



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

GSA0463 Geologia do Petróleo

Perfilagem acústica

Prof. Dr. André Luiz Silva Pestilho

andrepestilho@usp.br

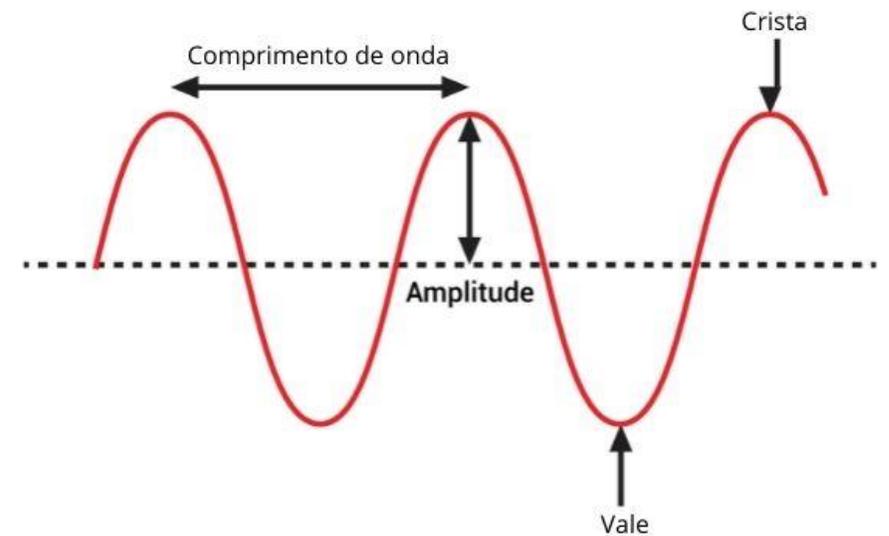
Sumário da Aula

1. Fundamentos físicos
2. A ferramenta sônica
3. O perfil sônico
4. Tempo de trânsito das ondas acústicas nos meios físicos
5. Aplicações
6. Resumo
7. Referências

1. Fundamentos Físicos

- **Ondas mecânicas?**

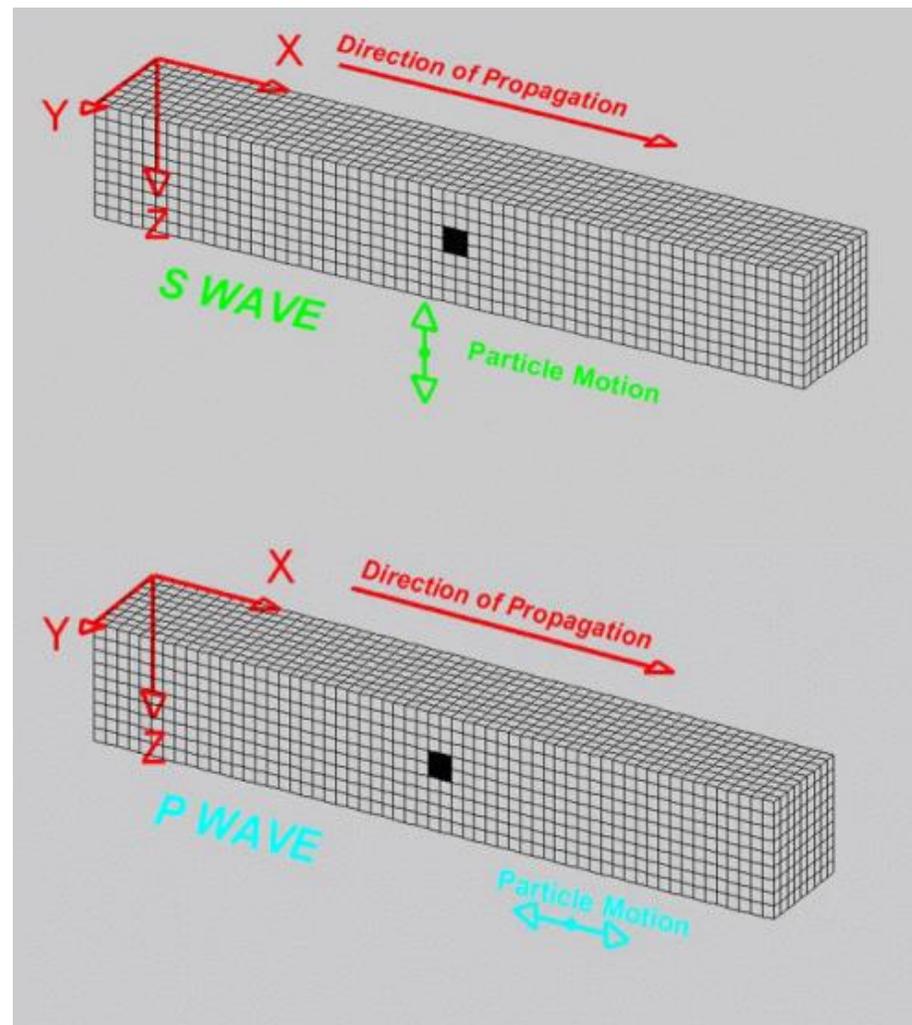
Uma perturbação que se propaga em um meio material e **transporta energia** cinética e potencial (Halliday, 2914).



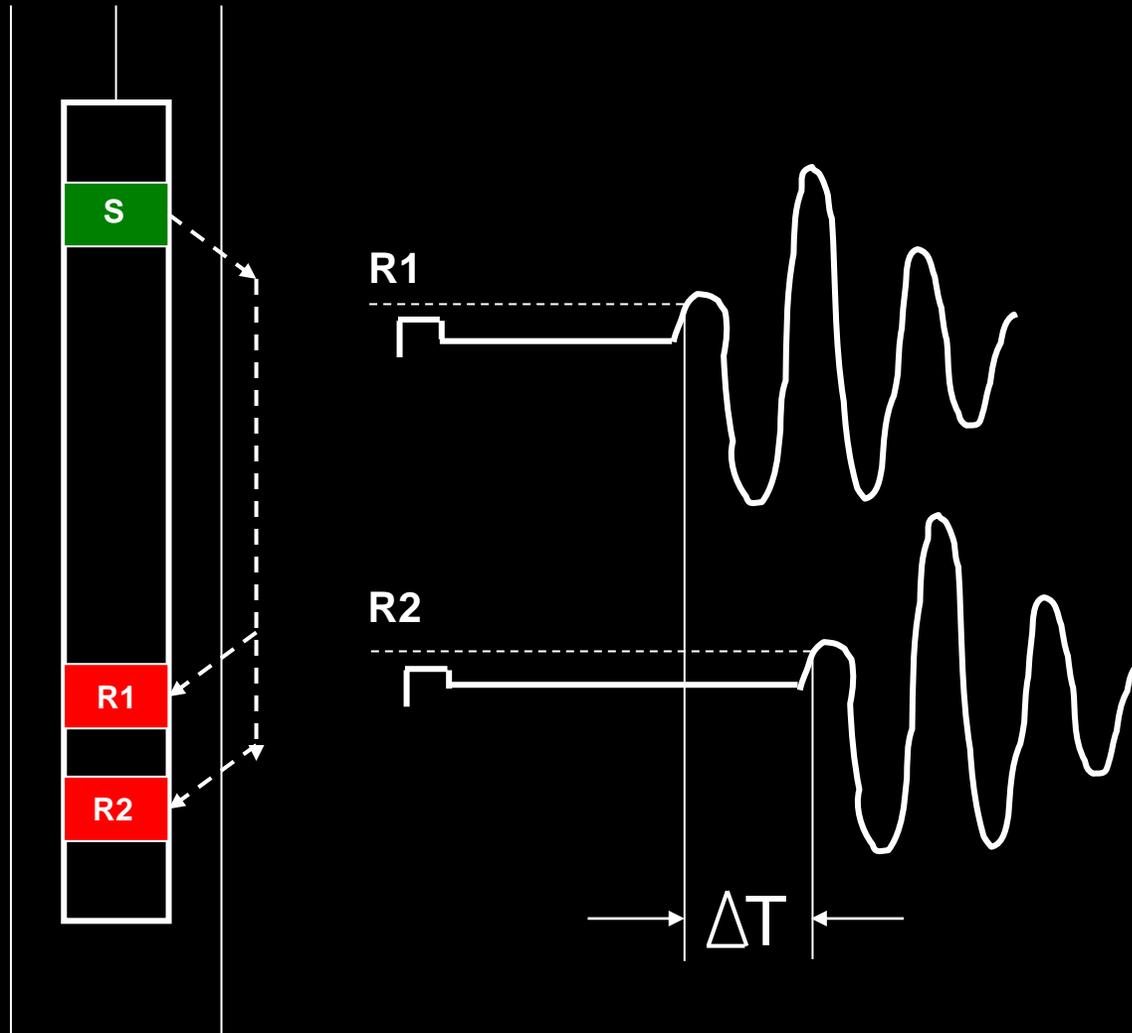
Fonte (acessado Maio/23): <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas-periodicas.htm>

1. Fundamentos Físicos

- **Todas ondas são iguais?**
 - Existem diferentes tipos de onda (ondas P, S, love, stoneley, etc.). Na perfilagem acústica, utilizamos principalmente **ondas P (compressionais) e ondas S (cisalhantes)**.
 - ! Ondas **P propagam-se em sólidos e líquidos**, enquanto as **ondas S propagam-se em sólidos!**
 - Neste curso focaremos apenas nas ferramentas que usam **ondas compressionais!**

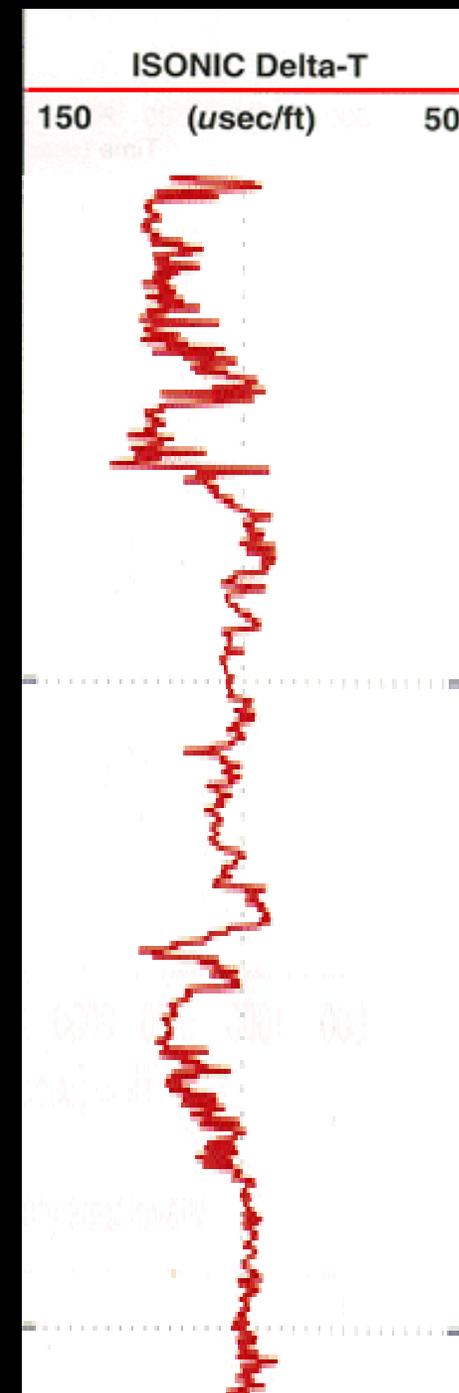


2. A ferramenta sônica



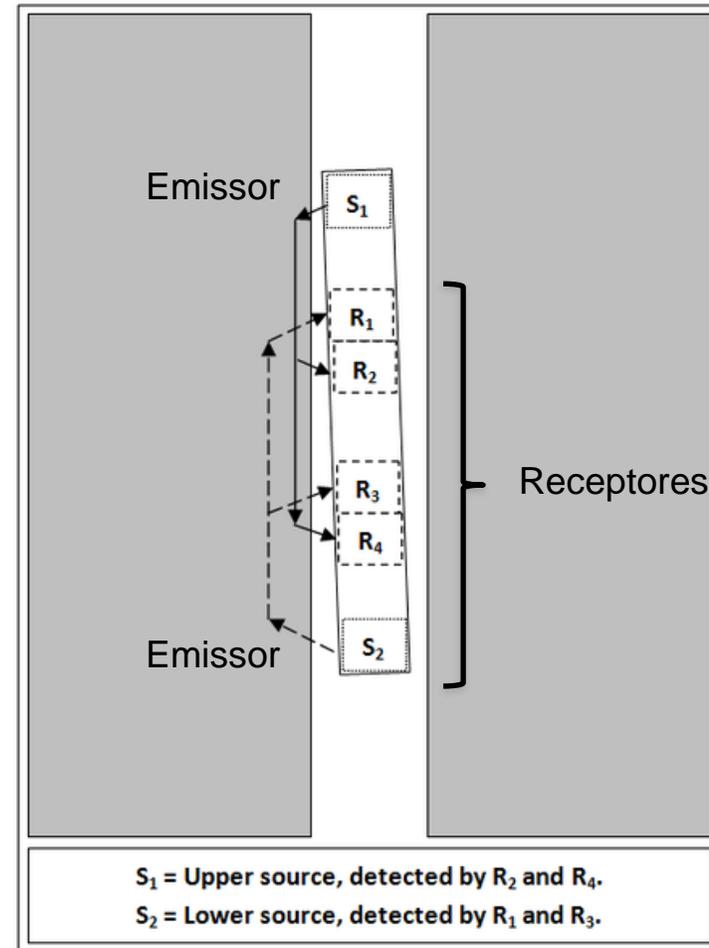
Schroeder (AAPG)

Sawakuchi, 2022



2. A ferramenta sônica

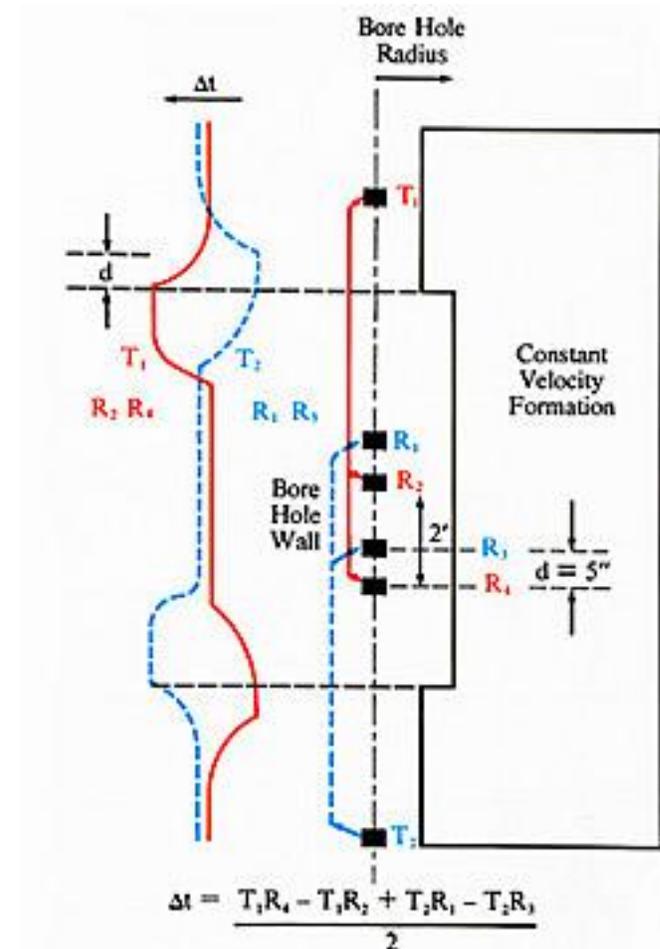
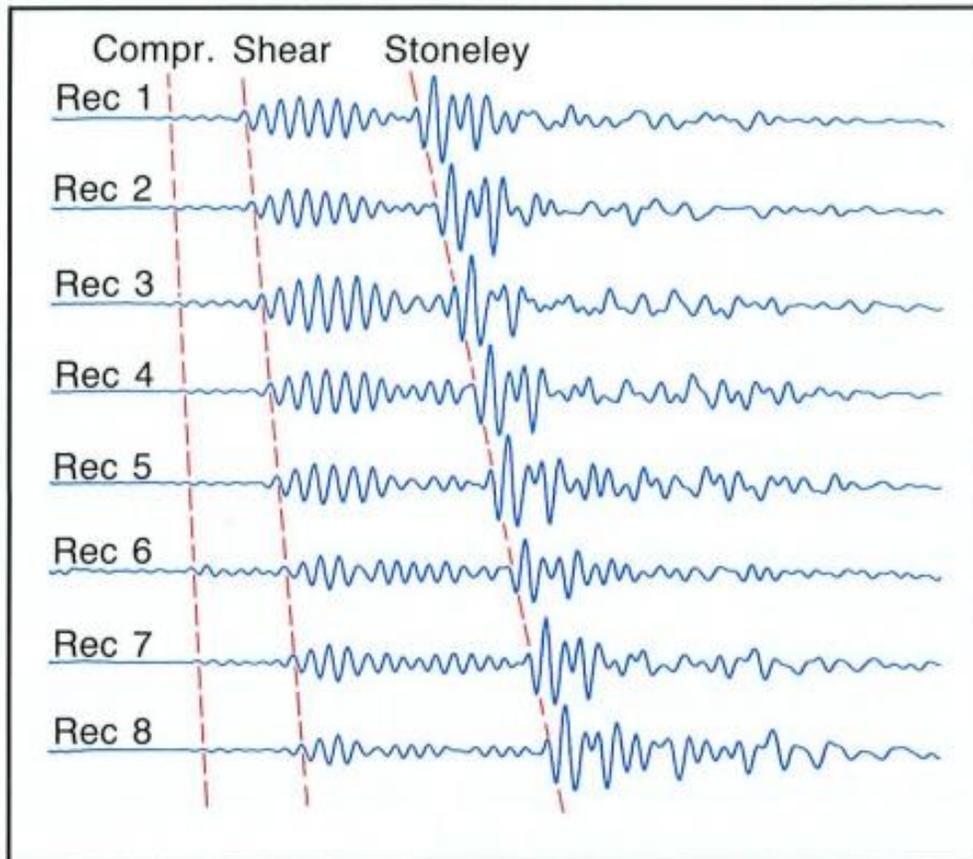
- Mede-se o tempo de trânsito de ondas P ao longo da formação.
- Unidade (DT): $\mu\text{s}/\text{ft}$ ou $\mu\text{s}/\text{m}$
- $DT = t_{\text{dist.}} - t_{\text{próx.}}$
- Diferença de tempo entre receptores distante ($t_{\text{dist.}}$) e próximo ($t_{\text{próx.}}$) permite corrigir efeito do reboco.



2. A ferramenta sônica

BHC – *Borehole Compensated Sonic* (Schlumberger™)

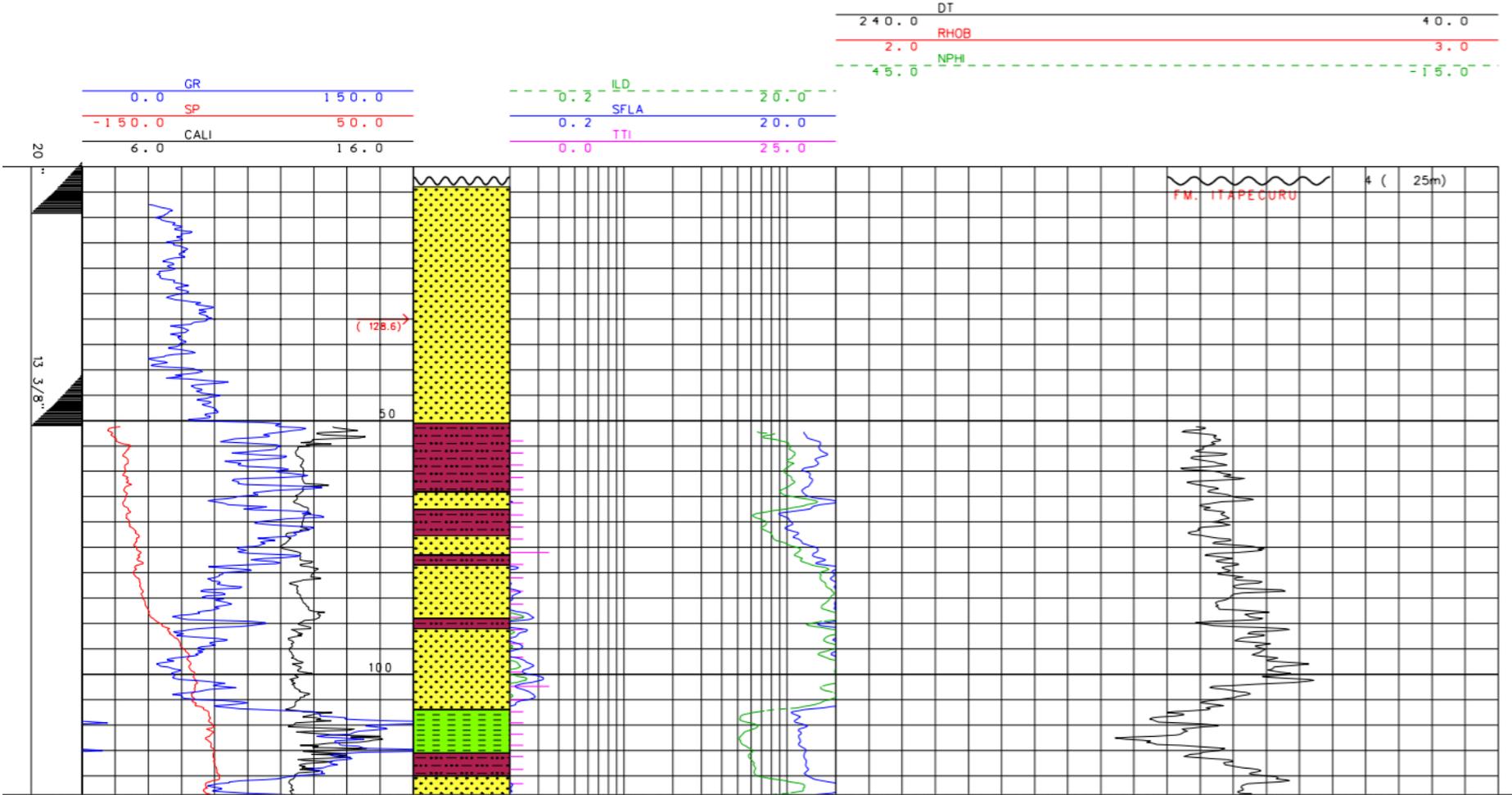
Trem de ondas acústico



3. O perfil sônico

- Curva DT

(pista 4, escala linear)



4. Tempo de trânsito das ondas acústicas nos meios físicos

Rocha-fluido vs. tempo de trânsito

MEIO	VELOCIDADE SÔNICA	TEMPO DE TRÂNSITO
	(ft/s)	(μ s/ft)
ARENITO	18.000 - 19.500	55,5 - 51,2
CALCÁRIO	21.000 - 23.000	47,6 - 43,5
DOLOMITA	23.000 - 26.000	43,5 - 38,5
ANIDRITA	20.000	50,0
SAL	15.000	67,0
ARGILA	6.000 - 16.000	167,0 - 62,5
ÁGUA	5.000 - 5.300	200,0 - 189,0
PETRÓLEO	4.300	232,0
FERRO	17.500	57,0

ÁGUA SALGADA: 189 μ seg/ft
ÁGUA DOCE: 200 μ seg/ft

5. Aplicações

- *Cálculo de porosidade*

$$\emptyset = (DT_{log} - DT_{ma}) / (DT_f - DT_{ma})$$

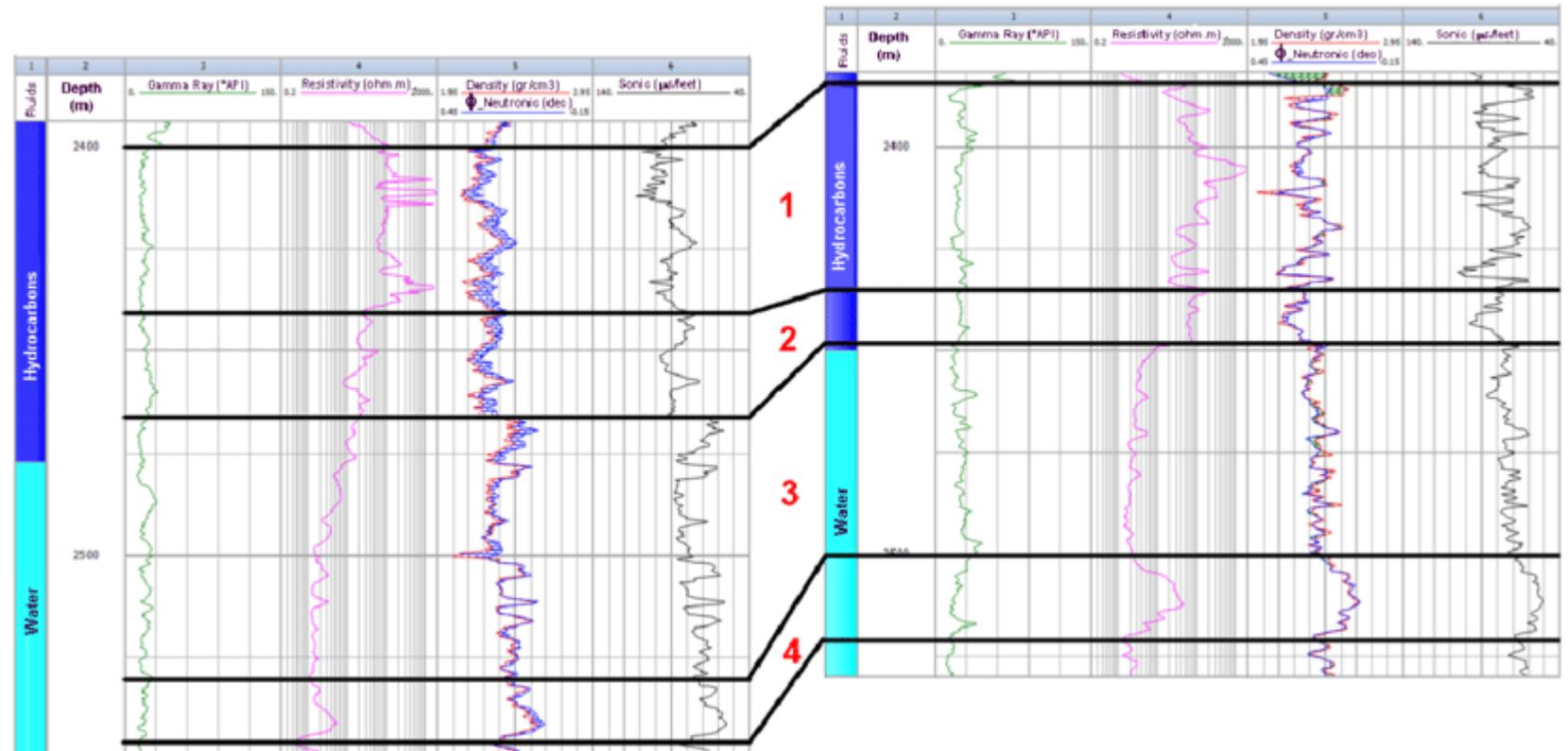
DT_{log} : tempo de trânsito da formação (perfil)

DT_{ma} : tempo de trânsito da matriz

DT_f : tempo de trânsito do fluido

5. Aplicações

- *Correlação estratigráfica*

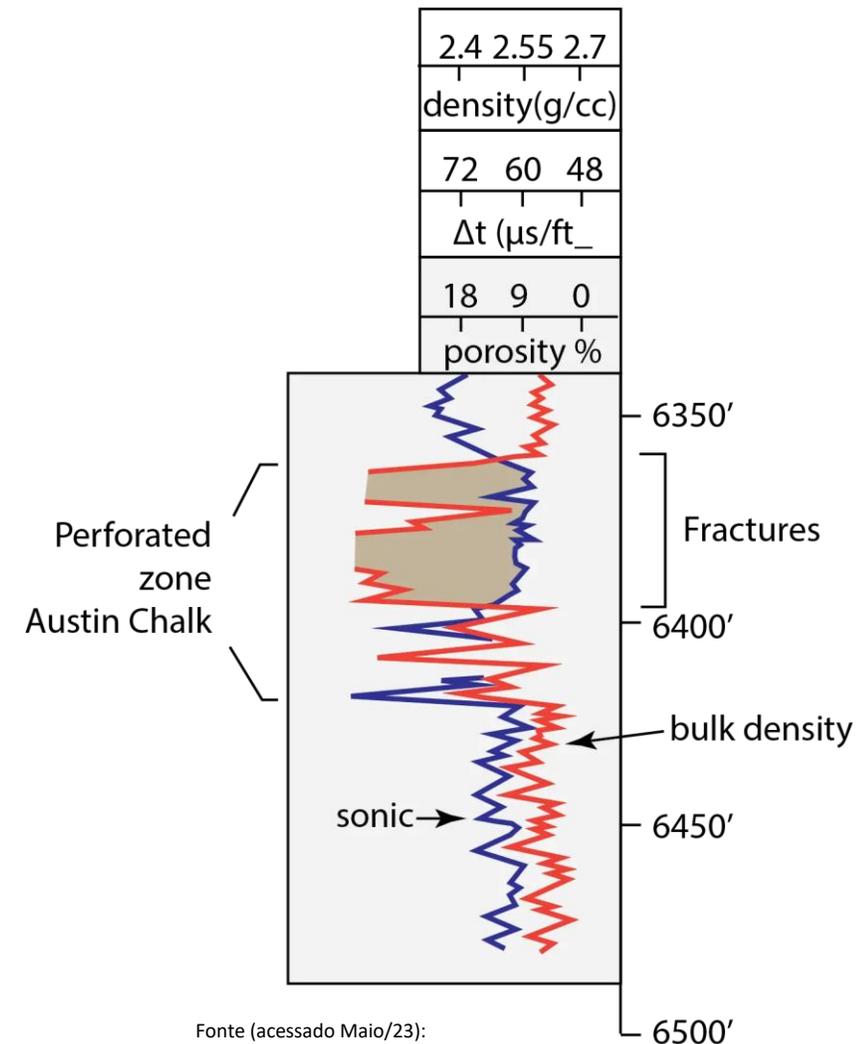


Exemplo de correlação estratigráfica: reservatórios carbonáticos, Albiano da Bacia de Campos (Silva e Carrasquilha, 2016)

5. Aplicações

- *Porosidade de fratura*

- Sônica não está em contato com a parede do poço >> **fraturas** encontradas pela **ferramenta de densidade** irão ler a **densidade da lama nas fraturas** >> **sônico continuará a ler os dados da formação** >> indicação de zonas de fratura.
- **Observação:** não confundir com zonas preenchidas com gás >> densidade reduzida, mas sônico continua lendo a formação >> mas **padrão é distinto**.



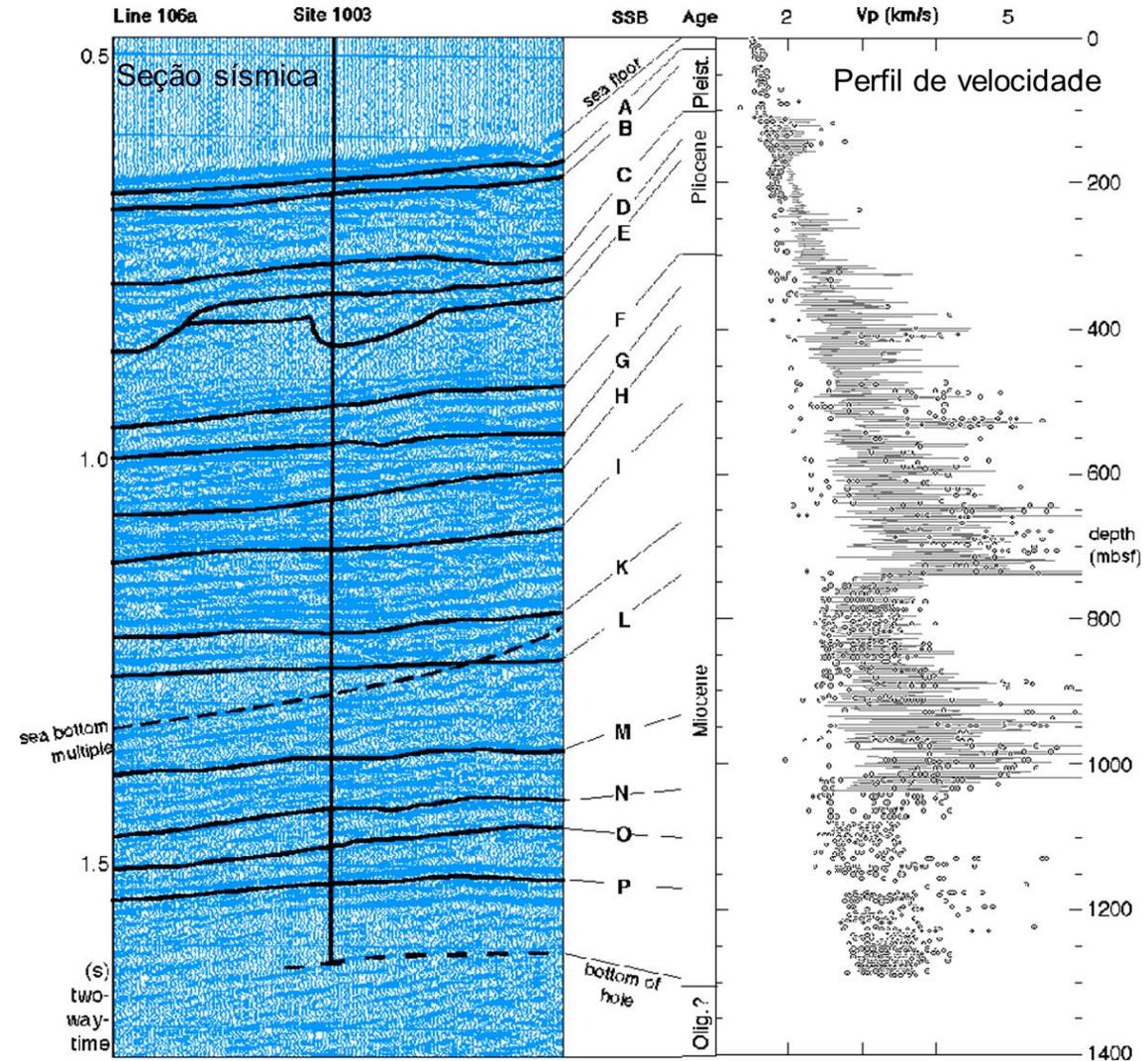
Fonte (acessado Maio/23):

<https://www.saltworkconsultants.com/multiporosity-effect/>

5. Aplicações

- *Indicação do grau de compactação*

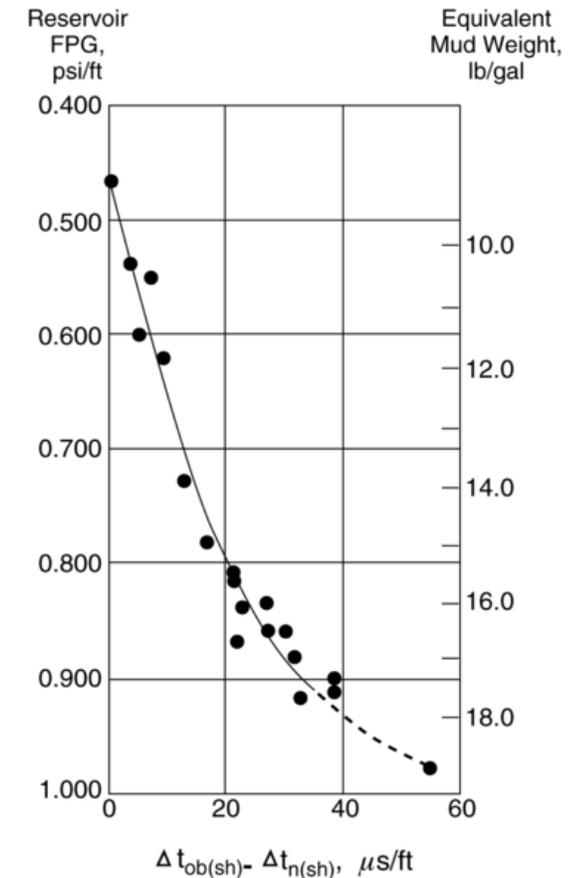
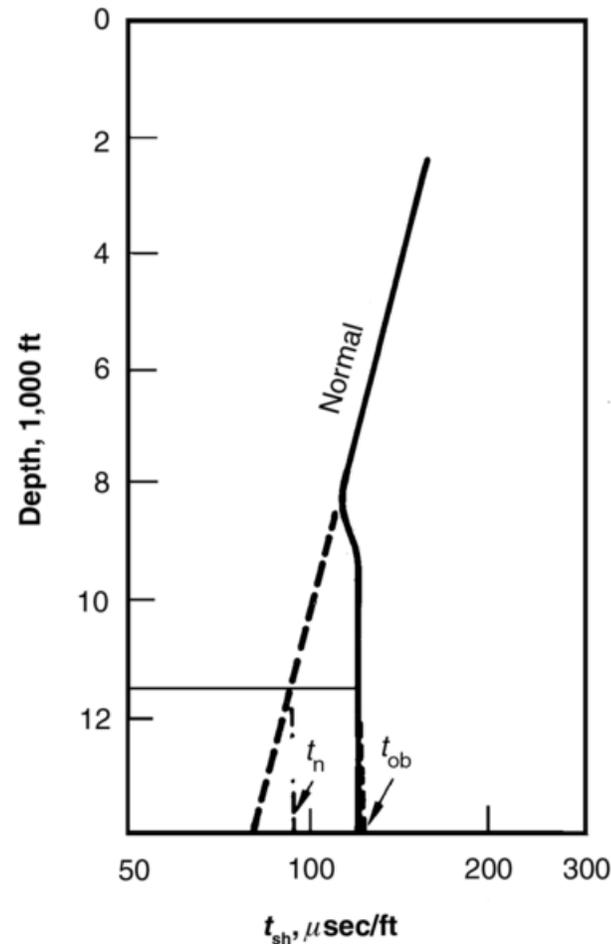
• Tempo de trânsito **diminui com maior compactação (orifundidade).**



5. Aplicações

- *Predição de sobrepressões*

- A **sobrepressão** em poços causa **diferença nos tempos de trânsito** observado e o tempo previsto (numa escala logarítmica)
- Esse dado permite **a estimativa da sobrepressão** na formação.



5. Aplicações

- *Identificação de litotipos*

Resposta de diferentes minerais (litotipos) aos perfis sônico, densidade, nêutrons e gama

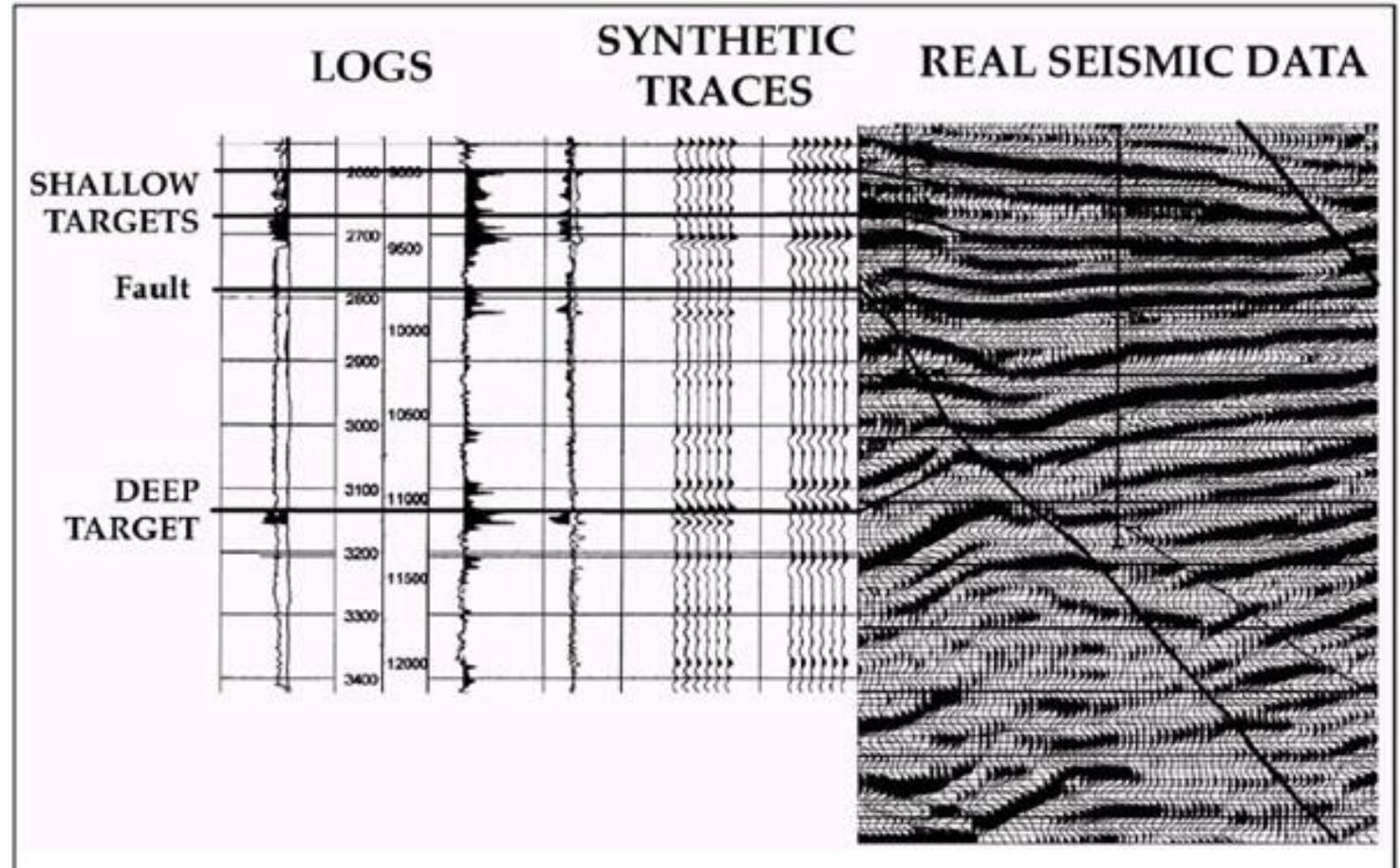
Anidrita		Dt=50 μ s/pé, Rhob=2,98 g/cm ³ , Nphi=-2 up, Gr=baixo
Halita		Dt=67 μ s/pé, Rhob=2,04 g/cm ³ , Nphi=-3 up, Gr=baixo
Silvita		Dt=74 μ s/pé, Rhob=1,86 g/cm ³ , Nphi=-3 up, Gr=alto
Dolomita		Dt=43,5 μ s/pé, Rhob=2,85 g/cm ³ , Nphi=1 up, Gr=mod.
Calcita		Dt=47,5 μ s/pé, Rhob=2,75 g/cm ³ , Nphi=0 up, Gr=baixo
Quarzo		Dt=55,5 μ s/pé, Rhob=2,65g/cm ³ , Nphi=-2 up,Gr=baixo
Basalto (Fd+Px+Ol)		Dt=49 μ s/pé, Rhob=2,98 g/cm ³ , Nphi=2 up,Gr=baixo

- Com exceções (**carvão**), **perfil sônico não consegue decriminar tipos de rocha quando utilizado sozinho.**

5. Aplicações

- *Aplicação na geração de sísmica sintética*

- Tempo de trânsito **perfis acústico** >> dados utilizados na **geração de sismogramas sintéticos.**



Fonte (acessado Maio/23):

<http://allaboutgeology.blogspot.com/2011/04/synthetic-seismogram.html>

7. Resumo da Aula

- Nessa aula foram abordados:

1. Apresentação dos **fundamentos da perfilagem acústica** (perfil sônico)
2. **Identificação e leitura** de um perfil sônico básico
3. Diferentes **tempos de trânsito para diferentes meios**
4. A relação entre **perfil sônico x compactação**
5. **Aplicações do perfil sônico:** i) cálculo da porosidade; ii) indicação de porosidade de fratura; iii) correlação estratigráfica; iv) compactação; v) predição de sobrepressão; vi) identificação de litotipos; vii) sísmica sintética

Referências

Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2014) Fundamental of Physics. 10th Edition, Wiley and Sons, New York.

Sawakuchi, A. O. (2022) Slides da disciplina GSA0463 Geologia do Petróleo. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Schlumberger (1989) Log Interpretation, Principles and Application. Schlumberger Wireline and Testing, Houston. (Disponível on-line)

Silva, R. R.; Carrasquilla, A. (2016) Petrophysical characterization of Albian carbonate reservoir in Campos Basin using a multivariate approach with well logs and laboratory measurements. Simpósio Brasileiro de Geofísica.