



## Application of velocity-deviation log to predict the aspect ratio in Pre-Salt Carbonate rocks

Evângela P. A. da Silva (UNICAMP\*, Petrobras), Alessandra Davólio (UNICAMP), Denis J. Schiozer (UNICAMP), Marcos S. dos Santos (Petrobras)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

In this paper, we present a well profile study that relates the deviations of P wave velocities, obtained from the application of the method proposed by Anselmetti & Eberli (1999), with the aspect ratio present in carbonate rocks. For this, facies profiles were analyzed to obtain a relationship between these deviations and pore type.

The analysis of facies shows the existence of two types of carbonaceous rocks present in the study, microbialite and coquina, with significant differences in porosity and diagenetic process. Vugs are the predominant type of pores in both lithologies reflecting in the results of velocity deviations and the aspect ratio values.

### Introdução

A construção de modelos petroelásticos requer conhecimento das propriedades da estrutura de poros das rochas, que dependem principalmente da morfologia do espaço poroso e das fases sólidas da rocha. A modelagem de reservatórios carbonáticos é mais complexa que a dos siliciclásticos devido a seus aspectos distintos, tais como, composição mineralógica, ambientes deposicionais, diagênese, estrutura porosa. Metodologias eficientes em rochas siliciclásticas na maioria das vezes não são tão eficientes para as carbonáticas. Enquanto a primeira possui em sua maioria poros elipsoidais (intergranulares), a segunda possui poros variando de arredondados, elipsoidais a alongados. A geometria porosa tem forte influência na física de rochas dos carbonatos, sendo tão importante quanto à porosidade.

Anselmetti e Eberli (1993, 1997, 1999) mostraram como variações da geometria do espaço poroso em carbonatos influenciam a velocidade acústica, demonstrando uma forte dependência com a combinação de fatores de porosidade e estrutura de poros. Os autores concluíram que:

- i) desvios de velocidade positivos (acima de +500 m/s): indicam altas velocidades em relação à

porosidade, com poros do tipo intrafóssil ou móldica; a porosidade móldica seria indicativa de intensas alterações diagenéticas, favorecendo a reprecipitação dos minerais e a cimentação dos poros e é caracterizada por poros comumente não conectados, com uma densa matriz cimentada, sendo indicativo de baixas permeabilidades;

- ii) desvios próximos de zero ( $\pm 500$  m/s ou menores): indicam baixas velocidades e porosidade do tipo interpartícula, intercristalina ou microporosidade. Associadas a poucas alterações diagénéticas, prevalecendo poros típicos do processo de pós-sedimentação, onde os grãos originais ou micritas são empacotados juntos. Caracterizada por poros usualmente bem conectados produzindo alta permeabilidade, exceto quando apenas a microporosidade é abundante;
- iii) desvios negativos: podem ser causados pela presença de fraturas e de gás; outros fatores também podem causar baixas velocidades, tais como problemas na parede do poço.

O método proposto por Anselmetti e Eberli (1993, 1997, 1999) foi aplicado para definir a razão de aspecto da rocha por faixa de desvios de velocidade P, para futuramente ser incluído no modelo proposto por Xu & Payne (2009) e, deste modo, considerar a influência da geometria de poros no modelo petroelástico para rochas carbonáticas.

Para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos pela aplicação do método descrito acima, foram criadas fácies no poço a partir da descrição de amostras laterais.

### Método

Para obter os perfis de desvios de velocidade P foi utilizado o método proposto por Anselmetti e Eberli (1999), no qual são calculadas novas velocidades da onda P a partir da equação de Willie et. al. (1956), e subtraídas da velocidade calculada a partir do perfil sísmico. Nesse trabalho, foram calculados três perfis de desvio de velocidade, considerando os seguintes perfis de porosidade: NPHI, TCMR e Por\_RHO, esse último obtido do perfil de densidade.

Deste modo, três perfis de desvios de velocidade foram analisados, na busca de padrões que pudessem identificar as diferentes zonas de interesse e, posteriormente, relacionar tais desvios, graficamente, com a razão de aspecto da rocha.

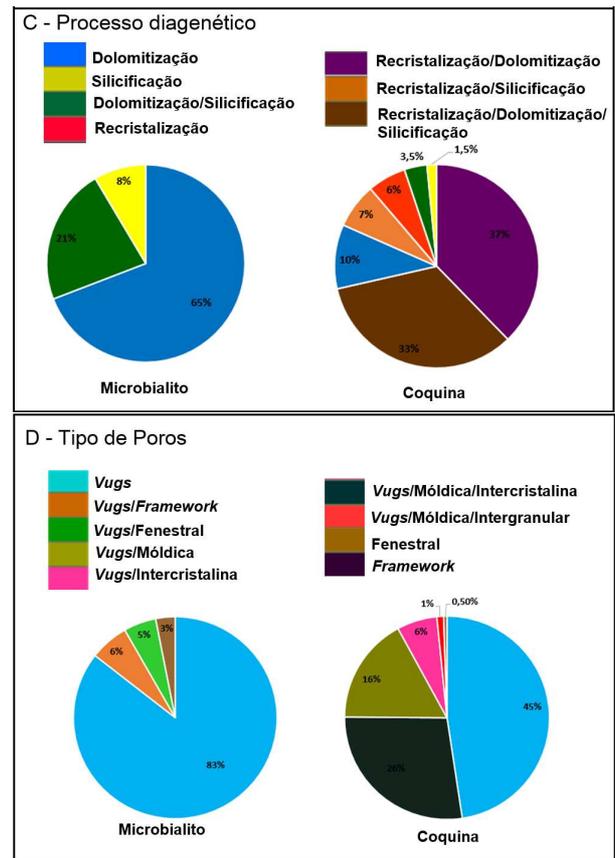
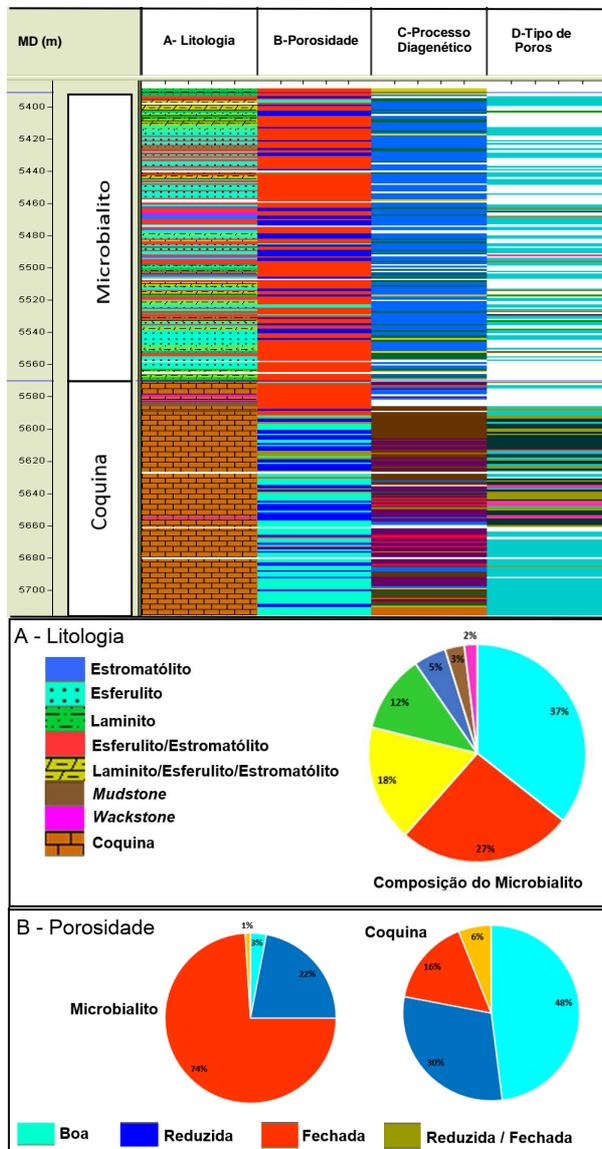
Para melhor compreensão dos resultados obtidos dos desvios de velocidade P, foram gerados perfis de:

litologia, porosidade, processos diagenéticos e tipo de poros, a partir da interpretação prévia de amostras laterais cedidas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo). Dentre esses perfis o de maior interesse foi o de tipo de poros, visto sua influência direta nos resultados.

#### Análise do perfil de fácies

Os perfis de fácies correspondentes a: litologia, tipo de poros, porosidade e processos diagenéticos são mostrados na figura 1.

De acordo com a descrição do perfil de litofácies (Figura 1A), a zona de microbialito é composta por: esferulito (37%), laminito (12%), estromatólito (5%), pela associação entre esferulito/estromatólito (27%) e laminito/esferulito/estromatólito (18%); e por *mudstone* (0,5%) e *wackstone* (0,5%), pouco representativas. O intervalo de coquina é composto basicamente por coquina (95%), *mudstone* (3%) e *wackstone* (2%).



**Figura 1** – Perfis de fácies: **A** - Litologia, **B** - Porosidade, **C** - Processos diagenéticos e **D** - Tipo de poros, no intervalo de interesse do poço (zona de óleo: microbialito e coquina). Observar a distribuição das fácies ao longo do poço e suas respectivas composições nos gráficos de pizza (ver cores).

Conforme mostra o perfil de fácies de porosidade (Figura 1B), os melhores valores são encontrados no intervalo da coquina, no qual são interpretadas em sua maioria como boa (48%) e reduzida (30%), enquanto que no microbialito a maioria são classificadas como fechadas (74%) e reduzida (22%). A porosidade parece estar relacionada com os processos diagenéticos descritos no poço, no qual observa-se pelo perfil de fácies processo, que a dolomitização foi o de principal ocorrência no microbialito (~65%), quando associado a silicificação corresponde a 21%; e a silicificação ocorre em 8% das rochas no intervalo; em 6% das amostras não foi observado nenhum processo.

Na coquina, o processo diagenético (Figura 1C) principal foi a recristalização, o qual está presente em quase todo o intervalo, no entanto, apenas em 6% das rochas ocorre isolado. As maiores ocorrências correspondem a associação da recristalização com a: dolomitização (37%); dolomitização e silicificação (33%); e com somente silicificação (7%), com menor expressão. O processo de dolomitização e silicificação foram

descritos em algumas porções do perfil correspondendo a, respectivamente, 10% e 1,5% da ocorrência nesse intervalo; quando ambos os processos estão presentes correspondem a 3,5%.

Os tipos de poros (Figura 1D) descritos como *vugs* são predominantes no microbialito, correspondendo a aproximadamente 83% do intervalo; outros tipos de poros também ocorrem associados aos *vugs*, porém com baixa ocorrência, são eles: *framework* (6%), fenestral (5%) e intercrystalina (~1,3%); quando não associado aos *vugs* o tipo de porosidade fenestral e *framework* representam menos de 3% do intervalo.

Na coquina, assim como no microbialito, o tipo de poros predominantes são os *vugs* (51%), que podem ocorrer associados à porosidade móldica e intercrystalina (26%), ou somente a móldica (16%) ou a intercrystalina (6%); podem também estar associados a móldica e a intergranular (< 1%). A fenestral corresponde a menos de 0,5% de representação.

Do exposto acima, pode-se dizer que os *vugs* são o tipo de poros predominantes tanto no microbialito quanto na coquina, com a diferença de que na segunda os mesmos geralmente estão associados à porosidade móldica e a intercrystalina.

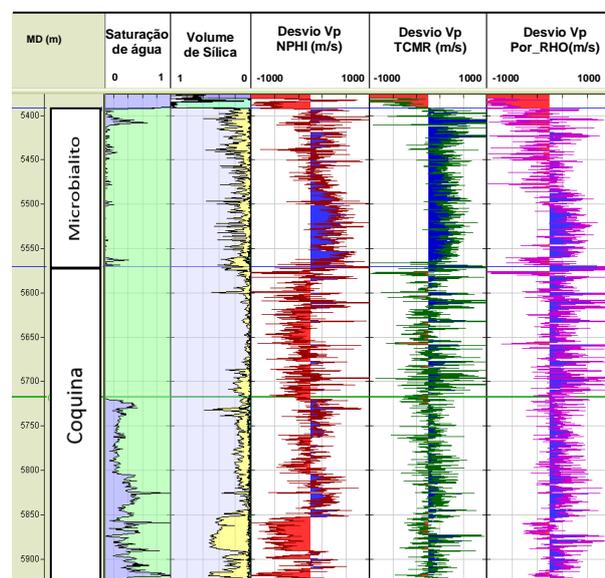
## Resultados

Ao analisar os resultados dos desvios de velocidade P baseados nos perfis de NPHI, TCMR e Por\_RHO (Figura 2 e 3), em termos de desvios positivos e negativo, observa-se que:

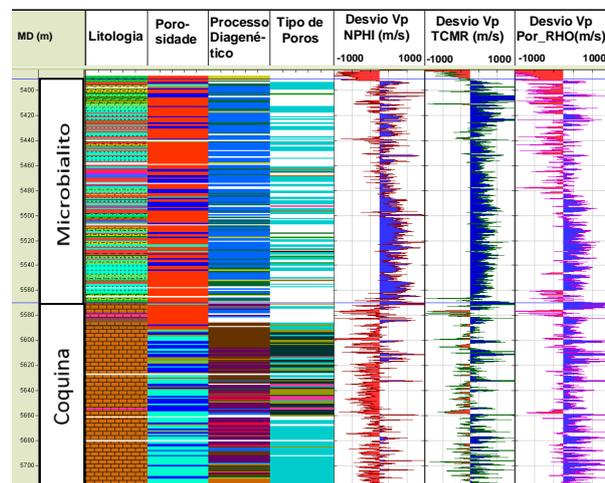
- **Desvio de NPHI:** o microbialito apresenta padrão em sua maioria positivo; na coquina, na zona de óleo, observa-se padrão predominantemente negativo; enquanto que na zona de água da coquina, o padrão de desvio apresenta-se ora positivo ora negativo na primeira parte do perfil e negativo na segunda, na qual os desvios de velocidade parecem estar fortemente influenciados pela presença de sílica.
- **Desvio de TCMR:** o padrão de desvio no microbialito é positivo; na coquina observa-se que os desvios oscilam entre positivo e negativo, com predominância de valores positivos, independente do fluido presente na rocha (zona de óleo ou água).
- **Desvio de Por\_RHO:** no microbialito o padrão de desvio apresenta-se tanto positivo quanto negativo, sendo que na primeira metade do perfil é negativo e positivo na segunda; e na coquina mostra-se predominantemente positivo.

Foram gerados gráficos de dispersão cruzada de Porosidade *versus* Vp (Figura 4 e 5), para verificar a relação entre os desvios de velocidade e a razão de aspecto dos poros da rocha. De acordo com Anselmetti e Eberli (1999), valores de desvios acima de 500 m/s são reflexos de porosidade intrafóssil ou móldica. No intervalo do microbialito observa-se que as fácies *vugs* são aquelas que apresentaram tais valores de desvios, ou

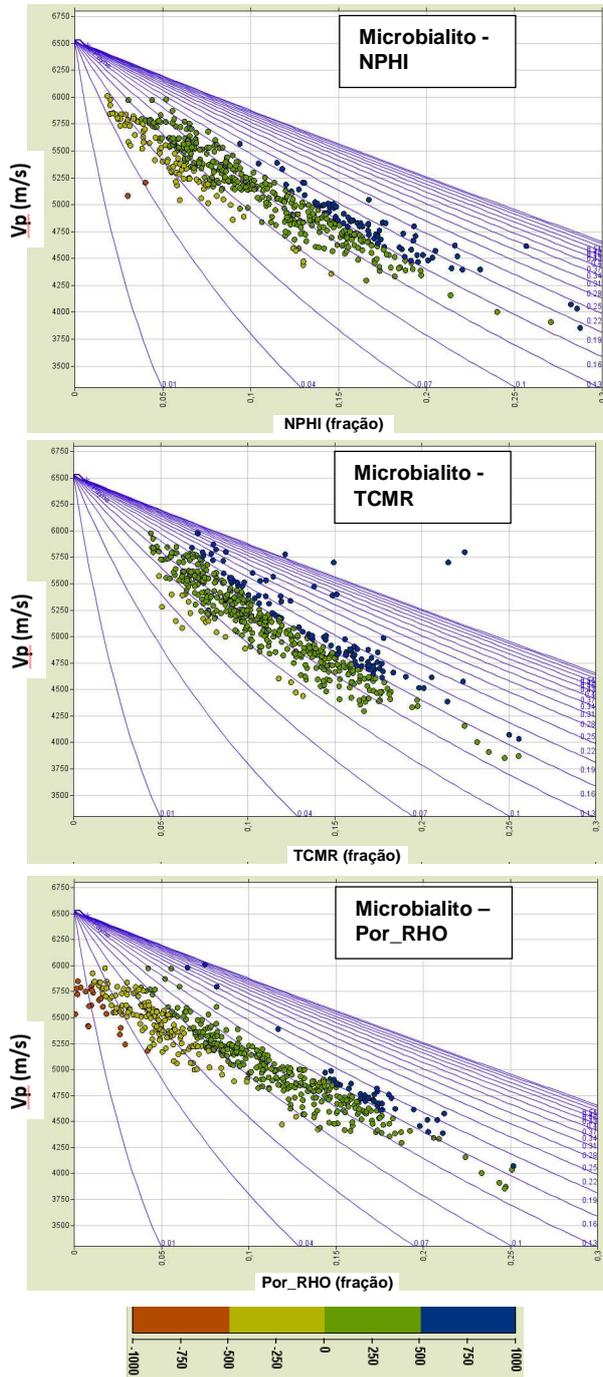
seja, acima de 500 m/s, que correspondem a razão de aspecto acima de 0.16, independente da curva de desvio de velocidade utilizada. Na coquina verifica-se que tais desvios estão associados tanto a *vugs* quanto à porosidade móldica, também correspondendo a valores de 0.16 de razão e aspecto.



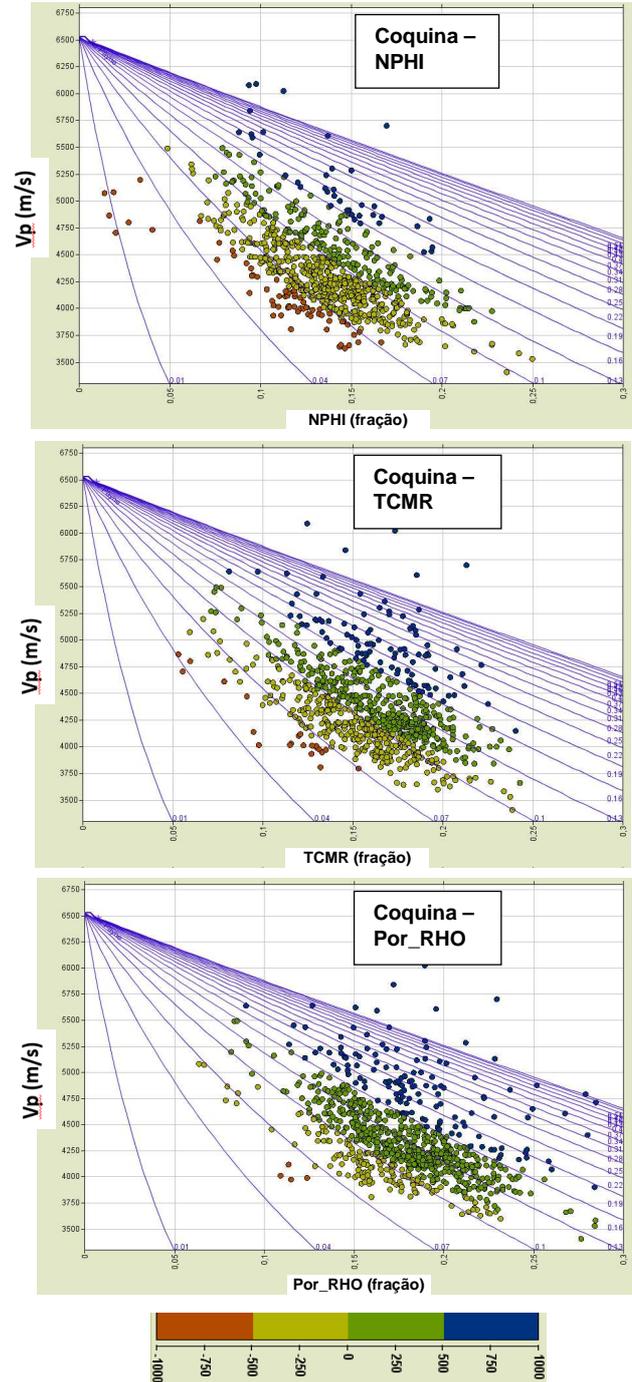
**Figura 2** – Perfis de saturação de água (em azul), volume de sílica (em amarelo) e desvios de velocidade da onda P das três porosidades: NPHI, TCMR e Por\_RHO.



**Figura 3** – Perfis de fácies: litologia, tipo de poros, porosidade e processos diagenéticos; e desvios de velocidade da onda P das três porosidades: NPHI, TCMR e Por\_RHO.



**Figura 4** – Gráficos de porosidade x Velocidade  $P$ , coloridos pelo desvio de velocidade da onda  $P$  (m/s) das três porosidades (NPHI, TCMR e Por\_RHO) para a microbialito.



**Figura 5** – Gráficos de porosidade x Velocidade  $P$ , coloridos pelo desvio de velocidade da onda  $P$  (m/s) das três porosidades (NPHI, TCMR e Por\_RHO) para a coquina.

Desvios de velocidade entre  $\pm 500$  m/s (ou menos) ocorrem devido à presença de porosidade interpartícula e intercrystalina, de acordo com Anselmetti e Eberli (1999). Os resultados obtidos encontram-se em sua maior parte dentro desse intervalo de valores, em que a razão de aspecto correspondente fica entre 0.16 e 0.04, com exceção para o microbialito no perfil de desvio Por\_RHO; e para as coquina no perfil de desvio NPHI, cujos valores de velocidade acima de -1000 apresentam razão de aspecto de 0.01.

Devido aos diferentes padrões de desvio de velocidades obtidos no perfil de TCMR, no qual a zona do microbialito ficou bem marcada por valores positivos e a da coquina pela oscilação entre valores positivos e negativos tanto para o intervalo de óleo quanto de água, esse perfil foi escolhido para definir a razão de aspecto ao longo do poço. Sendo assim, observa-se que os tipos de poros *vugs* e móldica são os responsáveis pelo desvio positivo de velocidade, enquanto que os do tipo interpartículas e intercrystalinas estariam mais associados com os desvios de velocidade negativos (Figura 3).

Deste modo, conforme mostrado na Tabela 1, a razão de aspecto que melhor descreve o microbialito considerando os desvios de velocidade positivo acima de 500 m/s é 0.19, correspondente a proporção de 23% do intervalo; para desvios entre  $\pm 500$  m/s tem-se 0.12 com proporção de 77%; desvios inferiores a -750 m/s não foram observados. Na coquina tem-se 0.22 correspondendo a 13% de proporção para desvios acima de 500 m/s; 0.13 com 84% de proporção para desvios entre  $\pm 500$  m/s; e 0.05 com 3% para desvios inferiores a -750 m/s.

**Tabela 1 - Razão de Aspecto e sua proporção correspondente a cada intervalo de desvio de velocidade de TCMR (m/s) para o microbialito e a coquina.**

Desvio de Vp	Microbialito		Coquina	
	Razão de aspecto	Proporção	Razão de aspecto	Proporção
Acima de 500 m/s	0.19	23%	0.22	13%
$\pm 500$ m/s (ou menos)	0.12	77%	0.13	84%
abaixo de -750 m/s	-	-	0.05	3%

## Conclusões

A análise de fácies realizada a partir da descrição de amostras laterais no poço, representativo do pré-sal, mostra a separação entre dois tipos distintos de litologia: microbialito e coquina. O primeiro é composto principalmente por esferulito, laminito, estromatólito; e o segundo, por coquina. Dadas as diferenças litológicas, foram analisados os processos diagenéticos descritos nas amostras do perfil, em que foi observado que a dolomitização, associada ou não a silicificação, predominou no microbialito; enquanto que na coquina a recristalização, associadas ou não à dolomitização e à silicificação, foi o processo dominante na coquina. Nessa última foram observadas as melhores porosidades, em relação ao microbialito, os quais muitas vezes apresenta porosidade fechada e/ou reduzida. Por fim, o tipo de

poros *vugs* foi predominante em ambos os intervalos, sendo que na coquina os mesmos estão associados principalmente à porosidade do tipo móldica, interpartícula e intercrystalina.

Das três curvas de desvios de velocidade analisadas, NPHI, TCMR e Por\_RHO, a segunda foi a que melhor separou a zona do microbialito da zona da coquina; sendo a primeira representada por desvios positivos e a segunda por desvios positivos e negativos. Tais desvios observados estão relacionados ao tipo de poros da rocha, no qual tanto *vugs* quanto móldica são responsáveis pelos desvios de velocidade acima de 500 m/s, em que no primeiro são observados tanto na coquina quanto no microbialito e o segundo somente na coquina. O tipo de poros interpartículas e intercrystalina é predominante no intervalo de desvio de velocidade entre  $\pm 500$  m/s e estão presentes na coquina, sendo responsáveis pela oscilação dos desvios de velocidade para negativo.

Considerando os intervalos de desvios de velocidade foram identificadas as razões de aspecto representativas dos mesmos separadamente para o microbialito e para a coquina, os quais como pode ser verificado, mostram valores muito parecidos (Tabela 1).

Conhecido o padrão de desvios de velocidade em relação ao tipo de poros, pode-se utilizá-lo para prever intervalos de interesse nos quais não há amostras descritas.

Definido os valores de razão de aspecto para ambos os intervalos, o próximo passo é gerar modelos petroelásticos baseados na teoria de Xu&Payne (2009).

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Agência Nacional do Petróleo (ANP) pela liberação dos dados utilizados no estudo e a Petrobras e UNICAMP pelo apoio.

## Referências

- Anselmetti, F. S., and G. P. Eberli, "Controls on sonic velocity in carbonates": Pure and Applied Geophysics, v. 141, no. 2-4, p. 287-323, 1993.
- Anselmetti, F. S., and G. P. Eberli, "Sonic velocity in carbonate sediments and rocks", in I. Palaz and K. J. Marfurt, eds., Carbonate seismology: SEG Geophysical Developments Series, no. 6, p. 53-74, 1996.
- Anselmetti, F. S. and Eberli, G. P., "The velocity-deviation log: a tool type and permeability trendath46BEAs in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs", American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 83:450-466, 1999.
- Gassmann F., "Über die elastizität poröser medien", Vier. Der Natur. Gesellschaft in Zürich, 96:1-23, 1951.
- Wyllie, M. R., A. R. Gregory, and G. H. F. Gardner, "Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media", Geophysics, v. 21, no. 1, p. 41-70, 1956.
- Xu, S., and Payne, A., "Modeling elastic properties in carbonates rocks", The Leading Edge, Special Section: Rock Physics 66-74, January, 2009.