

## Análise morfológica e geoquímica de coprólitos de assembleia fossilífera em tempestito distal da Formação Corumbataí (Permiano, Bacia do Paraná - São Paulo)

**Palavras-chave:** Coprólito, tafonomia, geoquímica

**Aluna:** Maria Vitória Bortolan Dantas - Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas.

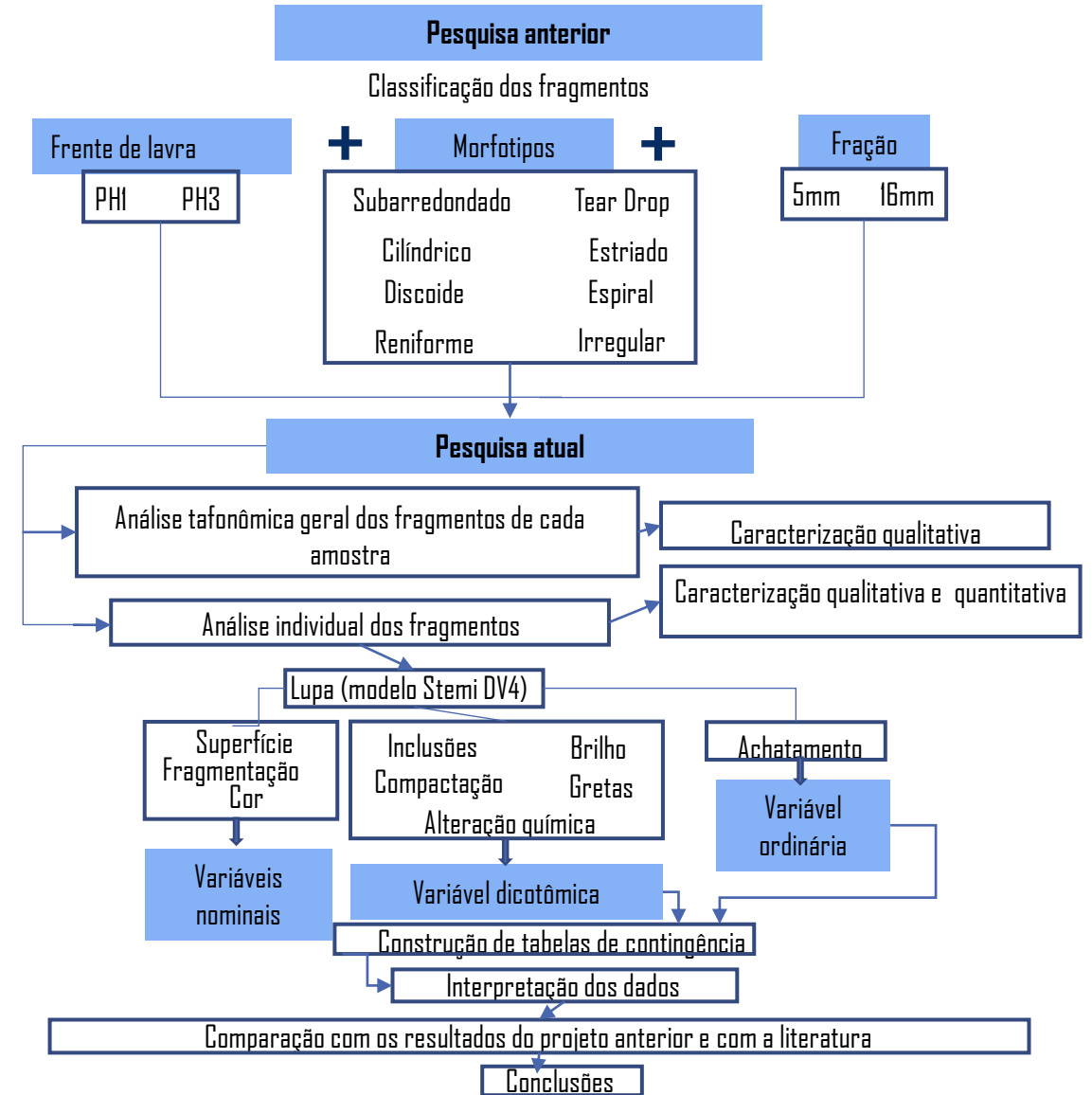
**Orientadora:** Fresia Ricardi Branco. Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas.

**Coorientadora:** Isabela Jurigan. Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas.

### OBJETIVOS DA PESQUISA

O presente trabalho tem como objetivo dar sequência ao projeto "Análise estatística e sistemática-taxonomica de assembleias fossilíferas de tempestitos da Formação Corumbataí (Permiano, Bacia do Paraná- São Paulo", iniciado em 2019. Desse modo, dá continuação à descrição dos coprólitos encontrados na assembleia fossilífera de Santa Rosa de Viterbo (SP), focando na análise de suas feições tafonômicas e histológicas a partir de uma abordagem estatística. Assim, pretende-se avaliar a possível associação entre os morfotipos e a tafonomia dos fragmentos analisados.

### METODOLOGIA DA PESQUISA



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a pesquisa anterior, foram determinadas sete classes de morfotipos (figura 1): **Subarredondados**, **Teardrop**, **Cilíndrico**, **Discoide**, **Estriado**, **Espiral** e **Reniforme**. Além desses, existem também os fragmentos que não se enquadram em nenhuma das classes, chamados então de **irregulares**. Tais fragmentos são maioria em ambas as frentes (PH1 e PH3), juntamente com os Subarredondados e Discoides. Pela avaliação das amostras, desconfia-se que processos sedimentares e diagenéticos tenham ocasionado alterações nas características originais dos coprólitos, interferindo assim na distribuição dos morfotipos.

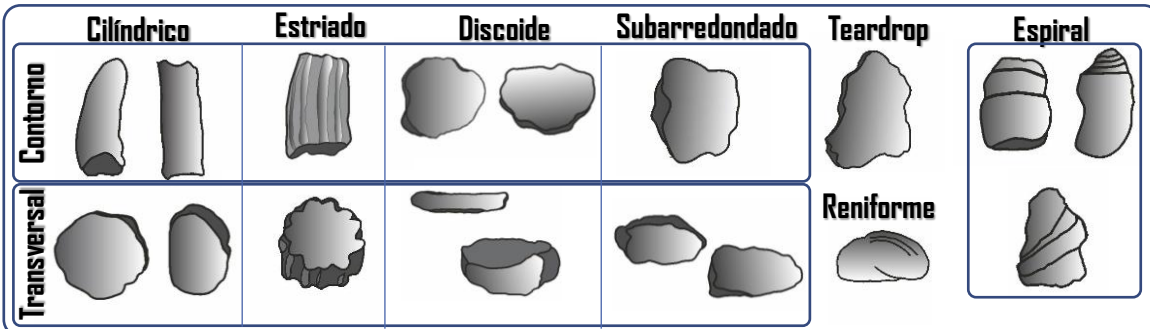


Figura 1: Representação esquemática das classes de morfotipos existentes nas frentes PH1 e PH3.

Em relação ao estudo tafonômico dos coprólitos, foram observadas as variações das **texturas superficiais**, **grau de achatamento**, **compactação**, **fragmentação** e também de **marcas superficiais**. Além disso, avaliou-se a presença de **alterações químicas** e de **precipitação de dendritos de manganês**. Tais observações são resumidas a seguir.

### Variáveis Nominais

#### SUPERFÍCIE

Através da análise individual dos fragmentos em lupa, a superfície dos coprólitos pode ser dividida em três categorias principais: **irregular**, **erodida** e **polida**.

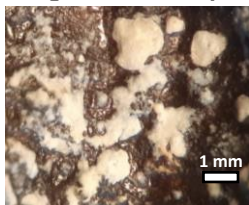


Figura 2: superfície Irregular. Pequenas **cristas** e **depressões bem definidas**, que lhes conferem um aspecto **irregular** - assim como o próprio nome diz.

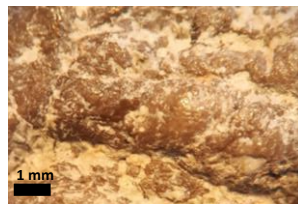


Figura 3: superfície erodida. Assim como os "irregulares", os fragmentos ainda apresentam **cristas** e **depressões**, porém **pouco definidas**.



Figura 4: superfície polida. Quando observados em lupa, os fragmentos **não apresentam tais feições**. Pelo contrário, têm uma superfície **lisa** ou **ligeiramente irregular**.

## Fresco

Fraturas recentes, que não foram retrabalhadas por processos sedimentares. Interpreta-se que foram formadas *in situ*, pós diagenese.

## Inteiro

Quando o coprólito encontra-se íntegro. Neste caso, existem diferentes justificativas: maior resistência, exemplares *in situ*, tensões inferiores.

## Arredondado

Fraturas mais antigas, que passaram por processos erosivos, responsáveis pelo seu desgaste. Interpreta-se que o fraturamento tenha ocorrido antes dos processos de deposição e diagenese.

### Arredondado e fresco

Quando coexistem fraturas mais antigas com fraturas recentes, indicando que os coprólitos passaram pelos dois processos anteriores.

## COR

É a variável que apresenta a maior quantidade de categorias. Muitos dos fragmentos possuem superfícies com **mais de uma cor**, porém é possível agrupar essa variável em seis categorias principais: **avermelhado**, **esbranquiçado**, **preto**, **cinza escuro**, **cinza claro** e **caramelo**.

### Variável Ordinal

#### ACHATAMENTO

O **achatamento** refere-se à propriedade de possuir **apenas uma** das superfícies **aplainadas** e foi dividido em quatro categorias: **0 (ausente)**, **1 (grau leve)**, **2 (grau intermediário)** e **3 (grau elevado)**. Esse achatamento é associado ao impacto das fezes no substrato após serem expelidas. O nível de achatamento é influenciado pela dieta do animal (variação na consistência) e pelo ambiente em que o coprólito foi depositado (Dentzien-Dias, ).



Figura 5: Seção transversal de coprólito com grau elevado de achatamento.

### Variáveis Dicotômicas

Apresentam somente duas categorias: **ausente (0)** e **presente (1)**.

#### COMPACTAÇÃO

É a propriedade de apresentar **duas superfícies aplainadas, opostas entre si**.



Figura 6: Seção transversal e longitudinal de coprólito discoide compactado.

## GRETAS OU SINÉRESES

**Gretas:** indicam a exposição da massa fecal às condições subsuperficiais, antes mesmo de ser soterrada (Thulborn, 1991).

**Sinéreses:** indicam exposição a condições subaquáticas, ocorrendo devido a mudanças na salinidade da água e à rápida floculação (Pratt, 1998).

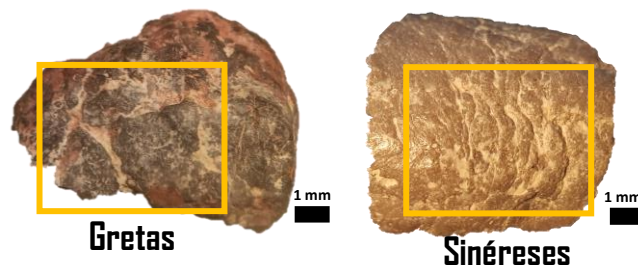


Figura 6: Dois fragmentos diferentes, um apresentando gretas e o outro marcas de sinérese, ambas destacadas.

## ALTERAÇÃO QUÍMICA

Apresentam diversas feições de alteração e podem estar associadas à:

- **Decomposição** da matéria orgânica presente nos coprólitos por bactérias da própria flora intestinal, ou de origem externa (Qvarnström, 2020; Hollocher, 2005; Hollocher, 2010);
- **Trocas** de componentes químicos entre coprólito e rocha, sedimentos ou atmosfera circundantes (Thulborn, 1991)
- **Precipitação** e deposição de minerais secundários durante e após a diagênese (Thulborn, 1991).

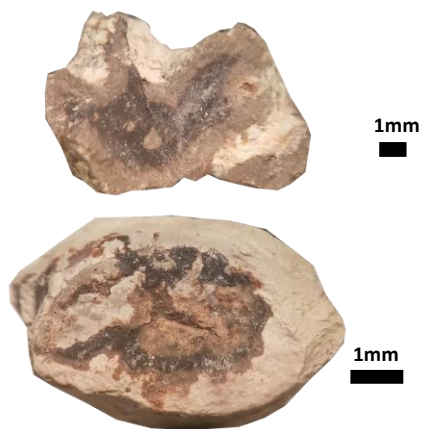


Figura 7: Seções transversais. Feições de alteração com zona central escurecida (mineral indiferenciado) e periferia mais clara.

## RESULTADOS ESTATÍSTICOS

Ao todo foram analisados **904 fragmentos** de coprólitos, dos quais **625** pertencem à frente **PH3** e **279** à **PH1**. Dos coprólitos pertencentes à cada frente, a grande maioria compõem a fração mais fina (**5mm**), com um total de **591** fragmentos para a **PH3** e **277** para a **PH1**.

A partir da análise da distribuição morfológica dos fragmentos, representada na **figura 1**, observa-se que as duas frentes apresentam concentrações semelhantes de cada morfotipo. Nesse sentido, temos que:

- As duas frentes têm como morfotipo predominante os **Subarredondados** (**figura 1, em verde**), sendo que na **PH1** este morfotipo corresponde, no geral, à quase metade do total de fragmentos (**46%**), à **100%** da fração mais grossa (**16mm**) e à **46%** da fração mais fina (**5mm**).

- As duas frentes têm como morfotipo predominante os **Subarredondados** (**figura 1, em verde**), sendo que na **PH1** este morfotipo corresponde, no geral, à quase metade do total de fragmentos (**46%**), à **100%** da fração mais grossa (**16mm**) e à **46%** da fração mais fina (**5mm**).

Na **PH3**, este morfotipo corresponde a mais de um terço (**36%**) do total geral, **50%** da fração mais grossa (**16mm**) e **35%** da fração mais fina (**5mm**);

- Também são abundantes os morfotipos **Cilíndrico** (**fig. 1, em azul claro**) e **Discoide** (**fig. 1, em laranja**), que juntos representam **49%** do total de fragmentos da **PH3** e **40%** do total da **PH1**;

- Os morfotipos **Teardrop** (**azul escuro**), **Estriado** (**amarelo**), **Espiral** (**cinza**) e **Reniforme** são minoria, representando **juntos** cerca de **15%** dos fragmentos da **PH3** e **14%** dos da **PH1**.

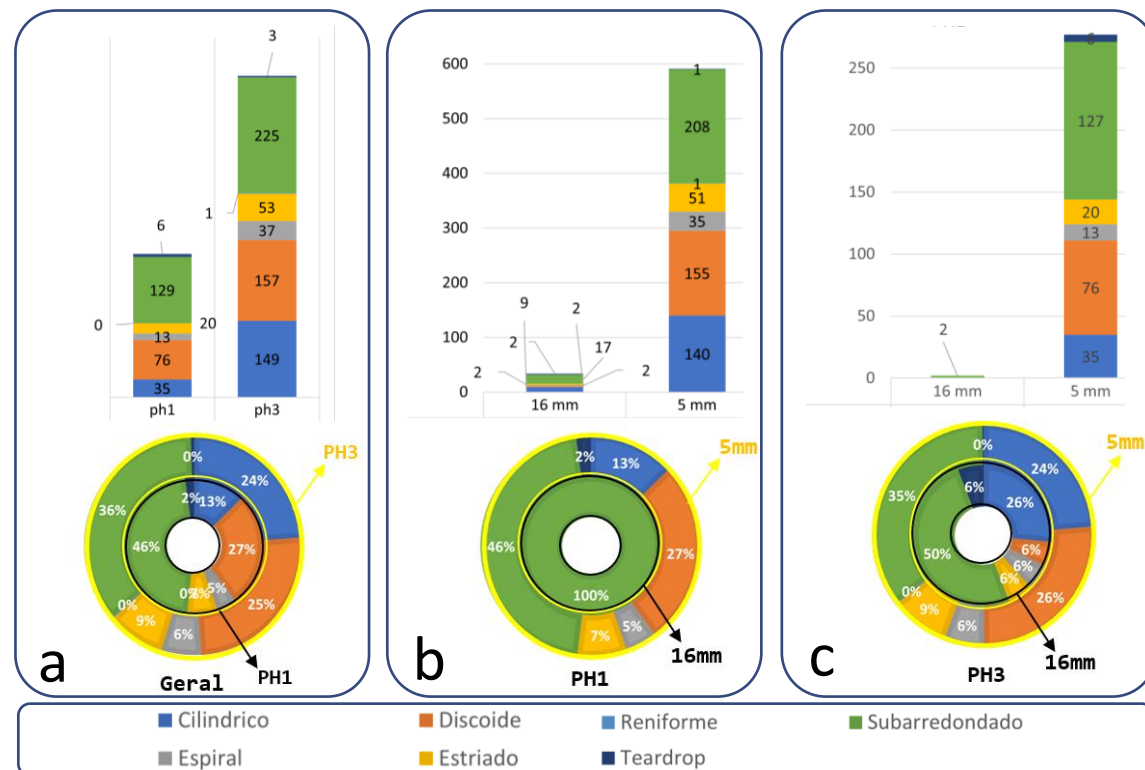


Figura 8: representação da frequência absoluta (gráficos em barras) e relativa (gráficos de pizza) de cada morfotipo. (a) Comparação da distribuição total dos morfotipos em cada uma das frentes. (b-c) Comparação da distribuição dos morfotipos em cada uma das frações (5mm e 16mm).

### Subarredondados

**PHI:** A maioria tem superfície erodida (35,7%), seguido por irregular (31,8%) e polida (30,2%). Em relação ao fraturamento, apenas 14,2% dos exemplares estão inteiros e quase metade (49,2%) apresenta fraturas arredondadas, seguidos por fraturas frescas (32,5%). Quanto ao achatamento, mais da metade não apresenta (69,8%), porém dentre os que apresentam, predominam os com grau elevado (14,7%). Também são maioria os fragmentos que não estão compactados (76,7%), que não apresentam alterações química (95,3%) e aqueles que não apresentam gretas e sinéreses (98,4%).

**PH3:** Assim como na PHI, predominam fragmentos com superfície erodida (41,59%), mas nesse caso os com superfície irregular são minoria (26,17%). Apenas 15,69% estão inteiros, predominando o fraturamento arredondado (48,53%) seguido pelo fresco (34,8%), assim como na PHI. São predominantes também os fragmentos que não estão achatados (64%) e, dentre os que apresentam, são maioria aqueles com níveis intermediários e elevados de achatamento (12,89% cada). São predominantes também aqueles que não apresentam compactação (83,56%), que têm alterações químicas (48,44%) e que não têm gretas ou sinéreses (98,4%).

### Cilíndrico

**PHI:** A maioria tem superfície irregular (62,9%), seguido por aqueles com superfície polida (22,9%). Não existem exemplares inteiros, as fraturas dividem-se entre frescas e arredondadas com 45,7% cada. Quanto ao achatamento, mais da metade não apresenta (68,6%), porém dentre os que apresentam, predominam os levemente achatados (20%). A grande maioria não está compactada (94,3%), têm alterações química (77,1%) e não possuem marcas de gretas e sinéreses (91,4%).

**PH3:** Predominam fragmentos com superfície erodida (48,99%), seguido por fragmentos com superfície polida (44,97%). Apenas 4,05% estão inteiros, havendo predomínio de fraturas frescas (66,89%) e arredondadas (25,68%). Também há predomínio de fragmentos que não estão achatados (49,66%), que não estão compactados (86,03%), que têm alteração (73,83%) e sem gretas ou sinéreses (98%).

### Estriado

**PHI:** A maioria tem superfície polida (70%), seguido por erodida (20%). Não existem exemplares inteiros, havendo 55% de exemplares com fraturas frescas e 35% arredondadas. Quanto ao achatamento, a grande maioria não apresenta (90%). Predominam também aqueles que não estão compactados (95%), têm alterações química (77,1%) e não apresentam gretas e sinéreses (95%).

**PH3:** Predominam fragmentos com superfície polida (64,15%), seguido pelos com superfície erodida (22,64%), assim como na PHI. Apenas 1,89% estão inteiros, predominando fraturas frescas (75,47%) e arredondadas (18,87%). 79,25% dos fragmentos não estão achatados, 83,02% não estão compactados, 84,91% têm alteração e 90,57% estão sem marcas de gretas ou sinéreses.

### Discoide

**PHI:** A maioria tem superfície erodida (51,3%), seguido por polida (27,6%) e irregular (14,5%). Quanto ao fraturamento, apenas 5,3% dos exemplares estão inteiros e a maioria (46,1%) apresenta fraturas frescas, seguidos por fraturas arredondadas (42,1%). Quanto ao achatamento, mais da metade não apresenta (88,2%), porém dentre os que apresentam, predominam os com grau elevado (11,8%). A grande maioria está compactada (92,1%), têm alterações química (90,8%) e não apresentam gretas e sinéreses (97,1%).

**PH3:** Assim como na PHI, predominam fragmentos com superfície erodida (44,59%), seguido por fragmentos com superfície polida (40,76%). Apenas 5,10% estão inteiros, predominando os com fraturas frescas (68,79%) e arredondadas (22,93%). Também há predomínio de fragmentos que não estão achatados (82,17%), que estão compactados (82,17%), que têm alteração (59,62%) e sem gretas ou sinéreses (100%).

### Teardrop

**PHI:** 50% dos exemplares têm superfície irregular, seguido por aqueles com superfície polida (33,3%). 20% estão inteiros e há predomínio de fraturas frescas e também das arredondadas, sendo 40% cada. Quanto ao achatamento, mais da metade não apresenta (60%), porém dentre os que apresentam, predominam os com grau baixo e intermediário de achatamento (20%, cada). Nenhum dos fragmentos tem sinal de compactação, assim como as marcas de gretas e sinéreses. A maioria não apresenta sinais de alterações químicas (60%).

**PH3:** Todos os fragmentos têm superfície polida. Da pequena quantidade de exemplares, 66,67% estão inteiros. Há uma distribuição igual entre três das categorias de achatamento: os fragmentos sem achatamento, com grau baixo (1) e com grau elevado (3) são 33,3% cada. Nenhum dos fragmentos apresenta sinal de compactação e alteração e 90,57% não têm marcas de gretas ou sinéreses.

### Espiral

**PHI:** Quase metade têm superfície erodida (38,5%), seguido por aqueles com superfície polida (30,8%). 8,3% dos exemplares estão inteiros e há predomínio daqueles com fraturas arredondadas (58,3%). Mais da metade não está achatado (58,3%), porém dentre os que apresentam, predominam os com grau intermediário e alto (16,7% cada). São maioria também aqueles que não estão compactados (66,7%), nenhum tem alterações química e nem gretas e sinéreses.

**PH3:** Quase metade têm superfície erodida (47,22%), seguido por aqueles com superfície polida (38,89%). Metade têm fraturas arredondadas, havendo 11% de exemplares inteiros. 45,71% dos fragmentos não estão achatados e 97,06% não estão compactados. A maioria têm sinais de alteração (57,14%) e, assim como na PHI, não existem fragmentos com marcas de gretas e sinéreses.

# CONCLUSÕES

Apesar da frente PH3 possuir mais que o dobro dos fragmentos da PH1, observa-se que a distribuição dos morfotipos entre as duas é semelhante. O predomínio de fragmentos Subarredondados e Discoides é concordante com os dados obtidos no estudo anterior, onde também predominam em massa (g). Comparando cada morfotipo em ambas as frentes, observa-se que as características tafonômicas também são semelhantes, indicando que os processos sedimentares e diagenéticos ocorridos foram relativamente homogêneos ao longo da camada de tempestito. As análises demonstram que predominaram processos sedimentares erosivos, responsáveis pelo desgaste e remodelamento de grande parte dos fragmentos. Boa parte dos fragmentos também foram submetidos a processos pós-diagenéticos, que ocasionaram o fraturamento dos coprólitos. Esse fraturamento é relacionado às próprias características da camada, atribuída à Fm. Corumbataí, que é predominantemente argilosa. As feições de alteração química são menos comuns, porém se assemelham às descritas por Thulborn (1991), sendo atribuídas às trocas de componentes químicos entre sedimento e massa fecal. Estão presentes, também, vesículas preenchidas por um material poroso, semelhantes às descritas por Qvarnström (2020), que as atribuem ao processo de decomposição da matéria orgânica presente na massa fecal realizada por bactérias. Conclui-se, então, que a distribuição dos morfotipos realmente foi influenciada pelos processos sedimentares, diagenéticos e tafonômicos, que remodelaram e apagaram parte das características originais dos fragmentos.

## APOIO

Este projeto foi financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) através do Serviço de Apoio ao Estudante (SAE) da Unicamp (Agosto de 2020 – Maio de 2021) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq, Junho de 2021 – Agosto de 2021).

## BIBLIOGRAFIA

HOLLOCHER, K.T., ALCOBER, O.A., COLOMBI, C.E. & HOLLOCHER, T.C., 2005. Carnivore Coprolites from the Upper Triassic Ischigualasto Formation, Argentina: Chemistry, Mineralogy, and Evidence for Rapid Initial Mineralization. *PALAIOS*, v.20, p. 51-63.

HOLLOCHER, K.T., HOLLOCHER, T.C., KEITH RIGBY, Jr. J. 2010. A phosphatic coprolite lacking diagenetic permineralization from the Upper Cretaceous Hell Creek Formation, Northeastern Montana: Importance of dietary calcium phosphate in preservation. *SEPM Society for Sedimentary Geology Vol. 25, No. 1/2*, p. 132-140.

NORTHWOOD, C. 2005. Early Triassic coprolites from Australia and their palaeobiological significance. *Palaeontology*, Vol. 48, Part 1, p. 49-68.

PRATT, B.R. (1998) Syneresis cracks: subaqueous shrinkage in argillaceous sediments caused by earthquake-induced dewatering. *Sed. Geol.*, v.117, pp.1-10.

QVARNSTROM, M., NIEDZWIEDZKI, G., & ZIGAITE, Z. 2016. [Review of Vertebrate coprolites (fossil faeces): An underexplored Konservat-Lagerstätte]. *Earth-Science Reviews*, 162, 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.014>

THULBORN, R. A. 1991. Morphology, preservation and palaeobiological significance of dinosaur coprolites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 83, p. 341-366.