

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
*Instituto de Geociências e Ciências Exatas*  
**Campus de Rio Claro (SP)**

**CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DAS TUFAS CALCÁRIAS  
QUATERNÁRIAS DE OUROLÂNDIA, BAHIA.**

SÉRGIO LEANDRO VIEIRA DE TOLEDO

Orientador: Rosemarie Rohn Davies  
Co-orientador: Thomas Rich Fairchild

*Projeto de Pesquisa apresentado à Comissão do Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, campus de Rio Claro, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso no ano letivo de 2012*

Rio Claro – SP  
2012

552 Toledo, Sérgio  
T649c Caracterização preliminar das tufas calcárias quaternárias de Orolândia - Bahia / Sérgio Toledo. - Rio Claro : [s.n.], 2012  
56 f. : il., figs., tabs., quadros, fots., mapas, plant. + 60 mapa + 60 fichas de campo

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Rosemarie Rohn Davies  
Co-Orientador: Thomas Rich Fairchild

1. Petrologia. 2. Tufas calcárias. 3. Quaternárias. 4. Orolândia - BA. I. Título.

## AGRADECIMENTO

A UNESP Rio Claro, representada por docentes e funcionários, por tudo que me tem oferecido.

Ao Programa para a Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-05/Petrobrás e ao Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo – UNESPetro, representado por especialistas e funcionários que tornaram possível esta pesquisa.

*À pequena Ayumi Otsuka.*

## Resumo

São descritas tufas quaternárias na Fazenda Aurora do Município de Ouroândia (BA), numa depressão topográfica que pode corresponder a uma dolina no embasamento carbonático proterozóico. De acordo com sua macroestrutura, as tufas subdividem-se em muros, mamelões, piscinas de carófitas, incrustações maciças, havendo também blocos rolados de carófitas e de caules de vegetais arbóreos/arbustivos. Os corpos raramente ultrapassam 1 m de altura e muitos encontram-se alinhados por longos trechos, preferencialmente na direção E-W, possivelmente por controle de fraturas por onde pode ter ocorrido a surgência de águas carbonatadas. Em meso-escala, principalmente nos cortes horizontais dos muros e dos mamelões, laminações lembram estromatólitos e muitos buracos são moldes de macrófitas aquáticas (provavelmente *Typha*). Em lâminas petrográficas é comum observar filamentos de cianobactérias. Interpretações preliminares sobre a origem das tufas são apresentadas.

## Abstract

This work describes Quaternary tufas of the Aurora Farm in Ouroândia Municipality (Bahia) in a topographic depression, which may correspond to a doline formed in the carbonatic Proterozoic basement. According to their macrostructure, the tufas are divided into walls, knolls, carophyte pools, massive encrustations, in addition to erratic blocks of carophytes and molds of trees/shrubs. The tufa bodies rarely are higher than 1 m e many are aligned along great distances, rather in E-W direction, possibly controlled by fractures which were pipes for carbonated water supply. In a more detailed scale, mainly in horizontal sections of the walls and knolls, laminations are stromatolite-like and many voids represent molds of aquatic macrophytes (probably *Typha*). Cyanobacterial filaments are common in thin sections. Preliminary interpretations about the tufa deposition are presented.

## **1. INTRODUÇÃO**

Tufas calcárias são depósitos de carbonato de cálcio continentais precipitados à temperatura ambiente por combinação de processos físicos, químicos e biológicos. Possuem alta porosidade, baixos teores de terrígenos e restos orgânicos de animais e plantas, Pedley (1996), os principais depósitos estudados encontram-se na Europa, principalmente Itália, Espanha e Alemanha, na Ásia, com destaque para Japão, Austrália e China. No Brasil os principais depósitos estudados encontram-se na Serra das Araras (MT), Serra da Bodoquena(MS), Itaboraí(RJ) e Campo Formoso(BA).

Recentemente foi encontrada uma nova ocorrência de tufas calcárias em Ouroândia (BA), na Fazenda Aurora, descoberta atribuída a Bley B. Brito Neves, com a colaboração de Paulo César Boggiani e Thomas R. Fairchild do Instituto de Geociências da USP. Este depósito representa um importante achado por suas estruturas e formas pouco estudadas.

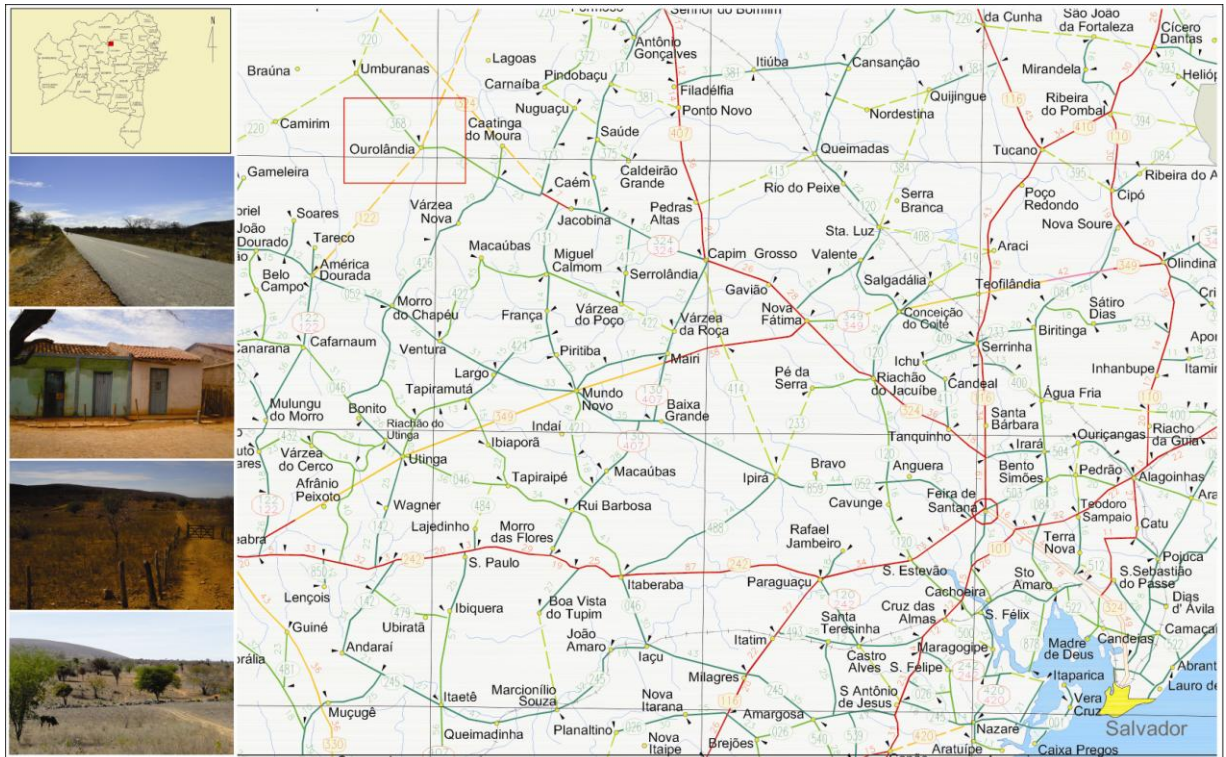
## **2. OBJETIVO**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso objetiva a caracterização macro, meso e microscópica dos principais morfotipos de tufas da Fazenda Aurora, bem como discutir, em caráter preliminar, os possíveis processos de gênese de tais depósitos. Para tanto, foram realizados trabalhos de campo para análise, mapeamento e coleta de amostras, e trabalhos de laboratório que consistiram principalmente na realização de cortes nas amostras, documentação fotográfica e análise de lâminas petrográficas.

O PRH-05 (Convênio ANP-Petrobras-UNESP) está financiando a presente pesquisa através de bolsa de Iniciação Científica e pagamento das despesas do trabalho de campo. O UNESPetro oferece apoio através de docentes, espaço físico e equipamentos óticos para a análise das amostras.

### 3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

A área de estudo localiza-se a 450 km da capital Salvador, no Município de Ouroilândia, no centro-norte do Estado da Bahia (coordenadas: 10°48'32"S, 41°13'07"W). O clima predominante segundo Cristalli (2006) é árido, caracterizado por precipitação média entre 300 e 500 mm por ano, com temperaturas entre 21 e 27°C. As chuvas se concentram nos meses de janeiro a março.



*Fig. 1-Mapa de principais vias de acesso de Salvador (BA) à Ouroilândia (BA), DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte). a) Mapa dos municípios da Bahia, com destaque para Ouroilândia. (BA). b) BR-324, trecho Ouroilândia-Umburanas. c) Aurora. d) e e) Fazenda Aurora.*

## 4. TUFAS CALCÁRIAS: BREVE REVISÃO

Tufas calcárias, juntamente com travertinos e espeleotemas, representam importantes depósitos carbonáticos continentais. Diferem dos travertinos por não ter sua gênese dependente de águas termais e dos espeleotemas por terem obrigatoriamente bactérias fotossintetizantes relacionadas à nucleação de carbonato.

A nomenclatura para carbonatos continentais ainda é fonte de controvérsias na comunidade internacional, porém desde o trabalho de Ford e Pedley (1996) há certo consenso para a aplicação do termo “tufa”, derivado do latim *tophus*, a carbonatos de água doce, formados a temperatura ambiente, que apresentam alta porosidade, baixos teores de terrígenos e restos orgânicos de animais, plantas e bactérias.

O termo travertino deriva-se de *lapis tiburtinus*, antigo nome da cidade italiana de Tivoli, e designa carbonatos que se formam a partir de águas termais, com temperaturas superiores a 40 ° C sem influência direta de organismos (Ford e Pedley, 1996).

O termo espeleotema utilizado no Brasil engloba uma infinidade de formas geradas na zona afótica de cavernas através de processos físico-químicos de nucleação e precipitação de carbonato de cálcio. Em sua gênese não há influência de atividades biológicas.

No mundo, os principais depósitos relatados de tufa encontram-se na Europa e Ásia. No Brasil os trabalhos relacionados ao tema enfocam regiões de Corumbá, no estado do Mato Grosso (ALMEIDA, 1965; BOGGIANI, 1995 e COIMBRA, 1995, OLIVEIRA, 2009), Campo Formoso, na Bahia (CRISTALLI, 2006; CRISTALLI et al., 2007), Itaboraí, no Rio de Janeiro (SANT’ANNA et al., 2004) e ocorrências nos estados da Paraíba e Ceará (DUARTE et al., 1980)

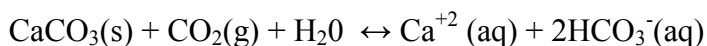
### 4.1. Princípios básicos para a formação de tufas

A gênese das tufas calcárias envolve a combinação de processos biológicos, físicos e químicos. Para a compreensão simplificada dos processos geradores de tais depósitos, deve-se primeiramente considerar a fonte inicial de carbonato de cálcio, bem como os mecanismos responsáveis por sua dissolução, transporte e precipitação (Turner & Jones, 2005; Dupraz et al., 2009; Oliveira, 2009; Vásquez-Urbes et al., 2010).



#### 4.1.1 DISSOLUÇÃO E TRANSPORTE

Para o início da etapa de dissolução, o sistema deve possuir idealmente fontes de carbonato com alta pureza, abundância hídrica, altos teores de CO<sub>2</sub>(g) e baixos valores de pH (Oliveira, 2009). A combinação desses fatores faz com que haja a dissolução do carbonato, segundo a seguinte equação:

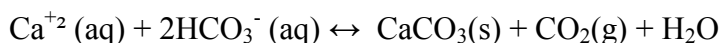


O transporte dos íons depende da disponibilidade de água e das características do relevo da região. O transporte dos íons é interrompido quando o equilíbrio do sistema é perturbado (Oliveira, 2009).

#### 4.1.2. PRECIPITAÇÃO

A precipitação de carbonato em áreas continentais está relacionada diretamente à instabilidade que a perda de CO<sub>2</sub> gera no sistema. Idealmente é necessário que, além da perda de CO<sub>2</sub>, as temperaturas estejam entre 10 e 30°C e o pH seja básico (Oliveira, 2009). A perda de CO<sub>2</sub> das águas carbonatadas é provocada por processos físicos e biológicos.

A degaseificação mecânica do CO<sub>2</sub> ocorre com maior intensidade em áreas de fluxo turbulento (como em canais fluviais) segundo a equação (Oliveira, 2009):



Vázquez-Urbes et al. (2010) mediram a taxa de precipitação de tufas em um rio da Espanha. Os resultados exibidos em forma de gráfico mostraram que velocidades de fluxo da ordem de 50 cm/s (=1,8 km/h) a 200 cm/s (7,2 km/h) próximo às margens do canal resultariam na precipitação respectivamente de ~2 a 17 mm de carbonato por ano.

A precipitação de carbonato de cálcio por organismos é bem mais complexa, tendo sido discutida recentemente em diversos trabalhos. Por exemplo, Kufel & Kufel (2002) mencionaram que as algas carófitas vivem preferencialmente em águas alcalinas com altas concentrações de Ca<sup>2+</sup>, onde usam o bicarbonato como fonte de carbono para suas atividades metabólicas, o que pode elevar o pH da água e causar a precipitação de carbonato de cálcio.

Dupraz et al. (2009) propuseram o termo “organomineralização” para os dois tipos de mineralização controlados por comunidades microbiais, tanto a precipitação de carbonatos biologicamente influenciada, quanto a induzida por organismos. A precipitação é considerada “influenciada” quando depende do ambiente (ex.: degaseificação de CO<sub>2</sub>, evaporação), mas a mineralização passiva da matéria orgânica influencia a morfologia e a composição dos

cristais. A precipitação é induzida especialmente no caso de procariontes, quando as atividades metabólicas microbianas induzem condições para a precipitação, influenciando a morfologia dos cristais e a composição.

Cianobactérias, bactérias e microalgas, geralmente em comunidades bentônicas, produzem EPS, abreviação de “extracellular polymeric substances”, que é um gel composto por diversos grupos ácidos (Turner & Jones, 2005; Dupraz et al., 2009). Este gel, em condições alcalinas, promove a nucleação do carbonato de cálcio por estar carregado negativamente atraindo o  $\text{Ca}^{2+}$  em solução. Este íon, por sua vez, atrai o  $\text{CO}_3^{2-}$ , formando a calcita (inicialmente com hábito dendrítico).

Turner & Jones (2005) constataram que o padrão de cristalização da calcita no EPS de cianobactérias também ocorre em musgos aquáticos, considerando a possibilidade de que o EPS disponível no meio possa ser aderido à superfície dos musgos, além do fato de eles viverem às margens do corpo d'água, na zona de espraiamento, onde a desgaseificação é mais intensa. Por outro lado, vegetais superiores como gramíneas não permitiriam a aderência de EPS porque apresentariam cutícula cerosa, não se formando crostas de calcita dendrítica. Ainda assim, tufas com vegetais superiores (folhas, caules) são comuns (vide Pedley, 1990; Dupraz et al., 2009). Não puderam ser encontradas explicações detalhadas na literatura sobre os processos de nucleação da calcita sobre folhas e caules, exceto comentários sobre a influência da desgaseificação de  $\text{CO}_2$  em condições de mais alta energia, como em canais fluviais com cascatas e outras quedas d'água (Vázquez-Urbes et al., 2010).

## **4.2. Laminação**

As tufas apresentam frequentes laminações cíclicas entre delgadas camadas de carbonato maciço e espessas camadas de carbonato poroso. Há forte influência do clima em tal ciclicidade, sobretudo pela diferença da intensidade das atividades biológicas nas diferentes estações do ano conforme a disponibilidade de luz e calor, e também pela taxa de dissolução e de saturação de íons de cálcio no sistema, variando conforme a disponibilidade hídrica. Os estudos realizados sobre o tema na literatura internacional, principalmente em climas temperados, devem ser analisados com uma ótica diferente para os modelos de formação de laminações cíclicas em climas tropicais, já que o clima nesta região não apresenta oscilações tão intensas como as encontradas em países de clima temperado.

### **4.3. Histórico dos Estudos**

A evolução do conhecimento sobre tufas dá-se desde meados do século retrasado, com relatos de ocorrência de depósitos na Europa através dos trabalhos de Cohn (1862), porém foi a partir da década de 1960 que o tema passou a ser mais intensamente investigado, principalmente após a constatação da forte influencia biológica nos processos genéticos das tufas calcárias. São desta década os primeiros trabalhos com abordagem petrográfica e química sobre o tema (Irion et al., 1968), que também propuseram uma classificação para as tufas baseada no conteúdo biológico e associações algas. No final da década seguinte, Buccino et al. (1978) enfocaram seus trabalhos em aspectos geológicos, geomorfológicos, sedimentológicos, petrográficos, geoquímicos e isotópicos ao estudar tufas calcárias do Vale do Rio Tanagro, Itália.

Na década de 1980 foram propostas classificações para as tufas calcárias através dos trabalhos de Del Cura (1983) na Espanha e Brancaccio et al. (1986) na Itália, destacando-se também o trabalho de D'Argenio (1986) na Itália.

Em 1990 foi proposta por Pedley (1990) uma classificação mais abrangente, envolvendo aspectos considerados anteriormente com acréscimo de considerações sobre o conteúdo biogênico e o ambiente de formação, combinados com a classificação de carbonatos proposta por Dunham (1962). Em 1996, Ford e Pedley (1996) complementaram a classificação anterior ao distinguir ambientes com diferentes climas e apresentar uma síntese dos principais depósitos mundiais.

A partir de meados da década de 1990, trabalhos começaram a ser realizados fora do âmbito dos climas temperados da Europa e América do Norte, como na Austrália (Carthew et al. 2003 e Carthew et al 2006). Outros trabalhos importantes mais recentes são de Ordoñez (2005) na Espanha, Pentecost (2005) na Inglaterra e Kano (2003) no Japão.

A produção nacional ainda é modesta, com destaque para os estudos na Serra das Araras - MT (Corrêa, 2006) e Serra da Bodoquena - MS (Boggiani, 2007; Oliveira, 2009), onde há sistemas ativos de formação de tufas calcárias. Outros exemplos são: Campo Formoso - BA (Cristalli, 2006), Itaboaraí – RJ (Sant'Anna, 2004), Paraíba e Ceará (Duarte, 1980).

### **4.4. Principais Propostas de Classificação**

Oliveira (2009) realizou um levantamento das principais classificações de tufas,

sintetizadas a seguir. As primeiras classificações propostas para tufas calcárias levaram em conta aspectos específicos, e não consideraram a interdisciplinaridade do tema. A primeira classificação proposta por Irion (1968) utilizou-se do conteúdo biológico das tufas como critério de classificação (Quadro 1).

Tufas Algais	Tufas de Musgo	Sinter Calcário
Cyanophyceae	Representa grande parte das tufas recentes e inclui as espécies <i>Eucladium verticillatum</i> e <i>Bryum verticium</i>	Representa incrustações de calcita sem influência biológica
Xanthophyceae		
Chlorophyceae		
Rhodophyceae		

Quadro 1: Classificação de tufas de Irion (1968) conforme tradução de Oliveira (2009).

A classificação proposta por Buccino et al. (1978) ampliou os horizontes de classificação ao incorporar a influência do ambiente na sedimentação da tufas, distinguindo processos de sedimentação *in situ* de processos de sedimentação livre, com ênfase para distinção de elementos autóctones e alóctones nas tufas. Nessa classificação, apresentada no Quadro 2, o termo travertino ainda abrangia as tufas.

Travertino estromatolítico e Travertino fitohermal	Travertino fitoclástico e Areia calcária
Derivado de incrustações <i>in situ</i> sobre suporte vegetal	Derivados de areia calcária e fragmentos de vegetais incrustados

Quadro 2: Classificação de tufas de Buccino et al. (1978) conforme tradução de Oliveira (2009), esclarecendo-se que as tufas eram consideradas como um tipo de travertino.

A classificação com ênfase na gênese foi primeiramente proposta por Ordoñez e Garcia Del Cura (1983), levando em conta a energia do sistema no processo de sedimentação das tufas (Quadro 3). Dessa forma a classificação foi baseada em função dos mecanismos de liberação de CO<sub>2</sub>(g). A presença de vegetação passou a ser considerada como suporte para a deposição de carbonato e como mecanismo de desgaseificação.

Suporte de colonização	<p>Mecanismo de desgasificação</p> <p>Biológico ←———— Energia —————→ Agitação</p> <p>Baixa ←———— Alta</p>		
Plantas vivas Fundo do canal Objetos erráticos	<p>Fácies de tubos verticais e cruzados</p> <p>Tufas musgo e planar</p> <p>Estromatólitos mamelonares</p> <p>Oncólitos</p> <p>Ooids</p>		Carbonatos fluviais detríticos
	<p>Alta densidade ←———— Baixa densidade</p> <p>colonização</p>		
	Carbonato biogênicos		Carbonatos Bioclásticos

Quadro 3: Classificação de tufas de Ordoñez e Garcia Del Cura (1983) conforme tradução de Oliveira (2009).

Em 1986, Brancaccio et al. (1986) elaboraram uma proposta de classificação (Quadro 4), levando em conta a classificação de carbonatos de Dunham (1962). Nela foram mantidos os conceitos de componentes autóctones e alóctones proposta por Buccino (1978).

Travertino detrítico (Transporte limitado ou inexistente)				Travertino Autóctone (incrustação <i>in situ</i> )											
Menos de 10% de grãos fitoclasticos >2 mm		Menos de 10% de grãos fitoclasticos >2 mm													
Com matriz de areia calcária ≥ 2 mm		Sem matriz de areia calcária		Matriz suportado > 10% < 50%	Clasto suportado	Cianofitas Forma lâminas	Micrófitas Forma estruturas micro-tabular orientadas	Micrófitas e macrófitas Forma estruturas rígidas							
Matriz suportado		Clastos suportados													
Matriz calcária ≥50%		Matriz calcária < 50% > 10%													
Fitoclastos <10% >10%		Calcarenito Fitoclastico	Travertino (Grainstone) Fitoclastico	Calciorudito Fito-clastico	Travertino Fitoclastico (Rudito)	Travertino Estromato-lítico	Travertino Micro-hermal	Travertino Fitoermal	Travertino Boundstone						
Areia Calcária	Areia Fitoclastica														
Areia Travertinosa															

Quadro 4: Classificação de tufas (incluídas em travertinos) de Brancaccio et al. (1986) conforme tradução de Oliveira (2009).

Na década de 1990, Pedley (1990) apresentou uma proposta de classificação que leva em consideração, além das características petrográficas e do conteúdo vegetal, o ambiente de formação das tufas (Quadro 5 e 6)

Depósitos Autoctones		Depósitos Clásticos	
Tufa Fitoermal	Framestone	Tufa Fitoclástica	
		Tufa Cyanólita 'oncoidal'	
		Tufa intraclástica	
	Boundstone	Tufa Microdetritica	Tufa Micrítica
			Tufa Peloidal
		Paleossolos tufáceos	

Quadro 5: Classificação de tufas de Pedley (1990) conforme tradução de Oliveira (2009).

Ambiente	Sub - ambiente
Vertente	Depósito Proximais
	Depósitos Distais
Cachoeira	
Fluvial	Entrelaçado
	Barragem
Lacustre	
Paludal	

Quadro 6: Ambientes de formação de tufas conforme Pedley (1990).

Ford e Pedley (1996) complementaram e integraram as classificações anteriores, acrescentando os tipos de organismos presentes nas tufas, os ambientes de formação e caracterizações petrográficas e sedimentológicas (Quadro 6).

Alóctone		Autóctone
Tufa Microdetrítica	Tufa macrodetrítica	
Matriz suportado		Clasto suportado
Tufa Micrítica	Tufa Oncoidal e Cyanólita	
Tufa Peloidal	Tufa Intraclástica	
Tufa Sapropelítica (rica em restos orgânicos)	Tufa Fitoclástica	
Tufa Litoclástica (rica em restos inorgânicos)	Tufa Litoclástica	
<i>Mudstone</i>	<i>Wacke/Packstone</i> <i>Grainstone</i>	<i>Boundstone</i>

*Quadro 7: Classificação de tufas de Ford e Pedley (1996) conforme tradução de Oliveira (2009).*

Nas propostas apresentadas até o momento, fontes de águas carbonatadas relacionadas a fraturas no substrato mereceram pouquíssimas citações, ressalta-se, entretanto que as tufas calcárias da Fazenda Aurora provavelmente tiveram sua gênese condicionadas a fraturas do embasamento. Sendo assim, nenhuma das classificações anteriores é perfeitamente satisfatória para as tufas estudadas.

## 5. GEOLOGIA REGIONAL

A primeira citação sobre a ocorrência de tufas calcárias na região de Ourolândia remete a Branner, (1911), citando as tufas e calcretes da margem do rio Salitre, leste da área estudada. Deve-se a Brito-Neves et al. (2012) o primeiro relato da ocorrência de tufas calcárias as margens da BR-324, no trecho Ourolândia – Umburanas. As tufas dessa ocorrência sobrepõem rochas carbonáticas proterozóicas da porção norte do Cráton São Francisco (Fig. 2), conforme a concepção original de Almeida (1977, 1981).

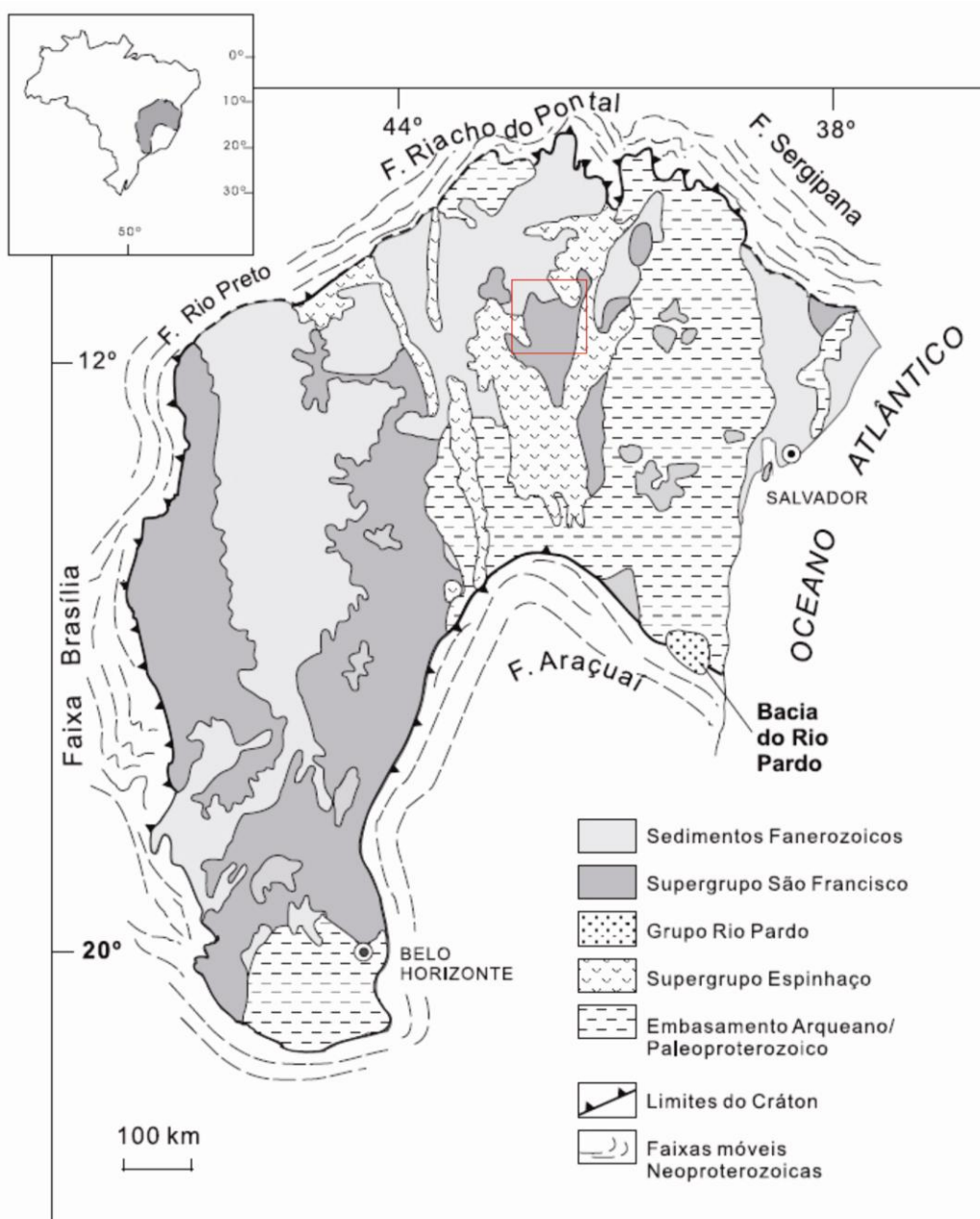
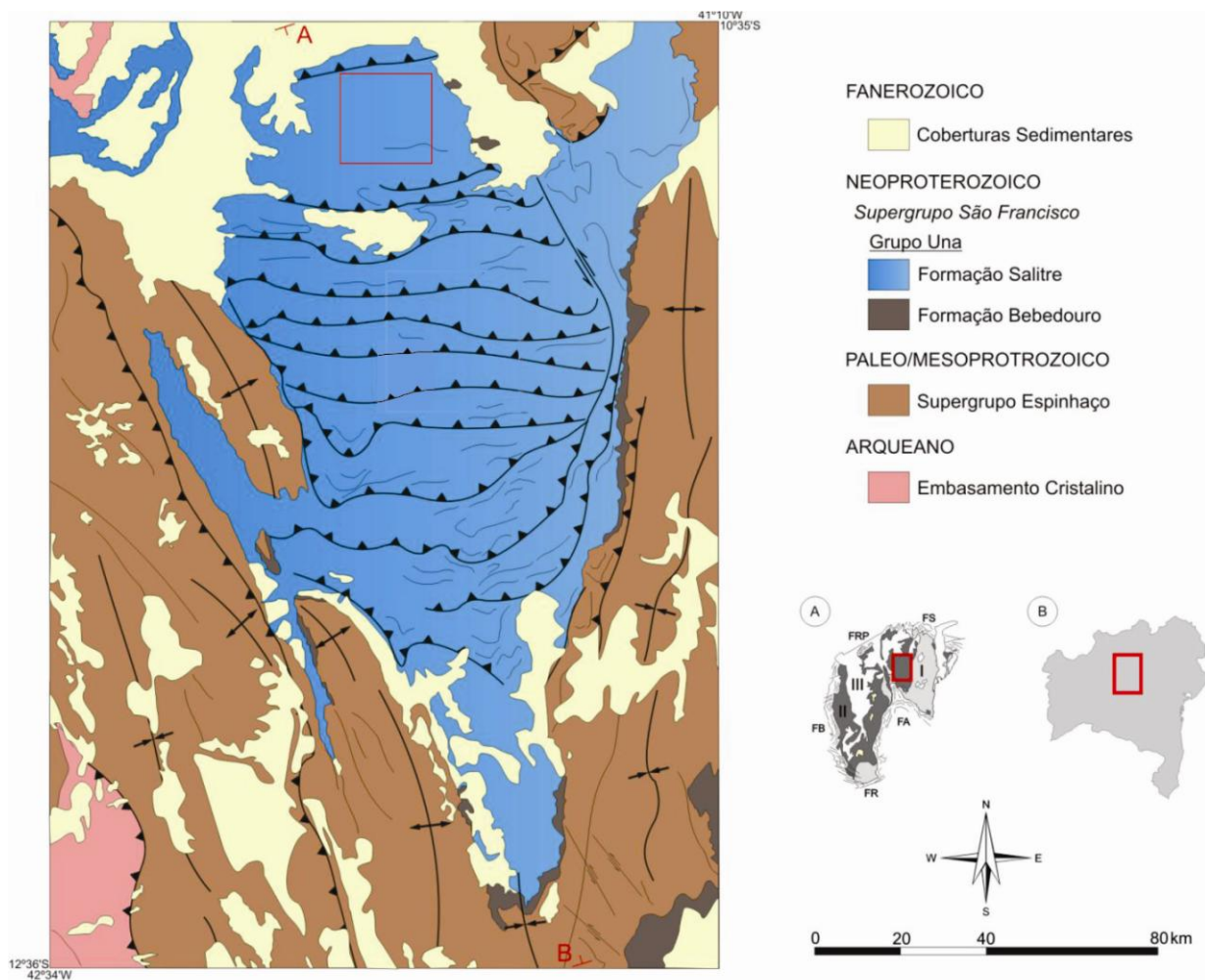


Fig. 2- Mapa geológico do Cráton São Francisco (Egydio-Silva et al., 2011). Retângulo vermelho indica posição aproximada da Figura (3).



Em escala regional, a área de estudos encontra-se na porção denominada Bacia do Irecê, na faixa aflorante das rochas carbonáticas da Formação Salitre, Grupo Una, Supergrupo São Francisco (Alkmim & Martins-Neto, 2001). Segundo Kuchenbecker et al. (2011), o padrão de estruturação regional da Formação Salitre ao sul da área estudada é representado por um intenso sistema de falhas de empurrão com direção aproximada EW e vergência para S (Fig. 3). Na área estudada, Brito-Neves et al. (2011) e Kuchenbecker et al. (2011) consideraram que as camadas da Formação Salitre são praticamente horizontais (figuras 4-6).



*Fig. 3 – Mapa geológico do centro-norte da Bahia conforme Kuchenbecker et al. (2011). O retângulo no mapa indica a localização aproximada da Figura (4).*

Nas proximidades da área de estudos, segundo Brito-Neves et al. (2011), encontram-se calcilitos e calcarenitos finos, cinza a cinza escuros, bandados, com presença constante de laminitos algais e de estromatólitos colunares. Adicionalmente, se observam algumas intercalações de rochas dolomíticas e de calcários bastante escuros, finamente recristalizados.

De acordo com Brito-Neves et al. (2011), na área da Fazenda Aurora são observadas

intercalações de arenitos arcoseanos, bem estratificados, alternando-se com os calcilitos, e até mesmo com calcários estromatolíticos e arenitos calcíferos. Algumas dessas porções mais ricas em arenitos feldspáticos estão suportando em relevo os raros “altos” que se sobressaem das cotas da Superfície Velhas, (superfície de aplainamento por eventos erosivos neógenos, que na região de Umuranas e Ourolândia removeram as unidades superiores do supergrupo Espinhaço). A presença de metarenitos é fator importante para a permeabilidade da unidade, favorecendo a vazão de águas subterrâneas.

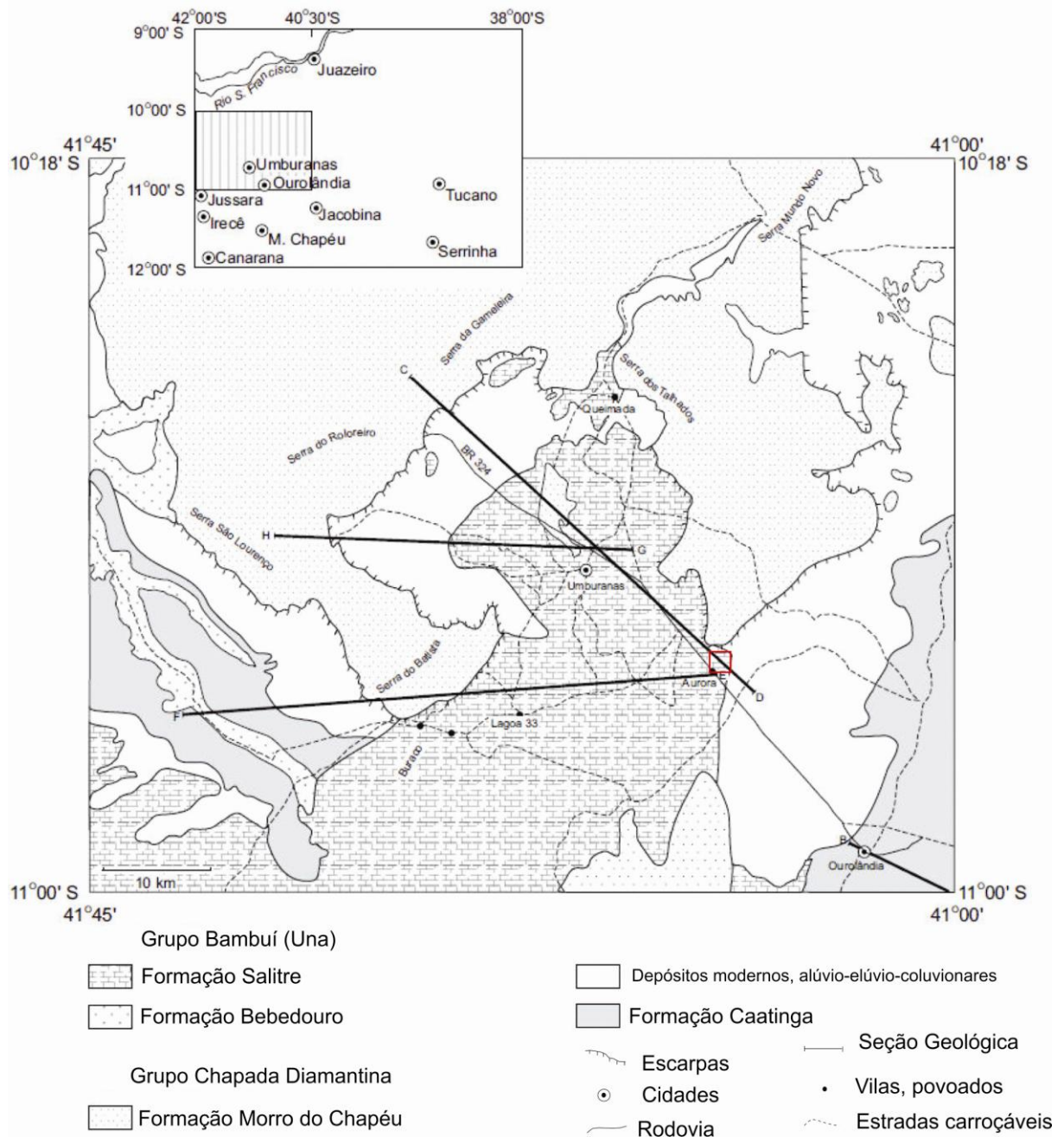


Fig. 4– Mapa geológico do centro-norte da Bahia conforme Brito-Neves et al. (2011). O retângulo no mapa indica a localização aproximada da área de estudo.

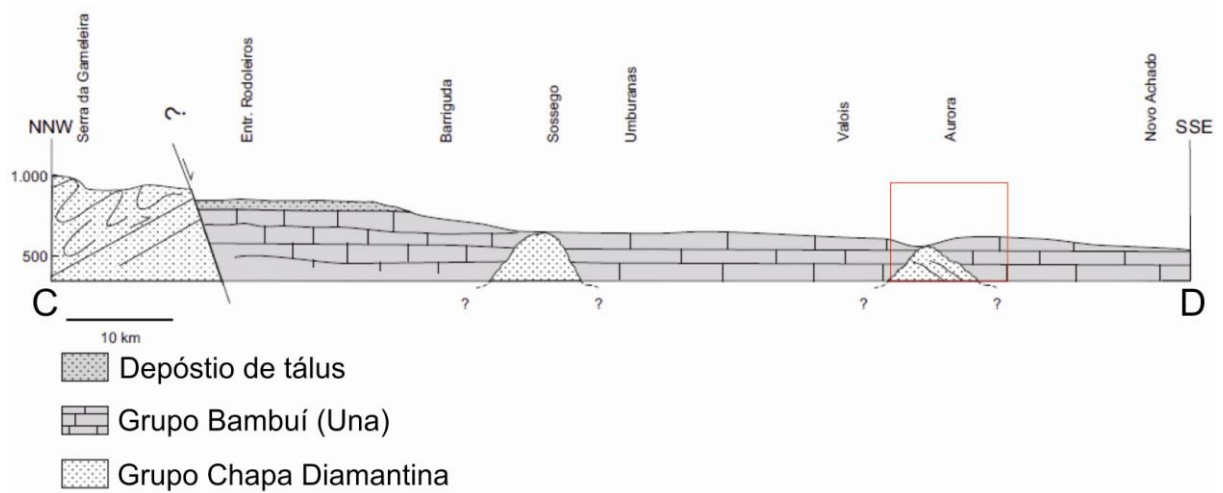


Fig. 5- Perfil geológico segundo Brito-Neves et al. (2012), cuja posição (C-D) está indicada na figura 4. Notar a atitude horizontal das camadas do Grupo Bambuí e as possíveis ocorrências do Grupo Chapada Diamantina próximo à superfície, inclusive nas proximidades da Fazenda Aurora (em destaque).

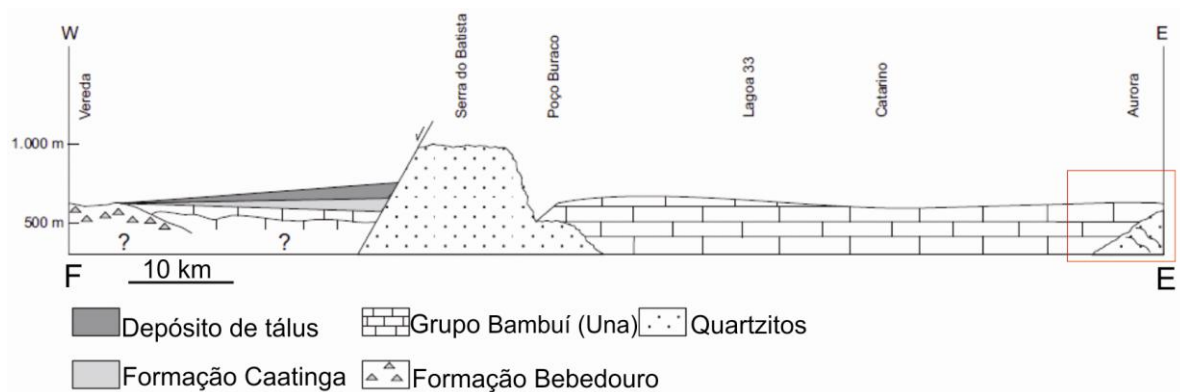


Fig. 6- Perfil geológico segundo Brito-Neves et al. (2012), cuja posição (E-F) está indicada na figura 4. Notar as possíveis ocorrências de quartzito na região da Fazenda Aurora (em destaque).

Na região de Ouroândia, nas margens nos rios Salitre e Jacaré, ocorrem calcretes litificados da Formação Caatinga, atribuídos ao Cenozoico, formados pela dissolução e reprecipitação das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. Tais calcretes são explorados e denominados comercialmente como mármore Marta Rocha e/ou Bege Bahia. Em vista dos calcretes, o Município de Ouroândia era chamado como Ouro Branco. A espessura desta unidade raramente excede 50 m e localmente, na porção basal, são encontradas brechas de calcário.

## **6. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.1. Consultas bibliográficas**

Em todas as etapas de trabalho foram levantados os principais artigos relacionados ao tema e à área de estudo, na literatura brasileira e internacional. Também foram obtidas cartas topográficas do IBGE via Internet e imagens de satélite do Google Earth da área de estudo e do entorno próximo, não apresentadas no relatório.

As pesquisas bibliográficas foram realizadas no laboratório de computação da Biblioteca da Unesp – Rio Claro, onde foram utilizados os programas Parthenon, para busca e consulta de periódicos e artigos via internet e o sistema Catedra, para o encaminhamento e empréstimo de obras do acervo de bibliotecas de outras instituições.

### **6.2. Trabalhos de Campo**

Em campo foram realizadas descrições e esquemas dos afloramentos de tufas. Nos caminhamentos, utilizou-se GPS (Garmin Etrex) e bússola, que visaram a elaboração do mapa detalhado da posição e relação espacial entre os principais corpos da área.

Foram coletadas amostras representativas de tufas e algumas amostras de estromatólitos neoproterozóicos da Formação Salitre.

Realizou-se ampla documentação fotográfica com rigorosa localização de cada ponto através do GPS.

### **6.3 Etapas de Laboratório**

Amostras coletadas anteriormente por Paulo Tibana e Dimas Dias-Brito da UNESP - Rio Claro, por Thomas Rich Fairchild da USP e por Cícero da Paixão Pereira da UFBA em maio de 2011 (no total, 23), assim como novas amostras coletadas no trabalho de campo (no total, 21) foram catalogadas com a sigla AUR seguida do número de identificação (AUR-1 a 44) e estão guardadas nas dependências do Centro de Ciências aplicadas ao Petróleo - UNESPetro.

As amostras foram cuidadosamente lavadas, evitando-se modificar sua superfície externa, para melhor visualização e entendimento das feições macroscópicas das amostras, realizaram-se diversos cortes perpendiculares e paralelos as principais feições macroscópicas, utilizando a serra diamantada e as dependências do Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP. Foi realizada a fotodocumentação das 44 amostras antes e após a confecção dos cortes.

As amostras mais representativas foram selecionadas para a confecção de lâminas delgadas no mesmo laboratório por técnicos do UNESPetro. No total, há 25 lâminas.

Para verificar a pureza do carbonato das tufas ou a presença eventual de material siliciclástico, foi realizado teste de Difração de Raio-X em 25 amostras no Laboratório de Difração de Raio – X, DPM/IGCE UNESP Rio Claro.

As análises microscópicas e fotografias foram realizadas no âmbito do UNESPetro.

#### **6.4. Critérios de Classificação**

Para a classificação considerou-se os aspectos morfológicos, macroscópicos de ocorrência em campo, critérios de similaridades de amostras de mão e lâminas delgadas, conteúdo fossilífero, organização e trama interna.

Os critérios de classificação propostos em trabalhos anteriores são discutidos nos resultados.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Caracterização geral da área

Os afloramentos das principais fácies de tufas calcárias estudadas encontram-se na Fazenda Aurora, a leste da rodovia Ourolândia-Umburanas km 88, numa ligeira depressão topográfica, com leve declive para leste, relativamente plana na porção central, com altitudes entre 638 m e 600 m no sentido oeste-leste conforme indicadas na folha topográfica (Fig. 7). A porção rebaixada divide-se em duas partes: a principal, alongada na direção leste-oeste e dimensões aproximadas de 500 m de comprimento por 100 m de largura, e uma pequena depressão secundária, próxima à rodovia, com cerca de 8 m x 20 m de área. A área deprimida principal é margeada a norte, sul e noroeste por acíves, onde há grande quantidade de matações e blocos do embasamento. Na margem sudoeste na rodovia, fora da fazenda, em posição topográfica mais elevada, também são observados alguns corpos de tufas, porém estes não foram descritos em detalhe.

As depressões topográficas na Fazenda Aurora, considerando-se o embasamento predominantemente carbonático e pelo contexto espeleológico e geomorfológico da região, podem representar dolinas. Assim, a área pode ser classificada como sendo uma úvula (duas dolinas contíguas). O nível freático é relativamente raso, encontrando-se a poucos metros da superfície, como observado numa cacimba dentro da Fazenda Aurora.

A análise dos mapas topográficos e imagens de satélite relevam que as drenagens nas adjacências da área de estudo vertem para SE, em direção ao rio Salitre.

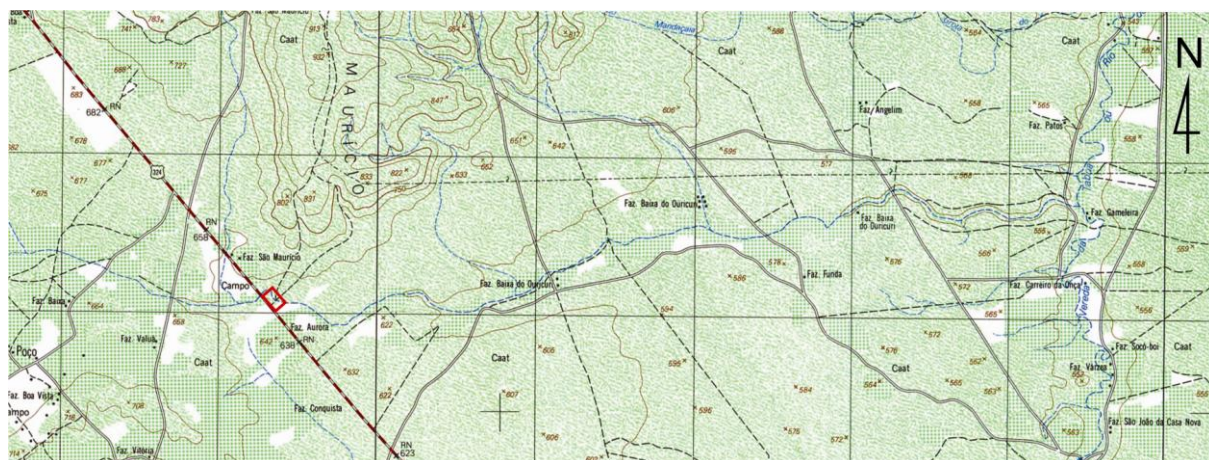


Fig. 7- Parte da folha topográfica Umburanas SC-24-Y-A-V (1:100.000), com destaque à área de estudo (coordenadas  $10^{\circ}48'32''S$ ,  $41^{\circ}13'07''W$ ).

Os afloramentos do embasamento mostram estromatólitos de morfologias e dimensões diversas (Fig. 8).



Fig. 8- Estromatólitos da Formação Salitre na Fazenda Aurora. a) corte vertical; b) em planta.

Os calcários do embasamento também incluem nódulos de sílica, estratificações do tipo *hummocky* e brechas com clastos imbricados (Fig. 9).

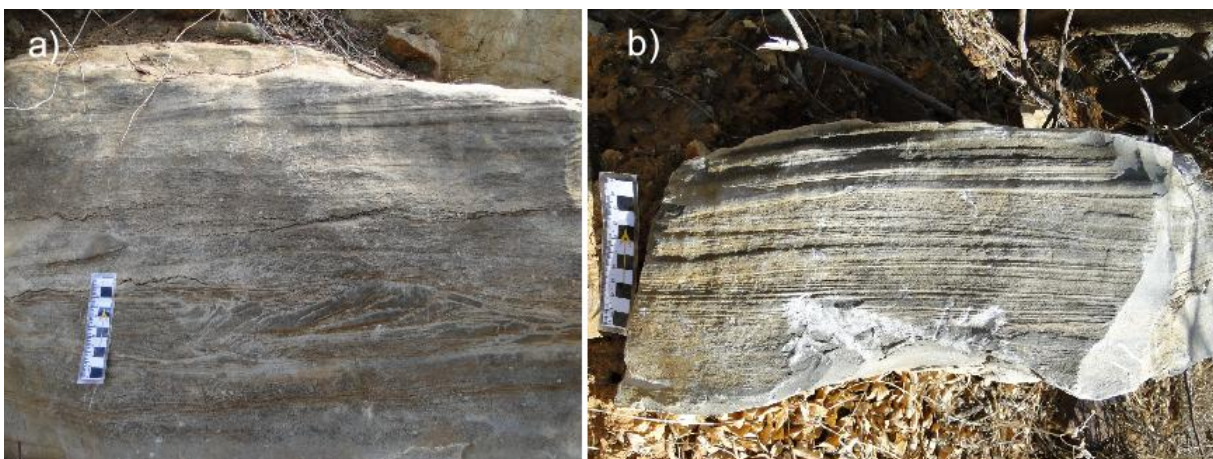


Fig. 9- Rochas carbonáticas da Formação Salitre na Fazenda Aurora. a) brecha com clastos imbricados; b) calcarenito com estratificação do tipo *hummocky*.

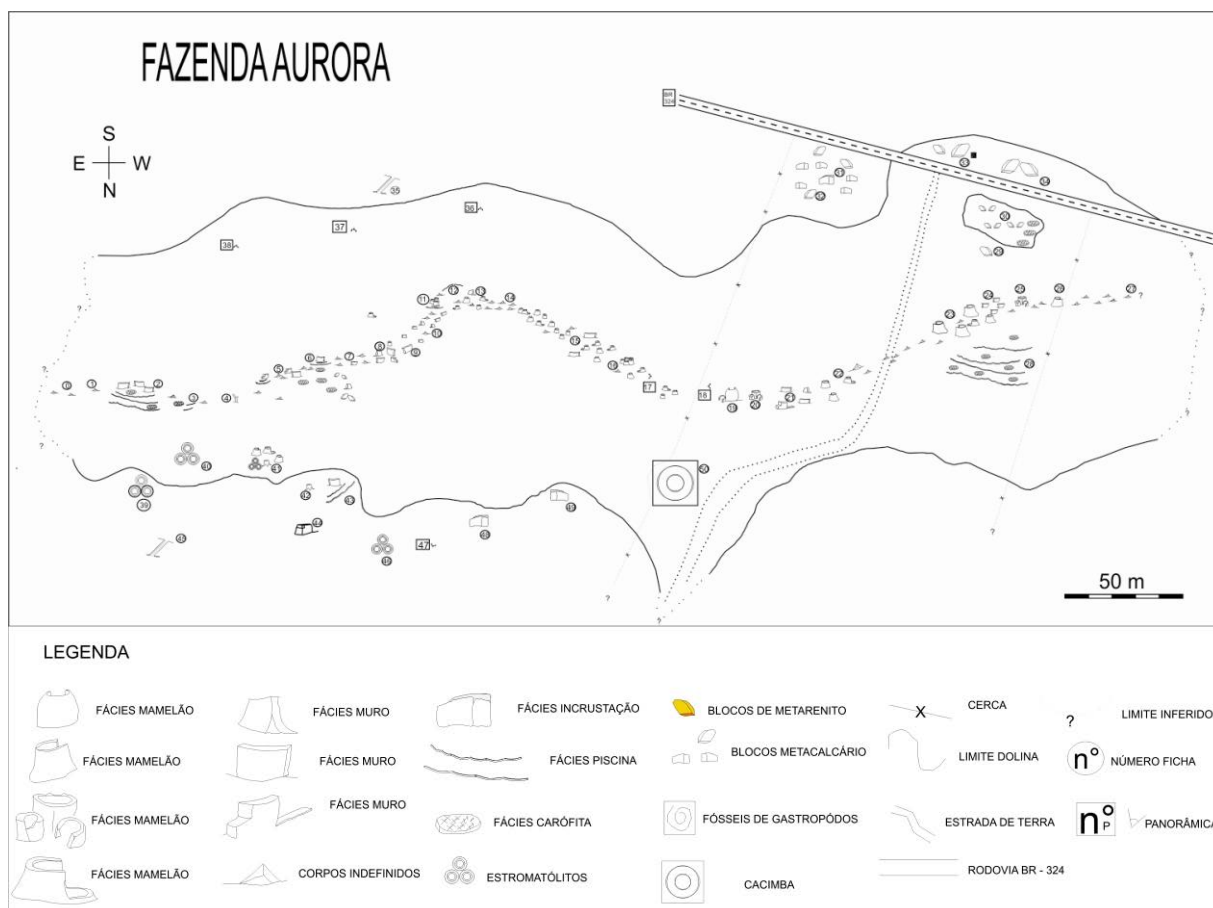
Há feições de dissolução no embasamento, como lácias e septárias (Fig. 10).



Fig. 10- Feições no embasamento carbonático proterozóico. a) septária; b) lácias.

## 7.2. Caracterização das tufas

A figura 11 é um mapa esquemático que mostra a distribuição das distintas fácies de tufas na Fazenda Aurora, melhor visualizado no Anexo 1. A numeração de afloramentos no mapa ou de pontos de fotos panorâmicas corresponde à numeração das fichas de afloramentos do Anexo 2.



*Fig. 11- Mapa esquemático da distribuição das tufas na Fazenda Aurora, melhor visualizado em Anexo 1.*



Não é possível enquadrar, de modo satisfatório, as tufas calcárias da Fazenda Aurora nas classificações estabelecidas em outros trabalhos. Dessa forma, foram discriminadas seis fácies de tufas calcárias, Tabela (1), conforme as características dos corpos em campo (aspecto externo, posição espacial, composição em análise macroscópica, incluindo os tipos de vegetais reconhecíveis), características das amostras (especialmente das seções) e das lâminas delgadas. As principais características de cada fácies são resumidas na tabela 2:

Nome Fácies	Abreviação
Fácies Muro	Fc. Mr
Fácies Mamelão	Fc. Mml
Fácies Carófitas	Fc. Crf
Fácies Piscina	Fc. Psc
Fácies Incrustação	Fc. Inc
Fácies Fácies Moldes de Caules de Vegetais Arbustivos/Arbóreos	Fc. MVg

*Tabela 1 – Abreviações das fácies carbonáticas das tufas calcárias da Fazenda Aurora*

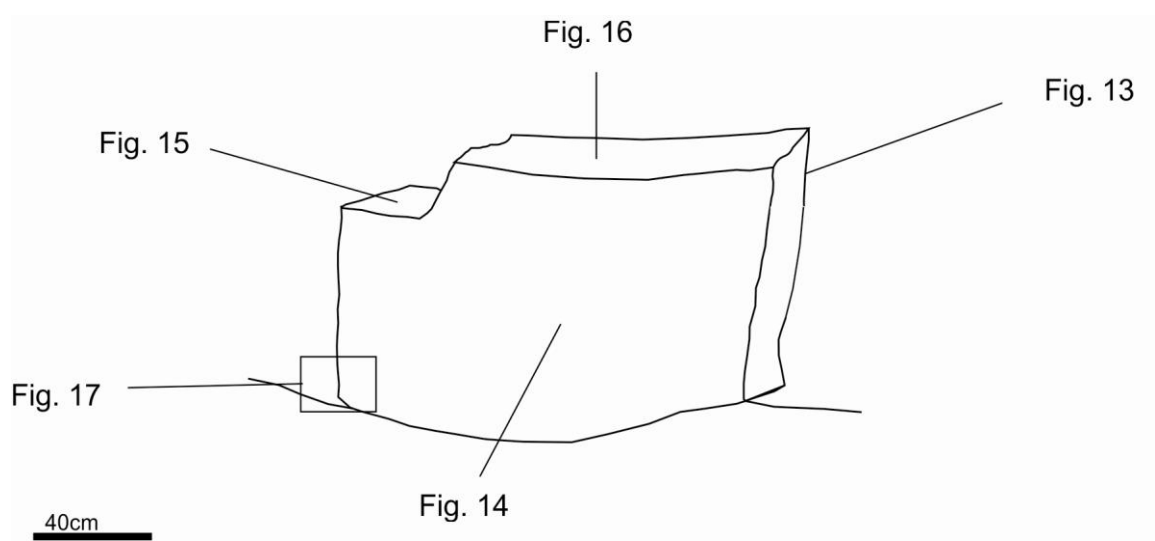
<b>Fácies</b>	<b>Moldes Vegetais</b>	<b>Clastos e grãos de quartzo</b>	<b>Formam alinhamentos</b>	<b>Baixa porosidade</b>	<b>Alta porosidade</b>	
<b>F. Mr</b>	X X		X X		X X	
<b>F. Mml</b>	X X	X	X		X X	
<b>F. Psc</b>	X	X	X	X	X	
<b>F. Crf</b>	X			X	X	X
<b>F. Inc</b>		X		X		X
<b>F. MVg</b>	X X				X X	
	Alta densidade de Filamentos	Formato circular	Formato retilíneo	Largura e comprimento > altura	Intercalação de camada densa/ porosa	Presença de carófitas

*Tabela 2: Principais características das fácies das Tufas da Fazenda Aurora. Cada coluna mostra duas características analisadas respectivamente às legendas vermelhas e pretas*

### 7.2.1. FÁCIES MURO

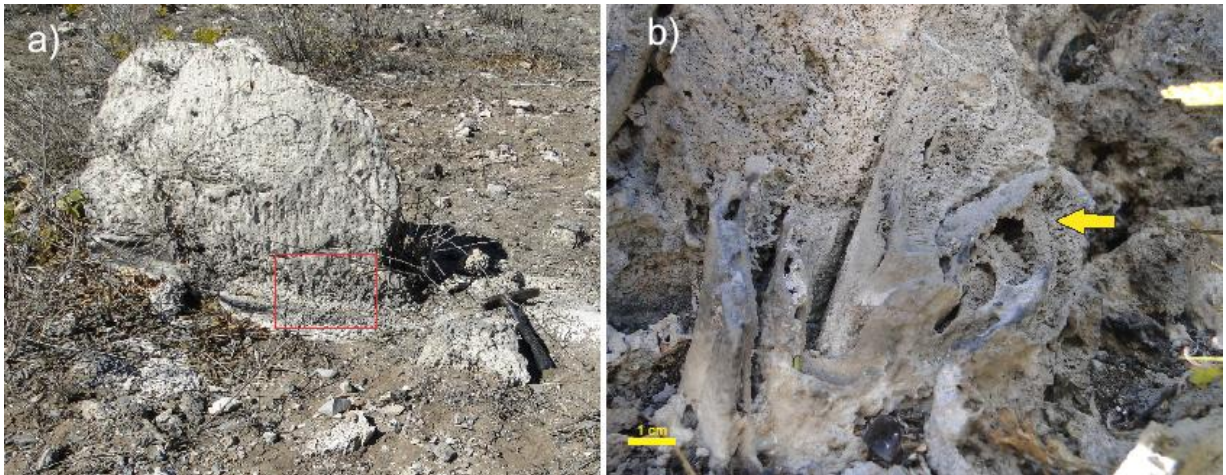
Os corpos desta fácies são relativamente retos ou levemente curvos, possuem em geral altura e largura menor do que o comprimento. A altura média é 70 cm, a espessura máxima alcança 30 cm e o comprimento possui grandes variações, não ultrapassando 4 m. Os muros ocorrem alinhados por dezenas de metros, muitas vezes paralelos entre si, formando corredores de até 2 m de largura, como pode ser visualizado em fichas do Anexo 1.

A figura 12 esclarece a morfologia geral dos muros e mostra as porções ilustradas por imagens digitais.



*Fig. 12- Esquema da morfologia típica da Fácies Muro da Fazenda Aurora, com indicação das posições das imagens digitais de detalhe.*

Em geral as faces laterais principais possuem duas características específicas: uma contém moldes de caules vegetais (possivelmente da monocotiledônea aquática *Typha*) entre a base até certa altura (Fig. 13); a face oposta apresenta feições estriadas ou enrugadas, subparalelas em toda a superfície (Fig. 14).

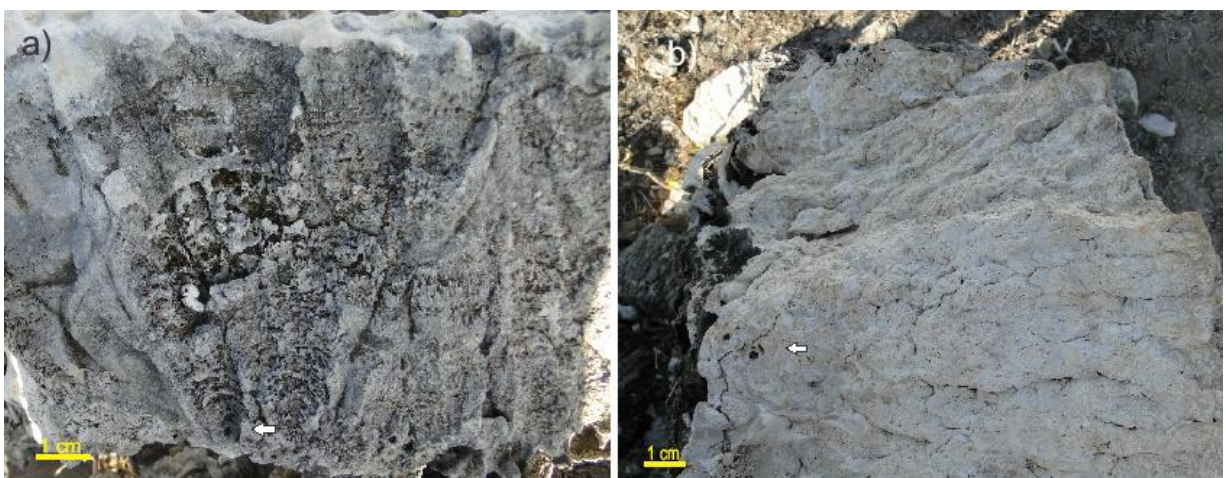


*Fig. 13- Face de um muro curvo, mostrando moldes de vegetais (provavelmente do tipo Typha) na porção inferior.*

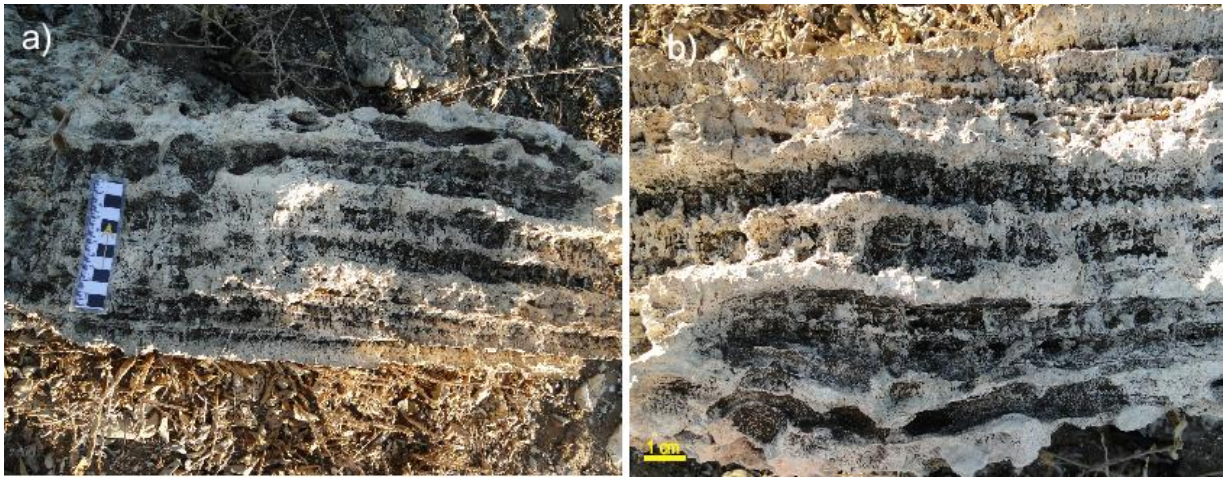


*Fig. 14- Face (voltada para o interior de um corredor) de um muro, mostrando superfície enrugada.*

A superfície superior dos muros varia entre um padrão divergente ou radial de “gomos” (Fig. 15) e um padrão de faixas aproximadamente paralelas, podendo haver um pequeno padrão radial em cada faixa (Fig. 16).

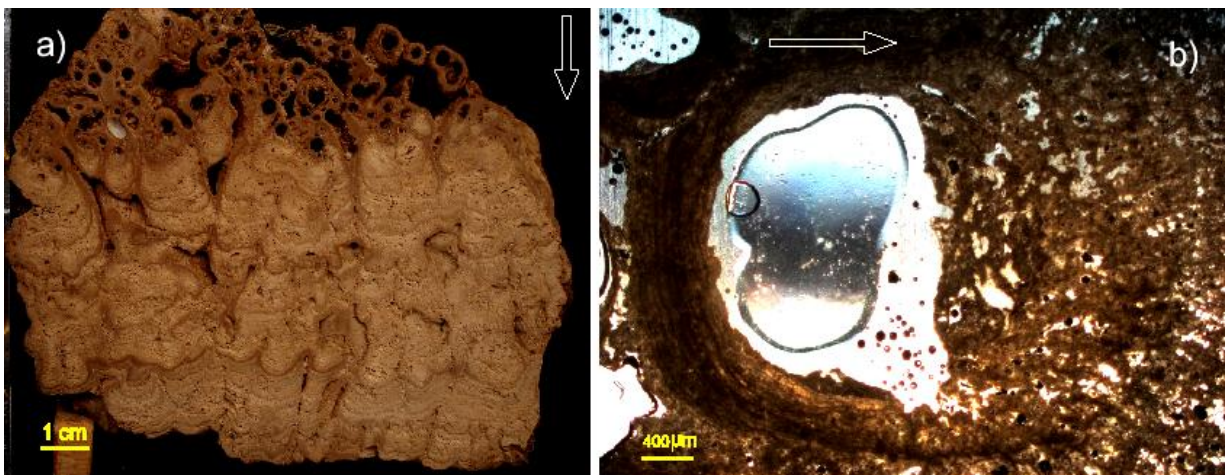


*Fig. 15- Superfície intermediária superior do muro ilustrado na figura 14, notar a diminuição da densidade dos moldes de caules indicados pelas setas.*



*Fig. 16- Superfície superior de um muro*

Outra característica importante é a mudança de estruturas e padrões observados da base para o topo dos corpos. Da base até a porção central (ou de transição), uma das faces do muro possui grande quantidade de moldes de pequenos caules (*Typha?*), enquanto que na outra se desenvolvem finas lâminas sobrepostas com aspecto estromatolítico (Fig. 17a). Em lâmina petrográfica é possível reconhecer padrão aproximadamente radial de filamentos microbiais e padrão aproximadamente concêntrico das incrustações iniciais do carbonato de cálcio em torno dos caules (*Typha?*), seguindo-se incrustações mais assimétricas (Fig. 17b).



*Fig. 17- a) Vista de corte horizontal da porção inferior de um muro, mostrando estruturas cilíndricas ocas que correspondem a moldes de caules (*Typha?*) na porção mais externa do muro; lâminas microbiais desenvolveram-se para o interior. b) Lâmina petrográfica equivalente à porção mais externa do muro com filamentos microbiais.*

Em direção ao topo dos muros observa-se nítida mudança de características, com desaparecimento dos caules e homogeneização das faces interna e externa.

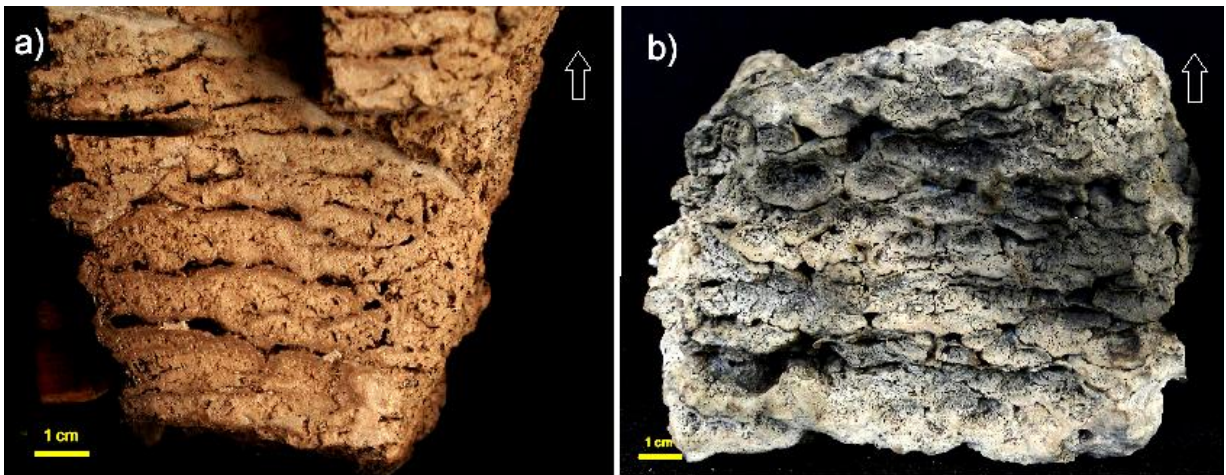


Fig. 18- Porção superior da Fácies Muro. Setas indicam topo.

### 7.2.2. FÁCIES MAMELÃO

Os corpos da Fácies Mamelão são as estruturas mais marcantes da área. Trata-se de edifícios mamelonares com altura geralmente superior ao diâmetro, o qual pode ultrapassar 1 m. A espessura média das paredes é 30 cm. Possuem paredes totalmente fechadas ou com aberturas preferencialmente apontadas para E. Não são encontrados corpos com a parte superior fechada. Em campo podem aparecer alinhados, muitas vezes de forma paralela a outros corpos da mesma fácies, ou intercalados, e/ou adjacentes a corpos da Fácies Muro e Fácies Piscinas.

A figura 19 é um esquema de mamelão, indicando as posições de imagens digitais.

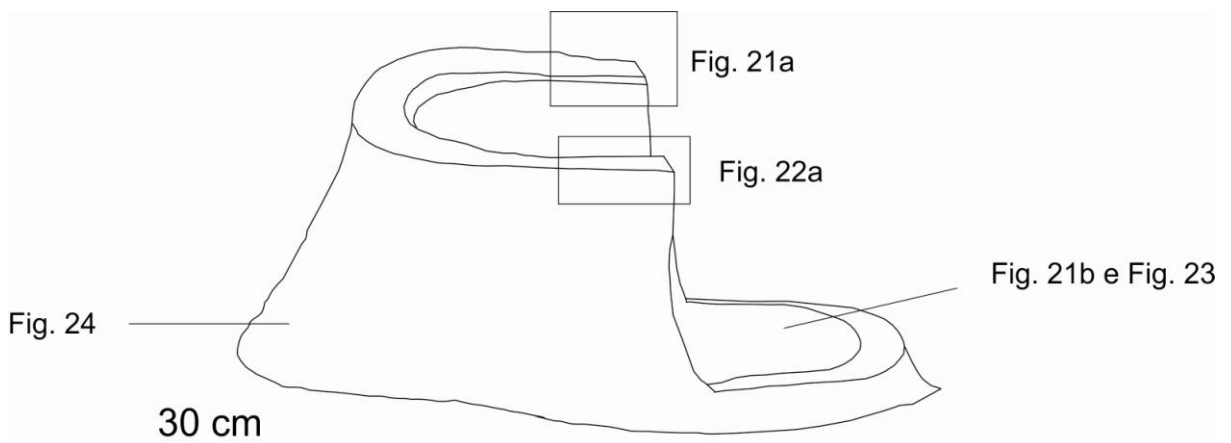


Fig. 19- Esquema de um corpo da Fácies Mamelão com indicação da posição das imagens digitais apresentadas nas figuras seguintes.

Em geral, os mamelões apresentam a porção interna das paredes rica em moldes de caules vegetais, dispostos de forma aleatória na porção basal e/ou organizados em posição vertical ao longo de toda a parede (Figs. 20-22).

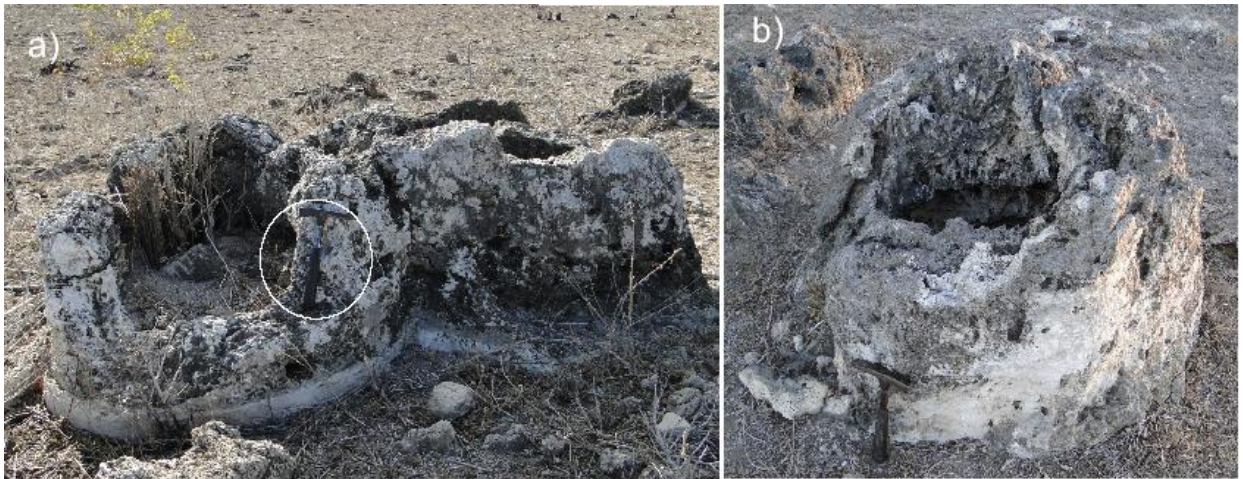


Fig. 20- Fácies mamelão da Fazenda Aurora, mostrando a porção central oca e com grande abundância de moldes de caules de vegetais (Typha?).

Os moldes de caules possuem diâmetros variando de 1 a 5 cm. Há laminações concêntricas nas paredes em média com 2 cm de espessura.

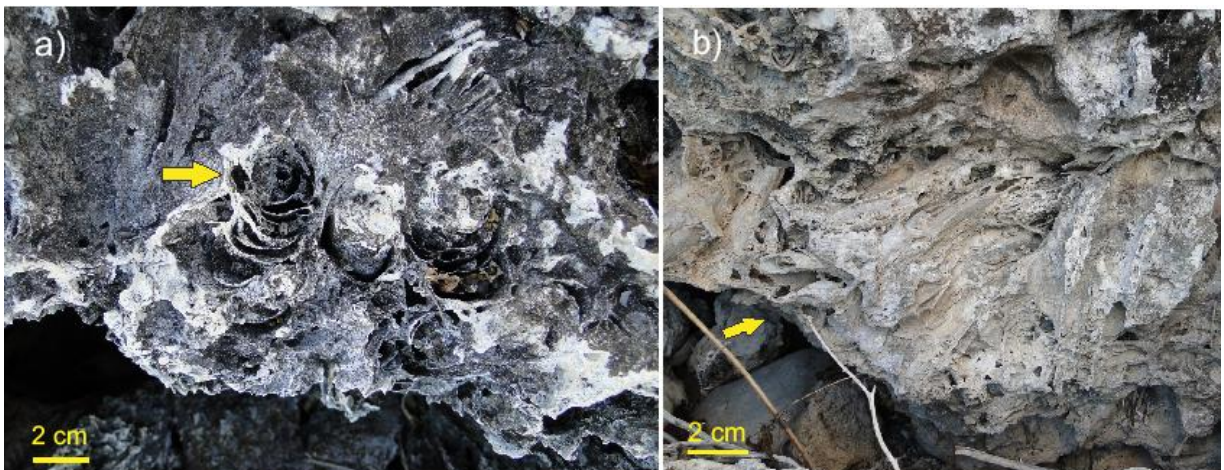


Fig. 21- Detalhe dos moldes de caules de monocotiledôneas aquáticas, provavelmente Typha. a) Caules em posição vertical. b) Caules dispostos de forma aleatória na base do corpo.

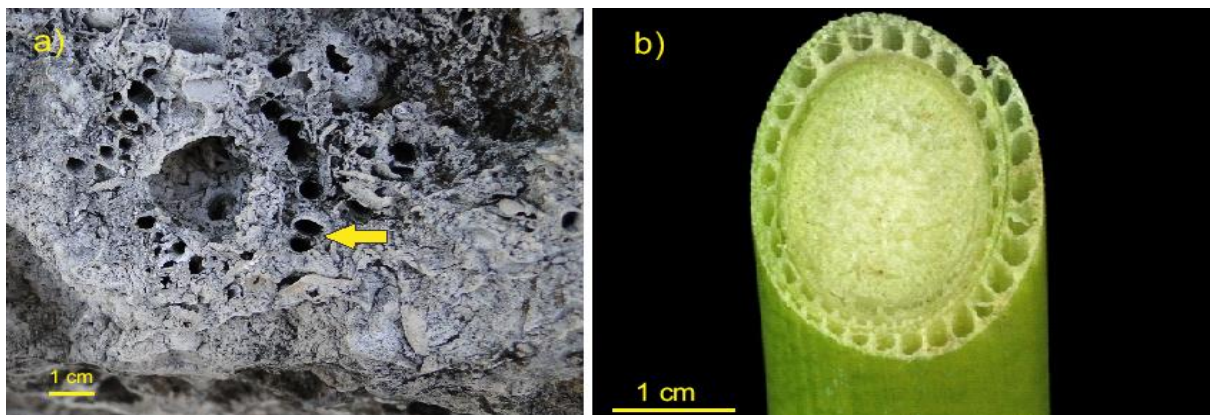
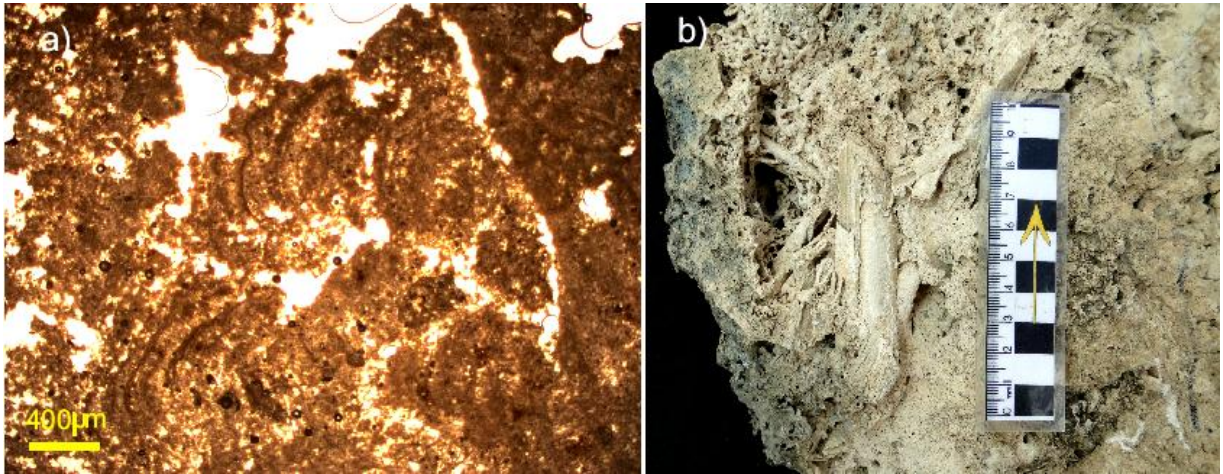
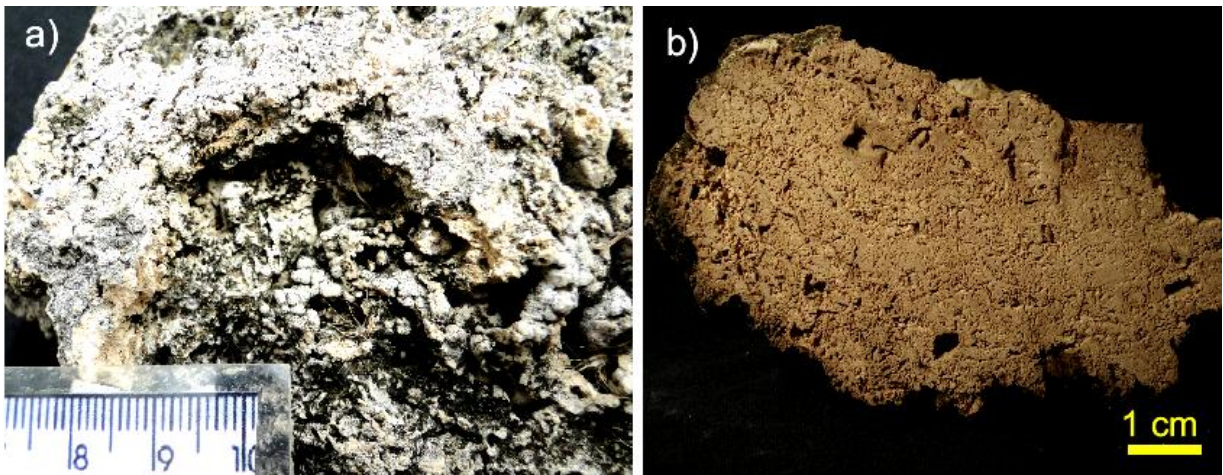


Fig. 22- a) Detalhe de moldes de caules num mamelão. b) Exemplo de caule de Typha moderno.

Em lâmina petrográfica da porção basal (AUR – 4), rica em moldes vegetais dispostos de forma aleatória, são observadas alternâncias entre lâminas delgadas densas e lâminas espessas porosas. Há grande quantidade de filamentos de cianobactérias associadas (Fig. 23a).



*Fig. 23- a) Lâmina petrográfica da porção basal de mamelão, mostrando padrão estromatolítico das lâminas e tênues filamentos de cianobactérias. b) Porção basal de mamelão com moldes de caules vegetais.*



*Fig. 24- a) Feição externa do mamelão. b) Corte de amostra da porção basal externa da Fácies Mamelão.*

### 7.2.3. FÁCIES PISCINA

A Fácies Piscina consiste em corpos baixos, com interior deprimido, com formas circulares, semi-circulares ou ligeiramente ondulados, a parede externa é geralmente convexa e a porção interna geralmente preenchida por sedimentos indefinidos (solo moderno?), ou por um emaranhado de talos de algas carófitas. Ocorrem em áreas de leve declive. Possuem altura menor que 20 cm, normalmente em torno de 10-15 cm. Os corpos aproximadamente circulares atingem diâmetros da ordem de 1 m. Os corpos alongados ondulados eventualmente se estendem por vários metros, podendo existir dois ou mais corpos longos aproximadamente paralelos, separados entre si cerca de 1 m, geralmente em desnível vertical como terraços escalonados (nas áreas de maior declive) ou formando canais rasos. Conjuntos de corpos circulares e alongados são ocasionalmente observados por distâncias superiores a 10 m (por exemplo, na porção oeste da área de estudo).

A figura 25 mostra um esquema da Fácies Piscina e a localização das imagens digitais (Figs. 26-29).

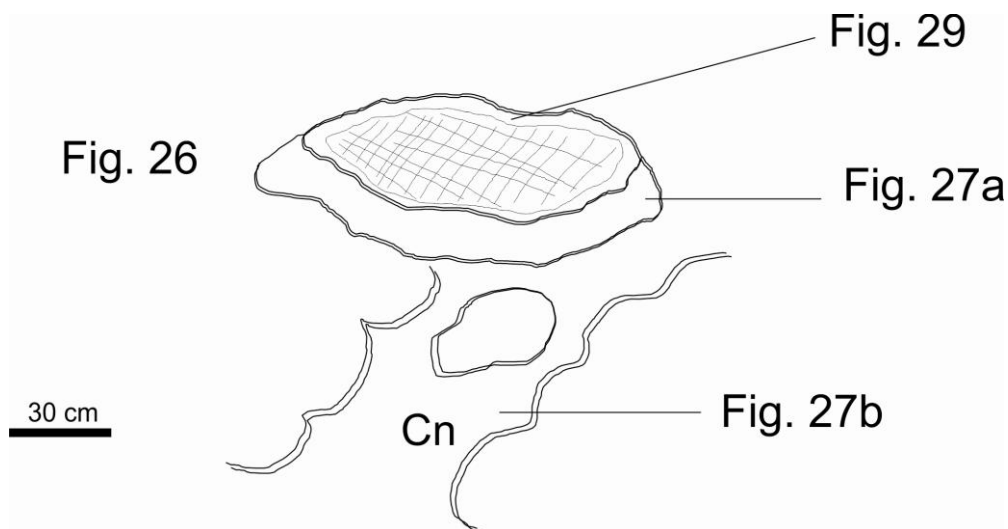


Fig. 25- Esquema da Fácies Piscina e posição aproximada das imagens digitais seguintes.



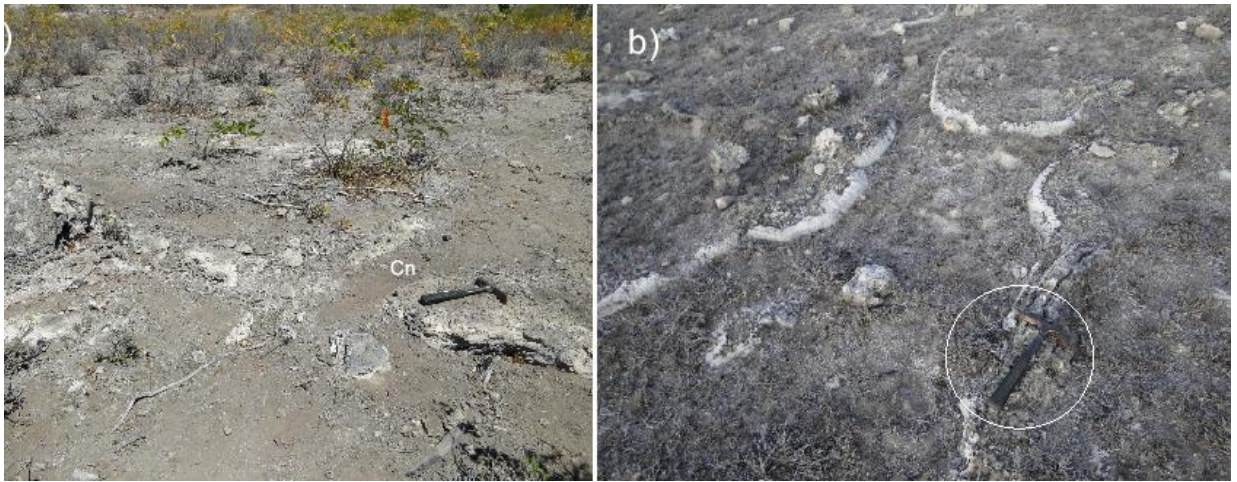


Fig. 26- Vistas oblíquas da Fácies Piscina.

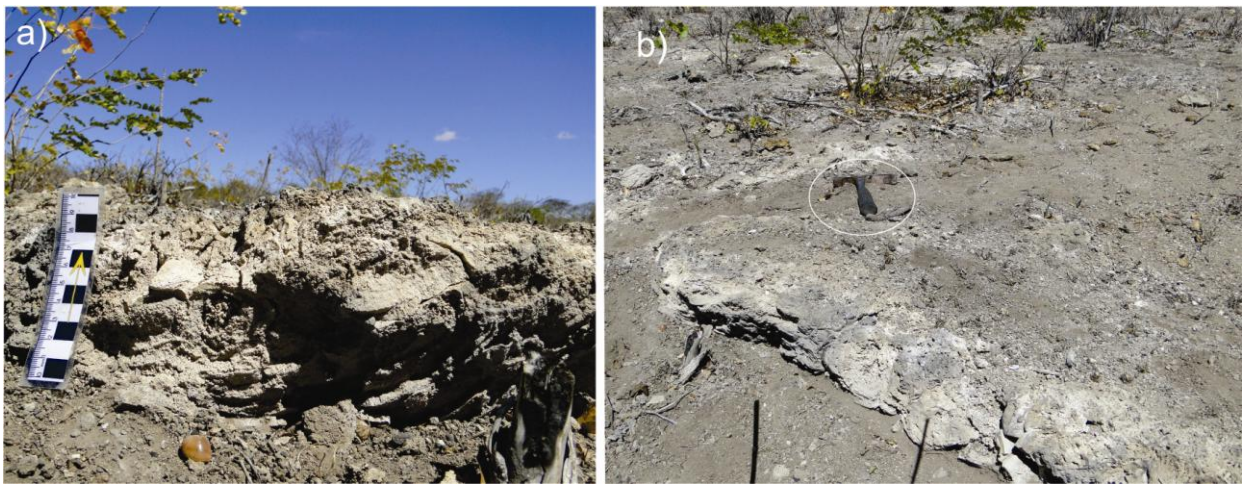


Fig. 27- a) Vista lateral de uma piscina. b) Vista superior.

Os corpos da Fácies Piscina podem estar associados às Fácies Muro e Fácies Mamelão, sendo comum a sobreposição das piscinas por mamelões (Fig. 28).

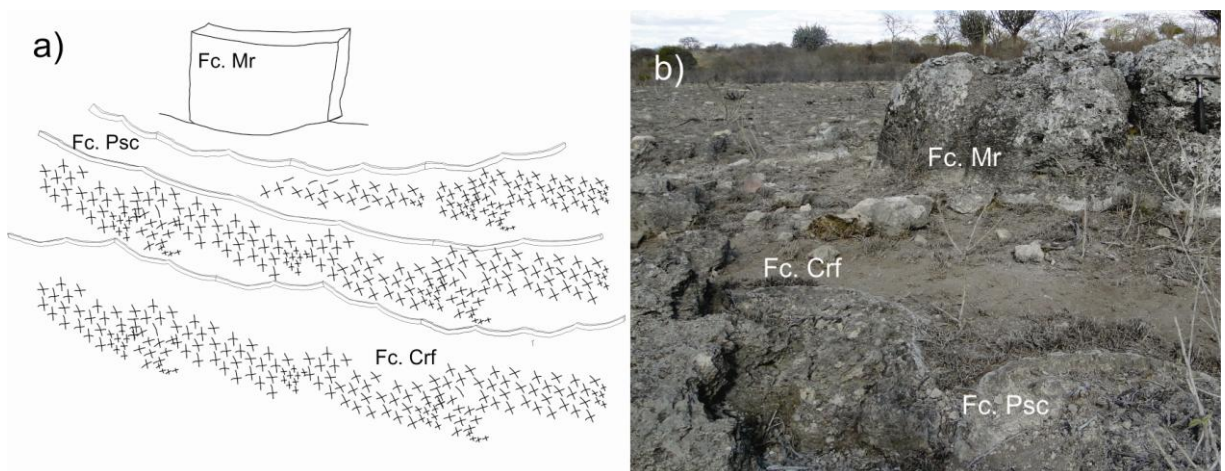


Fig. 28- a) Esquema de Fácies Piscina associadas a outras fácies. b) Sistema formado por corpos da Fácies Muro, Fácies Carófitas e Fácies Piscina (vide abreviações na Tabela 1, página 20).

No interior dos corpos são encontrados elementos porosos e frágeis, principalmente moldes de talos de carófitas que resultaram da sua incrustação por carbonato de cálcio (Fig. 29). O diâmetro dos talos é da ordem de 1-2 mm.



*Fig. 29- Vista em planta de piscinas, destacando-se seu preenchimento por moldes de talos de carófitas.*

#### *7.2.4. FÁCIES CARÓFITA*

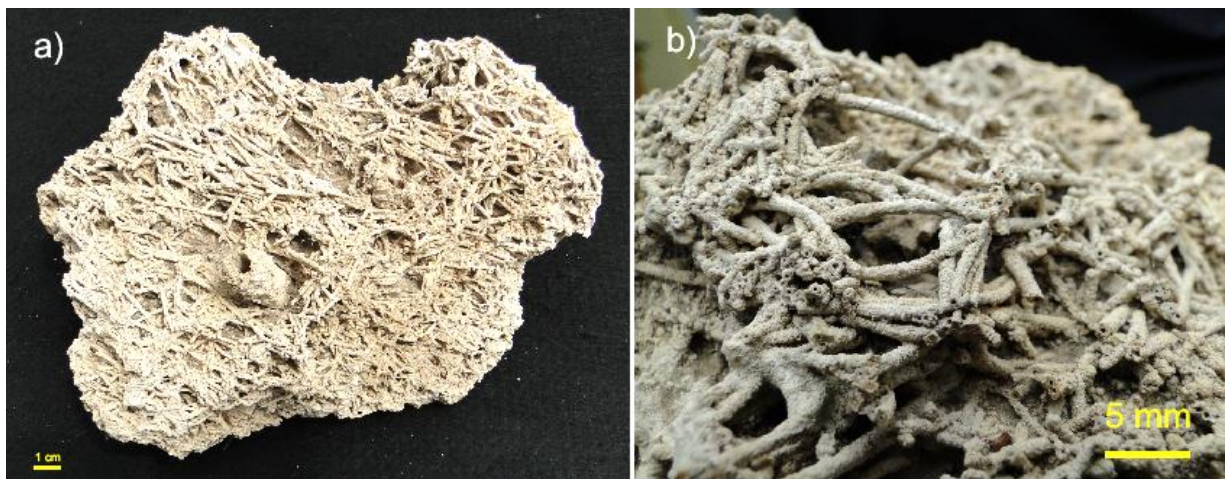
Esta fácies é composta por abundantes moldes de talos de algas carófitas que foram incrustados por carbonato de cálcio, dispostos de forma aleatória (Fig. 31). Eventualmente ocorrem moldes de outros caules associados (Fig. 31(a)).



*Fig. 30- Representação esquemática dos organismos formadores da Fácies Carófitas, com indicação da possível posição da fotografia digital.*

Esta Fácies está intimamente associada à fácies anterior. No entanto podem ocorrer separadas, como na margem da pequena depressão topográfica próxima à estrada (ponto 31

do mapa da figura 11), onde já se encontra bastante alterada por dissolução (Fig. 31).

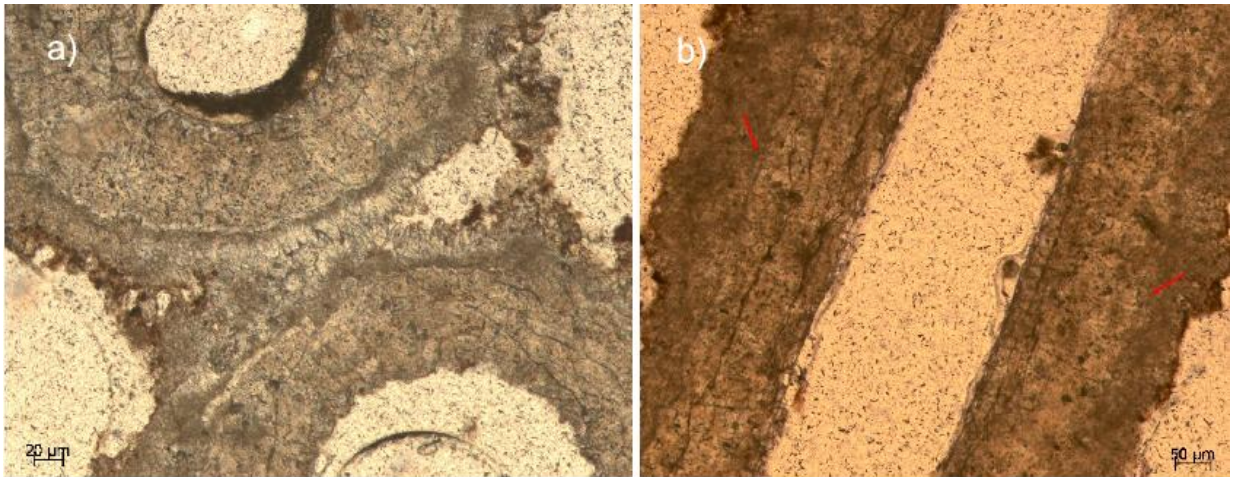


*Fig. 31- Fácies Carófitas eventualmente ocorrendo moldes de caules de monocotiledôneas (em “a”) associados aos talos de carófitas (incrustados por carbonato de cálcio).*

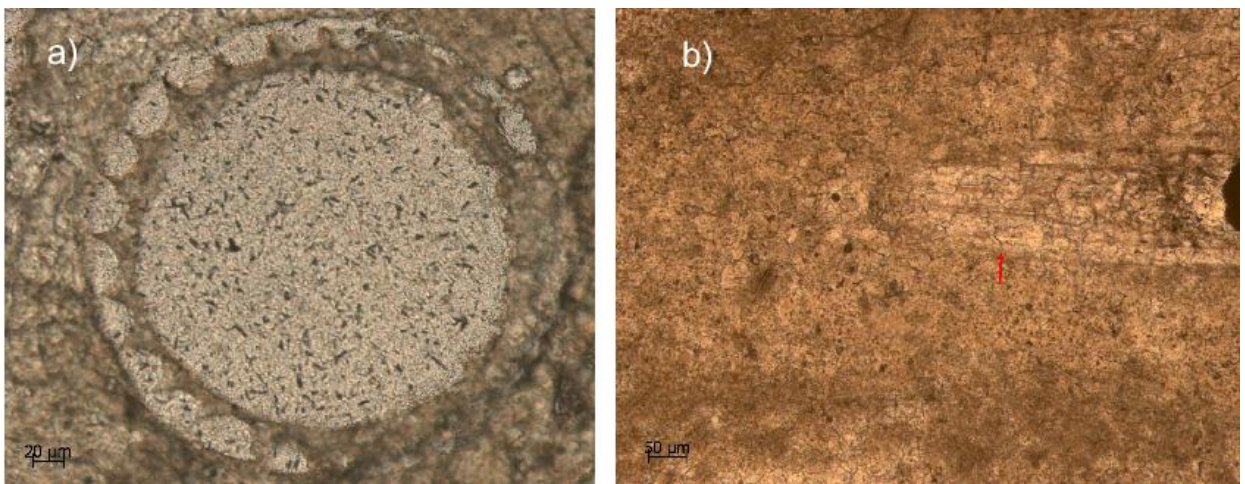


*Fig. 32- Fácies Carófitas .a) Porção interna ,ligeiramente intemperizada. b) Superfície externa intemperizada ocultando os talos incrustados.*

Em lâminas delgadas é possível observar a organização celular preservada das algas Carófitas, além de alta porosidade, presença de outros restos orgânicos e baixa densidade de filamentos (Fig. 32 e Fig. 33).



*Fig. 33- Lâminas petrográficas das Fácies Carófitas. a) Corte transversal dos talos de carófitas b) Corte longitudinal.*



*Fig. 34- a) Aspecto típico de talo de Carófitas visto em seção transversal em lâmina delgada. b) Fragmento vegetal.*

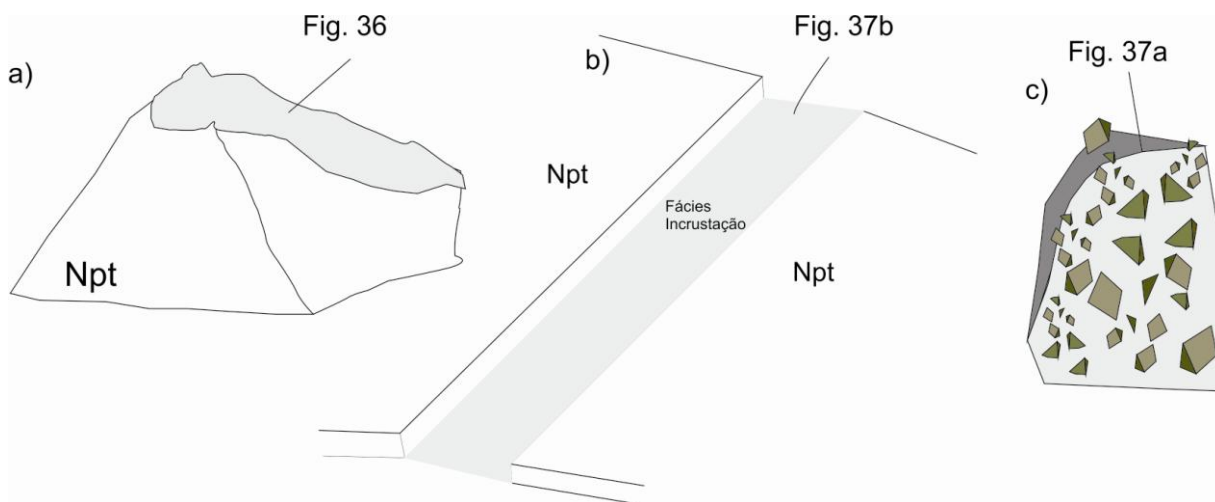
#### 7.2.5. FÁCIES INCRUSTAÇÃO

Esta fácies caracteriza-se pela estrutura maciça (sem laminação) e por constituir uma cobertura delgada sobre blocos do embasamento neoproterozóico, ou matriz de brechas ou realmente corpos de carbonato maciço. As incrustações sobre blocos do embasamento ocorrem preferencialmente nas margens norte e sul da área de estudo, aproximadamente em cotas em torno de 630m. Na margem sul foi escavada uma pequena trincheira para expor melhor a fácies, neste caso estendida numa extensão superior a 1 m. As incrustações ocorrem nos metacalcários e também nos metarenitos. Os componentes desta fácies apresentam baixa porosidade, ausência de moldes vegetais de médio e grande porte, ausência de filamentos de cianobactérias e presença de grãos de quartzo e de restos orgânicos.

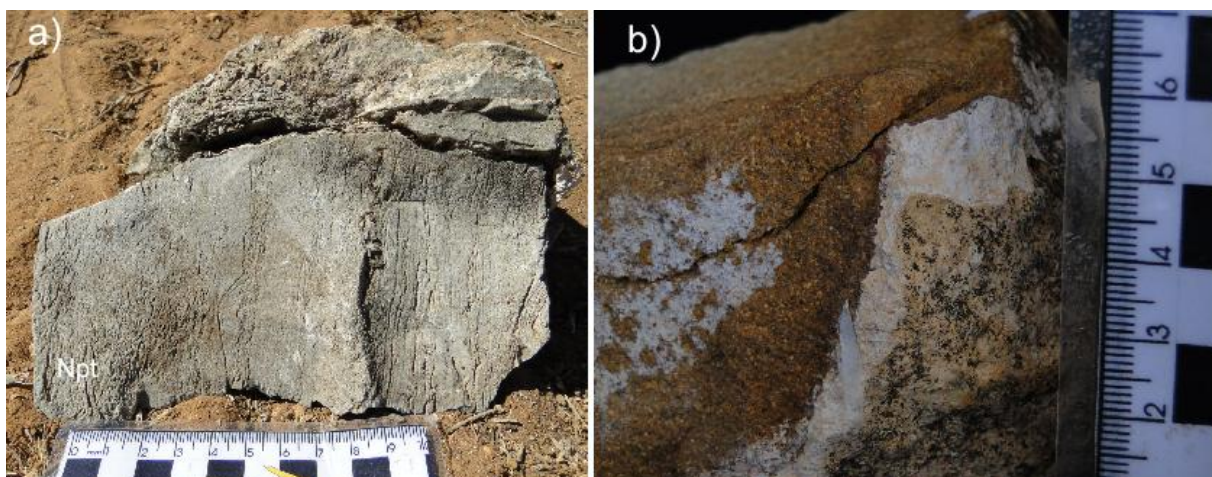
As brechas carbonáticas são observadas nas paredes de uma cacimba como preenchimento de fraturas subverticais e horizontais no embasamento neoproterozóico, com

espessuras variáveis de alguns decímetros. A priori, estas brechas deveriam ser descritas como uma outra fácies, porém sua exposição muito local limitada à cacimba, além do caráter maciço e quase total ausência de cianobactérias, justifica sua inclusão provisória na Fácies Incrustação.

A figura 35 mostra esquemas dos principais modos de ocorrência da Fácies Incrustação. Imagens digitais estão nas figuras 36 a 39.



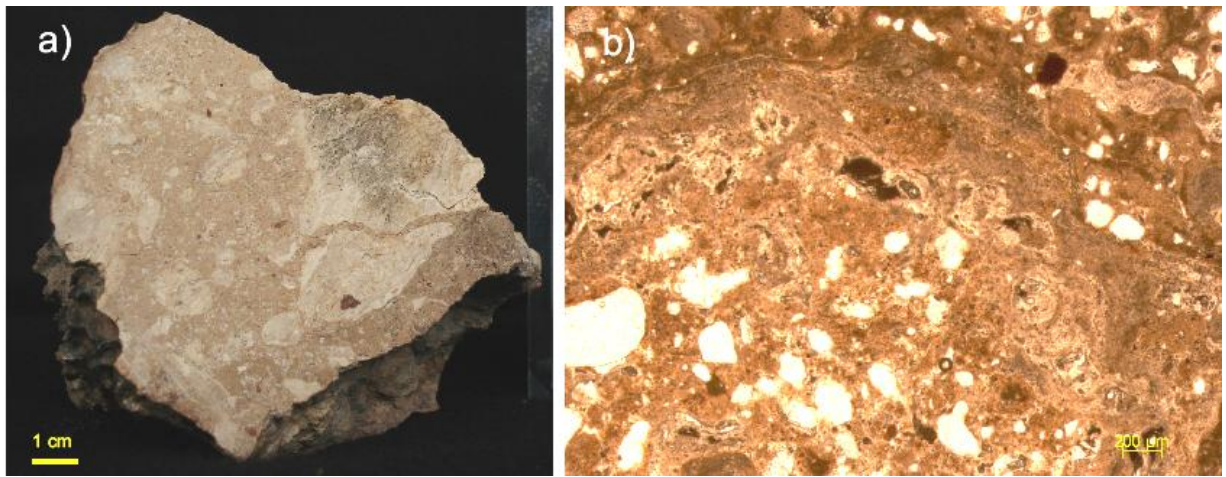
*Fig. 35- Esquemas dos distintos modos de ocorrência das Fácies Incrustação. a) Pequenos corpos indefinidos. b) No interior de pequena trincheira escavada para expor as litologias. c) Incrustação na forma de cimento em brecha.*



*Fig. 36- Incrustações carbonáticas sobre blocos proterozóicos. a) Bloco de metacalcário. b) Bloco de metarenito.*



*Fig. 37- a) Fácies incrustação como cimento de brecha às margens da cacimba. b) Afloramento de carbonato maciço em ponto acima da cota 630 m.*



*Fig. 38- Fácies incrustação como cimento de uma brecha carbonática. a) Seção de amostra. b) Em lâmina petrográfica.*

Localmente, como na amostra AUR-35 (Fig. 39), ao invés de estrutura maciça, a Fácies Incrustação apresenta finas lâminas de colorações distintas, correspondendo a finas intercalações de grãos de quartzo. Essas intercalações podem representar ciclicidade do sistema de deposição.

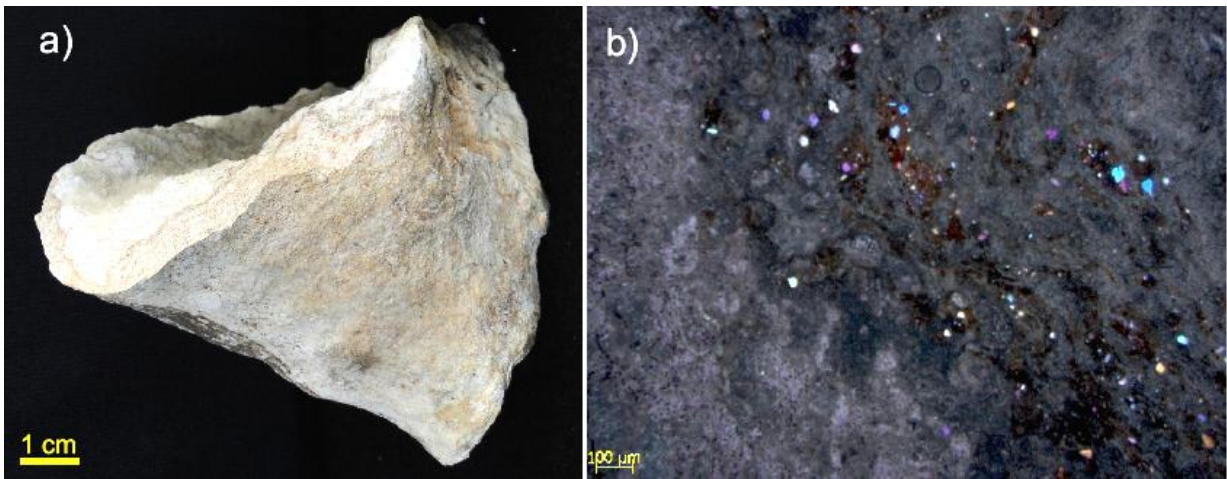


Fig. 39- *Fácies incrustação com ligeira laminação resultante da alternância de carbonato e grãos muito finos de quartzo. a) Amostra AUR-35. b) Lâmina petrográfica em nicois cruzados, com cores de birrefringência mais altas provavelmente porque a lâmina apresenta espessura maior que 35  $\mu\text{m}$ .*

#### 7.2.6 FÁCIES MOLDES DE CAULES VEGETAIS ARBUSTIVOS/ARBÓREOS

Os corpos desta fácies são erráticos e correspondem a fragmentos de moldes de caules de vegetais superiores, incrustados por sucessivas lâminas de carbonato (Fig. 42). Apresentam o centro oco, ou seja, os caules propriamente ditos não estão preservados. O espaço anteriormente ocupado pelos caules pode estar preenchido por carbonato de cálcio extremamente poroso.

Por se tratarem de fragmentos erráticos, possuem dimensões variadas. O maior corpo encontrado possui 50 cm de altura. A incrustação carbonática alcança 5 cm de espessura.

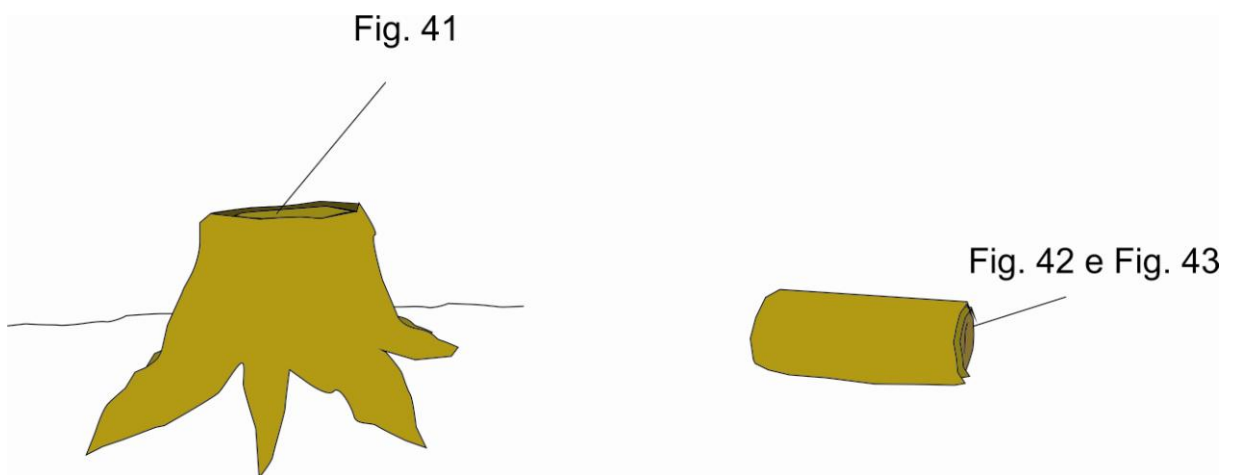


Fig. 40- *Esquemas dos modos de ocorrência das Fácies Moldes de Caules com representação da posição aproximada das imagens digitais seguintes*

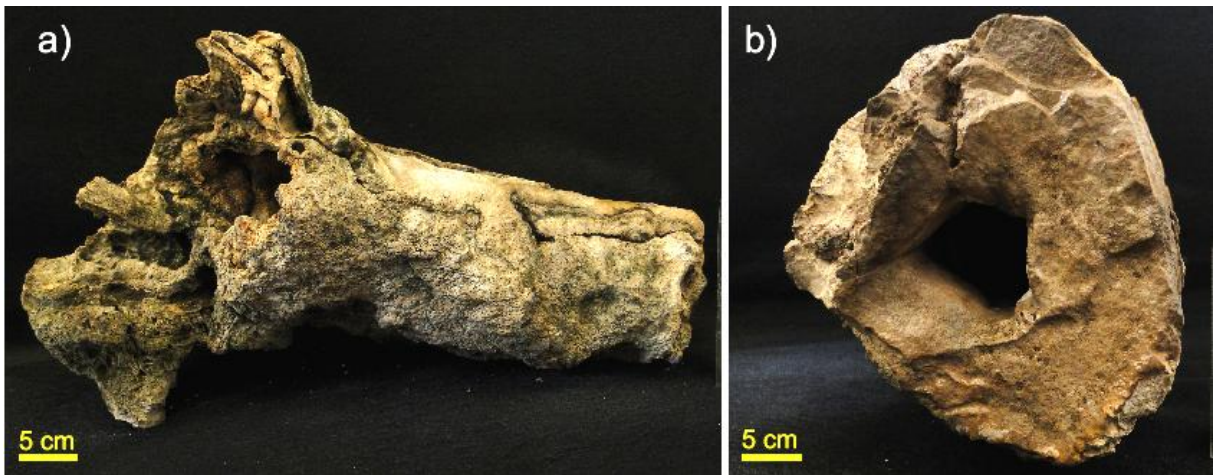


Fig. 41- *Fácies Moldes de Caules de Vegetais Arbustivos/Arbóreos. a) Vista lateral. b) Vista transversal conforme superfície de quebra natural da amostra.*

Os corpos possuem alternância de lâminas espessas de carbonato poroso e lâminas delgadas de carbonato maciço (Fig. 42). O número de lâminas é variável, não havendo amostragem representativa para estipular algum padrão.

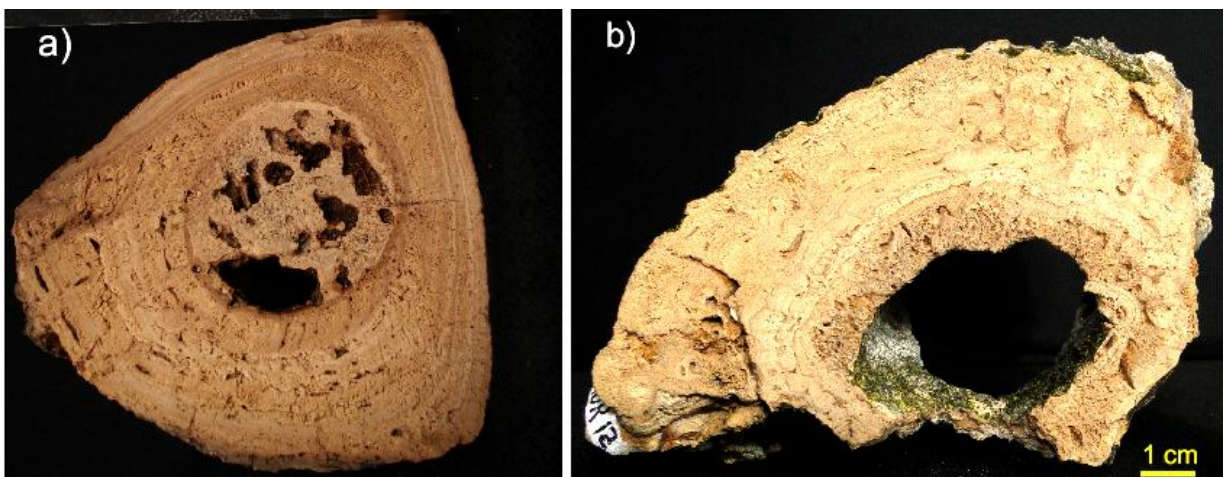


Fig. 42- *Cortes transversais de incrustações carbonáticas sobre caules de vegetais arbustivos/arbóreos.*

Em lâminas delgadas, a fácies apresenta baixa densidade de filamentos de cianobactérias (Fig. 39).



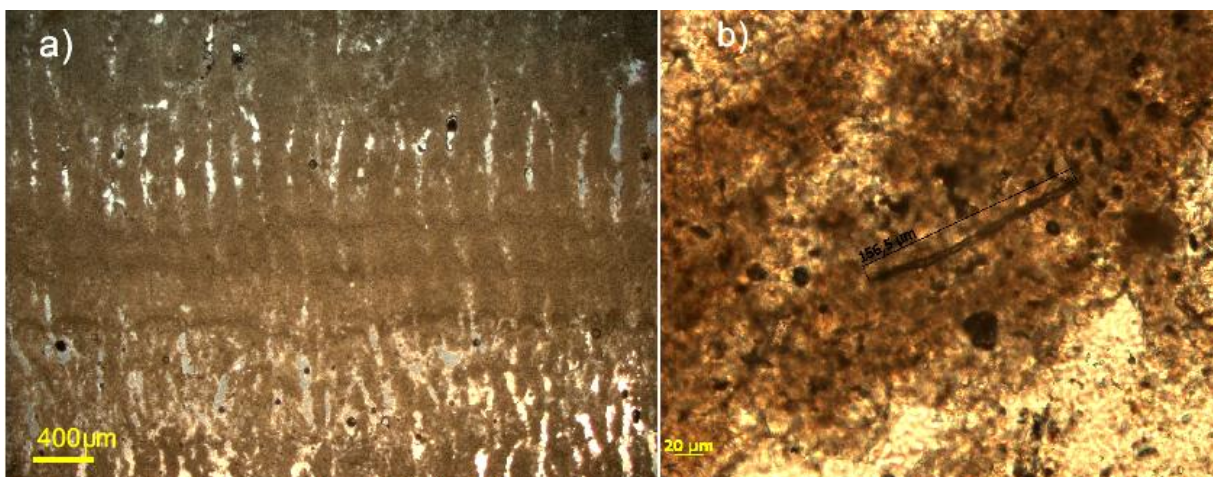


Fig. 43- Lâminas petrográficas de cortes transversais de incrustações carbonáticas sobre caules de vegetais arbustivos/arbóreos, observando-se finos filamentos de cianobactérias.

### 7.3. Observações ao Microscópio Petrográfico

As principais características observadas para cada fácies nas 23 lâminas petrográficas são sintetizados na tabela 2.

	<b>Vazios originais</b>		<b>Macro- Fósseis</b>	<b>Padrão Palimp- sético</b>	<b>Grãos de quartzo</b>	<b>Poros desor- denados</b>	<b>Feições intem- péricas</b>
<b>F. Inc</b>			X	X	X		X
<b>F. Mr</b>	X	X	X	X X	X X	X X	
<b>F. Mml</b>	X	X	X	X X	X X	X	X
<b>F. Crf</b>	X	X	X	X			X
<b>F. MVg</b>	X		X	X			X
	Filamentos	Alternância Denso/ Poroso	Restos orgâni- cos	Esteiras microbia- nas	Poros alinhados	Carófitas	

Tabela 3: Principais características petrográficas das fácies de tufas da Fazenda Aurora. As abreviações estão esclarecidas na Tabela (1). Observação: cada coluna apresenta dados de duas características (distinguidas pelas cores vermelha e preta).

## 7.4. Conteúdo microbiano

Segundo Freytet e Verrecchia (1998), existem 211 espécies de microrganismos relacionados à formação de tufas calcárias. Os principais gêneros são *Phormidium* e *Schizothrix*. Em menor proporção ocorrem Coccogonofíceas (44), Hormogonofíceas (122), Chrysophyceas (2), Chlorofíceas (35), Xanthofíceas (3), Rodofíceas (3) e Diatomáceas (2), além de nanobactérias.

Os principais vestígios microbiológicos encontrados nas tufas calcárias da Fazenda Aurora são filamentos de cianobactérias, provavelmente do gênero *Phormidium* sp, Fig.(46). Chama a atenção à ausência de cocóides e baixa densidade de *Schizothrix*. Fig. (47b)

Os filamentos são formados pelo conjunto de tricoma e bainha ou muco protetor. Nas tufas calcárias apenas os moldes das bainhas são preservados.

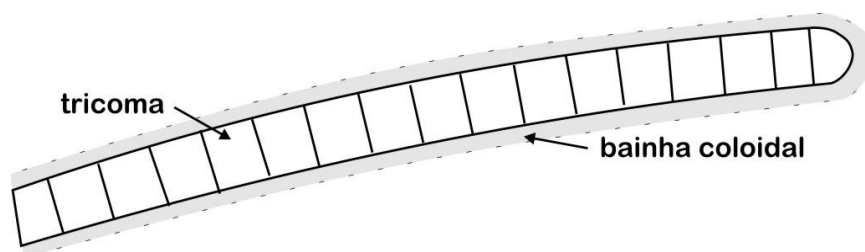


Fig. 44- Esquema de cianobactéria filamentosa hipotética.

Nas tufas calcárias da Fazenda Aurora, foram identificados três organismos dominantes e distintos.

O primeiro corresponde a filamentos que não possuem ramificações, predominantemente retilíneos. Ocorrem mais comumente paralelos, perpendiculares ou subperpendiculares às estruturas sedimentares nas porções densas, sendo comum a ocorrência aleatória nas camadas porosas (Figs. 45-46). Foram realizadas medidas dos diâmetros dos filamentos, tendo como média o tamanho de 7  $\mu\text{m}$ . A densidade de filamentos é variável, sendo comum a menor densidade em camadas porosas enquanto que camadas densas possuem alta concentração.

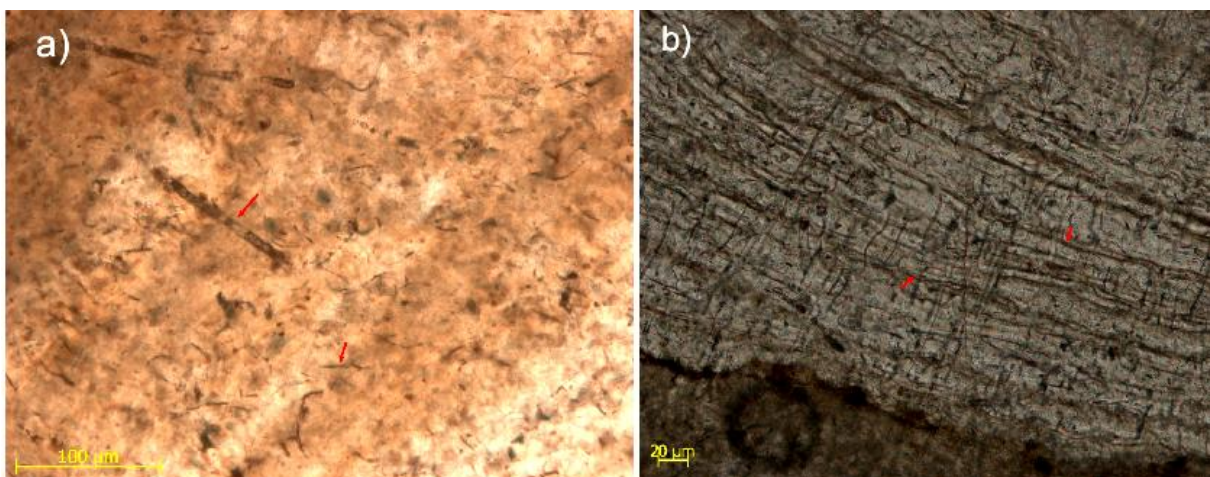


Fig. 45- Conjunto de filamentos de organismos encontrados nas fácies das tufas da Fazenda Aurora. a) Exemplos de filamentos de diferentes tamanhos atribuídos a duas espécies distintas de cianobactéria. b) Filamentos de cianobactérias formando possível esteira microbiana. Os filamentos encontrados não possuem ramificações e são predominantemente retilíneos.

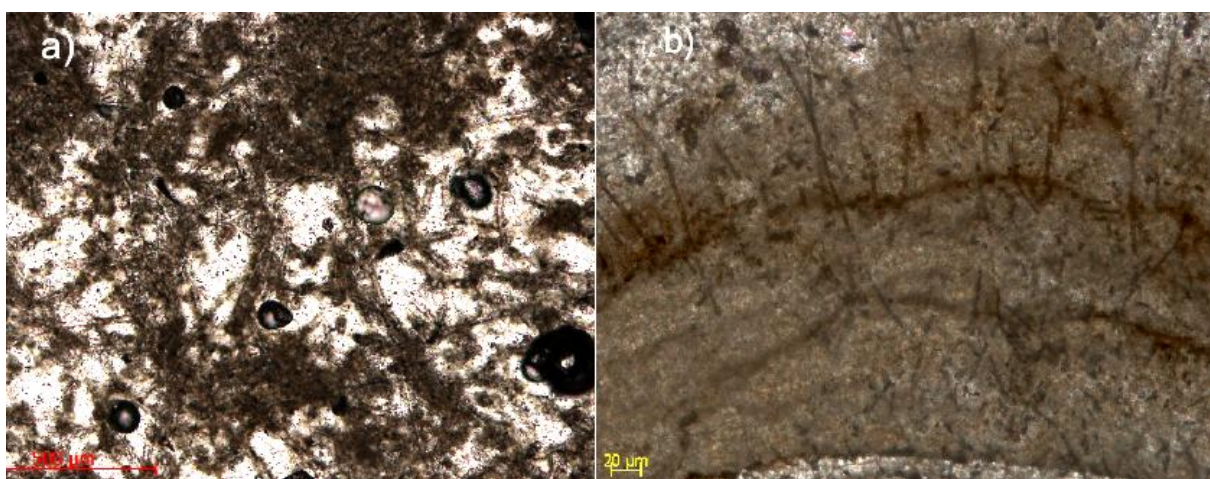


Fig. 46- Filamentos de cianobactérias possivelmente atribuídos a *Phormidium* sp.

Além dos filamentos possivelmente atribuídos a *Phormidium* sp., foram encontradas estruturas radiais, que podem ser atribuídas a *Schizothrix* sp. (Fig. 47).

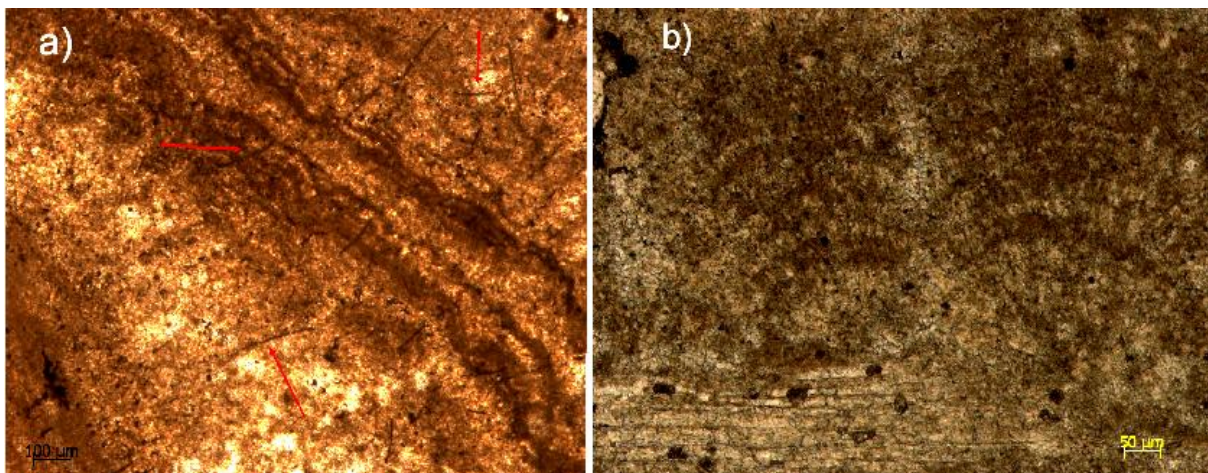


Fig. 47- Filamentos radiais atribuíveis possivelmente a *Schizothrix* sp.

Outras estruturas marcantes são as feições palimpsésticas, comuns nas fácies Muro e Mamelão, Fig. (48).

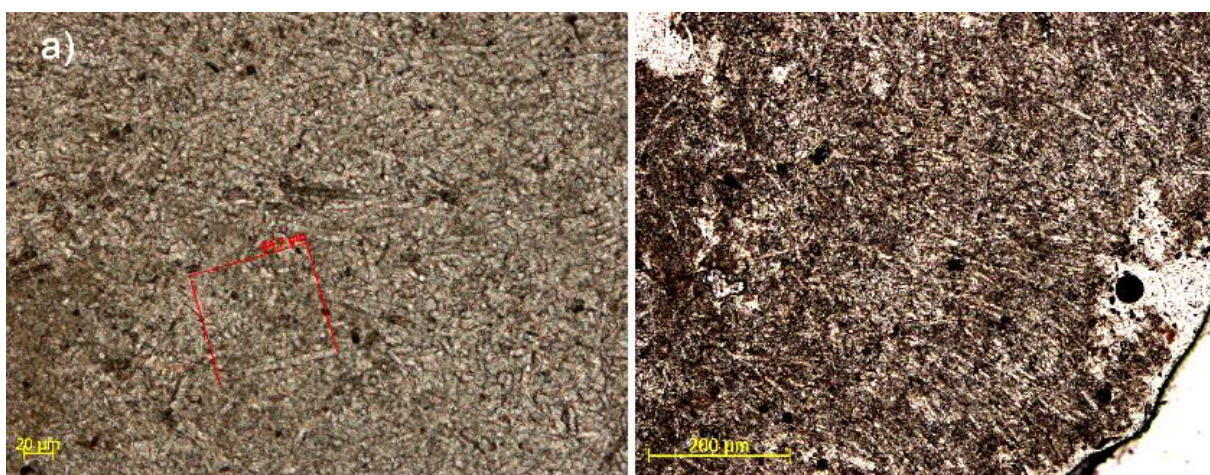


Fig. 48- Feições palimpsésticas de filamentos de cianobactérias.

## 7.5. Macrofósseis

Por definição, tufas calcárias apresentam restos de animais e plantas em suas estruturas, preservados na forma de moldes, incrustações ou menos comumente por substituição. Segundo Pentecost (1995), moluscos são fósseis comuns e abundantes em depósitos de tufas. Na Fazenda Aurora foram encontrados exemplares de gastrópodes, de espécie não identificada, associados a moldes de vegetais (Fig. 49).

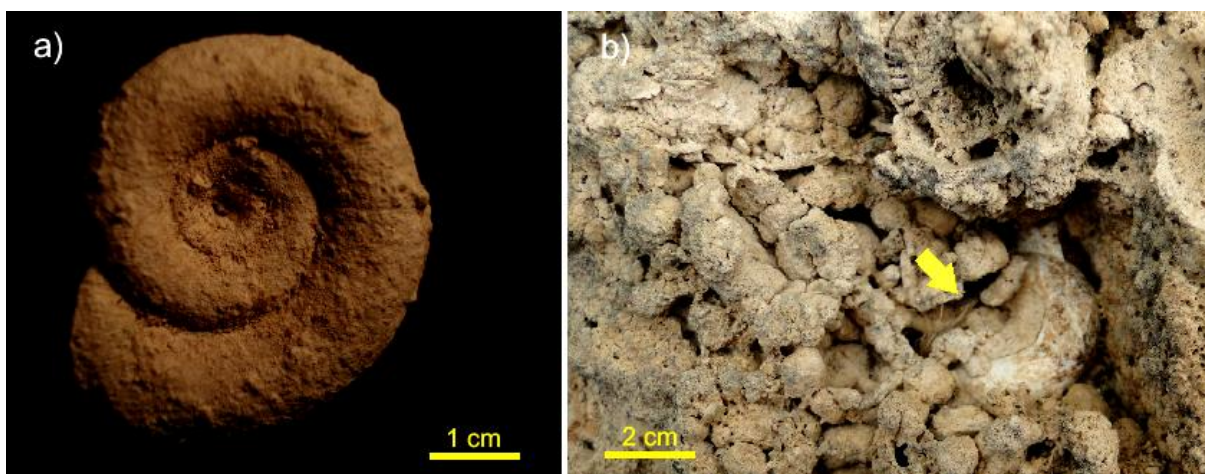


Fig. 49- *Gastrópodes encontrados nas tufas da Fazenda Aurora.*

## 7.6. Resultados da Análise por Difração de Raios-X

Os testes por difração de Raios – X foram realizados em 18 amostras representativas de tufas da Fazenda Aurora.

Foram obtidos dois padrões de diagramas, representados na figura 50. O diagrama (a) representa as amostras com baixa quantidade sílica (menores que 10%) e altos teores de cálcio, correspondendo principalmente às fácies Mamelão, Paredão e Carófitas, o diagrama (b) representa as amostras com teores representativos de sílica (acima de 10%), composta essencialmente por elementos da Fácies Incrustação. Ressalta-se que o método de difração apenas detecta elementos acima de 10% na amostra, desta forma inferiu-se as quantidades apresentadas.

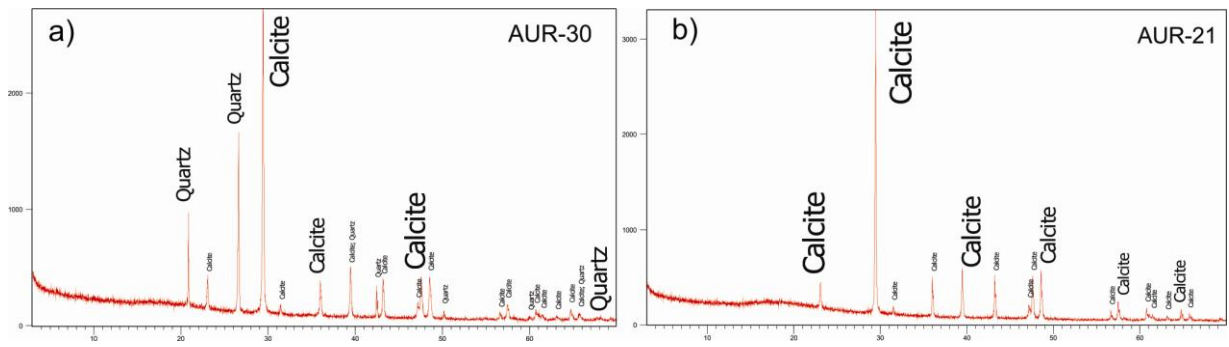


Fig. 50- Exemplos de diagramas resultado da análise da tufas calcárias da Fazenda Aurora por difração de raios – X, notar picos intercalados de *Quartzo* e *Calcita* em (a) e predomínio de *Calcita* em (b).

A tabela a seguir sintetiza o padrão de cada amostra e suas respectivas fácies.

Diagrama A	Diagrama B
<p>Fácies Mamelão (AUR – 4 e AUR – 21)</p> <p>Fácies Carófitas(AUR – 43)</p> <p>Fácies Muro (AUR – 5, AUR – 1, AUR – 41, AUR – 9 e AUR – 31)</p> <p>Fácies Moldes de Caules de Vegetais Arbustivos/Arbóreos (AUR – 2, AUR – 12 e AUR – 26;</p> <p>Fácies Incrustação (AUR – 35, AUR – 28, AUR – 33 e AUR – 24)</p>	<p>Fácies Incrustação (AUR – 30, AUR-32, e AUR – 34)</p>

Tabela 4- Divisão por similaridade nos diagrama de difração por Raio-X.

Ressalta-se que algumas amostras da Fácies Incrustação apresentam o diagrama similares a (a) por não apresentarem porcentagens acima de 10 % de sílica, podendo refletir característica local da porção da amostra escolhida para teste.

## 8. DISCUSSÃO

### 8.1. Laminações

Laminações e alternâncias de carbonatos de diferentes características são comuns em tufas calcárias. Em geral ocorrem intercalações entre lâminas milimétricas de carbonato maciço (micrita?) com lâminas espaçadas de carbonato poroso.

Segundo alguns autores como Kano (2002), Correia (2006) e Brasier et al. (2010), as laminações são produto da diferença na taxa de precipitação de carbonato de cálcio em diferentes épocas do ano. Este fenômeno seria provocado, sobretudo pela variação na concentração de  $\text{HCO}_3^-$  do sistema.

Kano (2002) propôs que as variações na concentração  $\text{HCO}_3^-$  em águas fluviais no Japão seriam resultado direto da concentração de  $\text{CO}_2$  ambiental nas diferentes estações do ano. Essa variação modificaria a taxa de dissolução da matriz carbonática e conseqüentemente haveria variação na quantidade de cálcio liberado no sistema. Correia (2006), estudando tufas calcária da Serra das Araras, igualmente concluiu que variações na concentração de  $\text{HCO}_3^-$  nas águas como resultado das variações pluviométricas ocorridas nas diferentes estações do ano provocaria diferentes taxas de dissolução na matriz carbonática e conseqüente variação na quantidade de cálcio do livre do sistema. Outro ponto importante que afeta diretamente a precipitação de carbonato é densidade microbiológica. Em países com climas temperados, essa densidade é maior no verão e outono, o que induziria também a maior precipitação de carbonato.

Os estudos de Kano (2002) e Correia (2006) foram realizados em sistemas de formação de tufas ativos. Dessa forma, foi possível medir de forma direta as variações ambientais no decorrer de um período estabelecido.

Kano (2002) propôs que as maiores taxas de precipitação no Japão ocorreriam no verão, formando lâminas densas, enquanto que no inverno seriam formadas as camadas porosas e frágeis, conforme estudos dos isótopos de C e O. Para as tufas na Serra das Araras (MT), Correia (2006) propôs uma relação inversa, pois ocorreria maior precipitação de carbonato denso no inverno, quando aumentaria a concentração  $\text{HCO}_3^-$  em função das baixas taxas pluviométricas.

Brasier et al. (2010) constataram que as bandas de carbonato densas seriam depositadas na primavera ao começo do verão e apresentariam grande concentração de cianobactérias calcificadas. As bandas mais porosas, com filamentos mais esparsos

corresponderiam ao outono. Não haveria preservação de bandas do meio do verão e do meio do inverno, respectivamente por causa de ressecamento e do frio que inibiriam o desenvolvimento de cianobactérias. Desta forma, as tufas laminadas não apresentariam o registro completo de um ano. Ainda assim, num período de um ano, o crescimento normalmente poderia ultrapassar 6 mm.

Considerando-se o clima semiárido na área de estudos, a alternância de distintas lâminas das tufas da Fazenda Aurora podem ter um significado distinto em relação aos trabalhos mencionados. Propõe-se que as maiores taxas de crescimento aconteceriam nas épocas de maiores precipitações pluviométricas, as quais proporcionariam aumento de cálcio e energia para o sistema.

Desta forma, durante no verão - época de chuvas - haveria maior energia no sistema, provocando maior desgaseificação e consequente precipitação de camadas mais densas; no inverno, com menor aporte de água, haveria a precipitação de camadas mais porosas e espaçadas, Fig. (51).

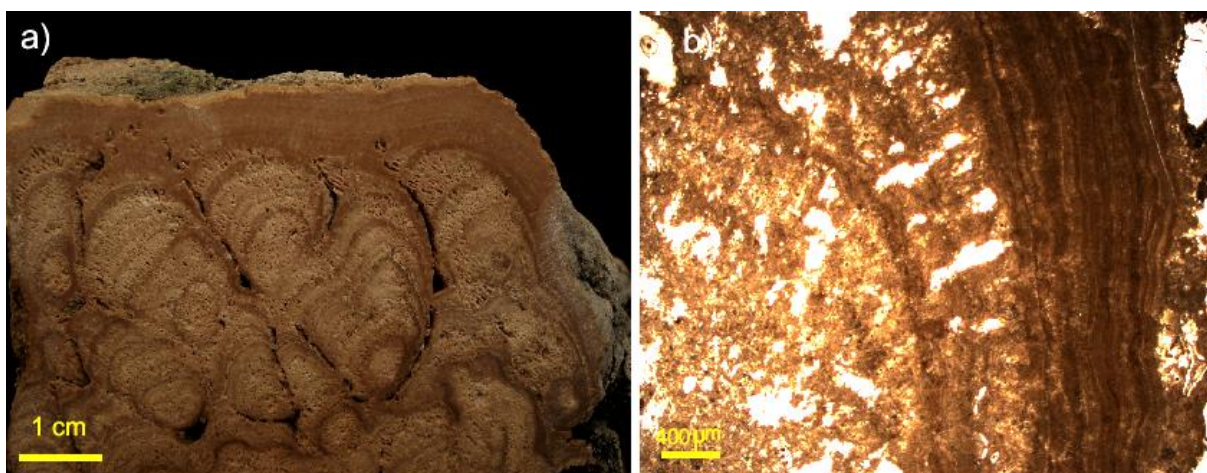
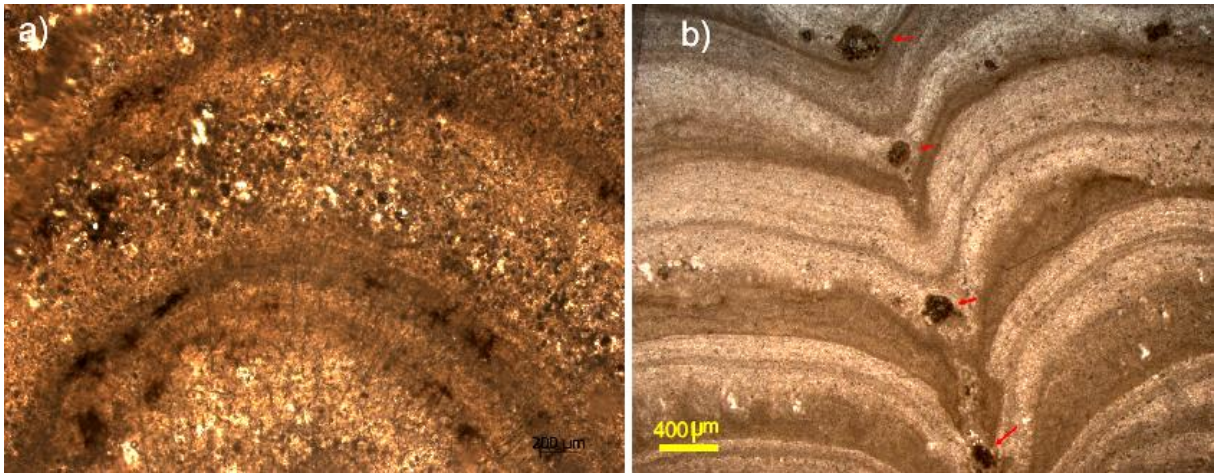


Fig. 51- a) e b) Laminações concêntricas, entre camadas porosas espessas e finas lamina de carbonato maciço. a) Visão macroscópica AUR-5. b) Visão microscópica da alternância de carbonato maciço (*micrita*) e carbonato poroso.

As análises microscópicas realizadas em amostras com laminações concêntricas expõem a diferença da densidade de cianobactérias entre as camadas densas e porosas podendo indicar a importante influência das cianobactérias nos processos de precipitação de carbonato de cálcio, Fig. (52a).

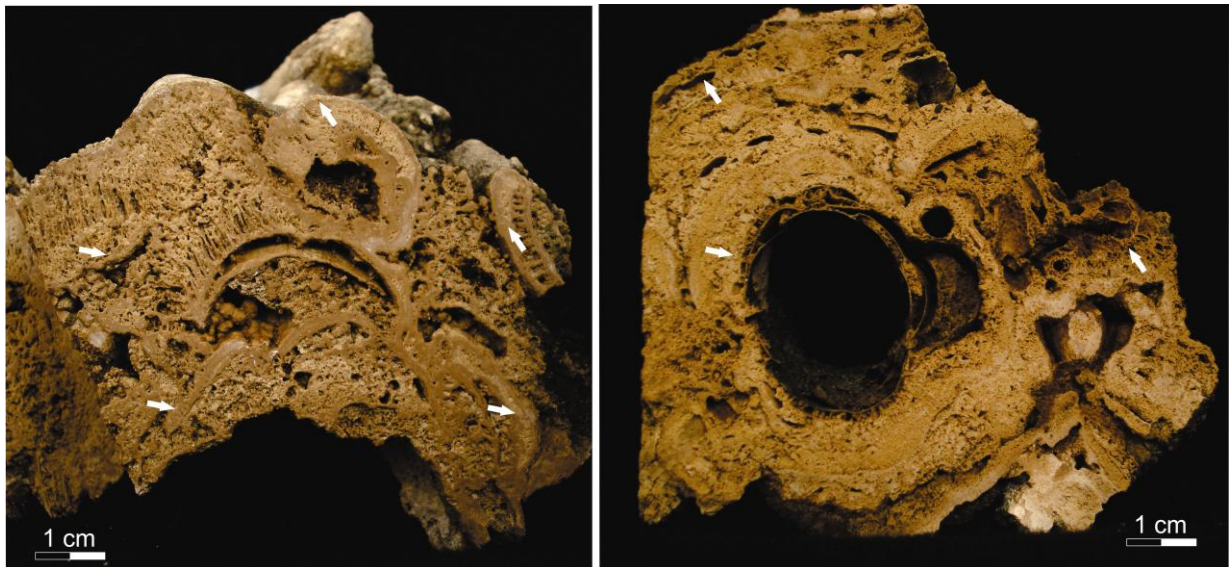
As camadas densas apresentam alta concentração de filamentos de cianobactérias, perpendiculares e paralelos às micro-laminações. As camadas porosas possuem filamentos esparsos e distribuídos caoticamente





*Fig. 52- a) Intercalação entre camadas com alta e baixa densidade de cianobactérias. b) Representação de ciclicidade marcada por repetição de concentrações de grão em camadas sobrepostas. Setas indicam ponto de concentração de grãos.*

As tufas calcárias da Fazenda Aurora apresentam também laminações não concêntricas (Fig. 53), podendo ter ocorrido maior controle microbial do que de outros fatores na indução da precipitação de carbonato. De fato, diversas amostras em mesoescala e ao microscópio apresentam trama muito similar à dos estromatólitos.



*Fig. 53- Laminações irregulares em amostras de tufas com moldes de caules (provavelmente de Typha), cuja origem teve forte influência microbial. As setas destacam carbonato maciço.*

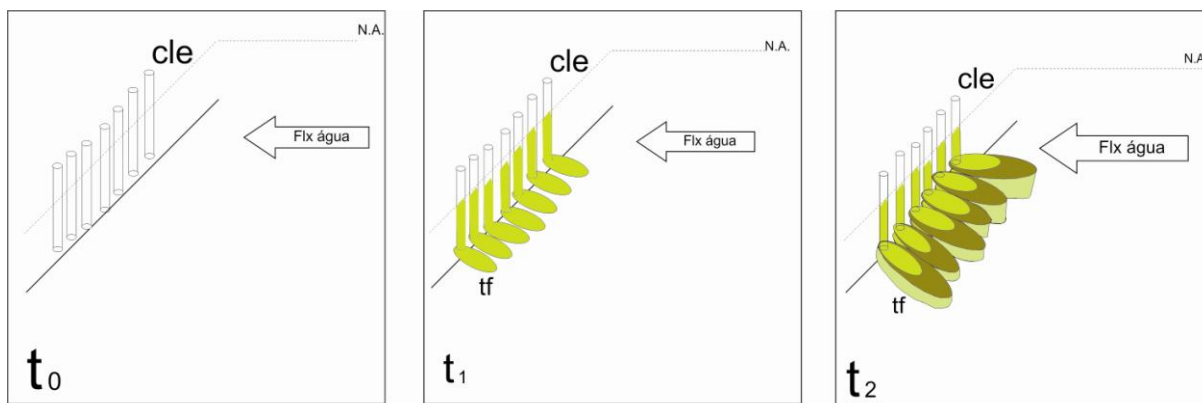
## 8.2. Inferências sobre Gênese

Conforme modelos da literatura e as características das fácies na Fazenda Aurora, são apresentados, de modo preliminar, algumas interpretações sobre a gênese das tufas.

### 8.2.1. FÁCIES MURO

A gênese dos corpos da Fácies Muro pode ter iniciado com o aporte de fluxos de água ricos em  $\text{Ca}^{2+}$ . A alta proporção do íon ocorria pela presença do embasamento carbonático proterozóico e uma possível surgência de água por fraturas em tal embasamento (vide discussão adiante). Os fluxos não necessariamente eram fortes, considerando-se que a depressão topográfica (provável dolina) era preenchida por água e consistia basicamente num lago. Os fluxos mais intensos ou as condições de maior energia provavelmente eram causados por aumento de pluviosidade nas estações úmidas, além das ondas induzidas por ventos durante tempestades. O lago eventualmente transbordava e parte da água chegava à bacia do rio Salitre. Outra possibilidade é que chovia muito pouco na região da Fazenda Aurora, mas o suprimento de água através de fonte subterrânea variava conforme a alimentação do aquífero por chuvas em áreas próximas. Da mesma forma, o nível da água do lago poderia ter abaixado nas estações mais secas não só por evaporação, mas também através de sumidouros no sistema cárstico subterrâneo.

A precipitação de carbonato de cálcio pode ter iniciado quando os fluxos encontravam barreiras formadas por caules de pequenas macrófitas aquáticas como *Typha* (Fig. 54).

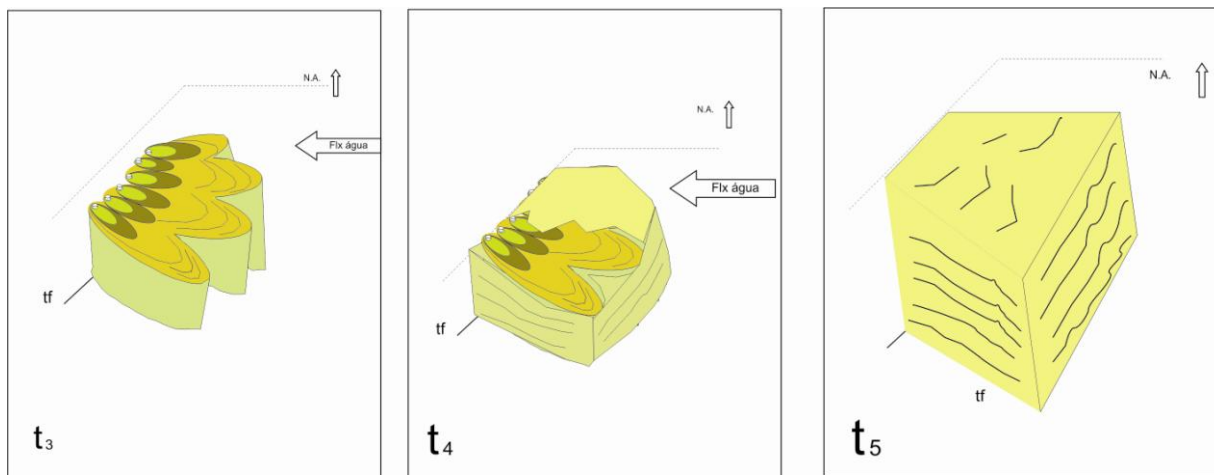


cle - Caules de vegetais, Flx água - Direção do fluxo de água, tf - tufa calcária, N.A. - nível da água.

Fig. 54- Interpretação da fase inicial da formação dos muros (“tempos”  $t_0$  a  $t_2$ ).

Com o decorrer do processo, formavam-se sucessivas lâminas de carbonato junto aos caules, no sentido ascendente e no sentido horizontal, com maior precipitação onde o choque com o fluxo aquoso era mais intenso (pois ocorria maior desgaseificação de  $\text{CO}_2$  na região de maior energia). A continuidade do processo, combinado com a elevação do nível de água, poderia ter causado a completa incrustação dos vegetais aquáticos do tipo *Typha*. A partir desse ponto (Zona de Transição), os próprios caules incrustados poderiam ter funcionado como substratos para a colonização de cianobactérias. Assim, originaram-se variações

verticais e horizontais nos tipos de laminação dos corpos, como o desenvolvimento de estruturas rugosas na face que recebia o maior fluxo de água (Fig. 55).



tf - tufa calcária, N.A. nível de água, Flx - Direção do fluxo de água

Fig. 55- Interpretação da fase final da formação dos muros (“tempos  $t_3$  a  $t_5$ ”).

### 8.2.2. FÁCIES MAMELÃO

A gênese dos corpos da Fácies Mamelão pode estar diretamente condicionada à presença de pontos de surgência de água através de zonas de fraturadas do embasamento. Um dos principais argumentos a favor desta hipótese é o alinhamento dos corpos de tufas,

Nos pontos de surgência, em decorrência da relativa abundância hídrica, poderia ter havido concentração de macrófitas aquáticas, principalmente *Typha*. Nos pontos de surgência, águas saturadas em  $\text{Ca}^{2+}$ , poderiam ter provocado o início da precipitação de carbonato de cálcio em torno dos caules dos vegetais (Fig. 56).

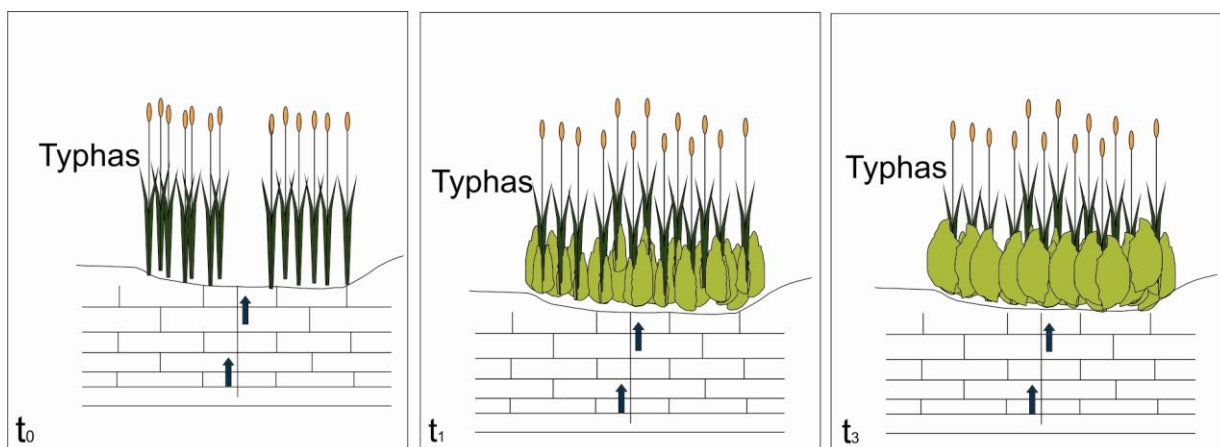
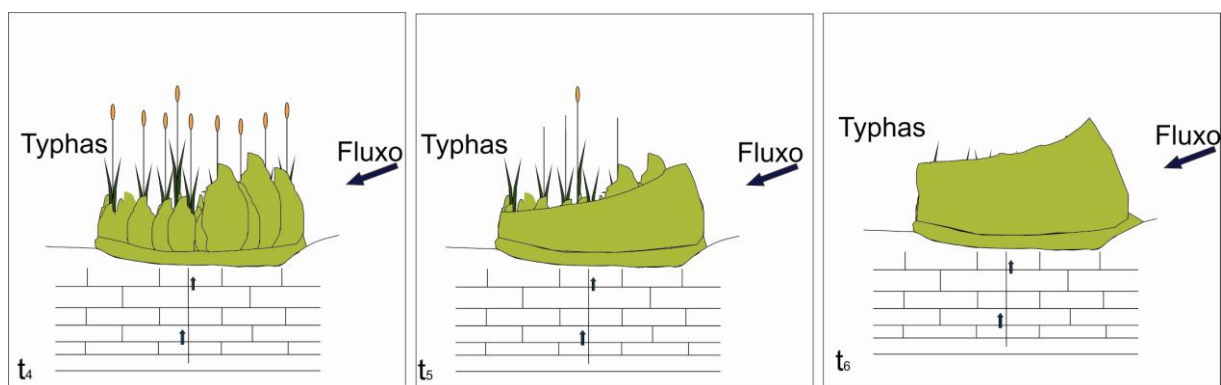


Fig. 56- Interpretação do início da formação dos mamelões na Fazenda Aurora, possivelmente condicionada pela surgência de água saturada em  $\text{Ca}^{2+}$  e incrustação de

*carbonato de cálcio em torno de macrófitas do tipo Typha (“tempos”  $t_0$  a  $t_3$ ).*

A precipitação citada acima, no entanto não seria responsável pela edificação dos grandes corpos mapeados na área. A edificação estaria relacionada a sucessivos fluxos de água. Os fluxos aumentariam sucessivamente as lâminas de carbonato precipitado em torno dos vegetais (Fig. 57).



*Fig. 57- Interpretação do final da formação dos mamelões na Fazenda Aurora (“tempos”  $t_4$  a  $t_6$ ).*

A presença de grandes vazios no interior dos mamelões seria resultado da decomposição dos vegetais nas porções mais centrais das estruturas, os quais foram menos incrustados por carbonato de cálcio. Em alguns casos, arbustos ou árvores maiores poderiam ter sido o centro dos mamelões. Estes vegetais não aquáticos teriam sido afogados pela subida do nível da água e morrido. Sua decomposição, com a liberação de ácidos, pode ter acarretado alguma dissolução do carbonato anteriormente precipitado.

O sentido dos fluxos de água pode ter obedecido a topografia atual (para leste). Este rumo seria responsável pela orientação das aberturas no lado SE de muitos mamelões ao provocar taxas diferenciadas de precipitação ao redor dos corpos.

### 8.2.3. FÁCIES PISCINA

A hipótese sobre a gênese dos corpos da Fácies Piscinas baseia-se no modelo de vertente de Ford e Pedley, (1996), ou seja, poderiam ter existido pontos com aumento da velocidade do fluxo da água provocados por diferenças topográficas. Nesses pontos ocorreria maior desgaseificação por perda mecânica de  $\text{CO}_2(\text{g})$  e conseqüente deposição de carbonato de cálcio. Sucessivos fluxos formariam as paredes das piscinas, como exemplificadas na figura (58). Os processos geradores de canais e pequenos corpos isolados ainda carecem de

modelos genéticos.

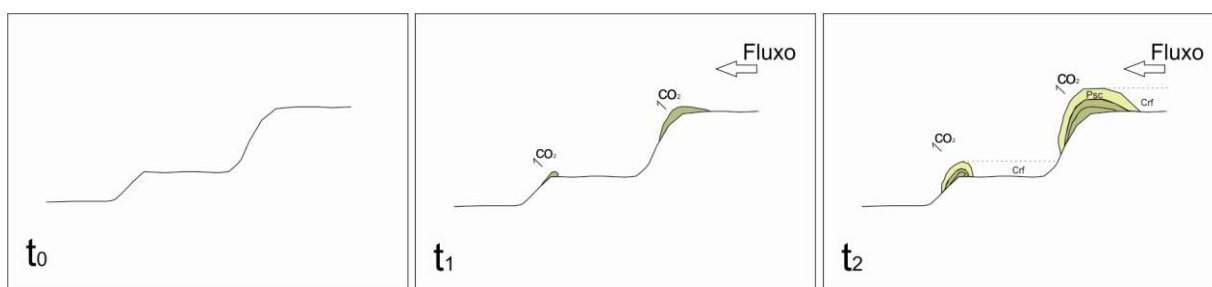


Fig. 58- Esquema de gênese de corpos da Fácies Piscina. Notar pontos de maior perda de  $CO_2(g)$  indicados (“tempos”  $t_0$  a  $t_2$ ).

#### 8.2.4. FÁCIES CARÓFITA

A gênese dos corpos da Fácies Carófitas está ligada à característica de indução à precipitação de carbonato que as algas carófitas exercem no ambiente (Kufel & Kufel, 2002).

Os indivíduos de *Chara* induzem a precipitação interna de carbonato de cálcio, como consequência do metabolismo do órgão reprodutor feminino (oogônio ou girogonite). A precipitação externa está relacionada ao metabolismo fotossintetizante das algas, em condições alcalinas, podendo haver contribuição de cianobactérias associadas. O carbonato de cálcio precipitado pode chegar a 70% do peso do indivíduo (Anadon, et al., 2000 apud Castro, 2009).

As sucessivas camadas de corpos precipitados são recobertas por novos indivíduos, aumentando a espessura do depósito.

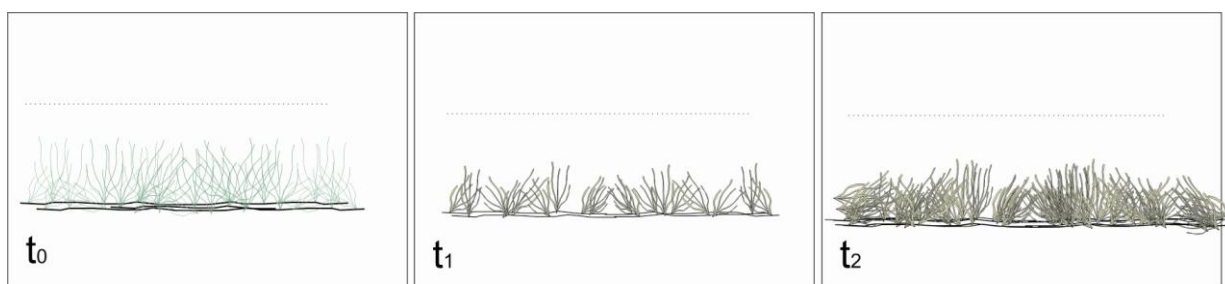


Fig. 59- Representação esquemática de sucessivas precipitações e novas colonizações gerando conjunto de corpos da Fácies Carófitas (“tempos”  $t_0$  a  $t_2$ ).

### 8.2.5. FÁCIES INCRUSTAÇÃO

A gênese da Fácies Incrustação provavelmente está relacionada diretamente à precipitação química de carbonato de cálcio, fato comprovado pela quase total ausência de filamentos de cianobactérias e algas nas lâminas delgadas examinadas.

A existência de três padrões distintos de ocorrência remete a modelos de gênese distintos.

Os morfotipos caracterizados como afloramentos maciços ou levemente acamados nos pontos topograficamente mais altos, com distribuição restrita, foram possivelmente gerados fora do lago por surgência através de fraturas. Quando a água subterrânea chegava à superfície, provavelmente evaporava e ocorria a precipitação do carbonato de cálcio (Fig. 60), de modo semelhante a um modelo apresentado por Pentcost (2005).

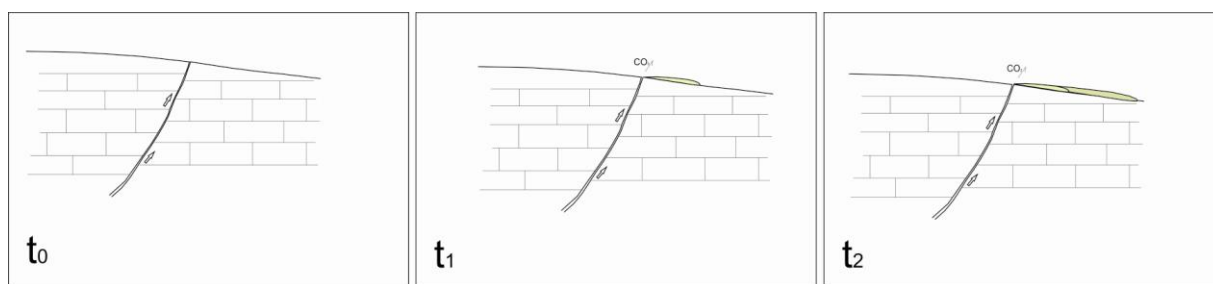
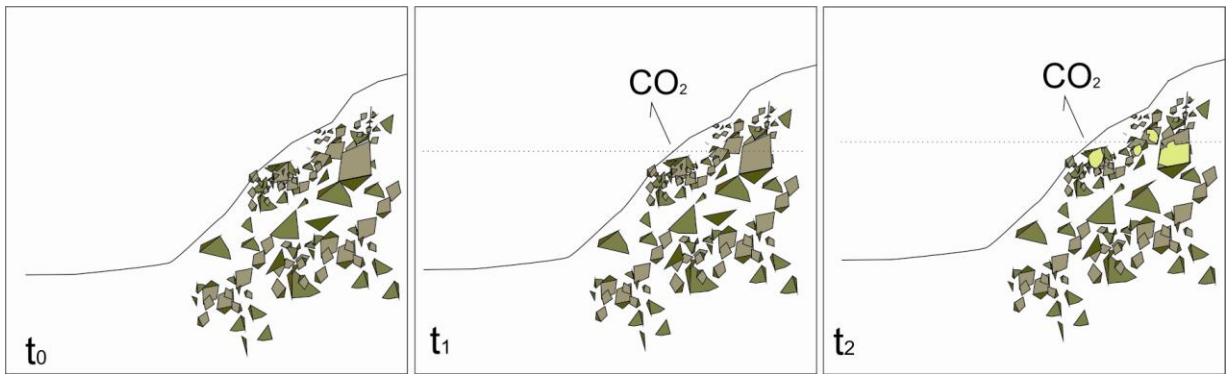


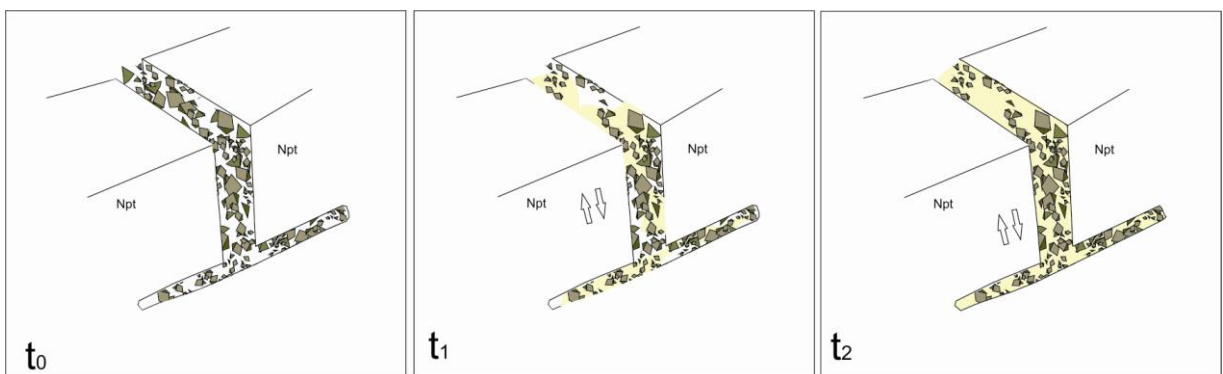
Fig. 60- Esquema de gênese de morfotipo de Fácies Incrustação maciço por perda de  $CO_2(g)$  na surgência da água carbonatada através de fratura.

Outra possibilidade para esta fácies é que se originou às margens do corpo d'água saturado em carbonato, exatamente no contato entre a porção submersa e emersa. Nas margens, a água apresentava pequenas ondas por influência de ventos fracos a fortes, de modo que ocorria maior desgaseificação do  $CO_2$  e conseqüente precipitação de carbonato de cálcio.



*Fig. 61- Esquema representando a gênese de incrustações em blocos do embasamento neoproterozóico nas margens da dolina. A linha pontilhada indica o nível da água. Notar ponto de maior desgaseificação representado pela seta.*

O terceiro modelo genético remete à precipitação de carbonato de cálcio entre seixos da brecha, Fig. (62). Os clastos ocorrem preenchendo fraturas horizontais (concordantes com o embasamento neoproterozóico) e fraturas verticais (discordantes ao embasamento) expostas numa cacimba (ver Anexo I). Os clastos devem ser fragmentos do embasamento, talvez derivados das próprias fraturas que foram gradualmente aumentando em largura no decorrer do intemperismo e/ou podem ter caído a partir da superfície. A presença errática de restos orgânicos misturados com os clastos indica que algum material procedeu da superfície e caiu por gravidade. A gênese do cimento entre os clastos destes depósitos pode estar relacionada a variações do nível freático conforme épocas secas e úmidas. Nas épocas mais secas deve ter aumentado a concentração de íons e facultado a precipitação. A ausência de filamentos de cianobactérias corrobora a hipótese de ausência de luz no ambiente de formação.



*Fig. 62- Esquema da formação de corpos de tufa da Fácies Incrustação como cimento carbonático em brecha. A seta indica variação do nível freático.*

### 8.2.6. FÁCIES MOLDES DE CAULES VEGETAIS ARBUSTIVOS/ARBÓREOS

Esta fácies sugere que o nível de água do lago ocasionalmente ficava mais alto, inundando áreas onde viviam árvores e arbustos não aquáticos. Há evidência de precipitação de carbonato de cálcio em indivíduos vivos, conforme a preservação de moldes de raízes e porções inferiores de caules. Infelizmente, os exemplares observados (exceto um) não representam vegetais preservados *in situ*, porém amostras roladas. Portanto, não é possível saber se a fácies se restringe às cotas mais altas.

Supõe-se que o carbonato de cálcio tenha precipitado em torno dos caules dos vegetais por desgaseificação do CO<sub>2</sub>, pois os vegetais representavam barreiras nas quais a água se chocava. Conforme Turner & Jones (2005), nestes vegetais não ocorreria aderência de EPS e, portanto, a precipitação carbonática não seria biologicamente induzida.

Iniciada a precipitação, sucessivos fluxos provocaram a formação de camadas concêntricas ao torno das partes proximais dos caules, Fig. (63). O envoltório carbonático, nesta fase pode ter servido como substrato para a fixação de cianobactérias, considerando-se que alguns filamentos foram constatados nas lâminas petrográficas.

A presença de faces na amostra AUR – 26 Fig. (42a) pode representar a existência de fluxos de água com sentidos preferenciais na área.

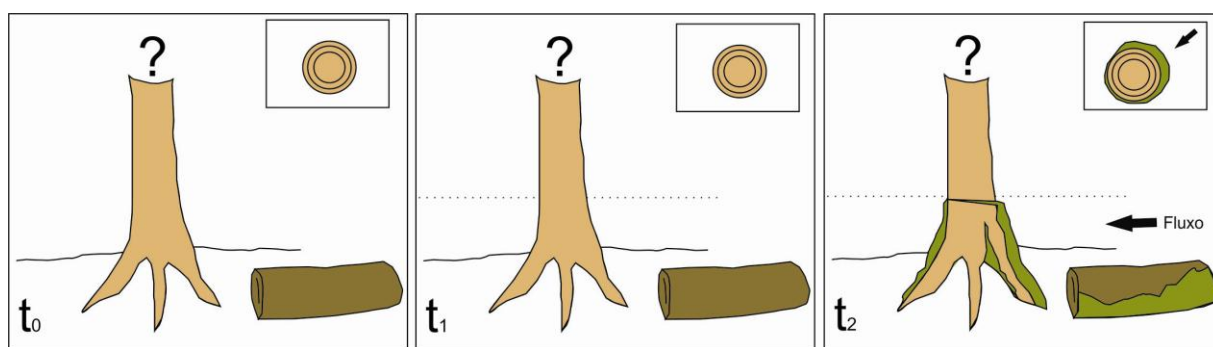


Fig. 63- Esquema de formação de molde de caule. Nesta fase, o caule ainda está presente (“tempos” t<sub>0</sub> a t<sub>2</sub>).

Com o decorrer dos processos de precipitação e/ou com a relativa longa submersão das porções basais dos caules na água, os vegetais iam morrendo e começando a sofrer decomposição. Na porção externa provavelmente perdurou a precipitação carbonática por mais algum tempo, enquanto o nível d'água estava alto, por desgaseificação e também por influência do desenvolvimento das cianobactérias. Porém, internamente, as estruturas tornaram-se inteiramente ou parcialmente ocas, pela decomposição da matéria orgânica do



caule, havendo eventualmente com alguma precipitação de carbonato de caráter mais poroso, pois ali provavelmente não havia luz o suficiente para a existência de comunidades microbianas fotossintetizantes, as quais poderiam ter causado a precipitação de carbonato mais compacto (Fig. 64,  $t_5$ ).

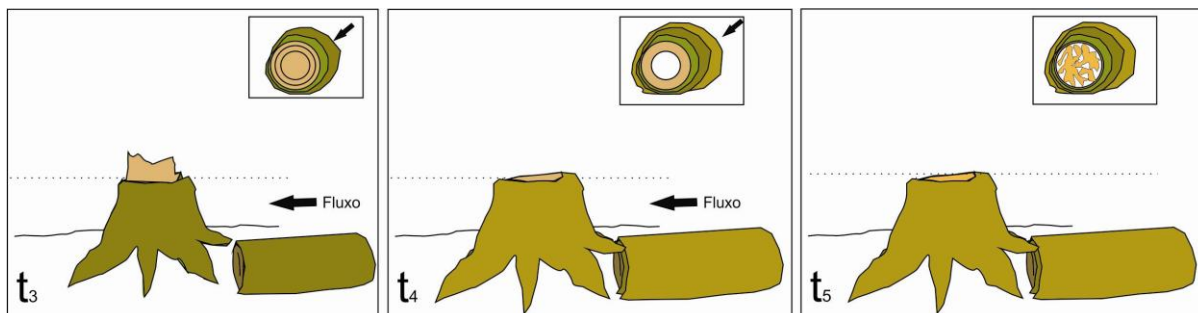


Fig. 64- Esquema de representação da fase final de formação dos corpos da Fácies Moldes de Caules de Vegetais Arbustivos/Arbóreos. Notar o processo de decomposição do caule em  $t_4$  e conseqüente preenchimento do interior do corpo por carbonato poroso em  $t_5$ .

A figura a seguir (Fig. 65) compara morfotipo da Fácies Moldes de Caules de Vegetais Arbustivos/Arbóreos da Fazenda Aurora (AUR-26), com caule moderno incrustado por carbonato de cálcio em início de processo de decomposição do local retirado de Corrêa (2006). Neste segundo caso, o caule encontrava-se em canal fluvial com fluxo relativamente intenso de água carbonatada, devendo ter ocorrido a precipitação de carbonato de cálcio pelo processo de desgaseificação do  $\text{CO}_2$ .

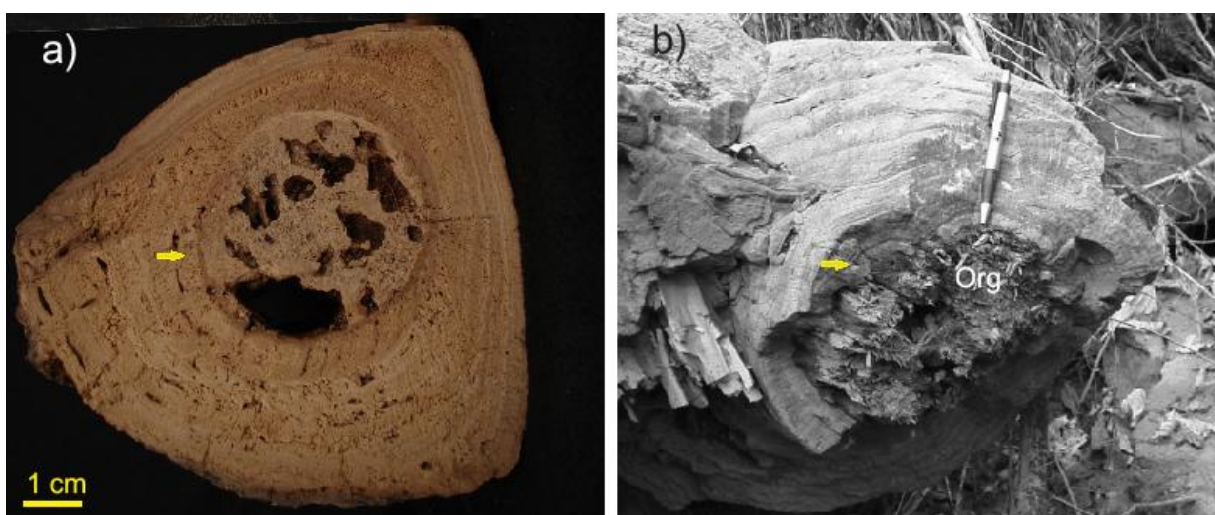


Fig. 65- Comparação entre caule incrustado por carbonato de cálcio da Fazenda Aurora (a) e caule incrustado da Serra das Araras- MT, Corrêa, (2006). (b). A seta em (a) indica a posição que era ocupada pelo caule e atualmente está preenchida por carbonato poroso. A seta em (b) indica a posição do caule moderno no início da decomposição.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade, a raridade e o ineditismo das tufas da Fazenda Aurora, Ouro-lândia-BA, confirmam a manifestação do seu descobridor, Prof. Dr. Bley B. Brito Neves: *—Frata-se de uma ocorrência inusitada... que pode ter feições e variedades dignas de um futuro Sítio Geológico—* (Brito-Neves et al., 2011).

Do conteúdo aqui exposto e do material físico e intelectual gerado, tem-se efetivadas as ambições iniciais propostas pelo trabalho.

Foi construído um acervo de 44 amostras de tufas calcárias, incluindo diversas seções, 25 lâminas delgadas, documentação fotográfica de campo e laboratório.

Com o relatório, geraram-se as primeiras classificações das tufas e propostas sobre a gênese, passíveis de contestação, mas que deverão alicerçar os futuros trabalhos na área.

As dificuldades encontradas na elaboração do projeto sinalizam novas investigações, como o estudo de isótopos de Oxigênio e de Carbono, métodos de datação aplicáveis a carbonatos recentes e métodos de geofísica rasa (GPR), entre outros. O apoio e o entusiasmo do UNESPetro frente à atual pesquisa podem ser ampliados através de parcerias com outras instituições.

As tufas da Fazenda Aurora praticamente constituem um laboratório para entender um grupo de rochas carbonáticas relativamente incomuns, bastante porosas, que podem representar potenciais reservatórios de hidrocarbonetos.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- BRANCACCIO, L.; D'ARGENIO, B.; FERRERI, V.; DAMIANO, S.; TURI, B.; PREITE, M. M. Caratterri Tessiturali e Geochimici dei Travertini di Rochetta a Voltorno (Molse). Bolletino della Societa Geologica Italiana, v. 105, p. 265-277, 1986.
- BRANNER, J.C. Aggraded limestone plains of the interior of Bahia and the climate changes suggested by them. Bull. Geological Society of America, 1911.
- BRASIER, A.T.; ANDREWS, J.E.; MARCA-Bell, A.D.; DENNIS, P.F. 2010. Depositional continuity of seasonally laminated tufas: Implications for  $\delta^{18}\text{O}$  based palaeotemperatures. Global and Planetary Change 71: 160-167.
- BRITO NEVES, B. B. (Ed.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca Editora, 2004.
- BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, R. A.; CAMPANHA, G. A. C. A discordância angular e erosiva entre os grupos Chapada Diamantina e Bambuí (Una) na folha Mirangaba-Bahia. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v.12, n.2, p. 99-114, Agosto 2012
- BUCCINO, G.; D'ARGENIO, B.; FERRERI, V.; BRANCACCIO, L.; FERRERI, M.; PANICHI, C.; STANZIONE, D. I travertini della bassa valle del Tanagro (Campania). Studio geomorfologia, sedimentologia e geochimico. Bollettino della Societa Geologica Italiana, v. 97, p. 617-646, 1978.
- CARTHEW, K. D.; TAYLOR, M. P.; DRYSDALE, R. N. 2003. Are current models of tufa sedimentary environments applicable to tropical system? A case of study from the Gregory river. Sedimentary Geology, v. 162, p. 199-218, 2003.
- CORRÊA, D. Caracterização, Cronologia e Gênese das Tufas da Serra das Araras - Mato Grosso. 2006. 79p. (Dissertação de Mestrado) - Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Geraes, Belo Horizonte, 2006.
- CRISTALLI, P. S.; PETRI, S.; AULER, A. S.; CRUZ JUNIOR, F. W.; DURAN, C.; SILVA, N. P. 2003. Evidência de vegetação florestal durante o último máximo glacial no município de Campo Formoso, norte da Bahia, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 2003, Brasília. Boletim de Resumos do XVIII Congresso Brasileiro de Paleontologia. 2006.
- CRISTALLI, P. S. Macrofitofósseis em tufos calcários quaternários do norte da Bahia como indicadores paleoclimáticos. 2006. 195p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- D'ARGENIO, B.; FERRERI, V.; STANZIONE, D.; BRANCACCIO, L.; FERRERI, M. I Travertine di Pontecagno(Campania). Geomorfologia, Sedimentologia, Geochimica. Bollettino della Societa Geologia Italiana, v. 102, p. 123-136, 1983

- DUARTE, L.; NOGUEIRA, M. 1983. Vegetais do Quaternário do Brasil III: Flórua do Morro do Chapéu – BA. In: DNPM. Coletânea de Trabalhos Paleontológicos do 8º Congresso Brasileiro de Paleontologia. 1980.
- 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: 141–162
- FORD, T. D.; PEDLEY, H. M. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews*, v.41, n.3, p.117-175, 1996.
- FREYTET, P.; VERECCHIA, E.P. Freshwater organisms that build stromatolites: a synopsis of biocrystallization by prokaryotic and eukaryotic algae. *Sedimentology*, v.45, p.535-563, 1998.
- KANO, A.; MATSUOKA, J.; KOJO, T.; FUJII, H. Origin of annual laminations in tufa deposits, southwest Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 191, n.2. 2003.
- KUCHENBECKER, M.; REIS, H. L. S.; FRAGOSO, D. G. C. Caracterização estrutural e considerações sobre a evolução tectônica da Formação Salitre na porção central da Bacia de Irecê, norte do Cráton do São Francisco (BA), *Geonomos*, Belo Horizonte, p 42-49, 2011. Disponível em: [www.igc.ufmg.br/geonomos](http://www.igc.ufmg.br/geonomos). Acessado em Novembro de 2012.
- KUFEL, L. & KUFEL, I. 2002. *Chara* beds acting as nutrient sinks in shallow lakes—a review. *Aquatic Botany* 72:249–260.
- OLIVEIRA, C. E. Tufas Calcárias da Serra da Bodoquena-MS. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- ORDOÑEZ, S; GARCIA DEL CURA, M. A. Recent and Tertiary fluvial carbonates in Central Spain. *Special Publications of International Association of Sedimentologists*, v.6, p.485-497, 1983.
- PEDLEY, H. M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, v. 68, p. 143-154.
- PENTECOST, A, Travertine. Springer-Verlag, Berlin.v.1, p 1-445. 2005.
- SANT'ANNA, L. G.; RICCOMINI, C.; RODRIGUES-FRANCISCO, B. H.; SIAL, A. N.; CARVALHO, M. D.; MOURA, C. A. V. The Paleocene travertine system of the Itaborai basin, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 18, p. 11-25, 2004
- TURNER, E. C.; JONES, B. Microscopic calcite dendrites in cold-water tufa: implications for nucleation of micrite and cement. *Sedimentology*, v.52, n.5, p.1043-1066, 2005

VÁZQUES-URBES, M., ARENAS, C., SANCHO, C., ÓSACAR, C., AUQUÉ, L., PARDO, G. 2010. Factors controlling present-day tufa dynamics in the Monasterio de Piedra Natural Park (Iberian Range, Spain): depositional environmental settings, sedimentation rates and hydrochemistry. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* (2010) 99:1027–1049.