

Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz



ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE  
JOAQUIM VENÂNCIO

Sofia do Prado Pereira

RESQUÍCIOS DE CÉLULAS OSTEOCÍTICAS ENCONTRADOS EM FÓSSEIS DE  
DINOSSAUROS NÃO AVIANOS

Rio de Janeiro

2024

Sofia do Prado Pereira

RESQUÍCIOS DE CÉLULAS OSTEOCÍTICAS ENCONTRADOS EM FÓSSEIS DE  
DINOSSAUROS NÃO AVIANOS

Monografia apresentado à Escola Politécnica de  
Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz  
(EPSJV-Fiocruz) como requisito parcial para  
aprovação no Curso Técnico em Análises Clínicas.

Orientador: Marcelo Meuser Batista.

Co-orientadora: Renata Rufino Amaro.

Rio de Janeiro

2024

Sofia do Prado Pereira

RESQUÍCIOS DE CÉLULAS OSTEOCÍTICAS ENCONTRADOS EM FÓSSEIS DE  
DINOSSAUROS NÃO AVIANOS

Monografia apresentado à Escola Politécnica de  
Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz  
(EPSJV-Fiocruz) como requisito parcial para  
aprovação no Curso Técnico em Análises Clínicas.

Aprovado em \_\_/\_\_/\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Marcelo Meuser Batista  
EPSJV/FIOCRUZ

---

Renata Rufino Amaro  
EPSJV/FIOCRUZ

---

Leandro Medrado  
EPSJV/FIOCRUZ

---

Nathalia Lacerda de Carvalho  
EPSJV/FIOCRUZ

---

Thiago Savignon Cardoso Machado  
EPSJV/FIOCRUZ

Rio de Janeiro

2024



*Dedico este trabalho à todas as crianças que um dia  
gostaram de dinossauros mas que quando cresceram  
tiveram medo de continuar gostando deles.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio por ter me dado a oportunidade de pesquisar sobre um tema que gosto tanto e poder divulgá-lo em forma de conhecimento.

Aos meus orientadores. Marcelo por ter aceitado minha ideia maluca enquanto este trabalho ainda era um projeto e por ter me acalmado em todas as nossas orientações. Renata por ter feito eu me apaixonar por geologia e ter apoiado as minhas hipóteses loucas sobre a processos de fossilização em nossas conversas.

À Fernanda Bottino por ter me acolhido e respondido todas as minhas perguntas desesperadas sobre esse trabalho.

À Tainah por ter feito eu acreditar nesse trabalho e por sempre me incentivar a ser apaixonada pela minha pesquisa.

À minha mãe e ao meu pai por fazerem eu ser a pessoa que sou hoje e por terem me inspirado das maneiras mais diferentes possíveis a seguir meus sonhos.

Ao meu irmão por fazer eu me esforçar mesmo sem ele saber para eu poder dar um bom exemplo para ele.

À minha cachorrinha Pelanca por ter me feito muito feliz e por ter me deixado fazer carinho nela enquanto eu estava triste.

Aos meus avós. A minha avó por ter cuidado de mim e me esquentado com o Manto que ela sempre pede a Maria para me cobrir. Ao meu avô por me emprestar o escritório dele para eu escrever esse trabalho.

Aos meus melhores amigos Bruno e Maria Luiza por passarem esses quatro anos juntos comigo e por terem compartilhado momentos incríveis e inesquecíveis.

Aos meus amigos Sarah, Karla, Maria Eduarda Martins, Gabriel, Carolina e Gabriela por terem feito eu passar pelos momentos mais engraçados da minha vida e por terem feito parte da minha passagem pela escola.

Aos meus amigos Caio, Enzo e Nina por terem sido ótimos veteranos e terem feito meu primeiro ano memorável.

À minha melhor amiga Iasmim por estar do meu lado desde pequena e ter crescido junto comigo.

À minha dinda Thasylla por me inspirar todos os dias e fazer eu querer seguir meus sonhos cada vez mais.

À minha tia Dalvinha por terorado por mim toda vez que eu vinha ao Rio de Janeiro sozinha.

Ao meu tio Guilherme, minha tia Manu, meu tio Giovane, minha tia Carla, meu tio Marquinhos, minha tia Marina, minha tia Thaysa, meu tio Dudu, ao Arthur e à Giovana por terem feito meus finais de semana mais felizes com nossos churrascos.

À minha banca. Ao Lele por ter feito eu amar a área de Análises Clínicas e gostar mais da área de histologia do que um dia eu imaginaria gostar. Ao Savignon por ter dado as aulas mais mirabolantes que faziam a minha cabeça fever e por ter feito eu entender o Ciclo de Krebs. À Nathalia que mesmo não me conhecendo topou fazer parte dessa banca.

Por fim, agradeço a todos que compareceram na minha defesa e fizeram a minha apresentação ser prazeroza.

*“No susto e no grito,  
fazemos bonito”*

*Monstros S.A.*

## RESUMO

Determinados materiais fossilizados de dinossauros apresentaram conservação excepcional durante o passar dos anos, preservando, dentre elas, estruturas semelhantes a osteócitos. O seguinte trabalho tem como objetivo compreender como os osteócitos são preservados em materiais fossilizados de dinossauros, considerando seu paleoambiente e as teorias impostas sobre essa preservação. É utilizada a revisão bibliográfica e documental de objetos de língua inglesa e portuguesa, por meio dos descritores *dinosaur cells*, *dinosaur blood cells*, *osteocytes in dinosaurs* e *dinosaur fossil preservation* nas bases de dados online PubMed, Google Acadêmico, Research Gate e Science Direct e nas revistas Nature, Interciência e Science como metodologia de pesquisa. Este trabalho demonstra que o paleoambiente e fatores bioquímicos modificam a preservação fóssil e a preservação de estruturas, possivelmente, celulares provenientes do meio endógeno.

**Palavras-chave:** Osteócitos. Dinossauros. Preservação.

*Além dos objetivos descritos neste documento tive como meta criar um material um pouco mais detalhado e menos complicado do que os que foram lidos por mim na jornada de escrita deste trabalho. Espero que você, leitor, possa usufruir desse material como uma introdução ao meio da paleontologia e dos dinossauros e que consiga utilizá-lo como meio para pesquisas mais profundas sobre o assunto. Por mais que em muitos momentos a linguagem técnica foi utilizada e não foi desmiuçada durante o trabalho, acredito que com pequenas pesquisas será possível sanar determinadas dúvidas. Torço para que este material tenha feito a paleontologia ser um pouco mais interessante para alguém como é interessantíssima para mim.*

*(A Autora)*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1: Esquema dos tipos de fósseis com evidência às subdivisões de fósseis corpóreos
- Figura 2: Etapas da Teoria da Deriva Continental
- Figura 3: Região da pélvis de répteis
- Figura 4: Diferença entre a região da pélvis das diferentes ordens dos dinossauros
- Figura 4: Prancha dos resquícios encontrados
- Figura 5: Citoesqueleto celular
- Figura 6: Matriz extracelular em contato com a membrana plasmática celular
- Figura 7: Osteoclasto corado
- Figura 8: Osteoblastos corados
- Figura 9: Osteócitos corados
- Figura 10: Funcionamento das células da série osteoblástica
- Figura 11: Ilustração de um osteoblasto, de um osteócito e de um osteoclasto
- Figura 12: Estruturas semelhantes à osteócitos encontrados em dinossauros em microscopia óptica
- Figura 13: Reação da proteína actina
- Figura 14: Reação de estruturas similares a osteócitos com anticorpos para PHEX
- Figura 15: Reação negativa para osteócitos de jacarés
- Figura 16: Reação de estruturas semelhantes à osteócitos com anticorpos e corantes específicos para detecção de DNA
- Figura 17: Esquema da fosforilação oxidativa na mitocôndria
- Figura 18: Reduções parciais e total do gás oxigênio
- Figura 19: Equações da peroxidação lipídica
- Figura 20: Reação de lipoperoxidação na membrana celular
- Figura 21: Imagem da associação do ferro com estruturas parecidas com osteócitos em microscopia eletrônica de transmissão e em espectrometria de perda de elétrons
- Figura 22: Fotos dos tipos de rochas sedimentares clásticas
- Figura 23: Quadro da classificação das rochas sedimentares clásticas
- Figura 24: Fotos dos tipos de rochas sedimentares biogênicas
- Figura 25: Foto de uma rocha sedimentar orgânica

Figura 26: Foto dos tipos de rochas sedimentares químicas

Figura 27: Rocha sedimentar estratificada

Figura 28: Formação de Hell Creek nos Estados Unidos da América

Figura 29: Subdivisões da formação de Hell Creek

Figura 30: Formação do Rio Judith em Montana – EUA

Figura 31: Local de encontro do *Tyrannosaurus rex* (MOR 1125) em Montana – EUA

Figura 32: Reconstrução do local post mortem do *Brachylophosaurus canadensis* (MOR 1125) na Formação do Rio Judith

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	20
1.1. JUSTIFICATIVA .....	28
1.2. OBJETIVOS .....	29
1.2.1. OBJETIVO GERAL .....	29
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	29
1.3. METODOLOGIA DO ESTUDO .....	30
<b>2. OS RESQUÍCIOS ENCONTRADOS</b> .....	31
2.1 TECIDO CONJUNTIVO E A SUA COMPOSIÇÃO.....	32
2.1.1 TECIDO ÓSSEO E A SUA COMPOSIÇÃO.....	34
2.1.1.1 COMPONENTES DO TECIDO ÓSSEO ENCONTRADOS EM FÓSSEIS DE DINOSSAUROS.....	38
<b>3. FATORES BIOQUÍMICOS DA PRESERVAÇÃO ESTRUTURAL</b> .....	45
<b>4. FATORES GEOLÓGICOS DA PRESERVAÇÃO FÓSSIL</b> .....	54
4.1 PALEOAMBIENTE E CONTEXTO TAFONÔMICO DO <i>TYRANOSAURUS REX</i> (MOR 1125) .....	62
4.2 PALEOAMBIENTE E CONTEXTO TAFONÔMICO DO <i>BRACHYLOPHOSAURUS</i> <i>CANADENSES</i> (MOR 2598) .....	65
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	67
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	69

## 1. INTRODUÇÃO

A paleontologia é um amplo campo da ciência que estuda sinais de vida pré-históricas<sup>1</sup>, mudanças geológicas, migrações intercontinentais, extinções em massa, modificações de espécies e, principalmente, fósseis, durante o tempo geológico (CARVALHO, 2000).

Fósseis são restos ou vestígios de animais, vegetais e de outros microorganismos que se preservaram em rochas sedimentares, âmbar, gelo ou asfalto e que viveram em épocas anteriores à pré-história (CARVALHO, 2000). Para que um fóssil resto exista é necessário que ocorra o processo de fossilização em determinado ser vivo.

Para que o processo de fossilização ocorra, primeiramente, o ser morre devido à doença, ao predatismo, às mudanças ambientais ou ao envelhecimento. Após a morte, o processo de decomposição ou de necrólise<sup>2</sup> é iniciado. Nesta etapa, o tecido mole do ser vivo é deteriorado e sobram apenas as partes minerais; em alguns casos, partes do ser vivo podem permanecer unidas por ligamentos. Os seres que ainda apresentam ligamentos e que não se desarticularam durante a necrólise ou a decomposição se desarticularão em função de partículas sedimentares como a areia, os seixos<sup>3</sup> e a água, resultando no desgaste e na fragmentação da sua superfície se não forem soterradas. Caso a carapaça seja soterrada esse objeto poderá, efetivamente, se tornar um fóssil. Caso não seja soterrado, por sua vez, o material é totalmente degradado, não havendo chance de preservação. Quando soterrado imediatamente, o material tem um maior potencial de preservação, visto que a rápida decantação e a deposição de materiais finos auxiliam nesse processo, dado o aprisionamento e a incorporação às camadas de sedimentos. Após soterrado, o material, com o passar do tempo, possuirá várias camadas de sedimentos incoerentes em sua superfície, possibilitando a passagem de água dentre eles até chegar no material em si, o que auxilia a precipitação de minerais que irão ligar cada partícula de sedimento com os restos orgânicos por meio da infiltração; dependendo das características químicas do líquido de infiltração pode haver dissolução completa ou modificações químicas do material (Fig. 1). Como última etapa da fossilização ocorre o soerguimento das rochas fossilíferas da crosta terrestre, a partir das quais os fósseis poderão sofrer levantamento devido à movimentação das placas tectônicas e, assim, serem dobrados ou destruídos (SOARES, 2015).

---

<sup>1</sup> Período da história que antecede a invenção da escrita (HEINZELMANN, 2004).

<sup>2</sup> Decomposição bacteriana dos tecidos (SOARES, 2015).

<sup>3</sup> Pequenos pedaços de minerais ou pedras; são semelhantes à cascalhos.

Figura 1: Esquema dos tipos de fósseis com evidência às subdivisões de fósseis corpóreos

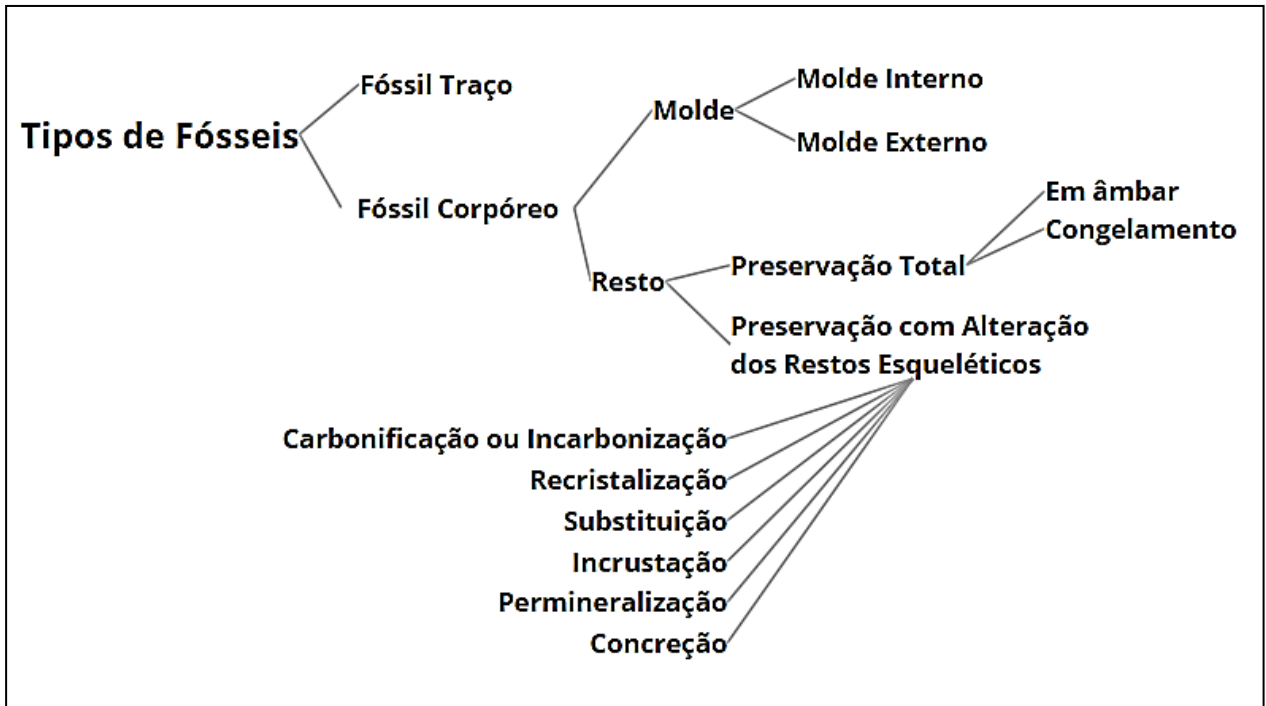


Figura 1: Esquema dos tipos de fósseis com evidência às subdivisões de fósseis corpóreos, moldes, restos, preservação total e preservação com alteração dos restos esqueléticos. Fonte: Imagem Autoral.

Os fósseis podem ser classificados em fósseis traço, conhecidos como vestígios, ou fósseis corpóreos, conhecidos como restos. Os fósseis corpóreos se dividem em moldes ou em restos e apresentam alto nível de preservação. Os restos, por sua vez, se dividem em preservação total e preservação com alteração dos restos esqueléticos. A preservação com alteração dos restos esqueléticos pode ocorrer por carbonificação ou incarbonificação, recristalização, substituição, incrustação, permineralização ou concreção, conforme Soares, 2015, podendo ser visto na Figura 1.

O estudo dos fósseis de dinossauros é um ramo da paleontologia amplamente popular devido ao fascínio e à admiração dos mais variados grupos sociais pelos grandes répteis que, por milhares de anos, habitaram o planeta Terra.

Os dinossauros tiveram sua primeira aparição no período Triássico, permanecendo na Terra por aproximadamente 185 milhões de anos durante o período Jurássico e Cretáceo, compondo e sendo a maior representação da Era Mesozoica (WICANDER, 2009).

A Era Mesozoica é a era geológica na qual surgiram os dinossauros e os mamíferos e quando ocorreu a divisão do grande continente da Pangeia, em Laurásia e Gondwana (GAMA, 2013); subdivide-se em três períodos: Triássico, Jurássico e Cretáceo, respectivamente. O Triássico é o

primeiro período da Era Mesozoica, com duração de 50.5 milhões de anos (251.902 até 201.400 milhões de anos atrás), no qual surgem os primeiros dinossauros, mamíferos e angiospermas. O período Jurássico é o segundo período da Era Mesozoica, com duração de 56.4 milhões de anos (201.400 até 145 milhões de anos atrás) no qual inicia-se o processo de Deriva Continental<sup>4</sup> (Fig. 2), surgem os primeiros pássaros e ocorre a proliferação de florestas e a diversificação dos dinossauros. O período Cretáceo é o terceiro e último período da Era Mesozoica, com duração de 79 milhões de anos (145 até 66 milhões de anos atrás) no qual ocorre diversificação dos mamíferos, domínio das angiospermas e extinção dos dinossauros (WICANDER, 2009).

Figura 2: Etapas da Teoria da Deriva Continental

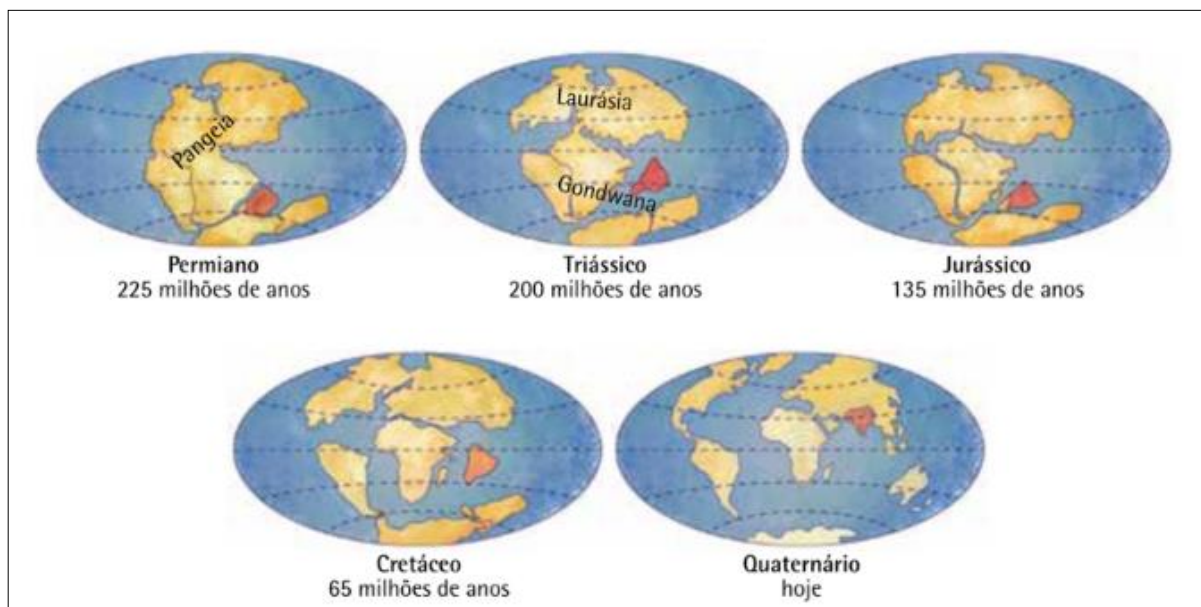


Figura 2: Imagem demonstrando as etapas e tempo em milhões de anos da mudança geográfica do planeta Terra. É possível observar o supercontinente Pangeia no Permiano, a separação desse supercontinente em Laurásia e Gondwana no Triássico e a constante separação desses dois continentes durante o Cretáceo e Jurássico até obter a configuração atual dos continentes no Quaternário. Fonte: IBGE, 2018.

É possível observar, com detalhes, a divisão da Era Mesozoica e de todo o tempo geológico do planeta Terra na coluna cronoestratigráfica, um importante elemento da paleontologia, na Tabela 1 abaixo.

<sup>4</sup> Teoria proposta em 1912 por Alfred Wegner que defende a existência de um único bloco continental, um supercontinente, denominado Pangeia que ao longo do tempo geológico se dividiu em dois grandes blocos, Laurásia e Gondwana, que posteriormente se dividiram até a formação da atual configuração continental e que continuará a se movimentar até a junção ou separação de todos os continentes novamente (WICANDER, 2009).

Tabela 1: Tabela Cronoestratigráfica Internacional 2023/09

IUGS www.stratigraphy.org Comissão Internacional de Estratigrafia v 2023/09					
Éon / Era / Sistema / Período	Série / Época	Andar / Idade	GSSP	Idade (Ma)	
Fenozoico	Quaternário	Holoceno		0.0042	
		Megalyano		0.0042	
		Nonfripiano		0.0042	
		Greenlandiano		0.0117	
		Superior			
	Pleistoceno	Chibaniano		0.129	
		Calabriano		0.774	
		Gelasiano		1.80	
		Piacenziano		2.58	
	Plioceno	Zancleano		3.600	
		Messiniano		5.333	
		Tortoniano		7.246	
	Neógeno	Serravalliano		11.63	
		Mioceno		13.82	
		Langhiano		15.98	
		Burdigaliano		20.44	
		Aquitaniense		23.03	
	Oligoceno	Chattiano		27.82	
		Rupeliano		33.9	
		Priaboniano		37.71	
	Eoceno	Bartoniano		41.2	
		Lutetiano		47.8	
	Paleógeno	Ypresiano		56.0	
		Thanetiano		59.2	
		Selandiano		61.6	
Daniano			66.0		
Mesozoico	Cretáceo	Maastrichtiano		72.1 ± 0.2	
		Campaniano		83.6 ± 0.2	
	Superior	Santoniano		86.3 ± 0.5	
		Coniaciano		89.8 ± 0.3	
		Turoniano		93.9	
		Cenomaniano		100.5	
		Albiano		~ 113.0	
		Aptiano		~ 121.4	
		Barremiano		125.77	
		Hauteriviano		~ 132.6	
Valanginiano		~ 139.8			
Berriasiense		~ 145.0			
Fenozoico	Jurássico	Tithoniano		149.2 ± 0.7	
		Superior			
		Kimmeridgiano		154.8 ± 0.8	
		Oxfordiano		161.5 ± 1.0	
		Calloviano		165.3 ± 1.1	
	Médio	Bathoniano		168.2 ± 1.2	
		Bajociano		170.9 ± 0.8	
		Aaleniano		174.7 ± 0.8	
	Inferior	Toarciano		184.2 ± 0.3	
		Pliensbachiano		192.9 ± 0.3	
	Triássico	Superior			
		Norian		~ 208.5	
		Carniano		~ 227	
		Ladiniano		~ 237	
		Anisiano		~ 242	
Médio	Olenekiano		247.2		
	Induano		251.2		
Inferior	Changhsingiano		251.902 ± 0.024		
	Lopingiano		254.14 ± 0.07		
Paleozoico	Permiano	Wuchiapingiano		259.51 ± 0.21	
		Capitaniano		264.28 ± 0.16	
	Guadalupiano	Wordiano		266.9 ± 0.4	
		Roadiano		273.01 ± 0.14	
	Cisuraliano	Kunguriano		283.5 ± 0.6	
		Artinskiano		290.1 ± 0.26	
	Carbonífero Pennsylvânico	Sakmariano		293.52 ± 0.17	
		Asseliano		298.9 ± 0.15	
		Superior			
		Gzheliano		303.7 ± 0.1	
Médio					
Kasimoviano			307.0 ± 0.1		
Mississippiano	Inferior				
	Bashkiriano		315.2 ± 0.4		
	Superior				
	Serpukhoviano		323.2 ± 0.2		
Carbonífero Mississippiano	Médio				
	Viseano		330.9 ± 0.2		
	Inferior				
Tourmaisiano		346.7 ± 0.4			
				358.9 ± 0.4	
Fenozoico	Devoniano	Famenniano		372.2 ± 1.6	
		Superior			
		Frasniano		382.7 ± 1.6	
		Givetiano		387.7 ± 0.8	
		Eifeliano		393.3 ± 1.2	
	Médio	Emsiano		407.6 ± 2.6	
		Pragian		410.8 ± 2.8	
		Lochkoviano		419.2 ± 3.2	
	Inferior	Pridoli		423.0 ± 2.3	
		Ludlow		425.6 ± 0.9	
	Siluriano	Wenlock		427.4 ± 0.5	
		Homeriano		430.5 ± 0.7	
		Sheinwoodiano		433.4 ± 0.8	
		Llandovery		438.5 ± 1.1	
	Ordoviciano	Superior			
Katiano			440.8 ± 1.2		
Hirnantiano			443.8 ± 1.5		
Médio	Sandbiano		445.2 ± 1.4		
	Sandbiano		453.0 ± 0.7		
Inferior	Darriwiliano		458.4 ± 0.9		
	Dapingiano		467.3 ± 1.1		
	Floiano		470.0 ± 1.4		
				477.7 ± 1.4	
Cambriano	Tremadociano		485.4 ± 1.9		
	Furongiano		~ 489.5		
	Jiangshaniano		~ 494		
	Paibiano		~ 497		
	Guzhangiano		~ 500.5		
Terreneuviano	Miaolingiano		~ 505.5		
	Drumiano		~ 504.5		
	Wuliuano		~ 509		
	Andar 4		~ 514		
	Série 2		~ 521		
	Andar 3		~ 521		
	Andar 2		~ 529		
	Fortuniano		~ 529		
				538.8 ± 0.2	
Proterozoico	Neoproterozoico	Ediacariano		~ 635	
		Cryogeniano		~ 720	
	Mesoproterozoico	Toniano		1000	
		Steniano		1200	
		Ectasian		1400	
		Callymiano		1600	
	Paleoproterozoico	Staheriano		1800	
		Orosiriano		2050	
		Rhyaciano		2300	
		Sideriano		2500	
Arqueano	Neoarqueano		2800		
	Mesoarqueano		3200		
	Paleoarqueano		3600		
Hadeano	Eoarqueano		4031 ± 3		
			4567		

Tabela 1: Tabela cronoestratigráfica internacional 2023/09 evidenciando os Éons, as Eras, os Períodos, as Épocas e as Idades do planeta Terra. Fonte: (COHEN, 2013).

A tabela cronoestratigráfica surge a partir dos estudos da cronoestratigrafia. A cronoestratigrafia é ramo da estratigrafia, que se falará mais a fundo no terceiro capítulo deste trabalho, que estuda e classifica os estratos<sup>5</sup> de rochas de acordo com sua idade, seja ela relativa ou absoluta, e sua relação com o tempo da história da Terra (IBGE, 1999). O campo da cronoestratigrafia é de grande utilidade para os estudos paleontológicos e geológicos, pois reúne informações sobre os Eonotemas, Eratemas, Sistemas, Séries, Andares e Cronozonas do planeta Terra, que, em termos geocronológicos, são equivalentes aos Éons, Eras, Períodos, Épocas, Idades e Cronos, respectivamente (IBGE, 1998). A coluna cronoestratigráfica (Tabela 1), foi criada pela Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS) com objetivo de definir homogeneamente as unidades globais cronoestratigráficas pelo mundo.

É comum interligar os estudos de animais antigos com a tabela cronoestratigráfica, visto que, além do material do animal propriamente dito, é importante estudar como esse ser viveu em determinado ambiente em sua época, por quê, além de possibilitar a reconstrução de florestas e climas, é possível determinar outras espécies que também viviam nessa local durante determinado período. Tais estudos são possíveis em diferentes ramos da paleontologia, como os estudos dos paleoclimas, da paleobotânica, paleopalynologia, da paleopatologia, paleoicnologia e paleoecologia.

Os dinossauros são répteis, comumente, confundidos com o grupo de répteis marinhos extintos, chamados de pleisossauros, e com o grupo dos répteis voadores, denominados pterossauros; os únicos dinossauros que possuíram a capacidade de voar foram os microraptores e as aves e, atualmente, não há conhecimento sobre dinossauro marinho algum. Para distinguir os animais pertencentes ou não ao clado Dinosauria, é necessário observar a presença de acetábulo perfurado (Fig. 3), um orifício bem desenvolvido na bacia onde a perna se encaixa ao corpo; caso o animal não o possua ele não faz parte do grupo dos dinossauros (SOARES, 2015).

---

<sup>5</sup> Camadas de rochas dispostas horizontalmente, geralmente com composição mineralógica diferenciada (GROTZINGER, 2013).

Figura 3: Região da pélvis de répteis.

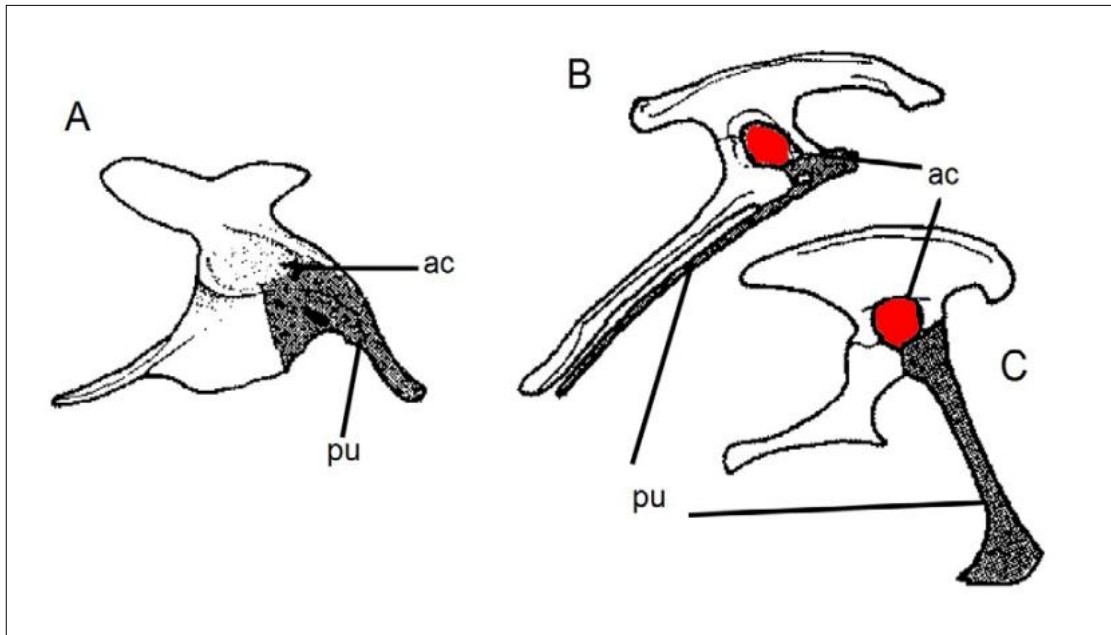


Figura 3: Região da pélvis de répteis. (A) Região da pélvis de um réptil não-dinossauriano. (B) Região da pélvis de dinossauros. (ac) Região acetabular bem desenvolvida em dinossauros (em vermelho) e pouco desenvolvida em não-dinossauros. Fonte: SOARES, 2015.

O clado Dinosauria possui duas ordens: Saurischia e Ornithischia que são distinguidas por diferenças na região da pélvis. Enquanto a ordem Saurischia apresenta o púbis direcionado para frente, a ordem Ornithischia apresenta o púbis paralelo ao ísquio; sendo o púbis e o ísquio ossos compositores da pélvis dinossauriana. Toma-se tais diferenças, hoje em dia, para a diferenciação dos seres da atualidade, sendo os lagartos descendentes dos dinossauros da ordem Saurischia, pois apresentam “quadril de lagarto”, e as aves descendentes dos dinossauros da ordem Ornithischia, pois apresentam “quadril de ave”, tornando-se objeto importante de estudo para essa diferenciação. Ver figura 4 para melhor compreensão.

Figura 4: Diferença entre a região da pélvis das diferentes ordens dos dinossauros

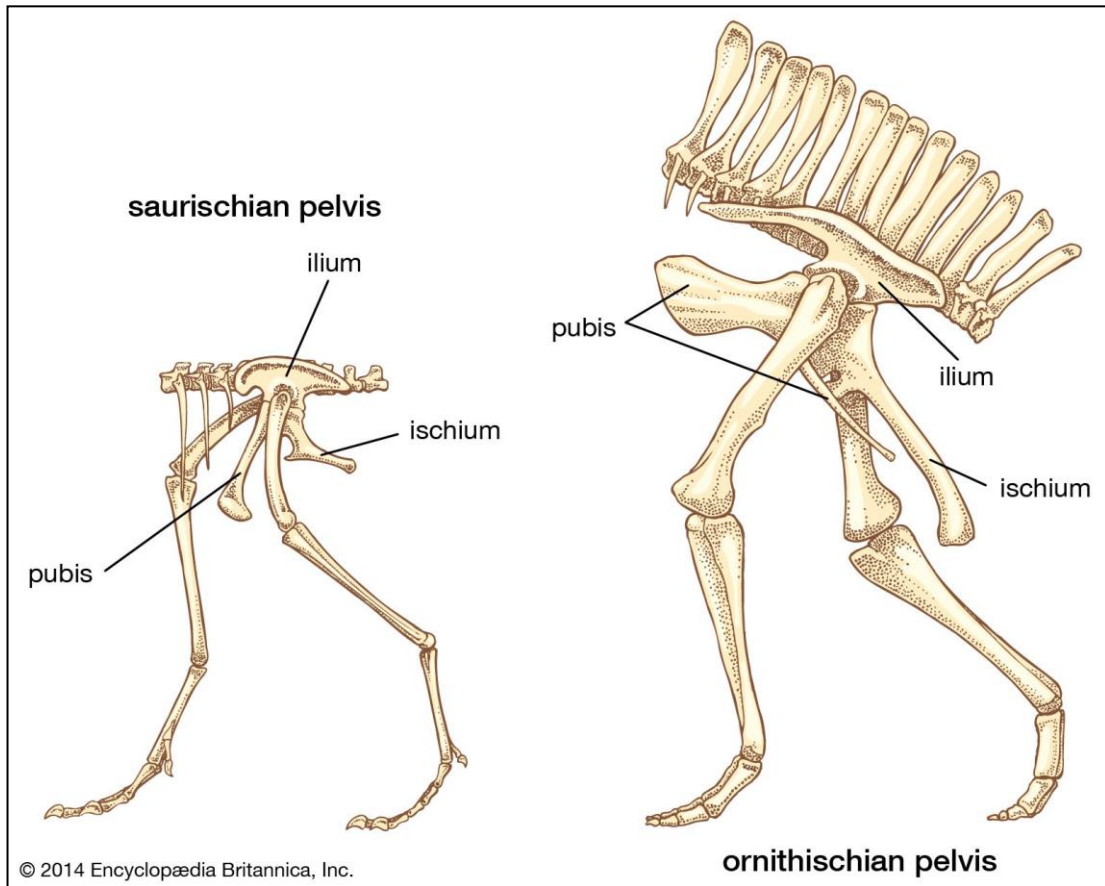
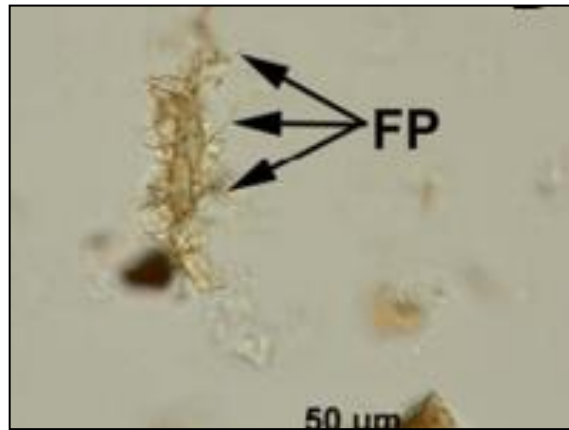


Figura 4: Imagem demonstrando a diferença da região da pélvis das diferentes ordens do clado Dinosauria. São notáveis as variações de espaçamento entre os ossos indicados na imagem, o púbis e o ísquio, o que proporciona essa diferenciação de ordens. Observa-se maior espaçamento do púbis com o ísquio na ordem Ornithischia, quando comparado com a ordem Saurischia. Fonte: BRITANNICA, 2019.

Em fósseis de dinossauros foram encontrados, com o passar dos anos, diversos vestígios de estruturas semelhantes a células e materiais orgânicos no geral. Este trabalho abordará as estruturas semelhantes à osteócitos encontrados em fósseis de dinossauros não avianos. A figura 4 abaixo demonstra uma estrutura semelhante a um osteócito.

Figura 4: Estrutura semelhante a um osteócito



*Figura 4: Imagem de uma estrutura semelhante a um osteócito com setas indicando os prolongamentos da estrutura em uma escala de 50μm. Fonte: SCHWEITZER, 2012.*

## 1.1. JUSTIFICATIVA

A Paleontologia é um ramo importante para o estudo da evolução biológica, da coluna cronoestratigráfica e da reconstrução dos ambientes pré-históricos, áreas indispensáveis para compreensão do mundo atual (CARVALHO, 2000). O campo paleontológico é amplamente conhecido pelo estudo dos fósseis de dinossauros.

O valor do conhecimento sobre os dinossauros é enorme, visto que, com a ajuda dos fósseis desses répteis e, principalmente, das estruturas celulares encontradas nesses objetos, é possível entender, evolutivamente, o desenvolvimento das aves, do clima e da geologia da Era Mesozoica, impactando diretamente a visão sobre pesquisas da Era Cenozoica<sup>6</sup>, principalmente do Holoceno<sup>7</sup>.

Diversos estudos sobre a preservação de material fóssil de dinossauros apresentaram estruturas surpreendentemente preservadas, fazendo com que surjam dúvidas sobre os conhecimentos atuais da conservação de material orgânico. Dado tal fato, o estudo sobre como as diferentes estruturas e tipos celulares são preservadas em fósseis de dinossauros é de grande pertinência, pois legitima ou descarta as hipóteses dos estudiosos diante a visão atual dos estudos biológicos.

Esse objeto de pesquisa é pertinente, visto que o tema é pouco pesquisado e difícil de ser encontrado na literatura em português; além do interesse do público infantojuvenil ser baixo pela falta de divulgação da área durante o ensino fundamental e médio.

---

<sup>6</sup> Era posterior à Mesozoica marcada pela criação dos dobramentos modernos, grandes glaciações, formação dos oceanos e continentes atuais e surgimento do ser humano (GAMA, 2013).

<sup>7</sup> Época iniciada há 11 mil anos atrás com o fim da Idade do Gelo (WICANDER, 2009).

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GERAL

Compreender como osteócitos são preservados em materiais fossilizados de dinossauros não avianos a partir do reconhecimento do ambiente de deposição do fóssil e dos possíveis fatores bioquímicos que auxiliam o processo de preservação.

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Analisar o material bibliográfico acerca dos resquícios semelhantes à osteócitos encontrados em fósseis de dinossauros.
- 2) Reconhecer os fatores bioquímicos que possibilitam a preservação desse material fóssil durante o tempo.
- 3) Relatar o paleoambiente e o local de deposição desses materiais fósseis.

## 1. PROPOSTA METODOLÓGICA DO ESTUDO

O projeto foi baseado na abordagem qualitativa. Usou como estratégias de pesquisa a revisão bibliográfica e documental por meio da busca nas bases de dados online PubMed, Scielo, Google Acadêmico, Research Gate e Science Direct e nas revistas Nature, Interciência e Science, tendo como referência os descritores *dinosaur cells*, *dinosaur blood cells*, *osteocytes in dinosaurs* e *dinosaur fossil preservation*.

Para a inclusão de artigos, o critério utilizado foi o material literário possuir alguma evidência de estrutura orgânica preservada em determinado fóssil de qualquer espécie de dinossauro terrestre, mesmo que a estrutura não tenha confirmação da hipótese no presente. Para a exclusão de artigos, os critérios foram abordar evidências celulares em dinossauros não terrestres e/ou não possuir como tema principal uma discussão sobre a estrutura celular encontrada nesse fóssil.

O recorte temporal realizado foi de 1966 a 2024. Os artigos, livros e revistas selecionadas foram da língua inglesa e portuguesa.

## 2. OS RESQUÍCIOS ENCONTRADOS

Os dinossauros, como mencionado anteriormente, são répteis pertencentes ao Reino Animalia, ao Filo Chordata e a Classe Reptilia. Na literatura científica, os principais resquícios celulares encontrados e descritos nos fósseis desses animais foram estruturas parecidas com osteócitos, vasos sanguíneos e células sanguíneas.

As células são as menores unidades fundamentais e básicas da vida (GANEO, 2019). São caracterizadas, de acordo com Alberts (2017), como pequenas unidades delimitadas por membranas, preenchidas por uma complexa solução aquosa concentrada de compostos e possuidoras de um metabolismo próprio. A primeira célula surgiu há, provavelmente, 3,8 bilhões de anos; 750 milhões de anos após a formação da Terra (COOPER, 2016). Apesar da estrutura básica celular ser a mesma, as células apresentam diferentes funções, tamanhos, formas e necessidades químicas, o que faz com que se possa organizá-las em dois grandes grupos a partir da ausência ou presença de carioteca<sup>8</sup>: células procarióticas e eucarióticas (ALBERTS, 2017).

As células procarióticas possuem como principal característica a ausência de carioteca; não possuem uma vasta diversidade de organelas<sup>9</sup> e são, predominantemente, seres unicelulares. Essa classificação inclui as bactérias e arqueas. As células eucarióticas, por sua vez, possuem como principal característica a presença de carioteca; possuem uma vasta diversidade de organelas. Essa classificação inclui as células presentes nos animais, fungos, vegetais e protozoários (ZAHA, 2003). Nesse estudo o foco estará na análise de células eucarióticas dinossaurianas.

No interior celular não existem apenas organelas e líquido citoplasmático, a célula, como possui três dimensões, necessita de estruturas para auxiliar no sustento de suas organelas, utilizando, assim, diversas proteínas para a criação do seu citoesqueleto. Dentre essas proteínas as mais importantes são a actina e tubulina. A actina é a proteína mais abundante no meio intracelular e está presente por todo o citosol eucariótico. A tubulina, por sua vez, é a principal proteína formadora dos microtúbulos das células eucarióticas, sendo eles componentes importantes para a movimentação das organelas e do organismo celular. A figura demonstra um esquema ilustrado do citoesqueleto celular para melhor compreensão.

---

<sup>8</sup> Membrana dupla que separa o genoma do citoplasma e que apresenta poros para transporte de moléculas entre o interior e exterior do núcleo celular (GANEO, 2019).

<sup>9</sup> Estruturas individuais de funções específicas que estão, geralmente, no interior celular espalhadas pelo meio citoplasmático (ALBERT, 2017).

Figura 6: Citoesqueleto celular

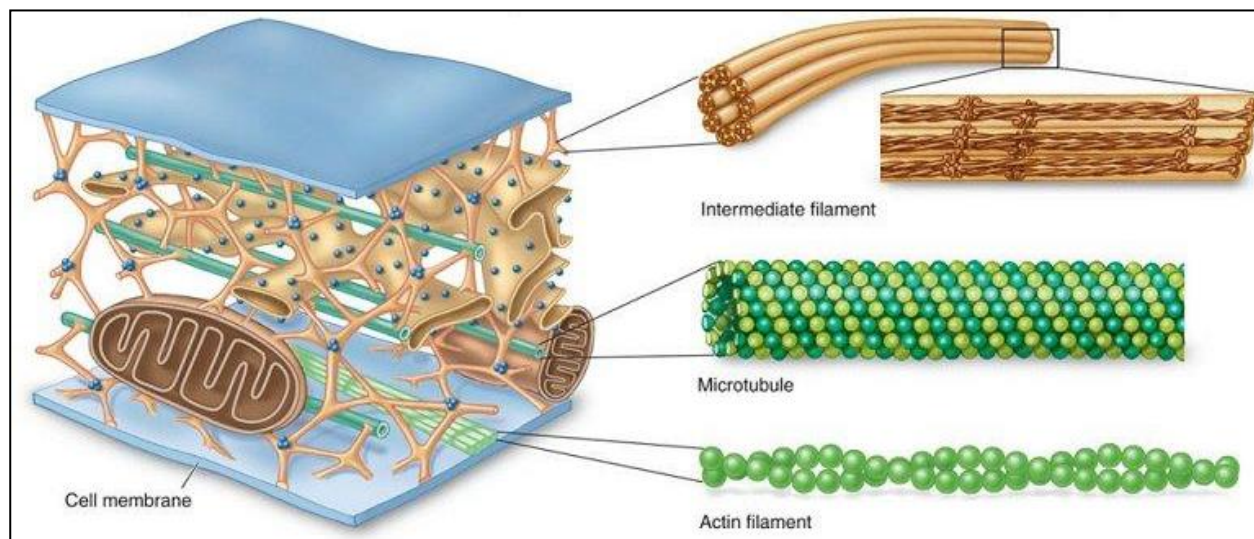


Figura 6: Ilustração do citoesqueleto celular. Note em laranja os filamentos intermediários, em verde claro e verde escuro os microtúbulos e em verde claro os filamentos de actina. Fonte: CAIN, 2015.

O conjunto de células organizadas coletivamente, semelhantes ou não, juntamente da matriz extracelular, constituem um tecido. Células teciduais executam funções em comum para a formação de vários órgãos e sistemas de um organismo (JUNQUEIRA, 2008). Os dinossauros são seres pluricelulares formados de tecidos, órgãos<sup>10</sup> e sistemas<sup>11</sup>. Possuem diversos tecidos como: conjuntivo, epitelial, muscular, nervoso, sanguíneo, ósseo, dentre outros. Este trabalho, como comentado anteriormente, terá foco nos resquícios do tecido ósseo e sanguíneo.

## 2.1 TECIDO CONJUNTIVO E A SUA COMPOSIÇÃO

O tecido conjuntivo é constituído por diversas células e pela matriz extracelular (MEC) (GARTNER, 2003). A matriz extracelular é um composto não celular integrador de células teciduais formado de substâncias fundamentais e fibras que tem a função de regular os processos de crescimento, diferenciação, migração, sobrevivência, homeostase e morfogênese celular e que apresenta considerável importância para eventos bioquímicos e biomecânicos teciduais. As substâncias fundamentais da matriz extracelular são as proteínas fibrosas, os glicosaminoglicanos<sup>12</sup>, os proteoglicanos<sup>13</sup> e as glicoproteínas de adesão<sup>14</sup>; todos esses são

<sup>10</sup> Conjunto de tecidos que realizam funções para a sobrevivência de determinado ser vivo (MEDRADO, 2014).

<sup>11</sup> Conjunto de órgãos que executam funções em determinado ser vivo (MEDRADO, 2014).

<sup>12</sup> Polímeros de carboidratos aniônicos que consistem em repetidas unidades não ramificadas de dissacarídeos de ácido urônico e amino açúcar (RUDD, 2009).

moléculas altamente ácidas e hidratadas. Na maioria dos tecidos, os principais constituintes da MEC são o colágeno tipo I e o colágeno tipo II que se apresentam associados a outros tipos de colágeno e a proteínas para a formação de extensas estruturas fibrinosas (THEOCHARIS, 2015).

Na matriz extracelular, os glicosaminoglicanos se apresentam em pequenas esferas ligadas a proteínas, que então formam os proteoglicanos. As glicoproteínas de adesão estão espalhadas pelo meio extracelular. A figura apresenta uma ilustração da matriz extracelular, na qual as glicoproteínas de adesão são representadas pela fibronectina e os glicosaminoglicanos já se apresentam na sua forma proteica, os proteoglicanos.

Figura 7: Matriz extracelular em contato com a membrana plasmática celular

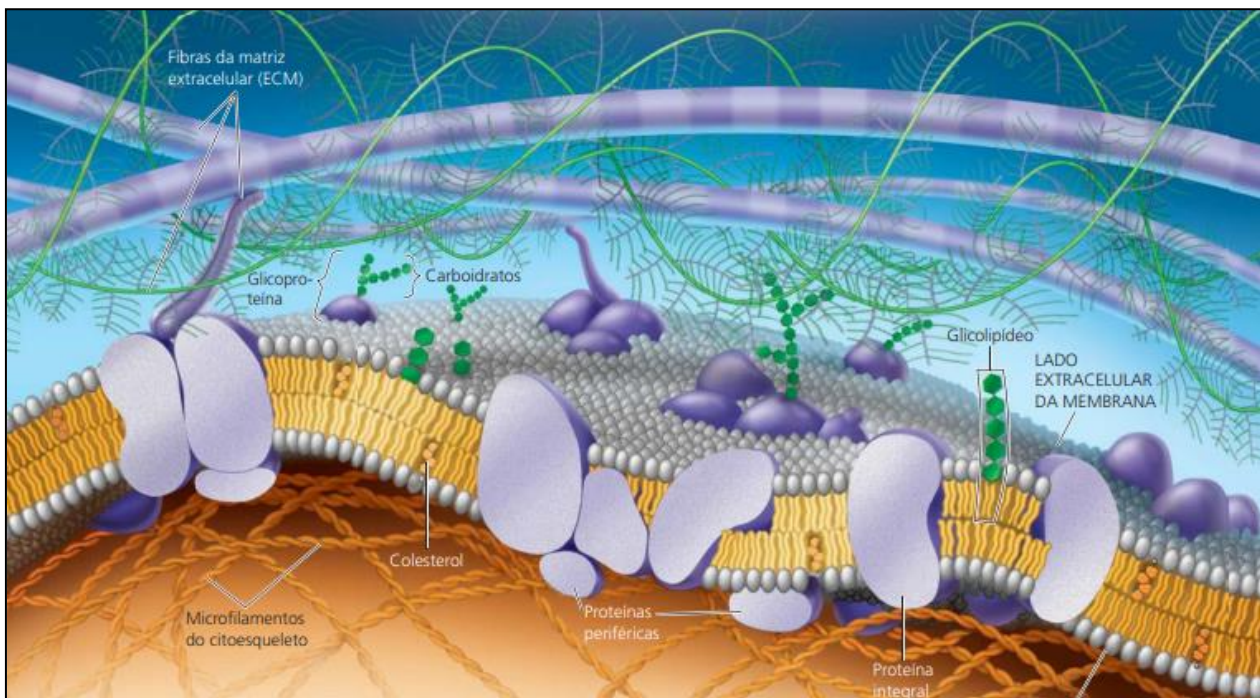


Figura 7: Ilustração de uma membrana plasmática em contato com uma matriz extracelular. Observe que os glicosaminoglicanos estão ligados à proteínas, formando os proteoglicanos e que estes são representados por estruturas semelhantes à galhos por toda a matriz extracelular. Fonte: CAIN, 2015

Um dos principais constituintes da matriz extracelular é, também, o colágeno. O nome colágeno é um termo geral utilizado para se referir ao grupo de proteínas formadoras de uma característica tripla hélice constituída de três cadeias polipeptídicas que, independentemente de seu tamanho, função e distribuição tecidual variam consideravelmente, possibilitando, assim, sua

<sup>13</sup> Proteínas que possuem um ou mais glicosaminoglicanos ligados covalentemente em cadeias (HARDINGHAM, 1992).

<sup>14</sup> Moléculas responsáveis pela adesão de vários componentes da matriz extracelular uns aos outros (JUDAS, 2012).

diferenciação. Na literatura científica, há, atualmente, conhecimento de 26 tipos geneticamente distintos de colágeno. A família de colágeno mais abundante na formação de tecidos é a família de colágenos formadores de fibras, constituída, principalmente pelos colágenos tipo I, tipo II, tipo V e tipo XI (THEOCHARIS, 2015).

### **2.1.1 TECIDO ÓSSEO E A SUA COMPOSIÇÃO**

O tecido ósseo é um tipo especializado de tecido conjuntivo composto por células e matriz extracelular responsável pela síntese óssea, regulação da homeostase sanguínea, sustentação e proteção do ser vivo vertebrado (JUDAS, 2012).

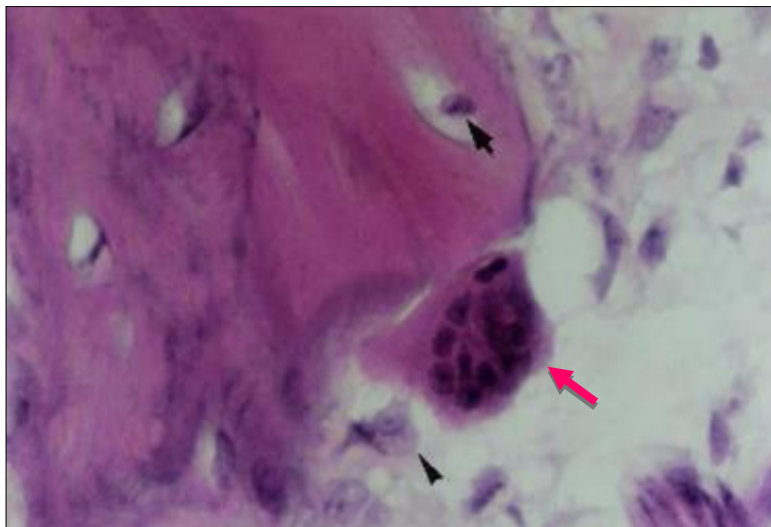
Para que seja possível o crescimento dos seres é necessário que os ossos do corpo acompanhem essa evolução, sendo assim, esses ossos crescem, remodelam-se e permanecem ativos durante toda a vida do organismo. A constante remodelação do tecido ósseo é fruto do conjunto de ações da série das células osteoclásticas e das células osteoblásticas que são responsáveis pela microarquitetura óssea (JUDAS, 2012).

A série osteoclástica possui como componentes os monócitos circulantes, os monócitos da medula óssea, os pré-osteoclastos e os osteoclastos. Os monócitos circulantes e os monócitos de medula óssea são células especializadas do tecido sanguíneo e não serão abordadas nessa seção. Os pré-osteoclastos, apesar de não serem células ósseas verdadeiras por se originarem de células macrofágicas anteriormente diferenciadas ou de um precursor mieloide da linhagem dos monócitos-macrófagos na série hematopoiética da medula óssea, são células imaturas precursoras das células especializadas do tecido ósseo, e podem ser chamados de osteoclastos imaturos. Os osteoclastos são células altamente especializadas responsáveis pela remodelação e reabsorção de cristais de hidroxiapatita<sup>15</sup> na matriz óssea (JUDAS, 2012); são células grandes (10-100µm), móveis, multinucleadas (10-100 núcleos), vacuolizadas e possuem variação de tamanho e número de núcleos de espécie a espécie (Fig. 10) (PIERCE, 1991).

---

<sup>15</sup> Cristais de fosfato de cálcio proporcionadores de dureza e resistência que quando desmineralizados liberam íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e monohidrogenofosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ); possuem fórmula  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$  (JUDAS, 2012).

Figura 8: Osteoclasto corado



*Figura 8: Osteoclasto realizando reabsorção óssea em um corte histológico de mandíbula com coloração hematoxilina-eosina. A seta rosa demonstra o osteoclasto. A seta preta longa demonstra o osteócito. A seta preta curta demonstra o osteoblasto. Imagem alterada. Fonte: JUNQUEIRA, 2008.*

A série osteoblástica possui como componentes os pré-osteoblastos, os osteoblastos maduros, as células de revestimento ósseo e os osteócitos. Os pré-osteoblastos advêm de células mesenquimatosas indiferenciadas e pluripotenciais, geralmente localizadas no periósteo, através da ativação de vários genes que expressam proteínas específicas; são percursores dos osteoblastos e podem ser chamados de osteoblastos imaturos. Os osteoblastos são células maduras incapazes de realizar mitose, e são responsáveis pela sintetização de colágeno tipo I e de proteínas não colagênicas, também são responsáveis pela mineralização da parte orgânica, constituída de colágeno, e da parte mineral, constituída de hidroxapatita, da matriz óssea e pela recepção e transmissão de sinais para o osteoclasto a fim de dar início à remodelação óssea; quando finalizado os processos de sintetização, mineralização, recepção e transmissão de sinais, os osteoblastos achatam-se e transformam-se em células de revestimento ósseo ou em osteócitos, ambos menos ativos que o osteoblasto propriamente dito (JUDAS, 2012). A morfologia dos osteoblastos é cuboide, são mononucleados, possuem de 15-30 $\mu$ m de diâmetro, dispõem de características basofílicas e de numerosos prolongamentos citoplasmáticos que se interdigitam e se comunicam com os prolongamentos dos osteócitos. Estão, geralmente, dispostos em fileiras lineares nas superfícies formadoras do osso (Fig. 11) (STANDRING, 2010).

Figura 9: Osteoblastos corados

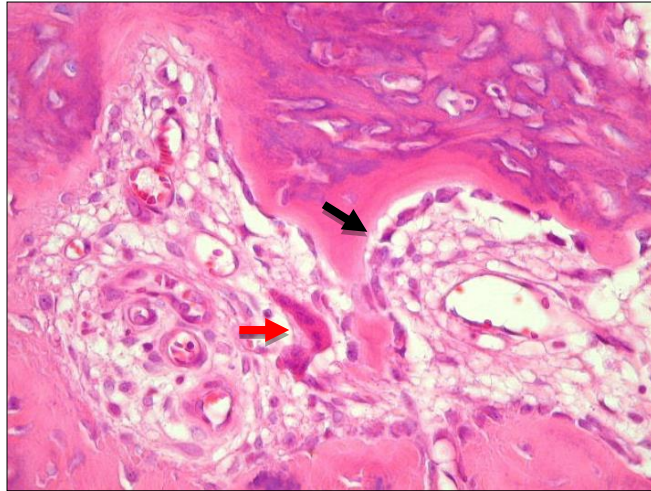


Figura 9: Osteoblastos enfileirados em corte histológico de fratura óssea descalcificada em coloração hematoxilina-eosina. A seta preta demonstra os osteoblastos enfileirados. A seta vermelha demonstra um osteoclasto. Imagem alterada. Fonte: QUEIROZ, 2006.

As células de revestimento ósseo são formas menos ativas dos osteoblastos e revestem a maior parte da matriz óssea calcificada; possuem formato fino, alongado, achatado e são mononucleadas (JUDAS, 2012). Os osteócitos são responsáveis pela remodelação óssea, pela dispersão de nutrientes, gases e produtos de eliminação entre osteócitos e vasos sanguíneos e pela tradução de estímulos mecânicos em estímulos bioquímicos para a comunicação com as células de superfície (osteoclastos, osteoblastos e células de revestimento ósseo) para reparação de microfissuras; estão presentes em canaliculos de 0,25-0,5 $\mu$ m de largura preenchidos por camadas de 0,2-2 $\mu$ m de matriz desmineralizada. A morfologia dos osteócitos é elipsoide, são mononucleados, possuem citoplasma basofílico, numerosos prolongamentos citoplasmáticos semelhantes à espinhos de células dendríticas e um diâmetro de, aproximadamente, 25 $\mu$ m (Fig. 12) (STANDRING, 2010).

Figura 10: Osteócitos corados

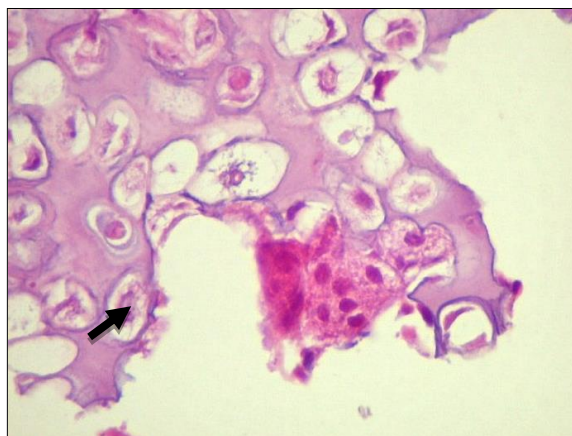


Figura 10: Osteócitos corados em corte histológico de fratura óssea descalcificada em coloração hematoxilina-eosina. A seta em preto demonstra um osteócito e seus prolongamentos citoplasmáticos. Imagem alterada. Fonte: QUEIROZ, 2006.

Em síntese, as células da série osteoblástica do tecido ósseo funcionam como demonstrado na figura 11: os osteócitos são dispostos interligados em canalículos de matriz óssea e os osteoblastos e as células de revestimento ósseo são dispostas linearmente na superfície da matriz óssea.

Figura 11: Funcionamento das células da série osteoblástica

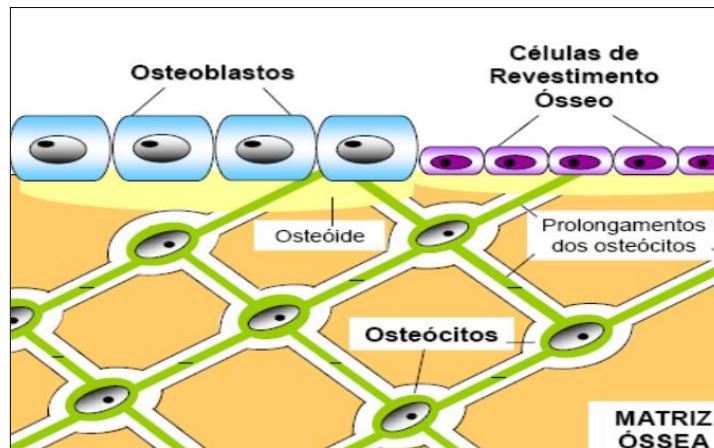


Figura 11: Funcionamento das células da série osteoblástica demonstrando os osteoblastos e células de revestimento ósseo na superfície do osteoide (matriz orgânica não calcificada que separa as células de superfície e a matriz óssea) e os osteócitos prolongados interligando-se. Fonte: JUDAS, 2012.

Ilustrativamente, os osteoblastos, osteócitos e osteoclastos são apresentados da seguinte maneira: (ver fig. 12).

Figura 12: Ilustração de um osteoblasto, de um osteócito e de um osteoclasto

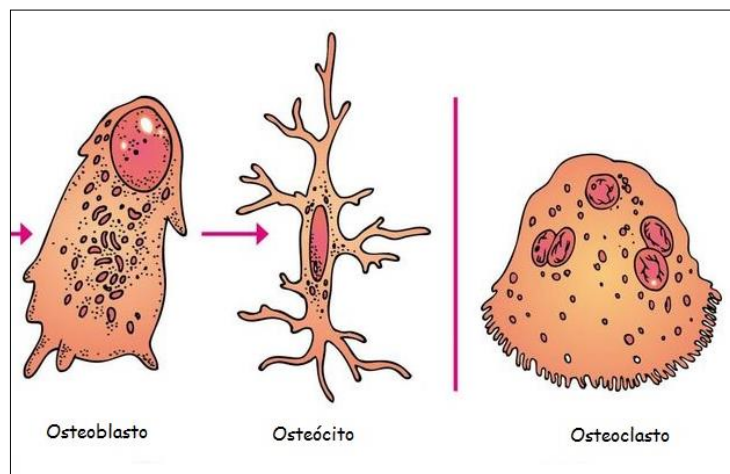


Figura 12: Ilustração de um osteoblasto (esquerda), de um osteócito (meio) e de um osteoclasto (direita), evidenciando as diferenças morfológicas de cada célula. Imagem alterada. Fonte: COSTA, 2017.

Vale ressaltar que o tecido ósseo dos humanos e das aves possuem as mesmas células.

### **3.1.2.1 COMPONENTES DO TECIDO ÓSSEO ENCONTRADOS EM FÓSSEIS DE DINOSSAUROS**

O tecido ósseo, como sintetizado anteriormente, é composto de células especializadas, os osteoclastos, os osteoblastos e os osteócitos, e de matriz óssea. Em fósseis de dinossauros, dentre os componentes do tecido ósseo, foram encontradas estruturas parecidas com osteócitos.

Durante este trabalho serão utilizados os termos “estruturas parecidas”, “estruturas semelhantes” e “estruturas similares” para se referir ao material encontrado nesses fósseis devido à incerteza e não confirmação, até então, da real natureza dessas estruturas, sendo elas extraordinariamente semelhantes às estruturas encontradas atualmente em aves e outros animais, se tornando motivo de investigação.

Como comentado, em fósseis de dinossauros foram encontradas, após a desmineralização do material paleontológico, estruturas morfológicamente similares à osteócitos aviários que possuíam característicos prolongamentos citoplasmáticos, formato achatado, variação na largura e alongamento ‘celular’. Essas estruturas foram analisadas em microscopia óptica por Schweitzer, 2007 e Schweitzer, 2013, como apresentado na figura 13.

Figura 13: Estruturas semelhantes à osteócitos encontrados em dinossauros em microscopia óptica

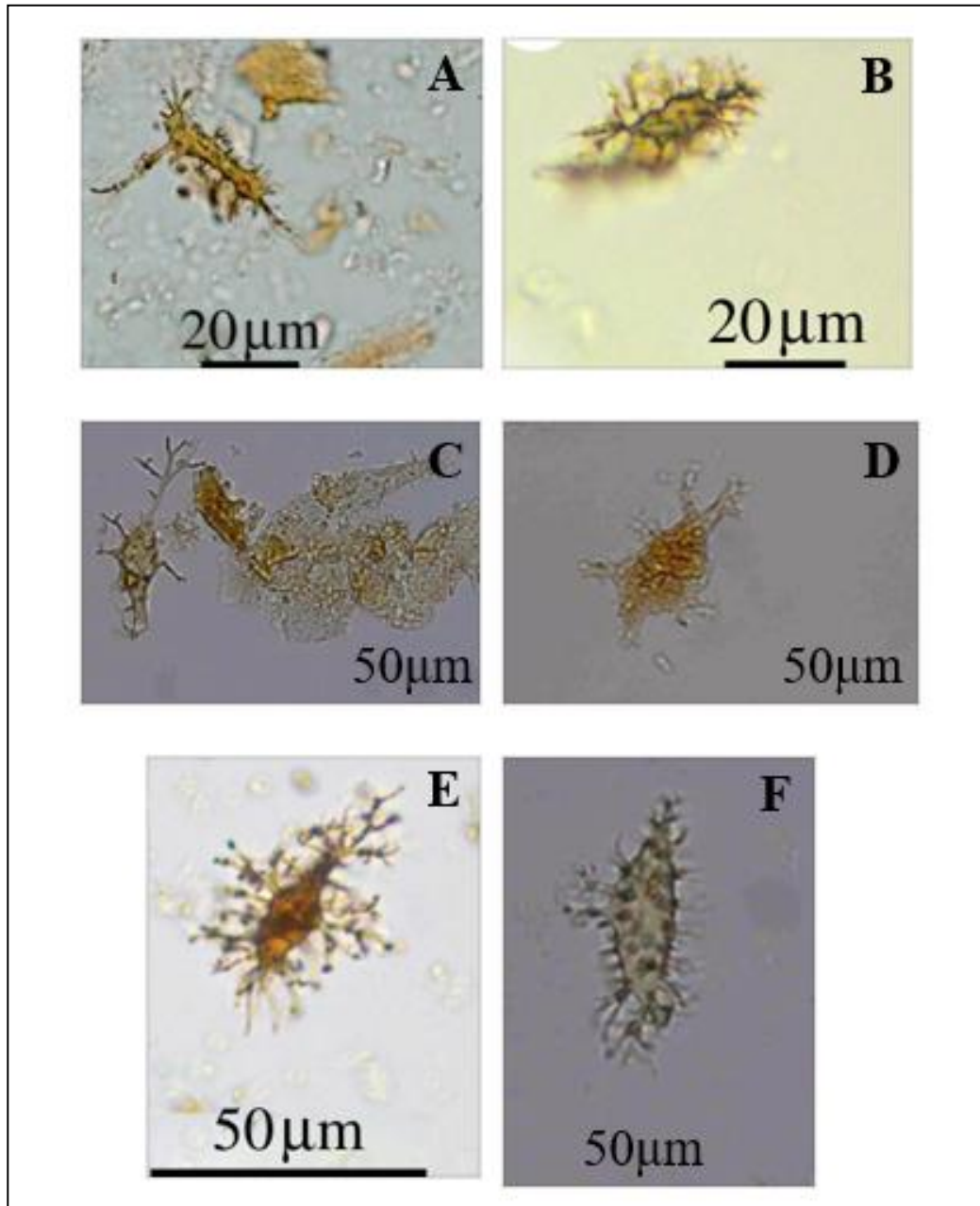


Figura 13: Prancha das estruturas semelhantes à osteócitos encontrados em dinossauros em microscopia óptica. (A) Estrutura parecida com um osteócito que apresenta prolongamentos citoplasmáticos em uma escala de 20 $\mu$ m. (B) Estrutura parecida com um osteócito que apresenta coloração natural e prolongamentos citoplasmáticos em três dimensões em uma escala de 20 $\mu$ m. (C) Estrutura similar a um osteócito com visíveis prolongamentos citoplasmáticos em sua periferia em uma escala de 50 $\mu$ m. Imagem alterada. (D) Estrutura similar a um osteócito que apresenta prolongamentos citoplasmáticos e conteúdo intracelular em uma escala de 50 $\mu$ m. Imagem alterada. (E) Estrutura semelhante a um osteócito. A amostra apresenta cor natural e prolongamentos citoplasmáticos em três dimensões em uma escala de 50 $\mu$ m. (F) Estrutura semelhante a um osteócito com prolongamentos citoplasmáticos ao seu redor em uma escala de 50 $\mu$ m. Imagem alterada. Fontes: SCHWEITZER, 2007; SCHWEITZER, 2013.

O estudo apenas da morfologia celular não é o bastante para materiais tão antigos como fósseis de dinossauros devido à plausível degradação e mudança estrutural desses artefatos, se tornando necessária a realização de testes mais específicos para a consolidação de pesquisas e hipóteses feitas ao longo das décadas. Dado esse fato, técnicas para a identificação de proteínas estruturais actina filamentosa e tubulina e da proteína específica de osteócitos endopeptidase reguladora de fosfato, do inglês *phosphate-regulating endopeptidase* (PHEX), foram realizadas nas mesmas amostras de fósseis que foi realizada a microscopia óptica.

A actina, constituinte do citoesqueleto celular, é considerada um dos três maiores polímeros do citoesqueleto e possui duas formações: a actina monomérica globular (actina-G) que, em conjunto de outras unidades de actinas globulares, forma a actina polimerizada fibrosa (actina-F). A actina fibrosa não é plausível de cristalização, é componente dos microfilamentos de células musculares, do sistema citoesquelético de células não musculares e está distribuída por todo o citosol eucariótico (LEHNINGER, 2006).

A tubulina, constituinte dos microtúbulos do citoesqueleto celular eucariótico, é um heterodímero composto de duas unidades, a  $\alpha$ -tubulina e a  $\beta$ -tubulina (MACRAE, 1989). Os microtúbulos formados pela tubulina auxiliam a movimentação de organelas e do organismo celular (LEHNINGER, 2006).

A endopeptidase reguladora de fosfato (PHEX) é uma proteína essencial para a mineralização óssea que é específica da membrana dos osteócitos aviários e não reage com osteoblastos de aves ou com osteócitos de outros animais (HAN, 2015).

A escolha dessas proteínas específicas não é algo aleatório. Foram utilizados como método de investigação a caracterização da actina, tubulina e PHEX para realizar o descarte da hipótese de contaminação por biofilme de bactérias, dado que elas não interagem com actina e tubulina pois são seres procarióticos, nem com o PHEX, pois não são aves. A actina e tubulina além de não estarem presentes em células procarióticas possuem grande potencial de preservação durante o tempo e constituem parte do citoesqueleto dos osteócitos de vertebrados antigos (no sentido de distantes da atual árvore filogenética dos animais vertebrados) (SCHWEITZER, 2013).

Para a identificação da actina, tubulina e PHEX foram utilizados anticorpos monoclonais (MAb) e anticorpos policlonais (PAb). Os anticorpos monoclonais são moléculas proteicas altamente específicas derivadas de um clone único de célula B que reconhecem apenas um

epítopo específico de determinado antígeno (NELSON, 2000). Os anticorpos policlonais são moléculas proteicas derivadas de diversos linfócitos B, são mais estáveis a mudanças de concentração de sal e pH, quando comparado aos anticorpos monoclonais, e reconhecem múltiplos epítomos de um determinado antígeno (NEIL, 2005). Enquanto os MAb são altamente específicos, os PAb possuem especificidade e afinidade variáveis (SCHWEITZER, 2013).

Na pesquisa de Schweitzer (2013) é possível observar testes realizados com anticorpos monoclonais e anticorpos policlonais para a verificação da presença das proteínas actina, tubulina e PHEX. Para a investigação da presença de actina foram utilizados anticorpos específicos para actina, que reagem com a proteína propriamente dita, e anticorpos anti-actina, que reagem com os anticorpos para actina, e foram obtidos os resultados observados na figura 19.

Figura 14: Reação da proteína actina

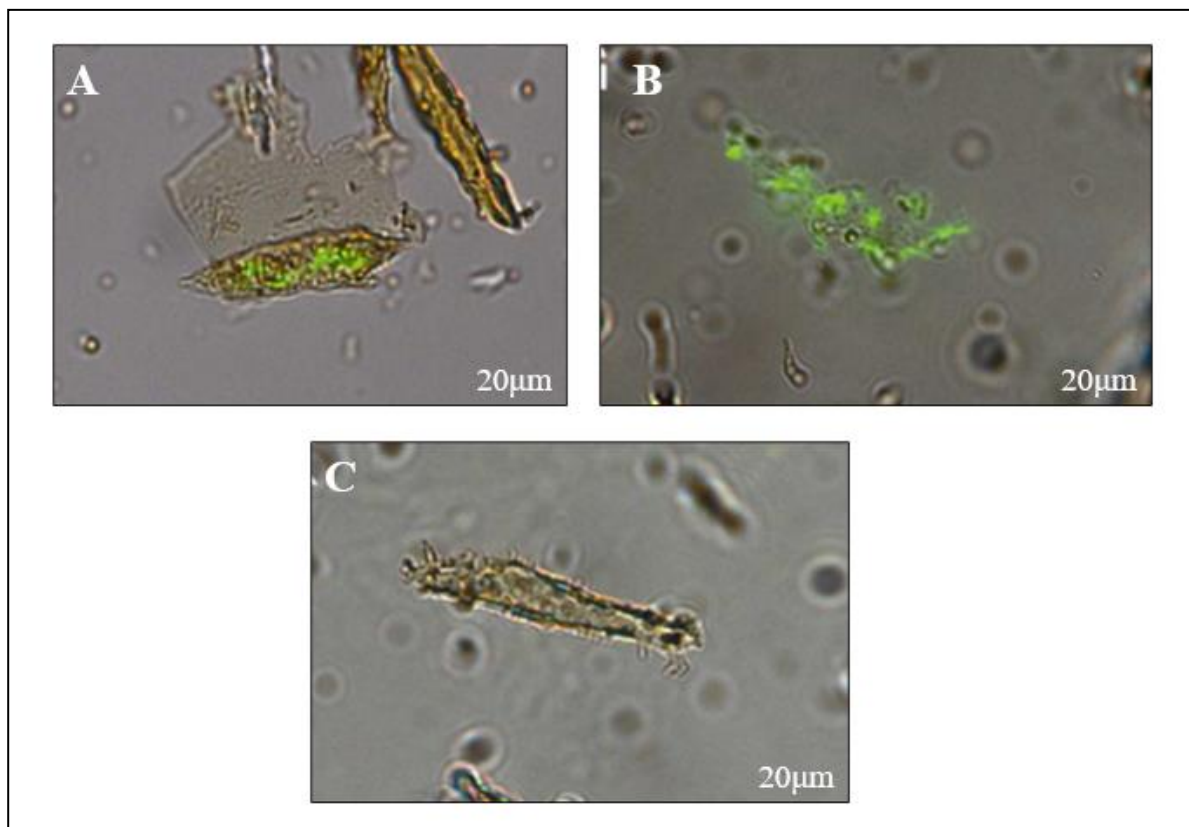


Figura 14: Prancha demonstrando reações das estruturas semelhantes à osteócitos com anticorpos específicos para actina, anticorpos anti-actina e anticorpos anti-testosterona. (A) Imagem demonstrando a reação positiva de anticorpos específicos para actina no interior de uma estrutura semelhante a um osteócito. É possível observar um padrão filamentos no interior da estrutura e nenhuma reação no meio extracelular, demonstrando alta especificidade. (B) Imagem demonstrando a reação positiva de anticorpos anti-actina no interior de uma estrutura semelhante a um osteócito. (C) Imagem demonstrando nenhuma reação (reação negativa) para anticorpos anti-testosterona humano. É possível perceber que a reação não ocorre, o que serve de suporte para a reação positiva do anticorpo para actina e do anticorpo anti-actina (reação controle). Todas as imagens foram alteradas e apresentam escala de 20µm. Fontes: SCHWEITZER, 2013.

Para os testes de verificação de tubulina foram utilizados anticorpos específicos para a proteína tubulina e anticorpos anti-tubulina, que funcionam da mesma maneira dos anticorpos e anti-anticorpos da actina, e os resultados foram os mesmos das reações anteriores, resultados positivos para anticorpos específicos e anti-anticorpos e resultado negativo para anticorpo de controle.

Para a testagem da endopeptidase reguladora de fosfato foram utilizados anticorpos monoclonais para epítomos de fosfoendopeptidase de galinhas (PHEX) e foram obtidos os resultados observados nas figuras 22 e 23.

Figura 15: Reação de estruturas similares a osteócitos com anticorpos para PHEX

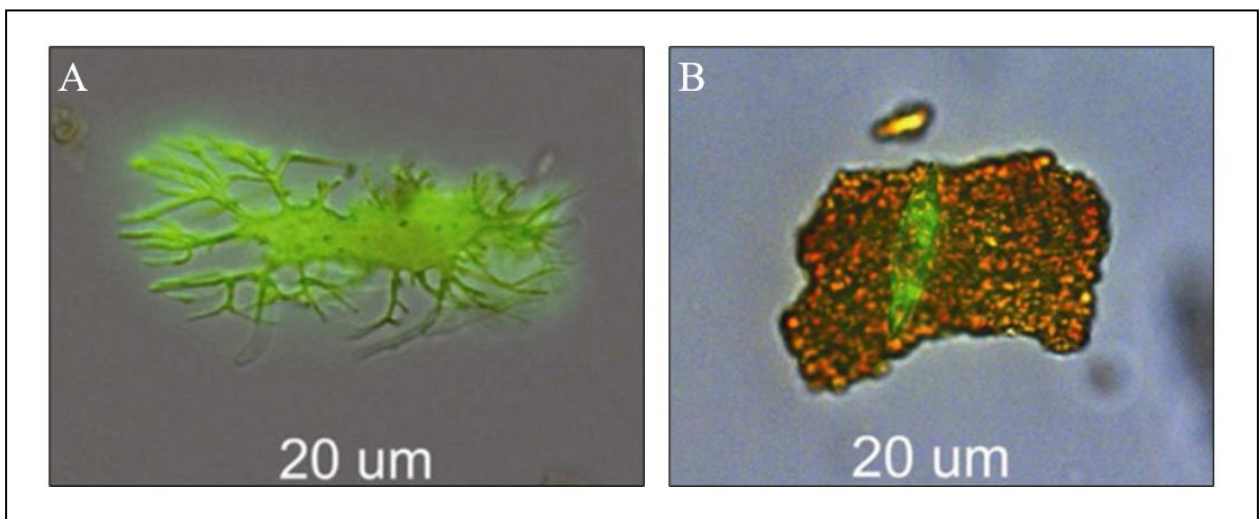


Figura 15: Prancha demonstrando as reações com anticorpos específicos para PHEX. (A) Imagem de uma estrutura similar a um osteócito reagindo com anticorpos para PHEX (reação positiva). É possível observar múltiplos prolongamentos citoplasmáticos e coloração verde fluorescente apenas no interior da estrutura. (B) Imagem de uma estrutura semelhante a um osteócito integrada à matriz desmineralizada reagindo positivamente com anticorpos para PHEX. É possível observar reação apenas em uma região contornada no interior da matriz desmineralizada, evidenciando a especificidade do anticorpo para osteócitos. Escalas de 20µm. Fontes: SCHWEITZER, 2013.

Como reação controle para a especificidade da PHEX foram testados os anticorpos da PHEX em osteócitos de jacarés e foram obtidos o seguinte resultado:

Figura 16: Reação negativa para osteócitos de jacarés

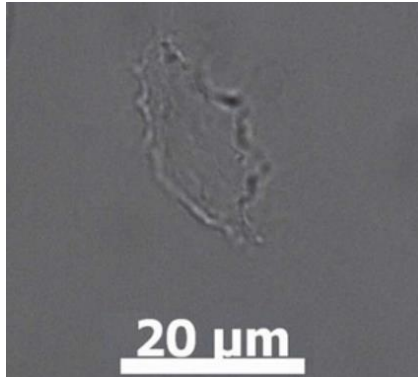


Figura 16: Imagem demonstrando a reação negativa através da ausência de cor de um osteócito de jacaré e anticorpos específicos para PHEX em uma escala de 20µm. Fonte: SCHWEITZER, 2013.

Além dos testes conduzidos com as proteínas citadas foram realizados ensaios para a detecção de DNA nas estruturas semelhantes à osteócitos através de reações com anticorpos anti-DNA e com corantes específicos para a coloração de material genético, o iodeto de propídeo (PI) e o 4,6-diamidino-2-fenilindol, popularmente conhecido como DAPI, como evidenciado na figura 99:

Figura 17: Reação de estruturas semelhantes à osteócitos com anticorpos e corantes específicos para detecção de DNA.

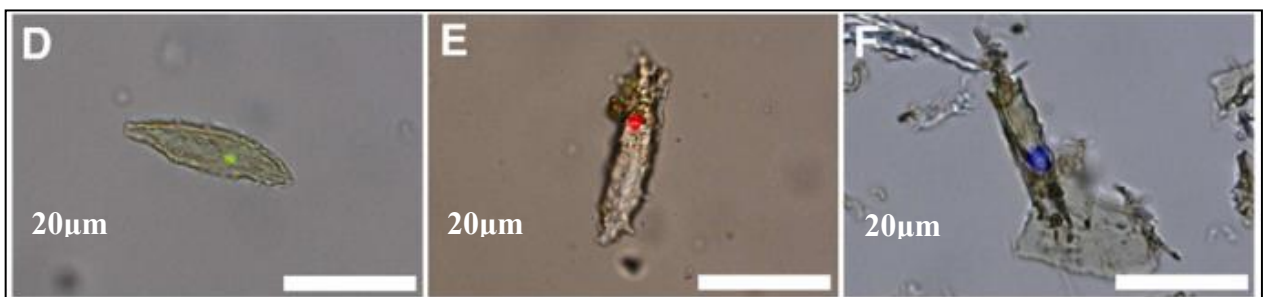


Figura 17: Imagem demonstrando três reações distintas de estruturas parecidas com osteócitos e anticorpos e corantes específicos para a detecção de DNA. (D) Reação positiva para anticorpos anti-DNA (E) Reação positiva para o corante iodeto de propídeo. (F) Reação positiva para o corante DAPI. Nota-se reação específica em uma pequena área circular do interior das estruturas, apresentando coloração verde fluorescente para os anticorpos anti-DNA (D), vermelho fluorescente para o iodeto de propídeo (E) e azul fluorescente para o DAPI (F). Escala de 20µm. Imagem alterada. Fonte: SCHWEITZER, 2013.

Percebe-se, ao olhar a imagem 99, que a reação ocorre apenas em áreas circulares específicas do interior da estrutura, evidenciando a presença de material genético endógeno. Caso

o DNA fosse exógeno, isso é, de algum ser diferente do dinossauro estudado, por exemplo de uma bactéria que contaminou o material fóssil, haveria reação por todo o interior da célula, demonstrando que a estrutura, na verdade, seria um biofilme bacteriano que possui formato semelhante à de um osteócito ou algo semelhante.

Por mais que tenha se encontrado reações positivas para a presença de DNA, julgado como material genético endógeno, não é possível realizar o sequenciamento desse material pois, por ser um espécime muito antigo, possui fragmentação na sua sequência.

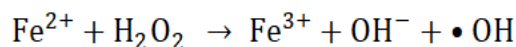
### 3. FATORES BIOQUÍMICOS DA PRESERVAÇÃO ESTRUTURAL

Uma das teorias para explicar a preservação excepcional de material orgânico em fósseis de dinossauros se deve à reação de Fenton, proposta por Henry John Hortsman Fenton em 1894 (KOPPENOL, 1993). A citada reação se resume em uma oxirredução entre óxido férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) que resulta na criação de radicais livres de hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ).

Reações de oxirredução ou oxidação-redução, também conhecidas como redox, consistem em processos em que há transferência de elétrons de uma substância para outra. Nessas reações, a espécie que doa elétrons é chamada de agente redutor, que por doar elétrons fica com uma quantidade maior de prótons em sua composição, se tornando um elemento oxidado. A espécie que ganha elétrons é chamada de agente oxidante, que por ganhar elétrons fica com uma quantidade maior de partículas negativas em sua composição, se tornando um elemento reduzido. O processo de oxidação é caracterizado pela perda de elétrons enquanto a redução pelo ganho de elétrons em determinada substância. Esses dois processos sempre estão acompanhados um do outro, pois sempre que uma espécie quer doar elétrons é necessário de alguma espécie para recebê-los e vice-versa (OLIVEIRA, 2013).

No processo de oxidação-redução utiliza-se o número de oxidação (NOX) para determinar o número da transferência de elétrons entre substâncias da reação. Substâncias simples ou elementos não combinados, por exemplo  $\text{O}_2$  e  $\text{Xe}$  respectivamente, possuem número de oxidação 0, enquanto substâncias compostas neutras, por exemplo  $\text{H}_2\text{O}$ , cada elemento possui seu número de oxidação própria e a soma do NOX de todos os componentes igual a zero (OLIVEIRA, 2013). Dado o entendimento do processo redox e de NOX é possível compreender a reação.

A reação de Fenton ocorre a partir da seguinte equação química:



Lê-se: ferro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) reage com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) gerando ferro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) e íon hidróxido ( $\text{OH}^-$ ).

O sinal positivo em determinado elemento indica que em algum momento, antes, durante ou depois da reação, o composto perdeu elétrons, ficando com NOX positivo por possuir mais prótons do que elétrons em sua composição. O sinal negativo indica que em algum momento o composto ganhou elétrons, ficando com NOX negativo por possuir mais elétrons do que prótons em sua composição. Quem perde fica positivo e quem ganha, negativo.

Um elemento fica mais positivo ou mais negativo quando o equilíbrio entre prótons e elétrons é quebrado; quando uma partícula negativa é retirada, ou seja, um elétron é retirado, o composto fica desequilibrado e o número de prótons maior, ficando mais positivo, o mesmo acontece com a inserção de elétrons, que deixa o elemento mais negativo.

Quando uma substância se apresenta com uma esfera ao seu lado ( $\bullet$ ), como no radical hidroxila, é indicativo que essa espécie possui um elétron desemparelhado, ou seja, um radical livre.

Espécie reativa é um termo utilizado para denominar compostos químicos que, em sua maioria, possuem alta reatividade; subdivide-se em duas subclassificações: radicais livres e compostos não radicalares. Radicais livres são moléculas altamente reativas e instáveis que provocam ou resultam em reações redox (FERREIRA, 1997) e que podem ser aceptoras ou doadoras de elétrons (MARTELLI, 2004), como exemplo, o íon hidroxila e o íon peroxila. Compostos não radicalares são mais estáveis do que radicais livres, mas possuem certa tendência a reagir com moléculas ao seu redor (MARTELLI, 2004), enquadrado nesta categoria está o peróxido de hidrogênio.

De volta à reação, primeiramente o óxido ferroso é oxidado a óxido férrico e o peróxido de hidrogênio reduzido a um íon hidróxido, gerando um radical livre hidroxila.

O radical hidroxila juntamente com o peróxido de hidrogênio são espécies reativas do oxigênio (ERO). Essas espécies são originadas a partir da oxidação parcial de moléculas de oxigênio predominantemente na cadeia de transporte de elétrons (PEREIRA, 2012).

A fosforilação oxidativa é a última etapa da respiração celular e tem como objetivo formar moléculas de adenosina trifosfato (ATP); é dividida em dois processos: a cadeia de transporte de elétrons e a quimiosmose e ambas ocorrem na membrana interna da mitocôndria (CAIN, 2015). Na cadeia de transporte de elétrons íons  $H^+$  são conduzidos diante quatro proteínas fixas carreadoras de elétrons, a NADH desidrogenase (I), o succinato desidrogenase (II), o citocromo C reductase (III) e a citocromo-oxidase (IV), e dois componentes móveis, a ubiquinona ou coenzima Q (Q) e o citocromo C (Cyt C) (DA POIAN, 2012), como representado na imagem 78.

Figura 18: Esquema da fosforilação oxidativa na mitocôndria

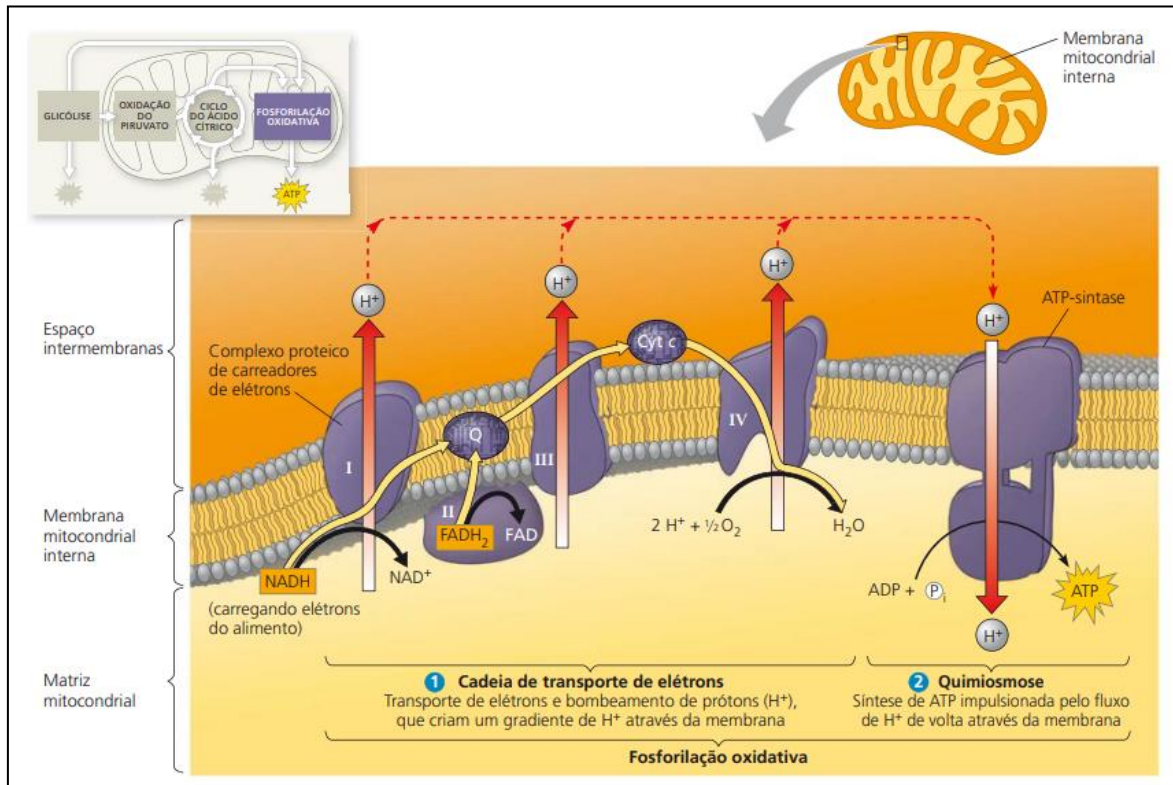


Figura 18: Esquema da fosforilação oxidativa na membrana mitocondrial interna. Observa-se em roxo os componentes carreadores de elétrons inseridos entre fosfolipídeos na membrana mitocondrial. (I) NADH desidrogenase. (Q) Ubiquinona ou coenzima Q. (II) Succinato desidrogenase. (Cyt C) Citocromo C. (III) Citocromo C reductase (IV) Citocromo oxidase. Fonte: (CAIN, 2015).

Na cadeia de transporte o H<sup>+</sup> é conduzido até a citocromo oxidase, passando pela NADH desidrogenase, coenzima Q, succinato desidrogenase, citocromo C e citocromo reductase, para, então, se juntar ao oxigênio e formar água (CAIN, 2015). A água é formada apenas quando há redução total do O<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O; quando há redução parcial do gás oxigênio ocorre formação de radicais livres, como apresentado na imagem 79:

Figura 19: Reduções parciais e total do gás oxigênio

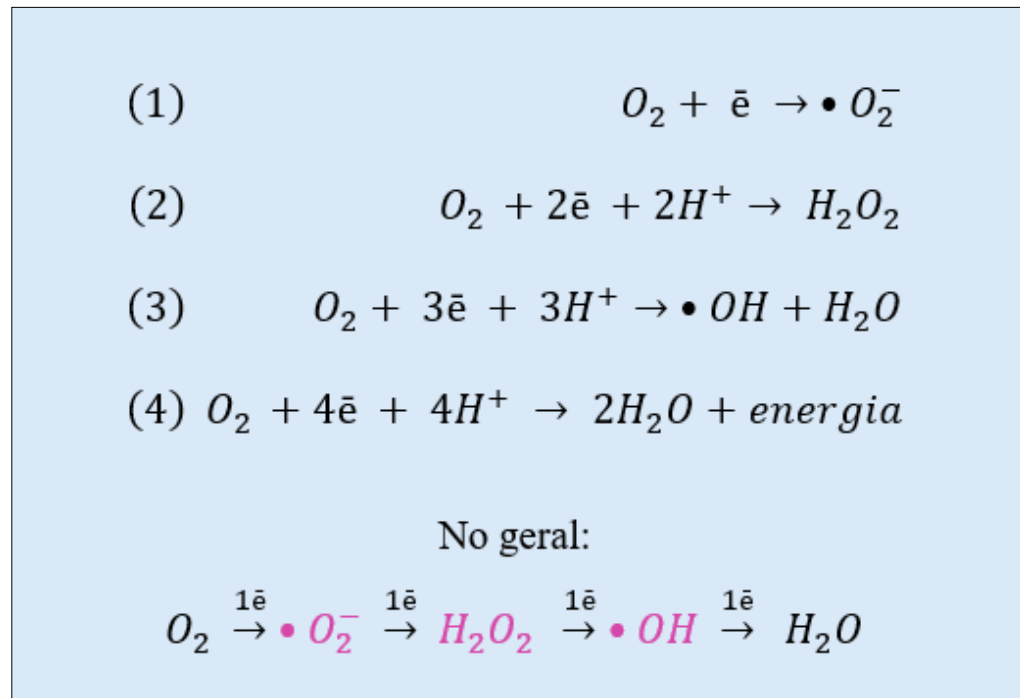


Figura 19: Esquema demonstrando as reduções parciais e total do gás oxigênio na cadeia de transporte de elétrons. (1) Redução parcial do gás oxigênio em superóxido ( $\bullet O_2^-$ ). (2) Redução parcial do gás oxigênio em peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). (3) Redução parcial do gás oxigênio em radical hidroxila ( $\bullet OH$ ). (4) Redução total do gás oxigênio em água ( $H_2O$ ) e liberação de energia. No esquema geral, em rosa apresentam-se as espécies parcialmente oxidadas do gás oxigênio. Note que em 1,2,3, 4 e no geral foram adicionados elétrons, representados pelo símbolo  $e^-$ . Fonte: Imagem autoral.

A redução parcial do oxigênio acarreta a formação de superóxido ( $\bullet O_2^-$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e radical hidroxila ( $\bullet OH$ ). O superóxido é incapaz de realizar peroxidação lipídica, tópico que será abordado mais a frente neste capítulo, por ter um fraco potencial de oxidação, porém apresenta maior meia-vida quando comparado com radical hidroxila, ou seja, reage por mais tempo com outras substâncias, além de se oxidar a oxigênio molecular ou se reduzir a peróxido de hidrogênio em meio aquoso, por apresentar caráter instável. O peróxido de hidrogênio é capaz de realizar peroxidação lipídica, constitui parte das reações que geram radicais livres, como a reação de Fenton, apresenta longa meia-vida e reage com metais de transição, como o ferro (OLSZEWER, 1995). O radical hidroxila é capaz de realizar peroxidação lipídica, possui curta meia-vida, é capaz de interagir e destruir moléculas de DNA e RNA, causando mutações, e é sintetizado a partir da reação de Fenton, ou pela reação de Haber-Weiss que não será abordada neste trabalho (ANDRADE JÚNIOR, 2005). Quanto menor for a meia-

vida de determinada substância maior será a instabilidade dela em um meio, aumentando a rapidez de interações com outros compostos.

A peroxidação lipídica ou lipoperoxidação (LPO) é uma série de eventos proporcionados por vias enzimáticas ou não enzimáticas que geram a destruição da membrana fosfolipídica celular através de radicais livres de espécies reativas de oxigênio ou nitrogênio (BENZIE, 1996). A LPO gera alterações no DNA, oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL), mudanças na permeabilidade da membrana celular e modificações nas ações de componentes da matriz extracelular (BARBER, 1994).

A reação de LPO acontece em três etapas: iniciação, propagação e terminação e ocorre da seguinte maneira:

Figura 20: Equações da peroxidação lipídica

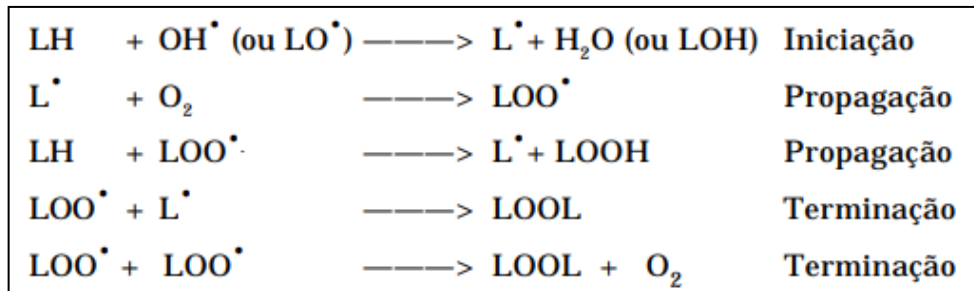


Figura 20: Quadro das etapas da peroxidação lipídica, evidenciando as etapas de iniciação, propagação e terminação. As reações foram explicadas no parágrafo abaixo. Fonte: FERREIRA, 1997.

A iniciação consiste na reação de um radical hidroxila ( $\bullet OH$ ) ou um radical alcóxila ( $LO\bullet$ ) com um hidrogênio da composição de um fosfolípido. Na fase I da propagação o radical lipídico ( $\bullet L$ ) reage com gás oxigênio e forma um radical lipoperoxila ( $LOO\bullet$ ). Na fase II o radical peroxila reage com um hidrogênio de um fosfolípido formando, novamente, um radical lipídico e um hidroperóxido lipídico. Na fase I da terminação o radical peroxila formando na fase I da propagação reage com o radical lipídico formando na fase II da propagação e forma um peróxido lipídico ( $LOOL$ ). Na fase II da terminação dois radicais lipoperoxila reagem entre si e formam um peróxido lipídico e um gás oxigênio. A peroxidação lipídica só é efetivamente terminada quando os radicais lipídicos e lipoperoxilas se destroem (FERREIRA, 1997).

De maneira resumida, os radicais hidroxila, por serem altamente reativos, reagem com os fosfolípidos da membrana celular, gerando uma resposta em cadeia que danifica ou desfaz essa membrana, causando aberturas na camada ou até mesmo lise celular, como demonstrado no esquema 21:

Figura 21: Reação de lipoperoxidação na membrana celular

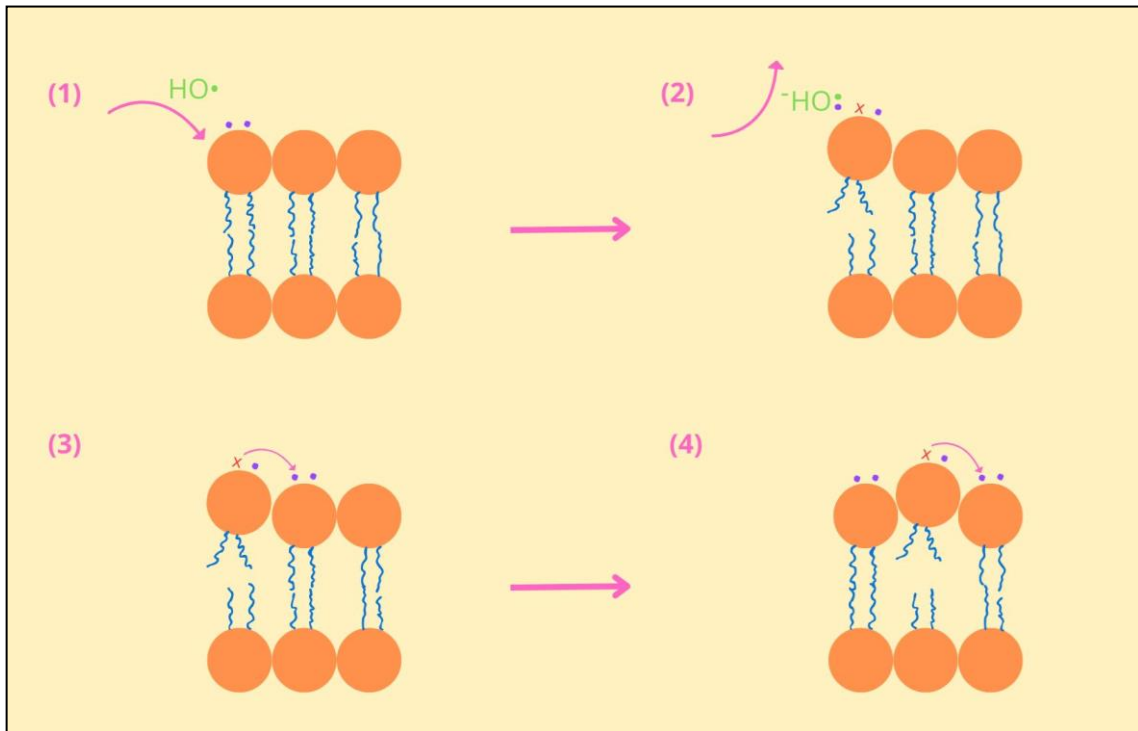


Figura 21: Reação de lipoperoxidação em uma membrana fosfolipídica. (1) Um radical hidroxila remove um elétron de um fosfolípido. (2) O radical hidroxila se estabiliza formando um íon hidróxido a partir da reação 1. (3) O fosfolípido, agora desestabilizado pela retirada de um elétron de sua composição pelo radical hidroxila, remove um elétron do fosfolípido ao seu lado para se estabilizar. (4) O fosfolípido, agora desestabilizado pela retirada de elétrons pelo seu fosfolípido vizinho, retira um elétron de um próximo fosfolípido ao seu lado. A reação ocorre até ocorrer quebra ou ruptura da membrana celular. Fonte: Imagem autoral.

A peroxidação lipídica estimulada por radicais livres de hidroxila a partir da redução parcial de oxigênio é uma das maneiras de gerar essa reação, sendo necessárias de espécies reativas de nitrogênio (ERNs) para ocorrer (PATEL, 1999). Outra maneira é a partir da formação de radicais livres a partir da reação de Fenton, [página 1000](#), que recebe o nome de ferroptose (DIXON, 2024).

O ferro com potencial oxidativo,  $Fe^{+2}$  e  $Fe^{+3}$ , está em seu estado comum no corpo animal ligado a proteínas carreadoras de ferro, como a transferrina e a ferritina, e proteínas do grupo heme, como a hemoglobina (GROTTO, 2008). Essas proteínas sequestram o ferro +2 e +3 do sangue e formam um complexo metal-proteína para diminuir o potencial oxidativo do composto metálico dentro do organismo. Além disso controlam a geração de radicais livres de oxigênio por meio do contato com  $O_2$  (SCHWEITZER, 2014).

Quando o indivíduo vai a óbito, a interação entre as proteínas carreadoras de ferro e o ferro propriamente dito geralmente se rompem, ocorrendo a liberação do metal com potencial oxidativo no meio, estimulando reações com a de Fenton e gerando radicais livres (SHAFER, 2000).

Apesar da liberação de ferro e a geração de radicais livres contribuírem diretamente para a lise celular, através da lipoperoxidação, radicais livres constituem parte dos agentes que estimulam a ligação cruzada, também chamada de cross-linking, entre proteínas do organismo. Ligação cruzada é um fenômeno no qual duas ou mais cadeias proteicas se ligam por meio de pontes, sejam de hidrogênio, dissulfeto ou salina por exemplo, e formam um complexo polimérico de três dimensões que pode aumentar e fortalecer a rigidez da estrutura, promover benefícios ou até mesmo provocar disfunção estrutural (LA GATTA, 2022).

SCHWEITZER, 2014 sugere que o ferro contribui para a preservação de estruturas orgânicas em fósseis. Para isso, foram conduzidos experimentos com amostras biológicas obtidas em um cenário *post mortem* de avestruzes para fins de comparação.

Um dos primeiros experimentos conduzidos consistiu em mergulhar totalmente vasos sanguíneos de avestruzes em uma solução para lise de hemácias a fim de reproduzir um ambiente semelhante ao *post mortem*, onde as células seriam lisadas aos montes, e testar o potencial de preservação da proteína hemoglobina. Nesse ambiente, as células perderiam as suas estruturas e funções e liberariam seus conteúdos internos, ricos em ferro, no meio extracelular (SCHWEITZER, 2014).

A proteína hemoglobina foi escolhida por SCHWEITZER, 2014 por apresentar quatro características:

- (1) Ter potencial bacteriostático<sup>16</sup>, de acordo com PARISH, 2001;
- (2) Produzir radicais livres na presença de oxigênio, de acordo com SIMONI, 1990;
- (3) Estar presente em abundância no cenário *post mortem*, devido à lise celular, de acordo com THEIL, 2009;
- (4) Quando degradada libera partículas de ferro, de acordo com RYTER, 2000.

O teste teve como resultado a preservação sem microorganismos por mais de dois anos em um local com variações de temperatura. Como comparação, fizeram testes em que os vasos sanguíneos não estariam em contato com a hemoglobina e obtiveram uma rápida e alta

---

<sup>16</sup> Potencial de inibir a multiplicação de bactérias (WALSH, 2003).

degradação desse material, além do crescimento de diversos microorganismos no meio. Nesse mesmo meio, a remoção de oxigênio retardou a degradação.

O objetivo da realização destes testes com avestruzes foi poder recriar um cenário semelhante ao imaginado que ocorreu no *post mortem* dos dinossauros do Mesozoico.

Após a limpeza do material de avestruz que foi mergulhado em solução para lise de hemácias, as células apresentaram um padrão semelhante ao que os ‘osteócitos’<sup>17</sup> de dinossauros apresentaram na microscopia eletrônica de transmissão e na espectrometria de perda de elétrons, como demonstrado na figura abaixo:

Figura 22: Imagem da associação do ferro com estruturas parecidas com osteócitos em microscopia eletrônica de transmissão e em espectrometria de perda de elétrons

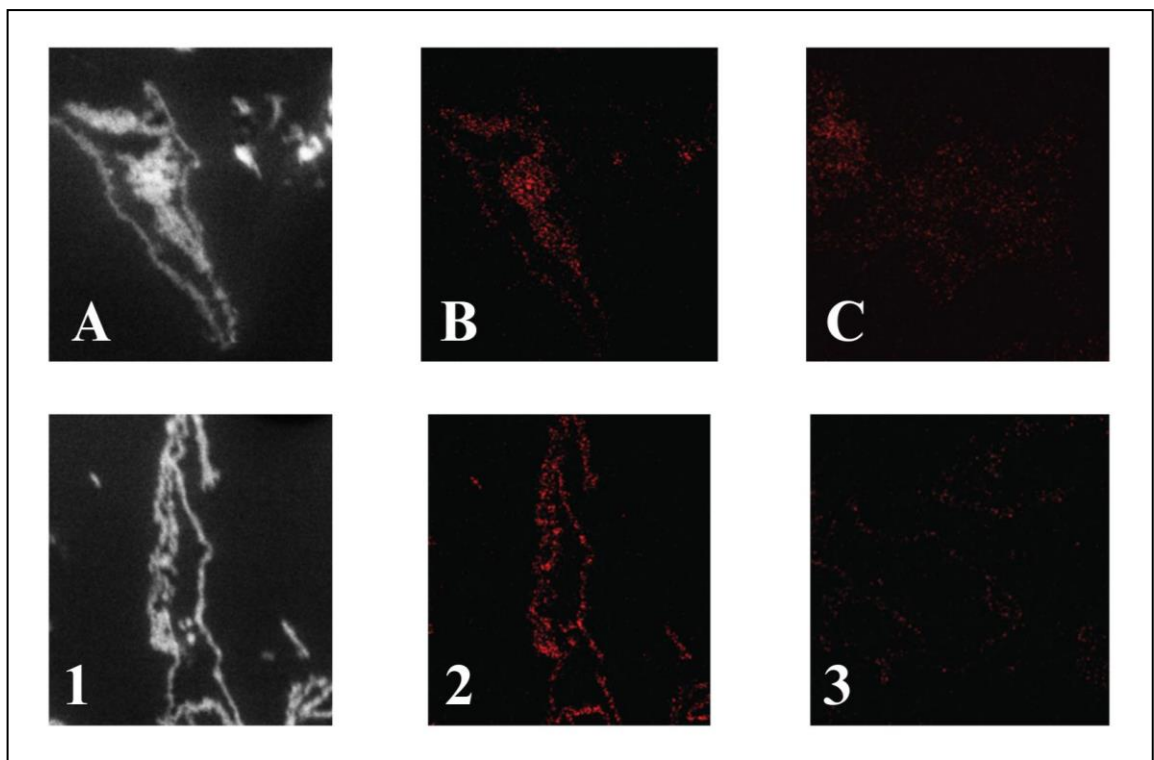


Figura 22: Imagem da associação do ferro com estruturas parecidas com osteócitos em microscopia eletrônica de transmissão (TEM) (A,1) e espectrometria de perda de elétrons (EPE) (B, C,2,3). As imagens A, B e C são estruturas do *Tyrannosaurus rex*, espécime MOR 1125. As imagens 1,2 e 3 são estruturas do *Brachylophosaurus canadensis*, espécime MOR 2598. (A,1) Estrutura semelhante a um osteócito em TEM. Note que a camada esbranquiçada de ferro circunda a estrutura do ‘osteócito’. (B,2) Estrutura semelhante a um osteócito em EPE. Note em vermelho as partículas de ferro circundando a estrutura. (C,3) Em vermelho, partículas de ferro

<sup>17</sup> Os sinais entre osteócitos indicam que são estruturas semelhantes à osteócitos, onde se há suspeita de serem essas células. Utilizo os sinais para evitar repetição.

A imagem demonstra os padrões do ferro nas estruturas dos dinossauros. É possível observar que o ferro está sempre associado à silhueta da estrutura, tanto em microscopia eletrônica de transmissão quanto em espectrometria de perda de elétrons (A, B, 1, 2). Essas estruturas quando tratadas com agentes quelantes, compostos que retiram o excesso de ferro de determinado meio, apresentaram maior reação com anticorpos específicos, como o anticorpo para actina apresentado no capítulo 1 deste trabalho, inferindo que o ferro se ligaria aos sítios de degradação dessas estruturas impedindo que houvesse a ligação de enzimas degradativas nesses locais, impossibilitando a destruição desta estrutura, como apresentado por SCHWEITZER, 2014.

É também apresentada a possibilidade da hemoglobina se ligar ao oxigênio e prevenir danos oxidativos e a possibilidade de competir com mecanismos bacterianos (SCHWEITZER, 2014).

Além disso, SCHWEITZER, 2014 propõe que a ferritina, uma das moléculas carreadoras de ferro, capturaria o ferro liberado por outras estruturas e o transformaria em minerais semelhantes à goethita, mineral de óxido de ferro de fórmula  $FeO$ , para liberação estável no meio.

As hipóteses da relação direta do ferro com a preservação de material orgânico em fósseis de dinossauros até o período de escrita deste trabalho não foram confirmadas, porém segue com avanços considerativos para sua elucidação.

#### 4. FATORES GEOLÓGICOS DA PRESERVAÇÃO FÓSSIL

As rochas são uma associação de substâncias minerais consequente de determinado processo geológico, podendo ser sedimentação, metamorfismo ou sedimentação do magma (BRANCO, 2008), que compõem parte vital da litosfera<sup>18</sup> (IBGE, 1999); possuem três tipos: magmática, metamórfica e sedimentar.

As rochas magmáticas, também conhecidas como rochas ígneas, são formadas a partir da solidificação, resfriamento e cristalização de um material fundido do interior terrestre, o magma. Dependendo do conteúdo mineral, composição química, índice de cor e modo de cristalização do magma, é possível dividir essas rochas em três distintas classificações: vulcânicas, quando o magma se solidifica na superfície terrestre e não apresenta granulações ou apresenta granulações muito finas, plutônicas, quando o magma é solidificado em profundidade e apresenta granulações médias à grosseiras, e hipabissais, quando o magma é solidificado próximo à superfície e apresenta granulações médias à finas (IBGE, 1998). As rochas ígneas apresentam granulações devido aos diferentes pontos de fusão do magma, quanto mais lenta for a solidificação, maior será o tempo que os microcristais, presentes na composição essencial do magma, terão para se agregar e formar cristais maiores. Devido a esse fato, rochas vulcânicas apresentarão pouca ou nenhuma granulação pois o magma será resfriado tão rapidamente na superfície terrestre que não terá tempo para formar cristais grosseiros, diferentemente de uma rocha plutônica, que, por estar em profundidade, demorará para se solidificar e, conseqüentemente, terá mais tempo para formar cristais (GROTZINGER, 2013).

As rochas metamórficas são formadas a partir do metamorfismo, processo no qual há alterações químicas irrelevantes e mudanças físicas significativas na estrutura de determinada rocha pré-existente devido à ação oscilante de temperatura e/ou pressão, de rochas magmáticas, sedimentares ou, até mesmo, de outras rochas metamórficas (WINGE, 2001). Existem seis tipos distintos de metamorfismo: regional ou dinamotermal, de soterramento ou anquimetamorfismo, termal ou de contato, dinâmico ou cataclástico, de impacto e hidrotermal, que, apesar de serem importantes e interessantes, não terão relevância para o entendimento deste trabalho (IBGE, 1998).

---

<sup>18</sup> Espessa camada rochosa que abrange a crosta terrestre e o manto superior, sendo formadora das placas tectônicas. A litosfera compõe o sistema do clima e das placas tectônicas do sistema Terra, sendo importante para a variação climática e tectônica do planeta (GROTZINGER, 2013).

Antes de se comentar sobre a formação das rochas sedimentares é importante abordar a origem dos sedimentos que formam essas rochas. Sedimentos são pequenas partículas de rochas e solos originadas pelo processo de intemperismo<sup>19</sup> e/ou erosão<sup>20</sup> que são transportados por meio de agentes geológicos<sup>21</sup> e que se depositam em variadas superfícies, como dunas e margens de rio, com grande tendência à deposição em bacias geológicas ou sedimentares, caso não fixadas em determinadas condições, as quais serão comentadas posteriormente neste capítulo. Compreendendo o que são sedimentos, é possível entender o que são rochas sedimentares. As rochas sedimentares, como o próprio nome sugere, se originam de um aglomerado de sedimentos, como conchas de animais, siltes areia ou partículas soltas, em uma superfície deposicional adequada por meio de agentes geológicos e que sofrem diagênese<sup>22</sup> ou litificação<sup>23</sup> (FONTE, ANO). Existem quatro diferentes tipos de rochas sedimentares: clásticas, biológicas ou bioquímicas ou biogênicas, orgânicas e químicas. As rochas sedimentares clásticas são originadas a partir de fragmentos de rochas e minerais deslocados e possuem dez subclassificações: arcoseos, arenitos, argilitos, calcários, conglomerados, dolomitos, folhelhos, grauvaque, ritmito e siltito. Os arcoseos são arenitos com abundante quantidade de feldspato (fig. 23 a). Os arenitos são formados a partir da compactação e cimentação de grãos de areia depositados em determinada superfície deposicional (fig. 23 b). Os argilitos são formados por argilominerais que, quando solidificados, apresentam-se em forma de argilito propriamente dito e, quando não solidificados, apresentam-se em forma de argila (fig. 23 c). Os calcários são formados por componentes carbonáticos em mares antigos e contam com a ação de microorganismos, se diferenciam das rochas sedimentares biogênicas, que serão abordadas posteriormente neste capítulo, por possuírem abundante quantidade de calcário; possuem três subtipos: calcítico, dolomítico e oolítico (fig. 23 d). Os conglomerados são formados por partes de outras rochas e minerais fundidos em areia (fig. 23 e). Os dolomitos são calcários com abundância de magnésio

---

<sup>19</sup> Combinação de processos físicos, químicos e/ou biológicos que atuam sobre todos os tipos de rochas causando sua desintegração, decomposição e/ou degradação devido à agentes geológicos variados. Existem três tipos: intemperismo mecânico, intemperismo químico e intemperismo biológico (WINGE, 2001).

<sup>20</sup> Combinação de processos geológicos que desprendem e desbastam a superfície terrestre, solos e rochas, transportando-os para seus determinados locais de deposição. Existem seis tipos: erosão glacial, erosão pluvial, erosão fluvial, erosão marinha ou abrasão, erosão eólica e erosão antrópica (GROTZINGER, 2013).

<sup>21</sup> Água, vento, correntes, gelo, ...

<sup>22</sup> Combinação de fenômenos físicos e químicos, pressão, calor, reações químicas, desidratação, cimentação, compactação, dissolução, recristalização, substituição e/ou reações minerais, por qual uma rocha ou um solo passa após sua formação, sendo posterior à sua gênese, e que acontecem durante o processo de litificação (WINGE, 2001).

<sup>23</sup> Processo no qual os sedimentos se transformam em rochas sólidas e consolidadas (IBGE, 1999).

em sua composição (fig. 23 f). Os folhelhos são argilitos estruturados em finas lâminas que geralmente apresentam grande quantidade de registro fóssil (fig. 23 g). Os grauvaques são arenitos com abundante matriz rochosa (fig. 23 h). Os ritmitos são formados a partir da oscilação de dois tipos de composição rochosa (fig. 23 i). Os siltitos são formados por grãos de areia mais finos que o comum, podendo ser classificado como um arenito com grãos mais finos que o normal (fig. 23 j). É possível observar a aparência de todas as rochas sedimentares clásticas citadas na figura 91.

Figura 23: Fotos dos tipos de rochas sedimentares clásticas

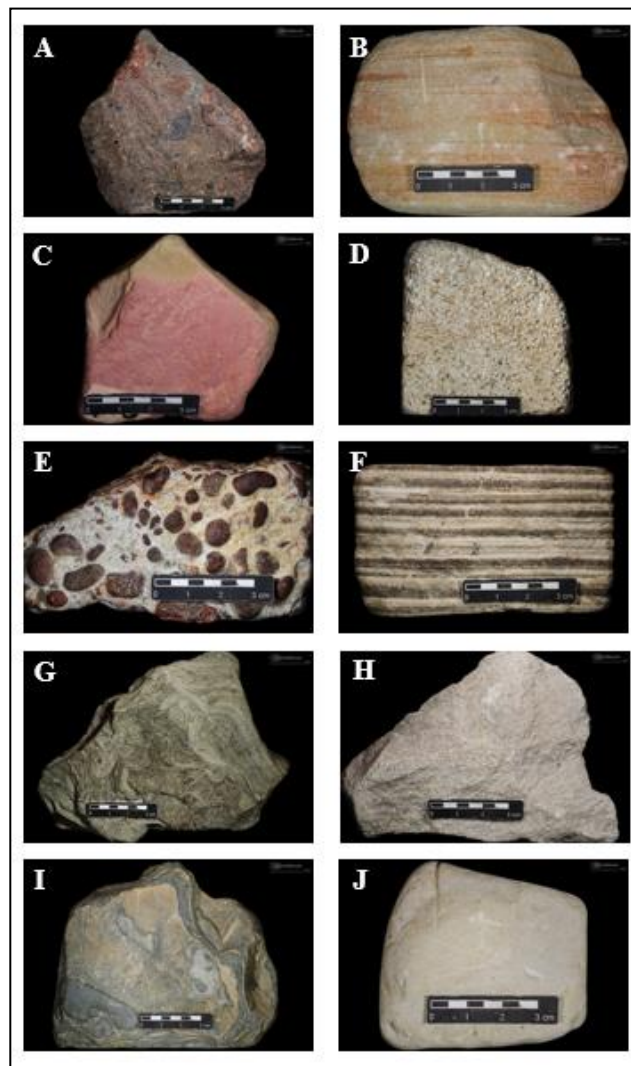


Figura 23: Imagem que demonstra os tipos de rochas sedimentares clásticas. (A) Arcóseo. (B) Arenito. (C) Argilito. (D) Calcário. (E) Conglomerado. (F) Dolomito. (G) Folhelho. (H) Grauvaque. (I) Ritmito. (J) Silito. Fonte: MARTINS,

As rochas citadas acima, além de se diferenciarem por sua composição, também se distinguem pelo tamanho de suas partículas, como observado na figura 24.

Figura 24: Quadro da classificação das rochas sedimentares clásticas

Tamanho da partícula	Sedimento	Rocha
GROSSO Maior que 256 mm 256-64 mm 64-2 mm	CASCALHO Matacão Calhau Seixo	Conglomerado
MÉDIO 2-0,062 mm	AREIA	
FINO 0,062-0,0039 mm	LAMA Silte	Siltito
Menor que 0,0039 mm	Argila	Lamito (fratura em bloco) Folhelho (rompe ao longo do acamamento) Argilito

Figura 24: Classificação das rochas sedimentares de acordo com o tamanho da partícula, de grão grosso, médio ou fino, e sedimento, cascalho, areia, lama ou argila. Fonte: GROTZINGER, 2013.

As rochas sedimentares biológicas, bioquímicas ou biogênicas são formadas a partir da atividade de animais marinhos ou a partir do acúmulo dos esqueletos desses animais; possuem apenas dois tipos: coquina e carapaça de vermitídeos. As coquinas são, inevitavelmente um tipo de calcário, mas, por possuir maior quantidade de conchas cimentadas do que componentes carbonáticos propriamente ditos, são classificadas como rochas biogênicas (fig. 25 a). As carapaças de vermitídeos são formadas a partir da carapaça de moluscos em matriz carbonática (fig. 25 b). Todas as rochas sedimentares biogênicas são rochas calcárias, por possuírem matriz carbonática ligando seus componentes, mas, por serem importantes indicadores paleontológicos e biológicos, ganham uma classificação própria por serem constituídos por restos desses animais citados acima. É possível observar a aparência dessas rochas na figura 25.

Figura 25: Fotos dos tipos de rochas sedimentares biogênicas

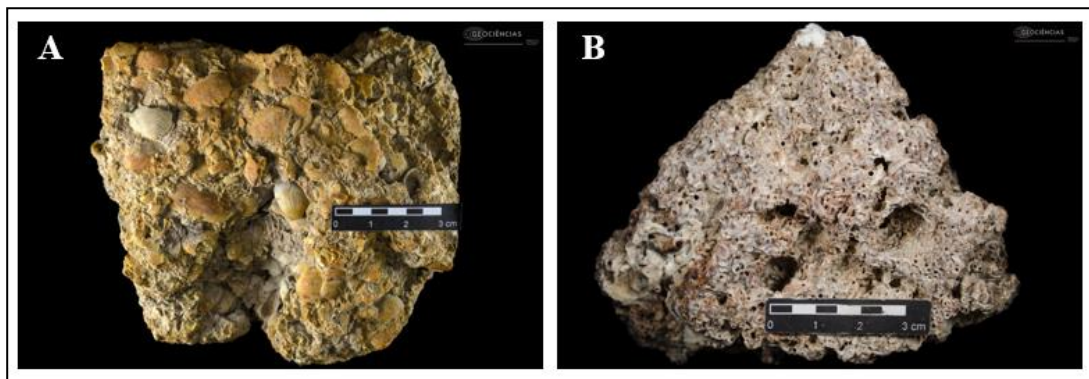


Figura 25: Imagem que demonstra os tipos de rochas sedimentares biogênicas. (A) Coquina. (B) Carapaça de vermitídeos. Fonte: MARTINS, ANO

As rochas sedimentares orgânicas são formadas a partir da associação de matéria orgânica e resíduos vegetais; possuem um tipo: o carvão, como apresentado na figura 26.

Figura 26: Foto de uma rocha sedimentar orgânica



Figura 26: Figura que demonstra uma rocha sedimentar orgânica, o carvão. Fonte: MARTINS, ANO

As rochas sedimentares químicas, por fim, são formadas a partir da precipitação de íons em soluções; possuem cinco tipos: BIF, evaporito, chert, canga e espeleotemas. As BIF's (do inglês *Banded Iron Formation*, no português Formações Ferríferas Bandadas) são formadas a partir da intercalação de camadas de sílexito e de ferro. As evaporitos são formadas a partir da evaporação de mares rasos e lagos com consideráveis concentrações de sal. As chert's são formadas a partir da consolidação de esqueletos de animais marinhos que possuem grande quantidade de sílica que é dissolvida durante a diagênese enquanto o restante da solução se precipita. As cangas são formadas a partir do intemperismo em regiões que possuem grandes quantidades de minerais de ferro e alumínio. As espeleotemas são formadas a partir da precipitação no teto de cavernas de calcários de cálcio dissolvidos; são estalactites.

Figura 27: Foto dos tipos de rochas sedimentares químicas

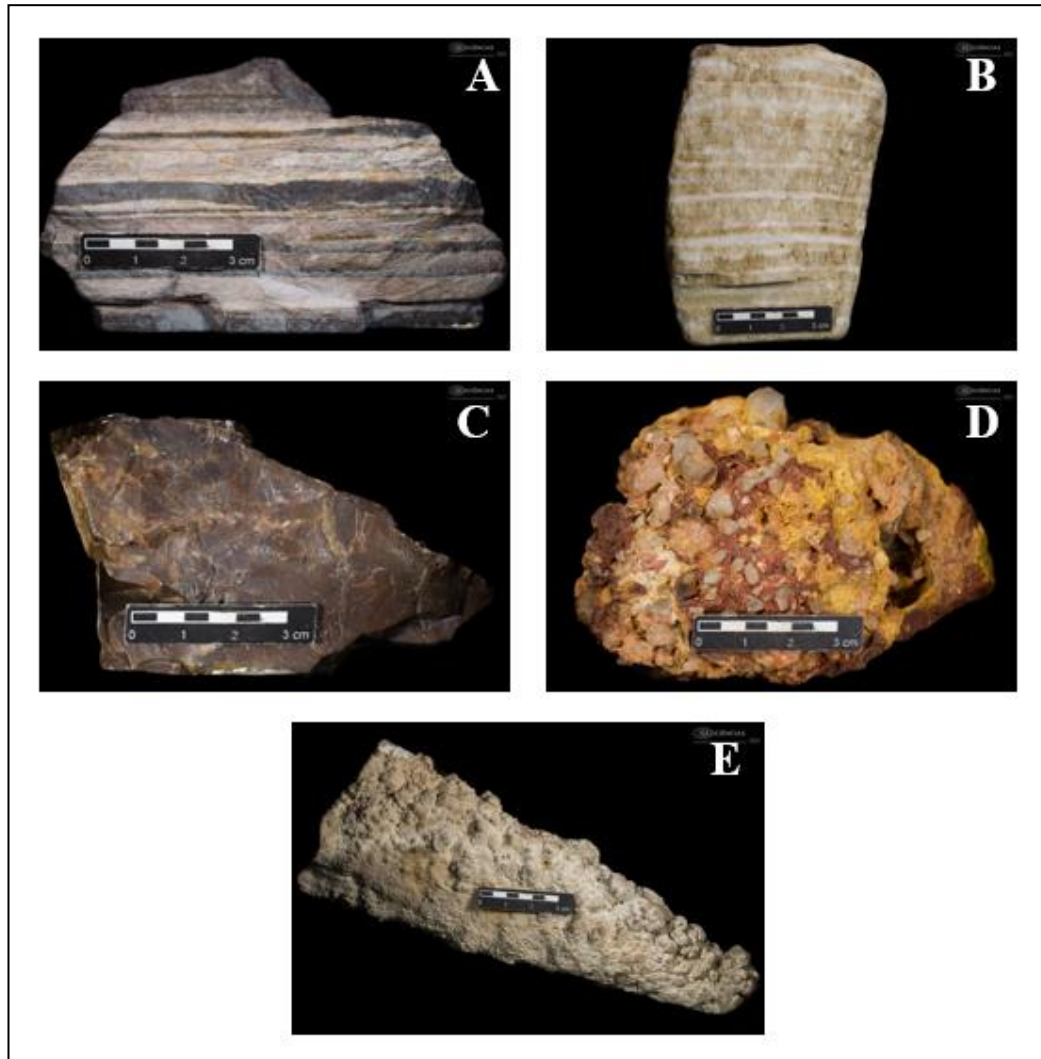


Figura 27: Imagem que demonstra os tipos de rochas sedimentares químicas. (A) BIF. (B) Evaporito. (C) Chert. (D) Canga. (E) Espeleotemas. Fonte: MARTINS,

As rochas sedimentares são amplamente utilizadas para a determinação do tempo geológico, para a definição de estratos e do estudo da estratigrafia.

Um estrato é uma camada de rocha, ou apenas de sedimento, que possui um centímetro ou mais de espessura e que é diferente de outros estratos localizados acima ou abaixo de sua faixa, seja por mudanças, discretas ou não, na litologia<sup>24</sup> ou por quebra física de continuidade, como observado na figura 28 (IBGE, 1999).

<sup>24</sup> Ciência que estuda e descreve rochas e associações rochosas (WINGE, 2001).

Figura 28: Rocha sedimentar estratificada

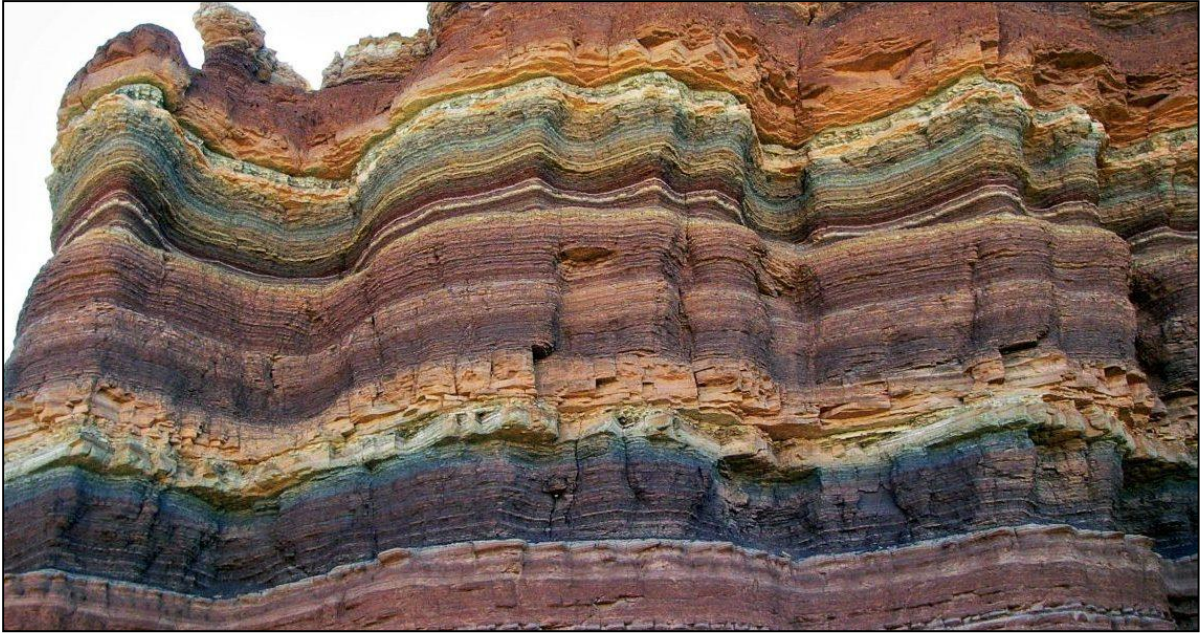


Figura 28: Imagem de uma rocha sedimentar estratificada. Observa-se os diferentes estratos pela sua distinção de cor e tamanho. Fonte: BOLICO, 2020.

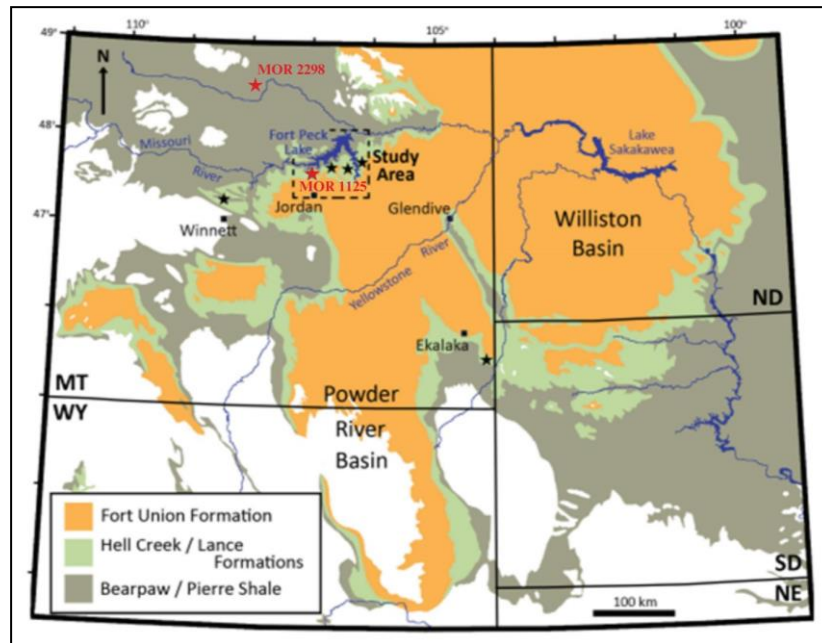
Os estratos são analisados e descritos pela área da estratigrafia. A estratigrafia, por sua vez, é responsável por estudar a origem, a sucessão original no tempo e no espaço, a distribuição, a formação litológica, as propriedades geofísicas e geoquímicas, a composição paleontológica, as sequências de rochas de uma região e a expressão areal e vertical de determinados estratos visando determinar os seus sítios de origem e sua história geológica (WINGE, 2001).

Os espécimes estudados, *Tyrannosaurus rex* (MOR<sup>25</sup> 1125) e *Brachylophosaurus canadenses* (MOR 2598), foram encontrados em diferentes sítios paleontológicos pertencentes ao mesmo estado, Montana - EUA. O T. rex foi encontrado na formação de Hell Creek, no oeste de Montana – EUA, e o B. canadensis encontrado nos sedimentos da Formação do Rio Judith, no norte de Montana – EUA.

A formação de Hell Creek se originou no andar Maastrichtiano, da série Superior, do período Cretáceo da era Mesozoica (consultar tabela cronoestratigráfica na página 6), teve início a 67.5 milhões e fim a 65.5 milhões de anos atrás aproximadamente, com duração de 2 milhões de anos; está dividida entre três estados dos Estados Unidos da América, Montana, Dakota do Sul e Dakota do Norte, com estratos equivalentes nos estados de Wyoming e Colorado, nos EUA, e de Alberta e Saskatchewan, no Canadá, como observado na figura 29.

<sup>25</sup> Museum of Rocks. O fóssil recebe um código específico quando se destina ao Museu de Pedras, em Montana.

Figura 29: Formação de Hell Creek nos Estados Unidos da América



Figur 29: Imagem da Formação de Hell Creek, em Montana – EUA. Em laranja observa-se a Formação de Fort Union. Em verde a formação de Hell Creek e a Formação de Lance. Em cinza a Formação de Bearpaw e a Formação de Pierre Shale. As estrelas vermelhas destacam o local aproximado de encontro dos fósseis MOR 2298 e MOR 1125. Imagem alterada. Fonte:

A formação de Hell Creek possui três subdivisões, inferior, média e superior, e possui nove diferentes litofáceis compostas por rochas sedimentares clásticas, conglomerados, arenitos, siltitos, lamitos e argilitos, e rochas sedimentares orgânicas, o carvão lignito<sup>26</sup> (SHOUP, 2001).

Figura 30: Subdivisões da formação de Hell Creek

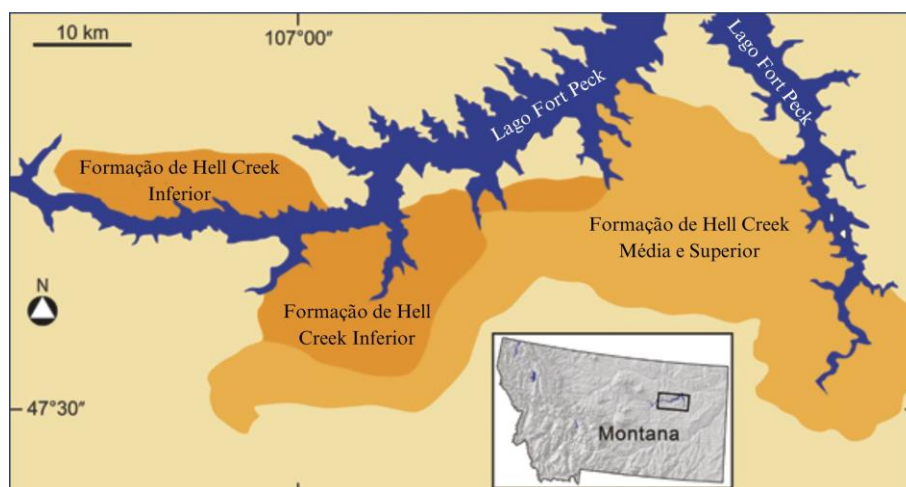


Figura 30: Porções da Formação de Hell Creek. Em laranja escuro está a porção inferior da formação e em laranja claro a porção média e superior. Imagem alterada. Fonte: HORNER, 2011.

<sup>26</sup> Tipo de carvão que possui partículas mais finas.

A Formação do Rio Judith se originou no andar Campaniano, da série Superior, do período Cretáceo da era Mesozoica, teve início a 83,6 milhões de anos e fim a 72,1 milhões de anos atrás, com duração aproximada de 11,5 milhões de anos, se caracterizando como o maior andar do período Cretáceo; está presente apenas no estado de Montana nos EUA e possui estratos equivalentes nos estados de Alberta e Saskatchewan no Canadá, como demonstrado na digura 100 abaixo:

Figura 31: Formação do Rio Judith em Montana – EUA

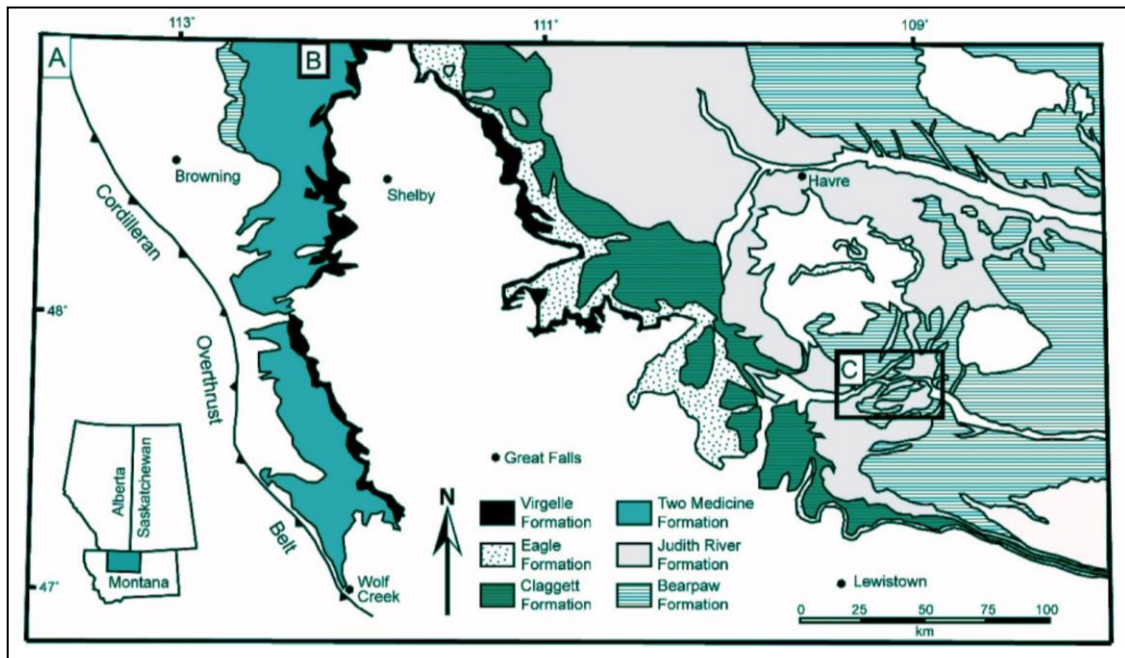


Figura 31: Formação do Rio Judith em Montana – Estados Unidos da América. Em cinza claro está evidenciado a formação do Rio Judith. Note que no canto inferior direito há um mapa demonstrando onde foi feito o corte e em que porção do estado de Montana se encontra a formação. Imagem alterada. Fonte: ROGERS, 2010.

O Rio também teria ligação com o Mar Interior Ocidental e seria caracterizado por ser um ambiente predominado de planícies (ULLMANN, 2021).

### 3.1. PALEOAMBIENTE E CONTEXTO TAFONÔMICO DO *TYRANOSAURUS REX* (MOR 1125)

Paleoambiente é um termo utilizado para denominar determinado local que não apresenta as mesmas características, pluviosidade, vegetação, fauna, dentre outros, que apresentava em algum momento do passado (VIEIRA, 1980).

A tafonomia é um ramo da paleontologia que está intimamente ligada à área de paleoambientes, visto que estuda a deposição e causa de morte dos fósseis enquanto seres vivos (WINGE, 2018).

O *Tyrannosaurus rex* (MOR 1125) é um espécime que possui mais de 220 elementos desarticulados próximos um do outro, como dentes, falanges, costelas, e que foi encontrado próximo ao lago Fort Peck, na porção inferior da Formação de Hell Creek, como demonstrado na figura 32 abaixo:

Figura 32: Local de encontro do *Tyrannosaurus rex* (MOR 1125) em Montana - EUA

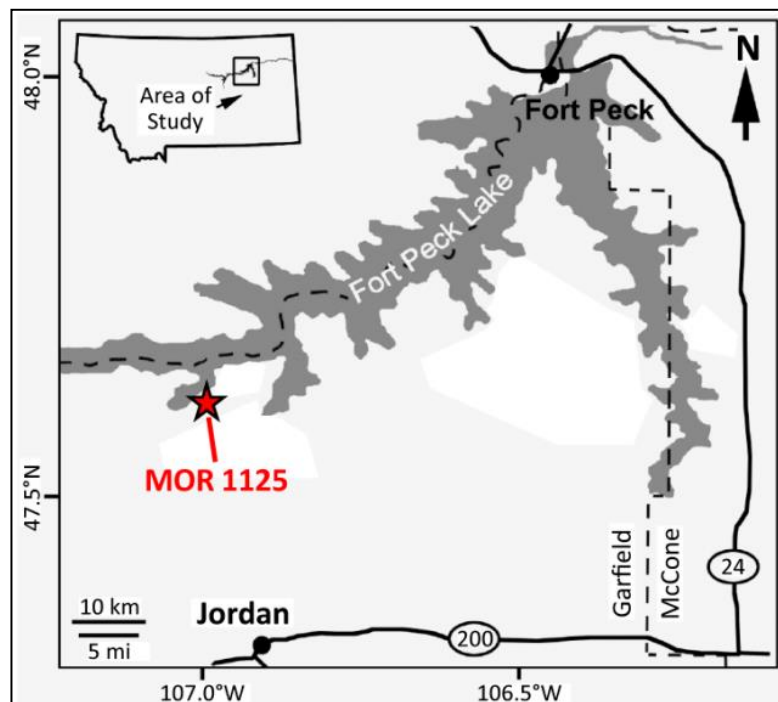


Figura 32: Imagem demonstrando o local de encontro do MOR 1125. Note que o fóssil foi encontrado próximo ao lago Fort Peck. Fonte: ULLMANN, 2021.

MOR 1125 foi encontrado na porção da formação que é majoritariamente formada por arenito (HORNER, 2011). O arenito é caracterizado por possuir grãos de tamanho médio, com variação de 0,062mm à 2mm (consultar figura 24) (GROTZINGER, 2013), e por ser uma rocha resistente à abrasão e à processos químicos, apesar de serem porosas (MARTINS, ANO).

O paleoambiente de morte do *T. rex* foi caracterizado por ULLMANN, 2011 sendo um local próximo a costa do Mar Interior Ocidental (MIO), mar que dividiu a América do Norte durante a época Superior do período Cretáceo (ROBINSON ROBERTS, 1995).

O local de deposição do *Tyrannosaurus* possuía estratos alternados de arenitos e lamitos com abundância de matéria orgânica, um grande fóssil de um tronco de árvore e diversos fósseis

de folhas, que são indicativos de mortes em ambientes subaquáticos de pouca elevação. Além dessas evidências, também foram registrados a ausência de raízes, a alta proporção de sedimento para matéria orgânica, a dispersão moderada dos ossos e outras características que apoiam a hipótese (ULLMANN, 2021).

A água do ambiente aquático é sugerida por ser um estuário (ULLMANN, 2021), área onde água doce e água salgada se misturam (BARTHEM, 2024), de perfil salobro (ULLMANN, 2021), água com quantidades de sal maiores do que áreas de água doce e menores do que áreas de água salgada (BARTHEM, 2024). A ausência de fósseis de peixes da ordem *Lepisosteus*, a presença de fragmentos fósseis de tartarugas e a grande quantidade de sedimentos orgânicos no estrato onde foi encontrado o espécime MOR 1125 fortalecem a hipótese do ambiente deposicional ser caracterizado como um estuário salobro (ULLMAN, 2021). Porém, o estuário não teria sido seu local exato de morte, mas sim o lugar final de enterramento da carcaça do dinossauro. Pensa-se que o dinossauro morreu próximo a costa do MIO, este o carregou até um local aquático de pequeno fluxo, o que, com o tempo, permitiu que o corpo fosse afundando e, então, o espécime teria chegado a um estuário salobro onde se fixou ao fundo e foi coberto por seixos até ocorrer seu enterramento total.

A causa da morte do MOR 1125 permanece inconclusiva, mas possui características improváveis de rápida deposição, estiagem e soterramento em lama devido à ausência de paleosolos oxidados e caliche<sup>27</sup>, de articulação do material e de estratos contornados (ULLMANN, 2021).

Por ter sido enterrado em um ambiente aquático o cenário *post mortem* do dinossauro foi favorável para sua preservação. O ambiente aquático é mais estável do que um ambiente terrestre, visto que são raras as mudanças bruscas e extremas de temperatura, por exemplo, o que diminui ações significativas do intemperismo sobre o material. Além disso, estima-se que a decomposição do MOR 1125 ocorreu em um intervalo de tempo longo o suficiente para permitir a desarticulação e distribuição dos ossos sobre o ambiente e curto o bastante para evitar o desgaste extremo do espécime.

A proposta do processo ocorrido no ambiente deposicional é representada na figura 33.

---

<sup>27</sup> Precipitação de materiais carbonáticos ou materiais de nitratos que se acumulam em camadas e cimentam fragmentos e solos da região afetada (WINGE, 2018).

Figura 33: Reconstrução do local *post mortem* do MOR 1125



Figura 33: Reconstrução do ambiente *post mortem* proposto com ULLMANN, 2021. Imagem alterada. Fonte: ULLMANN, 2021.

### 3.2 PALEOAMBIENTE E CONTEXTO TAFONÔMICO DO *BRACHYLOPHOSAURUS CANADENSES* (MOR 2598)

O *Brachylophosaurus canadenses* (MOR 2598) é um espécime que possui 6 elementos articulados e não articulados, dentre eles fêmur, tíbia, fíbula, tarso, metatarso e falanges, que constituem a perna esquerda do dinossauro e que foi encontrado na Formação do Rio Judith, como demonstrado na figura 34:

Figura 34: Local onde foi encontrado o MOR 2598 na Formação do Rio Judith

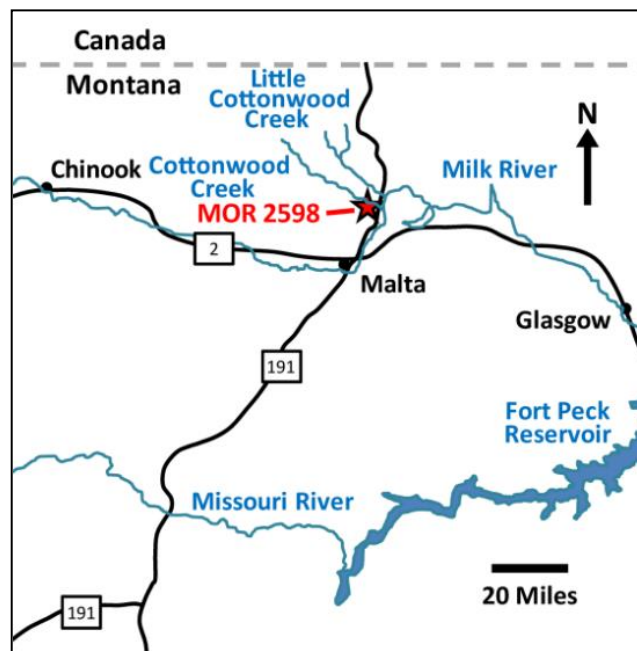


Figura 34: Formação do Rio Judith. A estrela vermelha representa o local onde foi encontrado o *Brachylophosaurus canadenses* (MOR 2598). Fonte: ULLMANN, 2021.

MOR 2598 foi encontrado em um estrato constituído predominantemente de arenitos e seu paleoambiente foi caracterizado por ULLMANN, 2021 sendo um local próximo a corpos d'água.

O espécime foi encontrado ainda com articulações (ULLMANN, 2021), algo incomum em fósseis, visto que a desarticulação do material é um dos primeiros passos da fossilização comum, como comentado na introdução deste trabalho. A não desarticulação do material é indicativo de que o indivíduo foi enterrado rapidamente, com uma lacuna de no máximo um ano, após a sua morte. A deposição rápida do corpo é um dos principais fatores estudados por paleontologistas para retardar a ação da diagênese sobre o material fóssil (CARVALHO, 2000).

A articulação do *B. canadenses* se deve a hipótese de seu rápido enterramento após a morte, com relação também aos sinais mínimos de abrasão do material fóssil.

O cenário *post mortem* do *Brachylophosaurus canadenses* e do *Tyrannosaurus rex* são bem parecidos. ULLMANN, 2021 propõe que ambos teriam, em algum momento, se fixado ao fundo de estuário salobro de pouca elevação no qual ocorreria suas decomposições e onde seriam posteriormente soterrados por sedimentos.

A pesquisa de ULLMANN, 2021 é, porém, muito limitada, pois considera apenas estes dois casos de preservação, correlacionando algumas partes com o caso do dinossauro *Edmontosaurus* encontrado também em Montana, que foram encontrados em lugares próximos e paleoambientes exacerbadamente semelhantes. Pesquisas como essas, apesar de tudo, são necessárias para poder observar os elementos característicos e a porcentagem de mudança de composição do fóssil, algo que foi apresentado no trabalho de Ullmann mas não foi discutido neste trabalho, para que outros pesquisadores possam como referencia quando se encontrarem em situações semelhantes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da leitura de todos os capítulos dessa monografia pode-se observar como a paleontologia é instigante e interessante. Essa ciência é fundamental para o entendimento de todo o mundo, como os seres que viveram antes de nós se comportavam em determinado ambiente, como eles interagiam com, até mesmo, nossos ancestrais.

A paleontologia é uma ciência que necessita de ser incentivada, que precisa de ser estudada nas escolas desde o ensino primário para a criança poder correlacionar a importância de todas as pesquisas das mais diversas áreas do conhecimento na atualidade.

É preciso que matérias como a paleontologia, que não possui uma resposta direta da criança como matérias convencionais (português, matemática, ...), sejam incorporadas com outras que compartilham da mesma característica, como palinologia por exemplo, e sejam ministradas em conjunto com outros assuntos, para que haja interseccionalidade, para que o pensamento crítico do indivíduo seja criado a partir da visão de importância que ele mesmo criou sobre a paleontologia.

Por isso, é preciso que haja mais investimentos nessa área, também que haja a disseminação desse conhecimento não apenas no meio acadêmico, mas no meio popular. Seja por meio de publicações na internet, de palestras em escolas ou atividades interativas em museus.

Dito isto, avaliarei agora por meio de hipóteses que foram criadas durante a escrita deste trabalho a minha relação com as teorias apresentadas.

Primeiramente, como minha professora Tainah sempre disse: “Se apaixone pela pergunta e não pela resposta”. Isso implica em não alterar os resultados concretos de uma pesquisa apenas para conseguir chegar à resposta desejada. Por isso, é necessário rever alguns conceitos sobre a preservação dessas estruturas.

Nesse sentido, em um material fóssil de pelo menos 66 milhões de anos foram encontradas marcas químicas semelhantes às de DNA, que tem vida máxima estimada de aproximadamente 100.000 anos (LINDAHL, 1993). Esclarecidamente não se pode pegar uma informação e levá-la para o resto da vida, é importante questioná-la. Quando Mary H. Schweitzer propõe que resquícios de DNA podem se preservar por mais tempo do que foi proposto anteriormente, torna-se necessário olhar para todos os conceitos de biologia molecular e de paleontologia que se tem hoje para que, então, pesquisadores de ambas as áreas, juntos, cheguem

em uma resposta plausível, até que outro pesquisador venha e questione essa informação. Quando áreas que deveriam andar juntas caminham separadas ocorre um retardamento considerável no avanço da ciência.

Particularmente, considero sim possível que a preservação desse material de DNA ocorra, mas que atualmente nós não temos as tecnologias necessárias e capazes de fazer essa identificação, como por exemplo uma técnica padrão ouro especificamente para material paleontológico. O DNA e seu estudo são muito complexos e precisam de aprimoramento e cuidados constantes quando manipulados. Seria importante também avaliar nesse contexto, caso o DNA tenha realmente se preservado, seu potencial de mutações.

O material genético sofre mutações por alterações consideravelmente pequenas (CAIN, 2015), então, em longos períodos expostos às geoclimáticas estaria ainda mais propenso a mudanças de bases nitrogenadas.

As proteínas apresentam um tempo de vida consideravelmente maior do que o do DNA, sendo de um pouco menos de 1 milhão de anos (BADA, 1999). No contexto deste trabalho e sobre as proteínas que foram comentadas ao decorrer do texto, é importante verificar por quanto tempo permanecem estáveis em variadas condições a longo prazo. Schweitzer foi muito criticada em relação a isto, pois o experimento mais longo para testar esta hipótese durou dois anos.

Um milhão de anos é um tempo melhor de se trabalhar com materiais antigos como os de dinossauros, mas continua sendo um tempo curto. Por isso, é interessante conduzir testes estéreis em ambientes com mudanças geoclimáticas para realizar uma análise diferenciada sobre o assunto.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTS, B.; BRAY, D.; HOPKIN, K.; JOHNSON, A. et al. Fundamentos da Biologia Celular-4. Artmed Editora, 2017. 8582714068.
- ANDRADE JÚNIOR, D.R. et al. Os radicais livres de oxigênio e as doenças pulmonares. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v.31, n.1, p.60-68, 2005.
- ARMITAGE, M. H.; ANDERSON, K. L. Soft sheets of fibrillar bone from a fossil of the supraorbital horn of the dinosaur *Triceratops horridus*. **Acta Histochem**, 115, n. 6, p. 603-608, Jul 2013.
- AUST, S.D, MINOTTI, G. The Requirement for Iron (III) in the Initiation of Lipid Peroxidation by Iron (II) and Hydrogen Peroxide. Michigan: Center for the Study of Active Oxygen in Biology and Medicine, Department of Biochemistry, Michigan State University. v. 262. n. 3. p. 1098-1104. 1987.
- BADA, J.L., WANG, X.S., HAMILTON, H. Preservation of key biomolecules in the fossil record: current knowledge and future challenges. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 354, 77–87p. 1999.
- BARBER, A.D., HARRIS, S.R. Oxygen free radicals and oxidants: a review. *Amer. Pharm.*, v.34, n.9, p.26-35, 1994.
- BARTHEM, R., GOULDING, M., VENTICINQUE, E. Atlas do estuário amazônico. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. 284p. 2024.
- BENZIE, I.F.F. Lipid peroxidation: a review of causes, consequences, measurements and dietary influences. *Int. J. Food Sci. Nut*, v.47, p.233-261, 1996.
- BEU, C.C.L.; GUEDES, N.L.K.O; DE QUADROS, Â.A.G. Tecido conjuntivo, 2017. Disponível em: <https://www.unioeste.br/portal/microscopio-virtual/tecido-conjuntivo/especializado/osseo/celulas-e-matriz-ossea-osso-descalcificado>. Acesso em: 29/05/2024.
- BLAUS, B. "Medical gallery of Blausen Medical 2014". *WikiJournal of Medicine*. 2014.
- BOLICO, REGINA. Rochas sedimentares. 2020. Disponível em: <https://regininha-atividadesescolares.blogspot.com/2020/12/rochas-sedimentares.html> . Acesso em: 23/09/2024.
- BRANCO, Pércio M. Dicionário de Mineralogia e Gemologia. São Paulo: Oficina de Textos. 2008. 608 p.

- BRITANNICA, THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA. Saurischian. *Encyclopedia Britannica*, 2019. Disponível em: <https://www.britannica.com/animal/saurischian> . Acesso em: 10/10/2024.
- CAIN, MICHAEL *et al.* Biologia de Campbell. Artmed: 2015. 1488 pg.
- CARVALHO, I. S. ed. Paleontologia. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2000. 628 p.
- COHEN, K.M., HARPER, D.A.T., GIBBARD, P.L. 2023. ICS International Chronostratigraphic Chart 2023/09. International Commission on Stratigraphy, IUGS. [www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org) . Acesso em: 24/09/2024.
- COOPER, GEOFFREY M.; HAUSMAN, ROBERT E. A **Célula-: Uma Abordagem Molecular**. Artmed Editora, 2016.
- COSTA, MANUELLA C., MARTINS, GABRIELA M., CÔRREA, ISABELA F., GONÇALVES, JULIANE, OLIVEIRA, JÔVIANA A. Tecido Ósseo. *Histologia Interativa*. Minas Gerais: Universidade Federal de Alfenas. 2017. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/histologiainterativa/tecido-osseo/>. Acesso em: 31/05/2024.
- CPRM. Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro. 264p. 2008.
- DA POIAN, A, et al. Bioquímica II. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ: Consórcio CEDERJ. 2012. v.1. 324p.
- DIXON, S. J., OLZMANN, J. A. The cell biology of ferroptosis. *Nat Rev Mol Cell Biol* **25**. p. 424–442. 2024.
- FERREIRA, A.L.A., MATSUBARA, L.S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. São Paulo: Departamento de Clínica Médica da Faculdade de Medicina de Botucatu. 1997. 8p.
- IBGE. Atlas geográfico escolar. IBGE: Rio de Janeiro. 8 ed. 2018.
- IBGE, Glossário Geológico. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 214 p.
- IBGE, Manual técnico de geologia. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 302 p.
- KOPPENOL, W. H. The Centennial of the Fenton Reaction. Las Vegas: Departments of Chemistry and Biochemistry, and Biodynamics Institute, Louisiana State University, Baton Rouge. 1993. 7p.

- GAMA, J. A. **Apostila - Elementos de Geologia Elaborada para o Curso de Biologia EAD UAB IFAL**. Alagoas: Instituto Federal de Alagoas (IFAL), 2013. 56 p.
- GANEIO, A. L., CÂNDIDO, L., DOS SANTOS, J. A., SCHIMIT, L. M., CARRENHO, M. C. P., DE OLIVEIRA, V. L., & ROCHA-LIMA, A. B. C. Células: uma breve revisão sobre a diversidade, características, organização, estruturas e funções celulares. *Unisanta BioScience*, 8(4), 2019. 458-463.
- GARTNER, LESLIE, HIATT, JAMES. Tratado de histologia em cores. 2º ed. Editora Elsevier. 2003. 451 p.
- GREENWALD, ROBERT. Handbook of Methods For Oxygen Radical Research. Nova Iorque: CRC Press Taylor & Francis Group. 1985. 468p.
- GROTTO, H. Z. W. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase. São Paulo: Departamento de Patologia Clínica da Faculdade de Ciências Médicas Universidade Estadual de Campinas. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**. p. 390-397. 2008.
- GROTZINGER, JOHN; JORDAN, TOM. Para entender a terra. 6º ed. Bookman Editora Ltda. 2013. 764 p.
- HAN, SUNG-WOONG et al. A Novel Osteoblast/Osteocyte Selection Method in Primary Isolated Chick Bone Cells by Atomic Force Microscopy. *Journal of nanoscience and nanotechnology*. 2015.
- HARDINGHAM TE, FOSANG AJ. Proteoglycans: many forms and many functions. 1992.
- HEINZELMANN, M. R. Entre conceitos e preconceitos: o discurso de pré-história nos livros didáticos de 2º grau nas décadas de 1970 e 1980. Florianópolis: UDESC, 2004. (Dissertação de Mestrado).
- HOLTROP, M. E., KING G. J. *The ultrastructure of the osteoclast and its functional implications. Clin Orthop Relat Res.* **123** (123). pp. 177–19. 1997.
- HORNER, J., GOODWIN, M., MYHRVOLD, N. Dinosaur Census Reveals Abundant Tyrannosaurus and Rare Ontogenetic Stages in the Upper Cretaceous Hell Creek Formation (Maastrichtian), Montana, USA. 2011.
- JUDAS, F. et al. Estrutura e dinâmica do tecido ósseo. 2012.
- JUNQUEIRA, L. C., CARNEIRO, J. Histologia Básica. 11 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 524 p.

- LA GATTA, A.; BEDINI, E.; ASCHETTINO, M.; FINAMORE, R.; SCHIRALDI, C. Hyaluronan Hydrogels: Rheology and Stability in Relation to the Type/Level of Biopolymer Chemical Modification. *Polymers*. 2022.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M.; KAY, Y. **Princípios de Bioquímica**. 4 ed. São Paulo: Sarvier (Almed), 2006,
- LINDAHL, T. Instability and decay of the primary structure of DNA. *Nature* 362, 709–715p. 1993.
- LIPMAN, NEIL S., JACKSON, LYNN R., TRUDEL, LAURA J., WEIS-GARCIA, FRANCES. Monoclonal Versus Polyclonal Antibodies: Distinguishing Characteristics, Applications, and Information Resources, *ILAR Journal*, Volume 46, Issue 3. 2005.
- MACRAE, T. H., LANGDON C. M. Tubulin synthesis, structure, and function: what are the relationships?. *Biochemistry and cell biology = Biochimie et biologie cellulaire* vol. 67,11-12. 1989.
- MARTINS, LUCELENE et al. Rochas sedimentares. São Paulo: Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências - Seção de Materiais Didáticos. Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/rochas/sedimentares/>. Acesso em: 08/10/2024.
- MEDRADO, LEANDRO. **Citologia e histologia humana: fundamentos de morfofisiologia celular e tecidual**. Saraiva Educação SA, 2014.
- NELSON, P.N., REYNOLDS G.M., WALDRON E.E., WARD E., GIANNOPOULOS K., MURRAY P.G. Monoclonal antibodies. *Mol Pathol*. 2000.
- OLIVEIRA, O.M.F., SCHLÜNZEN, K.J., SCHLÜNZEN, E.T.M. Química Coleção Temas de Formação. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista: Núcleo de Formação à Distância. v. 3. 758p. 2013.
- OLSZEWER, E. Radicais livres em medicina. São Paulo: BYK, 1995. 204p.
- PARISH, C.A., JIANG, H., TOKIWA, Y., BEROVA, N., NAKANISHI, K., MCCABE, D., ZUCKERMAN, W., XIA, M.M., GABAY, J.E. Broad-spectrum antimicrobial activity of hemoglobin. *Bioorg. Med. Chem.* 9, 377 – 382p. 2001
- PATEL, R. P., et al. Biological aspects of reactive nitrogen species. *Biochimica et Biophysica Acta* 1411. 1999.
- PAWLICKI, R. Histochemical demonstration of DNA in osteocytes from dinosaur bones. **Folia Histochem Cytobiol**, 33, n. 3, p. 183-186, 1995.

- PAWLICKI, R.; DKORBEL, A.; KUBIAK, H. Cells, collagen fibrils and vessels in dinosaur bone. *Nature*, 211, n. 5049, p. 655-657, 1966.
- PAWLICKI, R.; NOWOGRODZKA-ZAGÓRSKA, M. Blood vessels and red blood cells preserved in dinosaur bones. *Ann Anat*, 180, n. 1, p. 73-77, Feb 1998.
- PEREIRA, B. C., PEREIRA A.K.F.T. Radicais Livres: Uma Nova Abordagem. *Revista Saúde Quântica*. v. 1. 35-42p. 2012.
- PIERCE, A. M., LINDSKOG, S., & HAMMARSTRÖM, L. (1991). Osteoclasts: structure and function. *Electron microscopy reviews*, 4(1), 1–45.
- PLET, C.; GRICE, K.; PAGÈS, A.; VERRALL, M. *et al.* Palaeobiology of red and white blood cell-like structures, collagen and cholesterol in an ichthyosaur bone. *Sci Rep*, 7, n. 1, p. 13776, Oct 23 2017.
- QUEIROZ, LUCIANO S., PAES, ROGÉRIO AUGUSTO. Fratura e formação de calo ósseo. *Lam. A. 384*. Site didático de Anatomia Patológica, Neuropatologia e Neuroimagem. Campinas: Departamento de Anatomia Patológica, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Disponível em: <https://anatpat.unicamp.br/lamosso3.html>. Acesso em: 30/05/2024.
- ROBINSON ROBERTS, L. N., KIRSCHBAUM, M. A. Paleogeography of the Late Cretaceous of the western interior of middle North America: coal distribution and sediment accumulation. Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 1561. 120p. 1995.
- ROGERS, R.R.; FRICKE, H.C.; ADDONA, V.; CANAVAN, R.R.; DWYER, C.N.; HARWOOD, C.L., KOENIG, A.E.; MURRAY, R.; THOLE, J.T., WILLIAMS, J. Using laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) to explore geochemical taphonomy of vertebrate fossils in the Upper Cretaceous Two Medicine and Judith River Formations of Montana. *Palaios*. 2010.
- RUDD, T, R. et al. Glycosaminoglycan origin and structure revealed by multivariate analysis of NMR and CD spectra. *Glycobiology*, v. 19, 2009.
- RYTER, S.W., TYRRELL, R.M. The heme synthesis and degradation pathways: role in oxidant sensitivity. *Free Radic. Biol. Med.* 28, 289–309p. 2000.
- SCHWEITZER, M. H. et al. Microscopic, chemical and molecular methods for examining fossil preservation. *Comptes Rendus Palevol*. 26pg. 2008.

- SCHWEITZER, M. H. et al. Molecular analyses of dinosaur osteocytes support the presence of endogenous molecules. **Bone** vol. 52,1. 2013.
- SCHWEITZER, M. H.; WITTMAYER, J. L.; HORNER, J. R. Soft tissue and cellular preservation in vertebrate skeletal elements from the Cretaceous to the present. **Proc Biol Sci**, 274, n. 1607, p. 183-197. 2007.
- SCHWEITZER MH, ZHENG W, CLELAND TP, GOODWIN MB, BOATMAN E, THEIL E, MARCUS MA, FAKRA SC. A role for iron and oxygen chemistry in preserving soft tissues, cells and molecules from deep time. *Proc. R. Soc. B.* 2014.
- SHAFER FQ, YUI QUIAN S, BUETTER GR. Iron and free radical oxidations in cell membranes. *Cell. Mol. Biol.* 2000.
- SHOUP, B.E. *Sedimentology and Taphonomy of a Shell Bed Assemblage from the Upper Cretaceous (Maastrichtian) Hell Creek Formation of Eastern Montana*; Montana State University: Bozeman, MT, USA, 2001.
- SIMÕES, R. S.; GIRÃO, J. H. R. C.; DA SILVA SASSO, G. R.; FLORENCIO-SILVA, R. et al. *Dicionário Etimológico de Histologia.* p. 94, 2017.
- SIMONI, J., FEOLA, M., CANIZARO, P. Generation of free oxygen radicals and the toxicity of hemoglobin solutions. *Biomat. Artif. Cells Artif. Organs* 18, 189–202p. 1990.
- SOARES, M. B. **A Paleontologia em Sala de Aula.** 1º edição ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2015. 714 p.
- STANDRING, S. **Gray's anatomia.** Seção 1 – Célula tecidos e sistemas. 40ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- STURKIE, P.D., GRIMINGER, P. Avian physiology. In: Sturkie PD, editor. *Body fluids: blood.* 4th ed. New York: Springer; 1976.
- THEIL, E.C., GOSS, D.J. Living with iron (and oxygen): questions and answers about iron homeostasis. *Chem. Rev.* 109, 4568–4579p. 2009.
- THEOCHARIS, A.D., SKANDALIS, S.S., GIALELI, C., KARAMANOS, N.K. Extracellular matrix structure. *Adv Drug Deliv Rev.* 2015 Nov 10.
- ULLMANN, P.V.; MACAULEY, K.; ASH, R.D.; SHOUP, B.; SCANNELLA, J.B. Taphonomic and Diagenetic Pathways to Protein Preservation, Part I: The Case of *Tyrannosaurus rex* Specimen MOR 1125. *Biology.* 2021.
- WALSH, C. *Antibiotics: Actions, Origins, Resistance,* ASM Press: Washington. 2003.

WICANDER, R., MONROE, J.S. Fundamentos de Geologia. São Paulo, Cengage Learning, 508p, 2009.

WINGE, M. *et. al.* 2001. **2024 Glossário Geológico Ilustrado**. Disponível em: <https://sigep.eco.br/glossario/> . Acesso em: 23/09/2024.

ZAHA, A. (Org.) Biologia molecular básica. 3.ed. Porto Alegre: Mercado Aberto, 2003.