



Universidade de Brasília – UnB

Instituto de Geociências – IG

Programa de Pós-graduação em Geociências

**Caracterização das ocorrências de microbialitos na Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí, Estado de MG e suas implicações paleobiológicas e sedimentológicas.**

**Daniel Martins dos Santos**

Dissertação de mestrado n. 403

Brasília, março de 2018



Universidade de Brasília – UnB

Instituto de Geociências – IG

Programa de Pós-graduação em Geociências

**Caracterização das ocorrências de microbialitos na Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí, do Estado de MG e suas implicações paleobiológicas e sedimentológicas.**

**Daniel Martins dos Santos**

Dissertação de mestrado n. 403

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Miloni Santucci

Coorientadora: Prof. Dra. Evelyn Aparecida  
Mecenero Sanchez Bizan (UFVJM)

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia, na área de concentração em Geologia Regional.

Brasília, março de 2018

**Banca examinadora**

---

**Prof. Dr. Rodrigo Miloni Santucci (UnB)**

---

**Prof. Dra. Lucieth Cruz Vieira (UnB)**

---

**Prof. Dr. Thomas Rich Fairchild (USP)**

**Dissertação apresentada na forma de artigo científico conforme Art. 35 do Regimento da Pós-graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edgar e Eloisa, e a minha irmã, Bruna, por terem me apoiado nesse sonho de criança que é me tornar paleontólogo. O suporte e o afeto que me proporcionaram é incomensurável. Espero que, finalmente, eu possa retornar um pouco do imenso esforço que me foi agraciado.

À minha esposa, Raiane, que é a pessoa mais corajosa, competente e forte que conheço, por todo o seu carinho e por todas as suas palavras encorajadoras. Tenha certeza que tenho como inspiração toda a sua garra e determinação diárias e que nelas encontro conforto.

Aos meus orientadores, Dr. Rodrigo Santucci e Dra. Evelyn Sanchez, por terem me acolhido em um momento difícil, por terem sido o meu norte nesses últimos anos e por serem meus modelos de pensamento científico e ética profissional.

Aos professores Dr. Eloi Campos e Dr. Ricardo Lourenço, por terem me ajudado e apoiado minha vontade de realizar este projeto, e ao Dr. Humberto, da UFOP, por ter me auxiliado durante a realização do trabalho de campo.

A todos os meus familiares e amigos próximos que, de alguma forma, me ajudaram e me apoiaram durante o período de realização desse mestrado.

À CAPES, pelo apoio financeiro, crucial para a conclusão do projeto.

Por fim, agradeço ao meu tio André Luiz, que nos deixou recentemente, mas cuja a vida foi um exemplo de como tudo por ser levado com leveza e bom humor.

*“Animals might be evolution’s icing, but bacteria are really the cake.”*

Andrew Knoll, *How Did Life Begin?*

*“Look at life from our perspective, and you eukaryotes will soon cease giving yourselves such airs. You bipedal apes, you stump-tailed tree-shrews, you desiccated lobe-fins, you vertebrated worms, you Hoxed-up sponges, you newcomers on the block, you eukaryotes, you barely distinguishable congregations of a monotonously narrow parish, you are little more than fancy froth on the surface of bacterial life. Why, the very cells that build you are themselves colonies of bacteria, replaying the same old tricks we bacteria discovered a billion years ago. We were here before you arrived, and we shall be here after you are gone.”*

Richard Dawkins, *The Ancestor’s Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Evolution.*

**RESUMO**

Cataloga-se aqui, pela primeira vez, os afloramentos desta formação que contém ocorrências estromatolíticas e descreve-se as morfologias encontradas. Uma vasta variedade de formas foi encontrada, incluindo formas dômicas, colunares, colunar-laminadas e estratiformes. Diferentemente da Formação Sete Lagoas, que possui inúmeros trabalhos que descrevem uma substancial variedade de formas microbialíticas, o potencial fossilífero da Formação Lagoa do Jacaré ainda permanece inexplorado. Descrições petrográficas também foram realizadas de modo a complementar esforços similares na macroescala, permitindo possíveis interpretações a respeito de seus respectivos paleoambientes. Por fim, a presença de microfósseis semelhantes a calciesferas também é reportada.

**Palavras-chave:** microbialitos, estromatólitos, Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí.

**ABSTRACT**

Here we catalog, for the first time, the known stromatolite-containing localities and morphologies found in outcrops previously attributed, by past mapping efforts, to the Lagoa do Jacaré Formation, Bambuí Group. Unlike the Sete Lagoas Formation, which has already provided several works describing its substantial variety of microbialitic forms and microfossils, the fossiliferous potential of the Lagoa do Jacaré Formation has not been properly assessed. Surprisingly, a relatively diverse variety of forms was found, including domal, various columnar, laminites and columnar-layered stromatolites. Morphological and petrographical descriptions were made and six microfabrics were unveiled, shedding light into the environmental conditions likely to have been involved in their formation. It is also reported the presence of a group of microfossils closely resembling calcispheres.

**Keywords:** microbialites, stromatolites, Lagoa do Jacaré Formation, Bambuí Group.

## SUMÁRIO



1. Apresentação.....	10
Capítulo 1 – Introdução.....	11
1.1 Definindo Microbialitos e Estromatólitos.....	12
1.2 A evolução dos microbialitos ao longo do tempo geológico e o surgimento dos metazoários.....	15
1.3 Contexto da geologia regional e as ocorrências de microbialitos na Formação Lagoa do Jacaré.....	18
2. Objetivos.....	21
3. Materiais e Métodos.....	22
4. Referências bibliográficas.....	23
Capítulo 2 –Abstract.....	26
1. Introduction.....	27
2. Materials and Methods.....	28
3. Results.....	29
4. Discussion.....	35
5. Conclusions.....	40
6. References.....	42
7. Images and respective legends.....	50
8. Tables and respective legends.....	60

## **1. Apresentação**

A dissertação a seguir é apresentada no formato de artigo científico, conforme o Art. 35 do Regulamento do Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Aqui são apresentadas as características morfológicas e petrográficas de novas ocorrências de estromatólitos encontrados em afloramentos atribuídos a Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí. Tais microbialitos foram identificados e coletados em quatro diferentes localidades do Estado de Minas Gerais, duas delas na região norte, próximas aos municípios de Jaíba-MG e São João da Ponte-MG, e duas na porção sul, nos arredores de Luz-MG e Bom Despacho-MG.

O presente volume é composto por dois capítulos. O capítulo 1 reúne uma breve revisão bibliográfica, discutindo a definição de estromatólitos e microbialitos, sua evolução ao longo do tempo geológico, o contexto da geologia regional da Formação Lagoa do Jacaré, além de relatar os materiais e métodos utilizados e os objetivos do projeto.

O capítulo 2, que contém o artigo propriamente dito, escrito na língua inglesa, seguindo padrões das revistas internacionais, contém resumo, introdução, materiais e métodos, resultados, discussão, conclusões e referências bibliográficas. Os resultados começam com a apresentação e descrição das diferentes formas estromatolíticas encontradas na escala macroscópica e segue para a identificação de suas diferentes texturas no nível microscópico. Os resultados apresentados também incluem a identificação dos morfotipos de possíveis calciesferas encontradas nas lâminas delgadas.

## **Capítulo 1**

## 1. Introdução

A paleobiota do Pré-Cambriano ainda continua muito pouco conhecida na literatura, muito devido ao fato da paleobiologia ser uma ciência relativamente nova, mas também por fatores inerentes ao registro e as características dos organismos presentes nesse intervalo de tempo. Sequências pré-cambrianas bem preservadas são raras, e os organismos que estavam presentes nesses paleoecossistemas ainda não possuíam capacidade de biomineralizar, o que dificultava sua preservação no registro fóssil. Os metazoários surgem no registro geológico durante o Período Ediacarano, ao final do Neoproterozoico, e é de crucial importância para a compreensão da história da vida no planeta Terra que novas sequências desta idade e outras já previamente conhecidas, como o Grupo Bambuí, sejam detalhadamente estudadas para buscar evidências que informem melhor sobre a evolução dos metazoários em ambientes onde já havia a presença de comunidades microbianas bem estabelecidas, presentes na superfície do planeta desde o início do Arqueano (Rosling 1999; Ohtomo *et al.*, 2013).

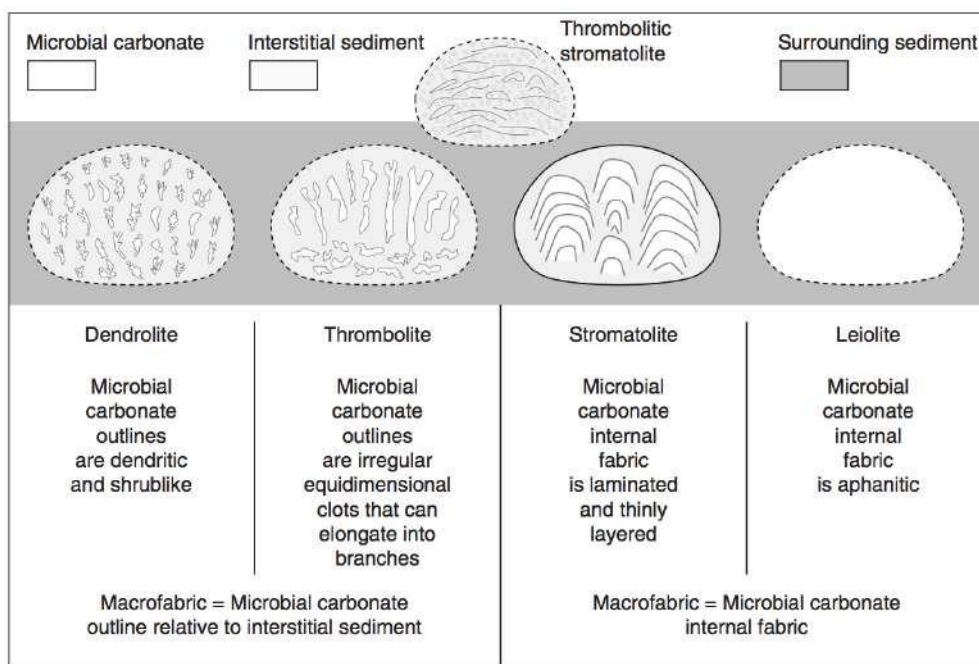
No Brasil, relatos da ocorrência de microbialitos na Formação Lagoa do Jacaré, unidade intermediária do Grupo Bambuí, são raros e pouco detalhados, podendo apresentar potencial de preservação de metazoários, e, logo, merecem atenção, uma vez que podem contribuir tanto para o entendimento da paleobiologia e dos processos de deposição do Grupo Bambuí, considerado uma das mais importantes coberturas sedimentares neoproterozoicas do Brasil, como também para a evolução concomitante desses dois grupos fósseis, metazoários e comunidades microbianas.

Neste capítulo são apresentados os objetivos, materiais, métodos, referências e perguntas científicas que buscaram ser respondidas no presente trabalho de mestrado. Ao fim, pretende-se ter um entendimento mais profundo a respeito dos estromatólitos da Formação Lagoa do Jacaré, a biologia das esteiras microbianas que os formaram, seus parâmetros paleoambientais, assim como os regimes deposicionais envolvidos.

### 1.1 Definindo Microbialitos e Estromatólitos

Estromatólitos são o grupo fóssil mais comumente encontrado em rochas pré-cambrianas no Brasil e no mundo (Fairchild & Sanchez, 2015). No entanto, fazem parte de uma categoria mais abrangente do registro fóssil: os chamados microbialitos. Estas estruturas marcam a interação entre processos físicos, químicos e biológicos, onde comunidades microbianas bentônicas interagem com o meio, de modo a induzir a precipitação de sedimentos de natureza carbonática, ou ainda incorporar sedimentos detríticos nas esteiras (Burne & Moore, 1987).

Apesar de serem alvo de intenso debate, algumas definições têm tido uma adoção mais expressiva na comunidade científica, como por exemplo, a definição utilizada no trabalho de Burne & Moore (1987), que os delimitam como " depósitos organossedimentares que foram acrescidos como resultado da incorporação de partículas detríticas e/ou precipitação mineral local induzida por comunidades microbianas bentônicas ". Awramik & Margulis (1974) os caracterizam como, essencialmente, "acúmulos de minerais carbonáticos como aragonita, calcita e dolomita, localizados/restritos por esteiras microbianas compostas de *Bacteria*, *Archaea*, *Algae* e *Fungi* ". Riding (2000, 2008, 2011) procurou uma separação mais detalhada desses registros, propondo que as diferenças entre as macrotramas podem ser utilizadas para reconhecer quatro categorias principais de microbialitos: os estromatólitos, estruturas internamente laminadas, os trombolitos, com tramas coaguladas, os dentrolitos, que são dendríticos e os leiolitos afaníticos (**figura 1**).



**Figura 1. Classificação de microbialitos com base em suas macrotramas, da direita para a esquerda: Leiolitos (afaníticos), Estromatólitos (internamente laminados), Trombolitos (textura coagulada) e Dendrolitos (textura dendrítica). Exemplos mostram domos e sedimentos associados, porém o contorno externo pode incluir formas colunares, plano-paralelas e massas irregulares. Os desenhos acima estão fora de escala. Todas essas categorias podem se intercalar e transicionar de uma para outra. Imagem adaptada e extraída de Riding (2011).**

Assim como mencionado anteriormente, a definição de microbialito tem sido alvo de intenso debate pela comunidade científica, que se divide em diferentes escolas de estudo de estromatólitos e microbialitos em geral, sendo as escolas russa, australiana e americana as mais tradicionais, todas adotando uma definição distinta que tenta definí-los com base em sua gênese e/ou os caracterizando de maneira puramente descritiva. A principal diferença entre as escolas está em qual componente genético tem a maior contribuição para a formação dos microbialitos, ou seja, biota *vs.* ambiente. Tais diferenças entre as escolas refletem também discrepâncias nas aplicações de estromatólitos e microbialitos em estudos geológicos e paleobiológicos, como por exemplo, a escola russa, que amplamente utilizou-se de estromatólitos para correlações

estratigráficas, enquanto outras escolas, como a americana, se limitavam a reconstruções paleoambientais.

Knoll & Grotzinger (1999), da escola americana, apontam que presumir de imediato um forte componente biológico mesmo com a ausência de fósseis pode retardar uma descrição mais profunda, negligenciando uma atenção aos detalhes importantes, preferindo assim, adotar a definição de Semikhatov *et al.* (1979), expoente da escola russa, como "estruturas sedimentares de crescimento, laminadas e litificadas, acrescidas a partir de um ponto, ou superfície limitada de iniciação ". É importante ressaltar que Knoll & Grotzinger (1999) não questionaram o papel biológico na construção dos estromatólitos, somente apontaram que os graus de influência de processos químicos, físicos e biológicos são distintos para cada ocorrência e, portanto, devem ser analisados antes de se definir um modelo genético. Neste trabalho será adotada a definição sugerida por Burne & Moore (1987), e cada ocorrência será individualmente analisada, na tentativa de inferir quais foram os principais fatores genéticos que mais influenciaram sua formação, sejam eles a precipitação microbiana *in situ* de sedimentos carbonáticos, o trapeamento e cimentação de aloquímicos e outros grãos pelas esteiras microbianas ou a pura precipitação físico-química de minerais (**figura 2**). Pretende-se analisar a composição, textura, estrutura e conteúdo fossilífero de cada estromatólito antes de definir a contribuição de cada fator para a gênese das mesmas.

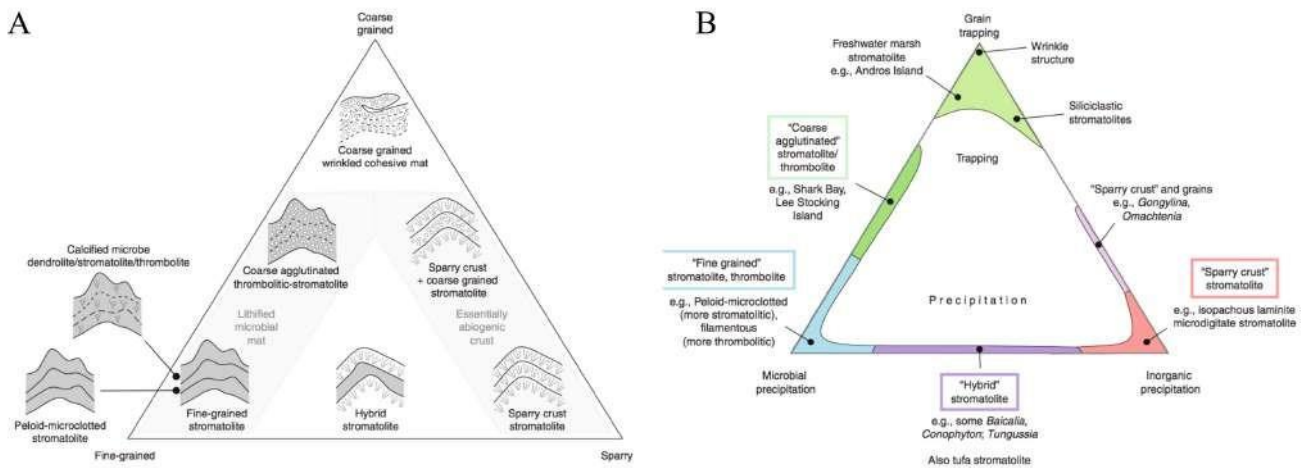


Figura 2. A) - Diagrama ternário que procura separar estromatólitos e trombolitos com base em suas microtramas. Estas podem ser 'fine-grained', ou microtramas de granulometria fina, essencialmente micríticas ou microesparíticas, no vértice esquerdo inferior, esparíticas, ao lado direito, e de granulometria grossa no topo (texturas aglutinadas). B) – Diagrama equivalente ao anterior, porém ressaltando parâmetros genéticos de formação das microtramas, podendo ser principalmente formadas por precipitação mineral microbiana, puramente precipitação inorgânica ou físico-química ou trapeamento e cimentação de grãos que se depositam sob as esteiras microbianas. Perceba que o polo superior e inferior esquerdo sugerem um forte componente biológico na gênese desses microbialitos. Diagrama primeiramente desenvolvido por Riding (1977) e aperfeiçoado em trabalhos posteriores como Riding (2008).

## 1.2 A evolução dos microbialitos ao longo do tempo geológico e o surgimento dos metazoários

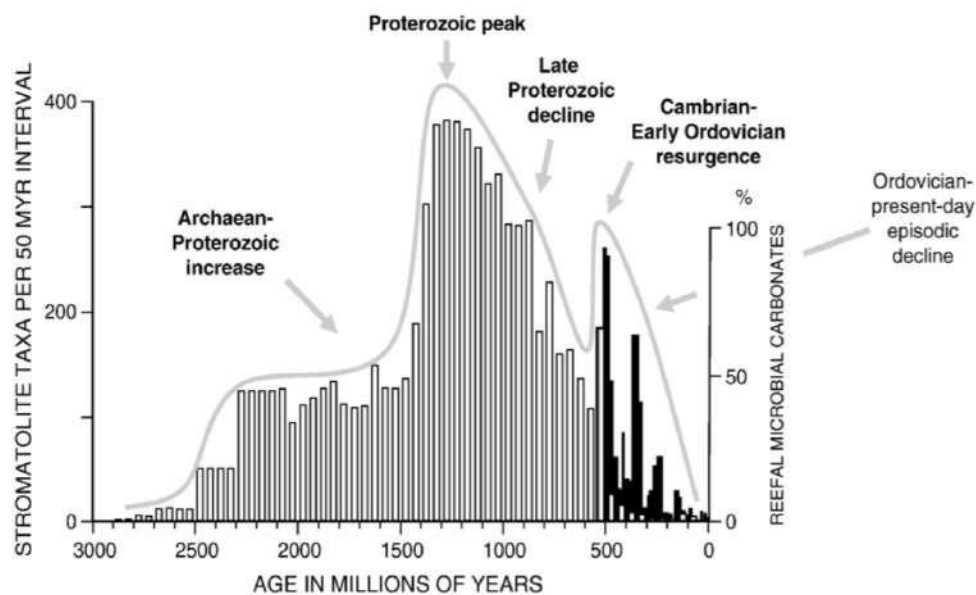
As evidências mais antigas de vida na Terra, apesar de certa controvérsia, possuem cerca de 3.7 Ga e consistem de análises da razão isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  em grafitas de origem biogênica em folhelhos, xistos, e inclusões em apatita do cinturão supracrustal de Isua, porção oeste da Groelândia (Ohtomo *et al.*, 2013). Estromatólitos, os mais antigos fósseis *bona fide*, têm seu registro mais pretérito em 3.48 Ga, na região de Pilbara, oeste da Austrália (Alwood *et al.*, 2006; Noffke *et al.*, 2013). Tal registro é significativo ao longo de todo o Arqueano, aumentando em diversidade e quantidade, culminando no intervalo acme dos estromatólitos, no Éon Proterozóico, que, assim como defendido por Riding (2000), ocorreu do final do Mesoproterozoico ao início do Neoproterozoico. Awramik (1971) observou que ao fim do

Neoproterozoico os estromatólitos sofrem um expressivo declínio em diversidade de formas, culminando no Ediacarano, quando sua variedade caiu em 90%. Grotzinger (1990) também notou um declínio na diversidade, abundância e também na densidade de estruturas estromatolíticas nos estratos do final no Neoproterozoico.

Duas hipóteses foram atribuídas ao declínio dos microbialitos, uma de natureza paleobiológica, outra de natureza geoquímica. De acordo com Awramik (1971), o declínio estaria relacionado ao surgimento dos metazoários nesses ecossistemas, a partir do Ediacarano tardio. Já a segunda hipótese foi levantada por Grotzinger (1990), e reforçada por Knoll & Grotzinger (1999), e postula que mudanças na concentração de íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Ca}^{+2}$  na água oceânica teriam afetado a capacidade de precipitação de carbonato de cálcio das comunidades microbianas.

Apesar de reconhecer amplamente o declínio das ocorrências de estromatólitos, os dados produzidos por Riding (2006) levantam um ceticismo em relação à hipótese proposta por Awramik (1971) que, como mencionado acima, propõe que os estromatólitos foram afetados negativamente pelo surgimento dos metazoários, seja por competição pelo uso do substrato, seja por predação. Na figura ao lado (**figura 3**), podemos ver uma compilação de dados de diversidade de formas de estromatólitos e abundância de carbonatos microbianos de recife. Os estromatólitos apresentam um padrão geral de declínio, com algumas ressurgências localizadas. Porém, essas flutuações não coincidem com respostas opostas na diversidade de metazoários. Um exemplo seria a transição Cambriano-Ordoviciano que, apesar de marcar uma importante radiação de espécies para os metazoários, também registra aumento de abundância de estromatólitos, sugerindo, assim, que uma variedade de fatores ainda não apreciada esteve atuando para gerar o declínio observado (Riding, 2006).





**Figura 3.** Junção dos dados de diversidade de formas de estromatólitos (colunas brancas, Awramik & Sprinkle, 1999) e abundância de carbonatos microbianos de recife (colunas pretas, Kiessling, 2002). O gráfico foi obtido com a união dos dados referentes ao Cambriano das duas publicações. Extraído de Riding (2006).

O Grupo Bambuí apresenta uma vasta sequência psamo-pelítica-carbonatada neoproterozoica com diversas ocorrências de estromatólitos, principalmente nos carbonatos da Formação Sete Lagoas, e breves relatos na Formação Lagoa do Jacaré. No entanto, nenhum registro de metazoários tinha sido feito até recentemente, porém, com a publicação de Warren *et al.* (2014), foi reportada a descoberta de um fóssil guia Ediacarano, *Cloudina sp.*, também associado a outros somatofósseis e icnofósseis de metazoários como *Corumbella weneri* na Formação Sete Lagoas, no município de Januária, extremo norte do estado de Minas Gerais. Tal descoberta despertou a possibilidade de que fósseis de metazoários também possam ser encontrados na Formação Lagoa do Jacaré, uma vez que esta é posterior temporalmente a Formação Sete Lagoas e também apresenta extensas porções carbonáticas, com calcarenitos e calciluditos estromatolíticos. A descoberta de metazoários na Formação Sete Lagoas alçou o Grupo Bambuí a níveis de importância global, gerando importantes implicações para o

entendimento do surgimento e evolução dos primeiros metazoários, além de complementar o conhecimento a respeito da paleobiota e paleoambiente das bacias neoproterozoicas mundiais.

### **1.3 Contexto da geologia regional e as ocorrências de microbialitos na Formação Lagoa do Jacaré**

Assim como mencionado anteriormente, o Grupo Bambuí é uma extensa sequência psamo-pelítica-carbonatada, relativamente bem estudada, que aflora na porção centro-leste do Brasil. A estratigrafia desta importante sequência foi originalmente definida por Costa & Branco (1961), e depois aprimorada por Dardenne (1978), possuindo de 700 a 1000 metros de espessura e consistindo de calcários e dolomitos da Formação Sete Lagoas na sua base, seguidos de folhelhos e siltitos da Formação Serra de Santa Helena, progredindo para margas, siltitos, calcários e arenitos da Formação Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias (Misi *et al.*, 2007 *in* Warren *et al* 2014). Recentemente, foi possível a individualização de novas formações dentro do Grupo Bambuí, fruto do trabalho de grupos de pesquisa de Minas Gerais, sendo elas a Formação Lagoa Formosa, Formação Carrancas e Formação Gorutuba (Kuchenbecker *et al.*, 2016).

O Grupo Bambuí faz parte do contexto colisional do ciclo Brasileiro, integrando a zona externa da Faixa de Dobramentos Brasília (FDB) e, segundo Pimentel *et al.* (2011), a sequência é interpretada como tendo sido depositada em uma bacia do tipo *foreland*, associada ao ciclo orogênico envolvendo o Cráton São Francisco e a intensa deformação associada ao mesmo. Três unidades glaciogênicas, a Formação Jequitáí, o Grupo Macaúbas e o conglomerado Carrancas são sotopostas ao Grupo Bambuí. Assim como demonstrado por Vieira *et al.* (2007), a porção mais basal da Formação Sete Lagoas pode ser compreendida como um megaciclo de deposição plataformal profunda, que possui valores de  $\delta^{13}\text{C}$  negativos (-4.5‰), definindo-se então como uma ocorrência de *cap carbonate* e progredindo para outro megaciclo, dessa vez

caracterizado por valores de  $\delta^{13}\text{C}$  muito positivos, alcançando até +14‰. Tais assinaturas isotópicas, em união com dados geocronológicos, viabilizam a correlação dessa sequência com outras em regiões distintas no mundo, tal como Austrália, Namíbia e Canadá, permitindo inferir que a Formação Sete Lagoas, e, ao menos a base do Grupo Bambuí, enquadra-se no Ediacarano final.

A Formação Lagoa do Jacaré, alvo de estudo da dissertação, consiste de calcarenitos oolíticos e intraclásticos, cinza escuros, por vezes fétidos, além de calciluditos, margas e siltitos. Historicamente, ocorrências de estruturas estromatolíticas não eram citadas nessa formação. Porém, publicações e dissertações mais recentes têm registrado um volume cada vez maior de microbialitos, sobretudo estromatólitos, de formas distintas, na Formação Lagoa do Jacaré, tanto a sul quanto a norte do Estado de Minas Gerais. A seguir, está uma tabela com uma breve compilação das publicações que registram a presença de microbialitos na formação, o tipo de publicação, município e coordenadas UTM dos afloramentos (**tabela 1**).

Autores e data de publicação	Natureza da publicação	Coordenadas dos Afloramentos	Município mais próximo
Fragoso <i>et al.</i> (2011)	Dissertação de mestrado e artigo	0375372.424327E 7993147.873807N  0374718.397209E 7994018.350106N  0374784.840317E 7993986.257062N  0375430.024331E 7993944.000066N  0377657.996385E 7988595.321898N  0376921.891102E 7989851.017791N	Presidente Olegário (MG)
Cunha (2012)	Dissertação de mestrado	0604011E 8070653N	Engenheiro Navarro (MG)
Inglesias (2007) & Inglesias e Uhlein (2009)	Tese de Mestrado e artigo	0604887E 8244951N	São João da Ponte (MG)

Kuchenbecker e Pedrosa-Soares (2013) & Evelyn Sanchez (2014)	Artigo referente ao mapeamento da Folha Luz (SE23YDV) e Dissertação de Doutorado	0574278.21E 7846525.23N	Luz (MG)
Costa (2011)	Dissertação de Mestrado	0640427E 8298887N	Jaíba (MG)

**Tabela 1. Compilação de publicações na bibliografia que registram estromatólitos na Formação Lagoa do Jacaré, com suas respectivas coordenadas.**

Além dos trabalhos já citados acima, é relevante mencionar, também, as publicações de folhas e cartas de mapeamento, como Seer & Moraes (2011) e Ribeiro *et al.* (2009), referentes as Folhas Campos Altos-MG e Bom Despacho-MG, respectivamente. Ambos citam estruturas estromatolíticas na Formação Lagoa do Jacaré. Fragoso *et al.* (2011) foram pioneiros ao incluir estromatólitos em suas descrições de afloramentos da Formação Lagoa do Jacaré, posicionando-os estratigraficamente no empilhamento da região para a Folha Presidente Olegário (**figura 4**). Inglesias (2007) e Inglesias e Uhlein (2009) mencionam possíveis estruturas estromatolíticas colunares na Formação Lagoa do Jacaré no município de São João da Ponte e Kuchenbecker & Pedrosa-Soares (2010), juntamente com Sanchez (2014), registram calcarenitos com construções colunares na região de Luz (MG). A Dissertação de Mestrado de Costa (2011) cita bioermas formadas por estromatólitos colunares próximo ao município de Jaíba e também foi de imensa importância para a realização do atual projeto.

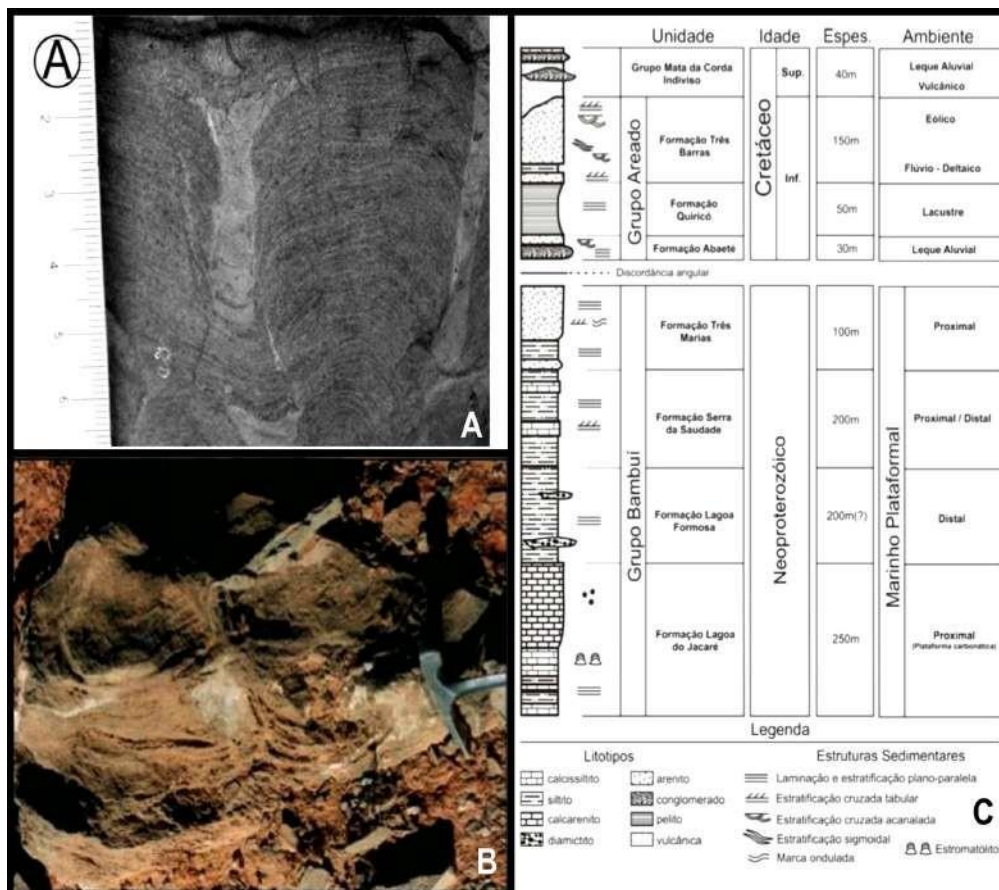


Figura 4. A) - formas colunares lateralmente ligadas descritas por Fragoso *et al.* (2011) em Presidente Olegário-MG. B) - possíveis estromatólitos colunares em São João da Ponte-MG, adaptado de Inglesias (2007). C) - Empilhamento da região de Presidente Olegário, com destaque para o posicionamento estratigráfico dos estromatólitos na Formação Lagoa do Jacaré.

## 2. Objetivos

Este projeto de mestrado tem como objetivo principal estudar em detalhe as ocorrências de microbialitos na Formação Lagoa do Jacaré no Estado de Minas Gerais. Tais ocorrências foram pouco estudadas e carecem de uma análise de sua composição, estrutura e textura na macro, meso e micro escalas. O trabalho pretende, também, buscar fósseis de metazoários nos carbonatos estromatolíticos, nos calcarenitos e calciruditos da Formação Lagoa do Jacaré. A possível descoberta de metazoários na Formação Lagoa do Jacaré teria implicações profundas para paleobiologia e sedimentologia do Grupo Bambuí. Implicações biocronoestratigráficas

poderão ocorrer caso *Cloudina* sp., ou metazoários correlatos, como *Corumbella weneri* Hahn et al 1982, forem encontrados. Se metazoários mais novos forem encontrados, será de grande impacto e relevância para a história deposicional do Grupo Bambuí. A ausência de fósseis de metazoários, por sua vez, também trará uma série de indagações ao modelo paleoambiental da bacia, bem como para a história evolutiva da paleobiota do Grupo Bambuí. Que tipo de mudança no ambiente dessa bacia poderia ter limitado a população desses metazoários? A possível descoberta de *Cloudina* sp. ou *C. weneri* na Formação Lagoa do Jacaré corrobora propostas de que a maior parte do Grupo Bambuí foi depositado inteiramente no Neoproterozoico? Essas são perguntas que integram o cerne da presente pesquisa.

### **3. Materiais e Métodos**

Para desenvolver os objetivos descritos acima, este projeto de mestrado utilizou-se de algumas ferramentas e métodos, detalhadas a seguir: (1) foi realizado, nos dias 1 a 7 de outubro de 2016, e também nos dias 19 a 22 de março de 2017, juntamente com o orientador e coorientadora, na região sul e norte do Estado de Minas Gerais, dois trabalhos de campo previstos para o projeto, para identificação, registro e descrição macroscópica dos afloramentos seguindo guia de Fairchild & Sanchez (2015), além de coleta de ocorrências estromatolíticas selecionadas; (2) após o retorno do trabalho de campo foi realizada a confecção de lâminas delgadas dos microbialitos coletados, que foram utilizadas para descrever em detalhe a mineralogia, textura e microestrutura das amostras, seguindo o padrão sugerido por Durham (1962), de modo a melhor definir quais fatores que governam a formação daqueles estromatólitos, seja calcificação inorgânica, calcificação biologicamente induzida e/ou trapeamento de sedimentos detríticos; (3) lâminas petrográficas selecionadas foram metalizadas para a realização de análises químicas pontuais utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV-Geochronos) e seu sistema EDS. Tais resultados possibilitaram a comparação

dos estratos analisados com outras ocorrências da Formação Lagoa do Jacaré, além de permitir uma melhor compreensão dos parâmetros paleoambientais; (4) Por fim, foi realizado o tombamento das amostras coletadas em coleção científica da Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

#### 4. Referências bibliográficas

- Allwood, A. C., Walter, M. R., Kamber, B. S., Marshall, C. P., & Burch, I. W. (2006). Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia. *Nature*, 441(7094), 714-718.
- Awramik, S. M. (1971). Precambrian columnar stromatolite diversity: reflection of metazoan appearance. *Science*, 174 (4011), 825-827.
- Awramik, S. M., & Margulis, L. (1974). Definition of stromatolite. *Stromatolite Newsletter*, 2(5).
- Awramik, S. M., & Sprinkle, J. (1999). Proterozoic stromatolites: the first marine evolutionary biota. *Historical Biology*, 13(4), 241-253.
- Branco, J. J. R., & Costa, M. T. (1961). Roteiro da excursão Belo Horizonte–Brasília. Belo Horizonte, UFMG-Instituto de Pesquisas Radioativas. *Publicação*, 15.
- Burne, R. V., & Moore, L. S. (1987). Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, 241-254.
- Costa, D. A. (2011). Controle lito-estrutural e estratigráfico na hidrogeoquímica e nas concentrações de fluoreto no sistema aquífero cárstico-fissural do Grupo Bambuí, norte de Minas Gerais.
- Cunha, R. B. D. (2012). Químioestratigrafia 87SR/86SR das rochas carbonáticas do grupo Bambuí.
- Dardenne, M. A. (1978). Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In *Congresso Brasileiro de Geologia* (Vol. 30, No. 1978, pp. 597-610).
- Fairchild, T. R., e Sanchez, E.A.M. (2015). Microbialitos no Brasil: Panorâmica de ocorrências e guia de caracterização morfológica. In: Fairchild, T.R.; Rohn, R.; Dias-Brito, D. (Org.). *Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente: um atlas*. 1ed. Rio de Janeiro: UNESPetro, 2015, v. 1, p. 10-20.
- Fragoso, D. G. C., Uhlein, A., Sanglard, J. C. D., Suckau, G. L., Guerzoni, H. T. G., & Faria, P. H. (2013). Geologia dos grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na folha Presidente Olegário (1: 100.000), MG: Registro deposicional do Neoproterozóico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. *Revista Geonomos*, 19(1).

- Grotzinger, J. P. (1990). Geochemical model for Proterozoic stromatolite decline. *American Journal of Science*, 290, 80-103.
- Grotzinger, J. P., & Knoll, A. H. (1999). Stromatolites in Precambrian carbonates: evolutionary mileposts or environmental dipsticks? *Annual review of earth and planetary sciences*, 27(1), 313-358.
- Hahn, G., Hahn, R., Leonardos, O. H., Pflug, H. D., & Walde, D. H. G. (1982). Körperlich erhaltene Scyphozoen-Reste aus dem Jungpräkambrium Brasiliens. *Geologica et Palaeontologica*, 16, 1-18.
- Iglesias, M. (2007). Estratigrafia e tectônica do grupo Bambuí no norte do Estado de Minas Gerais.
- Iglesias, M., & Uhlein, A. (2009). Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(2), 256-266.
- Kiessling, W. (2002). Secular variations in the Phanerozoic reef ecosystem.
- Kuchenbecker, M., (2011). Folha Luz – SE.23-Y-D-V. CODEMIG, p. 1:100.000.
- Kuchenbecker, M., & Pedrosa-Soares, A. C. (2013). O GRUPO BAMBUÍ NA FOLHA LUZ (SE-23-YDV). *Revista Geonomos*, 18(2).
- Kuchenbecker, M., Babinski, M., Pedrosa-Soares, A. C., Lopes-Silva, L., & Pimenta, F. (2016). Chemostratigraphy of the lower Bambuí Group, southwestern São Francisco Craton, Brazil: insights on Gondwana paleoenvironments. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 145-162.
- Misi, A., Kaufman, A. J., Veizer, J., Powis, K., Azmy, K., Boggiani, P. C., ... & Iyer, S. S. (2007). Chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic successions in South America. *Chemical Geology*, 237(1), 143-167.
- Narbonne, G. M. (2005). The Ediacara biota: Neoproterozoic origin of animals and their ecosystems. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 421-442.
- Noffke, N., Christian, D., Wacey, D., & Hazen, R. M. (2013). Microbially induced sedimentary structures recording an ancient ecosystem in the ca. 3.48 billion-year-old Dresser Formation, Pilbara, Western Australia. *Astrobiology*, 13(12), 1103-1124.
- Ohtomo, Y., Kakegawa, T., Ishida, A., Nagase, T., & Rosing, M. T. (2014). Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks. *Nature Geoscience*, 7(1), 25-28.
- Pimentel, M. M., Rodrigues, J. B., DellaGiustina, M. E. S., Junges, S., Matteini, M., & Armstrong, R. (2011). The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review. *Journal of South American Earth Sciences*, 31(4), 345-357.



Rosing, M. T. (1999).  $^{13}\text{C}$ -depleted carbon microparticles in > 3700-Ma sea-floor sedimentary rocks from West Greenland. *Science*, 283(5402), 674-676.

Ribeiro J. H., Tuller M. P., Signorelli N., Féboli W. L. (2008). Mapa Geológico da Folha Bom Despacho (1:100.000). Belo Horizonte: CPRM.

Riding, R. (1977). Skeletal stromatolites. In *Fossil Algae* (pp. 57-60). Springer Berlin Heidelberg.

Riding, R. (2000). Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial–algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 47(s1), 179-214.

Riding, R. (2006). Microbial carbonate abundance compared with fluctuations in metazoan diversity over geological time. *Sedimentary Geology*, 185(3), 229-238.

Riding, R. (2011). Microbialites, stromatolites, and thrombolites. In *Encyclopedia of Geobiology* (pp. 635-654). Springer Netherlands.

Sanchez, E. A. M. (2014). *Microbialitos e microfósseis da Formação Sete Lagoas, Neoproterozoico, Brasil: implicações geomicrobiológicas em um contexto de mudanças climáticas e evolutivas* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Seer & Moraes. (2011). Folha Campos Altos – SE.23-Y-D-IV. CODEMIG, p. 1:100.000.

Semikhatov, M. A., Gebelein, C. D., Cloud, P., Awramik, S. M., & Benmore, W. C. (1979). Stromatolite morphogenesis-progress and problems. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 16(5), 992-1015.

Vieira, L. C., Trindade, R. I., Nogueira, A. C., & Ader, M. (2007). Identification of a Sturtian cap carbonate in the Neoproterozoic Sete Lagoas carbonate platform, Bambuí Group, Brazil. *Comptes Rendus Geoscience*, 339(3), 240-258.

Warren, L. V., Quaglio, F., Riccomini, C., Simões, M. G., Poiré, D. G., Strikis, N. M., & Strikis, P. C. (2014). The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil *Cloudina* reveals an old proto-Gondwana seaway. *Geology*, 42(5), 391-394.

## Capítulo 2

# MORPHOLOGICAL AND PETROGRAPHIC ANALYSIS OF NEWLY IDENTIFIED STROMATOLITIC OCCURENCES IN THE LAGOA DO JACARÉ FORMATION, BAMBUÍ GROUP, STATE OF MINAS GERAIS, BRAZIL

DANIEL MARTINS DOS SANTOS

Programa de pós-graduação em Geologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900, Brasília-DF, Brazil. *danielmartinsuk@gmail.com*

EVELYN A. M. SANCHEZ

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Campus JK, Rodovia MGT 367, Km 583, nº 5000 Alto da Jacuba, 39100-000, Diamantina-MG, Brazil.

RODRIGO MILONI SANTUCCI

Universidade de Brasília, Campus Planaltina, Área Universitária nº 1, Vila Nossa Senhora de Fátima, 73345-010, Planaltina-DF, Brazil.

**ABSTRACT** – Here we catalog, for the first time, the known stromatolite-containing localities and morphologies found in outcrops previously attributed, by past mapping efforts, to the Lagoa do Jacaré Formation, Bambuí Group. Unlike the Sete Lagoas Formation, which has already provided several works describing its substantial variety of microbialitic forms and microfossils, the fossiliferous potential of the Lagoa do Jacaré Formation has not been properly assessed. Surprisingly, a relatively diverse variety of forms was found, including domal, various columnar, laminites and columnar-layered stromatolites. Morphological and petrographical descriptions were made and six microfabrics were unveiled, shedding light into the environmental conditions likely to have been involved in their formation. It is also reported the presence of a group of microfossils closely resembling calcispheres.

**Keywords:** microbialites, stromatolites, Lagoa do Jacaré Formation, Bambuí Group.

**RESUMO** – Cataloga-se aqui, pela primeira vez, os afloramentos desta formação que contém ocorrências estromatolíticas e descreve-se as morfologias encontradas. Uma vasta variedade de formas foi encontrada, incluindo formas dômicas, colunares, colunar-laminadas e estratiformes. Diferentemente da Formação Sete Lagoas, que possui inúmeros trabalhos que descrevem uma

substantial variedade de formas microbialíticas, o potencial fossilífero da Formação Lagoa do Jacaré ainda permanece inexplorado. Descrições petrográficas também foram realizadas de modo a complementar esforços similares na macroescala, permitindo possíveis interpretações a respeito de seus respectivos paleoambientes. Por fim, a presença de microfósseis semelhantes a calciesferas também é reportada.

**Palavras-chave:** microbialitos, estromatólitos, Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí.

## INTRODUCTION

The Bambuí Group corresponds to a siliciclastic and carbonate succession, deposited over three transgressive-regressive megacycles, in a Foreland-type basin that developed as a response to the Brasiliano orogenic cycle and the rise of the Brasília Fold Belt (Pimentel et al., 2011). The group covers vast areas of the São Francisco Craton and the Brasília Fold Belt, being present in over five Brazilian states, including Minas Gerais, Bahia, Goiás, Tocantins, and also the Federal District territory (Dardenne, 2000).

The current stratigraphic division of the Bambuí Group only emerged in the second half of the last century, with the mapping and stratigraphic work conducted by Costa & Branco (1961), later expanded by Dardenne (1978 a, b; 1979; 2000). They identified and defined five geological formations and their respective stratigraphic sequence, laying the foundations of the modern nomenclature of the succession. These consist of, from the bottom to the top, the dolomites and stromatolitic limestones of the Sete Lagoas Formation; the shales, siltstones and marls of the Serra de Santa Helena Formation; the calcarenites, oolitic and oncolitic limestones of the Lagoa do Jacaré Formation; the shales and siltstones of the Serra da Saudade Formation; and the arkoses, sandstones, and conglomerates characteristic of the Três Marias Formation. Recently, new formations were added to Bambuí Group in its occurrence at the State of Minas Gerais, exemplified by the work of Kuchenbecker et al. (2016).

It is important to notice that lithostratigraphic classifications of the Lagoa do Jacaré Formation, such as the one cited above, did not officially include within its definitions the presence of stromatolites and/or other microbialites, such as thrombolites/dendrites, in the carbonate sequences of this geological unit. The possibility that microbial deposits such as these could be found in the outcrops belonging to this unit seems to be plausible, given that the suitable lithologies are present.

Here we report abundant new occurrences of morphologically diverse stromatolites in sites located in the northern and southern portions of the State of Minas Gerais, selected from previous works which identified outcrops belonging to the Lagoa do Jacaré Formation (Costa 2011; Cunha, 2012; Fragoso et al., 2013; Inglesias & Uhlein, 2009; Kuchenbecker & Pedrosa-Soares, 2013; Ribeiro et al., 2008, Sanchez, 2014). This is the first complete and detailed analysis, including both macroscopic and petrographic descriptions, to specifically deal with Lagoa do Jacaré Formation stromatolitic occurrences. The presence of microbialitic forms in the limestones of the Lagoa do Jacaré Formation brings to light the need for revision of its sedimentological and faciological definitions, which currently do not include such information. Additionally, the data presented in the following sections alters our current understanding of the paleobiota present in the Bambuí Group during the Lagoa do Jacaré time interval, increasing its known diversity.

## MATERIALS AND METHODS

The completion of the work presented here required a thorough literature review, where works reporting fossiliferous sites were identified and catalogued. That was followed by the selection of the sites with the most potential, as well as extensive fieldwork planning by using satellite imagery provided by Google Earth<sup>®</sup> as well as other GIS tools. Two field campaigns were conducted and fossiliferous sites were found near the cities of Luz, Bom Despacho, Jafba and São João da Ponte in the State of Minas (Figure 1).

The descriptions herein presented follow the parameters established by Logan et al. (1964) in his pioneering work with modern columnar stromatolites in Shark Bay, Australia. We start by providing a detailed macroscopic and morphological description, followed by similar pursuits in the mesoscopic and microscopic levels, with the assistance of thin section analysis. Slabs were produced by cutting through samples to study their morphology and synoptic profile, similar to what has been described in Preiss (1976). Descriptions at the macro- and mesoscopic levels were informed by the guiding work of Fairchild & Sanchez (2015), while petrographic analyses followed the nomenclature established by the work of Riding (1977; 1991; 2008), and the descriptions of the microbialites found at Sete Lagoas Formation outcrops by Sanchez (2014). Thin sections were observed and analyzed using an Olympus BX 41 polarized-light microscope, and photomicrographs were obtained utilizing Axio Scope.A1 Polarized Light Microscope and the camera AxioCam Icc 1, both from ZEISS®.

## RESULTS

**Morphological description.** Of all the Lagoa do Jacaré Formation outcrops reported in the literature to possess stromatolite-containing limestone outcrops, only four could be confirmed by our field excursions (Table 1): in the extreme north of the State of Minas Gerais, close to the border with the State of Bahia, near the municipalities of Jaíba (samples labelled JAB) and São João da Ponte (samples labelled SJP), and in the southern region of the state, between the cities of Luz (Rio São Francisco outcrop, samples also labelled RSF) and Bom Despacho (samples labelled BDP).

The Rio São Francisco outcrop (RSF) is found at the margins of the São Francisco River, directly below a bridge, accessible by car, between the Luz and Moema municipalities and may be described as a roughly 4-meter-thick carbonate succession characterized by two cycles of microbialitic growth, separated by strata of calcarenites and calcirudites (Figure 2A). The coarse-grained carbonate sediments seem to comprise high-energy deposits, as evidenced

by the observed erosional contact with the basal stromatolites, which were commonly reworked by strong currents and shear. The lower portion of the outcrop is defined by extensive biostromes comprised of closely-packed, continuous, decimetric, uniform, cylindrical columns (height > width) with well-defined margins and multiple growth vectors (Figure 2B-C). These rarely develop branches and are characterized by a lack of intercolumnar material between structures. At plan view columns form circular to irregular morphologies which often develop intergrowth.

The stromatolites found in the upper portion of the RSF outcrop differ substantially from the ones found at lower horizons. They are dominated by individual columns with widths that increase vertically and divergent branching patterns ( $20^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) with branches also possessing columnar forms (Figure 2D-E). Intercolumnar material in the form of oolitic, oncolitic and intraclastic calcarenites which commonly interfered with microbial growth. Lamina shape of both morphologies is generally symmetric, slightly to moderately convex with one degree of curvature. Vertical inheritance is moderate to good, and margins are smooth. Laminations at the apical portions of columns were observed to develop parabolic or coniform morphologies (Figure 2C).

A relatively diverse assemblage of stromatolitic forms was found at the localities near the city of Bom Despacho, first reported by Ribeiro et al. (2008). The region yielded densely-packed columnar stromatolites at sites BDP-4, BDP-7, and BDP-8, which are here described as possessing vertical and sinuous growth vectors, with little to no space between columns (directly adjacent to each other) and bridges connecting the structures (Figure 3A-C). Columnar stromatolites with rapid vertical change in width were also observed to have locally been formed (Figure 3D). Both symmetrical and asymmetrical lamina shapes occur, and are commonly moderately to strongly convex, with moderate vertical inheritance. Circular and irregular morphologies were observed at plan view.

At the sites labelled BDP-5 and BDP-6, stromatolites occurred as part of locally-developing karst systems, exposing multiple-meter-high carbonate walls, which allowed the observation of vertical variation between forms (Figure 4A). The stromatolites here were found to be moderately preserved, their margins and laminations, though altered by dissolution surfaces, are still distinguishable. These occur as tabular stromatolitic bodies (biostromes) that extend laterally in an intertwined sequence of strata dominated by the development of columnar-layered stromatolites and strata comprised of low-synoptic relief forms such as laminites. Microbialitic laminites occur as flat, wavy layers of coarse-grained carbonate deposits whereas columnar-layered forms present themselves in cross section as columns with vertical growth vectors, turbinate accretion patterns, as well as beta- and alpha-type branching patterns (Figure 4B-C). Branches are also columnar in shape and form bridges. These columnar forms tend to coalesce upwards into low-synoptic relief stratiform morphologies, forming a dynamic system (Figure 4D-E). Lamina shape varies between horizontal to slightly and moderately convex with one order of curvature. Morphologies at plan view could not be determined due to a lack of proper exposures.

At the São João da Ponte region, it was possible to confirm the presence of columnar stromatolite morphologies, as first indicated by Iglesias & Uhlein (2009), as well as a large domal stromatolite form. These stromatolites were observed alongside a decametric, road cut-type outcrop, which is easily accessible by car. Bioherms were commonly associated with intraclastic calcirudites. The former, columnar form occurred as isolated fragmented bioherm blocks alongside the road cut presenting poor to moderate preservation (Figure 5A). Columns are closely arranged, decimetric, cylindrical, uniform in shape with sinuous growth vectors. Branching is common and follows parallel trends, where branches diverge less than 20° from each other, representing alpha and beta-type patterns, with no or some increase in column width before the branching takes place, respectively (Figure 5A-B). Branches are also cylindrical, in

a digitate mode. Basal portions were found to have developed bridges between columns. The laminations may overlap, being mostly asymmetric, moderately to steeply convex (coniform at the axial zone) with one order of curvature and moderate vertical inheritance.

The latter domal stromatolite may be characterized as a meter-long isolated domal morphotype with good preservation. Basal laminae are rhombic-shaped, overlap each other forming a partial wall and vertically transition to symmetrical and moderately convex laminations with two orders of laminar curvature (convex or curved laminations which themselves are crenulated). A light-dark alternation pattern is clearly visible (Figure 5D-C). Vertical inheritance is good.

The last locations visited, which resulted in a confirmation of fossiliferous sites were the ones reported by Costa (2011) near the city of Jafba. There, dome-shaped stromatolitic bioherms (Figure 6A) were found in lateral contact with vast deposits of intraclastic calcirudites. Advanced stages of weathering took place and stromatolitic columns are poorly to moderately preserved, with laminations often erased or only faintly visible. Columns are tuberous with sinuous growth vectors, forming bumps that penetrate the adjacent intercolumnar sediment (Figure 6B). Column diameter is larger than the space between the structures, which is filled with marl sediments. Branching is rare and when they possess this characteristic, they are slightly divergent and columnar in nature (Figure 6B). Turbinate growth patterns also occur locally. Equidimensional, elliptical and elongated forms are found when these stromatolites are seen in plan view (Figure 6C). Laminae are uneven and often discontinuous, possessing low synoptic relief, with only a few tenths of a centimeter measured for a single lamination. They are also slightly to moderately convex, generally developing a wavy pattern with two orders of curvature. Vertical inheritance is low to moderate.

**Microfabrics.** Petrographical analysis of selected thin sections revealed an assemblage of commonly-occurring stromatolitic microfabrics along with some localized portions



characterized by the development of rarer instances such as filamentous shrub-like microfabrics (Table 2). The most common microtextures observed were: (1) dense micrite microfabrics, defined here as homogeneous, generally aphanitic, laterally continuous masses of dark micrite rich in organic matter; (2) fenestral clotted microfabrics, observed to be formed by aggregates or clumps of dark micrite, usually tens to hundreds of microns across, defining irregular pores or fenestrae; (3) peloidal microfabrics characterized by collections of sub-rounded to rounded, transported peloids of varying sizes, with well-defined margins embedded within a carbonate mud (micrite) matrix or cement; (4) homogeneous microsparitic microfabrics, occurring as laterally continuous masses of clear, often subhedral to euhedral silt-sized calcite crystals; (5) Sparry calcite microfabrics, which presents itself as large, subhedral to euhedral equigranular crystals of calcite in granular texture.

The columnar stromatolites found at the RSF outcrop, both on the lower and upper portions, were essentially comprised of sub-millimetric to millimetric organic laminae formed by dense micrite and fenestral clotted microfabrics, alternating with lightly-colored, millimeter-thick laminae of homogeneous microspar, in a light-dark pattern like what has been described by Monty (1976) (Figure 7A). The vertical transition between one microfabric to the other contributes to lamination. One important microtextural distinction between the lower and the upper stromatolitic cycles is that the former rarely incorporates allochems within laminae, whereas the latter is usually rich in sand-sized coated grains and intraclasts, which most likely originate from the surrounding intraclastic calcarenites that commonly interfered with growth (Figure 7B). Stromatolites found in the upper cycle are also characterized by the development of more pervasive fenestrae in relation to its lower counterparts as well as abundant fenestral clotted textures.

In a manner closely resembling the microtextures described in the columnar stromatolites from the upper most cycle of the RSF outcrop, the Bom Despacho examples also

commonly incorporate coarser grains, mostly rounded peloids and coated grains in the fine to medium sand size intervals, and are also distinct in the presence of deep-carving microfractures and fissures, which run perpendicular to the plane of lamination (Figure 7C). Peloidal microfabrics (Figure 7D) were the most abundant textures described in these stromatolites, followed by the dense micrite and fenestral clotted ones. These peloids may be commonly found on the steep sides of convex laminations, possibly indicating the prevalence of trapping and binding processes. Transition between dense micrite and peloidal horizons are widely responsible for the interface from one lamination to the other.

The northern occurrences are characterized the presence of adjacent intraclastic rudstones of which a thin section photomicrograph is shown (Figure 7F). They are petrographically defined by a framework composed of poorly-sorted angular intraclasts and other allochems, as well as a lack of carbonate mud. These characteristics closely match what has been previously described as 'flat-pebble conglomerates', common in tidal flat environments with benthic microbial carbonate production (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003). Interestingly, both the columnar, tuberous stromatolites found near Jaíba and the domal occurrence described in the São João da Ponte region developed what is classified here as shrub-like microfabrics (Figure 7E and G), which are defined as elongated, often branching, tree-shaped micrite clumps, with sizes ranging from 500 to 700  $\mu\text{m}$ , usually positioned in an erect mode, perpendicular to the plane of deposition. Work describing similar textures are reviewed by Riding (2008). In the Jaíba stromatolites these alternate with dense micrite microfabrics in what is an essentially fine-grained (micritic) occurrence (Figure 7E), while the in domal form the shrub-like/filamentous textures intertwine with sparry calcite horizons (Figure 7G). The branching columns from São João da Ponte mostly developed dense micrite microfabrics with rare fenestrae (Figure 7H), being a fine-grained stromatolite. Non-carbonate mineral phases

identified include silica, mostly in the form of diagenetic cements, as well as sulfates such as pyrite and phosphatic minerals like apatite.

**Putative microfossils.** The petrographic analysis of these newly described stromatolite occurrences also resulted in the identification of a group of calcareous, circular dubiomicrofossils morphologically similar to the essentially descriptive taxon *Calcisphaera* Williamson (1880). Scholle & Ulmer-Scholle (2003) defined these as walled, hollow grains with single or double walls and generally without openings, ranging from 60 to 500  $\mu\text{m}$  in diameter, depending on the presence or absence of processes or ornamentations such as spines. Similarly, Flügel (2004) describes calcispheres as "small-sized (diameter commonly  $< 500 \mu\text{m}$ ), hollow spherical microfossils exhibiting calcitic walls". The examples reported here are divided into two distinct morphotypes, a division which may be due to different taphonomic processes taking place. Morphotype I is described as circular, hollow grains with dark, micritized single walls (Figure 8A). The inner portion of the wall possesses radially-arranged perforations or triangular-shaped protrusions. Their diameters were measured to be roughly in the 85 to 133  $\mu\text{m}$  size range. Morphotype II is also defined as circular, hollow grain, but with two concentric walls, an outer layer composed of thick uniform calcite; and an inner, dark, micritized one. Radial protrusions perforating the inner wall are present as well. The measured specimen possesses roughly 320  $\mu\text{m}$  in diameter (Figure 8B). These examples were found, along with other sand-sized grains, within laminae composed of peloidal and clotted microfabrics in samples collected from the stromatolites described at the Bom Despacho region.

## DISCUSSION

Interpreting the morphological and microtextural aspects of stromatolites in relation to the environments on which they formed has been historically challenging (Walter, 1977; Semikhatov et al., 1979; Bosak et al., 2013) with only a few examples, such as the conical form

*Conophyton*, having some of their morphogenetic processes elucidated by the study of modern analogues and experimental data (Walter, 1972; 1976; Bosak et al., 2009; Petroff et al., 2010).

Barriers to the interpretation of stromatolites arise, partly, from impediments such as the non-uniformitarian aspect of their fossil record. Declining levels of atmospheric CO<sub>2</sub> through the Archean and Proterozoic eons influenced the processes governing carbonate precipitation, and, consequently, determined the main stromatolitic microfabrics formed during these periods, which were commonly dominated by inorganically-precipitated sparry calcite crusts during the Archean, transitioning to hybrid crusts composed of interlayering sparry calcite and micrite in the Early to Mid-Proterozoic, and culminating in the development of pervasive fine-grained stromatolitic microfabrics associated with the evolution of CO<sub>2</sub>-concentrating mechanisms (CCM) in the terminal Proterozoic (Riding, 2006).

Another important factor influencing stromatolite geological history would be the biological make up of ecosystems. Awramik et al. (1971) suggested the idea that the rise of metazoans and their so-called '*agronomic revolution*' would have deeply affected the development of benthic microbial communities due to increasing pressures from predation and competition for space, although it was received with some scepticism (Riding, 2006). Evolutionary novelties, such as the emergence of large, unicellular, eukaryotic algae, capable of producing larger quantities of EPS (Extracellular Polymeric Substances), may explain the rise of the more recent coarse-grained, agglutinated stromatolites (Awramik & Riding, 1988).

Despite some confusion, there is some agreement in the literature relating to the influence of broad physical and biological processes in the formation of stromatolites. The work conducted by Logan et al. (1974) with modern examples at Shark Bay, Australia, demonstrated a clear connection between the presence of currents and stromatolite morphology, while Golubic (1976) identified strong correlation between laminae synoptic relief, their microfabric, and the shape of microbial mats.

Bosak et al. (2013) suggested, based on evidence coming from the 750-800-Ma-old biostromes of the Upper Eleonore Bay Group, Greenland, that strong currents and increasing shear stabilized stromatolitic columns and prevented the formation of bridges between structures. Riding (2011) hypothesized that high synoptic relief and intense rates of accretion limit interference by adjacent sediments producing conical and columnar stromatolites, while a low relief structure allows for interference, producing complex, branching structures. A series of physical factors, such as accumulation of detritus on growth surfaces, spacing of stromatolite columns and degree of variability of environmental conditions have also been discussed as influencing factors of stromatolite morphogenesis (Horodyski, 1977).

A general, more balanced view of the importance of physical and biological factors is summarized by Walter (1977), which states that "two forces dominate in stromatolite morphogenesis: water currents and biological reaction to light. In most cases, the balance between these two forces determines the form of the stromatolite". Thus, it follows that in deeper, calmer environments such as the subtidal regions of the carbonate platform on which forms such as *Conophyton* grew, microbial processes dominated stromatolite morphogenesis, whereas in energetic environments stromatolite morphology is governed by strong tidal currents and differential erosion.

The biogenicity of several stromatolitic microfabrics are discussed in the work reviewed by Riding (2008). Fine-grained microfabrics dominated by dark micrite are generally assumed to be of biological origin, perhaps mainly as a product of sulfate-reducing activity within microbial mats (Pope et al., 2000; Dupraz et al., 2009). On the other hand, calcite fans and sparry crusts may have an inorganic origin (Grotzinger & James, 2000). Promising data has been recently generated by Suosaari et al. (2016) which identified pervasive micrite-dominated microfabrics in modern stromatolites of Hamelin Pool, Shark Bay, Australia. These microfabrics were correlated with microbial mats dominated mostly by the cyanobacteria

*Entophysalis*, and are extremely similar to clotted peloidal microfabrics commonly found in Proterozoic stromatolites.

The main processes that were most likely responsible for the formation of the stromatolites here described are discussed below. Fine-grained microfabrics such as dense micrite and fenestral clotted textures are generally attributed to biological processes such as the in-situ calcification of microbial mats, and are thus herein interpreted as being essentially biological in nature (Pope et al., 2000; Riding 2008; 2011). The columnar stromatolites found at the lower portion of the RSF outcrop, the tuberous columns from Jaíba and the columnar branching forms of the São João da Ponte are all classified as such. Coarse-grained microtextures like the peloidal microfabrics commonly found in the Bom Despacho columnar stromatolites and laminites are attributed to processes such as the trapping and binding of transported grains and pushed these forms into the coarse agglutinated stromatolite category alongside with the forms with turbinate growth which incorporate coated grains and intraclasts of the upper RSF outcrop cycle. The domal occurrence of the São João da Ponte region is classified as a hybrid stromatolite, due to its alternating laminae composed of sparry calcite textures and filamentous/shrub-like microfabrics essentially comprised of dark micrite. It was most likely a product of cyclic periods of physicochemical precipitation and periods of microbially-induced carbonate precipitation.

In terms of the possible paleoenvironments on which these stromatolites formed, the sedimentological and morphological aspects were the most informative. In addition to being fine-grained and not incorporating wave-breakage zones grains, such as allochems, the columnar stromatolites of the lower portion of the RSF outcrop are densely-packed, and may form bridges, indicating weak currents and shear in what was most likely a low energy, subtidal environment (Bosak et al., 2013). The upper cycle, in the other hand, possesses abundant evidence for being formed closer to the coastal zones, in the form of ooids, oncoids, and

intraclasts that are found within stromatolitic laminae as well as in the intercolumnar material. The pervasiveness of fenestral textures and microfractures may also point to an shallow environment where these microbial structures were periodically exposed to subaerial conditions (Riding, 1991). They are here interpreted to have been deposited in an high intertidal to supratidal environments in a shallowing-upward sequence. Similar conditions are also thought to have been present during the formation of the Bom Despacho stromatolites, as they possess most of the features one would expect from such an environment, like the common trapping of transported grains and development of fenestrae and fractures due to subaerial exposure, as mentioned above.

The bioherms found at the northern localities are all characterized by abundant deposition of intraclast grainstones and rudstones adjacent to the bioherms, which are interpreted to represent energetic events, such as occasional storms, eroding the stromatolites and depositing coarse, elongated reworked fragments, mostly likely on an intertidal environment. This echoes Sami and James (1993) in their observation that intraclasts are common in Proterozoic shelf and ramps, and are much more likely to have been generated by storm wave erosion than fair-weather events, as benthic environments were extensively covered by microbial mats cementing the sea-floor. Those events likely precluded the formation of columns during the time interval in which the domal morphology developed at the São João da Ponte site (Horodyski, 1977), but were not long-lasting as the columnar branching forms occur in a slightly stratigraphically superior level.

Inferences about the biological composition of these ancient microbial communities could also be drawn from the data presented above. Despite being readily available, coarse-grained sediments were not incorporated within the stromatolitic laminae of occurrences such as the columnar and domal forms of Jaíba and São João da Ponte, which may indicate that the benthic microbial communities were essentially prokaryotic, as eukaryotic cells tend to be

larger and may potentially trap coarser grains (Awramik & Riding, 1988). On the other hand, the presence of putative calcispheres in the coarser stromatolites of Bom Despacho could indicate different diversities through the basin at the Lagoa do Jacaré time interval.

Widely varying biological affinities have been attributed to calcispheres, such as different algal cysts, Dinoflagellates, Foraminifera, and even reproductive structures of nematode-like animals (Kaźmierczak & Kremer, 2005). The lack of consensus regarding the phylogenetic affinities of calcispheres, being most likely a heterogeneous group, and the common confusion between description and interpretation, led Versteegh et al. (2009) to propose the new group Calcitarcha, without a formal taxonomic rank, diagnosed as simple circular fossils with a central cavity and an outer wall. In an important recent finding, Devonian acanthomorphic calcispheres (radiospherid calcispheres) were inferred to be a product of post-mortem calcification of acanthomorphic acritarchs (Kaźmierczak & Kremer, 2005).

Regardless of their taxonomic affinities, true calcispheres range from the Cambrian to Recent (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003), and the potential confirmation of their presence in sediments of the Bambuí Group could contribute to the course of discussions relating to its depositional age, already shaken recently due to the discovery by Warren et al. (2014) of *Cloudina* sp. and *Corumbella* fossils in the limestones of the Sete Lagoas Formation, the most basal formation of the Bambuí Group.

## CONCLUSIONS

Given the new information presented here regarding previously undescribed stromatolite occurrences in the Lagoa do Jacaré Formation, the following conclusions could be drawn: (1) despite not possessing within its sedimentological definitions the occurrence of stromatolites and other microbialites, the Lagoa do Jacaré Formation contains a relatively diverse assemblage of stromatolitic forms not previously recognized prior to this publication;



(2) morphologies include low synoptic relief forms such as laminites and columnar-layered microbialitic complexes, varied columnar forms, including sinuous, tuberous and branching patterns as well as large, meter-long domal occurrences; (3) southern occurrences commonly incorporated coarser grains within stromatolitic laminations, such as coated grains and peloids within its microbial laminations, indicating a stronger trapping and binding component in its genesis. Also, they commonly presented possible exposure textures such as extensive fenestrae and cement-filled fractures; (4) stromatolite systems described in the northern regions of the State of Minas Gerais, on the other hand, preserved shrub-like microfabrics and did not incorporate allochems within its laminations, despite abundant supply of storm-deposited intraclastic rudstones; (5) the northern occurrences were inferred here to have been deposited in a intertidal environment, while stromatolites found in the south commonly present evidence for formation in close proximity to the shore face, likely on a high intertidal to supratidal gradient, such as the presence of wave-breaking zone grains like ooids and oncoids; (6) the presence of putative calcisphere-like fossils may furnish further discussions relating to the depositional age of the Bambuí Group.

Acknowledgements: we would like to thank the financial institution CAPES for funding the current research as well as professors Thomas Rich Fairchild (USP) and Lucieth Cruz Vieira (UnB) for their kind comments. We also thank the staff at the geochronology (Geochronos) and paleontology (Palaios) laboratories at the University of Brasília for their support. The present work is part of the project entitled "The Microbialites of the State of Minas Gerais", an interinstitutional endeavor which originated at PRRPPG/UFVJM (11082016).

## REFERENCES

Awramik, S. M. & Riding, R. 1988. Role of algal eukaryotes in subtidal columnar stromatolite formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 85(5), 1327-1329. doi: 10.1073/pnas.85.5.1327

Awramik, S. M. 1971. Precambrian columnar stromatolite diversity: reflection of metazoan appearance. *Science*, 174(4011), 825-827. doi: 10.1126/science.174.4011.825.

Bosak, T.; Knoll, A. H. & Petroff, A. P. 2013. The meaning of stromatolites. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41, 21-44. doi: 10.1146/annurev-earth-042711-105327.

Bosak, T.; Liang, B.; Sim, M. S. & Petroff, A. P. 2009. Morphological record of oxygenic photosynthesis in conical stromatolites. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(27), 10939-10943. doi: 10.1073/pnas.0900885106.

Costa, D. A. 2011. Controle lito-estrutural e estratigráfico na hidrogeoquímica e nas concentrações de fluoreto no sistema aquífero cárstico-fissural do Grupo Bambuí, norte de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado.

Costa, M.D. & Branco, J.J.R. 1961. Roteiro para a excursão Belo Horizonte-Brasília. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. Belo Horizonte: SBG. Vol. 15, p. 9-25.

Cunha, R. B. D. 2012. Químioestratigrafia 87SR/86SR das rochas carbonáticas do grupo Bambuí. Dissertação de conclusão do curso em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Dardenne, M. A. & Walde, D. H. G. 1979. A estratigrafia dos Grupos Bambuí e Macaúbas no Brasil central. In: 1º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS, Sociedade Brasileira de Geologia, Belo Horizonte, p. 43-54.

Dardenne, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOCIÊNCIAS, Vol. 30, No. 1978, p. 597-610.

Dardenne, M. A. 1978. Zonação tectônica na borda ocidental do Cráton do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOCIÊNCIAS, Vol. 30, p. 299-308.

Dardenne, M. A. 2000. The Brasília fold belt. In: 31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Rio de Janeiro, p. 231 –263.

Dupraz, C.; Reid, R. P.; Braissant, O.; Decho, A. W.; Norman, R. S. & Visscher, P. T. 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96(3), 141-162. doi: 10.1016/j.earscirev.2008.10.005.

Flügel, E. 2004. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. 1ª ed. Springer. 976 p.

Fairchild, T. R. & Sanchez, E.A.M. 2015. Microbialitos no Brasil: Panorâmica de ocorrências e guia de caracterização morfológica. In: Fairchild, T.R.; Rohn, R. & Dias-Brito, D. *Microbialitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente: um atlas*. 1ª ed. Rio de Janeiro. UNESPetro, 2015, v. 1, p. 10-20.

Fragoso, D. G. C., Uhlein, A., Sanglard, J. C. D., Suckau, G. L., Guerzoni, H. T. G., & Faria, P. H. (2013). Geologia dos grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na folha Presidente Olegário (1: 100.000), MG: Registro deposicional do Neoproterozóico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. *Revista Geonomos*, 19(1). doi: 10.18285/geonomos.v19i1.60.

Golubic, S. 1976 .1 Organisms that Build Stromatolites. In: *Developments in sedimentology*. Elsevier. Vol. 20, p. 113-126.

Grotzinger, J. P. & James, N. P. 2000. Precambrian Carbonates: Evolution of Understanding, in, SEPM Special Publication 67. In: *Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian World*, J. Grotzinger & N. James (eds), p. 3-22.

Horodyski, R. J. 1977. Environmental influences on columnar stromatolite branching patterns: examples from the Middle Proterozoic Belt Supergroup, Glacier National Park, Montana. *Journal of Paleontology*, 661-671.

Iglesias, M. & Uhlein, A. 2009. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(2), 256-266.

Kaźmierczak, J. & Kremer, B. 2005. Early post-mortem calcified Devonian acritarchs as a source of calcispheric structures. *Facies*, 51(1-4), 554-565. doi: 10.1007/s10347-005-0071-8.

Kuchenbecker, M. & Pedrosa-Soares, A.C., 2013. O GRUPO BAMBUÍ NA FOLHA LUZ (SE-23-YDV). *Revista Geonomos*, 18(2). doi: 10.18285/geonomos.v18i2.71.

Kuchenbecker, M.; Atman, D.; da Costa, R.D.; Pedrosa-Soares, A.C. & Babinski, M. 2016. A Formação Gorutuba: sedimentação litorânea a continental na margem leste da Bacia Bambuí (MG). *Geologia USP. Série Científica*, 16(2), p.67-81. doi: 10.11606/issn.2316-9095.v16i2p67-81.

Logan, B. W., Hoffman, P., & Gebelein, C. D. 1974. Algal mats, cryptalgal fabrics, and structures, Hamelin Pool, Western Australia. In: *Evolution and Diagenesis of Quaternary Carbonate Sequences, Shark Bay, Western Australia*. AAGP Special Publications, p.140-194.

Logan, B. W., Rezak, R., & Ginsburg, R. N. 1964. Classification and environmental significance of algal stromatolites. *The Journal of Geology*, 72(1), 68-83. doi: 10.1086/626965.

Monty, C.L.V., 1976. .1 The Origin and Development of Cryptalgal Fabrics. In: *Developments in sedimentology*. Elsevier. Vol. 20, p. 193-249. p. 57-60.

Petroff, A. P., Sim, M. S., Maslov, A., Krupenin, M., Rothman, D. H., & Bosak, T. 2010. Biophysical basis for the geometry of conical stromatolites. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(22), 9956-9961. doi: 10.1073/pnas.1001973107.

Pimentel, M. M.; Rodrigues, J. B.; DellaGiustina, M. E. S.; Junges, S.; Matteini, M. & Armstrong, R. 2011. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review. *Journal of South American Earth Sciences*, 31(4), 345-357. doi: 10.1016/j.jsames.2011.02.011.

Pope, M. C.; Grotzinger, J. P. & Schreiber, B. C. 2000. Evaporitic subtidal stromatolites produced by in situ precipitation: textures, facies associations, and temporal significance. *Journal of Sedimentary Research*, 70(5), 1139-1151. doi: 10.1306/062099701139

Preiss, W. V. 1976.1 Basic Field and Laboratory Methods for the Study of Stromatolites. In: *Developments in Sedimentology*, 20, p.5-13.

Ribeiro J. H.; Tuller M. P.; Signorelli N.; Féboli W. L. 2008. Mapa Geológico da Folha Bom Despacho (1:100.000). Belo Horizonte: CPRM.

Riding, R. 2011. Microbialites, stromatolites, and thrombolites. In: *Encyclopedia of Geobiology*. Springer Netherlands. p. 635-654.

Riding, R. 1977. Skeletal stromatolites. In: *Fossil Algae*. Springer Berlin Heidelberg.

Riding, R. 1991. Classification of microbial carbonates. In: *Calcareous algae and stromatolites*. Springer Berlin Heidelberg. 2, p.1-51.

Riding, R. 2006. Cyanobacterial calcification, carbon dioxide concentrating mechanisms, and Proterozoic–Cambrian changes in atmospheric composition. *Geobiology*, 4(4), 299-316. doi: 10.1111/j.1472-4669.2006.00087.

Riding, R. 2008. Abiogenic, microbial and hybrid authigenic carbonate crusts: components of Precambrian stromatolites. *Geologia Croatica*, 61(2-3), 73-103.

Sami, T. T. & James, N. P. 1993. Evolution of an early Proterozoic foreland basin carbonate platform, lower Pethei Group, Great Slave Lake, north-west Canada. *Sedimentology*, 40(3), 403-430. doi: 10.1111/j.1365-3091. 1993.tb01343. x.

Sanchez, E. A. M. 2014. Microbialitos e microfósseis da Formação Sete Lagoas, Neoproterozoico, Brasil: implicações geomicrobiológicas em um contexto de mudanças climáticas e evolutivas. Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado.

Scholle, P. A., & Ulmer-Scholle, D. S. 2003. *A Colour Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis*. AAPG Memoir, Vol. 77.

Semikhatov, M. A.; Gebelein, C. D.; Cloud, P.; Awramik, S. M. & Benmore, W. C. 1979. Stromatolite morphogenesis—progress and problems. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 16(5), 992-1015. doi: 10.1139/e79-088.

Suosaari, E.P.; Reid, R.P.; Playford, P.E.; Foster, J.S.; Stolz, J.F.; Casaburi, G.; Hagan, P.D.; Chirayath, V.; Macintyre, I.G.; Planavsky, N.J. & Eberli, G.P.; 2016. New multi-scale perspectives on the stromatolites of Shark Bay, Western Australia. *Scientific Reports*, 6, p.20557. doi: 10.1038/srep20557.

Versteegh, G. J., Servais, T., Streng, M., Munnecke, A., & Vachard, D. 2009. A discussion and proposal concerning the use of the term calcispheres. *Palaeontology*, 52(2), 343-348. doi: 10.1111/j.1475-4983.2009.00854. x.

Walter, M. R. 1972. Stromatolites and the biostratigraphy of the Australian Precambrian and Cambrian (No. 11). *Special Papers in Palaeontology*, n 11. The Palaeontological Association.

Walter, M. R. 1976. Microbiology and morphogenesis of columnar stromatolites (Conophyton, Vacerilla) from hot springs in Yellowstone National Park. In: *Stromatolites; Developments in Sedimentology*. Elsevier. Vol 20, p. 273-310.

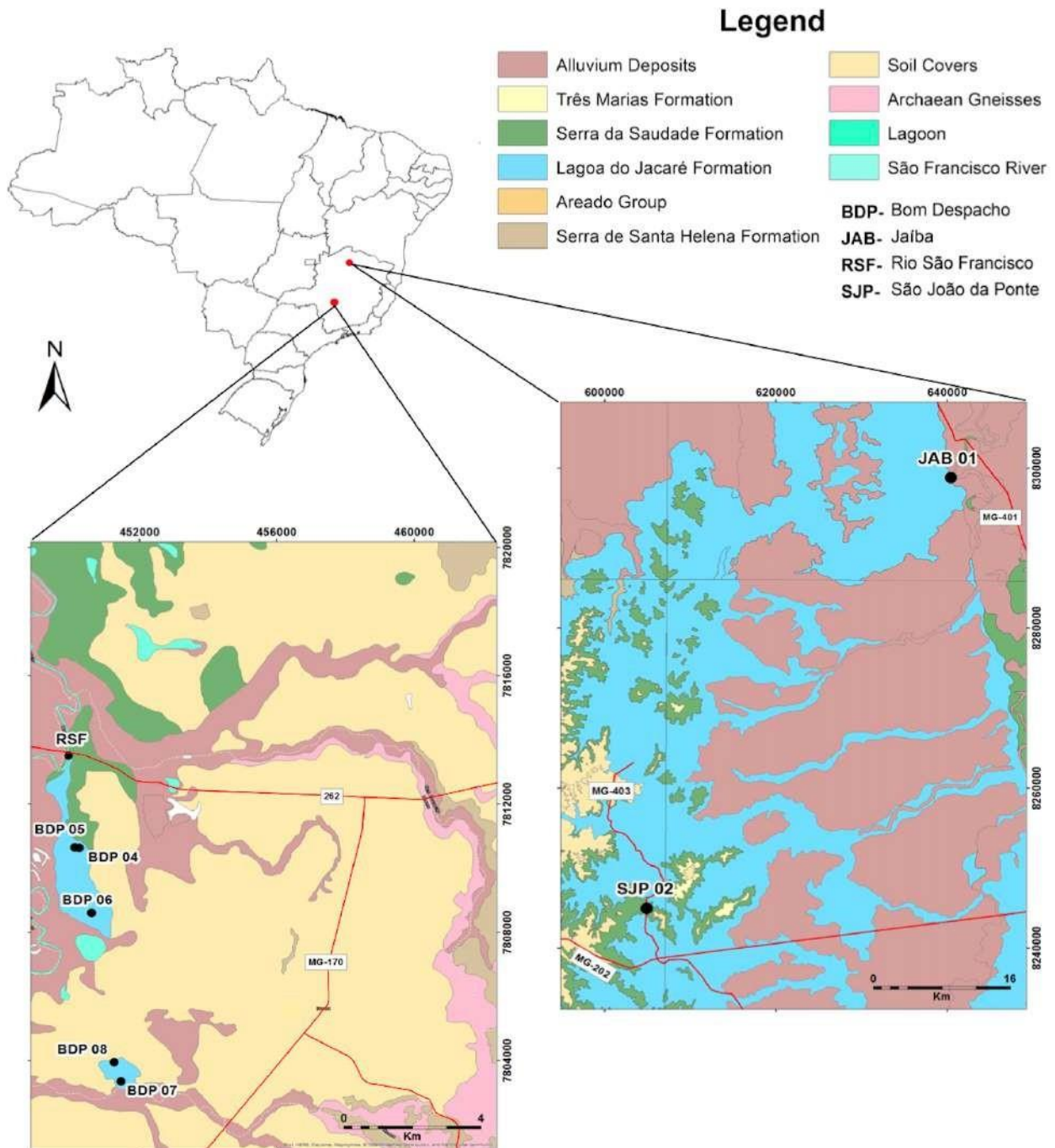
Walter, M. R. 1977. Interpreting Stromatolites: These fossils can tell us much about past organisms and environments if we can learn to decode their message. *American Scientist*, 65(5), 563-571.

Warren, L. V.; Quaglio, F.; Riccomini, C.; Simões, M. G.; Poiré, D. G.; Strikis, N. M.; Anelli, L.E. & Strikis, P. C. 2014. The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil *Cloudina* reveals an old proto-Gondwana seaway. *Geology*, 42(5), 391-394. doi: 10.1130/G35304.1

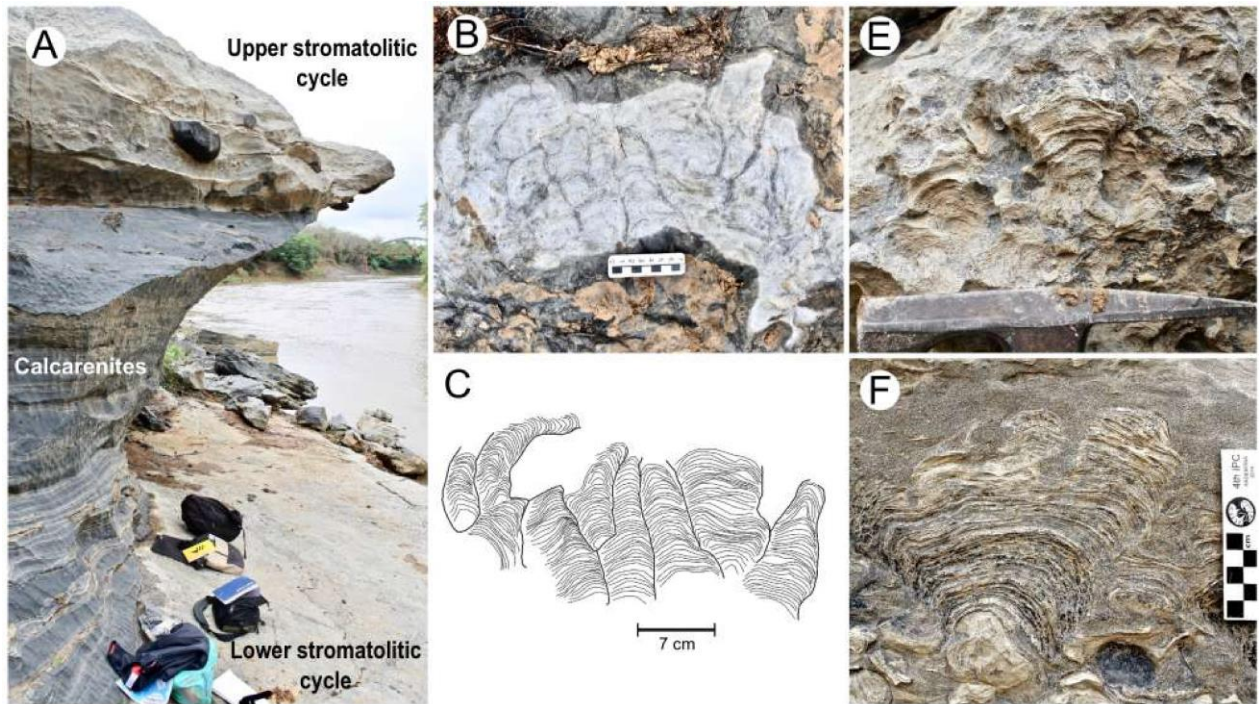


Williamson, W. C. 1880. XIV. On the organization of the fossil plants of the coal-measures. —Part X. Including an examination of the supposed radiolarians of the carboniferous rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 171, 493-5. doi: 10.1098/rstl.1880.0014

**FIGURES AND RESPECTIVE LEGENDS**

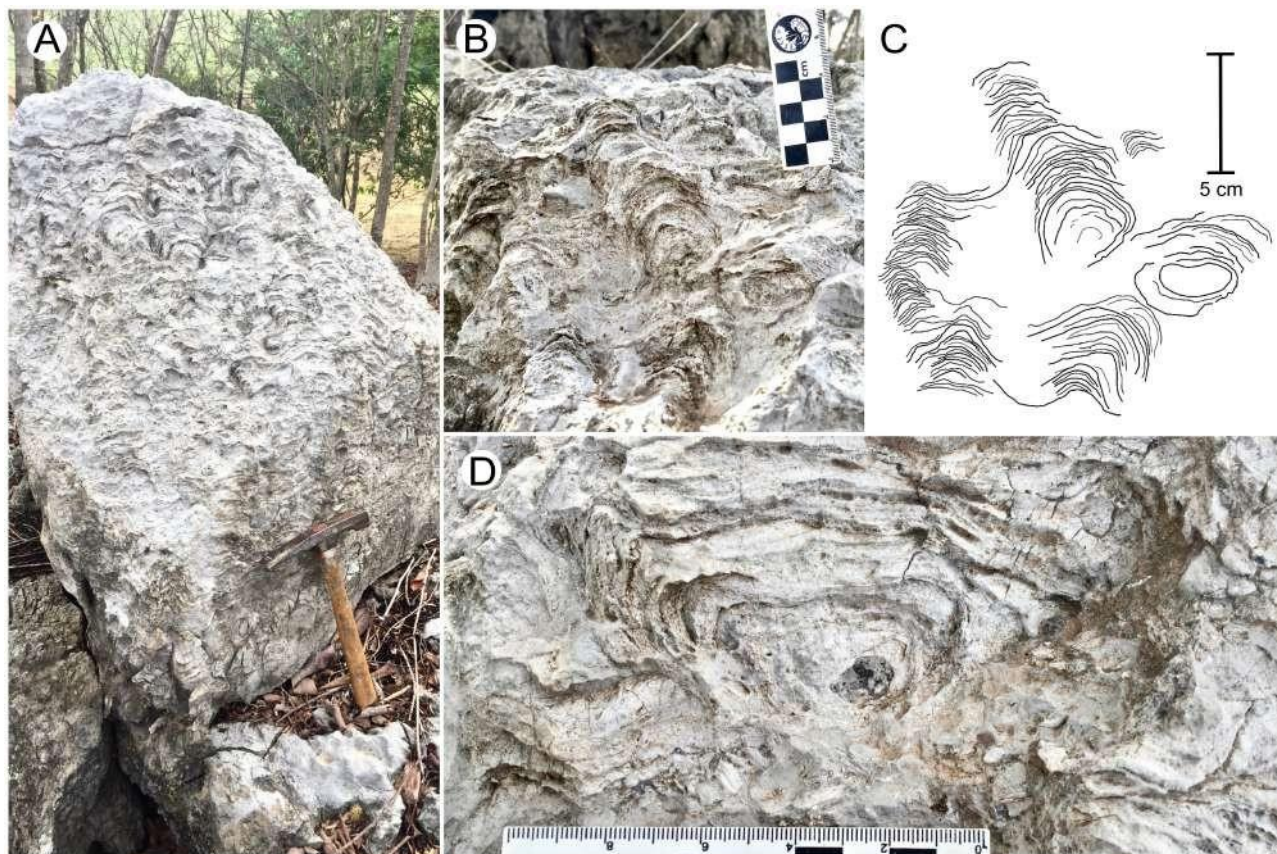


**Figure 1.** Geographical locations of the fossiliferous sites within the State of Minas Gerais, followed by two local geological maps showing the lithological context of both the southern localities (on the left) and the northern localities (on the right).



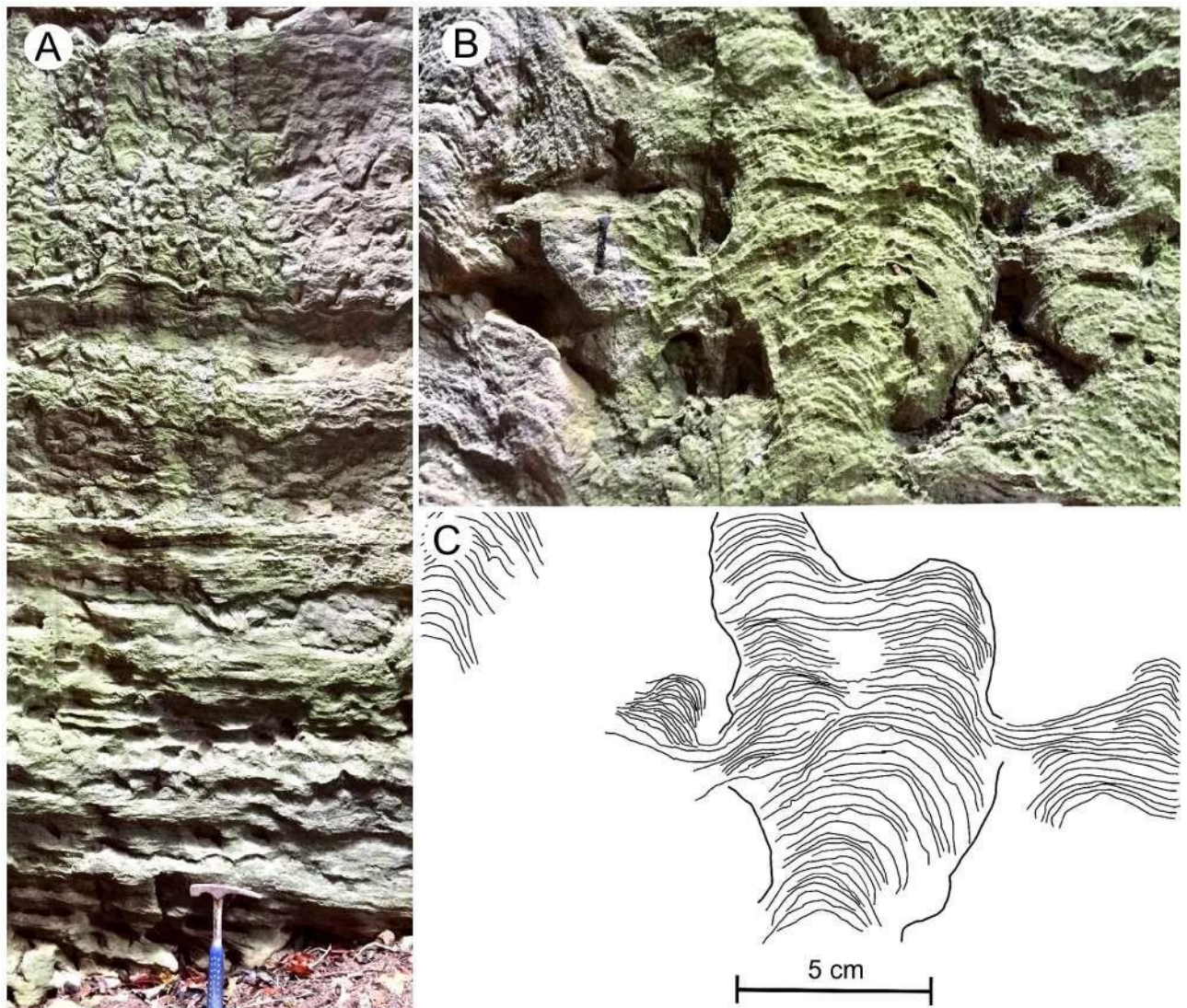
**Figure 2.** A)- Overview of the RSF outcrop showing the basal stromatolitic cycle followed by deposition of thick calcarenite strata, which in turn is overlain by the return of microbial growth. B and C)- Longitudinal cut of the densely-packed columnar stromatolites found at the lower cycle and schematic drawing highlighting laminae shape and column morphology. E and F)- typical stromatolitic columns with turbinate growth observed at the upper most stromatolitic cycle. Note the intense deposition of calcirudites and calcarenites.





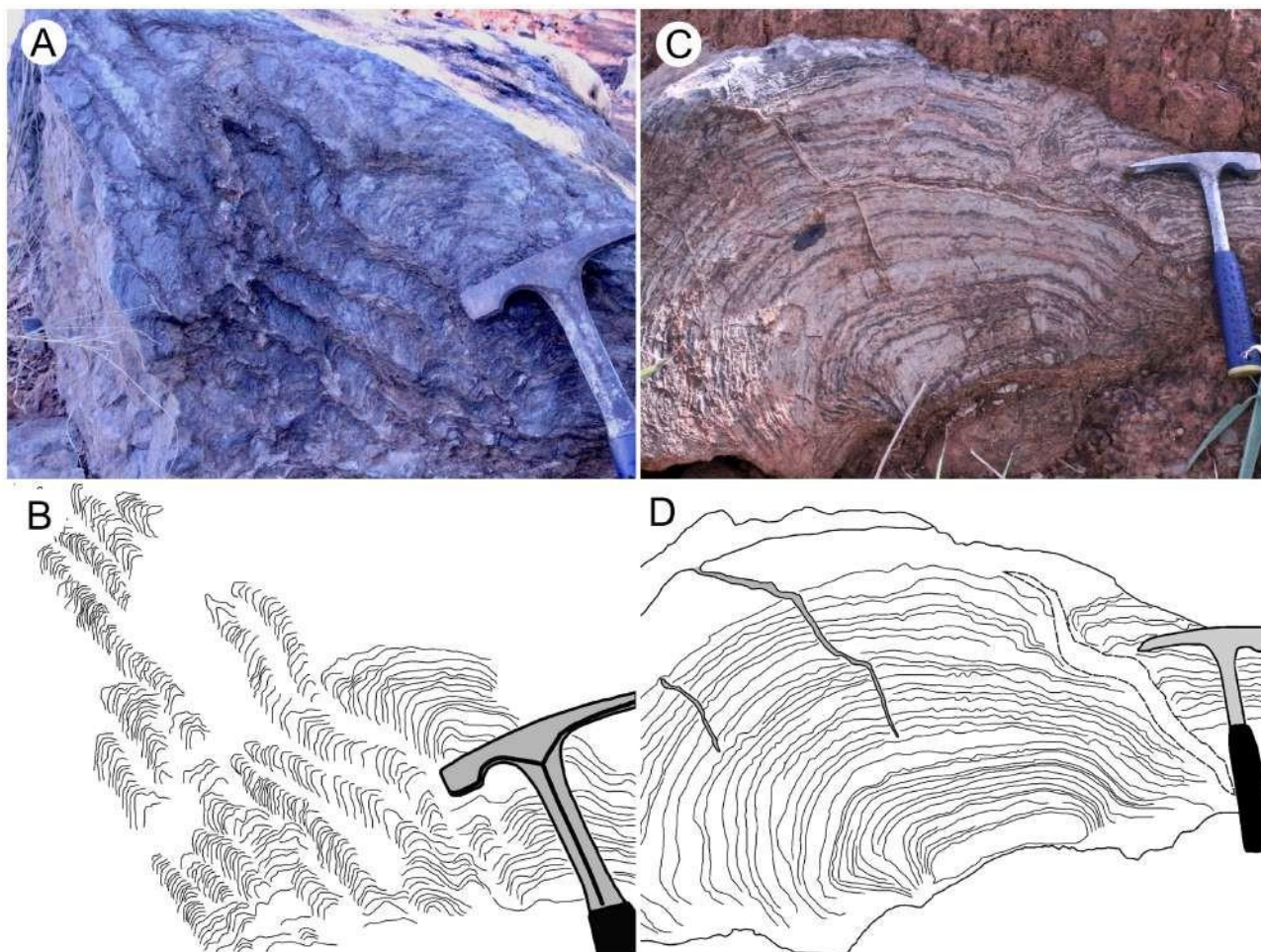
**Figure 3.** A)- Field photograph showing common bioherm morphology found in the sites reported by Ribeiro et al. (2008) and the columnar stromatolites of which they are formed. B and C)- Columnar stromatolites with little to no space between structures and locally developed bridges. Note the sinuous aspects of their growth vectors. D)- Example of columnar stromatolite with turbinate growth pattern.



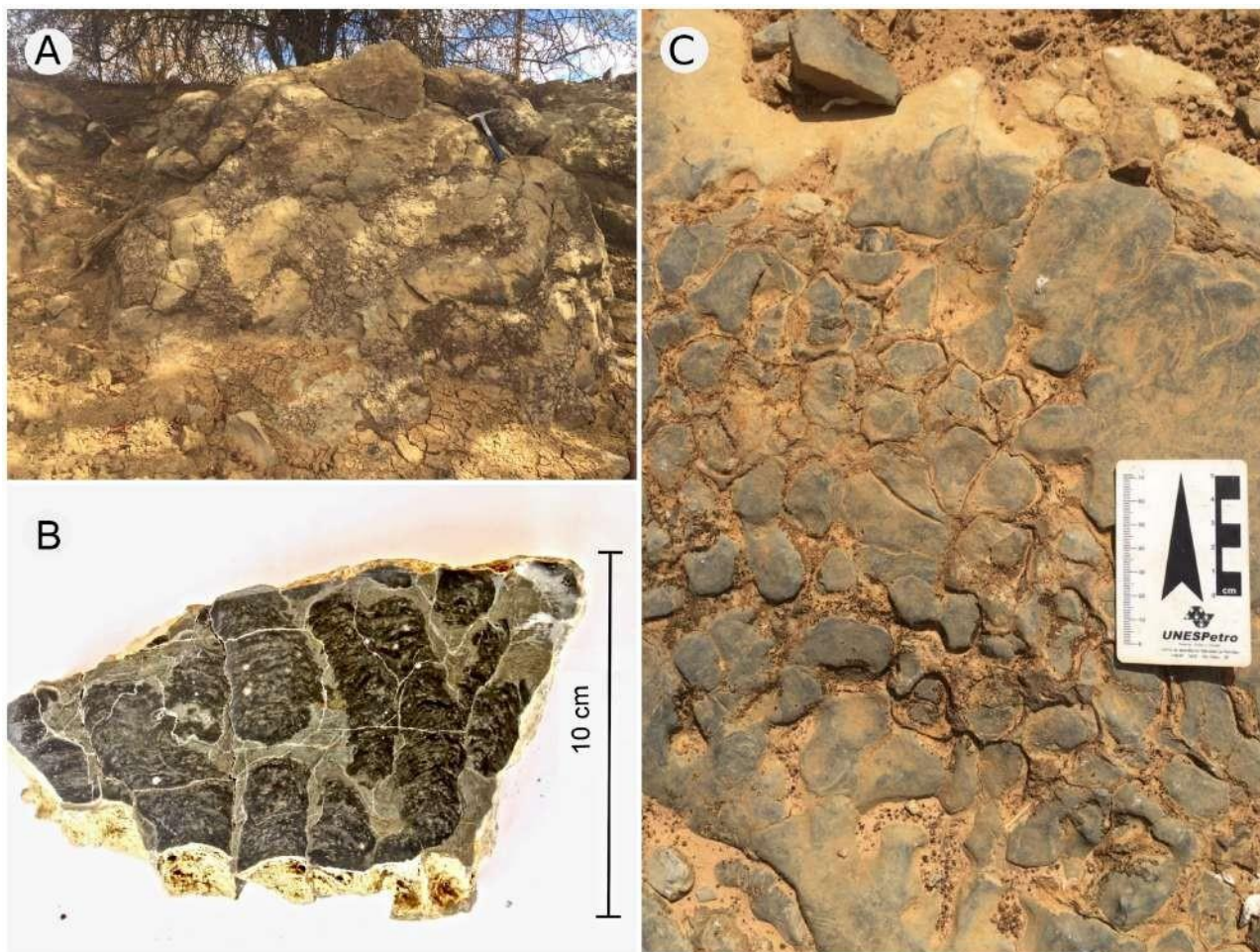


**Figure 4.** A)- A roughly 2-meter-tall carbonate wall composed of alternating strata with different stromatolitic morphologies. At the very base of the sequence there is a predominance of laminites or low synoptic relief stromatolites which vertically give space to columnar-layered forms. B and C)- Close-up view of a single columnar-layered form and its respective digital drawing. Structure starts as a single column with turbinate growth, transitioning to a laminite, with low synoptic relief connecting with adjacent laminae and returning to the columnar morphology again at the very top, in a complex microbialitic system.



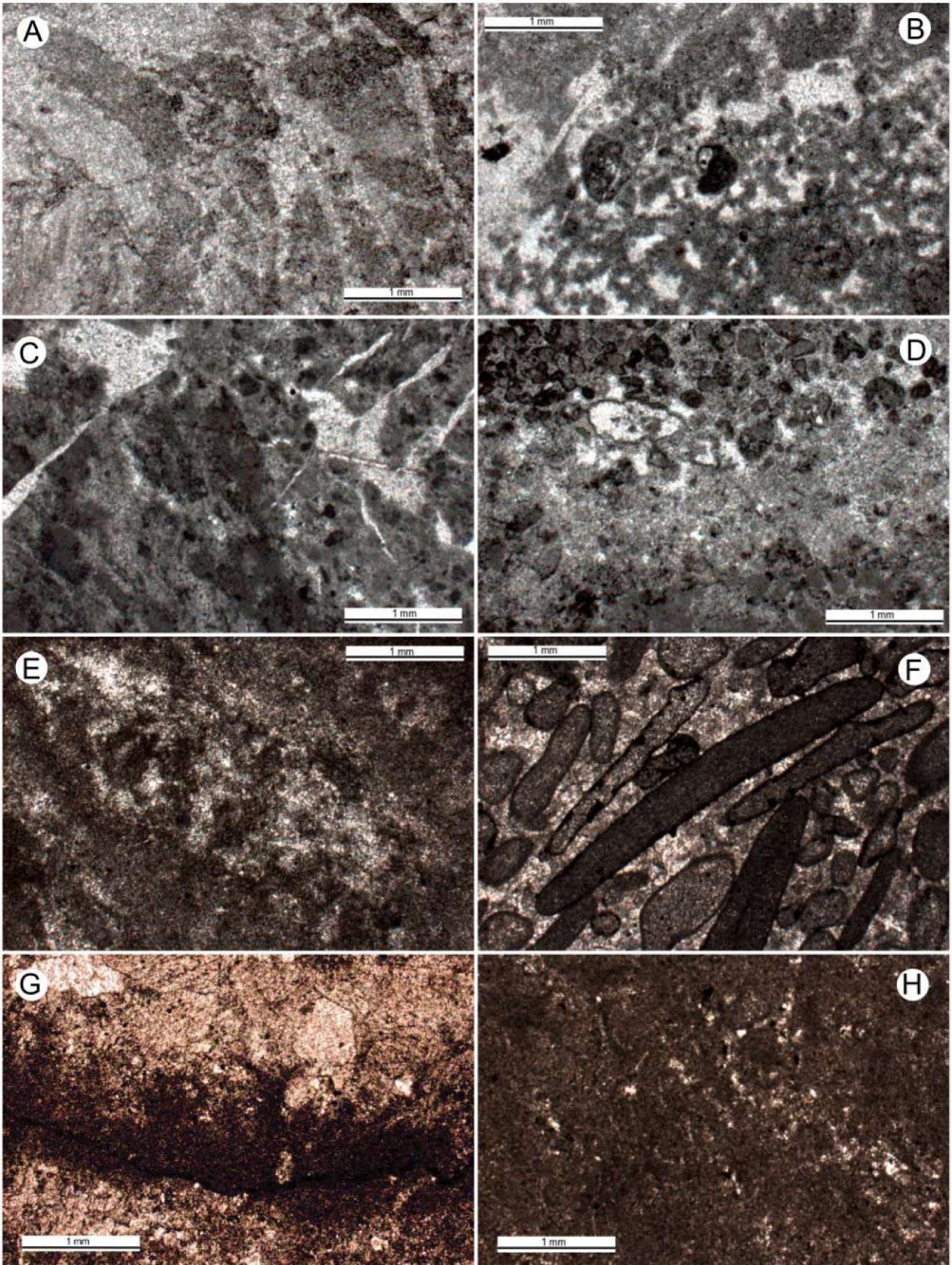


**Figure 5.** A and B)- Columnar stromatolites found at the São João da Ponte site. Drawing enables the observation of uniform columns with sinuous growth vectors and alpha, beta and parallel branching patterns. Column with vertically increasing width is also present. C and D)- Large, meter-long stromatolitic dome composed of light-dark alternation of rhombic-shaped and moderately convex laminae.



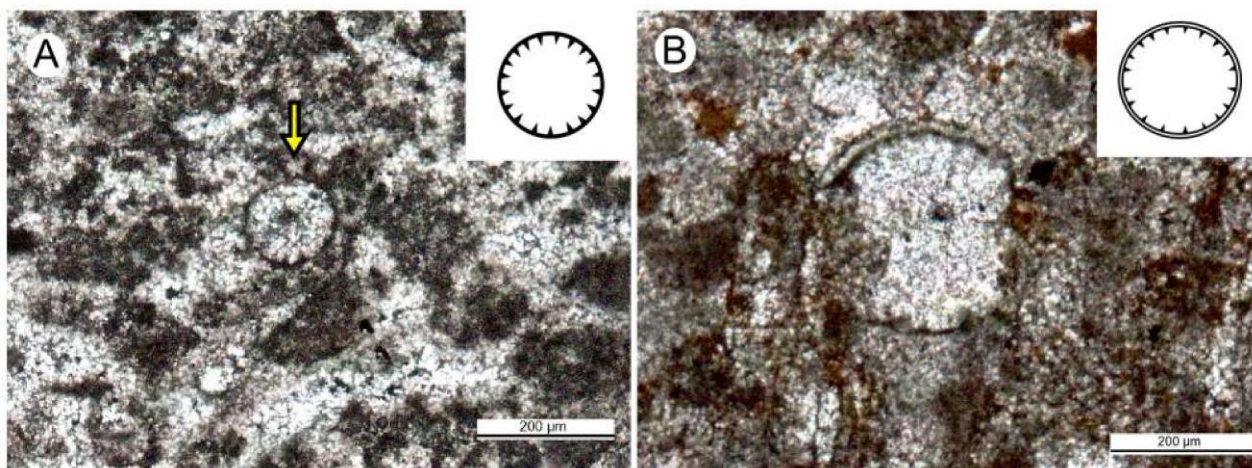
**Figure 6.** A)- Overall aspect of the domal bioherms comprised of columnar stromatolites found at the Jaíba site, first reported by Costa (2011). B)- Polished block showing proximate columns with vertical to sinuous growth vectors and tuberous aspect. Note the unevenness and low inheritance the laminae. C)- Similar stromatolites when viewed at plan view displaying their rounded, elliptical and equidimensional forms.





**Figure 7.** Photomicrographs of the main microfabrics found in the stromatolites of the Lagoa do Jacaré Formation. A)- Alternating laminae of microsparitic and dense micrite microfabrics in sample originating from the lower stromatolites of the RSF outcrop. Note that micritic horizons are often discontinuous, forming clotted surfaces. B)- Classic fenestral clotted or fenestral microclotted microfabrics composed of aggregates and clots of aphanitic micrite forming a complex network of fenestrae. This thin section comes from the upper cycle of the RSF outcrop and exemplifies the common incorporation of allochems, in this case a peloid, within the laminae. C)- Succession of irregular laminae composed of discontinuous clotted micrite and peloid-rich portions in columnar stromatolite from the Bom Despacho region in association with deep-carving fissures and fenestrae. D)- Poorly-sorted peloidal microfabrics typical of the Bom Despacho stromatolites. E)- Examples of shrub-like textures in the columnar stromatolites of Jaíba-MG. Tree-shaped structures are all oriented perpendicular to the plane of lamination and commonly branch. This example was observed on the steep side of a moderately convex lamination F)- Elongated intraclasts embedded within calcitic cements that usually compose the calcirudites found at the Jaíba site. G)- Picture showing the filamentous microfabrics observed in the domal stromatolite described here. Filaments were observed to always be oriented towards direction of accretion. F)- Example of dense micrite microfabrics with scattered fenestrae also occurring in the columnar stromatolites of São João da Ponte-MG.





**Figure 8.** Calcisphere-like fossils and found within stromatolitic laminae of the Bom Despacho region and their respective drawings (not to scale). A)- Morphotype I with its single micrite layer and radial perforations that penetrate the wall. B)- Morphotype II with a double wall composed of a micrite layer and an outer one made of uniform calcite. It also possesses the radial triangular-shaped structures seen in A.

**TABLES AND RESPECTIVE LEGENDS**

**Table 1.** List of publications which have previously identified possible stromatolite-containing outcrops belonging to the Lagoa do Jacaré Formation, along with their respective localities and whether the work herein presented confirmed its presence.

Publication	Description by the authors	Locality	Presence or absence of stromatolites
Inglesias & Uhlein (2009)	Isolated carbonate block with putative columnar stromatolite-like structure	São João da Ponte-MG	✓
Ribeiro et al. (2008)	Calcarenites with oolitic, intraclastic and stromatolitic horizons	Bom Despacho-MG	✓
Fragoso et al. (2013)	Finely-laminated, columnar stromatolites with parallel branches.	Presidente Olegário-MG	
Costa (2011)	Bioherms composed of columnar stromatolites in lateral and vertical contact with intraclastic rudites	Jaíba-MG	✓
Cunha (2012)	Dark stromatolitic limestone	Engenheiro Navarro-MG	
Kuchenbecker & Pedrosa-Soares (2013)	Calcarenites with columnar, stromatolitic		structures

Luz-  
MG

✓

---

**Table 2.** Summary of the distribution of microfabrics amongst the samples analyzed.

	Stromatolitic microfabrics					
	Dense micrite	Fenestral clotted	Peloidal	Shrub-like	Homogeneous microspar	Sparry calcite
Luz-MG; RSF outcrop columnar stromatolites	✓	✓			✓	
Bom Despacho-MG; Columnar, columnar-layered and stratiform stromatolites	✓	✓	✓		✓	
São João da Ponte-MG; Domal stromatolite	✓	✓		✓		✓
São João da Ponte-MG; Columnar stromatolite	✓	✓				
Jaíba-MG; Columnar stromatolites	✓			✓		