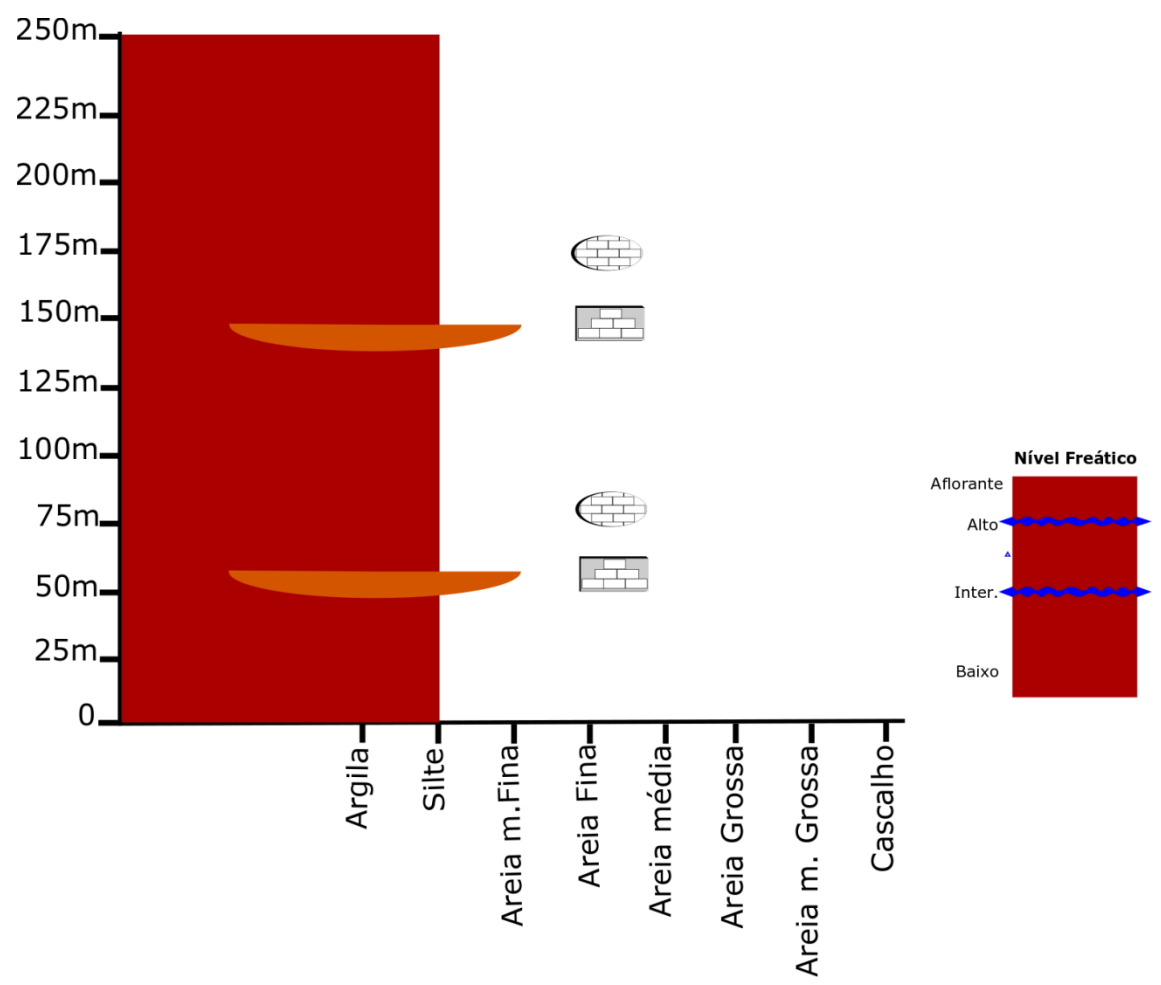
Bloco Paraíso do Sul - ZA de *Dinodontosaurus*

Afloramento Linha Várzea I



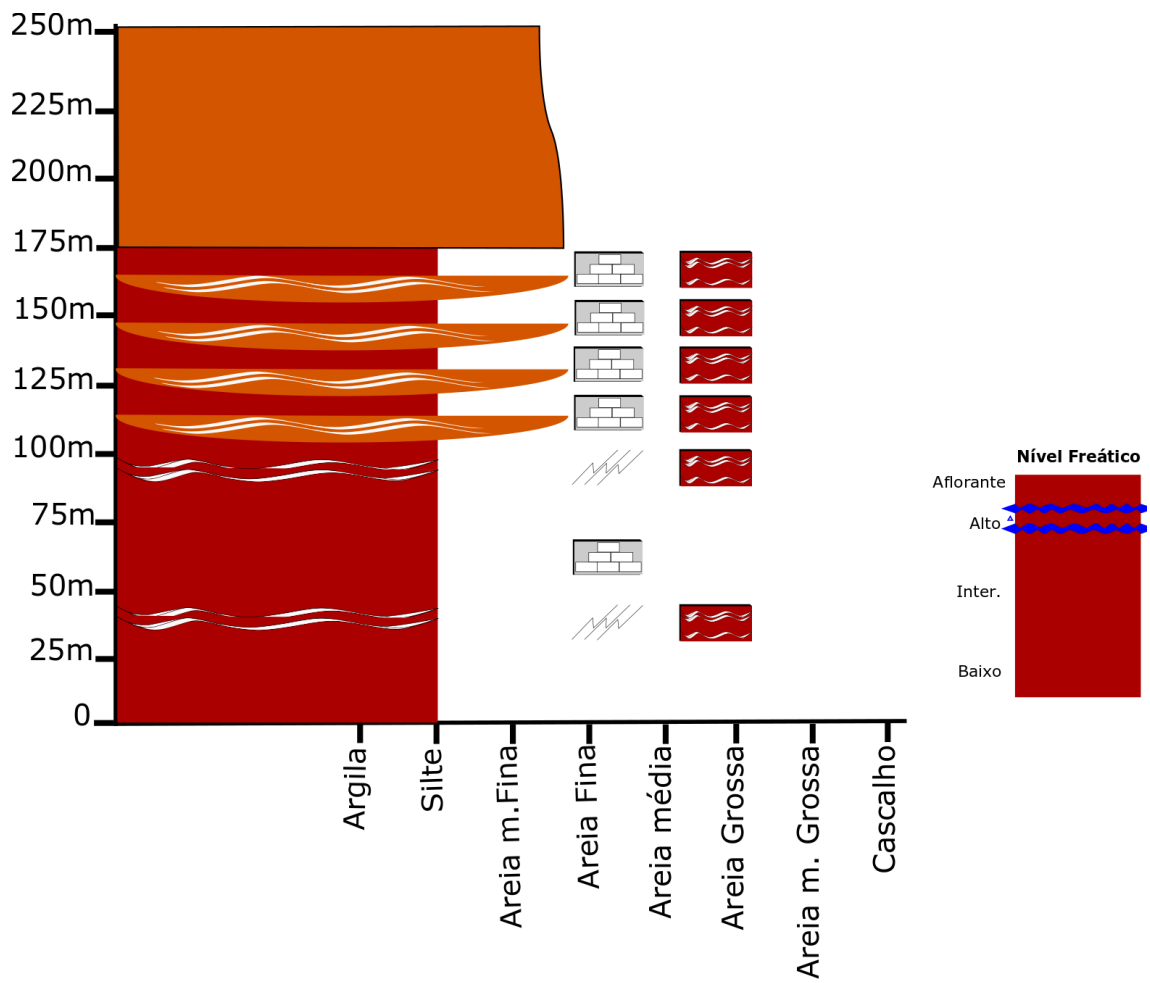
Fonte: o autor (2020)

Sítio Cortado



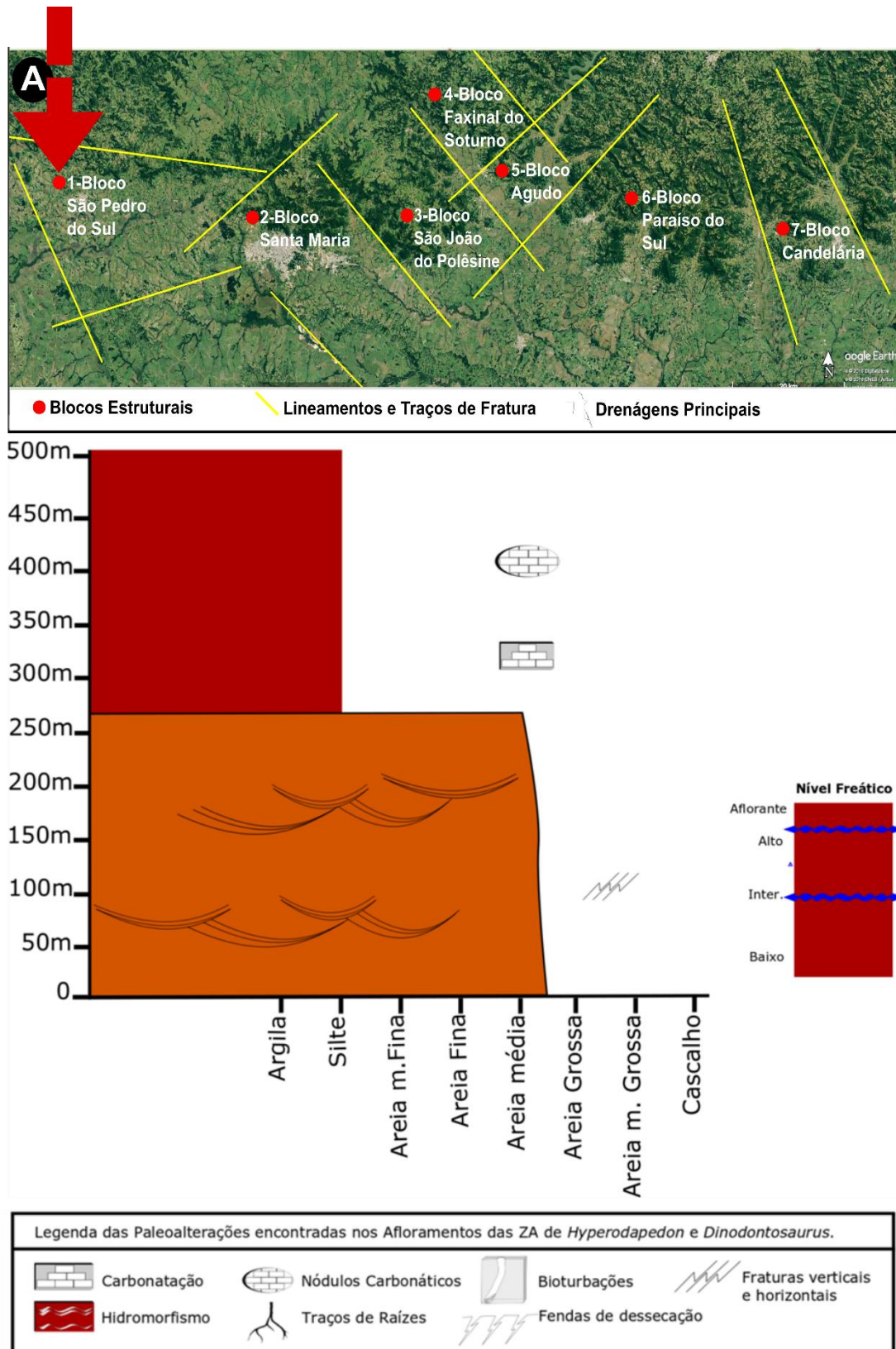
Fonte: o autor (2020)

Afloramento Novo Cabrais



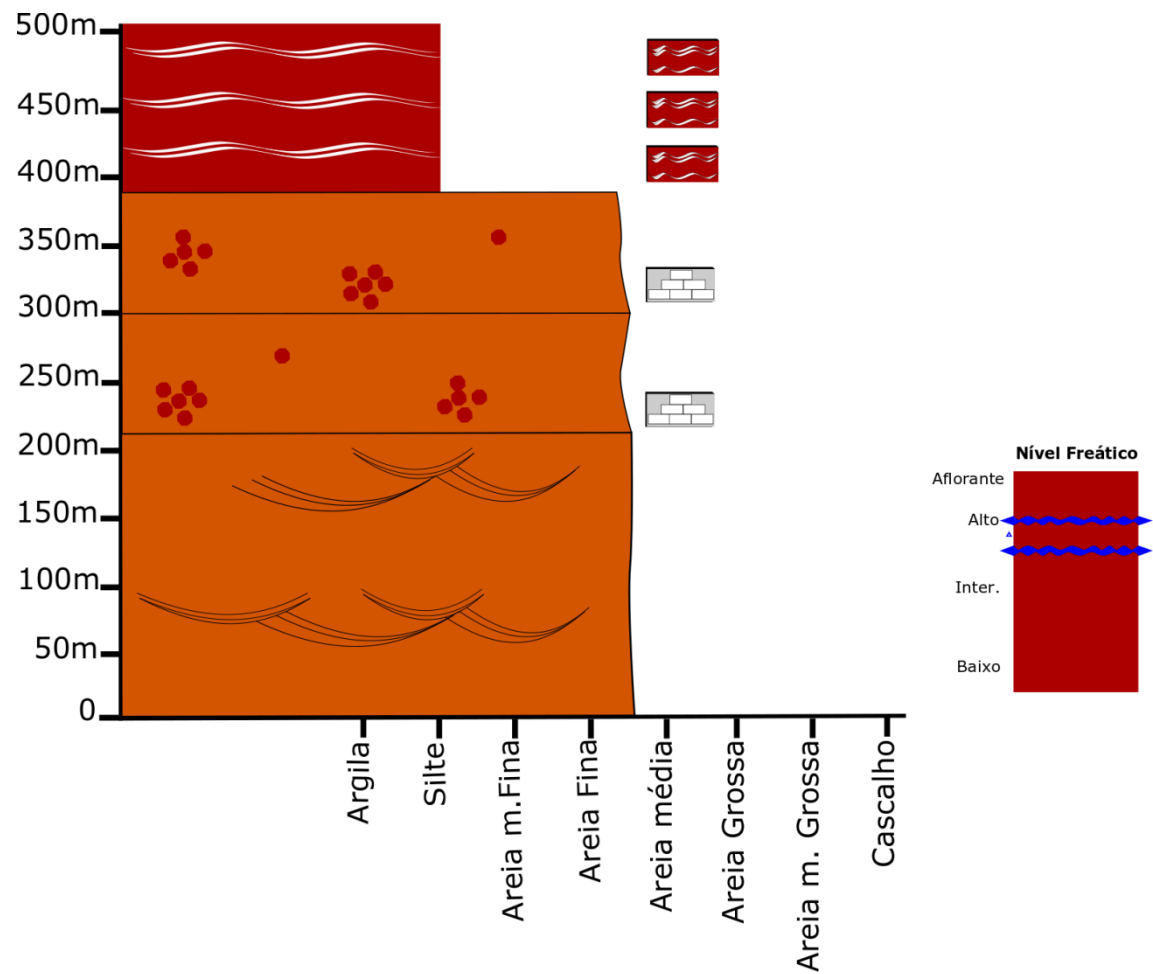
Fonte: o autor (2020)

Bloco São Pedro do Sul - ZA de *Dinodontosaurus*
Picada do Gama



Fonte: o autor (2020)

Afloramento Sanga da Árvore – Chiniquá



Fonte: o autor (2020)