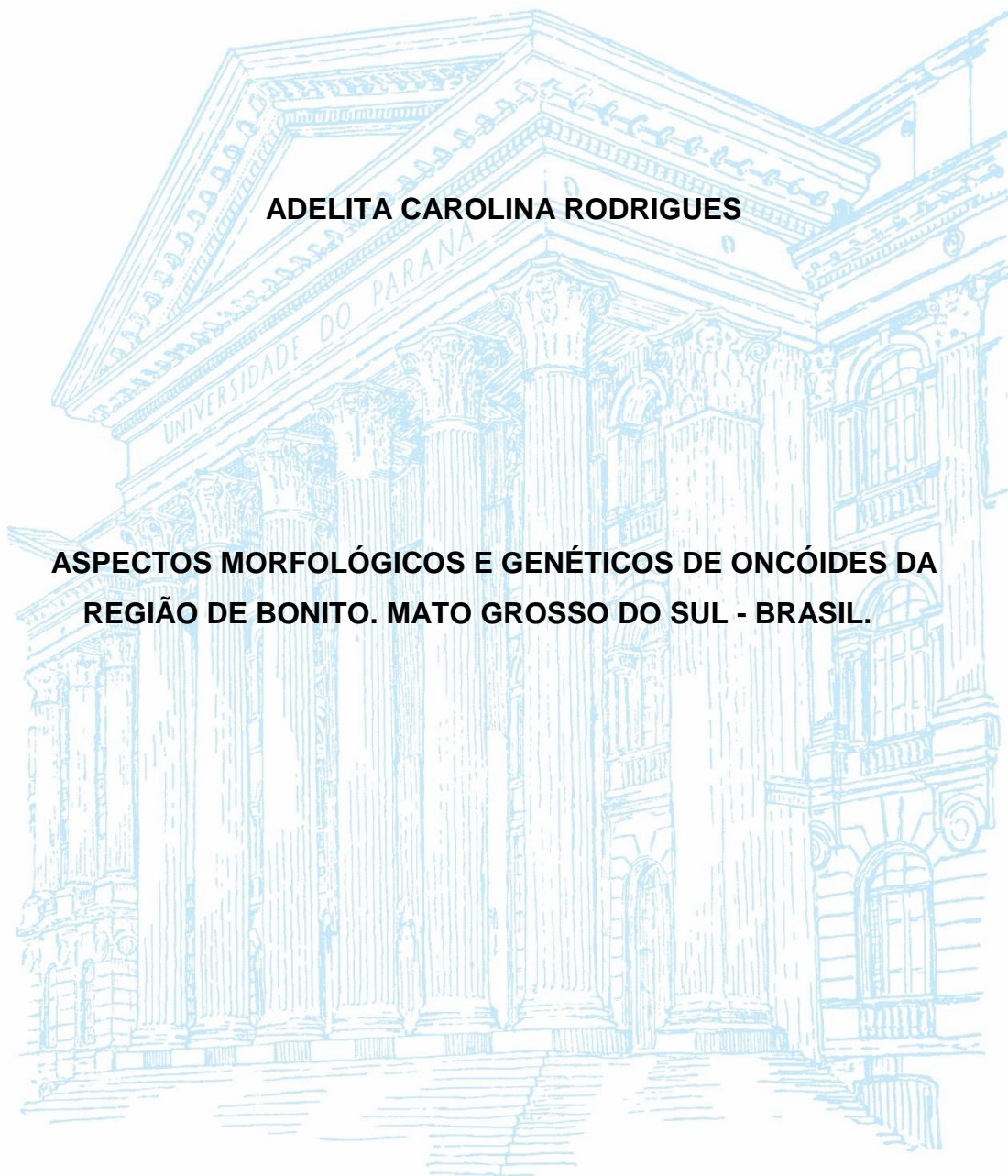


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

ADELITA CAROLINA RODRIGUES

**ASPECTOS MORFOLÓGICOS E GENÉTICOS DE ONCÓIDES DA
REGIÃO DE BONITO. MATO GROSSO DO SUL - BRASIL.**



CURITIBA

2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

ADELITA CAROLINA RODRIGUES

**ASPECTOS MORFOLÓGICOS E GENÉTICOS DE ONCÓIDES DA
REGIÃO DE BONITO. MATO GROSSO DO SUL - BRASIL.**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (GC-119), sob coordenação da Professora Dra. Maria Cristina Souza, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Geologia, Orientadora: Professora Dra. Anelize Manuela Bahniuk Rumbelspelger. Coorientadora: Doutoranda Larissa Santos.

CURITIBA

2019

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área e principais vias de acesso.....	10
Figura 2: Terminologia descritiva de categorias de grãos carbonáticos. Fonte: Flügel (2004).	11
Figura 3: A. Classificação das laminações seguindo Logan (1964); B. Classificação das laminações seguindo Dahanayake (1977). Fonte: Flügel (2004).	12
Figura 4: Contexto geológico da região do Mato Grosso do Sul e seções estratigráficas representando litologias da Fm. Serra da Bodoquena. Fonte: Modificado de Oliveira (2009) e Boggiani e Coimbra (1995).	15
Figura 5: Depósitos atuais, represas e cachoeiras de tufas calcárias do Membro Rio Formoso.	16
Figura 6: Classificação de rochas calcárias de Dunham (1964) modificada por Embry e Klován (1971). Fonte: (Terra et al., 2010)	20
Figura 7: A - E. Conglomerados oncolíticos lenticulares. Argilas na base e micritos inconsolidados no topo; B. Contato entre fácies, transição entre predomínio de aporte de sedimentos terrígenos para o predomínio da precipitação carbonática; C. Oncóides imbricados e lentes de oncólitos clasto suportados; D. Destaque para oncóides de topo convexo (Ver categorias 1 e 2), topos voltados para baixo;	22
Figura 8: Datações relativas. Período Quaternário e seção estratigráfica da Formação Serra da Bodoquena, de Oliveira et al. (2009) correlacionada a datações ¹⁴ C de Sallun Filho et al. (2009b). Destaque em vermelho para os conglomerados oncolíticos.....	23
Figura 9: A. Fotografia macroscópica da amostra laminada; B. Matriz do oncólito em polarizadores paralelos; Destaque para as três gerações de cimentação.	24
Figura 10: A - B. EPS Honey Comb, calcita espática, e estruturas filamentosas com ciclos de calcificação em forma radiada; C. Oncólito clasto suportado; D. Superfície externa de clasto oncoidal em matriz, destaques para EPS Honey Comb. (Amostra Xaraés A).	25
Figura 11: Porcentagem em massa dos principais óxidos e elementos traço presentes na composição dos oncólitos, análises quantitativas em amostras pulverizadas.	26
Figura 12: Destaque para EPS Honey Comb, análises semi-quantitativas por meio de EDS mostram auto teor em óxido de Manganês (MnO) e matéria orgânica não cristalizada.	26
Figura 13: A. Oncóide da categoria 1; B. Oncóide da categoria 2; C. Oncóide da categoria 3; D. Oncóide da categoria 4.....	28
Figura 14: Oncóide com núcleo composto por sílica amorfa e quartzo litoclástico A. Núcleo de sílica amorfa com resquícios de cristal de quartzo e manchas vermelhas com Titânio; B.	

Fragmentos de carbonato em meio ao núcleo de sílica amorfa; C. Sílica amorfa do núcleo em contato com carbonato; D. Sílica amorfa e EPS.....	29
Figura 15: A. Bacterial Shrub; B. Porosidade micro vugular. C. Framework; D. Proteobacterias calcificadas em laminação Framework; E. Estruturas filamentosas desordenadas, incrustadas por micrita e calcita romboédrica; F. Cristais de calcita romboédrica (Smoth Romb Crystals).....	31
Figura 16: Micro tomografia computadorizada de raios X. Cores claras representam maior densidade, regiões mais escuras são de baixa densidade e alta porosidade.....	32
Figura 17: Porcentagem em massa dos principais óxidos presentes na composição dos oncólitos, análises quantitativas em pó total.....	32
Figura 18: Carbonato, cor castanha e estrutura fenestral, nas regiões centrais dos oncóides.....	33
Figura 19: Seção de correlação estratigráfica dos afloramentos e resultados isotópicos para amostras de oncólitos.....	34
Figura 20: Interpretação dos fatores ambientais influentes durante a gênese dos oncóides, com destaque para cada categoria.....	40
Figura 21: Interpretação das microestruturas internas dos oncóides, e possíveis microrganismos formadores.....	43
Figura 22: A. Dados isotópicos de oncóides, análises de ^{13}C e ^{18}O ‰ VPDB; B. Correlação dos resultados obtidos para oncóides (quadro em vermelho) e oncólitos (quadro em verde) com dados de Oste (2017), para tufas calcárias dos Sítios Taíka e Mimosa;.....	45
Figura 23: Padrões isotópicos esperados para o ^{13}C (Schidlowski, 2000), correlacionado aos resultados obtidos para oncóides faixa em vermelho, oncólitos faixa em azul, em verde os resultados de Oste (2017) para tufas calcárias.....	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1: DATAÇÕES ^{14}C EM MICRITOS INCONSOLIDADOS E GASTRÓPODES.....	16
Tabela 2: RELAÇÃO DE AMOSTRAS ESTUDADAS.....	18
Tabela 3: SUMARIZAÇÃO DAS CATEGORIAS E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....	27
Tabela 4: SUMARIZAÇÃO DAS MICROESTRUTURAS INTERNAS DOS ONCÓIDES.....	42

AGRADECIMENTOS

Sou grata a professora Dra. Anelize Bahniuk por me proporcionar a oportunidade de realização desta pesquisa, por me permitir ser aluna do Lamir, e por tudo que vem me ensinando.

A Msc. Larissa Santos, pelas orientações, correções e por todo apoio.

Ao Projeto “Microbial”, uma parceria entre a Petrobras e a Universidade Federal do Paraná/Funpar, pelo fomento que possibilitou a infraestrutura e suporte necessários. Ao Laboratório de Análises de Minerais e Rochas da UFPR (LAMIR – UFPR), no qual o trabalho foi desenvolvido. Ao Centro de Tecnologias Avançadas em Fluorescência do Setor de Ciências Biológicas/UFPR, pelas análises em microscópios de UV Epifluorescência.

Aos funcionários da Fazenda São Geraldo, pelo suporte e infraestrutura durante os trabalhos de campo. Aos professores: Almério Barros França (Lamir/Petrobras); Dr. Carlos Guedes (Degeol/UFPR); Dr. Crisogono Vasconcelos (ETH Zürich); Dr. Filipe Varejão (Lamir/UFPR); Msc. Fernando Mancini (Degeol/UFPR); Dr. Lucas Warren (UNESP); Dra. Maria Cristina Souza (Degeol/UFPR); Dr. Ricardo Jorge Jahnert (Lamir/Petrobras) por suas contribuições, discussões e correções.

A equipe do Lamir, pela parceria, colaboração e amizade durante cada etapa:

Adriana A. Nascimento, Rodrigo Ezídio Barbosa e Rosemari Fabianovicz, pela colaboração por meio do fornecimento de recursos indispensáveis a realização da pesquisa.

Ao Ivan Arthur Bindo, ao Dr. Bruno Barros Cunha, ao Flávio Henrique Perraro, as graduandas Joyce Rodrigues de Oliveira e Angela Rodizes, pelo auxílio na amostragem e preparação. A Flávia Priscila Souza Afonso, Ana Maria Guerreiro Antunes e a Shirley Santos Cezar, pelo preparo das seções delgadas.

A Franciele de Oliveira Czerzinski, ao Msc. Guilherme Fedalto, a Msc. Inaiara Casapula, a Msc. Joicy Micheletto e ao Marcelo Adriano Correa Maceno, pela colaboração na realização das análises geoquímicas. Ao Diego Portela pela realização das análises Isotópicas. Ao Leandro Keiji Ozahata, pelas análises em Microscópio Eletrônico de Varredura.

A Msc Isis Armstrong Dias, a mestranda Tais Muniz e ao mestrando Victor Amir Cardoso Dorneles, pelas discussões.

RESUMO

Oncóides são grãos carbonáticos originados pela ação de microrganismos, principalmente bactérias e cianobactérias, resultando no envelopamento de um núcleo orgânico, bioclástico ou litoclástico por laminações concêntricas. Estas partículas biogênicas são consideradas estromatólitos esferoidais, com gênese provavelmente associada a precipitação de carbonato sobre biofilme microbial em condições hidrodinâmicas instáveis. Na região do município de Bonito/MS, afloram rochas da Formação Serra da Bodoquena, a qual é subdividida em Membro Fazenda São Geraldo, basal, composto por micritos inconsolidados e Membro Rio Formoso, superior, composto por tufas calcárias. As rochas carbonáticas oncoidais que foram o foco deste estudo ocorrem na base do Membro Fazenda São Geraldo. Na região também afloram os metacarbonatos do Grupo Corumbá, fonte dos íons de Ca^{++} para os depósitos quaternários de tufas que precipitam em drenagens da Serra da Bodoquena. Com o objetivo de identificar e descrever variações morfológicas, interpretar as possíveis microbiotas responsáveis pela gênese das microestruturas, bem como inferir a respeito das condições paleoambientais registradas nos Oncóides, foram utilizadas técnicas de caracterização geoquímica (difratometria e fluorescência de raios X e isótopos estáveis de C&O) e mineralógica (seção delgada em microscópio óptico e de UV epifluorescência, microscopia eletrônica de varredura e micro tomografia de raios X). Os oncólitos afloram em camadas conglomeráticas lenticulares (1,5 m de espessura), clasto suportadas, com matriz argilosa a arenosa, composta por fragmentos de oncóides, tubos carbonáticos (algas caráceas) e grãos siliciclásticos, alguns parcialmente incrustados por CaCO_3 . Na base da seção estudada ocorrem camadas argilosas homogêneas e no topo a sucessão é caracterizado por sedimentos siltosos com estruturas de cianobactérias incrustadas por microcristais de CaCO_3 . Os oncóides apresentam núcleos de quartzo, sílica amorfa, esparita, fragmentos de oncóides pré-existentes, subordinadamente fragmentos argilosos e moldes de conchas de moluscos ou gastrópodes. As laminações internas dos oncóides são caracterizadas por: 1 - *Framework*: calcita com estrutura maciça associadas a estruturas tubulares retilíneas e subparalelas esparsas, possivelmente originadas por cianobactérias *Calothrix*; 2 - *Bacterial Shrub*: consiste em carbonatos com estruturas tubulares, com diâmetro de 5 a 6 μm , verticalizadas, retilíneas e subparalelas, de aspecto radial, possivelmente provenientes da atividade de *Rivularias*; 3 - Fenestral comumente separando laminações *Framework* de *Bacterial Shrub*; 4 – consiste em estruturas tubulares desordenadas de filamentos incrustados, além de porções com cristais de calcita romboédricas característicos de organomineralização, infere-se a ação de *Nostoc* e *Phormidium*, 5 – *Smooth Romb Crystals*: Laminações composta puramente por cristais de calcita romboédricas característicos de organomineralização. Nos oncólitos a presença de EPS *Honey Comb* é abundante, além de cristais de calcita espática e filamentos com dois ou mais ciclos de calcificação radiada. Resultados geoquímicos mostram calcita como o principal componente mineralógico de oncóides e oncólitos. Nos oncólitos há quartzo em baixas proporções, e apenas traços de caulinita. Dados isotópicos de oncóides indicam fluido formador meteórico, com valores entre -7,3 e -7,7 ‰ ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$), e valores esperados para carbonatos formados por ação de cianobactérias, entre -5,5 e -6,0 ‰ ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$). Dados isotópicos dos oncólitos, apontam além da presença de cianobactérias atuais a influência de CO_2 atmosférico, e plantas macrófitas. As características morfológicas dos oncóides permitem interpretar uma gênese em um corpo aquoso raso, com coluna da água em altura suficiente apenas para recobrimento dos clastos oncoidais, as diferenças entre laminações de base e topo permitem caracterizar a existência de ambientes como planície de inundação e barras arenosas, além de substratos com sedimentos de granulação grânulos a seixos. Quando acrescidos aos diversos estudos realizados na região, os dados corroboram para a modelagem de um sistema fluvial meandrante, que começa a se desenvolver no início ou meio do Holoceno. Após o desenvolvimento do canal, formam-se os conglomerados oncolíticos, uma mudança de curso abrupta gera os lagos de meandro abandonado que permitem a precipitação dos micritos (Calcário Xaraés) e percolação de água acidulada que contribui para manter o material inconsolidado. Atualmente, nos novos cursos das drenagens ocorrem precipitação de tufas calcárias, as quais permitem identificar uma ausência de variação do fluido formador ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$), desde o início da gênese dos oncóides até o presente. Porém ouve uma significativa redução no aporte de sedimentos siliciclásticos e aumento na proporção de sedimentação carbonática, concomitante ao crescimento das populações de plantas macrófitas, algas *Characeae* e organismos do Filo Mollusca.

Palavras Chave: Oncóides, Cianobactérias, Carbonato de Cálcio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. OBJETIVOS	9
1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
2. ASPECTOS SOBRE ONCÓIDES	10
3. CONTEXTO GEOLÓGICO	13
3.1. GEOLOGIA REGIONAL	13
3.2. GEOLOGIA LOCAL	14
3.2.1 Carbonatos Recentes	14
3.2.2 Rochas oncoídeais da Formação Serra da Bodoquena	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1 ESTUDOS PETROGRÁFICOS	20
4.2 ESTUDOS GEOQUÍMICOS	21
5. RESULTADOS	22
5.1 CONGLOMERADOS ONCOLÍTICOS	22
5.1.1 Afloramentos	22
5.1.2 Características petrográficas	24
5.1.3 Composição química e mineralógica	25
5.2 ONCÓIDES (ARCABOUÇO)	27
5.2.1 Classificação morfológica	27
5.2.2 Nucleação	29
5.2.3 Laminações internas	30
5.2.4 Composição química e mineralógica	32
5.3 ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO E OXIGÊNIO	33
6. DISCUSSÕES	35
6.1 GÊNESE DOS ONCÓIDES vs DEPOSIÇÃO DOS ONCÓLITOS	35
6.2 GEOMORFOLOGIA DOS ONCÓIDES	38
6.3 AÇÃO MICROBIANA	41
6.4 A SÍLICA DOS NÚCLEOS	44
6.5 CORRELAÇÕES ISOTÓPICAS	44
7. CONCLUSÕES	47
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

As rochas clásticas oncolíticas da Serra da Bodoquena, foram interpretadas por Oliveira et al., (2017) como formadas em ambiente lacustre sob influência de clima úmido durante o início do Holoceno, e ocorrem em contato discordante sobre calcretes, formados em clima semiárido durante o final do Pleistoceno. Esses calcretes estão em contato direto, discordância angular, com as rochas do Grupo Corumbá, de idade ediacarana (Oliveira et al., 2017).

Oliveira et al. (2017) justifica a interpretação de que os oncóides tenham se formado em ambiente lacustre com base em características como: oncóides com laminações internas romboédricas, seguindo conceitos de Logan (1964) e Flügel (2004) e evidência de crescimento *in situ* dos oncóides. Apesar disso, esses conceitos não são suficientes para definir a gênese dessas rochas oncolíticas.

Sobre os oncólitos ocorrem micritos inconsolidados, denominados de calcário Xaraés. Estes são de cor cinza, fração silte, caracterizados por filamentos de cianobactérias incrustados por carbonato de cálcio, e descritos como ricos em fragmentos de conchas de gastrópodes e restos de algas caráceas.

Estudos de Utida (2009), Oliveira (2017) e Oliveira et al., (2017) apostam na gênese lacustre dos micritos inconsolidados, denominados calcário Xaraés¹. Boggiani et al. (2002) afirma uma gênese a partir de lagos por meandros abandonadas (*Oxbow Lakes*) do Rio Formoso.

As rochas oncolíticas carecem de estudos detalhados, devido à dificuldade de acesso a afloramentos, apesar de citadas por Utida (2009) e Oliveira (2017), o material não foi o foco de seus trabalhos. Portanto, a importância desta pesquisa se dará a partir da contribuição com novas informações a respeito dessas lentes conglomeráticas oncolíticas, as quais tem o potencial para trazer informações a respeito das condições paleoambientais vigentes na região, durante o início do Holoceno.

O trabalho de pesquisa abordado está organizado de forma a contextualizar o leitor, apresentar os resultados obtidos por meio de análises de campo e laboratório, seguido de discussões e interpretações.

¹ Pode ser denominado lama carbonática, porém o termo micritos inconsolidados é utilizado seguindo os autores Sallun Filho (2009) e Oliveira (2009).

1.1. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem por objetivo trazer novas informações petrográficas e geoquímicas a respeito dos oncóides presentes em lentes conglomeráticas oncolíticas, localizadas no Membro Fazenda São Geraldo da Formação Serra da Bodoquena.

Além de compreender e interpretar as diferenças composicionais internas dos oncóides, para possibilitar futuras correlações entre essas diferenças nas laminações, com possíveis variações paleoclimáticas e paleoambientais.

As descrições e interpretações a respeito das sucessões estratigráficas, são apresentadas apenas como um apoio para contextualização dos resultados e dos eventos interpretados, não sendo o foco do estudo.

1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Das rochas oncolíticas estudadas, parte consiste em clastos oncoidais coletados no leito do Rio Sucuri, bem como amostras de bloco rolados encontrados na Fazenda São Geraldo, e parte consiste em afloramentos de lentes oncolíticas.

Essas rochas ocorrem no município de Bonito, região sudoeste do estado do Mato Grosso do Sul (MS), em proximidade aos limites do Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

A área, situada na Fazenda São Geraldo (Figura 1), faz parte da planície de inundação do Rio Formoso, com distância de aproximadamente 1 km do canal atual.

Os afloramentos estudados estão localizados nas seguintes coordenadas (UTM):

Cava 01 – 544780 / 7650175;

Cava 02 – 544736 / 7650168;

Cava 03 – 544719 / 7650182;

Cava 04 – 544714 / 7650182;

Cava 05 – 544703 / 7650205;

Cava 06 – 544690 / 7650194;

Cava 07 – 544667 / 7650200;

O *datum* de referência utilizado é o WGS 1984 Zona 21 K.

O acesso aos afloramentos partindo da região central de Bonito pode ser realizado seguindo pela Rua Monte Castelo por aproximadamente 19,6 km, até a sede da Fazenda São Geraldo na Rua Senador Filinto Müller.

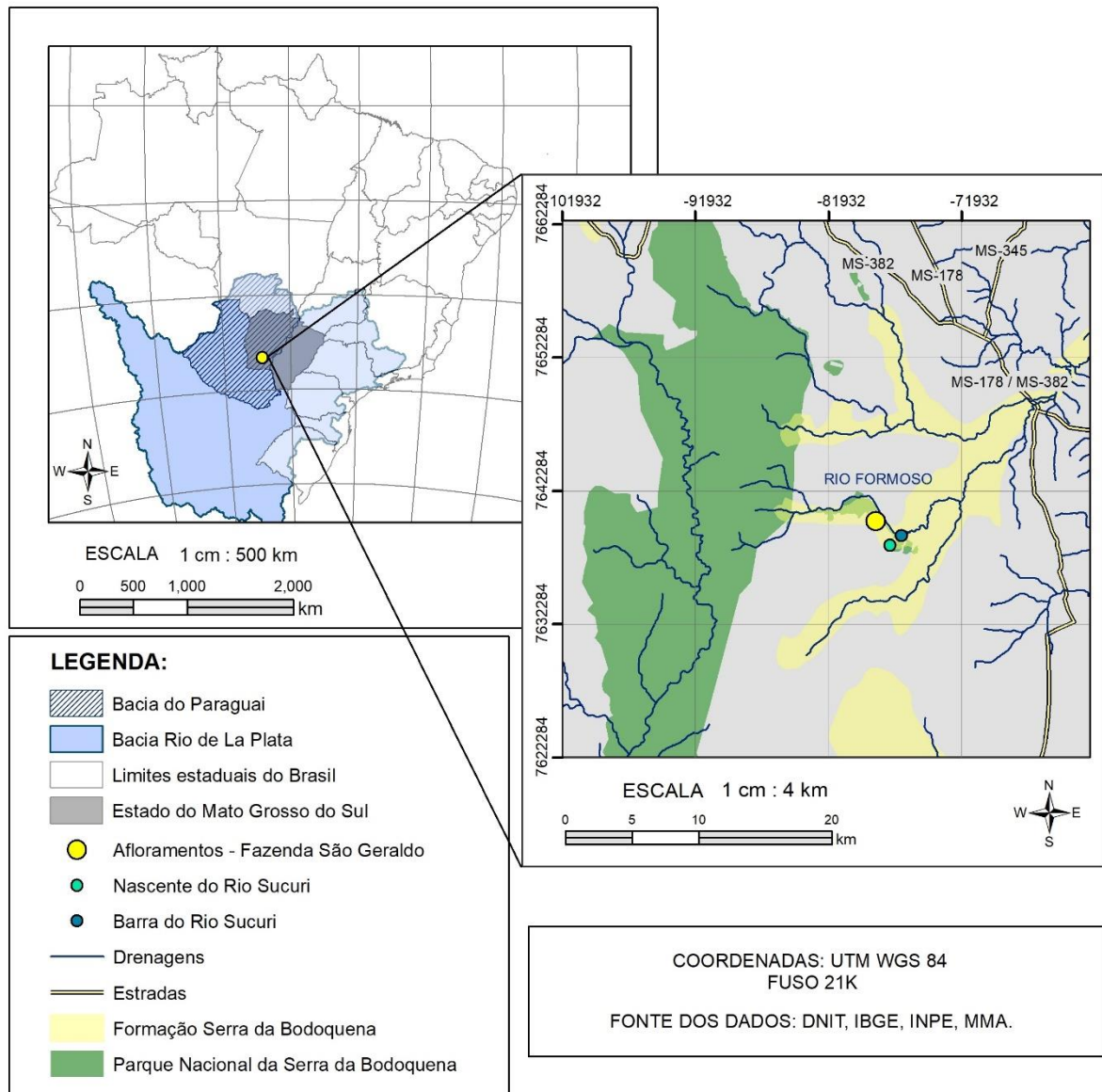


Figura 1: Localização da área e principais vias de acesso.

2. ASPECTOS SOBRE ONCÓIDES

Oncóides são grãos carbonáticos originados pela ação de microrganismos, principalmente bactérias e cianobactérias, resultando no envelopamento de um núcleo orgânico, bioclástico ou litoclástico por laminações concêntricas. Oncólito é o termo utilizado para referir-se a rocha formada por oncóides.

São originadas pela ação de microrganismos, como bactérias e cianobactérias, em resposta a saturação do ambiente em carbonatos, ou pela retirada de CO₂ por

fotossíntese. Tais processos formam depósitos microbiais bênticos com estruturas laminadas, podem ser considerados estromatólitos do tipo SS - esferoidais (Dahanayake, 1977; Logan et al., 1964).

Segundo Flügel (2004) o tamanho dos oncóides modernos de água doce, pode variar de menores de 2 mm até maiores que 10 cm (Figura 2). Com crescimento controlado por fatores biológicos e condições ambientais, que consistem na energia da água e deposição de sedimentos, tamanho e forma do núcleo, e condições favoráveis ao metabolismo dos microrganismos, com ausência de competição com animais predadores como gastrópodes.

Contudo há divergência entre autores na questão do termo, pois “Oncóide” não é considerado um termo genético, sendo apenas um termo descritivo, sendo comumente utilizado na Europa. Na América, o termo pisóides é utilizado tanto para oncóides, como para grãos maiores que oóides. (Flügel, 2004).


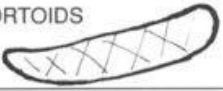




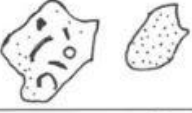

PELOIDS		Small micritic grains, commonly without internal structure. Subrounded, spherical, ovoid or irregular in shape. Size between <math><0.02</math> and about 1 mm, commonly 0.10 to 0.50 mm.	
COATED GRAINS	CORTOIDS		Rounded skeletal grains and other grains covered by a thin micrite envelope. Boundary between the central grain and the envelope indistinct. Size between <math><1</math> mm to a few centimeters.
	ONCOIDS		Large and small grains consisting of a more or less distinct nucleus (e.g. a fossil) and a thick cortex formed by irregular, non-concentric, partially overlapping micritic laminae. Laminae may exhibit biogenic structures. No tendency to increase sphericity during growth. Size from <math><1</math> mm to a few decimeters.
	OIDS		Spherical or ovoid grains, consisting of smooth and regular laminae formed as successive concentric coatings around a nucleus. Laminae may exhibit tangential and radial microfabrics. Size between 0.20 and about 2 mm, commonly between 0.5 and 1 mm.
	PISOIDS		Large subspherical and irregularly shaped grains, consisting of a mostly non-biogenic nucleus and a thick cortex formed by conspicuously, often densely spaced laminae exhibiting tangential and radial microfabrics. Pisoids occur as isolated grains or are incorporated in crusts. Size generally >2 mm, up to >1 cm.
GRAIN AGGREGATES		Compound grains consisting of two or more originally separated particles (e.g. ooids, skeletal grains) that have been bound and cemented together, forming grape-like or rounded lumps. Intergrain spaces filled with micrite or spar. Outline irregular lobular or rounded. Size 0.5 to more than 2 mm.	
CLASTS		Synsedimentary or postsedimentary lime clasts, reworked partly consolidated carbonate sediment or already lithified material. Shape and size are highly variable: angular to rounded. Size ranges between <math><0.2</math> mm and several decimeters. Very small clasts are hardly distinguishable from peloids.	
SKELETAL GRAINS		Fragmented or complete skeletons of organisms. Size from 0.05 mm to many centimeters.	

Figura 2: Terminologia descritiva de categorias de grãos carbonáticos. Fonte: Flügel (2004).

Para este trabalho as principais referências bibliográficas provem de autores da escola europeia, optando-se assim por utilizar o termo *oncóides*, para descrição do material. Descarta-se o termo *Rodóides*, pois o material estudado é proveniente da ação de cianobactérias (algas azuis), enquanto o termo *Rodóides* é utilizado para material composto por calcita magnesiana, proveniente da ação de algas vermelhas. O termo *vadóides* também é descartado, pois o contexto de gênese não envolve condições pedogenéticas.

Devido ao crescimento em forma concêntrica, os oncóides são interpretados como uma adaptação do biofilme a substratos instáveis (Leinfelder e Hartkopf-Fröder, 1990), com o processo de nucleação ocasionado pela saturação do ambiente em carbonatos e aumento do pH devido a retirada do CO₂ da água durante a fotossíntese de microrganismos (Ford e Pedley, 1996; Riding, 1975; Riding e Awramik, 2000).

A classificação geométrica (Figura 3) pode ser baseada no arranjo das laminações sendo indicativas de condições particulares de corrente e turbulência da água (Logan et al., 1964):

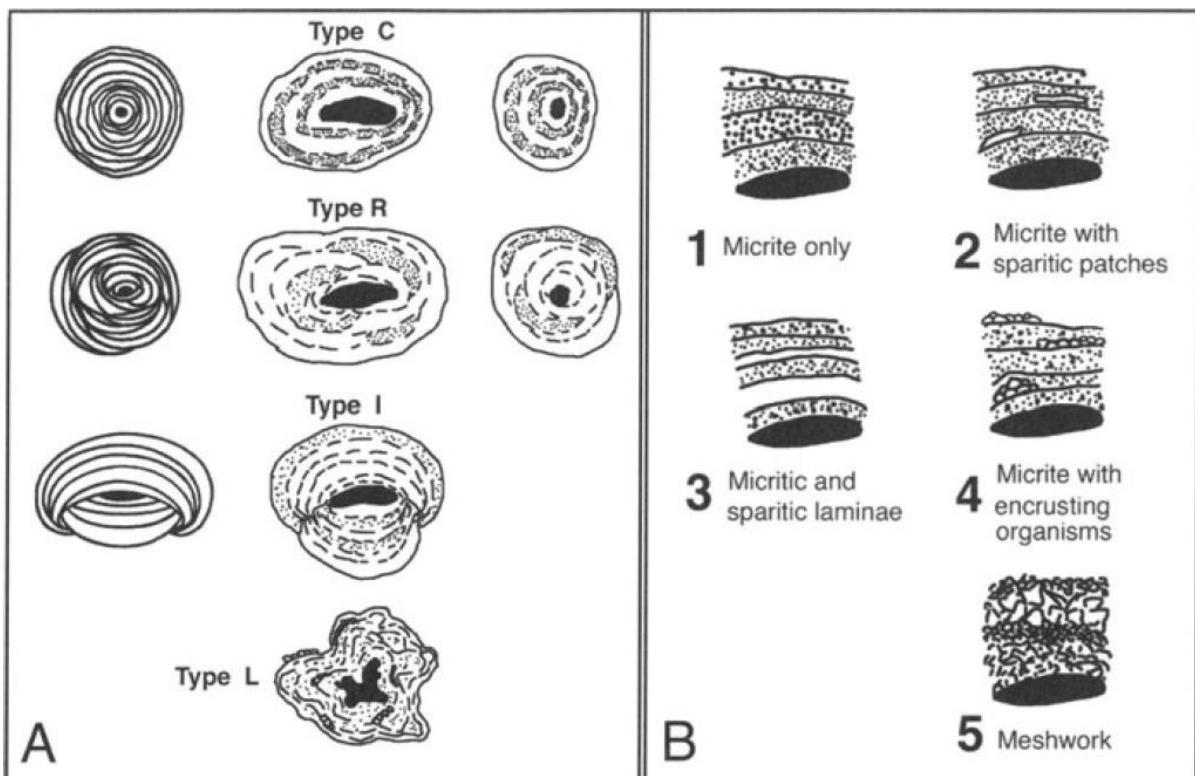


Figura 3: A. Classificação das laminações seguindo Logan (1964); B. Classificação das laminações seguindo Dahanayake (1977). Fonte: Flügel (2004).

(1) Oncóides do tipo C são definidos por laminações concêntricas, têm a gênese restrita a ambientes continuamente submersos e com agitação suficiente para permitir movimentação constante do esferoide;

(2) Oncóides do tipo R são definidos por laminações de arranjo randômico ocorrem na zona intermaré ou em ambientes de águas rasas, com episódios de agitação da água alternados a episódios sem movimentação;

(3) Oncóides do tipo I, que correspondem a corpos biconvexos, formados por lentes convexas de hemisférios invertidos, indicativos de ambientes de águas rasas e pouca agitação.

Uma quarta categoria é proposta por Flügel (2004), oncóides tipo L, randômicos com crescimento lobado em forma de domos, indicativos de interrupção no crescimento, parcial destruição, retrabalhamento, transporte e posterior retomada do crescimento.

Segundo Flügel (2004), múltiplos estágios de crescimento podem resultar em um mesmo oncóide com diversos tipos de laminações. Entretanto, processos digenéticos podem ocasionar alterações.

O crescimento dos oncóides pode ocorrer *in situ* devido à ausência de perturbações que possam causar rolamentos, o que resulta em áreas de alta produção carbonática no topo e teor reduzido na base. A base com menor teor de laminações justifica-se devido à baixa luminosidade (Hägele, 2006).

Porém, crescimentos *in situ* também podem resultar em oncóides totalmente concêntricos, com laminações de tamanho similar em torno do núcleo. Ocorrem em substratos grossos, rasos o suficiente para difundir luz refletida na base dos oncóides (Leinfelder e Hartkopf-Fröder, 1990)

Microrganismos produtores de oncóides, comumente consistem em: *Rivularia haematites*; *Calothrix gypsophila*; *Schizothrix calcicola*; *Phormidium incrustatum*; *Pleurocapsa minor*; e *Aphanothece saxicola* (Riding, 1975; Riding e Awramik, 2000).

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

A Serra da Bodoquena está localizada no sudoeste do estado do Mato Grosso do Sul e consiste em um conjunto de serras que se estendem por aproximadamente 220 km na direção N-S, e 40 km na direção N-W. Com altitudes de até 800 m, sua

área é de aproximadamente 7000 Km². Definida pelos paralelos 19°45' e 22°15' de latitude sul e entre 57°30' e 56°15' de longitude oeste (Sallun Filho et al., 2009a).

Na porção sul-sudeste do limite montanhoso do Pantanal no Mato Grosso, ocorre o setor sul da Faixa de Dobramentos Paraguai, considerada uma unidade geotectônica brasileira pan-africana com 2500 km de comprimento, de idade Neoproterozoica, limitada ao sul pelo Bloco Rio Apa, e ao norte pelo Cráton Amazônico (Boggiani et al., 2018; Sallun Filho et al., 2009a).

A Faixa Paraguai é subdividida em três unidades litoestratigráficas distintas: (1) unidade basal, que consiste em diamictitos da Formação Puga e metassedimentos do grupo Cuiabá, de idade Criogênica; (2) unidade intermediária, consistindo em metacarbonatos do Grupo Corumbá, e metacarbonatos do Grupo Araras, ambos do Ediacarano; e (3) unidade superior, representada por folhelhos e arenitos continentais do Grupo Alto Paraguai, de idade Ediacarana-Cambriana (Boggiani et al., 2018; Sial et al., 2016).

Os metacarbonatos do grupo Corumbá apresentam extenso desenvolvimento de relevo cárstico, que representam a fonte provedora do carbonato de cálcio para geração dos depósitos quaternários (final do Pleistoceno e início do Holoceno) da Serra da Bodoquena (Boggiani et al., 2018; Sial et al., 2016).

As drenagens que percorrem o Planalto da Bodoquena, são responsáveis pela dissolução dos calcários do Grupo Corumbá, tornando-se supersaturadas em carbonato de cálcio e precipitando os depósitos de tufas nas drenagens subsequentes (Oliveira, 2009).

3.2. GEOLOGIA LOCAL

3.2.1 Carbonatos Recentes

Os carbonatos recentes da região do Mato Grosso do Sul, são caracterizadas por três unidades distintas (Figura 4). Além das tufas calcárias da Serra da Bodoquena, ocorrem lentes compostas pela Formação Xaraiés² e rochas calcárias do Pantanal do Miranda. Cavernas e espeleotemas, apesar de abundantes, não se enquadram nestas unidades.

² Não confundir calcrites da Formação Xaraiés localizada a NW do Pantanal, com os micritos da Formação Serra da Bodoquena localizados a SE do Pantanal. Os micritos são comercializados com o nome Calcário Xaraés.

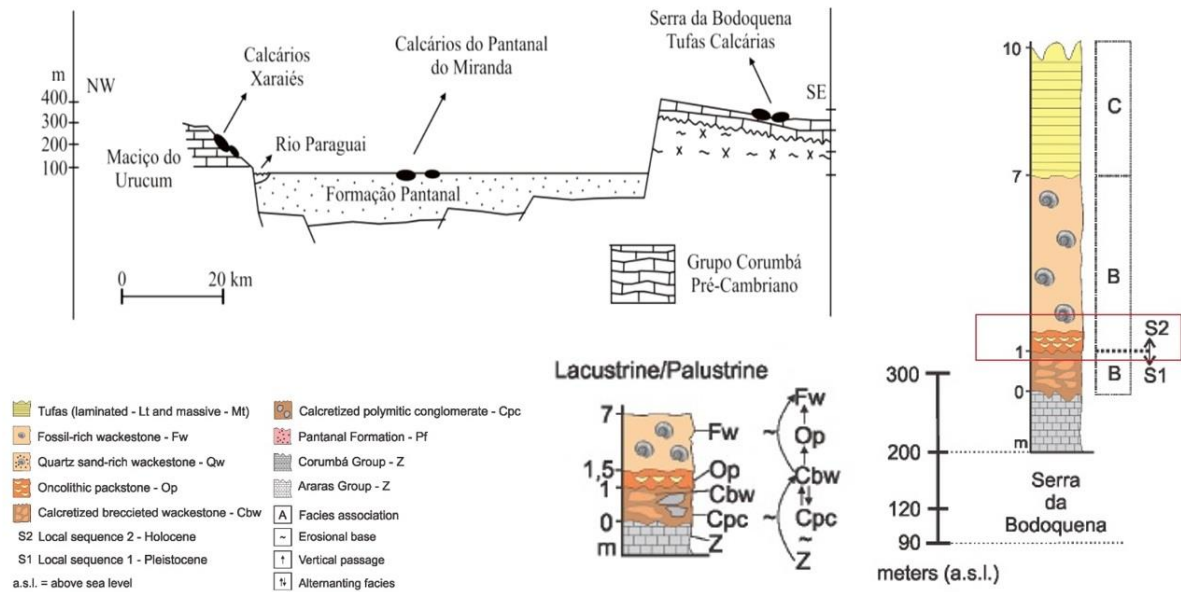


Figura 4: Contexto geológico da região do Mato Grosso do Sul e seções estratigráficas representando litologias da Fm. Serra da Bodoquena. Fonte: Modificado de Oliveira (2009) e Boggiani e Coimbra (1995).

A Formação Xaraiés, inicialmente definida por Almeida (1965), caracteriza-se por calcretes da Escarpa Corumbá Ladário, localizados próximo ao Maciço do Urucum (MS) e a Serra das Araras (MT), formadas em clima semiárido durante o Pleistoceno (Boggiani et al., 2002). Ocorrem em contato discordante angular com rochas do Grupo Corumbá e Formação Araras. Nos folhelhos e calcários do Grupo Corumbá ocorrem falhas e fraturas preenchidas pelos referidos calcretes. (Boggiani et al., 2002).

As lentes calcárias do Pantanal do Miranda, ocorrem na planície de inundação do Rio Miranda. Geometricamente formam elevações circulares de 10 a 15 metros de diâmetro e 2 a 3 metros de altura, tem a calcita como principal componente mineralógico, seguido de aragonita e traços de quartzo. Datações pelo método carbono-14 revelaram idades de 3910 +/- 110 A.P. (Boggiani et al., 2002).

As tufas encontram-se em processo de formação associadas às drenagens atuais, formadas em clima úmido, separadas em depósitos de represas e cachoeiras e depósitos de micritos pulverulentos, pouco ou não litificados, e de idade mais jovens que os depósitos da Formação Xaraiés. Além disso encontram-se em sistemas cársticos distintos e em diferentes bacias hidrográficas (Sallun Filho et al., 2009a).

As represas e cachoeiras (Figura 5) formam depósitos estratificados, com camadas de 2 a 3 cm. Registram um ciclo anual de deposição, com maior crescimento em períodos quentes e chuvosos e redução ou ausência de crescimento em períodos

frios. São rochas porosas que exibem uma variada gama de estruturas, associados ao crescimento de macrófitas, principalmente briófitas e microrganismos. A precipitação do carbonato em filóides e caulóides de briófitas induz um crescimento vertical, formando assim paredes de tufas. (Boggiani et al., 2002).



Figura 5: Depósitos atuais, represas e cachoeiras de tufas calcárias do Membro Rio Formoso.

Nas cachoeiras é comum a precipitação de tufas pendentes em forma de leque, com o topo convexo, originam cavidades e podem formar cavernas. Nesse contexto é comum a presença de estalactites.

Os micritos pulverulentos formam depósitos que variam de 0.5 a 6 metros, ocorrem nas margens dos rios atuais e geralmente apresentam uma cobertura por argila com alto teor em magnésio (Boggiani et al., 2002). Datações (Tabela 1) nos micritos da Fazenda São Geraldo mostram idades de 6530 a 6310 A.P a três metros de profundidade (Sallun Filho et al., 2009b).

Tabela 1: DATAÇÕES ^{14}C EM MICRITOS INCONSOLIDADOS E GASTRÓPODES.

Sample Data	Coordinates	Lab. number	^{14}C Age (yr BP)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	Calendar age (cal. yr BP)*	deep (m)
X2 – shell ^a	-21°15'4,62"S -56°34'11,43"W	Beta-221513	2630 ±60	-9.9	2850 to 2720	0.30
X1a – tufa ^a		Beta-221514	5650±50	-8.0	6530 to 6310	3.0
X1 – shell ^a		Beta-221512	4200±40	-10.8	4840 to 4780 4780 to 4600	3.0

Fonte: Sallun Filho et al (2009b).

Sallun Filho et al. (2009a) propõem que os depósitos antigos e atuais de tufas sejam restritos a Formação Serra da Bodoquena, diferenciando os em dois membros. Ambos de idade quaternária (final do Pleistoceno e início do Holoceno):

(1) Membro Fazenda São Geraldo – constituído por depósitos antigos de micritos associados a algumas drenagens. São expressivos em planícies associadas

ao desenvolvimento de antigas regiões alagadas, lagos ou meandros abandonados (Sallun Filho et al., 2009a);

(2) Membro Rio Formoso – representado por depósitos de represas e cachoeiras de tufas, as quais podem ou não estar ativas. Ocorrem restritos às drenagens ou fluxos de água esporádicos, e estão acima dos depósitos do Membro Fazenda São Geraldo (Sallun Filho et al., 2009a).

Os micritos pulverulentos, são interpretados como formados em meandros abandonados, pois apresentam uma geometria de depósitos isolados de aproximadamente 300.000 m² cada (Boggiani et al., 2002).

Com o abandono do meandro, ocorre uma acumulação de micrita, devido a absorção do CO₂ por cianobactérias, o que eleva o pH e permite a precipitação, além de atividades de algas *Chara* (precipitação - biologicamente - induzida) (Boggiani et al., 2002; Utida, 2009).

A acumulação de material leva a redução na profundidade do lago. A formação de brejos no final da deposição geram camadas orgânicas superficiais, e a percolação de água acidulada impede a consolidação do material. (Boggiani et al., 2002; Utida, 2009)

3.2.2 Rochas oncoidais da Formação Serra da Bodoquena

Na base da Formação Serra da Bodoquena afloram rochas oncoidais classificadas por Oliveira (2009) como “*packstones* oncolíticos” (Figura 3.1), compondo corpos lenticulares com aproximadamente 50 cm de altura. Abaixo das rochas oncolíticas, em contatos abruptos, ocorrem calcretes brechados, e acima, em contatos gradacionais, ocorrem micritos pulverulentos ricos em carapaças de gastrópodes, além de talos calcificados e oogônios de algas caráceas (Oliveira, 2009; Utida, 2009).

As rochas oncolíticas são compostas por oncóides calcíticos, cujo topo por vezes apresenta formatos côncavo-convexos. Chegam até 4 cm de diâmetro, com laminações micríticas envolvendo grãos de quartzo ou carbonatos (Oliveira et al., 2017).

Nos trabalhos de Oliveira (2017) são descritos como encontrados sempre com o lado convexo para cima, envoltas em uma matriz micrítica.

Os referidos autores consideram que as estruturas sedimentares originais encontram-se preservadas, sem evidências de modificações pedogenéticas ou diagenéticas (Oliveira et al., 2017; Utida et al., 2017). Interpretados como formados em ambiente lacustre ou palustre, são também considerados tufas clásticas oncoidais (Ford e Pedley, 1996; Pedley, 1990).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná - LAMIR – UFPR, em colaboração com a Fazenda São Geraldo, na qual a área de estudo está localizada, e apoio do CTAF (Centro de Tecnologias Avançadas em Fluorescência da UFPR), CME (Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR).

A pesquisa está inserida no Projeto Microbial (Processo número 23075.120 789/2016-11), uma parceria entre a Petrobras e a Universidade Federal do Paraná/Funpar.

E foi subdividida em duas etapas (Tabela 2):

(1) Reconhecimento petrográfico e geoquímico de amostras de oncóides coletadas no leito do Rio Sucuri e blocos rolados encontrados na Fazenda São Geraldo.

(2) Descrição de afloramentos e levantamento de perfis estratigráficos durante etapa de campo.

Tabela 2: RELAÇÃO DE AMOSTRAS ESTUDADAS.

PRIMEIRA ETAPA: BLOCO ROLADO – FAZENDA SÃO GERALDO (XARAÉS –A)					
ID - AMOSTRAS	SEÇÃO DELGADA	MEV	DRX	FRX	ISÓTOPOS C&O
XARAÉS - A	-	X	-	-	-
XARAÉS – A. TOTAL	-	-	X	X	X
XARAÉS – A. ONCÓIDE	-	-	X	X	X
XARAÉS – A. MATRIZ	-	-	X	X	X
XARAÉS – A.1	X	-	-	-	-

XARAÉS – A.2	X	-	-	-	-
PRIMEIRA ETAPA: CLASTOS NO LEITO DO RIO SUCURI (B, C, D e E)					
ID - AMOSTRAS	SEÇÃO DELGADA	MEV	DRX	FRX	ISÓTOPOS C&O
SUCURI B	-	-	X	X	X
SUCURI B.1	X	-	-	-	-
SUCURI B.2	X	X	-	-	-
SUCURI C	-	X	-	-	-
SUCURI D	-	X	-	-	-
SUCURI E	-	-	X	X	X
SUCURI E.1	X	X	-	-	-
SUCURI E.2	X	X	-	-	-
SEGUNDA ETAPA: AFLORAMENTOS - FAZEDA SÃO GERALDO					
ID - AMOSTRAS	NÚMERO DE FÁCIES	SEÇÃO DELGADA	ISÓTOPOS C&O		
CAVA 01	8	-	A		
CAVA 02	6	-	A, C, D, E		
CAVA 03	4	-	B, C		
CAVA 04	6	-	D, E		
CAVA 05	3	-	-		
CAVA 06	3	-	-		
CAVA 07	8	7-B	B		

4.1 ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Com o intuito de facilitar a compreensão das características dos oncóides, e possibilitar uma visualização espacial, morfológica e genética optou-se por uma descrição com referência a um plano cartesiano. Os eixos x e z correspondem aos diâmetros, enquanto o eixo y representa a altura. Os eixos x são maiores em diâmetro, enquanto os eixos z sempre são menores ou iguais ao eixo x.

Para os estudos petrográficos em microscópio óptico de luz transmitida, foram confeccionadas seis lâminas delgadas, seguindo rotina do Lamir/UFPR. As amostras, analisadas por meio do microscópio Zeiss Stereo (Lamir/UFPR) e Olympus BX51 (CTAF/UFPR), foram classificadas (Figura 6) com base na classificação de rochas calcárias de Dunham (1964) modificada por Embry e Klovan (1971) (Terra et al., 2010).

CALCÁRIOS ALÓCTONES					CALCÁRIOS AUTÓCTONES				
Componentes originais não-ligados organicamente durante a deposição (<10% grão >2 mm)			Textura deposicional não-reconhecível	Componentes originais não-ligados organicamente durante a deposição		Componentes originais ligados organicamente durante a deposição			
Contém Matriz (Partículas tamanho argila/silte fino)				>10% grãos >2 mm		Organismos que atuam como obstáculos	Organismos que encrustam e ligam	Organismos que constroem um arcabouço rígido	
Suportado por matriz		Sem matriz, grão-suportado		Suportado pela matriz	Suportado por componentes maiores que 2 mm				
Menos de 10% de grãos	Mais de 10% de grãos		O arcabouço é grão-suportado com matriz						
<i>Mudstone</i>	<i>Wackestone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Crystalline</i>	<i>Floatstone</i>	<i>Rudstone</i>	<i>Bafflestone</i>	<i>Bindstone</i>	<i>Framestone</i>

Figura 6: Classificação de rochas calcárias de Dunham (1964) modificada por Embry e Klovan (1971). Fonte: (Terra et al., 2010)

Para os estudos em Microscópio Eletrônico de Varredura com espectroscopia por energia dispersiva (MEV - JEOL, modelo 6010LA. EDS - Jeol modelo EX-94410T1L11), as amostras previamente embaladas em plásticos convencionais, foram quebradas dentro de panela revestida de ferro, com auxílio de marreta. Fragmentos de interesse foram metalizados com ouro (Au) por meio do equipamento Desk V - Standard (Denton Vacuum LLC) no LAMIR-UFPR e equipamento do Centro de Microscopia Eletrônica da UFPR (CME-UFPR).

O MEV-EDS foi utilizado para definir a presença de estruturas filamentosas de cianobactérias, substância extracelular polimerizada (EPS), caracterização das microestruturas presentes nas laminações internas dos oncóides, e localização de concentrações de elementos como Titânio, Ferro, Manganês entre outros.

A Micro tomografia Computadorizada de raios X (Micro CT) foi utilizada com o intuito de evidenciar o contraste entre as diferentes densidades das laminações dos oncóides. Para tal porções específicas das amostras passaram por corte no equipamento Secoton 50 (Stwers) e na sequência estufa a 50°C por um período de doze horas.

4.2 ESTUDOS GEOQUÍMICOS

As análises geoquímicas foram realizadas em quinze amostras pulverizadas, conforme rotina do Lamir/UFPR, com o intuito de obter redução do tamanho das amostras, a um pó fino e homogêneo com diâmetro inferior a 0,044 mm.

A Difractometria de raios X permite a definição/interpretação de estruturas cristalinas presentes no material. Realizada com o intuito de obter dados mineralógicos qualitativos. Os equipamentos utilizados nas leituras foram o Difrátômetro Panalytical, modelo EMPYREAN, com ânodo de cobre (Cu $\text{K}\alpha_1 = 1,5406\text{\AA}$), gerador de tensão de 40kV, e corrente de 30A do LAMIR - UFPR, e o Difrátômetro Panalytical, modelo X'pert, com ânodo de cobre (Cu $\text{K}\alpha_1 = 1,5406\text{\AA}$), gerador de tensão de 40kV, e corrente de 40A do Laboratório de Mineralogia do Solo, Setor de Ciências Agrárias - UFPR.

As análises de fluorescência de raios X quantitativas, objetivam quantificar a porcentagem dos 10 óxidos principais, presentes na crosta terrestre (CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO e P₂O₅) e 4 elementos-traço (Sr, Ba, S e Cl). Enquanto que para as análises semi-quantitativas o equipamento realiza uma varredura química, e fornece uma porcentagem aproximada dos elementos detectados. O equipamento utilizado nas leituras foi o Panalytical, modelo AXIOS MAX do LAMIR - UFPR.

A análise de isótopos estáveis, de carbono e oxigênio, tem por finalidade identificar/confirmar se houve ação biológica das algas, por meio de comparação com parâmetros isotópicos esperados, além de caracterizar/confirmar a origem do fluido formador. Os equipamentos utilizados foram o GasBench II e o Espectrômetro de massa Thermo Delta V Advantage.

5. RESULTADOS

5.1 CONGLOMERADOS ONCOLÍTICOS

5.1.1 Afloramentos

Nos afloramentos estudados (Figura 7) ocorrem lentes conglomeráticas de 0,5 a 1,5 m de altura e aproximadamente 10 m de espessura, compostas por *floatstones* e *rudstones* oncolíticos, que preservam estratificação cruzada acanalada de médio porte (0,3 a 3 m), podendo ocorrer em menor proporção *wackestones* e *grainstones*.

Na base das lentes ocorrem camadas de argila plástica, cor marrom e de aspecto maciço. O topo é delimitado por micritos inconsolidados.

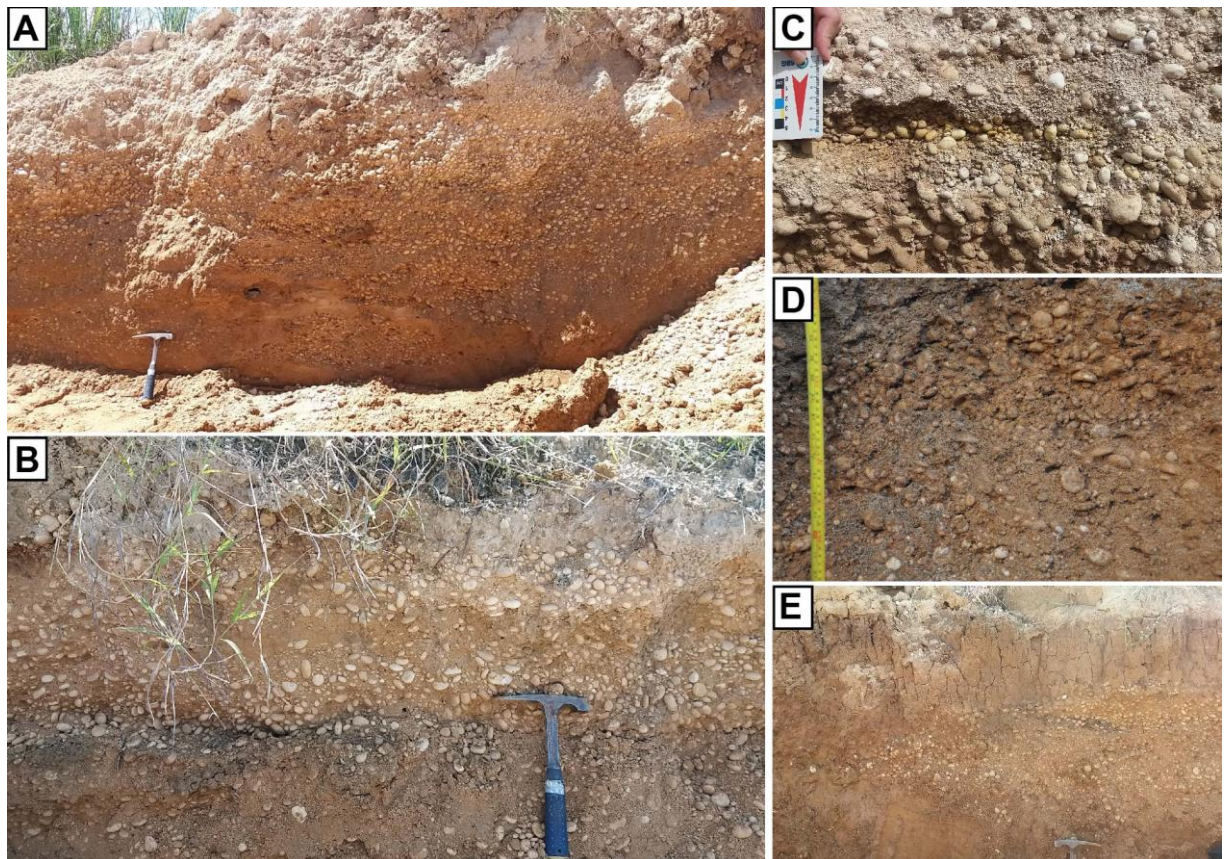


Figura 7: A - E. Conglomerados oncolíticos lenticulares. Argilas na base e micritos inconsolidados no topo; B. Contato entre *fácies*, transição entre predomínio de aporte de sedimentos terrígenos para o predomínio da precipitação carbonática; C. Oncóides imbricados e lentes de oncólitos clasto suportados; D. Destaque para oncóides de topo convexo (Ver categorias 1 e 2), topos voltados para baixo;

O arcabouço dos conglomerados é composto por oncóides, cuja granulação varia de grânulos a seixos, com granulometria de aproximadamente 2 a 6 cm no eixo x (maior comprimento), e não mais que 3 cm no eixo y (altura). O eixo z apesar de variável, sempre ocorre menor ou igual ao eixo x. Observa-se que os oncóides circulares possuem eixos y relativamente maiores que oncóides com topo convexo, nesses exemplos os tamanhos dos três eixos são aproximados ($x \cong y \cong z$).

A matriz geralmente é composta por bioclastos ou fragmentos calcários em fração areia como carapaças de moluscos, tubos calcificados de algas calcárias, oncóides ou fragmentos de oncóides menores que 2 mm. São comuns a presença de cristais de quartzo parcialmente incrustados por carbonato de cálcio. Predominam grãos nas frações areia grossa a muito grossa.

Os micritos inconsolidados que delimitam o topo dos afloramentos, ocorrem na granulação silte. São de cor cinza, aspecto homogêneo, bem selecionados, com grãos siliciclásticos de areia muito fina e carbonáticos (fragmentos biogênicos). Há filamentos de cianobactérias incrustados por microcristais de carbonato de cálcio.

As datações de Sallun Filho et al. (2009b), nos micritos e em gastrópodes, bem como estudos de Utida (2009) e Oliveira (2009) em afloramentos da região, permitem definir por datação relativa, que as lentes de conglomerados oncolíticos são mais antigas que 6.000 anos A.P., devendo ser posicionadas no Holoceno médio ou inferior (Figura 8).

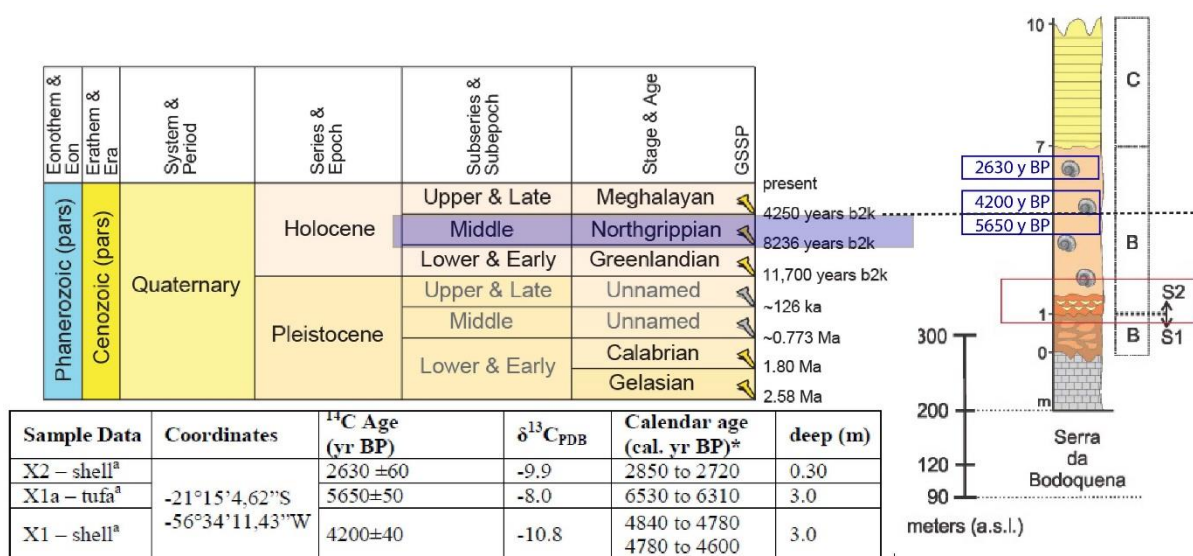


Figura 8: Datações relativas. Período Quaternário e seção estratigráfica da Formação Serra da Bodoquena, de Oliveira et al. (2009) correlacionada a datações ¹⁴C de Sallun Filho et al. (2009b). Destaque em vermelho para os conglomerados oncolíticos.

5.1.2 Características petrográficas

Nas seções delgadas (Xaraés A) predominam oncóides de até 2 mm, comumente com núcleos compostos por fragmentos de cristais de quartzo.

Os oncólitos consolidados mostram três gerações de cimentação (Figura 9): uma primeira geração consiste em cimentação de borda, isópaco composto por calcita de cor castanho claro em polarizadores paralelos; na segunda geração ocorre cimento em mosaico drúsico de calcita espática; a terceira geração é caracterizada por cimento ferruginoso.

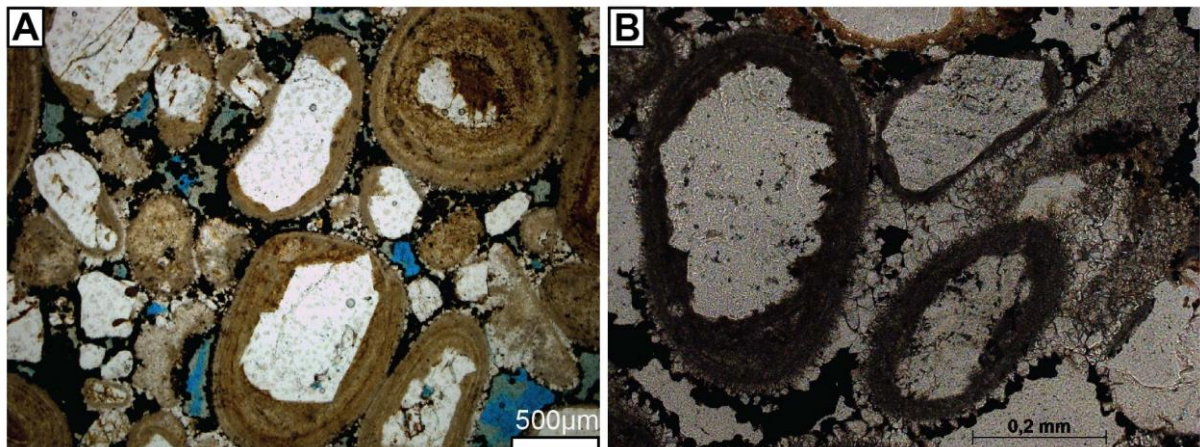


Figura 9: A. Fotografia macroscópica da amostra laminada; B. Matriz do oncólito em polarizadores paralelos; Destaque para as três gerações de cimentação.

Na matriz dos oncólitos (Figura 10) é notável a presença de EPS formando estruturas *Honey Comb*, cristais de calcita espática euédrica, e estruturas tubulares formadas por filamentos envoltos em calcita. Contudo, essas estruturas filamentosas apresentam um padrão de cristalização radiada ao entorno dos tubos. Este padrão de cristalização pode ocorrer com apenas um ciclo, ou com dois ou mais ciclos.

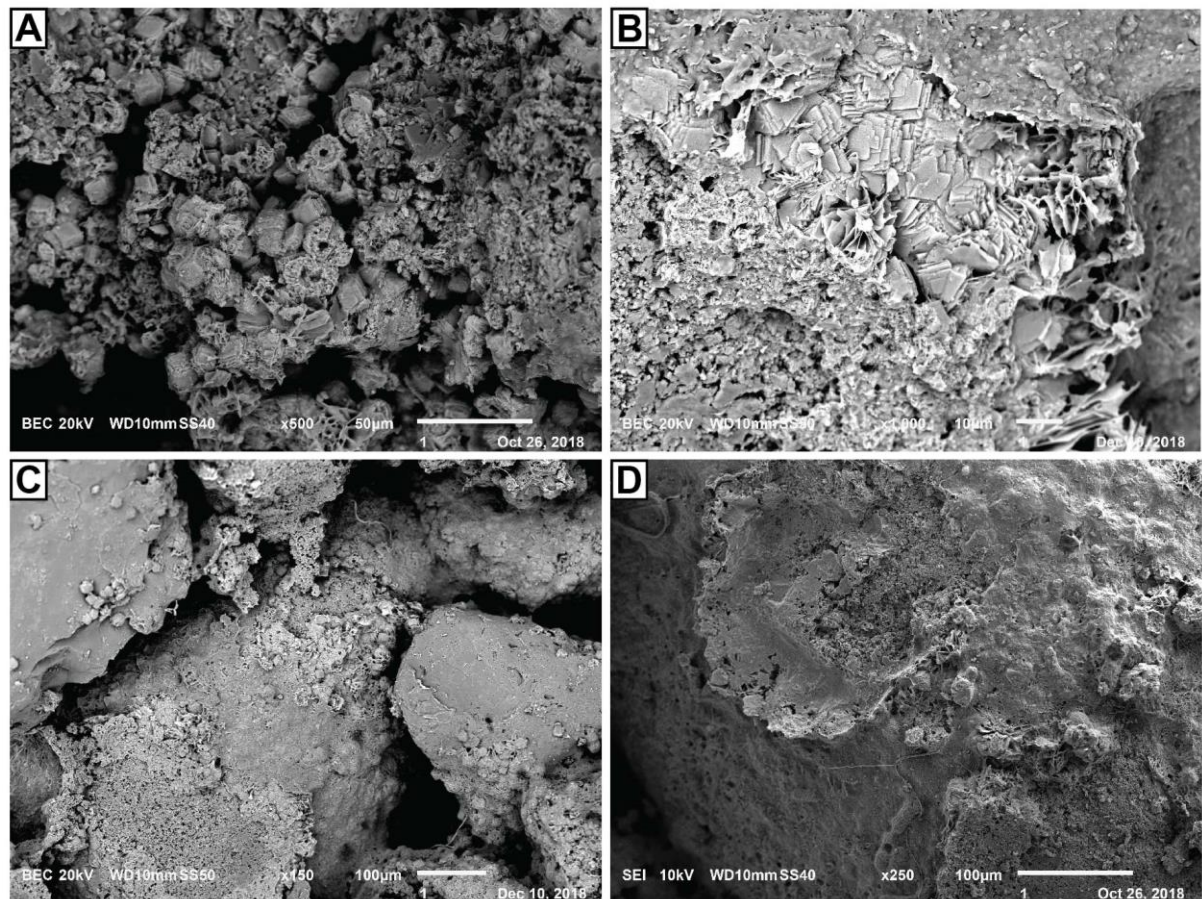


Figura 10: A - B. EPS *Honey Comb*, calcita espática, e estruturas filamentosas com ciclos de calcificação em forma radiada; C. Oncólito clasto suportado; D. Superfície externa de clasto oncoidal em matriz, destaques para EPS *Honey Comb*. (Amostra Xaraés A).

5.1.3 Composição química e mineralógica

Os oncólitos (Xaraés A) são mineralógicamente compostos por calcita e quartzo, com traços de caulinita. Análises de fluorescência de raios X, mostram maior teor de sílica (33,21%) em relação aos oncóides analisados separadamente. As proporções de óxidos de ferro (Fe_2O_3), alumínio (Al_2O_3) e manganês (MnO) aumentam significativamente (Figura 11).

Em estrutura de EPS *Honey Comb* (Figura 12) na matriz dos oncólitos há uma quantificação relativamente elevada de óxido de manganês (MnO). A baixa contagem de Carbono evidencia matéria orgânica ainda não cristalizada. O auto teor em ferro deve-se a terceira etapa de cimentação.

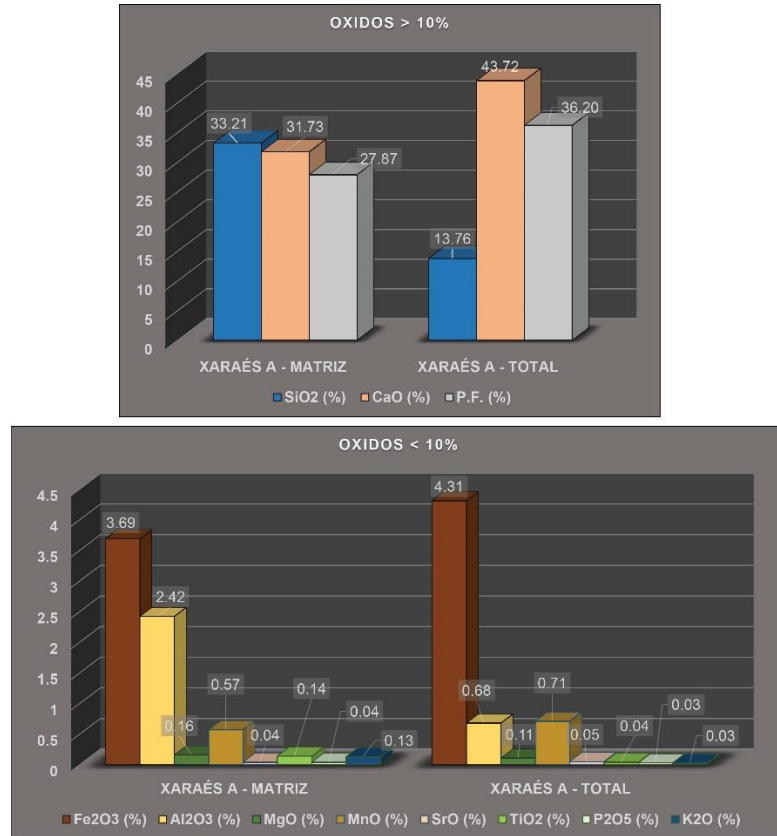


Figura 11: Porcentagem em massa dos principais óxidos e elementos traço presentes na composição dos oncólitos, análises quantitativas em amostras pulverizadas.

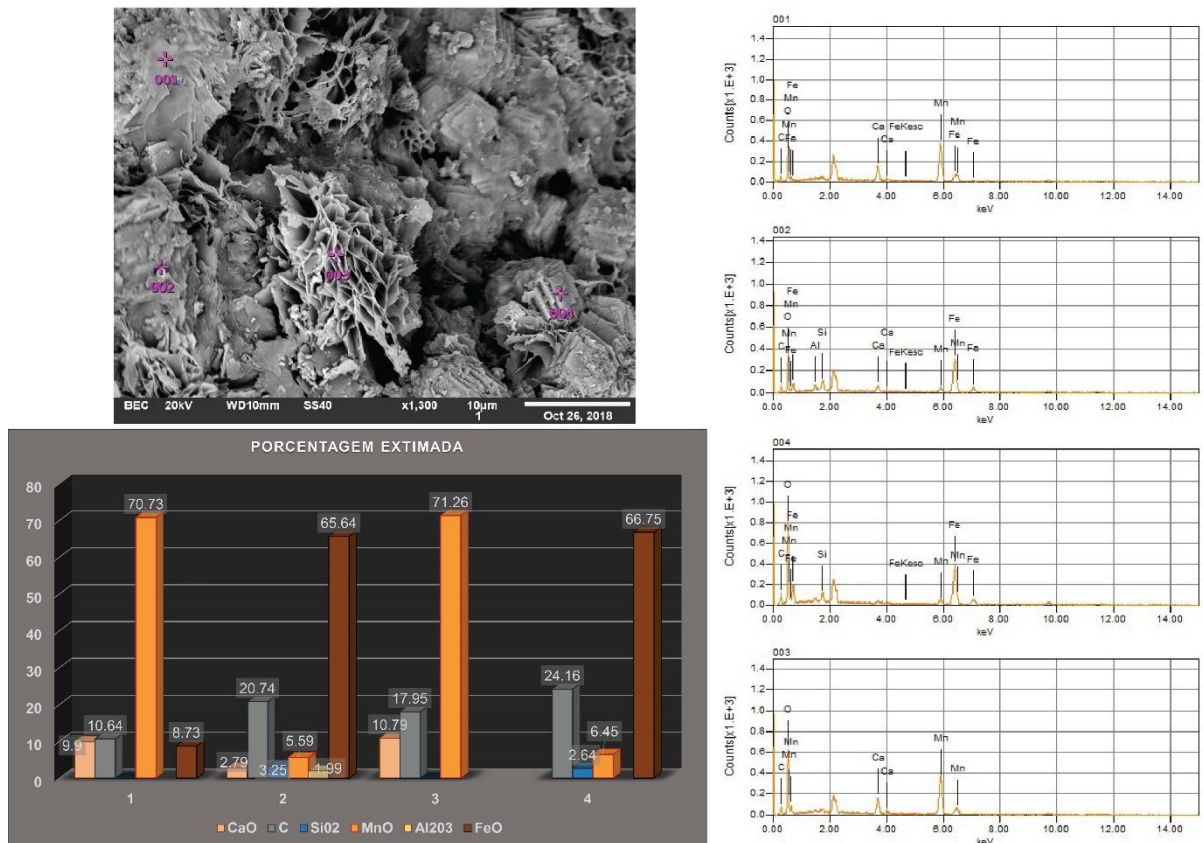


Figura 12: Destaque para EPS Honey Comb, análises semi-quantitativas por meio de EDS mostram auto teor em óxido de Manganês (MnO) e matéria orgânica não cristalizada.

5.2 ONCÓIDES (ARCABOUÇO)

5.2.1 Classificação morfológica

Os oncóides do Membro Fazenda São Geraldo podem ser agrupados, de acordo com suas características, em quatro categorias (Tabela 3; Figura 13):

(1) Categoria 1, consiste em oncóides com formatos triangulares, similar a uma pirâmide invertida, com o topo convexo e com ausência de laminações na base;

(2) Categoria 2, refere-se a oncóides também com formatos triangulares, similares a uma pirâmide invertida, com topo convexo, porém estes diferem dos oncóides da categoria 1 por possuírem laminações na base. Estas laminações entretanto são de uma espessura relativamente mais fina que as laminações das laterais e do topo;

(3) Categoria 3, representada por oncóides de formato ovalado, ou elíptico, com núcleos envoltos por laminações de tamanhos similares na base e no topo. Nestes exemplares o eixo x é significativamente maior que o eixo z;

(4) Categoria 4, caracterizada por oncóides esféricos, com núcleos envoltos por laminações de tamanhos similares por todos os lados. Nestes oncóides não é possível realizar distinções entre base e topo.

Tabela 3: SUMARIZAÇÃO DAS CATEGORIAS E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.

ID	FORMATO	LAMINAÇÕES NA BASE	EIXOS X & Z	ALTURA Y	SUBSTRATO	LOCAL DE GÊNESE
1	TOPO CONVEXO	NÃO	$X \cong Z$	$Y < X \cong Z$	ARGILA	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO
2	TOPO CONVEXO	SIM/ MUITO FINAS	$X > Z$	$Y < X \cong Z$	AREIA	BARRAS
3	OVALADO/ ELIPTICO	SIM	$X > Z$	$Y < X \cong Z$	GRÂNULOS E SEIXOS	PRÓXIMO AO TALVEGUE
4	CIRCULAR	SIM	$X \cong Z$	$Y \cong X \cong Z$	GRÂNULOS E SEIXOS	TALVEGUE

Apesar da separação em quatro grupos principais, não é uma regra que os oncóides tenham passado todo o período de sua formação em um único ambiente. Muitos oncóides começaram a se desenvolver com características de uma determinada categoria, e por algum fator mudaram de posição durante seu desenvolvimento, ou o meio onde o oncóide se encontrava passou por mudanças, caracterizando assim, oncóides com características de diferentes categorias.

Muitos oncóides encontram-se nucleados em oncóides formados previamente, enquanto alguns desenvolveram-se ao entorno de fragmentos oncoidais. Para os oncóides compostos, não é possível determinar fatores para seu desenvolvimento. Optando-se assim por não criar uma nova categoria, mas sim enquadrá-los na categoria, cujas características mostram-se predominantes.

Dessa forma, as quatro categorias propostas sugerem, condições predominantes durante a gênese dos oncóides, porém não significam regras para a formação completa do oncóide

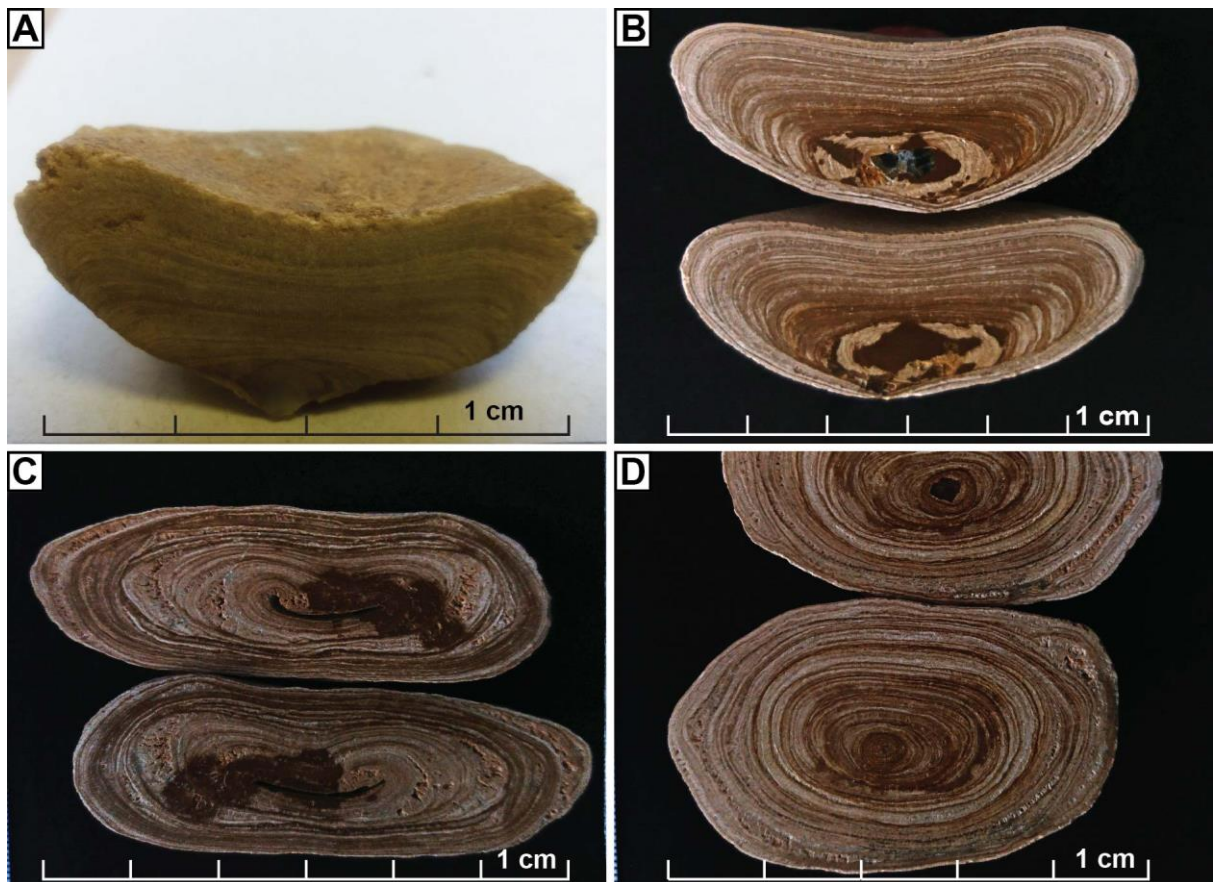


Figura 13: A. Oncóide da categoria 1; B. Oncóide da categoria 2; C. Oncóide da categoria 3; D. Oncóide da categoria 4.

5.2.2 Nucleação

Dentre os exemplares estudados, em oncóides de até aproximadamente 2 mm, predominam núcleos de fragmentos de quartzo, que podem ser observados em seções delgadas. Na matriz inconsolidada presente nos afloramentos, fragmentos litoclásticos parcialmente incrustados ocorrem em grande quantidade.

Oncóides maiores que 2 cm e com núcleos litoclásticos foram observados em menor proporção. Por vezes ocorrem núcleos preenchidos por esparita, micrita ou argila. Raramente ocorrem núcleos bioclásticos, como moldes de carapaças de moluscos (bivalves e gastrópodes). Oncóides previamente nucleados e com laminações desenvolvidas podem tornar-se núcleos para um novo ciclo de nucleação.

Nos oncóides de até 6 cm, os núcleos predominantes são os de sílica amorfa. Por vezes é comum núcleos que apresentam resquícios de fragmentos siliciclásticos com o restante do espaço preenchido por sílica amorfa, além de manchas vermelhas compostas predominantemente por Titânio (Figura 14).

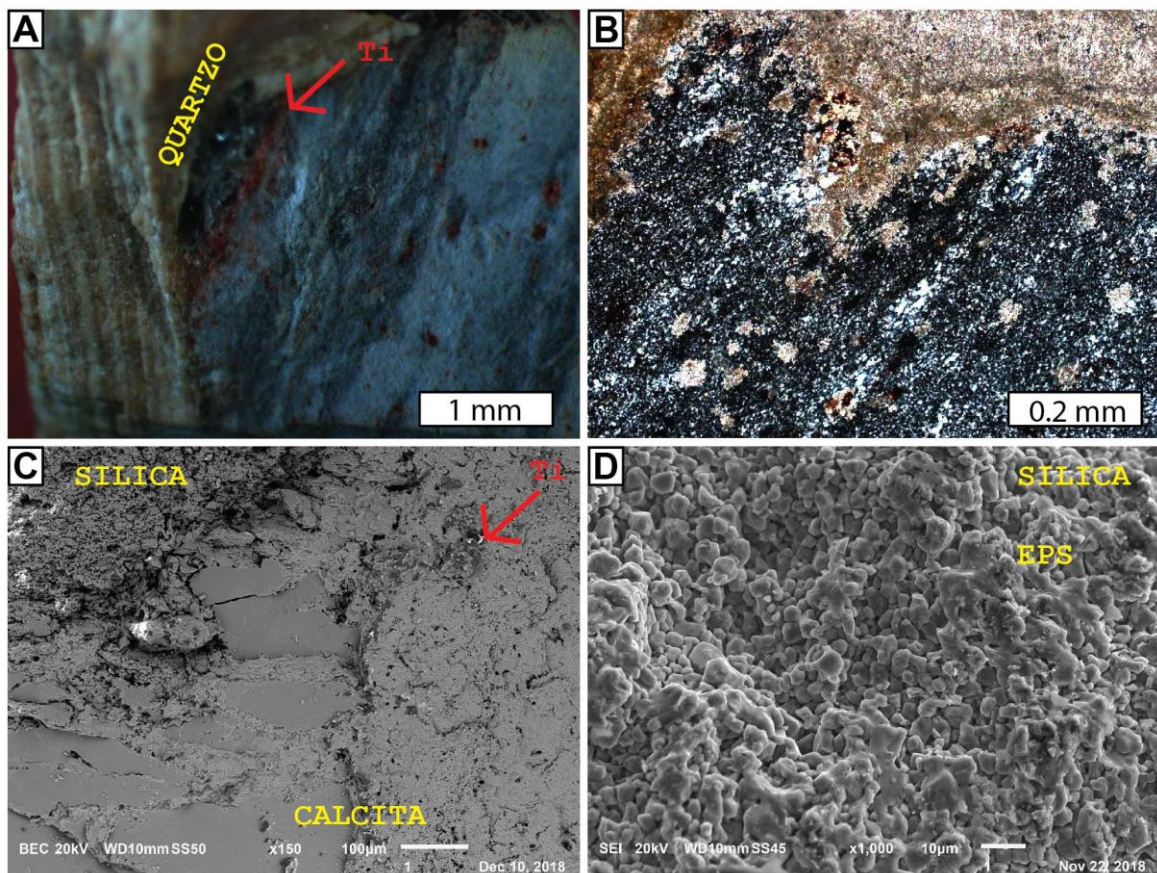


Figura 14: Oncóide com núcleo composto por sílica amorfa e quartzo litoclástico A. Núcleo de sílica amorfa com resquícios de cristal de quartzo e manchas vermelhas com Titânio; B. Fragmentos de carbonato em meio ao núcleo de sílica amorfa; C. Sílica amorfa do núcleo em contato com carbonato; D. Sílica amorfa e EPS.

5.2.3 Laminações internas

Ao se observar as características internas das laminações (Figura 15), ao menos cinco tipos diferentes são identificadas. Definidas com base na porosidade e estrutura dos cristais, independentes da continuidade ao redor dos núcleos:

(1) A laminação do tipo *Framework* é composta por calcita micrítica a microesparítica de aspecto maciço, associada a uma porosidade formada por estruturas reliquiares de filamentos, com aproximadamente 5 a 6 µm de diâmetro, verticalizados e esparsos. Nessas laminações, em meio as estruturas filamentosas, podem ser observadas estruturas de bactérias calcificadas, possivelmente de proteobactérias. Quando observadas macroscopicamente apresentam cor esbranquiçada e aspecto maciço.

(2) A laminação do tipo *Bacterial Shrub* é caracterizada por estruturas tubulares, retilíneas, verticalizadas e subparalelas, com diâmetros de 5 a 6 µm, originadas pela calcificação de filamentos de cianobactérias. Essas estruturas se encontram com aspecto radiado ou arborescente, com convergência para a base e divergência para o topo. Em meio aos cristais é notável a presença de porosidade *micro vulgar*. Macroscopicamente apresentam uma cor esbranquiçada a levemente acastanhada.

Essa laminação se destaca em relação às demais, por não apresentar uma regularidade ao entorno dos oncóides, formando laminações descontínuas. Sua presença ocorre em diversos exemplares, predominando nas bordas dos oncóides, sendo mais raras em laminações internas.

(3) A laminação denominada *Fenestral* comumente ocorre separando laminações maciças com porosidade *Framework* de laminações *Bacterial Shrub*. Em observações macroscópicas apresentam cor castanha.

(4) São comuns aglomerados formados por estruturas reliquiares de filamentos incrustados por cristais de carbonato de cálcio. Estes encontram-se desordenadas e podem ou não ocorrer associados as laminações *Bacterial Shrub*. Há cristais de calcita romboédricas característicos de organomineralização.

(5) Há regiões em que ocorrem apenas cristais de calcita romboédricos (*Smooth Romb Crystals*). Nessas regiões não são observadas estruturas filamentosas reliquiares.

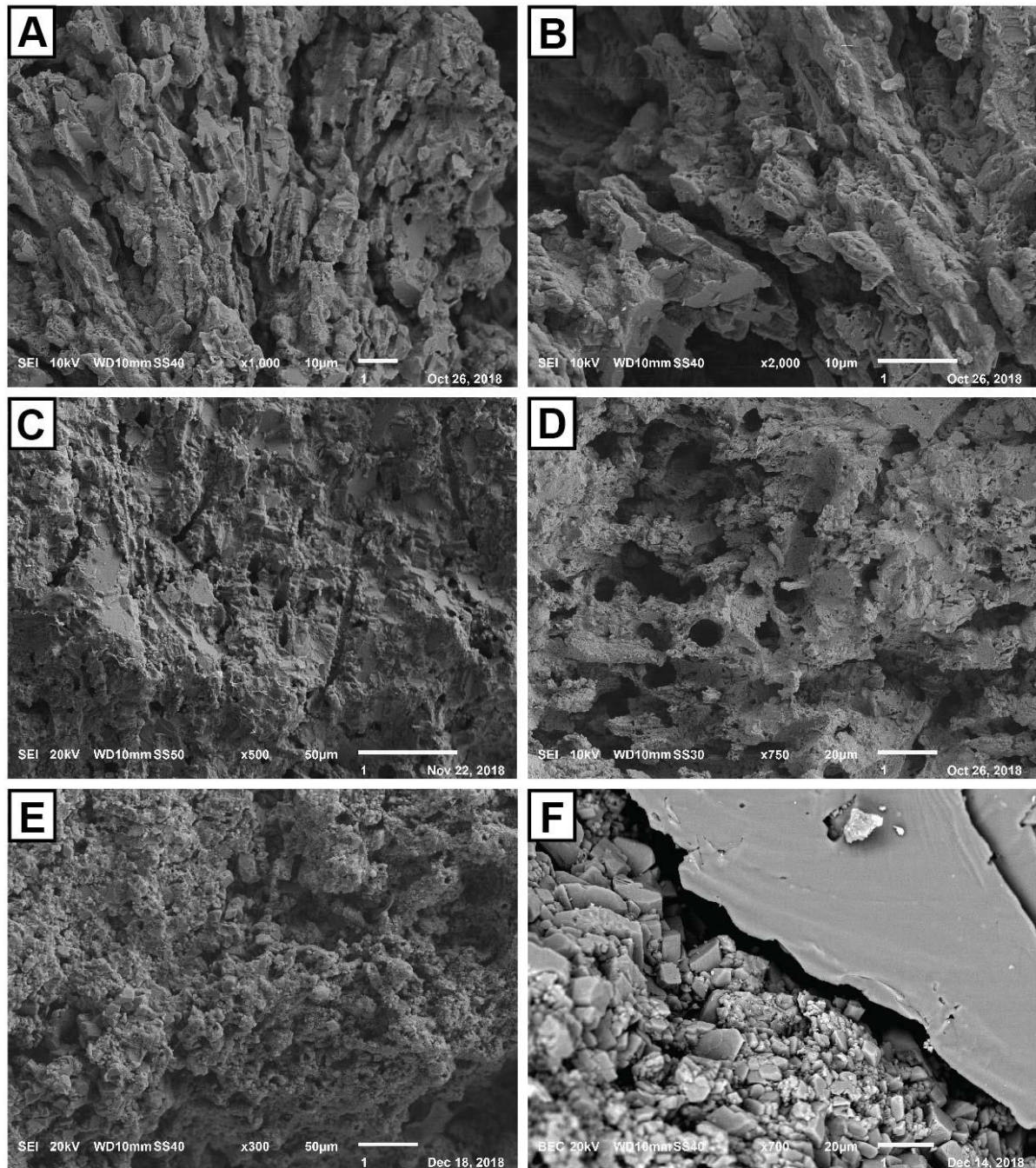


Figura 15: A. *Bacterial Shrub*; B. Porosidade *micro vugular*. C. *Framework*; D. Proteobacterias calcificadas em laminação *Framework*; E. Estruturas filamentosas desordenadas, incrustadas por micrita e calcita romboédrica; F. Cristais de calcita romboédrica (*Smoth Romb Cristals*).

Nota-se que regiões argilosas próximas aos núcleos observadas em cor castanha nas amostras, apresentam densidade relativamente altas quando comparadas as demais laminações. As densidades mais altas correspondem as tonalidades esbranquiçadas, enquanto que as regiões mais escuras mostram camadas de baixa densidade (Figura 16). As variações de densidade das laminações

encontram-se diretamente relacionadas as variações de porosidade das amostras. As camadas mais porosas são as que apresentam menor densidade.

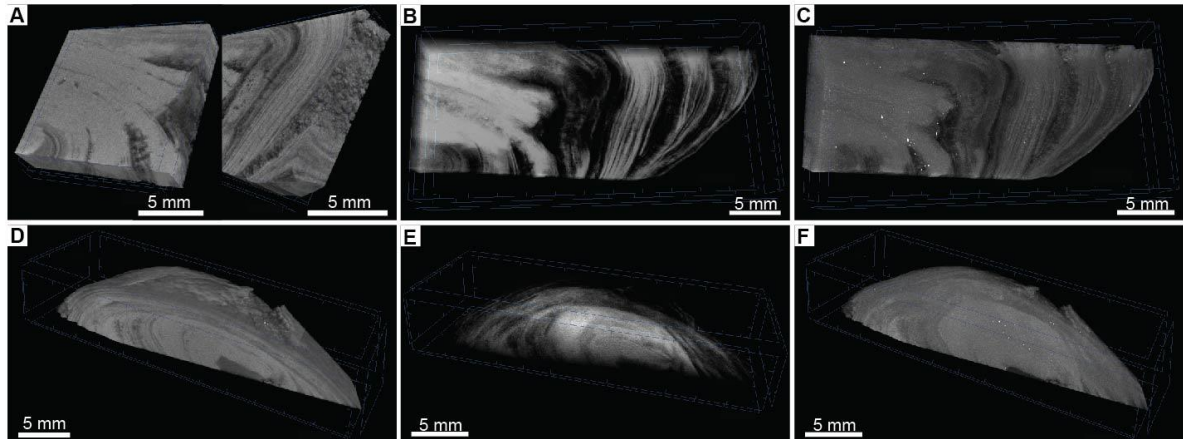


Figura 16: Micro tomografia computadorizada de raios X. Cores claras representam maior densidade, regiões mais escuras são de baixa densidade e alta porosidade.

5.2.4 Composição química e mineralógica

Os oncóides são mineralógicamente compostos por calcita. Não há indícios de quartzo ou outros minerais nas análises de difratometria de raios X. A quantificação dos principais óxidos, por meio de fluorescência de raios X, confirma uma porcentagem entorno de 53 a 54% de óxido de Cálcio (CaO) e aproximadamente 1% de óxido de Silício (SiO₂).

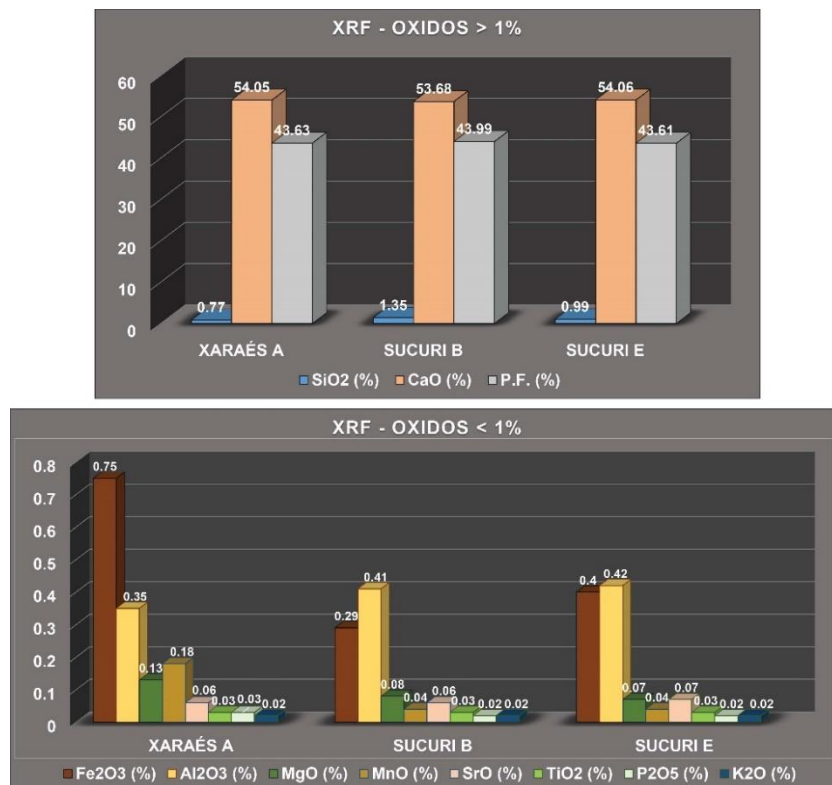


Figura 17: Porcentagem em massa dos principais óxidos presentes na composição dos oncólitos, análises quantitativas em pó total.

Diversos óxidos ocorrem em proporções menores que 1%, sendo mais significativos os teores de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Os óxidos de magnésio e manganês ocorrem em teores menores que 0,2% enquanto os óxidos de estrôncio (SrO), titânio (TiO₂), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) revelam teores muito abaixo de 0,1%, comumente 0,02% para titânio, fósforo e potássio, e 0,06 a 0,07% para estrôncio.

Próximo aos núcleos, comumente ocorrem regiões de coloração castanha escura, estrutura fenestral. Análises mineralógicas de oncóides (DRX-Tratamento) não mostram indícios de argilominerais. Análises semi-quantitativas por MEV-EDS apresentaram concentrações significativas de óxidos de cálcio (Ca), ferro (Fe), alumínio (Al), titânio (TiO₂) e potássio (K₂O), além de carbono (Figura 18).

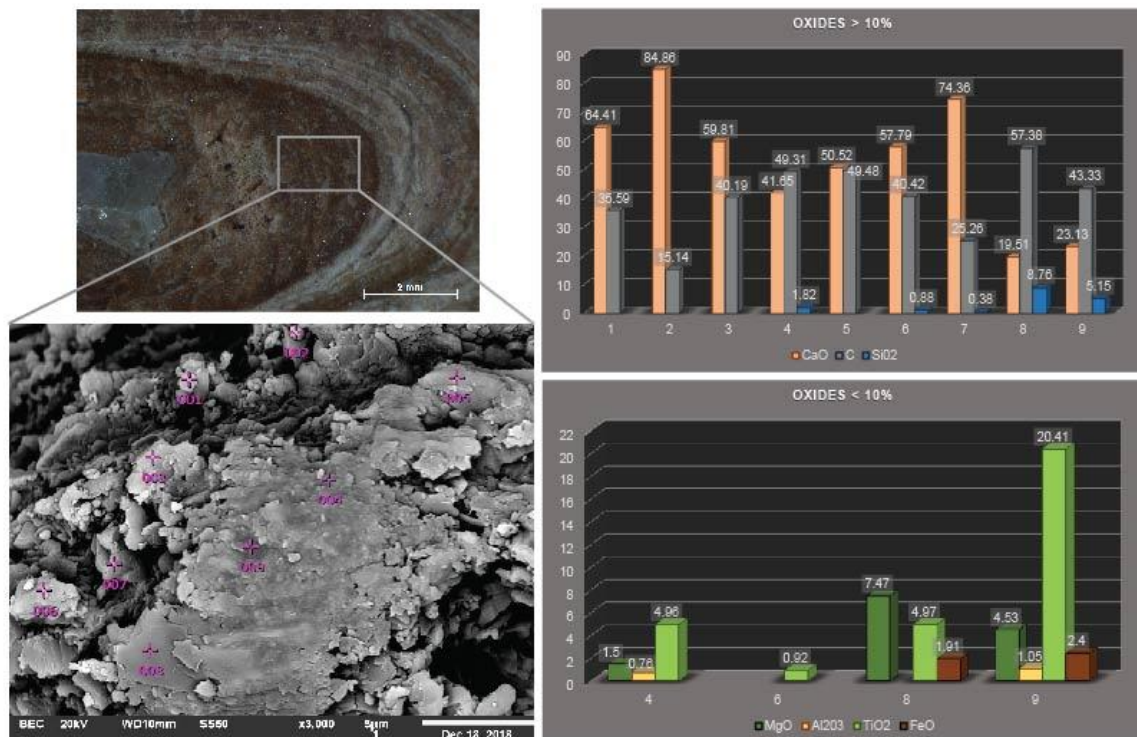


Figura 18: Carbonato, cor castanha e estrutura fenestral, nas regiões centrais dos oncóides.

5.3 ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO E OXIGÊNIO

Os resultados obtidos para o $\delta^{18}\text{O}$ em ‰VPDB não mostram variações significativas entre os oncóides e as lentes de conglomerados oncolíticos, ambos com valores entre -7 e -8 ‰VPDB. Contudo, as razões isotópicas do $\delta^{13}\text{C}$ em ‰ VPDB de

oncólides mostram valores entre -5,5 e -6 ‰VPDB, enquanto o $\delta^{13}\text{C}$ das rochas oncolíticas revelam razões entre -6 e -07 ‰VPDB.

Ao correlacionar uma composição das seções estratigráficas, apresentando as principais fácies estudadas, com as assinaturas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ (cor azul) e $\delta^{18}\text{O}$ (cor vermelha) das principais fácies (Figura 19). Nota-se que os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ para as amostras de conglomerados inconsolidados não mostram variações ao longo da sucessão.

Para a fácies argilosa encontrada na base dos afloramentos, os resultados são $\delta^{13}\text{C}$ -4,58 ‰VPDB e $\delta^{18}\text{O}$ - 9,02‰VPDB. As fácies litificadas mostram resultados de $\delta^{13}\text{C}$ -1,44 ‰VPDB. Porém o $\delta^{18}\text{O}$ se mantém em - 7,56‰VPDB.

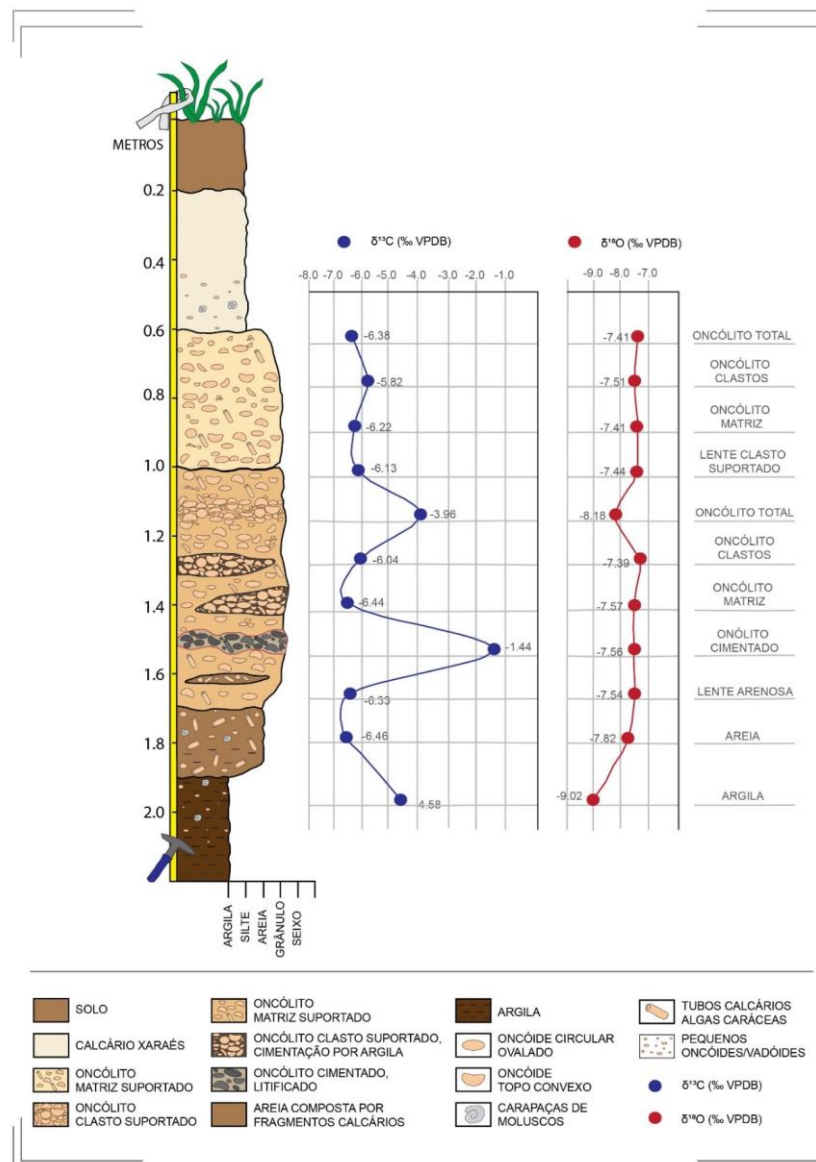


Figura 19: Seção de correlação estratigráfica dos afloramentos e resultados isotópicos para amostras de oncólitos.

6. DISCUSSÕES

Os oncólitos da região do Rio Formoso apresentam vestígios de retrabalhamento, pois ocorrem em depósitos conglomeráticos. Não foram observadas ocorrência de material *in situ*. Contudo, as características originais indicativas de topo e base dos oncóides podem ser observadas, devido às diferenças de espessuras nas laminações, e formato convexo dos topos.

6.1 GÊNESE DOS ONCÓIDES *vs* DEPOSIÇÃO DOS ONCÓLITOS

As interpretações a respeito do material estudado, podem ser subdivididas em três fases:

(1) A primeira fase se refere a gênese dos oncóides. Em algum momento após o final do Pleistoceno e início do Holoceno, o sistema de drenagens observado atualmente, havia começado a se desenvolver. Nesse momento ainda não haviam uma grande proporção de macrófitas como briófitas ou algas calcárias, nem gastrópodes ou outros organismos (Domínio Eukaria), capazes de competir com cianobactérias ou bactérias (Domínio Bacteria).

Oliveira (2009) classifica os conglomerados oncolíticos, como “*Packstones Oncolíticos*” que ocorrem acima e em contato abrupto com calcretes, formados por processos pedogenéticos em clima semiárido. Contudo, há problemas nessas interpretações:

- (a) Predominam *rudstones* e *floatstones* inconsolidados nos afloramentos estudados, *packstones* ocorrem em uma proporção relativamente menor;
- (b) Em meio a sedimentos conglomeráticos inconsolidados, ocorrem camadas de rochas silicificadas, muito similares as rochas descritas por Oliveira (2009) como calcretes, são lenticulares e podem levar a interpretações errôneas de contatos abruptos. Cabe ressaltar, que para essa pesquisa novos afloramentos foram abertos, o que possibilitou a verificação das continuidades laterais das referidas lentes;
- (c) Outro aspecto de suma importância é a confusão gerada na literatura acerca das rochas da Formação XARAIÉS com os micritos inconsolidados do Membro Fazenda São Geraldo. Os micritos são comercializados com o nome de calcário XARAÉS, mas se formaram em clima úmido, e pertencem

a Formação Serra da Bodoquena que se localiza a SE da Formação Pantanal. Os micritos não tem relação genética com as rochas da Formação XARAIÉS, estas sim formadas em contexto de clima semiárido e localizadas a NW da Formação Pantanal (Ver Figura 4);

Caso os calcretes, descritos por Oliveira (2009), sejam amostras de oncólitos silicificados, as interpretações a respeito de um clima semiárido para formação desses calcretes na base do Membro Fazenda São Geraldo, podem estar equivocadas.

Caso as interpretações estejam corretas, esta seria uma fase de transição, de um clima semiárido para um clima úmido e tropical. De qualquer forma, nas planícies da região, o sistema de drenagens que hoje formam os rios que dissolvem os carbonatos do Grupo Corumbá, e permitem novas precipitações formando os depósitos de tufas calcárias da Formação Serra da Bodoquena, deveriam estar no início de seu desenvolvimento.

Por estarem começando a esculpir o relevo, estas drenagens seriam relativamente rasas, para que as condições ambientais tornassem favoráveis o desenvolvimento dos oncóides.

É bem possível que houvesse uma restrição em nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P), não permitindo o desenvolvimento de plantas macrófitas, que causariam sombra restringindo a incidência da luz. A limitação em nutrientes também impediria o desenvolvimento de organismos competidores.

A variação nos teores de nitrogênio e fósforo é muito pequena, os resultados geoquímicos mostram teores de 0,02% de pentóxidos de fósforo nas amostras de oncóides. Quando comparados aos resultados geoquímicos obtidos por Oste (2017), para tufas calcárias, observamos o aumento de 0,05% de pentóxidos de fósforo. O ambiente atual é repleto de macrófitas, gastrópodes e outros macro organismos.

Plantas macrófitas impedem a incidência de luz solar diretamente sobre o substrato, enquanto que organismos como gastrópodes alimentam-se de cianobactérias, estabelecendo assim uma relação de competição, que pode ser um dos fatores determinantes a inviabilizar a gênese dos oncóides.

Durante o início ou metade do Holoceno, teríamos um sistema de drenagens, em início do seu desenvolvimento, possivelmente com restrição em nutrientes e macro organismos, o que possibilitou o desenvolvimento dos oncóides.

(2) A segunda fase da interpretação, é referente a formação das lentes conglomeráticas oncolíticas.

Nesta fase, a gênese dos oncóides estaria chegando ao fim. As drenagens já estariam mais desenvolvidas e aumentando em profundidade e disponibilidade hídrica. Seria possível a ocorrência de fluxos com maiores velocidades e maior capacidade de transporte de sedimentos.

Nesse momento começam a aparecer macrófitas e outros organismos. Evidenciados pela presença de tubos calcificados provenientes de algas eucarióticas, da família Characeae, ainda abundantes na região. Moluscos como gastrópodes também começam a aparecer. Evidenciados pelas carapaças fossilizadas.

O sistema de drenagens, com maior potencial de transporte de sedimentos, seria responsável pela remobilização dos oncóides e outros componentes, calcários ou siliciclásticos, carreando-os para os atuais depósitos conglomeráticos.

As bases das lentes conglomeráticas evidenciam a migração de um canal meandrante, por sobre a planície de inundação. No topo das sucessões, são comuns conglomerados de cores mais claras, com uma densidade relativamente mais leve, e compostas por uma abundância de talos calcificados de algas Characeae e fragmentos calcários, bem como carapaças de gastrópodes. Enquanto nas bases, predominam sedimentos siliciclásticos, parcialmente incrustados, além de maiores teores de argila na matriz.

(3) A terceira fase, posterior a deposição dos oncólitos, refere-se ao abandono abrupto do canal, evidenciado pela transição dos conglomerados oncolíticos para os micritos inconsolidados.

Com o abandono do canal, formaram-se lagos de meandro abandonado (*Oxbow Lakes*), nos quais ocorreu precipitação/deposição de micritos pulverulentos, devido a atividade microbiana e aumento do pH. A deposição é responsável pela redução da profundidade, o acúmulo de matéria orgânica e percolação de água acidulada impede a consolidação do material. ((Boggiani et al., 2002; Utida, 2009; Utida et al., 2017)

A abundância dos extensos depósitos de micritos inconsolidados, nas proximidades dos rios da região, evidencia que o sistema de drenagens abrangia áreas maiores no passado.

6.2 GEOMORFOLOGIA DOS ONCÓIDES

Logan (1964) propõem que oncóides totalmente concêntricos formam-se em ambientes continuamente submersos e precisam de agitação suficiente para permitir movimentação/rolamento constante do esferoide.

Estudos de Leinfelder e Hartkopf (1988 e 1990), Hartkopf Fröder (1989) sugerem que oncóides totalmente concêntricos podem ser resultado de crescimento *in situ*, com laminações de tamanho similar em torno do núcleo. Para que tal hipótese ocorra, torna-se necessário que o crescimento ocorra em substratos grossos o suficiente para difundir a luz refletida na base dos oncóides. (Hägele, 2006; Hägele et al., 2006; Leinfelder e Hartkopf-Fröder, 1990).

Hägele (2006) demonstra para oncóides do rio Alz, na região de Bavária - Alemanha, que a excentricidade das laminações concêntricas é um resultado de diferenças na iluminação em topo e base dos oncóides. Quando ocorre baixa incidência de luminosidade na base dos oncóides, a colonização e calcificação tende a ser reduzida.

O crescimento *in situ*, e o descarte da necessidade de rolamentos constantes, tem mais sentido e coerência quando se observa as estruturas internas das laminações dos oncóides, principalmente quando há resquícios de estruturas filamentosas.

A partir dos critérios discutidos por estes autores, interpretações baseadas na forma e distribuição das lâminas internas dos oncóides, permitem uma proposta de classificação em categorias:

Oncóides da categoria 1 parecem ter se formado nas bordas do corpo aquoso, em regiões relativamente mais rasas, com o fluxo de água reduzido, ou ausente e consequente deposição de sedimentos em fração argila e silte. Essas regiões favoráveis ao crescimento dos oncóides da categoria 1, poderiam ser lagos efêmeros, formados na planície de inundação do corpo aquoso.

A categoria 2 pode ser indicativa de gênese em ambientes com deposição de sedimentos como areia, para permitir o crescimento de laminações nas bases. O posicionamento de eixo x, durante a gênese, possivelmente encontrava-se paralelo a direção de corrente. Os oncóides da categoria 2, estariam sujeitos a fluxos, muito lentos na maior parte do tempo. Essas características, assemelham-se as descrições de barras formadas em canais entrelaçados.

A gênese dos oncóides da categoria 3 possivelmente ocorreu em porções relativamente mais profundas do corpo aquoso, próximas ao talvegue, ou no próprio talvegue, com o material sujeito a um fluxo relativamente mais rápido que oncóides das categorias 1 e 2. O desenvolvimento deste tipo de oncóides se daria por sobre um substrato mais grosso, com sedimentos nas frações grânulos e seixos, e com posicionamento do eixo x (eixo de maior comprimento) possivelmente paralelo ao fluxo. Apesar de estarem em regiões mais profundas do corpo aquoso, estas ainda são rasas o suficiente para permitir a reflexão da luz e crescimento das laminações de base em tamanhos similares às do topo.

As laminações de tamanho similares nos oncóides da categoria 4, pode ser indicativo de uma gênese na porção mais profunda do canal (talvegue), em um substrato composto por sedimentos de frações mais grossas, como areias, seixos e grânulos. Este talvegue, ainda seria raso o suficiente para permitir a reflexão da luz, e possibilitar o crescimento das laminações com tamanho similar na base e topo. Esta categoria, poderia estar sujeita a rolamentos, contudo os rolamentos não são considerados fatores essenciais.

Na figura 6.1 estão representados os possíveis fatores ambientais influentes durante a gênese do material: profundidade e forma do corpo aquoso, luminosidade, possibilidade de reflexão da luz solar e granulação dos sedimentos.

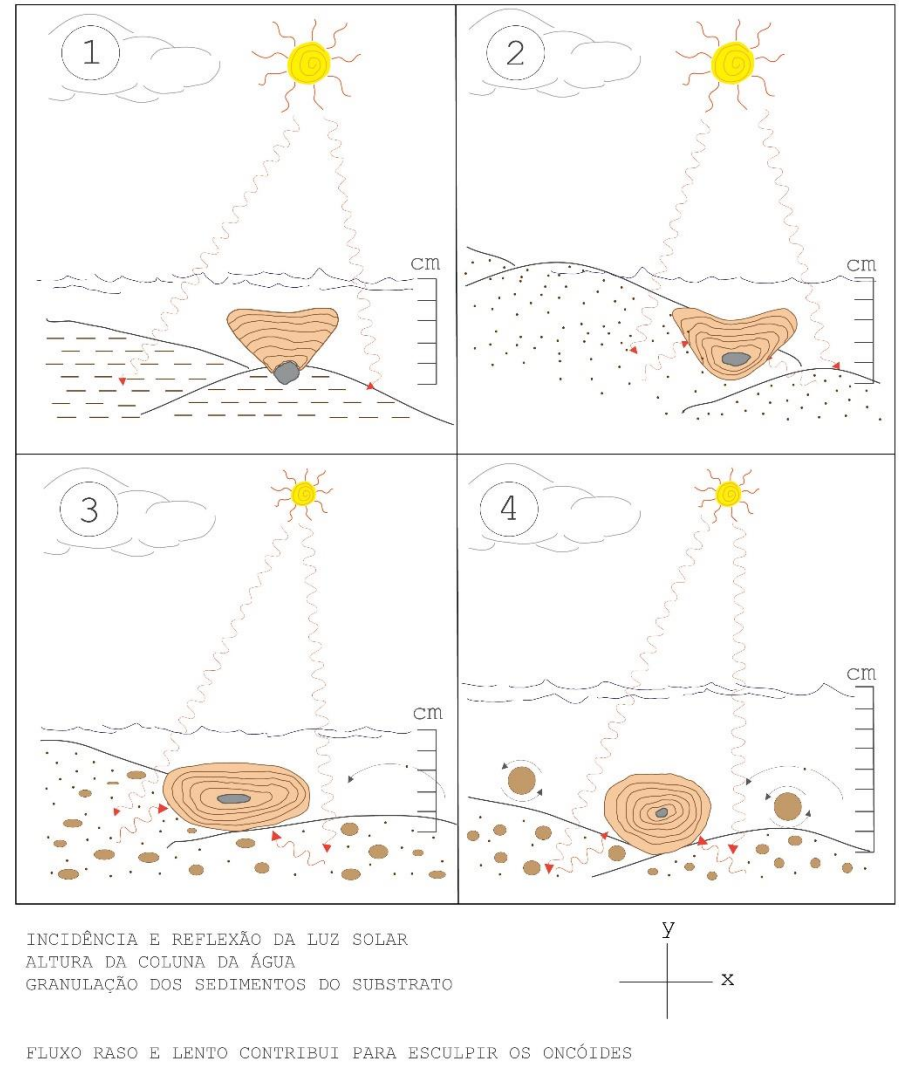
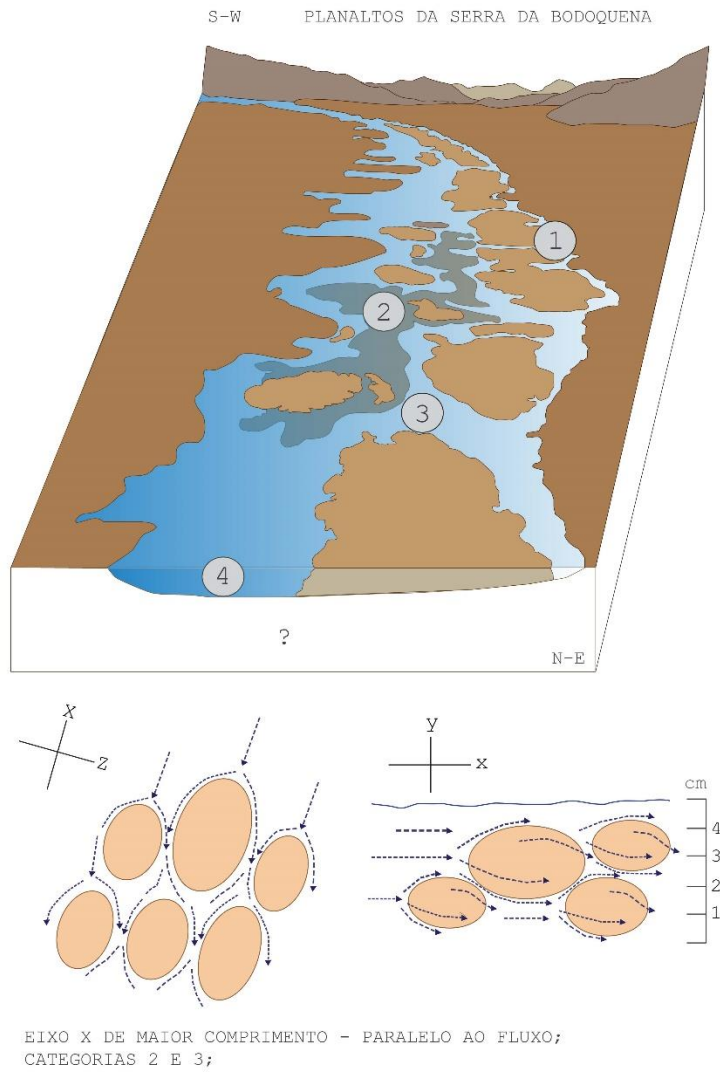


Figura 20: Interpretação dos fatores ambientais influentes durante a gênese dos oncóides, com destaque para cada categoria.

6.3 AÇÃO MICROBIANA

Observando as laminações presentes nos oncóides estudados, é possível notar estruturas que remetem a microrganismos do domínio *Bacteria* (Figura 18, Tabela 4).

As estruturas das laminações denominadas *Bacterial Shrub* podem ter se formado devido a ação de microrganismos pertencentes ao gênero *Rivularia*, família Rivulariaceae. Espécies de algas dessa família frequentemente crescem em rochas, madeira, plantas ou outras espécies de algas submersas. As espécies de *Rivularia* permanecem ligadas ao substrato, possuem heterocistos basais, e os tricomas permanecem envoltos por bainhas gelatinosas, que possibilita uma boa resistência para a colônia (Shalygin et al., 2018; Whitton, 2012).

A laminação *Framework*, definida pela estrutura maciça com presença de filamentos esparsos, aparenta ter sido formada em decorrência da atividade de cianobactérias cocóides, associadas a presença em menor proporção de cianobactérias do gênero *Calothrix*, pertencente à família Rivulariaceae.

Na laminação de porosidade *Fenestral* a identificação de estruturas reliquias é mais difícil, pois pode ter sido uma região habitada por microrganismos responsáveis pela erosão e degradação superficial do biofilme. É bem possível que diatomáceas possam ter habitado estas regiões. Na escala observada não foram detectados resquícios de diatomáceas, porém a dissolução das carapaças deve ser considerada, devido ao aumento do pH e conseqüente aumento do potencial de dissolução da sílica dentro desse micro ecossistema. É provável que os heterocistos basais das colônias de *Rivularia* tenham-se fixado nessas regiões.

A atual laminação *Fenestral* poderia ter agido como uma capa ao redor dos oncóides. E podem caracterizar uma parte da colônia que seria protetora para as camadas interiores, evitando o contato destas com o meio aquoso, ou apenas uma região de microrganismos que degradavam a superfície oncoidal.

Alguns oncóides apresentam aglomerados de estruturas filamentosas de cianobactérias incrustadas por carbonato de cálcio. Para estas regiões os gêneros *Phormidium* e *Nostoc*, pertencentes a família Nostocaceae, podem ser considerados potenciais formadores. Sendo comum uma associação com as Rivularias.

Os fatores ambientais que controlavam o desenvolvimento dessas biotas ainda não são claros. É possível que as laminações geradas pelos microrganismos degradadores tenha-se desenvolvido com auxílio de condições ambientais mais

favoráveis, como também é possível que laminações tanto das fácies de degradadores quanto das laminações *Framework* tenham se originado e habitado um mesmo ambiente com condições climáticas similares.

As cianobactérias das laminações *Bacterial Shrub* deixam algumas dúvidas, pois estas sim aparentam formar-se em condições climáticas razoavelmente diferentes das demais laminas. O desenvolvimento massivo das colônias que formaram as estruturas *Bacterial Shrub*, comumente estão associadas com o aumento das proporções de fragmentos calcários, e redução do aporte de sedimentos siliciclásticos e argilosos.

Tabela 4: SUMARIZAÇÃO DAS MICROESTRUTURAS INTERNAS DOS ONCÓIDES.

DOMÍNIO BACTERIA				
CLASSE	ORDEM	FAMÍLIAS	GÊNEROS	LAMINAÇÃO
CYANOPHYCEAE	NOSTOCALES	NOSTOCACEAE	<i>PHORMIDIUM</i>	<i>BACTERIAL SHRUB</i>
			<i>NOSTOC</i>	
		RIVULARIACEAE	<i>RIVULARIA</i>	
			<i>CALOTHRIX</i>	
CIANOBACTÉRIAS COCOIDAIS			FRAMEWORK	
PROTEOBACTÉRIAS				
DOMÍNIO EUCARYOTA				
CLASSE				LAMINAÇÃO
BACILLARIOPHYTA (DIATOMÁCEAS)				<i>FENESTRAL</i>

Observações: Interpretação baseada na observação de microestruturas.

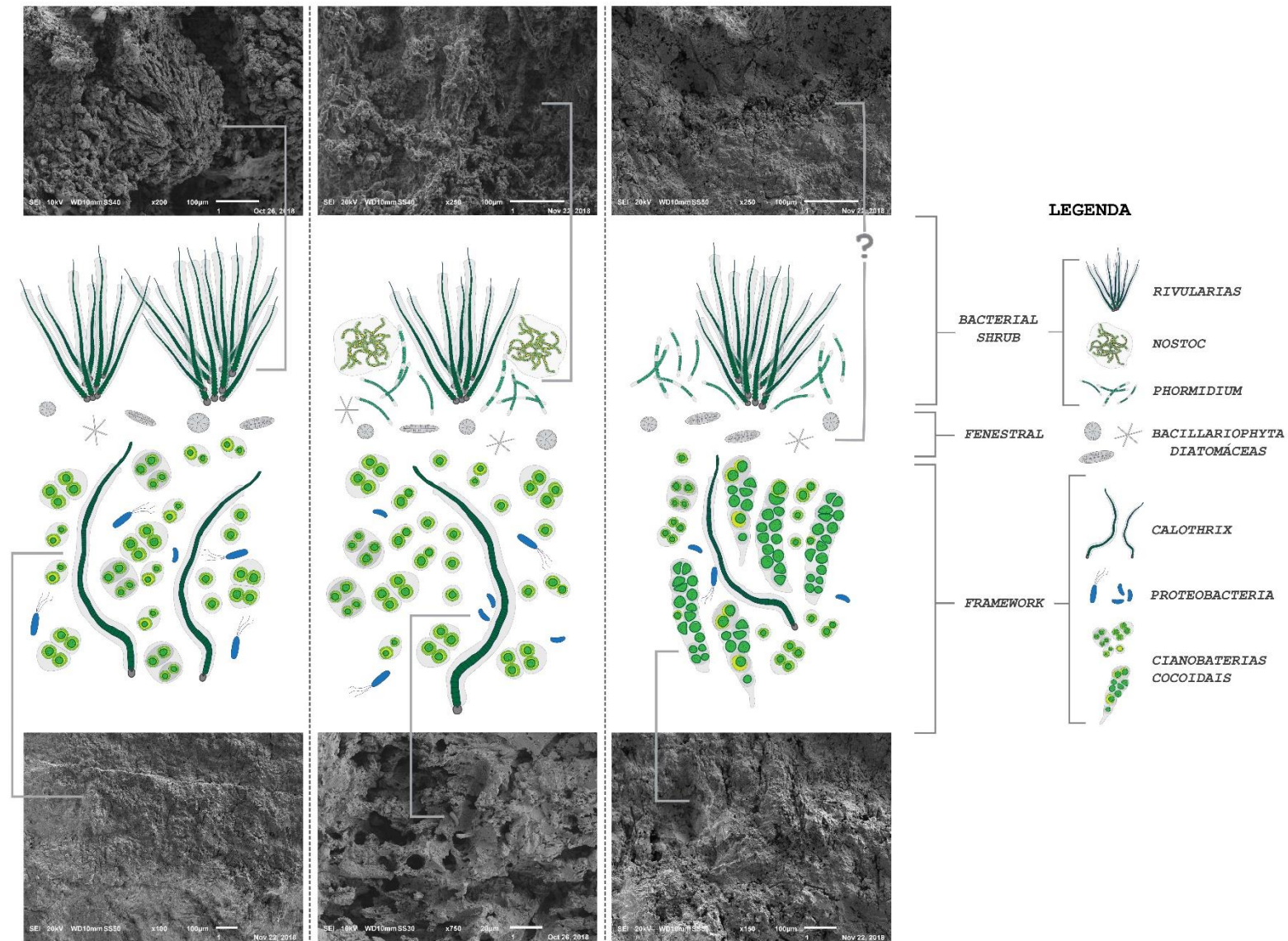


Figura 21: Interpretação das microestruturas internas dos oncóides, e possíveis microrganismos formadores.

6.4 A SÍLICA DOS NÚCLEOS

A presença de sílica amorfa em núcleos de oncóides com tamanhos maiores que 2 até 6 cm ocorre em maior proporção.

Uma das hipóteses pode ser explicada pelo início da nucleação em fragmentos siliciclásticos. Com o crescimento do oncóide e posteriores mudanças nas condições físico - químicas internas, o aumento da alcalinidade do meio resultaria na dissolução total ou parcial do núcleo inicialmente utilizado como substrato.

O aumento do pH ocorre, devido a retirada do CO₂ disponível no meio, pela fotossíntese das cianobactérias. Quanto maior o oncóide, maior o pH nas laminações mais internas, possibilitando a dissolução da sílica, concomitante a gênese dos oncóides.

Após uma dissolução concomitante ao crescimento, a sílica presente nas regiões internas poderia precipitar novamente ao final das atividades microbianas e redução do pH. Cabe ressaltar o evento de percolação de água acidulada, posterior a mudança de percurso do canal (Rio Formoso) e precipitação dos micritos do Membro Fazenda São Geraldo. Essa água acidulada poderia favorecer a nova precipitação de sílica, sem ter potencial para dissolução dos carbonatos.

Uma segunda hipótese, seria a da precipitação de sílica amorfa devido a processos digenéticos, contudo a ausência de sílica nas laminações, principalmente as mais externas, não corrobora com essa hipótese. Além disso, predominam sedimentos inconsolidados nos afloramentos, sendo poucas as camadas silicificadas.

Uma vez que as condições para dissolução da sílica tornem-se favoráveis, carapaças de algas da classe *Bacillariophyceae*, popularmente conhecidas como diatomáceas, estariam sujeitas a dissolução devido a sua fragilidade. Tal fato pode ser uma resposta para a ausência de diatomáceas nas laminações dos oncóides, tendo em vista a abundância atual dessas algas em águas e tufas calcárias da região.

6.5 CORRELAÇÕES ISOTÓPICAS

Com base na correlação dos resultados isotópicos obtidos para o material oncolítico e dados das Tufas calcárias dos Sítios Mimosa e Taíka estudados por (Oste, 2017), nota-se que não há variações significativas entre os padrões de isótopos de $\delta^{18}\text{O}$, para as águas meteóricas que correm pelo Rio Formoso

atualmente, com águas que correram por seus meandros durante o período da gênese dos oncóides.

Ambos os Sítios localizam-se nas proximidades do Rio Formoso. Os três rios pertencem ao mesmo sistema de drenagens que formam os depósitos Quaternários da Serra da Bodoquena. Apesar dos resultados de $\delta^{18}\text{O}$ não mostrarem variações, os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ mostram pequenas, porém significativas variações (Figura 20).

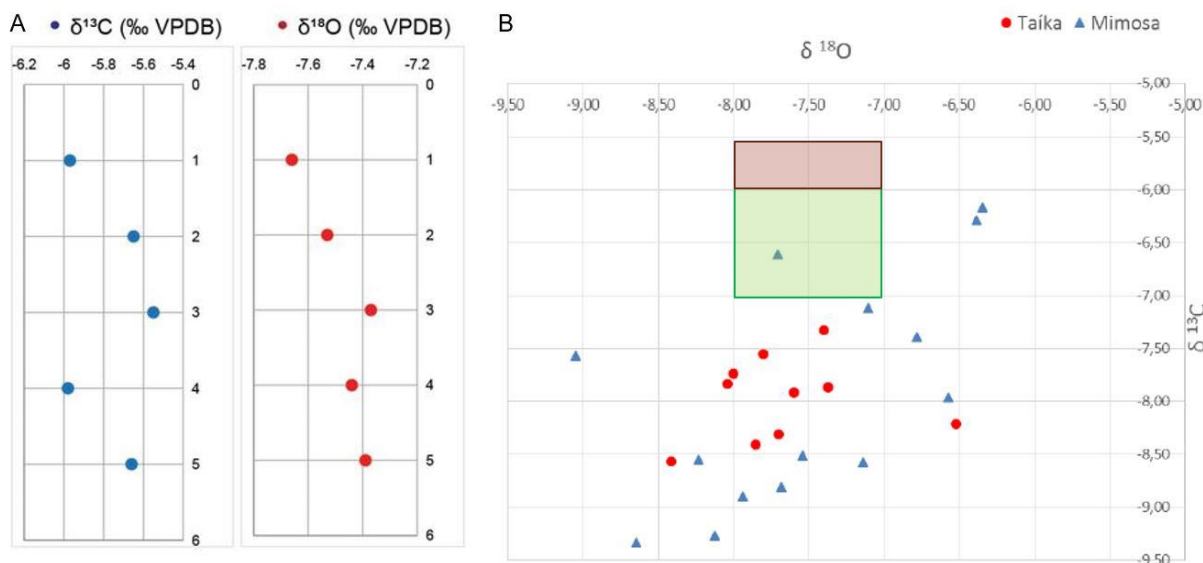


Figura 22: A. Dados isotópicos de oncóides, análises de ^{13}C e ^{18}O ‰ VPDB; B. Correlação dos resultados obtidos para oncóides (quadro em vermelho) e oncólitos (quadro em verde) com dados de Oste (2017), para tufas calcárias dos Sítios Taíka e Mimosa;

As análises de amostras de oncóides evidenciam a ação pura de cianobactérias de ambientes naturais. Quando observamos os resultados isotópicos dos oncólitos, a influência de plantas terrestres com ciclo de fotossíntese C4 torna-se evidente, bem como a influência de CO_2 atmosférico. Apesar disso, o material ainda encontra-se fora do intervalo de influência de CO_2 dissolvido, e principalmente está fora do range de atuação das algas eucarióticas.

Em correlação (Figura 21) com os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ das tufas calcárias estudadas por Oste (2017), nota-se maior influência do CO_2 dissolvido em relação ao CO_2 atmosférico, significativa influência de plantas macrófitas do ciclo C4, além da ação de cianobactérias naturais (*Domínio Bacteria*), bem como a ação de algas eucarióticas (*Domínio Eukaria*).

Atualmente, na região existe uma considerável abundância de algas do Domínio Eukaria, organismos representantes da Classe Charophyceae, que tem as

Characeae como única Família, estas são popularmente conhecidas como algas caráceas ou algas calcárias. Com base nos resultados é preciso levar em conta a quantidade reduzida ou ausente dessas algas eucarióticas (Caráceas) na região, durante o período de gênese do material oncolítico.

Apesar de não haver indicação da ação de algas eucarióticas nos sinais isotópicos, há tubos calcários dispersos pela matriz dos oncólitos encontrados nos topos dos afloramentos, que são resquícios da calcificação ao entorno de talos das algas carófitas (Characeae). A razão isotópica pode ser indicativa de que a calcificação ao entorno dos talos, foi ocasionada em associação com cianobactérias e não devido a ação direta das algas eucariontes.

A ausência de assinatura isotópica das algas eucariontes, também deve ser considerada no que diz respeito a hipótese de dissolução da sílica com o aumento dos tamanhos dos oncóides. Ocasionalmente ocasionando dissolução dos fragmentos de cristais de quartzo e possíveis carapaças de diatomáceas presentes no sistema.

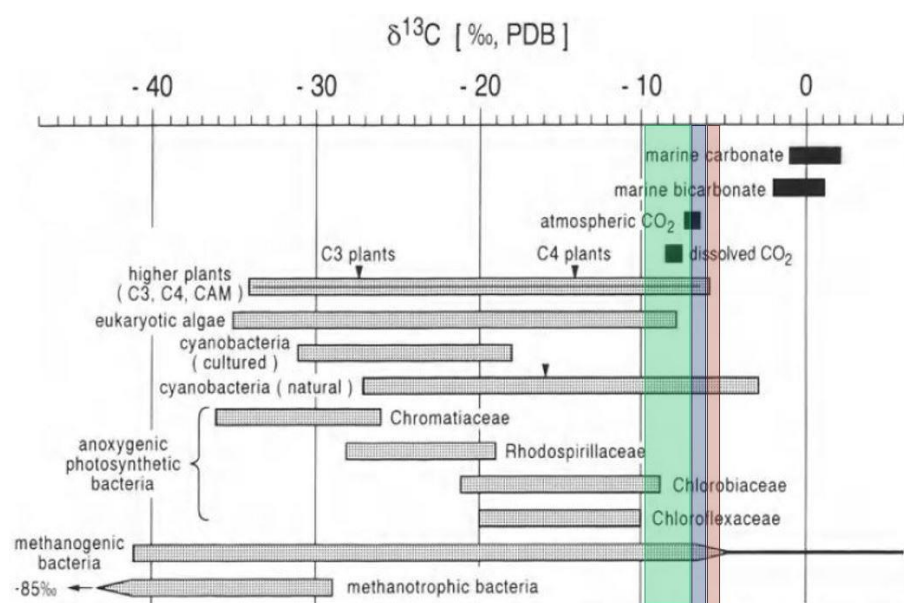


Figura 23: Padrões isotópicos esperados para o ^{13}C (Schidlowski, 2000), correlacionado aos resultados obtidos para oncóides faixa em vermelho, oncólitos faixa em azul, em verde os resultados de Oste (2017) para tufas calcárias.

7. CONCLUSÕES

De acordo com as formas dos oncóides, podemos classificá-los em quatro categorias, levando em conta fatores que influenciaram durante o crescimento. Considerando um crescimento predominantemente *in situ*, sem a necessidade de rolamentos constantes, o fator mais relevante consiste na granulação dos sedimentos presentes no substrato do corpo aquoso, pois é o que influencia na incidência de luz solar na base dos oncóides. Determinando se a taxa de crescimento das laminações de base será similar ao crescimento das laminações laterais e de topo.

As quatro categorias principais auxiliam a definir a morfologia do corpo aquoso. Após o final do Pleistoceno, durante o início Holoceno, os rios que hoje compõem os depósitos Quaternários de tufas calcárias da Formação Serra da Bodoquena haviam começado a se formar. A morfologia desse sistema de drenagens, deveria ser muito rasa, com a coluna da água em altura suficiente para recobrir os oncóides. Com possíveis barras arenosas nas regiões centrais, e deposição de argila na planície de inundação.

Para a maioria dos oncóides, o início dos ciclos de nucleação deu-se em fragmentos de cristais de quartzo, com tamanhos variáveis, sendo mais frequentes em torno de 1 mm. É provável que com o crescimento do oncóide e consequente aumento da alcalinidade, o micro ecossistema tornou-se um ambiente favorável à dissolução da sílica, com nova precipitação concomitante ou posterior ao encerramento das atividades da microbiota.

A ausência de sílica amorfa em núcleos bioclásticos, bem como em laminações mais distantes do centro oncoidal pode ser um fator a corroborar com tal hipótese. A ausência de diatomáceas na laminação fenestral pode ser explicada pela facilidade de dissolução das frústulas silicosas. Considerando a abundância de diatomáceas em tufas calcárias antigas e atuais, é pouco provável que não ocorressem diatomáceas durante o período de nucleação dos oncóides.

As laminações internas dos oncóides remetem a estruturas características de microrganismos pertencentes ao domínio Bacteria, mais especificamente as cianobactérias. O padrão maciço com estruturas filamentosas esparsas da laminação *Framework*, pode ser atribuída a cianobactérias cocóides em conjunto com cianobactérias filamentosas do *Gênero Calothrix*.

Na laminação *Fenestral* não há estruturas que possam remeter a possíveis microrganismos formadores. As evidências são o alto teor de carbono orgânico. Esta poderia ser uma microbiota que recobria a superfície oncoïdal, com o intuito de formar uma barreira entre as microbiotas das laminações *framework* e o meio aquoso, ou seriam apenas microrganismos biodegradadores.

O padrão radiado ou arborescente da laminação *Bacterial Shrub* pode ser atribuído, a cianobactérias do *Gênero Rivularia*. Estas teriam seus heterocistos basais afixados nas regiões que resultaram em porosidade fenestral. Juntamente com as *Rivularias*, poderia ocorrer o desenvolvimento de aglomerados de *Phormidium* e *Nostoc*. Estas resultaram em regiões com aglomerados de estruturas filamentosas desordenadas incrustadas por calcita.

As razões isotópicas observadas para o Oxigênio 18 dos carbonatos ($^{18}\text{O}\text{‰VPDB}$) sugerem um fluido formador meteórico de clima úmido, e não mostram variações significativas quando comparadas aos resultados obtidos para as tufas calcárias do membro Rio Formoso. Indicando a ausência de grandes mudanças climáticas entre o clima atual e o clima vigente durante a gênese dos oncóides e conglomerados oncolíticos.

A ação pura de cianobactérias naturais é evidenciada pela razão isotópica do Carbono 13 dos carbonatos ($^{13}\text{C}\text{‰VPDB}$), enquanto que os resultados obtidos para os conglomerados oncolíticos revelam influência de CO_2 atmosférico e plantas macrófitas. Apesar de não indicarem a ação de algas eucarióticas, a presença de talos calcificados de algas *Characeae* é bem comum nas *fácies* superiores dos conglomerados.

Os oncóides auxiliam a definir a morfologia de um sistema de drenagens em início de seu desenvolvimento, enquanto que os conglomerados oncolíticos mostram uma situação posterior. O sistema de drenagens estaria mais desenvolvido e com energia para transportar os oncóides e deposita-los formando os *rudstones* e *floatstones* com estratificações cruzadas acanaladas.

O canal atualmente com um padrão meandrante, percorre um novo curso, distante aproximadamente 1 km, da região onde formou os depósitos de conglomerados oncolíticos. Após o abandono do canal, ocorre uma intensa deposição de micritos, o material permanece inconsolidado devido a percolação de água acidulada. Na sequência a deposição de tufas calcárias forma o atual sistema de represamento e cachoeiras nos percursos atuais das drenagens.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boggiani, P.C., Coimbra, A.M., Gesicki, A.L.D., Sial, A.N., Ferreira, V.P., Ribeiro, F.B., Flexor, J.-M., 2002. Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, MS. Cachoeiras petrificadas ao longo dos rios, in: Schobbenhaus, C., Campos, D. de A., Queiroz, E.T. de., Manfredo, W., Berbert-Born, M. (Orgs.), Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil . Brasília, p. 249–259.
- Boggiani, P.C., Fairchild, T.R., Coimbra, A.M., 2018. O Grupo Corumbá (Neoproterozóico-Cambriano) na região central da Serra da Bodoquena (Faixa Paraguai), Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Geociências* 23, 301–305. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.1993233301305>
- Dahanayake, K., 1977. Classification of oncoids from the upper Jurassic carbonates of the French Jura. *Sedimentary Geology* 18, 337–353. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(77\)90058-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(77)90058-6)
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks, Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08726-8>
- Ford, T.D., Pedley, H.M., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews* 41, 117–175. [https://doi.org/10.1016/s0012-8252\(96\)00030-x](https://doi.org/10.1016/s0012-8252(96)00030-x)
- Hägele, D., 2006. *Morphogenese, Wachstum und Ökologie der modernen Süßwasser-Onkoide der Alz*.
- Hägele, D., Leinfelder, R., Grau, J., Burmeister, E.G., Struck, U., 2006. Oncoids from the river Alz (southern Germany): Tiny ecosystems in a phosphorus-limited environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 237, 378–395. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.12.016>
- Leinfelder, R.R., Hartkopf-Fröder, C., 1990. In situ accretion of concavo-convex lacustrine oncoids ('swallow nests') from the Oligocene of the Mainz Basin, Rhineland, FRG. *Sedimentology* 37, 287–301.
- Logan, B.W., Rezak, R., Ginsburg, R.N., 1964. *Classification and Environmental*

- Significance of Algal Stromatolites. *The Journal of Geology* 72, 68–83.
<https://doi.org/10.1086/626965>
- Oliveira, E.C. de, 2009. Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena, MS. Tufas Calcáreas da Serra da Bodoquena. Universidade de São Paulo.
- Oliveira, E.C. de, Rossetti, D.F., Utida, G., 2017. Paleoenvironmental evolution of continental carbonates in West-Central Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 89, 407–429. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160584>
- Oste, J., 2017. Caracterização geoquímica dos depósitos tipo Tufa do Quaternário da Formação Serra da Bodoquena, Membro Rio Formoso-MS. Universidade Federal do Paraná.
- Pedley, H.M., 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology* 68, 143–154. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(90\)90124-C](https://doi.org/10.1016/0037-0738(90)90124-C)
- Riding, R., 1975. Girvanella and other algae as depth indicators. *Lethaia* 8, 173–179. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1975.tb01310.x>
- Riding, R.E., Awramik, S.M., 2000. Robert E. Riding and Stanley M. Awramik (Eds.) *Microbial Sediments*. New York. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04036-2>
- Sallun Filho, W., Karmann, I., Boggiani, P.C., Petri, S., De Souza Cristalli, P., Utida, G., 2009a. A deposição de tufas quaternárias no estado de Mato Grosso do Sul: Proposta de definição da Formação Serra da Bodoquena. *Geologia USP - Serie Científica* 9, 47–60.
- Sallun Filho, W., Karmann, I., Sallun, A.E.M., Suguio, K., 2009b. Quaternary tufa in the Serra da Bodoquena Karst, West-Central Brazil: Evidence of wet period. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 6, 072055. <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/7/072055>
- Schidlowski, M., 2000. Carbon Isotopes and Microbial Sediments, in: *Microbial Sediments*. p. 84–95.
- Shalygin, S., Pietrasiak, N., Gomez, F., Mlewski, C., Gerard, E., Johansen, J.R.,

2018. *Rivularia halophila* sp. nov. (Nostocales, Cyanobacteria): the first species of *Rivularia* described with the modern polyphasic approach. *European Journal of Phycology* 53, 537–548. <https://doi.org/10.1080/09670262.2018.1479887>

Sial, A.N., Gaucher, C., Misi, A., Boggiani, P.C., Alvarenga, C.J.S. de, Ferreira, V.P., Pimentel, M.M., Pedreira, J.A., Warren, L.V., Fernández-Ramírez, R., Geraldés, M., Pereira, N.S., Chiglino, L., Cezario, W. dos S., 2016. Correlations of some Neoproterozoic carbonate-dominated successions in South America based on high-resolution chemostratigraphy. *Brazilian Journal of Geology* 46. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160079>

Terra, G.J.S., Spadini, A.R., França, A.B., Sombra, C.L., Zambonato, E.E., Juschaks, L.C. da, Silva, Arenti, L.M., Erthal, M.M., 2010. Classificação de rochas carbonáticas.

Utida, G., 2009. Fósseis em micritos Quaternários da Serra da Bodoquena, Bonito-MS e sua aplicação em estudos paleoambientais. Universidade de São Paulo.

Utida, G., Oliveira, E.C., Tucker, M., Petri, S., Boggiani, P.C., 2017. Palaeoenvironmental interpretations based on molluscs from mid-Holocene lacustrine limestones, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Quaternary International* 437. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.11.007>

Whitton, B.A., 2012. Ecology of cyanobacteria II: Their diversity in space and time, *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-3855-3>

