



**Petrografia das Fácies Evaporíticas Sulfatadas do
Membro Ipubi, Formação Santana (Bacia do Araripe)**
Petrography of Evaporite Facies from the
Ipubi Member, Santana Formation (Araripe Basin)

Guilherme Duarte & Leonardo Borghi

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, CCMN, IGEO, Departamento de Geologia,
Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed). Av. Athos da Silveira Ramos, 274, bloco J1, s/J1-011. 21.941-916*

Campus Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: guilhermeduarte008@gmail.com; lborghi@geologia.ufrj.br

Recebido em: 14/03/2018 Aprovado em: 11/05/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_606_613

Resumo

O Membro Ipubi da Formação Santana (Bacia do Araripe) é uma sucessão evaporítica sulfatada composta por gipsita e anidrita de idade aptiana, logo, cronocorrelata à Fase Salífera da Margem Continental do Brasil, onde foram depositadas espessas camadas de sais. É comum em evaporitos sulfatados a variação entre fácies primárias, que indicam as feições deposicionais, e secundárias, indicadoras de recristalização por processos diagenéticos. Essa disposição de fácies é amplamente observada no Membro Ipubi, e remete a uma marcante ação da diagênese, e relação direta com a evolução da bacia. Mediante tal situação, o presente trabalho tem como objetivo, através da caracterização petrográfica dessas rochas, identificar as diferentes fácies e compreender parte dos processos diagenéticos. No total, as 23 lâminas analisadas e 37 amostras de mão indicaram a ocorrência de pelo menos cinco fácies; sendo duas fácies primárias: gipsita prismática e anidrita nodular; e, três fácies secundárias: gipsita porfiroblástica, gipsita alabastrina e espato acetinado. As diferentes fácies foram organizadas segundo as etapas diagenéticas, a partir delas observou-se que os evaporitos refletem, embora, de forma localizada, os processos regionais que predominavam na bacia.

Palavras-chave: Bacia do Araripe; Membro Ipubi; evaporito; sulfato; Aptiano

Abstract

The Ipubi member of the Santana Formation (Araripe Basin) is a sulfated evaporite succession composed of gypsum and anhydrite of Aptian age, thus, it is chronocorrelated to the Brazilian Margin Salt Phase, when thick layers of salts accumulated. It is common in sulphate evaporites the variation between primary facies, which indicate the depositional features, and secondary facies, indicatives of recrystallization by diagenetic processes. This arrangement of facies is widely observed in the Ipubi Member, and it is due to a notable diagenesis, directly related with the basin evolution. Due to this situation, the present work aims through the petrographic characterization of these rocks to identify the different facies and to understand part of the diagenetic processes. In total, the 23 thin sections and 37 hand samples analysed indicated the occurrence of at least five facies; being two primary facies: prismatic gypsum and nodular anhydrite; and, three secondary facies: porphyroblastic gypsum, alabasterine gypsum and satin spar. After the identification, the different facies were organized according to the diagenetic stages, and from it, it was observed that the evaporites reflect, albeit locally, the regional processes that prevailed in the basin.

Keywords: Araripe Basin; Ipubi Member; evaporates; gypsum; Aptian

1 Introdução

Os estudos sobre evaporitos avançaram bastante nas últimas duas décadas, especialmente no Brasil, devido às espessas camadas de sal aptiano associado ao rifteamento do Gondwana, que ocorrem na Margem Continental do Brasil. Nesse tocante, o Membro Ipubi da Formação Santana, unidade pós-rifte da bacia do Araripe é marcada por uma camada de evaporitos sulfatados composta por gipsita, majoritariamente, e anidrita da idade também aptiana, ou seja, cronocorrelata à Fase Salífera da margem.

Os sulfatos do Membro Ipubi atualmente ocorrem como fácies primárias e fácies secundárias. Conforme o sumário por Warren (2016), as fácies primárias representam aquelas geradas durante a deposição dos evaporitos, enquanto que as secundárias representam aquelas formadas durante a diagênese, contemplando os processos em superfície, soterramento, e, durante o soerguimento. No caso dos sulfatos, o soterramento resulta na anidritização, decorrida devido à desidratação da gipsita; enquanto que o soerguimento causa a gipsificação, diretamente associada à reidratação das anidritas, marcando a geração as fácies secundárias e obliteração das primárias.

Todavia, a despeito do grande volume dos estudos acerca dos sais aptianos, são relativamente escassos os estudos realizados nesse tocante nos sulfatos de mesma idade. Dessa forma ainda há certas lacunas sobre a evolução diagenética do Membro Ipubi e qual o reflexo disso na evolução da bacia. Sendo assim, o presente estudo embasado em um estudo petrográfico objetiva em caracterizar as diferentes fácies e compreender qual o significado diagenético das mesmas, para assim, contribuir nesse importante tema.

2 Área de Estudo

A bacia do Araripe está localizada no Nordeste do Brasil, instaurada na Zona Transversal da Província Borborema, e limitada pelos Lineamentos de Patos e da Paraíba (Esteves Jr., 2009). Sua principal fase de evolução e crescimento

está diretamente relacionada com os processos de ruptura do Gondwana decorridos durante o Cretáceo (Assine, 2007).

No caso do Membro Ipubi, ele é membro intermediária da Formação Santana, que ainda é composta pelos calcários laminados do Membro Crato, e os registros transgressivos do Membro Romualdo no topo.

No estudo mais focado nessa unidade, foram visitadas quatro minas na bacia do Araripe. Duas delas, as minas São Jorge (7° 07' 54''S/ 39° 42' 59''W) e Conceição Preta (7° 11' 45''S/ 39° 43' 11''W), situadas no estado do Ceará; e duas outras no estado de Pernambuco, as minas São Jorge (7° 42' 44''S/ 40° 14' 04''W) e Rancharia (7° 44' 41''S/ 40° 28' 17'' W). As localizações aproximadas das minas, da bacia do Araripe e suas localidades estão indicadas na Figura 1.

3 Material e Método

A realização desse trabalho foi executada em duas principais fases: uma fase de campo e uma fase laboratorial. A fase de campo contemplou uma atividade de campo na bacia, quando as quatro minas citadas foram visitadas. Seu foco foi a coleta de amostras de diferentes ocorrências de evaporitos. Uma vez que nas visitas não houve a possibilidade de se trabalhar com amostras de testemunhos, o trabalho teve de ser focado em amostras próximas das frentes de lavra. Devido a isso, não houve como ordenar as relações de topo e base, e as suas profundidades. No total, foram coletadas 37 amostras; sendo 10 na mina Pedra Branca, 12 na Conceição Preta, 10 na São Jorge e 5 na Rancharia, conforme o indicado na Tabela 01.

A segunda etapa contemplou a caracterização petrográfica dos evaporitos. Inicialmente as amostras foram organizadas no Laboratório de Geologia Sedimentar da UFRJ. No mesmo laboratório havia amostras dos poços SE-2 e C-4, utilizados, respectivamente, por Silva (1988) e Esteves Jr. (2009). Do poço SE-2, proveniente da mina Casa de Pedra (não visitada no estudo) foram utilizadas sete amostras, e do C-4, proveniente da mina São Jorge,

cinco amostras (Figura 1). Vale ressaltar que essas amostras possuíam as relações de topo e base, bem como, as suas profundidades. A partir da possibilidade de utilizá-las, todas as amostras disponíveis foram reunidas em grupos com base similaridade entre elas, e a partir de cada grupo realizou-se a caracterização macroscópica das amostras. Buscou-se caracterizar os cristais e observar ocorrência de estruturas sedimentares; finalizada, houve o registro fotográfico das feições observadas e a distinção de cada grupo em uma fácies.

Acerca da caracterização microscópica, ela foi realizada utilizando um microscópio Zeiss Axio Imager. A2M, e o registro dos dados se deu através *software* Axionvision acoplado ao mesmo microscópio. Seu foco foi na geometria e disposição dos cristais na escala microscópica, em especial na complexa relação entre as duas fases sulfatadas. Essa etapa foi primordial, pois permitiu a corroboração e

uma maior análise da classificação de fácies realizada durante a caracterização macroscópica. Um total de 23 lâminas relativas tanto às amostras coletadas, como às de campo foi utilizado. Maior detalhamento das amostras utilizadas é indicado na Tabela 1.

Ambas as caracterizações foram realizadas à luz da literatura; destacando-se Holliday (1970), Silva (1988), Paz & Rossetti (2006a), Esteves Jr. (2009) e Warren (2016).

| Origem | Amostras | |
|-----------------|----------|-------------|
| | Macro | Micro |
| Pedra Branca | 10 | 1 |
| Conceição Preta | 12 | 2 |
| São Jorge | 10 | 6 |
| Rancharia | 5 | 2 |
| SE-2 | - | 7 |
| | | Prof. 13,83 |
| | | Prof. 54,65 |
| | | Prof. 55,75 |
| | | Prof. 58,95 |
| | | Prof. 59,60 |
| | | Prof. 60,95 |
| C4 | - | 5 |
| | | Prof. 31,60 |
| | | Prof. 38,80 |
| | | Prof. 43,00 |
| | | Prof. 55,20 |

Tabela 1 Relação das amostras utilizadas na caracterização macroscópica e microscópica.

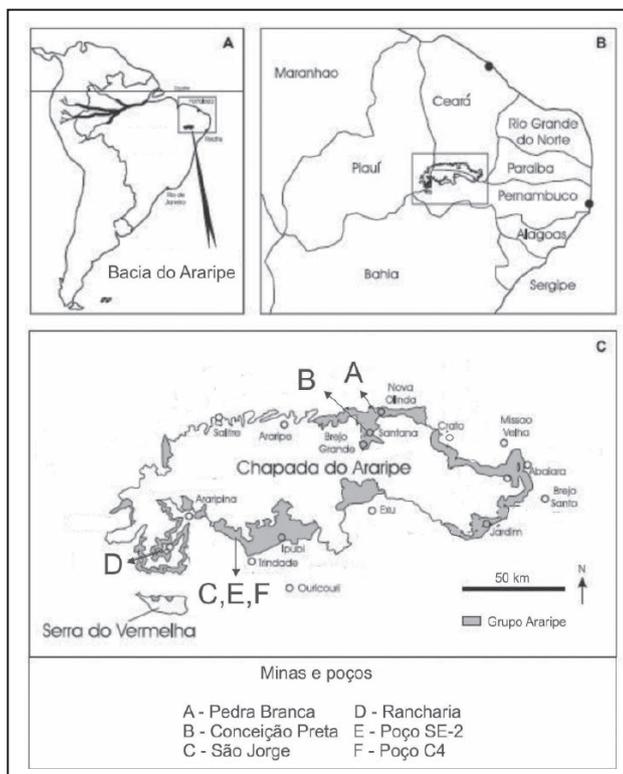


Figura 1 Mapas simplificados da localização da bacia do Araripe e áreas de estudo. (A) Indicação da bacia dentro do Brasil; (B) Situação da bacia dentro do Nordeste do Brasil; (C) Mapa geral da bacia do Araripe e localidades, observar a localização aproximada das minas visitadas e poços utilizados (Modificado de Martill, 2007b).

4 Resultados

Cinco fácies foram identificadas, sendo duas primárias: a gipsita prismática (Gp) e a anidrita nodular (An), e três secundárias: a gipsita alabastrina (Ga), gipsita porfiroblástica (Gpr) e o espató acetinado (Ea).

4.1 Fácies Primárias

4.1.1 Gipsita Prismática (Gp)

Descrição: Essa fácies ocorre como cristais prismáticos centimétricos a milimétricos de gipsita que crescem de maneira perpendicular a partir de uma superfície. Os cristais ocorrem em lâminas de

cores marrons, com marcante continuidade lateral (Figura 2B). Intercaladas, há lâminas brancas compostas por pequenos cristais não discerníveis a olho nu, que da mesma forma também têm uma marcante continuidade.

No microscópio foi possível observar que nas lâminas marrons os cristais prismáticos têm topos aplainados e são truncados pelos cristais das lâminas brancas (Figura 2A). A gipsita prismática pode ter a ocorrência de anidrita como inclusão, mas, de forma escassa. Comparados com os cristais que compõem as lâminas brancas, foi observado que neles não há ocorrências de anidritas, ou seja, a composição reflete quase que unicamente gipsita. Os cristais são milimétricos, e possuem um formato granular a fibrosos/alongado, e não possuem uma orientação marcante. Sinais indicativos de porosidade intergranular podem ser observados nessa fácies.

Interpretação: Cristais prismáticos são comuns a evaporitos gerados em condições subaquosas, diretamente a partir de uma salmoura. Para o caso de sulfatos, a gipsita cresce em corpos, como por exemplo, lagos e salinas, com profundidade de 10 metros (Silva, 1988; Warren, 2016). Já os cristais que ocorrem nas lâminas de coloração branca, são gerados por processos de remobilização de parte dos cristais prismáticos (Paz & Rossetti, 2006a).

4.1.2 Anidrita Nodular (An)

Descrição: Ocorrem na forma de nódulos com poucos centímetros de tamanho de coloração geralmente branca, que ainda podem variar para tons de cinza a azul (Figura 2D). Os nódulos não têm uma geometria padrão, e de modo geral são arredondados a achatados. Não é possível a observação de anidritas isoladamente, e tampouco descrevê-las.

Nas lâminas, por outro lado, foi possível observar que os cristais são fibrosos a prismáticos, similares às ripas (Figura 2C), e em raros casos, radiados; nos casos observados os cristais não ultrapassam poucos milímetros. Podem ocorrer impurezas entre os grãos, como sedimentos lamosos e carbonatos.

De forma muito localizada foram observados cristais de anidrita invadindo e corroendo os cristais

de gipsita, sugerindo uma etapa de substituição entre os sulfatos.

Interpretação: Nódulos de anidrita são reconhecidos como sais de origem intrasedimentar (Warren, 2016). Eles crescem entre os poros de sedimentos saturados por fluidos hipersalinos na zona capilar, situados na planície de supamaré, já distantes das influências de marés (Silva, 1988; Warren, 2016).

4.2 Fácies Secundárias

4.2.1 Gipsita Alabastrina (Ga)

Descrição: Essa fácies em amostras de mão é indicada por cores brancas leitosas até variedades mais acinzentadas a marrons (Figura 3B). Não há como observar e diferenciar cristais dessa forma, uma vez que são as fácies mais finas observadas, condição que impossibilita maiores análises macroscópicas, todavia é possível observar que podem formar aglomerados similares a nódulos.

Em análises ao microscópio os cristais de gipsita alabastrina são majoritariamente milimétricos e a ocorrência de anidritas é bastante rara (Figura 3A). É relativamente comum que os cristais sejam tão finos que impossibilitem a segregação deles, todavia, eles podem variar para versões mais grossas, e até mesmo para gipsita porfiroblástica. Em Holliday (1970) é apresentado que a Ga pode ser segregadas em duas categorias com base na extinção dos cristais, e na possibilidade de individualizar os grãos, no entanto, preferiu-se em não a dividir dessa maneira, uma vez que é muito caótica a sua disposição nas lâminas.

Uma importante organização observada é que alguns aglomerados com formato nodular de gipsita alabastrina, alguns cristais discretos de anidrita os circundam. Essa organização prontamente remete à natureza secundária dessa fácies, gerada através da hidratação de antigos nódulos de anidrita.

Interpretação: É originada através de processos de reidratação direta que sofre a anidrita (Holliday, 1970; Silva, 1988). Completando essa ideia, Warren (2016) sugere a reidratação na zona freática ativa difusa.

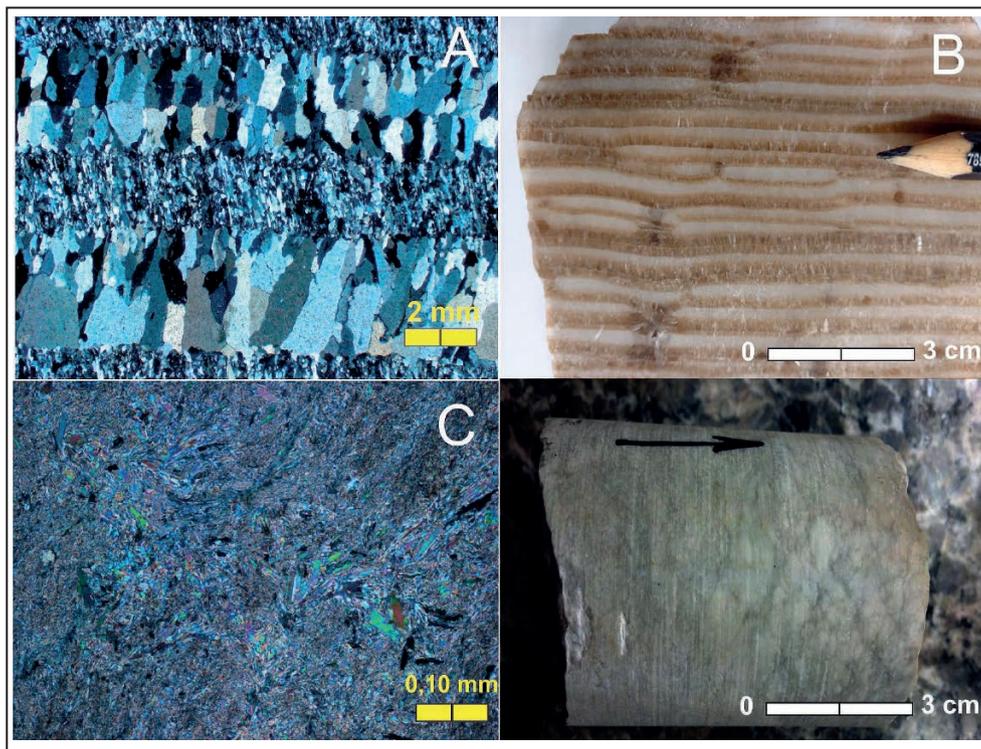


Figura 2 Fácies gipsita prismática (A, B) e fácies anidrita nodular (C, D). (A) Fotomicrografia da Gp (Nicol cruzado (NX) –SE-2 prof. 59,60); (B) Fotografia representando a Gp com destaque para as laminações (Mina São Jorge); (C) Fotomicrografia da fácies An com destaque para os cristais fibrosos a prismáticos de anidrita (NX – C4 – prof. 38,80); (D) Fotomicrografia de testemunho do poço SE-2 (prof. 13,83 m).

4.2.2 Gipsita Porfiroblástica (Gpr)

Descrição: Observadas em amostras de mão, são cristais anédricos grossos de cor cinza a marrom (Figura 3D). Podem ser até similares à Gp, todavia, àquela não é comum a marcante organização em lâminas. Uma importante variedade dessa fácies é a conhecida como roseta; pois os seus cristais anédricos radiados são similares ao formato de uma flor.

Antagônicas às gipsitas alabastrinas, a gipsita porfiroblástica representa a fácies secundária mais grossa (Figura 3C). Ao microscópio é muito comum observar a ocorrência de inúmeras anidritas reliquiárias como inclusões; um notável contraste com a fácies alabastrina. Em alguns casos é possível observar ocorrência de subgrãos, e uma forte extinção oblíqua nos cristais, o que sugere uma possível deformação. Sobre as rosetas, os cristais radiados crescem a partir de uma partição central, e nos seus limites é comum o contato com Ga. De um modo geral, não há muitas inclusões de anidritas nelas.

Possuem uma aparente relação com a Ga, uma vez que é comum a ocorrência uma variação caótica entre as duas fácies. Interpretação: Em Warren (2016) é indicado que essa variedade cresce através da hidratação de nódulos na porção mais profunda da zona freática ativa. As rosetas, por sua vez, crescem a partir da acumulação de poros, já em condições mais próximas da superfície (Gindre-Chanu *et al.*, 2014).

4.2.3 Espato Acetinado (Ea)

Descrição: É a fácies secundária mais diferenciada do Membro Ipubi, uma vez que ocorre na forma de fibras de coloração branca (Figura 3F) preenchendo diversas fraturas localizadas no corpo sulfatado. As fibras são centimétricas, e nos limites delas com as paredes dos veios é muito comum que ocorram acumulações de folhelhos com um caráter encerado. As fibras, em sua maioria, são perpendiculares às paredes da rocha encaixante, no entanto, variações dobradas são comuns.

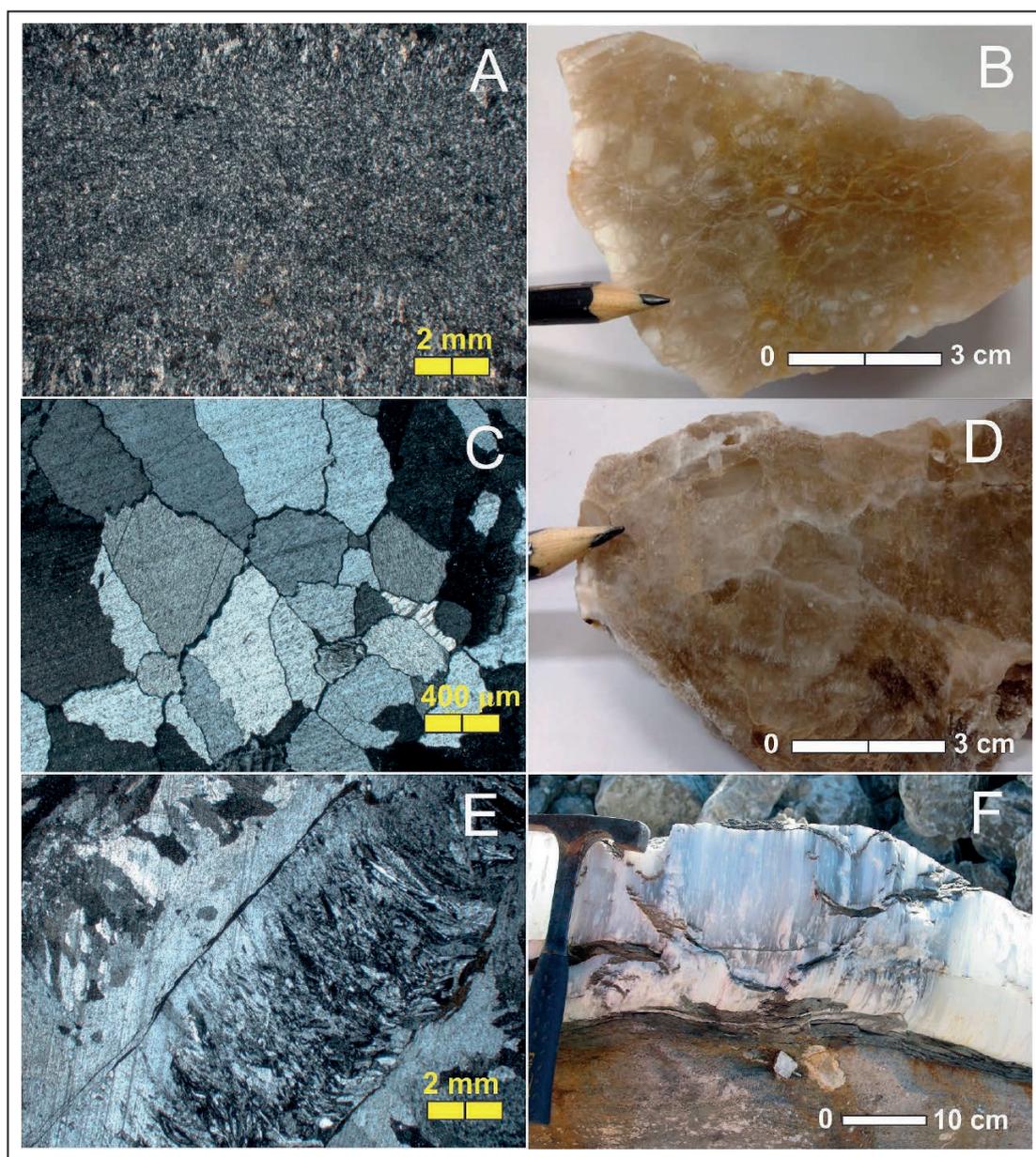
Observada no microscópio, a fácies mantém as principais características macroscópicas, ou seja,

são fibras e podem apresentar uma curvatura nos cristais (Figura 3E). A feição mais marcante é a falta de relíquias de anidrita, indicando uma extrema pureza delas em gipsita. Alguns escassos sinais de anidrita, carbonatos e argilas ocorrem, no entanto, são compreendidos como impurezas, pois se acumulam nas porções onde há o contato das fibras com as paredes da rocha encaixante.

Interpretação: Conforme o corpo sulfatado é soerguido, naturalmente há o fraturamento dele, e

o aumento da influência de fluidos que o percolam (Warren, 2016). Associado ao soerguimento ainda há uma geração de fluidos ricos em sulfatos que preenchem as fraturas e poros, e quando retornam às condições mais superficiais e rasas, originam as fibras (Warren, 2016). Dessa forma, esta é a fácies mais diretamente relacionada aos processos de hidratação e dissolução, e, além disso, é a última a ser gerada, uma vez que é claramente observável as fibras cortando todas as fácies anteriores.

Figura 3
Representação das fácies Ga (A, B), Gpr (C, D) e Ea (E, F). (A) Fotomicrografia de gipsita alabastrina muito fina (NX – C4 prof. 38,80 m); (B) Fotografia de aglomerados de Ga (Mina São Jorge); (C) Fotomicrografia da fácies de Gpr indicando os cristais mais grossos (NX – C4 prof. 31,60 m); (D) Fotografia de Gpr coletada na mina Pedra Branca; (E) Fotomicrografia da fácies Ea indicando as fibras preenchendo uma fratura (NX – SE-2 prof. 18,83 m); (F) Fotografia do espato acetinado com destaques para as impurezas (Mina São Jorge).



5 Discussão

Embora as fácies apresentem uma complexa relação entre si no Membro Ipubi, ainda é possível organizá-las seguindo a ordem de cristalização, e associá-las às etapas diagenéticas de eodiagênese, mesodiagênese e telodiagênese; inicialmente definidas por Choquette & Pray (1970) e adaptadas para evaporitos por Warren (2016).

A etapa de deposição é indicada pelas fácies primárias Gp e An. A primeira em condições subaquosas rasas (Silva, 1988; Warren, 2016), e a segunda, a partir de poros de sedimentos que compõem a planície supramaré de um sabkha (Silva, 1988; Warren, 2016). Efeitos da eodiagênese, a diagênese mais rasa, são indicados no topo de cristais prismáticos aplainados gerados por ação de fluidos. Outra marca dessa etapa está indicada nas laminações brancas formadas por pequenos cristais alongados de gipsita. Segundo concepção de Paz & Rossetti (2006a) ela representa uma substituição da Gp (equivalente à gipsita Chevron dos citados autores) sob influência da salmoura primária, ou seja, está diretamente relacionada às condições superficiais ou de baixa profundidade.

Conforme há o soterramento dos cristais, naturalmente ocorre o aumento da pressão e compactação dos cristais, e da mesma forma, há a perda de porosidade inicial, e, de parte dos fluidos; concomitante também há o aumento da temperatura. O aumento da profundidade, e o isolamento do corpo das condições e fluidos superficiais caracterizam as etapas inseridas na mesodiagênese; etapa que em sulfatos é relativamente comum a anidritização. Segundo Warren (2016) uma profundidade pouco maior do que 1 km já seria o suficiente para que não ocorra mais gipsita, apenas anidrita.

Para o caso do Membro Ipubi, a profundidade máxima alcançada variou entre 350 a 380 metros (Silva, 1988), pouco se comparado ao indicado por Warren (2016). Essa baixa profundidade *a priori* descarta a anidritização, e, além disso, a não ocorrência é suportada pelas fácies primárias ainda preservadas. Todavia, alguns sinais que suportam uma parcial desidratação são observados nas análises microscópicas. As principais evidências são

cristais de anidrita que invadem cristais de gipsita, as ocorrências de pequenos cristais de anidritas que preservam o formato da gipsita original (Silva, 1988), e de pseudomorfos de gipsita em anidrita fibrosa (Nascimento Jr. *et al.*, 2016).

Contrapondo esses indicativos que suportam um início de desidratação à baixa profundidade de sepultamento dos evaporitos, a anidritização do Membro Ipubi foi compreendida como um processo brando. Consequentemente a mesodiagênese, a diagênese em maiores profundidades, não pode influenciar essas rochas como um todo.

A terceira e última etapa de diagênese, a telodiagênese, está relacionada ao aparecimento de fácies secundárias, e consequentemente aos processos decorridos durante o soerguimento. O processo mais marcante está indicado na gipsificação, e indica a volta do corpo sepultado às condições deposicionais. Com base nas fácies secundárias, a telodiagênese pode ser segregada em duas etapas. O primeiro momento compreende a reidratação direta da anidrita nas fácies Ga e Gpr.

O corpo sulfatado a ser soerguido, foi inicialmente reinserido na porção mais profunda da zona freática ativa, onde o fluxo é mais lento e permitiu o crescimento da Gpr (Holliday, 1970; Warren, 2016). Mais acima, ao alcançar a zona freática ativa difusa, onde o fluxo é mais intenso, é gerada a Ga (Warren, 2016). Dentro dessa fase ainda há o alívio de pressão e consequente geração de porosidade e fraturamento, permitindo que fluidos meteóricos percolam o corpo.

O segundo momento é marcado pelas rosetas, crescidas em poros onde os fluidos hipersalinos se acumulam (Gindre-Chanu *et al.*, 2014). E, por fim, pelas fibras de Ea. A origem dela está associada aos fluidos concentrados em sulfatos gerados pela dissolução e reidratação do corpo através da percolação (Warren, 2016). Todo esse volume de fluidos invade os espaços disponíveis, e ao alcançar as porções mais superficiais, se cristalizam na forma de espato acetinado.

O processo idealizado está indicado de uma maneira resumida na Figura 4, onde é possível observar a correlação entre as etapas e as fácies comuns a elas.

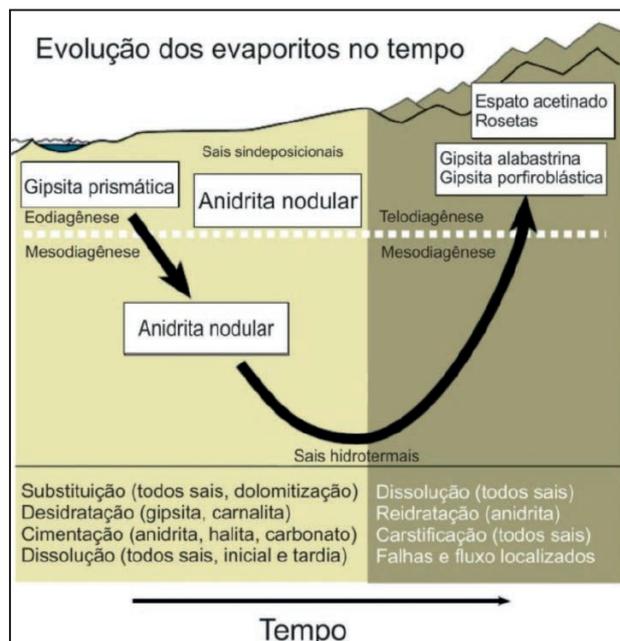


Figura 4 Síntese idealizada da história diagenética dos evaporitos do Membro Ipubi com base nos processos indicados em Warren (2016).

6 Conclusão

A ocorrência de fácies primárias e secundárias é muito comum no Membro Ipubi. Ordenando-as nas etapas diagenéticas, as fácies indicam processos de subsidência na bacia e posterior soerguimento das unidades. Logo, a evolução da bacia, a partir do Cretáceo, teve forte influência nos evaporitos. A causa desses processos ainda é incerta, todavia, é sugestivo correlacioná-los aos processos de rifte ainda decorrentes na Margem Continental do Brasil e influenciavam diretamente a Zona Transversal da Província Borborema.

7 Agradecimentos

Ao PRH-18/ANP pelo apoio financeiro ao estudo.

8 Referências

- Assine, M.L. 2007. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 371-389
- Choquette, P.W. & Pray, L.C.1970. Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 54(2): 207-250.
- Esteves Jr., I.R. 2009. *Fácies evaporíticas no intervalo Alagoas (Aptiano/Albiano, Cretáceo Inferior) em bacias do interior do Nordeste*. Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia), 35p
- Gindre-Chanu, L.; Warren, J.; Puigdefabregas, C.; Sharp, I.; Peacock, D.; Swart, R.; Poulsen, R.; Ferreira, H. & Henrique, L. 2014. Diagenetic evolution of Aptian evaporites in the Namibe Basin (south-west Angola). *Sedimentology*, 62(1): 204-233.
- Holliday, D.W.1970. The petrology of secondary gypsum rocks: a review. *Journal of Sedimentary Petrology*, 40(2): 734-744.
- Martil, D.M. 2007. The age of the Cretaceous Santana fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: a historical review and an appraisal of the biostratigraphic utility of its palaeobiota. *Cretaceous Research*, 28(6): 895-920
- Paz, J.D. & Rossetti, D.F. 2006a. Petrography of gypsum-bearing facies of the Codó Formation (Late Aptian), Northern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(3): 557-572.
- Shearman, D.J.; Mossop, G.; Dunsmore, H. & Martin, H. 1972. Origin of gypsum veins by hydraulic fracture. *Trans. Inst. Min. Metall.*, 82(B): 65-67.
- Silva, M.A.M. 1988. Evaporitos do Cretáceo da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 2(1): 53-63.
- Warren, J.K. 2016. *Evaporites: A Geological Compendium*. Cham, Suíça, Springer Internacional. 1854 p.