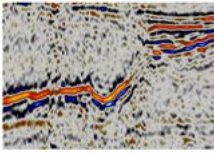
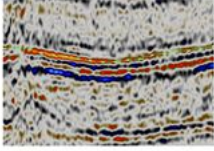
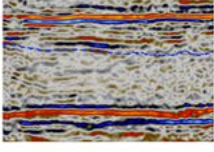
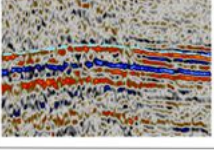
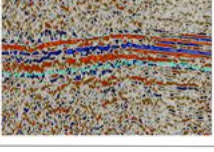
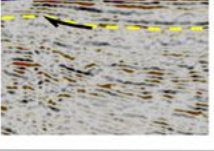
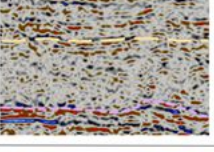
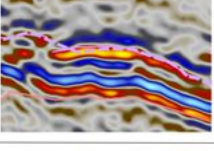
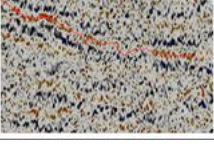


Figura 9 - Classificação de fácies sísmicas.

Padrão Sísmico <i>escala 400ms x 5 km</i>	Característica Sísmica	Interpretação
	- Baixa frequência - Alta amplitude - Refletores contínuos - Geometria irregular	Soleiras de Diabásio Provavelmente pertencem às Formações Sardinha e Mosquito (Mesozóico)
	- Alta frequência - Alta amplitude - Refletores contínuos - Geometria regular	Formação Pimenteiras (Grupe Canindé)
	- Alta frequência - Baixa amplitude - Refletores contínuos - Geometria regular	Formação Jaicós (Grupe Serra Grande)
	- Alta frequência - Alta amplitude - Refletores contínuos - Geometria regular	Formação Tianguá (Grupe Serra Grande)
	- Alta frequência - Baixa amplitude - Refletores descontinuos - Geometria irregular	Formação Ipu (Grupe Serra Grande)
	- Baixa frequência - Baixa amplitude - Refletores contínuos - Geometria caótica	Sequência III - Sin-Rifte II Topo definido pela discordância pré-siluriana (truncamento) e base definida pelo topo da Sequência II (correlata à Formação Aprazível)
	- Baixa frequência - Baixa amplitude - Refletores descontinuos - Geometria caótica	Sequência II - Sin-Rifte I Topo definido pelo topo Sequência II e base definida pelo topo Sequência I (correlata às Formações Massapê e Pacujá)
	- Alta frequência - Alta amplitude - Refletores contínuos (internamente horizontais) - Geometria irregular	Sequência I - Pré-Rifte Topo definido pelo topo Sequência I e base definida pelo embasamento cristalino. (correlata ao Grupo Ubajara)
	- Baixa frequência - Baixa amplitude - Refletores descontinuos - Geometria caótica	Embasamento Cristalino

Legenda: Classificação de padrões sísmicos interpretadas nas linhas sísmicas. Na primeira coluna observa-se uma imagem sísmica referente as sismofacies interpretada, a segunda coluna representa as características sísmicas e a terceira coluna indica a interpretação geológica, com uma possível associação às unidades conhecidas.

Fonte: O autor, 2019

3.1.2 Geometrias de intrusões magmáticas na sismica

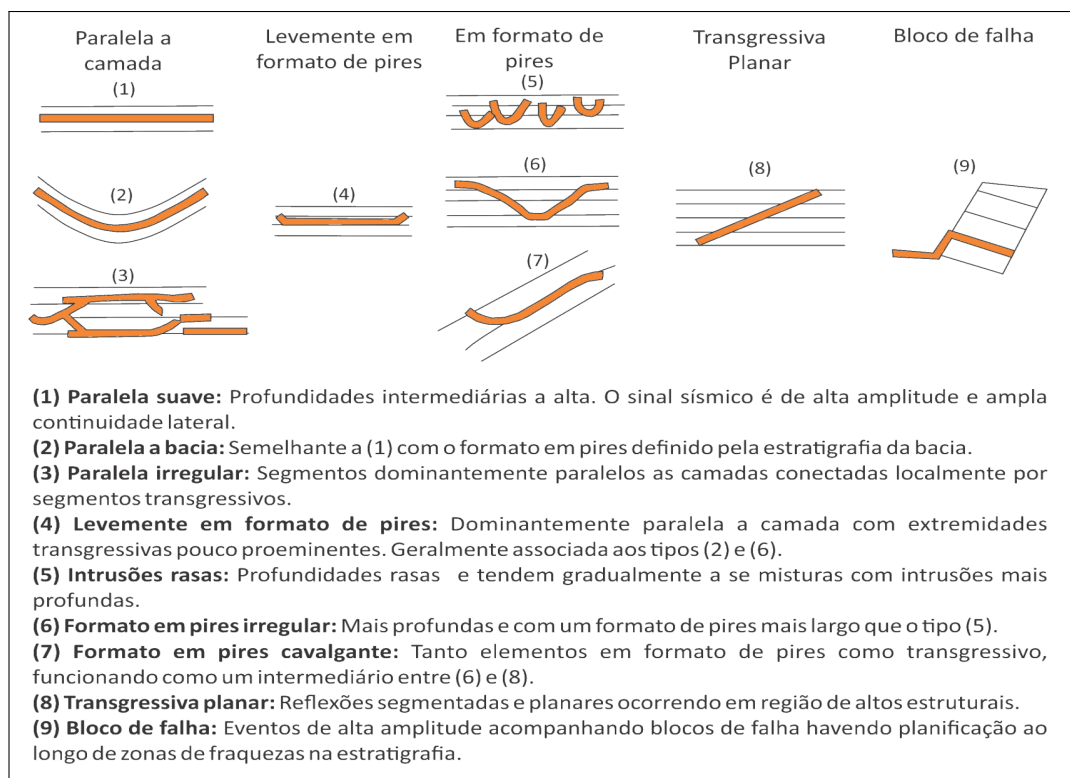
É de suma importância o reconhecimento das assinaturas de intrusões ígneas nos registros sísmicos. Devido às suas peculiares propriedades físicas, como velocidade, densidade e susceptibilidade magnética, as rochas intrusivas influenciam fortemente os registros de dados potenciais, como gravimetria e magnetometria, assim como a sismica de reflexão, podendo comprometer a interpretação dos dados geofísicos de subsuperfície.

A área em estudo é fortemente influenciada por intrusões de rochas ígneas em forma de diques e soleiras. Segundo Planke *et al.* (2005), as soleiras são definidas como corpos ígneos intrusivos tabulares e concordantes com a estratificação das rochas circundantes, em grande predominância sub-horizontais, que possuem segmentos que cortam a estratigrafia da bacia. Já os diques se caracterizam por apresentarem estruturas de preenchimento verticais e sub verticais de magma em fraturas e em sua maioria penetram nas camadas geológicas (NEUMANN *et al.*, 2003). Os diques são difíceis de serem visualizados em dados sísmicos, uma vez que os métodos de reflexões sísmicas são limitados quanto ao imageamento de estruturas verticais (HANSEN; CARTWRIGHT; THOMAS, 2004).

As soleiras podem ser mais facilmente detectadas na sismica, apresentando uma variedade de geometrias (PLANKE *et al.*, 2005) e forte resposta de amplitude acústica, devido à significativa diferença de parâmetros acústicos entre o material ígneo e as rochas sedimentares. Quanto às suas geometrias, elas geralmente ocorrem como refletores contínuos, terminação abruptas e uma relação discordante com as reflexões das camadas (HANSEN; CARTWRIGHT; THOMAS, 2004). A interpretação sísmica de intrusões de soleiras difere dos convencionais métodos de interpretação sísmo-estratigráfica de sequências sedimentares. As soleiras podem se dividir em várias unidades ou podem se juntar em apenas uma, podem se mover para cima ou para baixo rompendo os estratos sedimentares (PLANKE *et al.*, 2005).

A identificação dessas estruturas intrusivas em bacias sedimentares permitiu a classificação dos diferentes formatos em que as soleiras podem aparecer em subsuperfície, conforme observado na Figura 10. Segundo Neumann *et al.* (2003), observações de campo e dados sísmicos mostram que o formato mais comum analisado em intrusões de magma é o formato em pires, também chamado de *saucer-shaped*, como mostra a Figura 10, nos itens 4, 5, 6, e 7.

Figura 10 - Principais estruturas associadas a intrusões de soleiras.



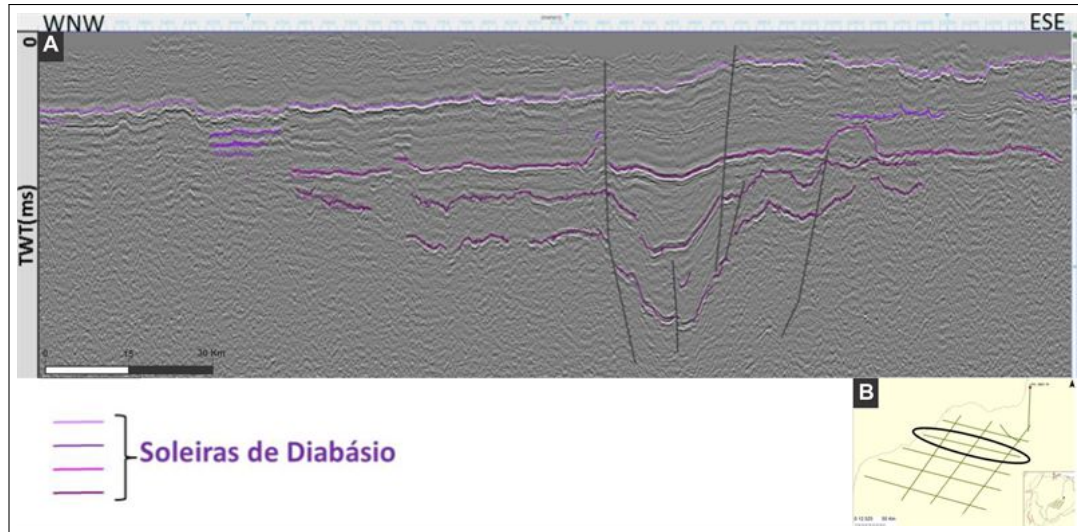
Legenda: Nove diferentes configurações identificadas através de interpretações em registros sísmicos de fácies de soleiras.

Fonte: Modificado de PLANKE *et al.*, 2005.

Num recente trabalho de Porto (2013), utilizando as técnicas aqui descritas de Planke *et al.* (2005), foi possível interpretar as estruturas associadas às soleiras de diabásio ao longo das linhas sísmicas utilizadas neste trabalho (0295-001 à 0205-009 e 0240). As principais estruturas associadas às soleiras de diabásio foram as estruturas em forma de pires regular, paralela, paralela a bacia e soleiras interconectadas (principalmente entre as unidades pré-silurianas e as formações do Grupo Serra Grande). Foram observadas pela autora sete geometrias de intrusões de soleiras propostas por Planke *et al.* (2005), como mostra na Figura 10. O resultado da interpretação pode ser observado na Figura 11, onde podemos notar que as intrusões de soleiras ocorrem ao longo de toda a linha sísmica e em diversos níveis estratigráficos.

As intrusões magmáticas mapeadas durante a interpretação sísmica deste trabalho são em sua grande maioria em formato de pires e em alguns casos se caracterizaram estruturas de saltos de soleiras, onde a intrusão se desloca para níveis estratigráficos superiores. No mínimo dois níveis de soleiras foram identificados em todas as linhas sísmicas, preenchendo-as de leste a oeste, inseridas principalmente ao longo dos folhelhos das Formações Pimenteiras e Tianguá.

Figura 11 - Interpretação de soleiras de diabásio ao longo da linha sísmica 0295-007.



Legenda: A) Perfil sísmico da linha 0295-007, em roxo observa-se a interpretação de soleiras de diabásio, B) Localização da linha sísmica na Bacia do Parnaíba.

Fonte: Modificado de PORTO, 2013.

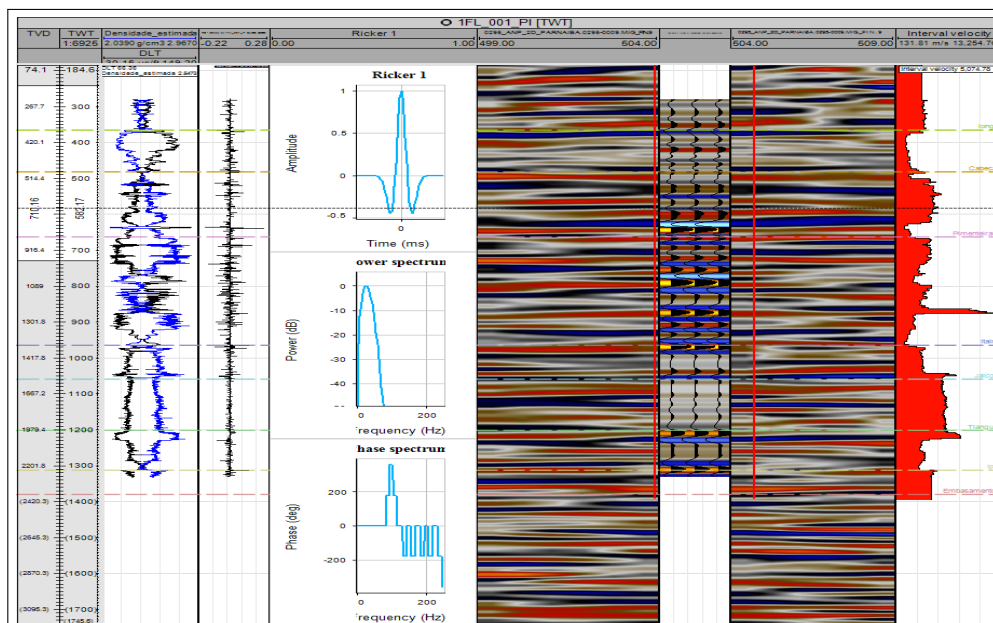
3.1.3 Calibração Poço-Sísmica

Com o intuito de auxiliar na interpretação dos principais horizontes sísmicos identificados no capítulo anterior, foi realizado o procedimento de calibrar as informações de poço com a sísmica, a partir das ferramentas do *software* PETREL (*Schlumberger*). O ato de se calibrar o poço à sísmica significa combinar o sismograma sintético extraído dos dados de poço com o sismograma original extraído dos perfis sísmicos. Essa metodologia possibilita uma melhor correlação entre a informação de poço (profundidade em metros) e a sísmica (profundidade em tempo) (WHITE; SIMM, 2003). Foi utilizado o poço 1FL-0001-PI para realizar as etapas de calibração do perfil sísmico e amarração à linha sísmica 0295-009, como se mostra na Figura 12. A linha sísmica 0295-009 é a única linha que passa pelo poço 1FL-0001-PI. Como tal poço não possui *logs* de densidade e nem informação de *checkshot*, utilizou-se o *log* sônico para gerar a curva de densidade sintética.

Conforme descrito por Gardner (1974), existe uma relação direta entre a densidade das rochas e a velocidade de propagação da onda primária, como podemos observar na equação 1, onde ρ representa a densidade, α e β são parâmetros e V_p , velocidade da onda P.

$$\rho = \alpha * V_p^\beta \quad (1)$$

Figura 12 - Calibração poço-sísmica, realizada a partir da ferramenta *seismic well tie* do software PETREL.



Legenda: Amarração poço-sísmica. Observam-se, da esquerda para direita, perfil de densidade e sônico referentes ao poço 1FL1-001, curva de impedância acústica, *wavelet* Ricker utilizada, perfil sísmico da linha 0295-005 e perfil sísmico sintético extraído do poço.

Fonte: O autor, 2019

Uma vez obtidas as curvas de densidade sintética e velocidade sônica, foi produzido o perfil de impedância acústica (resultado do produto entre os perfis de densidade e velocidade sísmica da onda P). A partir do perfil de impedância acústica, foi calculada a curva de coeficiente de refletividade, que corresponde à razão de amplitude da onda refletida pela onda incidente, mostrando assim quanta energia é refletida a partir de cada limite estratigráfico. A última etapa para a geração do sismograma sintético no poço consiste na convolução de uma *wavelet* do tipo Ricker de fase zero e frequência dominante de 25 *hertz* ao longo da curva de coeficiente de refletividade. O resultado é um sismograma sintético a partir do poço, equivalente ao sismograma extraído do perfil sísmico, permitindo assim correlacionar a informação de topo de formação com a sua respectiva resposta sísmica, conforme podemos observar na Figura 12.

3.1.4 Atributos Sísmicos

Além da identificação de características chaves para a interpretação das principais sísmofáceis (ver página 32), foram utilizados alguns atributos sísmicos para auxiliar na interpretação sísmica. Segundo Chopra e Marfurt (2007), o atributo sísmico pode ser considerado como

qualquer medida extraída do dado sísmico que auxilia numa melhor visualização ou na quantificação de características de interesse num dado sísmico.

A escolha de um bom atributo sísmico é fundamental para identificar uma propriedade do reservatório em estudo, ou até mesmo para definir o perfil estrutural e deposicional da bacia, nos permitindo assim uma melhor inferência sobre algumas características e/ou propriedades de interesse.

Dois atributos foram utilizados para auxiliar na interpretação das principais estruturas das linhas sísmicas, como soleiras de diabásio, falhas e na identificação do embasamento cristalino. Os atributos utilizados foram:

- a) *RMS Amplitude*;
- b) Técnica Volume de Amplitude (TecVa).

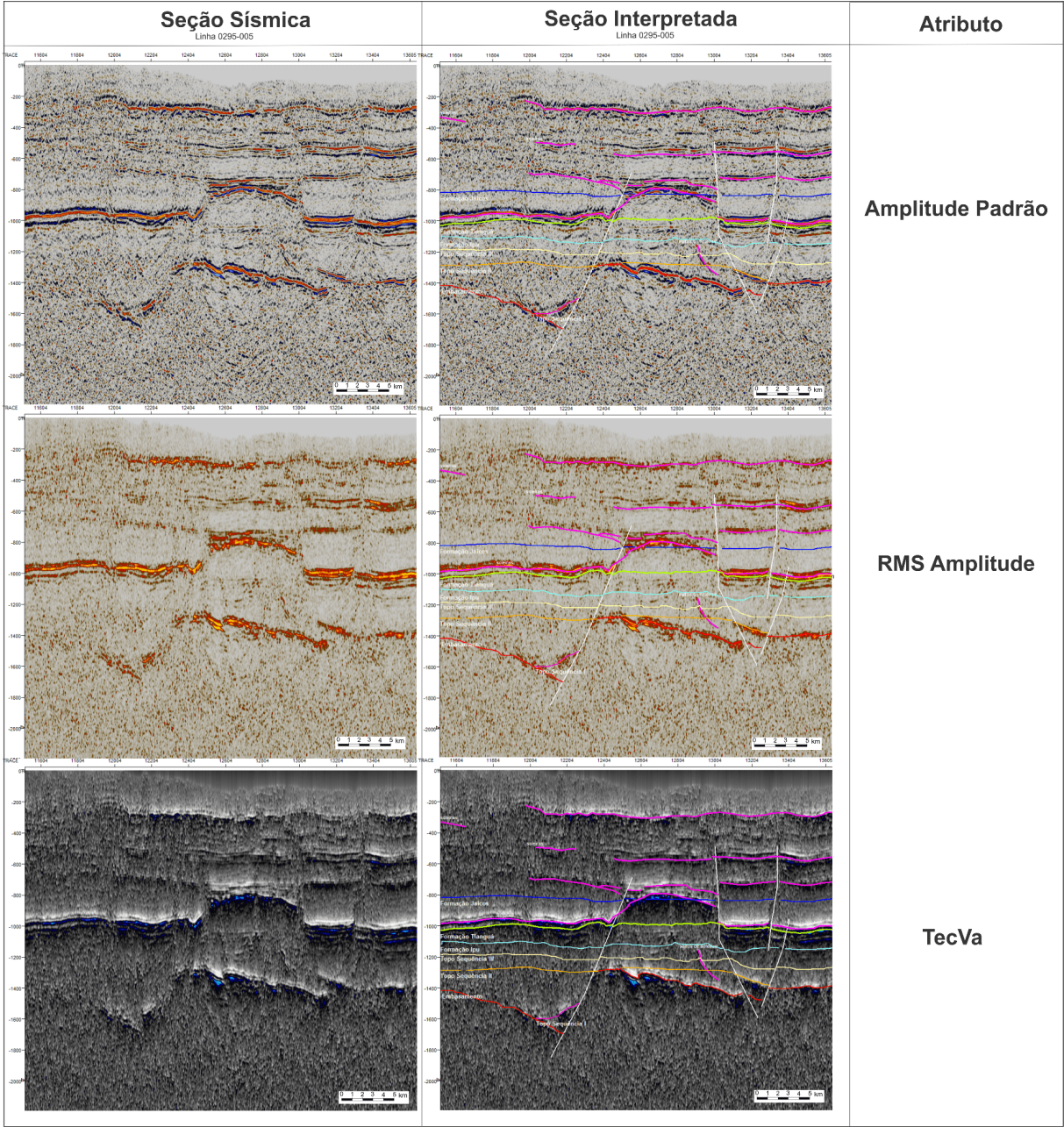
O atributo *RMS Amplitude* se caracteriza como uma medida de refletividade numa determinada janela de tempo. Sua fundamentação matemática calcula a raiz média quadrática entre amostras espaçadas num traço sísmico. O comprimento da janela vertical ao longo do traço sísmico é escolhido pelo interprete, assim como o número de amostras. Tal atributo foi escolhido por apresentar uma boa resposta quando submetido a fortes variações de amplitude. Apresenta bons resultados para detecção de hidrocarbonetos, identificação de canais, etc.

O atributo TecVa, foi primeiramente introduzido por Bulhões (1999) e posteriormente aperfeiçoado por Bulhões e Amorim (2005). Se caracteriza pela geração de mapas de amplitude ou seções sísmicas que refletem, tanto quanto possível, a geologia de subsuperfície. Sua fundamentação matemática é representada por uma média móvel ao longo do traço e baseia-se na aplicação de quatro outros atributos, sendo eles: *Structural Smooth*, Amplitude *RMS* (definido acima), *Remove Bias* e o atributo *Phase Shift*, que rotaciona o traço sísmico em fase de -90° .

O atributo *Structural Smooth* tende a suavizar os valores de amplitude no traço sísmico através da aplicação de um filtro Gaussiano. O atributo *Remove Bias* é aplicado com o intuito de remover artefatos gerados durante o processamento sísmico. O atributo *Phase Shift* apenas rotaciona o traço sísmico e é o responsável por fornecer imagens que em muitos casos tendem a apresentar um alto nível de rugosidade, dando a impressão de sismofáceis que "saltam da tela".

A Técnica Volume Amplitude tem o potencial de mostrar pequenas variações, que pela correlação traço a traço sísmico podem vir a revelar características como falhas e intrusões. No presente trabalho, se apresentou como importante ferramenta para identificação de falhas e soleiras de Diabásio. As soleiras, por apresentarem forte contraste de impedância entre as camadas sedimentares, chegam a mostrar no perfil sísmico estruturas em alto relevo, como observado na Figura 13.

Figura 13 - Atributos utilizados na interpretação sísmica.



Legenda: Figura representativa dos três principais atributos utilizados. A primeira coluna mostra os atributos aplicados ao longo da linha 0295-005, a segunda coluna mostra a relação entre o atributo utilizado associado a interpretação sísmica. A terceira coluna indica o tipo de atributo.

Fonte: O autor, 2019