



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA SEQUÊNCIA MESODEVONIANA-
EOCARBONÍFERA DA BACIA DO PARNAÍBA, NORDESTE DO BRASIL**

Autora:

NADJA CRUZ FERRAZ

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Valéria Centurion Córdoba

Dissertação n° 151 / PPGG

Natal, agosto de 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E GEOFÍSICA

Dissertação de Mestrado

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA SEQUÊNCIA MESODEVONIANA- EOCARBONÍFERA DA BACIA DO PARNAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Autora:

NADJA CRUZ FERRAZ

Dissertação apresentada em 20 de agosto de 2015
ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e
Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do
Norte, como requisito à obtenção do título de Mestre em
Geodinâmica e Geofísica na área de concentração
Geodinâmica.

Banca Examinadora:

Dr^a. Valéria Centurion Córdoba (DG/PPGG/UFRN)

Dr. Alex Francisco Antunes (DG/UFRN)

Dr^a. Liliane Rabêlo Cruz (PETROBRAS)

Natal, agosto de 2015

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / SISBI / Biblioteca Setorial
Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET.

Ferraz, Nadja Cruz.

Análise estratigráfica da sequência mesodevoniana-eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, nordeste do Brasil / Nadja Cruz Ferraz. - Natal, 2015.
vii, 55 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Centurion Córdoba.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

1. Estratigrafia de sequências – Dissertação. 2. Bacia do Parnaíba – Dissertação. 3. Devoniano – Dissertação. 4. Poços – Dissertação. 5. Sísmica – Dissertação. I. Córdoba, Valéria Centurion. II. Título.

RN/UF/BSE-CCET

CDU: 551.7

RESUMO

A Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, litoestratigraficamente definida como Grupo Canindé, foi reinterpretada empregando-se o modelo básico da estratigrafia de seqüências. Para tanto, foram analisados perfis litológicos e de raios gama de poços e linhas sísmicas da região central da bacia, elaborando-se a partir destes diagramas 1D, mapas de isócoras e seções estratigráficas.

Como resultados deste trabalho, foram definidos dois ciclos deposicionais de segunda ordem, referidos como Sequência Depositional 1 (SEQ1) e Sequência Depositional 2 (SEQ2). A SEQ1, com duração de cerca de 37 Ma, é limitada abaixo pela Discordância Eodevoniana e equivale às formações Itaim, Pimenteiras e Cabeças. A SEQ2, subsequente, compreende um intervalo de cerca de 15 Ma e equivale à Formação Longá.

A SEQ1 se inicia com o Trato de Sistemas de Nível Baixo, constituído por conjuntos de parassequências progradacionais em que a parte basal, predominantemente pelítica, depositou-se em um contexto de prodelta sob influência de tempestades e a superior é composta por arenitos de frente deltaica, tendo como limite superior a Superfície Regressiva Máxima. O Trato de Sistemas Transgressivo, depositado acima, é caracterizado por conjuntos de parassequências retrogradacionais, compostos predominantemente por pelitos de plataforma rasa, depositados sob ação de tempestades. A superfície transgressiva máxima, limite superior deste trato, é posicionada em um nível de folhelho cuja radiatividade no perfil de raios gama é próxima a 150 API. O Trato de Sistemas de Nível Alto apresenta conjuntos de parassequências progradacionais, compostos por pelitos e arenitos depositados em ambientes plataformal, flúvio-estuarino ou deltaico e periglacial, tendo como limite superior a Discordância Neodevoniana.

A SEQ2 foi depositada em ambiente plataformal, iniciando com o Trato de Sistemas de Nível Baixo, caracterizado por um conjunto de parassequências progradacional, seguido do Trato de Sistemas Transgressivo, de caráter retrogradacional. O limite superior deste trato corresponde à superfície transgressiva máxima ou ainda, à fusão desta superfície com o limite de seqüência, que constitui a Discordância Eocarbonífera, onde a seção sobreposta foi erodida. Tal seção, que corresponde ao Trato de Sistemas de Nível Alto, é restrita às porções em que a erosão que originou a Discordância Eocarbonífera foi menos efetiva, preservando os registros desta unidade.

ABSTRACT

The Middle Devonian-Early Carboniferous sequence of the Parnaíba Basin, lithostratigraphically defined as Canindé Group, has been reinterpreted using the basic model of sequence stratigraphy. Therefore, lithology and gamma ray well-logs and seismic lines of central portion of the basin were analyzed, producing up from there diagrams 1D, isochore maps and stratigraphic sections.

As results of this study, were defined two depositional cycles of second order, referred as Depositional Sequence 1 (SEQ1) and the Depositional Sequence 2 (SEQ2). The SEQ1, with interval about 37 Ma, is limited below by Early Devonian Unconformity and is equivalent to the formations Itaim, Pimenteiras and Cabeças. The SEQ2, which follows, comprises a range of about 15 Ma and is equivalent to the Longá Formation

The SEQ1 starts with the lowstand systems tract, consisting of progradational parasequence set in the basal part, predominantly pelitic, deposited on a prodelta under influence of storms and the upper part consists in sandstones of deltaic front, with the maximum regressive surface on the upper limit. The transgressive systems tract, deposited above, is characterized by retrogradational parasequence set composed of shallow shelf mudstones, deposited under storm conditions. The maximum flooding surface, upper limit of this tract, is positioned in a shale level whose radioactivity in gamma-ray well-log is close to 150 API. The highstand systems tract presents progradational parasequence set, comprising mudstones and sandstones deposited in shelf, fluvial-estuarine or deltaic and periglacial environments, with the upper limit the Late Devonian Unconformity.

The SEQ2 was deposited in shelf environment, starting with the lowstand systems tract, that is characterized by a progradational parasequence set, followed by the transgressive systems tract, with retrogradational character. The upper limit of the tract corresponding to the fusion between maximum flooding surface with the upper limit of this sequence, which is the Early Carboniferous Unconformity, where the overlapping section was eroded. This section, which corresponds the highstand systems tract is restricted to portions at which the erosion that generate the Early-Carboniferous Unconformity was less effective, preserving the records of this unit.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e instituições que contribuíram de alguma forma para a realização e conclusão deste trabalho. Primeiramente à minha família, que, mesmo vivendo distante, esteve sempre ao meu lado, apoiando sobretudo nos momentos mais críticos e solitários. Ao meu amado Jorge Freitas, companheiro de todas as horas e melhor amigo.

À minha querida orientadora, Prof^a Valéria, por tudo que fez por mim nestes quase três anos em Natal: pelas conversas francas, as correções certeiras, as horas livres dedicadas ao trabalho e todo o apoio, paciência e carinho que me deram forças para seguir em frente.

À Prof^a Débora, que participou de todas as fases deste trabalho, sobretudo da elaboração do artigo, sempre contribuindo com seu conhecimento, organização e perspicácia. Muito obrigada por todas as horas que dedicou à leitura das prévias e às reuniões entre um compromisso e outro!

Ao Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo, todos os funcionários, alunos e professores que gentilmente me acolheram e contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao projeto de pesquisa “Geologia e Sistemas Petrolíferos da Bacia Intracratônica do Parnaíba, Nordeste do Brasil” (BPAR) e à CAPES que viabilizaram esta Dissertação de Mestrado.

Enfim, a todas as pessoas que torceram por mim e confiaram no meu trabalho, munindo-me de motivação e força para trabalhar até o fim.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Materiais e Métodos.....	2
2. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA	6
2.1. Introdução	6
2.2. Arcabouço Estrutural	7
2.3. Arcabouço Estratigráfico	8
2.4. Tectônica e Sedimentação.....	10
2.5. Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera	11
3. ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA.....	14
3.1. Introdução	14
3.2. Artigo Científico: Análise Estratigráfica da Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil.....	14
3.3. Resultados Complementares	42
4. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	49
REFERÊNCIAS	50

LISTA DE FIGURAS DA DISSERTAÇÃO

Figura 1.1: Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba (adaptado de CPRM, 2004) com localização dos poços, linhas sísmicas e seções estratigráficas.	3
Figura 2.1: Mapa de localização geológica da Bacia do Parnaíba (adaptado de Santos & Carvalho, 2004).....	6
Figura 2.2: Principais feições morfo-estruturais da Bacia do Parnaíba (modificado de Santos & Carvalho, 2004).....	8
Figura 2.3: Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba (adaptado de Vaz <i>et al.</i> , 2007).....	9
Figura 3.1: Simbologia e abreviações utilizadas nos perfis integrados dos poços analisados (figuras 3.2 e 3.3).	42
Figura 3.2: Perfis integrados completos dos poços P-01, P-02 e P-03.	43
Figura 3.3: Perfis integrados completos dos poços P-01, P-02 e P-03.	44
Figura 3.4: Seção estratigráfica esquemática de correlação dos poços P-01 e P-02. Corpos de diabásio foram omitidos da seção.	45
Figura 3.5: Linha Sísmica A, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas interpretados a partir da amarração com o poço P-03.....	46
Figura 3.6: Linha Sísmica B, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas interpretados a partir da amarração com o poço P-02.....	47
Figura 3.7: Linha Sísmica C, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas interpretados a partir da amarração com o poço P-02.....	48

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO

Figura 1: Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba com localização dos poços e linhas sísmicas estudadas, além da seção estratigráfica A-A' elaborada (adaptada de CPRM, 2004).	17
Figura 2: Carta estratigráfica simplificada da Bacia do Parnaíba (adaptada de Vaz <i>et al.</i> , 2007)	18
Figura 3: Intervalo do perfil integrado do poço P-02 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), correspondente à Formação Itaim. À direita superior, fotografia ilustrativa do TSNB em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz <i>et al.</i> (2007).	24
Figura 4: Intervalo do perfil integrado do poço P-06 ilustrando o Trato de Sistemas Transgressivo (TST), correspondente à porção inferior da Formação Pimenteiras. À direita superior,	

fotografia ilustrativa do TST em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz <i>et al.</i> (2007).	25
Figura 5: Intervalo do perfil integrado do poço P-03 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), correspondente à porção superior da Formação Pimenteiras e à Formação Cabeças. À direita superior, fotografia ilustrativa do TSNA em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz <i>et al.</i> (2007).....	26
Figura 6: Intervalo do perfil integrado do poço P-04 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), correspondente à porção inferior da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz <i>et al.</i> (2007).....	27
Figura 7: Intervalo do perfil integrado do Poço P-06 ilustrando o Trato de Sistemas Transgressivo (TST), correspondente à porção mediana da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz <i>et al.</i> (2007).....	28
Figura 8: Intervalo do perfil integrado do Poço P-03 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), correspondente à porção superior da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz <i>et al.</i> (2007).....	28
Figura 9: Seção estratigráfica esquemática de correlação dos poços P-06, P-05, P-04, P-03 e P-02.	30
Figura 10: Linha Sísmica A, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas identificados à partir da amarração com o poço P-03.	32
Figura 11: A) Refletores gerados por corpos de diabásio utilizados na amarração sísmica-poço; B) Terminação em downlap sobre a STM da SEQ1. A localização destes quadros na Linha Sísmica A podem ser conferidos na Figura 10.	33
Figura 12: Mapas de isócoras das unidades estratigráficas: TSNB (equivalente à Formação Itaim), superior esquerda; TST e TSNA (formações Pimenteiras e Cabeças), inferior esquerda; SEQ1 completa (formações Itaim, Pimenteiras e Cabeças), superior direita; SEQ2 completa (Formação Longá), inferior direita.	35
Figura 13: Modelos estratigráficos evolutivos da Sequência Depositional 1 (SEQ1) com exagero vertical para melhor visualização das superfícies estratigráficas e processos envolvidos, sem orientação. (a) TSNB, depositado em condições de subida do nível de base e acréscimo da taxa de acomodação; (b) TST, depositado durante a transgressão marinha; (c) TSNA, depositado no momento final da subida do nível de base, quando a taxa de subida do nível de base começa a diminuir, até o nível do mar estacionário.	37

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

A Bacia do Parnaíba tem sido objeto de estudo de diversos trabalhos na área de estratigrafia e sedimentologia, visando a um melhor entendimento de sua geologia e sistemas petrolíferos em razão de seu potencial para hidrocarbonetos. Dentro deste cenário, a UFRN/PPGG, em parceria com a petrolífera Chevron, vem desenvolvendo o projeto de pesquisa “Geologia e Sistemas Petrolíferos da Bacia Intracratônica do Parnaíba, Nordeste do Brasil” (BPAR), no qual está inserida a presente Dissertação.

Esta Dissertação de Mestrado consiste no estudo, sob a ótica da estratigrafia de sequências, das rochas sedimentares cuja deposição ocorreu entre o Mesodevoniano e o Eocarbonífero da Bacia do Parnaíba, intervalo litoestratigraficamente denominado Grupo Canindé. A estruturação da Dissertação está disposta em quatro capítulos, cujos assuntos estão expostos conforme apresentado abaixo:

Capítulo 1 – Breve introdução do trabalho e apresentação da base de dados empregada para desenvolvimento da pesquisa.

Capítulo 2 – Contextualização geológica da Bacia do Parnaíba, com enfoque nas unidades estratigráficas estudadas.

Capítulo 3 – Análise estratigráfica do intervalo cronoestratigráfico selecionado, apresentada na forma de artigo científico, além dos dados e resultados adicionais não inseridos no artigo.

Capítulo 4 – Considerações finais acerca dos resultados e modelos apresentados, conclusões e sugestões.

Além destes, esta Dissertação inclui ainda referências bibliográficas utilizadas e produtos adicionais reunidos na forma de apêndices.

1.2. Objetivos

O objetivo geral da presente Dissertação consiste na obtenção de um modelo estratigráfico de sequências do intervalo Mesodevoniano-Eocarbonífero da Bacia do Parnaíba, tendo como base o estudo de dados de poços e linhas sísmicas da região central da bacia. Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar uma síntese bibliográfica dos trabalhos realizados sobre a Bacia do Parnaíba, em especial do intervalo Mesodevoniano-Eocarbonífero;

- b) Confeccionar perfis integrados e seções estratigráficas utilizando os perfis litológicos e de raios gama dos poços selecionados de forma a reconhecer as litofácies, os ciclos e os conjuntos de ciclos e interpretar os sistemas deposicionais, as superfícies cronoestratigráficas e unidades genéticas da seção estudada, bem como suas variações laterais;
- c) Realizar análise sismoestratigráfica, identificando nas linhas sísmicas as superfícies cronoestratigráficas e unidades genéticas previamente determinadas nos poços analisados, quando da análise 1D;
- d) Elaborar modelos estratigráficos evolutivos para o intervalo cronoestratigráfico estudado.

1.3. Materiais e Métodos

Os dados utilizados para a elaboração desta Dissertação foram cedidos pelo Projeto BPAR, estando relacionadas abaixo:

- 1) Arquivo do perfil composto, arquivo geral do poço (AGP) e arquivo com a pasta de poço de seis poços localizados na região central da Bacia do Parnaíba, os quais foram utilizados para a elaboração dos perfis integrados e da seção estratigráfica;
- 2) Três linhas sísmicas;
- 3) Planilha com dados de localização dos poços e profundidade do topo de unidades estratigráficas da Bacia do Parnaíba, utilizada para geração dos mapas de isócoras;
- 4) Fotografias de afloramentos das unidades devonianas obtidas em campo para ilustração e exemplificação de algumas litofácies descritas na seção estudada.

As localizações dos poços e linhas sísmicas analisados, bem como da seção estratigráfica elaborada podem ser conferidos no mapa geológico da Bacia do Parnaíba (Figura 1.1), em que se observa também a distribuição geográfica das unidades estratigráficas aflorantes na bacia.

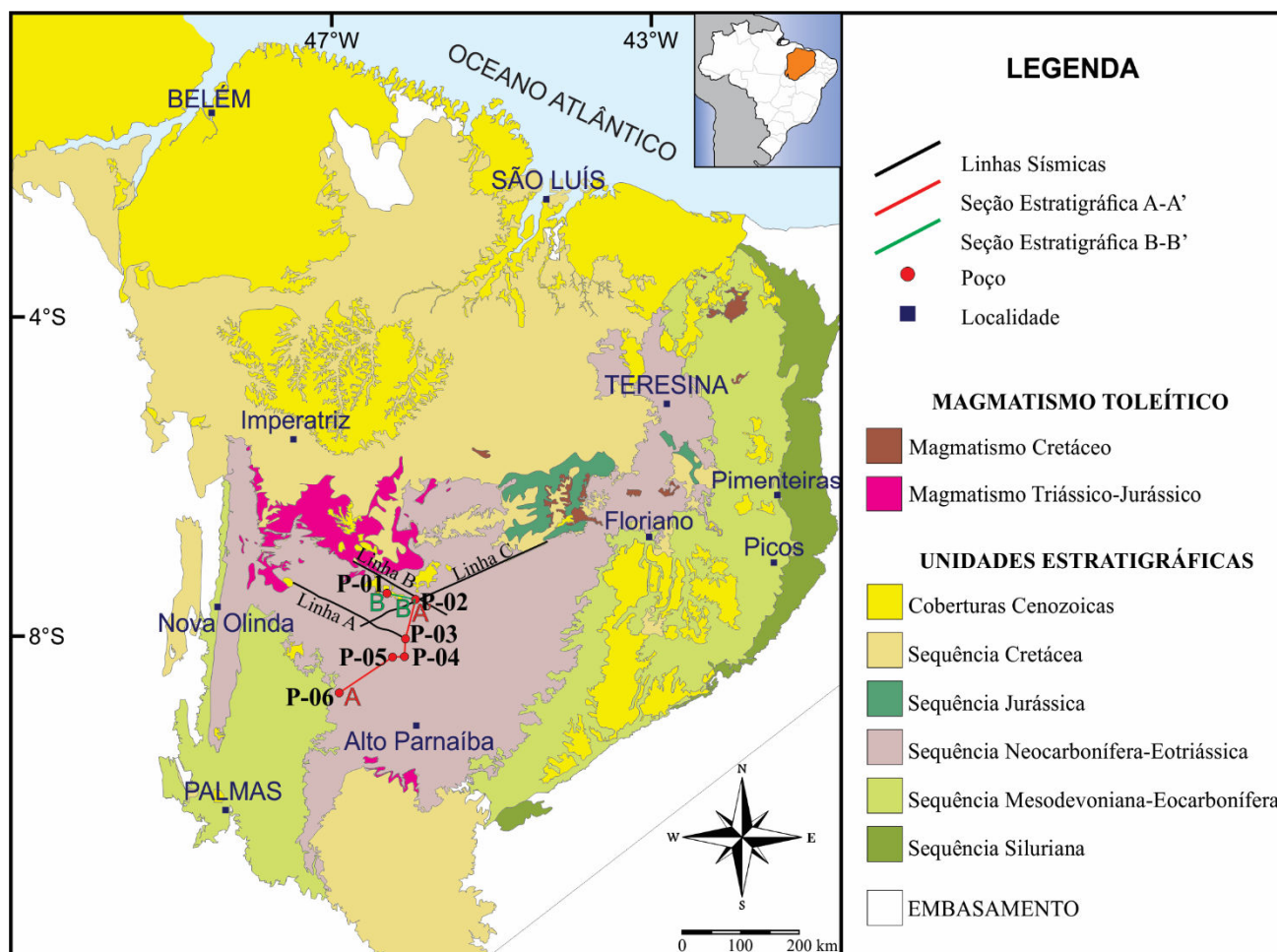


Figura 1.1: Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba (adaptado de CPRM, 2004) com localização dos poços, linhas sísmicas e seções estratigráficas.

1.3.1. ANÁLISE DE PERFIS INTEGRADOS

Os perfis integrados foram elaborados tendo como base os perfis de raios gama e litológico, contidos nos perfis compostos dos poços estudados, bem como as informações contidas da pasta do poço e AGP.

A utilização do perfil de raios gama é fundamentada na sua ampla utilização na interpretação de sucessões siliciclásticas (Catuneanu, 2006), como é o caso da seção estudada, em termos litológicos. Isto é possível em razão da associação direta da resposta da radiatividade natural da rocha no perfil, que é maior em rochas pelíticas em razão da concentração de elementos como K (comum em rochas argilosas), Th e U (que têm afinidade geoquímica com rochas ricas em matéria orgânica, como é o caso dos folhelhos negros presentes em seções condensadas) e menor em arenitos quartzosos, nos quais estes elementos são menos comuns.

Com base nisto, as litologias foram representadas no perfil de maneira que a tendência da curva de raios gama se mostrou análoga às variações texturais da rocha: apresentando granodecrescência

ascendente quando há diminuição gradual da radiatividade natural em direção ao topo do perfil e granocrescência ascendente quando ocorre aumento.

Baseado nessas tendências apresentadas nos perfis integrados, foram determinados as parassequências, conjuntos de parassequências, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e, finalmente, sequências deposicionais da seção estudada. Todas essas informações foram agrupadas em diagramas, apresentados no Capítulo 3, no qual foi feita a análise estratigráfica.

1.3.2. CONSTRUÇÃO DE SEÇÕES ESTRATIGRÁFICAS

Seções estratigráficas por correlação de poços são instrumentos de análise utilizados para se observar a variação lateral de estratos, tratos de sistemas e de paleoambientes deposicionais, quando possível os determinar, fornecendo uma visão em duas dimensões e contextual no que se refere ao preenchimento da bacia fundamentais para elaboração de modelos estratigráficos. Segundo Catuneanu (2006), para resultados confiáveis neste tipo de análise é importante a existência de marcadores estratigráficos que representam camadas lateralmente extensas ou conjuntos de camadas com uma resposta distintiva no perfil do poço, quesito este atestado nos perfis estudados, o que viabilizou então a elaboração de tal seção.

As seções estratigráficas A-A' e B-B' foram elaboradas por meio da ligação dos perfis dos poços analisados, mantendo-se a distância entre estes poços proporcional à distância real entre os mesmos em linha reta. Para tanto, foram correlacionados os tratos de sistemas e superfícies estratigráfica assinalados na análise estratigráfica 1D, excluindo-se da seção as ocorrências de diabásio e empregando-se como *datum* a Superfície Transgressiva Máxima 1 (STM1), marcador estratigráfico considerado mais relevante em razão de sua fácil identificação em todos os poços estudados e continuidade lateral.

1.3.3. INTERPRETAÇÃO DE LINHAS SÍSMICAS

A composição da linha sísmica é reflexo da interação do substrato geológico e as ondas sísmicas que percorrem por entre as rochas, moduladas por suas propriedades físicas tais como: densidade, forma, litologia e conteúdo de fluidos (Catuneanu, 2006). Desta maneira, superfícies causadoras de reflexões entre dois estratos com contraste de impedância acústica correspondem a refletores com significado cronoestratigráfico, seguindo linhas de tempo síncronas, sendo possível, portanto, compreender por meio da identificação desses refletores e conjuntos de refletores, a evolução tectonossedimentar de uma bacia (Severiano Ribeiro, 2001).

As linhas sísmicas A, B e C, selecionadas para a realização desta pesquisa, foram interpretadas usando-se o *software* CorelDraw® X7 e com base na caracterização de sismofácies associáveis as

sismofeições (terminações dos refletores, sismofácies e geometria externa) bem como retratar a distribuição lateral das unidades genéticas reconhecidas na análise 1D. Para tanto, foi feita a amarração sísmica-poço, tendo como referência as superfícies-chave e corpos de diabásio, cuja ocorrência é frequente nas três linhas analisadas.

1.3.4. CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE ISÓCORAS

Os dados de localização de todos os poços em estudo pelo Projeto BPAR, bem como as profundidades dos topos das formações pertencentes ao Grupo Canindé, foram utilizados para o cálculo da espessura destas unidades. A partir destes dados, foram amostrados os valores de espessuras das formações que correspondem às unidades estratigráficas definidas nesta Dissertação nos poços em que se encontram completas ou, ao menos pode-se inferir que não foram erodidas tomando-se como base a presença da formação sotoposta e sobreposta em relação a tal unidade. Desta maneira, o número de poços amostrados para a geração dos mapas de cada unidade foi:

- Formação Itaim: 25 poços;
- Formações Pimenteiras e Cabeças somadas: 28 poços;
- Grupo Canindé: 27 poços, e
- Formação Longá: 27 poços.

Para geração destes mapas, foi utilizado o *software* Surfer 11 e o método de interpolação dos dados e geração dos contornos foi o de “Mínima Curvatura”.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

2.1. Introdução

A Bacia do Parnaíba é uma bacia sedimentar intracratônica situada em sua maior parte no Nordeste do Brasil e abrange os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins e uma pequena parte do Pará, Ceará e Bahia. Sua área é de aproximadamente 600 mil km² e a espessura de sua coluna sedimentar atinge cerca de 3.500 m no depocentro, sendo esta predominantemente constituída por rochas de idade paleozoica (Vaz *et al.*, 2007). São limites geológicos da Bacia do Parnaíba: a noroeste, Bacia de Marajó e Médio Amazonas; a norte, bacias de São Luís e Barreirinhas; a oeste, Faixa de Dobramentos Nordeste; a sul e sudeste, Bacia Sanfranciscana e Cráton São Francisco e a oeste, Faixa Paraguai-Araguaia e Cráton Amazonas (Figura 2.1).

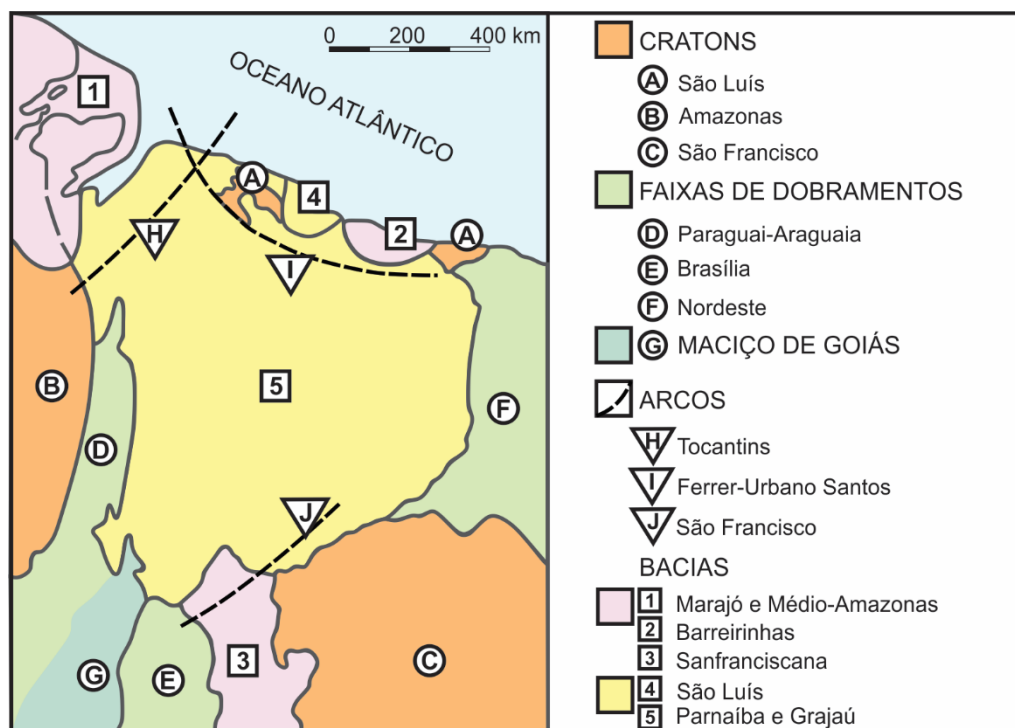


Figura 2.1: Mapa de localização geológica da Bacia do Parnaíba (adaptado de Santos & Carvalho, 2004).

Góes (1995) e Góes & Coimbra (1996, *apud* Santos & Carvalho, 2004) dividiram a Bacia do Parnaíba em quatro bacias menores com gênese distintas: Parnaíba (Siluriano-Triássico), Alpercatas (Jurássico-Eocretáceo), Grajaú (Cretáceo) e Espigão Mestre (Cretáceo). Porém, Góes & Rossetti

(2001) demonstraram que as bacias São Luís e Grajaú têm história evolutiva e sedimentológica relacionadas, possuindo o mesmo arcabouço estrutural. Esta área foi denominada, então, como Bacia de São Luís e Grajaú.

Apesar destas subdivisões da Bacia do Parnaíba serem utilizadas por diversos autores, foi usada como referência neste trabalho a Carta Estratigráfica de Vaz *et al.* (2007), tendo em vista a sua ampla citação como referência para diversos trabalhos científicos e no âmbito das empresas de prospecção de petróleo.

2.2. Arcabouço Estrutural

O desenvolvimento da Bacia do Parnaíba se deu sobre um embasamento continental durante o Estágio de Estabilidade da Plataforma Sul-Americana (Carneiro *et al.*, 2012), outrora denominado ortoplataforma (Almeida, 1967) ou Estádio de Estabilização (Almeida, 1969). Por correlação com os litotipos existentes nas faixas de dobramentos e complexos adjacentes, infere-se que o embasamento desta bacia seja constituído por rochas metassedimentares e ígneas de idades que variam do Arqueano ao Ordoviciano, predominando as de idades que vão do final do Proterozoico ao início do Paleozoico – mesmo período de consolidação da Plataforma Sul-Americana (Vaz *et al.*, 2007).

As principais feições estruturais herdadas do embasamento da Bacia do Parnaíba que, de acordo com Carozzi (1975) e Cordani *et al.* (1994, *apud* Santos & Carvalho 2004), atuaram na sua compartimentação durante o Paleozoico, pertencem aos lineamentos Transbrasiliano, Picos-Santa Inês e Tocantins-Araguaia, cujas localizações e orientações podem ser conferidas na Figura 2.2 (Santos & Carvalho, 2004). Segundo Hasui (2012), sondagens realizadas pela Petrobras detectaram depósitos de rochas sedimentares imaturas (arenitos arcoseanos, siltitos, folhelhos, grauvacas e ignimbritos), considerados como molassas cuja idade foi atribuída Cambro-Ordoviciano. Tais rochas, analisadas em seções sísmicas da bacia, estariam alojadas em “grábens” instalados ao longo dos lineamentos Picos Santa Inês, e o Transbrasiliano, o que veio a ser confirmado por dados eletromagnéticos, gravimétricos e magnetométricos (Arora *et al.*, 1999).

Outras estruturas importantes na evolução desta bacia são o Arco Ferrer-Urbano Santos, relacionado à abertura do Oceano Atlântico Equatorial, que quebrou a conexão até então existente entre a sinéclise e as bacias análogas que hoje se encontram no noroeste da África (Milani & Thomaz Filho, 2000), e blocos falhados de pequeno rejeito, dobras e outras estruturas relacionadas à intrusão de corpos ígneos mesozoicos nas camadas sedimentares.

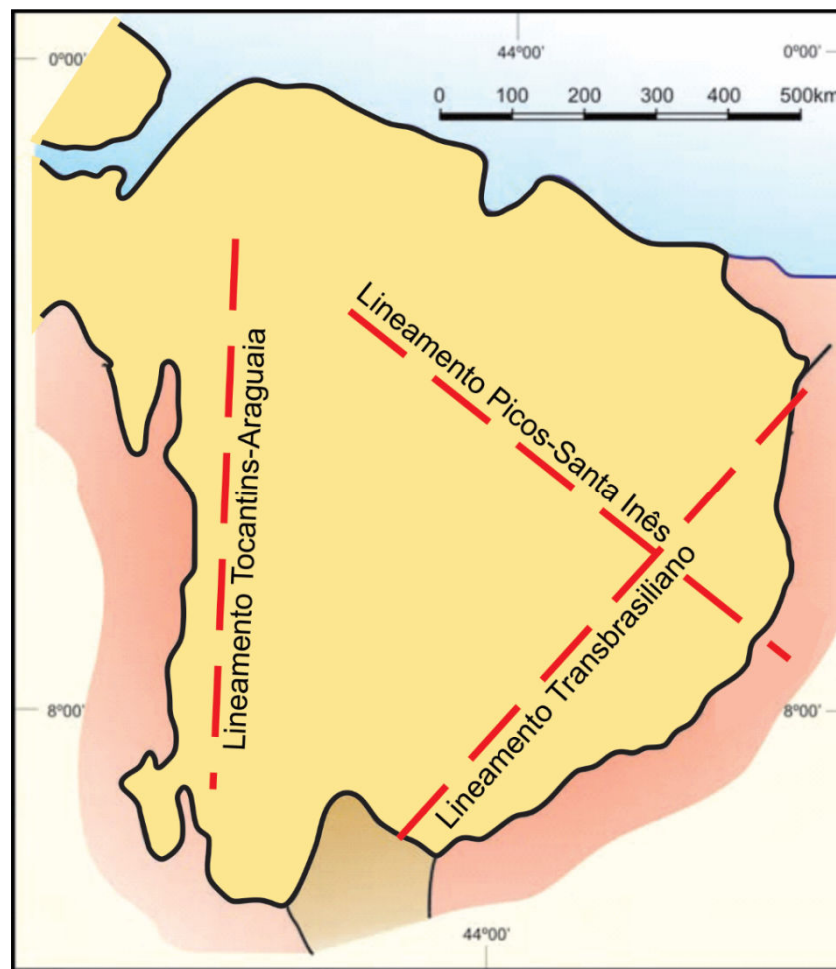


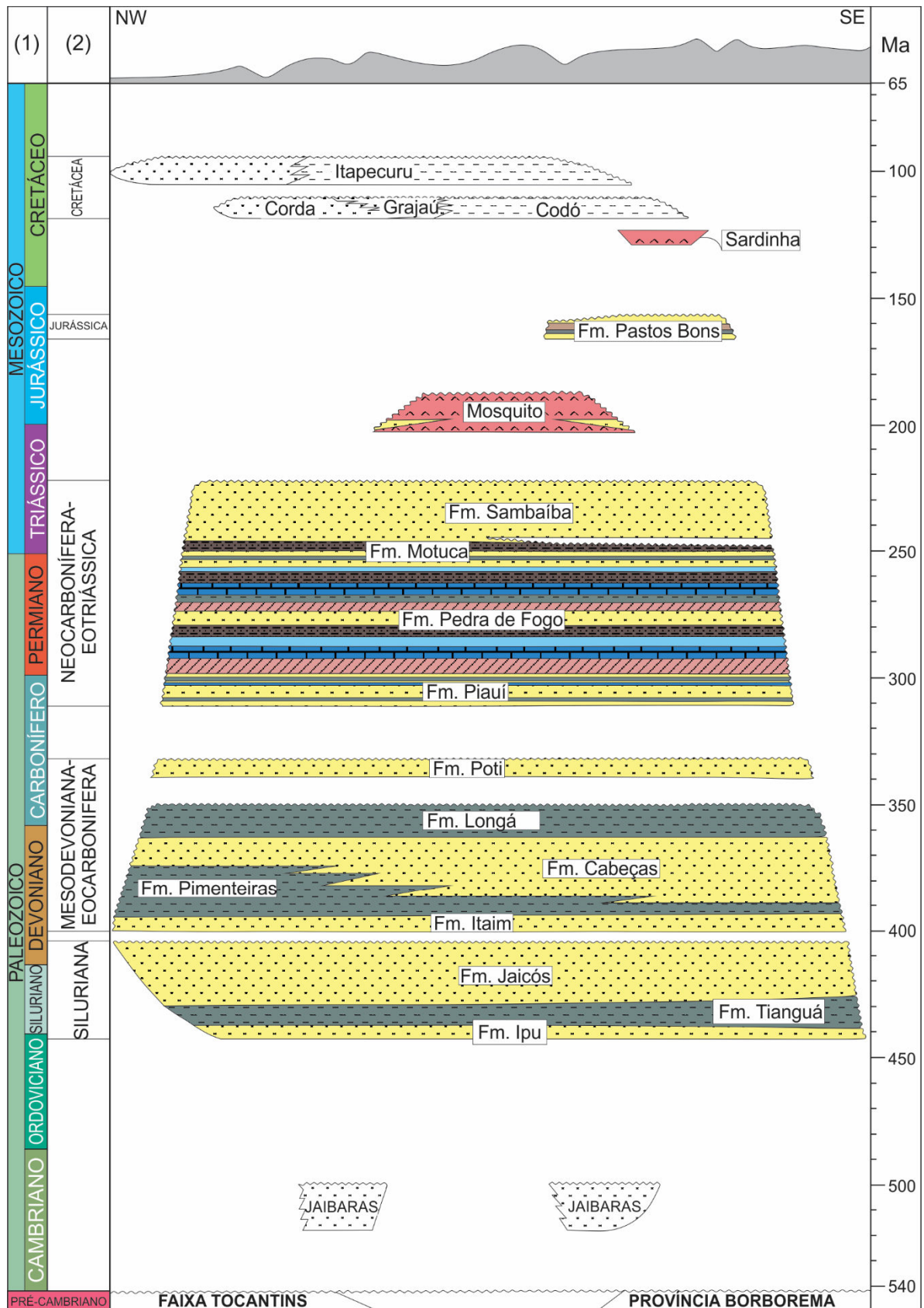
Figura 2.2: Principais feições morfo-estruturais da Bacia do Parnaíba (modificado de Santos & Carvalho, 2004).

2.3. Arcabouço Estratigráfico

A Bacia do Parnaíba tem sua coluna sedimentar litoestratigraficamente dividida nos grupos: Serra Grande, Canindé e Balsas; acima destes grupos estão as formações Pastos Bons, Itapecuru, Corda, Grajaú e Codó, sendo as últimas três mencionadas entendidas como depositadas à mesma época (Rezende, 2002).

Além do pacote sedimentar acima mencionado, ocorrem na bacia rochas ígneas básicas na forma de derrames, diques e soleiras que foram individualizadas em duas unidades estratigráficas distintas: magmatismos Mosquito e Sardinha (Aguiar, 1971). Sendo a primeira descrita como derrames e diques de idade triássica a jurássica, encontrados na porção ocidental da bacia, e a segunda como diques e soleiras de idade cretácea aflorantes na borda oriental da bacia.

Quanto à estratigrafia de seqüências, a sucessão de rochas sedimentares e magmáticas da Bacia do Parnaíba, anteriormente individualizada por meio da litoestratigrafia, pode ser disposta em cinco superseqüências (Figura 2.3): Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevonianiana-Eocarbonífera (Grupo



(1) Geocronologia; (2) Sequências

Figura 2.3: Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba (adaptado de Vaz *et al.*, 2007).

Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru), todas elas limitadas por discordâncias que se estendem por toda a bacia ou abrangem vastas regiões (Vaz *et al.*, 2007).

2.4. Tectônica e Sedimentação

A história de deposição da Bacia do Parnaíba está relacionada aos pulsos terminais e eventos térmicos do ciclo Brasileiro e a estágios de estabilização da plataforma (Almeida & Carneiro 2004), que deram origem a estruturas grabeniformes identificadas por métodos geofísicos, presentes no embasamento da Bacia do Parnaíba (Oliveira & Mohriak 2003), nos quais ocorreram a deposição pré-ordoviciana da Formação Riachão e Formação Mirador definida por Rodrigues (1967, *apud* Caputo & Lima, 1984).

Segundo Góes & Feijó (1994), a deposição da Sequência Siluriana (Grupo Serra Grande) teve início como resultado da atuação de um megassistema de fraturas, relacionado com a contração térmica que ocorreu no final da Orogenia Brasileira e o término da sedimentação desta sequência é atribuído aos reflexos da Orogenia Caledoniana. Já a retomada da deposição durante o Devoniano, estes autores atribuem a um progressivo aumento da rigidez flexural, promovido pela carga sedimentar preexistente, que foi responsável pela subsidência e expansão da bacia, resultando na implantação de um novo ciclo transgressivo-regressivo, no qual ocorreu a maior ingressão marinha da Bacia do Parnaíba (Formação Pimenteiras). O término da sedimentação deste ciclo foi atribuído ao soerguimento da bacia, ocasionado por influência da Orogenia Eo-Herciniana.

Profundas mudanças estruturais e ambientais ocorreram na Bacia do Parnaíba do Carbonífero ao Triássico, momento em que se depositou o Grupo Balsas. Segundo Góes & Feijó (1994), os eixos de deposição antes controlados por zonas de fraqueza de direção NE e NW, deslocaram-se para o centro da bacia e os mares abertos deram espaço a mares com circulação restrita. O clima, antes temperado (Caputo, 1984), passou a ser quente e controlado por condições severas de aridez, que determinou a sedimentação de evaporitos e estabelecimento de ambientes desérticos no início e no fim deste ciclo de sedimentação (Góes & Feijó, 1994).

Já Vaz *et al.* (2007) entendem a sedimentação das três primeiras sequências como sendo relacionada ao Estádio de Estabilização da Plataforma Sul-Americana (Almeida, 1969) e as discordâncias que as limitam estariam associadas, em parte, a flutuações dos elevados níveis eustáticos dos mares epicontinentais durante o Eopaleozoico. As transgressões marinhas proviriam do oceano adjacente à margem ativa a sudoeste do Gondwana e as regressões e discordâncias erosivas teriam contribuição de eventos epirogênicos, relacionados às orogêneses da borda ativa do Gondwana.

Por outro lado, Caputo *et al.* (2006), baseando-se nos argumentos que tratam da localização geográfica dos principais orogêneses globais como, por exemplo, a Orogênese Eo-Herciniana (pensilvânica), e da preponderância dos efeitos das flutuações do nível do mar em comparação com as taxas de subsidência ou de movimentos ascendentes verificados no substrato, considerou que a eustasia, e não a orogênia, foi fator primordial no controle dos ciclos transgressivos-regressivos e, por consequência, das discordâncias que limitam as sequências da Bacia do Parnaíba. Ideia esta já sustentada por Della Fávera (1990).

Durante o Jurássico, no qual se depositou a Formação Pastos Bons, segundo Góes & Feijó (1994), as condições de deposição na bacia eram exclusivamente continentais e atribuem ao peso da carga do magmatismo do Triássico como mecanismo de subsidência.

Por fim, durante o Cretáceo, Góes & Feijó (1994) atribuem aos esforços de ruptura da margem equatorial brasileira o retorno da sedimentação na Bacia do Parnaíba. O ciclo de sedimentação que se estabeleceu a partir das novas condições estabelecidas é caracterizado por uma rápida transgressão, seguida da implantação de um contexto deposicional exclusivamente continental, encerrando-se assim este ciclo.

2.5. Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera

A Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera, a qual constitui foco do presente trabalho, é, quanto à litoestratigrafia, correspondente ao Grupo Canindé, que se subdivide, de acordo com Caputo (1984), em quatro formações: Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá. Depositou-se discordantemente sobre a Sequência Siluriana, tendo como limite inferior a Discordância Eodevoniana e, superior, a Discordância Eocarbonífera, conforme ilustrado na Carta Estratigráfica da Bacia do Parnaíba (Vaz *et al.*, 2007; Figura 2.4).

A Formação Poti, considerada por vários autores como pertencente ao Grupo Canindé e incluída na Carta Estratigráfica de Vaz *et al.* (2007) como unidade deste grupo, foi, neste trabalho, entendida como uma unidade à parte em razão da Discordância Eocarbonífera que a separa da Formação Longá, com um hiato de mais de 10 Ma.

2.5.1. FORMAÇÃO ITAIM

Primeira unidade litoestratigráfica do Grupo Canindé, a Formação Itaim foi proposta por Kegel (1953, *apud* Caputo, 1984), ainda como membro da Formação Pimenteiras, para descrever arenitos micáceos e sílticos que ocorrem na porção leste da Bacia do Parnaíba. Outros autores, como Mesner & Wooldridge (1964) consideraram os litotipos desta unidade como pertencente ainda ao Grupo Serra

Grande. Mais tarde, Caputo (1984) a individualizou como formação pertencente ao Grupo Canindé, devido à sua maior associação às rochas deste grupo.

A Formação Itaim é constituída por arenitos finos a médios, com grãos subarredondados e alta esfericidade, com intercalações de folhelhos bioturbados na porção basal da unidade (Vaz *et al.*, 2007). Em subsuperfície, Caputo (1984) descreveu os litotipos presentes na unidade como camadas de arenito e folhelho bioturbado, siltitos com intercalações de arenitos de granulação fina a média, sendo comum também a ocorrência de folhelhos sideríticos com camadas contendo siderita oolítica, hematita e clorita, interpretando então as fácies presentes na Formação Itaim como indicadoras de deposição em sistemas deltaicos e de frente de leques deltaicos. Os folhelhos da base da unidade, em subsuperfície, foram interpretados como sedimentos de prodelta e os dois corpos de arenito regressivos do topo da seção, como depositados na frente deltaica. Já, os arenitos finos que ocorrem em meio aos folhelhos na base da unidade, assim como Della Fávera (1990), foram relacionados a correntes induzidas por tempestades.

Vaz *et al.* (2007) consideraram, da mesma maneira que Della Fávera (1990), que as fácies identificadas na Formação Itaim são de sistema deltaico sob influência de correntes de maré e plataformal dominado por tempestades.

2.5.2. FORMAÇÃO PIMENTEIRAS

A designação Formação Pimenteiras foi introduzida por Small (1914, *apud* Caputo, 1984) para designar folhelhos com cerca de 20 m de espessura que ocorrem na localidade de Pimenteiras. Esta unidade é constituída por folhelhos cinza-escuros a pretos, esverdeados, em parte bioturbados, radiativos e ricos em matéria orgânica, ocorrendo também intercalações de siltitos e arenitos atribuídos ao ambiente de plataforma rasa dominada por tempestades (Vaz *et al.*, 2007). Em subsuperfície, Caputo (1984) descreveu as rochas desta formação como folhelhos pretos, cinza-escuros e esverdeados, micáceos e geralmente sideríticos, folhelhos siltosos e camadas de siltito, podendo ocorrer também delgadas camadas de arenito fino, às vezes com fragmentos de folhelhos.

Quanto ao sistema deposicional, a Formação Pimenteiras é entendida por Caputo (1984), Della Fávera (1990), Vaz *et al.* (2007), dentre outros, como sendo de sistema plataformal sob ação de correntes de tempestade. Segundo Caputo (1984), ocorrem também, na região nordeste da bacia, folhelhos siltosos com espessura superior a 70 m e arenito fino a muito fino que caracterizam, respectivamente, depósitos de prodelta e de frente deltaica. Segundo este mesmo autor, a Formação Pimenteiras é um registro de transgressão marinha mundial durante o Devoniano, com oscilações do nível do mar. No estágio Frasniano, camadas de folhelho laminado radiativo indicam o máximo nível do mar.

2.5.3. FORMAÇÃO CABEÇAS

A Formação Cabeças foi proposta por Plummer (1948, *apud* Caputo, 1984) para designar uma seção devoniana composta por arenitos de granulação média a grossa. Trata-se de um pacote sedimentar principalmente arenítico que se depositou concomitantemente à Formação Pimenteiras, com a qual observa-se contato com passagem tipicamente gradacional (Della Fávera 1990).

Os litotipos predominantes na Formação Cabeças consistem em arenitos cinza-claros a brancos, médios a grossos, com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos. Podem ocorrer eventualmente diamictitos na porção superior da unidade (Vaz *et al.*, 2007). Em subsuperfície, é composta por corpos de arenito separados por camadas de folhelho e siltito (rochas tipo varvito) e camadas de diamictito (Caputo, 1984).

Quanto aos sistemas deposicionais atuantes na deposição da Formação Cabeças, os tilitos, seixos e pavimentos rochosos estriados corroboram a ideia de uma deposição em ambiente glacial ou periglacial (Caputo, 1984). Della Fávera (1990) identificou a presença de tempestitos na transição desta formação para a Formação Pimenteiras. Já, Góes & Feijó (1994) interpretaram litotipos desta unidade como sendo principalmente de um sistema plataformal sob influência preponderante de correntes de marés, podendo ocorrer também fácies flúvio-estuarinas.

2.5.4. FORMAÇÃO LONGÁ

A Formação Longá foi proposta por Albuquerque & Dequech (1946, *apud* Caputo, 1984) para designar uma seção da Bacia do Parnaíba essencialmente composta por folhelhos. É delimitada na base pelo contato com a Formação Cabeças e no topo pela Discordância Eocarbonífera.

As fácies que compõem a Formação Longá são tipicamente folhelhos cinza-escuros a pretos, em parte arroxeados, maciços a laminados com ocorrência de bioturbação (Vaz *et al.*, 2007). Segundo Lima & Leite (1978, *apud* Vaz *et al.*, 2007), comumente ocorrem em sua porção média pacotes de arenito laminado de coloração cinza-claro a branco.

Quanto à sedimentação, Góes & Feijó (1994) interpretaram as fácies desta unidade como pertencentes ao sistema deposicional plataformal dominado por tempestades, como já havia interpretado Della Fávera (1990). Este mesmo autor associou os folhelhos da base da Formação Longá a um intervalo transgressivo, cujo ápice é também uma superfície de inundação da bacia, porém resultante de uma transgressão de menor proporção, em comparação com a Formação Pimenteiras.

3. *ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA*

3.1. Introdução

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos na análise estratigráfica, os quais constituem o objetivo principal desta Dissertação de Mestrado, sintetizados em um artigo científico submetido à Revista Geociências da UNESP (eISSN: 1980-900X) e resultados adicionais que não foram incluídos no artigo.

No artigo foi apresentada uma breve introdução acerca da Bacia do Parnaíba, seguida de um estado da arte de estudos estratigráficos realizados na bacia nas últimas décadas, com foco na seção estudada. Posteriormente, foram expostos os materiais e métodos utilizados e os resultados obtidos nas análises dos perfis integrados, da seção estratigráfica, das linhas sísmicas e dos mapas de isócoras, bem como a discussão de possíveis modelos genéticos e integração dos resultados.

Em razão das limitações de espaço e formato de publicação, os diagramas completos utilizados na análise 1D, linhas sísmicas e resultados adicionais que não puderam ser apresentadas no artigo, foram incluídos ao final deste capítulo de maneira integral e ampliada no item 3.3.

3.2. Artigo Científico: Análise Estratigráfica da Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil

Nas páginas que se seguem, encontra-se apresentada a versão submetida do artigo científico, com formatação usada pela revista em questão e numeração de figuras equivalentes ao que foi encaminhado para o periódico.

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA SEQUÊNCIA MESODEVONIANA-EOCARBONÍFERA DA BACIA DO PARNAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Nadja Cruz FERRAZ¹, Valéria Centurion CÓRDOBA², Debora do Carmo SOUSA³

- (1) Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - PPGG - UFRN; Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Caixa Postal 1639 - CEP 59078-970 - Natal - RN - nadjaferraz@hotmail.com
- (2) Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica e Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo Universidade Federal do Rio Grande do Norte - PPGG - LGGP - UFRN; Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Caixa Postal 1639 - CEP 59078-970 - Natal - RN - valeria.geo@ufrnet.br
- (3) Departamento de Geologia e Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo - Centro de Ciências Exatas e da Terra - DG - CCET - UFRN; Avenida Senador Salgado Filho, 3000 - Campus Universitário - Caixa Postal 1639 - CEP 59078-970 - Natal - RN - debora@geologia.ufrn.br

Introdução
Materiais e Métodos
Análise Estratigráfica
Síntese Estratigráfica
Consideração Final
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO

A Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera foi reinterpretada neste trabalho aplicando-se o modelo básico da estratigrafia de seqüências. Foram analisados dados de poços e linhas sísmicas, elaborando-se a partir daí diagramas, mapas de isócoras e uma seção estratigráfica. Foram definidos dois ciclos de segunda ordem, referidos como seqüências deposicionais 1 e 2 (SEQ1 e SEQ2). A SEQ1 inicia com o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), constituído por conjuntos de parasseqüências progradacionais cujas litofácies indicam deposição em sistema deltaico sob influência de tempestades, tendo como limite superior a superfície regressiva máxima. O Trato de Sistemas Transgressivo (TST) caracteriza-se por conjuntos de parasseqüências retrogradacionais, compostos por pelitos de plataforma rasa depositados sob ação de tempestades. O Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA) apresenta conjuntos de parasseqüências progradacionais compostos por pelitos e arenitos depositados em ambientes plataformar, flúvio-estuarino e periglacial. A SEQ2 foi depositada completamente em ambiente plataformar e se inicia com o TSNB, caracterizado por um conjunto de parasseqüências progradacional, seguido do TST, retrogradacional. O limite superior deste trato corresponde à superfície transgressiva máxima ou ainda a Discordância Eocarbonífera. Por fim, o TSNA da SEQ2 (progradacional) é restrito às porções em que a erosão que originou a Discordância Eocarbonífera foi menos efetiva.

Palavras-Chaves: Bacia do Parnaíba; Estratigrafia de Sequências; Devoniano; Poços; Sísmica.

ABSTRACT

In this work, a reinterpretation of the Middle Devonian-Early Carboniferous sequence was made by applying the sequence stratigraphy basic model. Well-log and seismic lines were analyzed to produce diagrams, isochore maps and a stratigraphic section. Two cycles of second order were identified and referred as depositional sequences 1 and 2 (SEQ1 and SEQ2). The SEQ1 starts with the lowstand systems tract (LST) and that is composed by progradational parasequence set in which the lithofacies indicates deposition in deltaic system under the influence of storms and with the upper limit being the maximum regressive surface. The transgressive systems tract (TST) is characterized by progradational parasequence set which contain shallow shelf mudstones deposited under the action of storms. The highstand systems tract (HST) presents progradational parasequence set composed by mudstones and sandstones deposited in shelf, fluvial-estuarine and periglacial environments. The SEQ2 has been deposited completely in shelf environment and begins with the LST, which is characterized by progradational parasequence set and then followed by the TST (retrogradational). The upper limit of this tract is the maximum flooding surface or the Early Carboniferous Unconformity. At last, the HST of the SEQ2 (progradational) is restricted to the portions where the erosion which caused the Early Carboniferous Unconformity had been less effective.

Keywords: Parnaiba Basin; Sequence Stratigraphy; Devonian; Well-logs; Seismic Data.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Parnaíba, denominada nos primeiros textos geológicos como Bacia do Maranhão ou Piauí-Maranhão, é uma bacia sedimentar intracratônica situada principalmente na região Nordeste do Brasil abrangendo os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins e uma pequena parte dos estados do Pará, Ceará e Bahia. Sua área é de aproximadamente 600 mil km² e a espessura de sua coluna sedimentar pode atingir cerca de 3.500 m no depocentro, sendo constituída predominantemente por rochas de idade paleozoica (Vaz *et al.*, 2007).

A Bacia do Parnaíba, em especial sua seção de idade devoniana, tem sido objeto de estudo de diversos trabalhos na área de estratigrafia e sedimentologia, visando a um melhor entendimento de sua geologia e sistemas petrolíferos, em razão de seu potencial para hidrocarbonetos.

A Sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera, litoestratigraficamente denominada Grupo Canindé, é aqui analisada sob a ótica da estratigrafia de sequências e seus conceitos mais modernos, objetivando a obtenção de um modelo estratigráfico de sequências da seção, tendo como base o estudo de dados de poços e linhas sísmicas da região central da bacia.

CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

A Bacia do Parnaíba tem sua coluna sedimentar litoestratigraficamente dividida nos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas. Estratigraficamente acima destes grupos estão as formações Pastos Bons, Itapecuru, Corda, Grajaú e Codó; as últimas três depositadas à mesma época (Rezende, 2002).

Além do pacote sedimentar acima mencionado, ocorrem na bacia rochas ígneas básicas na forma de derrames, diques e soleiras que foram individualizadas em duas unidades estratigráficas distintas: magmatismos Mosquito e Sardinha (Aguiar, 1971). A primeira descrita como derrames e diques de idade triássica a jurássica, aflorantes na porção ocidental da bacia, e a segunda na forma de diques e soleiras de idade cretácea que são observados na borda oriental da bacia.

Quanto à estratigrafia de sequências, a sucessão de rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, anteriormente individualizada por meio da litoestratigrafia, pode ser disposta em cinco supersequências: Siluriana (Grupo Serra Grande), Mesodevoniana-Eocarbonífera (Grupo Canindé), Neocarbonífera-Eotriássica (Grupo Balsas), Jurássica (Formação Pastos Bons) e Cretácea (formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru), todas elas limitadas por discordâncias que se estendem por toda a bacia ou abrangem vastas regiões (Figuras 1 e 2; Vaz *et al.*, 2007).

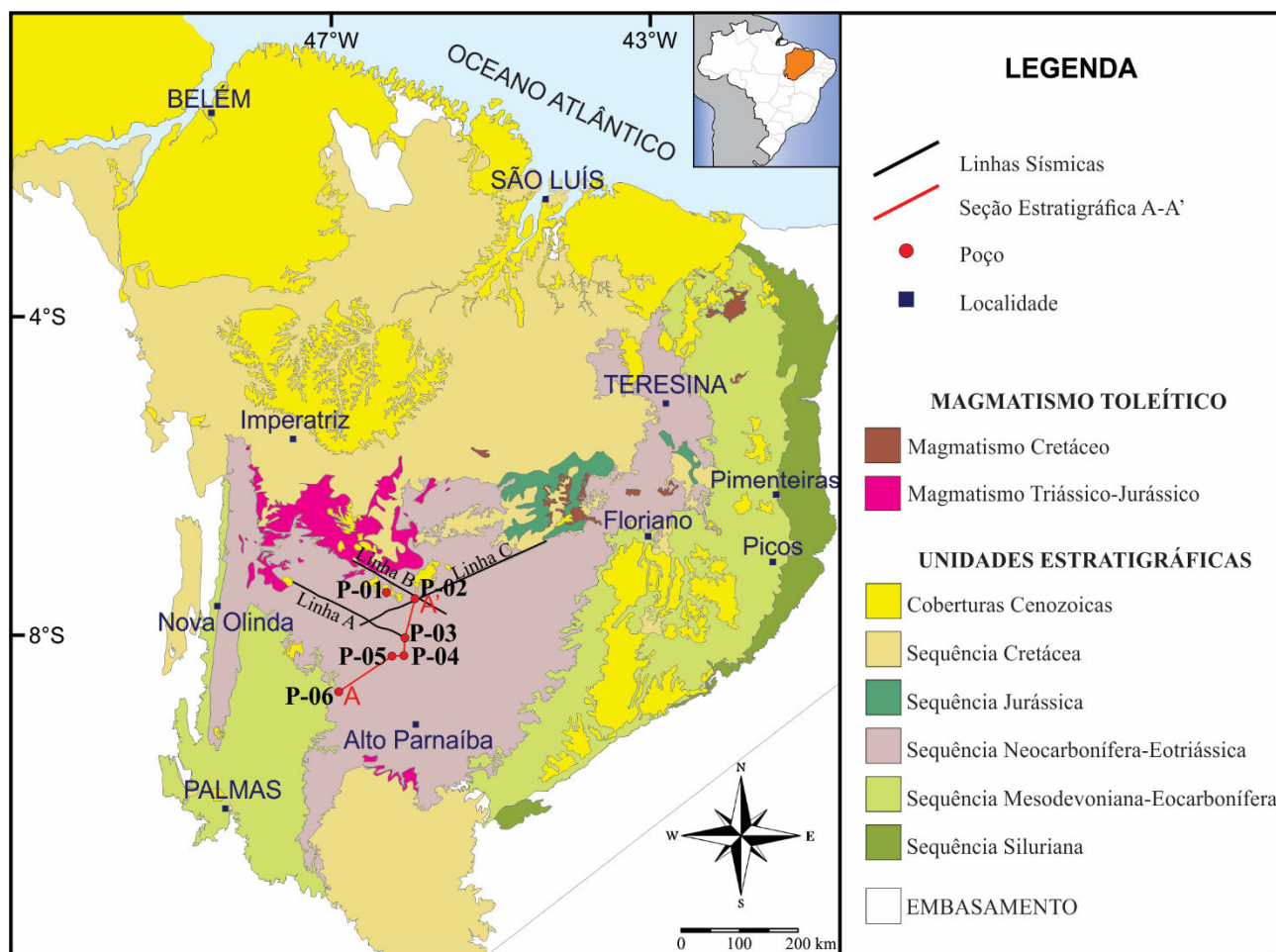
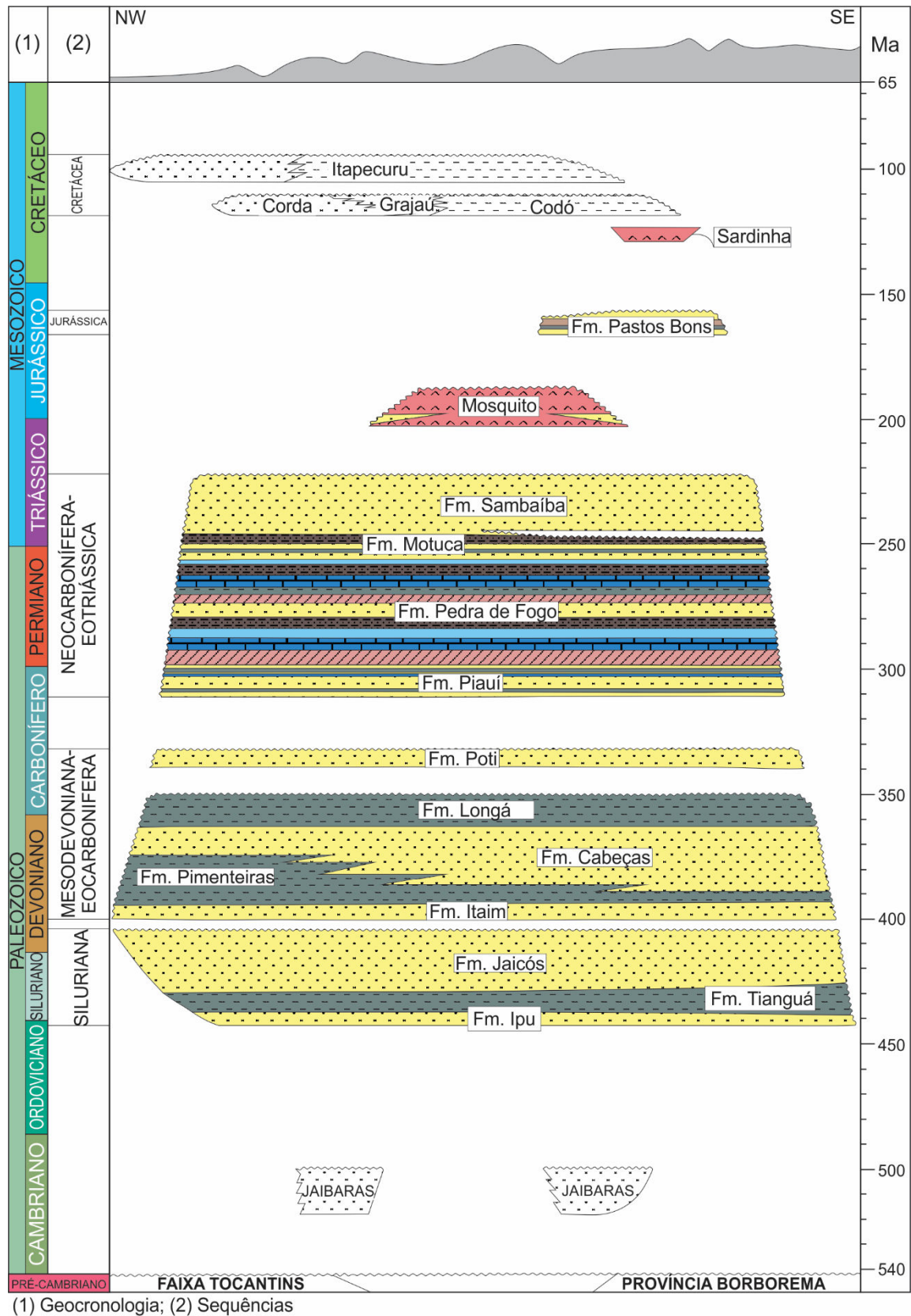


Figura 1: Mapa geológico simplificado da Bacia do Parnaíba com localização dos poços e linhas sísmicas estudadas, além da seção estratigráfica A-A' elaborada (adaptada de CPRM, 2004).

Foi estudada neste trabalho a seção que corresponde litoestratigraficamente ao Grupo Canindé, de acordo com a configuração proposta por Caputo (1984), segundo a qual é composto pelas formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá. Um hiato de mais de 10 Ma que separa as rochas desse grupo da Formação Poti, depositada durante o Mississipiano conforme a carta estratigráfica apresentada por Vaz *et al.* (2007; Figura 2), justifica a não inclusão desta formação na seção estudada.

HISTÓRICO DA ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS NA BACIA DO PARNAÍBA

Nas últimas décadas, diversos trabalhos foram desenvolvidos na Bacia do Parnaíba visando a aplicar a estratigrafia de seqüências como ferramenta de análise estratigráfica, atualizando o conhecimento já estabelecido e trazendo novas perspectivas, principalmente no que se refere à prospecção de hidrocarbonetos. Nesse contexto, as unidades do Devoniano tiveram grande destaque nesses estudos em razão de seu potencial prospectivo.



(1) Geocronologia; (2) Sequências

Figura 2: Carta estratigráfica simplificada da Bacia do Paraíba (adaptada de Vaz *et al.*, 2007)

Della Fávera (1990) foi o primeiro a aplicar os conceitos da estratigrafia moderna na Bacia do Parnaíba, ao reorganizar o conhecimento da bacia nos termos da estratigrafia de sequências como estratégia para reconhecer os intervalos de ocorrência de tempestitos e os fatores condicionantes para estes eventos.

Fundamentado na identificação de 52 marcos elétricos em perfis de raios gama, Della Fávera (1990) definiu cinco sequências deposicionais na Bacia do Parnaíba: Devoniana, Devoniana-Mississipiana, Mississipiana, Pensilvaniana e Permiana. Estas sequências foram delimitadas por discordâncias, tendo sido divididas em tratos de sistemas transgressivo ou intervalo transgressivo e de nível de mar alto ou intervalo regressivo. A superfície de inundação máxima identificada divide esses dois tratos e é caracterizada pela presença de um nível de folhelho radiativo.

Góes & Feijó (1994) propuseram que os grupos definidos como unidades litoestratigráficas da Bacia do Parnaíba poderiam ser também referidos como sequências deposicionais de segunda ordem, nos termos que correspondem aproximadamente à definição e conceitos propostos por Sloss (1963). Desta maneira ficaram arrançadas cinco sequências deposicionais, correlacionáveis a ciclos tectônicos de caráter global: Sequência Siluriana, que corresponde litoestratigraficamente ao Grupo Serra Grande; Sequência Devoniana, correspondente ao Grupo Canindé; Sequência Carbonífero-Triássica, equivalente ao Grupo Balsas; Sequência Jurássica, correspondente ao Grupo Mearim, e Sequência Cretácea, correspondente às formações Grajaú, Codó e Itapecuru.

Góes (1995), em sua análise faciológica das rochas siliciclásticas da Formação Poti e unidades limítrofes (formações Longá e Piauí) nas bordas leste e oeste da bacia, com base na análise de dados de superfície e de subsuperfície, reconheceu duas sequências deposicionais distintas, separadas por uma discordância de caráter regional: a primeira, que incluía depósitos do topo da Formação Longá e base da Formação Poti, e a segunda, contendo depósitos basais da Formação Piauí.

Já Albuquerque (2000) estudou, sob a ótica da estratigrafia de sequências e da cicloestratigrafia, as formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá como integrantes do Grupo Canindé por hora também referida como Sequência Devoniana. A autora, em seu trabalho, subdividiu esta sequência em nove ciclos de terceira ordem, aplicando como limites de sequências as superfícies de inundação máxima e suas superfícies correlativas, conforme o modelo de sequência genética de Galloway (1989).

Young (2003) descreveu pela primeira vez na Bacia do Parnaíba depósitos de regressão forçada na Formação Pimenteiras, depósitos estes definidos na estratigrafia de sequências como aqueles relacionados a uma queda relativa do nível do mar, segundo o conceito apresentado por Plint (1988).

Young (2003) aferiu que o Membro Carolina, descrito por Carozzi (1975) como corpo arenítico isolado em meio a corpos de folhelho, exibiria características similares a de depósitos de regressão forçada, sugerindo, portanto, a reinterpretação de outros corpos de arenito da bacia segundo este modelo.

Uma análise estratigráfica de alta resolução foi realizada na Formação Pimenteiras e unidades limítrofes (topo da Formação Itaim e base da Formação Cabeças) por Young (2006). Neste estudo, foram determinadas nove sequências de quarta ou quinta ordem, analisando-se principalmente testemunhos de sondagem e perfis geofísicos de poços, pelos quais também se determinou quinze fácies sedimentares, sete sucessões de fácies e vinte superfícies estratigráficas.

Outra análise estratigráfica de alta resolução foi apresentada por Lobato & Borghi (2007), desta vez, no limite entre as formações Longá e Poti, tendo como base a descrição de testemunhos de sondagem da porção oriental da Bacia do Parnaíba. Foram determinadas duas sequências deposicionais de terceira ordem, em que a superfície de erosão subaérea que as limitam coincide com o limite entre as formações. Na mesma linha dos trabalhos realizados por Young (2003, 2006) e Young & Borghi (2006), a análise de fácies realizada por Lobato & Borghi (2007) permitiu a identificação de superfícies estratigráficas de regressão forçada de várias naturezas e ordens. Foram identificadas também superfícies transgressivas, de inundação marinha e inundação máxima.

A carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007; Figura 2), já mencionada no presente artigo, apresenta mudanças em relação à proposta por Góes & Feijó (1994), que são, principalmente, no que se refere ao posicionamento temporal de algumas das discordâncias e duração dos hiatos que limitam cada uma das supersequências, além da introdução da Discordância Eocarbonífera entre as formações Longá e Poti (com hiato de cerca de 10 Ma) e da relocação da Formação Corda, que passou a integrar a Sequência Cretácea.

Ponciano & Della Fávera (2009) fizeram uma reinterpretação do modelo deposicional da Formação Cabeças (Grupo Canindé) na borda leste, baseando-se no contexto paleogeográfico da Bacia do Parnaíba durante o Devoniano e na similaridade entre as fácies sedimentares encontradas na Formação Cabeças e aquelas características de sistemas flúvio-deltaicos dominados por inundações. Para os autores, a possibilidade levantada por Caputo *et al.* (2008) de ter ocorrido uma glaciação em menor escala, anterior à mais recente do Fameniano – que é evidenciada pela porção superior da Formação Cabeças, poderia ocasionar rompimento de lagos glaciais que, por vezes, dariam origem a inundações na Bacia do Parnaíba. Essas inundações provocariam fluxos bastante eficientes que, ao entrar na água do mar, originariam fluxos hiperpicnais capazes de gerar fácies do sistema flúvio-deltaico dominado por inundações proposto por Ponciano & Della Fávera (2009). A ausência de registros dessa glaciação anterior (postulada) seria justificada pela extensa erosão ocorrida em decorrência da grande glaciação do Fameniano tardio.

Vettorazzi (2012) também desenvolveu uma pesquisa acerca da Formação Cabeças, analisando e caracterizando sedimentologicamente os arenitos desta unidade na borda leste da Bacia do Parnaíba. A autora identificou sete litofácies que permitiram comportar diversos sistemas deposicionais em um único cenário paleoambiental. Desta maneira, ela concluiu que as litofácies descritas remetiam a: lobos sigmoidais gerados por fluxos homopícnais, deltas originados a partir de fluxos hipopícnais (barras de desembocadura), barras fluviais originadas por fluxos trativos e, por fim, vale-túnel glaciogênico gerado sob regime de maré, por fluxos trativos e gravitacionais, descrevendo assim o ambiente glacial que caracterizaria um limite de sequência no topo da unidade, conforme proposto também por Freitas (1990).

Barbosa (2014), em sua avaliação faciológica e estratigráfica, com ênfase no registro da tectônica glacial e dados geocronológicos de zircão detrítico, interpretou o paleoambiente e a proveniência dos litotipos da Formação Cabeças. O autor identificou seis associações de fácies agrupadas em sucessões aflorantes que registraram a evolução de um sistema deltaico devoniano, influenciado por processos glaciais: frente deltaica distal, frente deltaica proximal, planície deltaica, *shoreface* glacial, depósitos subglaciais e frente deltaica de degelo.

Por fim, ainda segundo Barbosa (2014), durante o Famêniano (374-359 Ma.), uma frente deltaica dominada por processos fluviais prograda para noroeste (borda leste) e para nordeste (borda oeste) sobre uma plataforma influenciada por ondas de tempestade (Formação Pimenteiras). Na borda leste da bacia, o padrão de paleocorrentes e o espectro de idades U-Pb em zircão detrítico indicam que o delta Cabeças foi alimentado por áreas fontes situadas a sudeste da Bacia do Parnaíba, provavelmente da Província Borborema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram analisados dados de seis poços e três linhas sísmicas fornecidos pelo Projeto de Pesquisa “Geologia e Sistemas Petrolíferos da Bacia Intracratônica do Parnaíba, Nordeste do Brasil” (BPAR), desenvolvido no âmbito da UFRN / Funpec / Chevron, cujas localizações são apresentadas na Figura 1. Também foram utilizados dados de profundidade do topo das formações para elaboração de mapas de isócoras dos tratos de sistemas e sequências sedimentares.

A partir dos dados de poços – perfil composto, arquivo geral do poço (AGP) e pasta do poço, foram elaborados perfis integrados, baseados nos perfis de raios gama e litológico, os quais foram interpretados segundo os conceitos da estratigrafia de sequências, buscando-se identificar as tendências de variações texturais das fácies, as parassequências e conjuntos de parassequências, as superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e, por fim, as sequências deposicionais. Estas superfícies e unidades estratigráficas foram correlacionadas na seção A-A', traçada aproximadamente de SW para

NE, começando no poço P-06 até o poço P-02. Para esta etapa foram desconsideradas as intrusões de diabásio e a Superfície Transgressiva Máxima (STM1), da sequência mais antiga, foi utilizada como *datum*.

As linhas sísmicas foram interpretadas seguindo-se o método da sismoestratigrafia, através do qual foram observados os padrões e terminações dos refletores e conjuntos de refletores, partindo-se da amarração sísmica-poço, para determinação das superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e sequências deposicionais correlacionados à análise estratigráfica dos poços.

Com o intuito de fornecer uma visão geral da Bacia do Parnaíba, foram elaborados mapas de isócoras baseados nas espessuras das formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá (Grupo Canindé). Tais espessuras foram calculadas a partir dos dados de profundidade dessas unidades em sub-superfície, levando-se em conta, para cada mapa elaborado, apenas os poços nos quais foi possível inferir que a unidade não foi erodida.

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

ANÁLISE 1D

A análise integrada do perfil litológico com o de raios gama de cada poço possibilitou compartimentar as rochas do Devoniano da Bacia do Parnaíba em duas sequências deposicionais de segunda ordem, denominadas neste trabalho como Sequência Depositional 1 (SEQ1) e Sequência Depositional 2 (SEQ2).

A partir deste estudo, foram definidos os ciclos de maior ordem – as parassequências, que foram arranjadas de acordo com as tendências de variações texturais das fácies, seja com afinamento textural ou engrossamento textural para o topo. As parassequências foram então agrupadas em conjuntos de parassequências, definidos com base nos padrões de empilhamento progradacional e retrogradacional. Estes conjuntos de parassequências foram ainda, de acordo com seus padrões de empilhamento característicos, associados aos tratos de sistemas.

Assim, conjuntos de parassequências progradacionais delimitados na base por discordância ou conformidade correlativa, aqui denominada simplesmente como Limite de Sequência (LS), e no topo comumente por uma Superfície Regressiva Máxima (SRM), foram associados ao Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB). Conjuntos de parassequências também progradacionais, porém com seu início em uma Superfície Transgressiva Máxima (STM), foram relacionados ao Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA). Ao passo que, conjuntos de parassequências com tendência ao afogamento (retrogradacionais), cujo ápice é uma STM, foram vinculados o Trato de Sistemas Transgressivo (TST).

Sequência Depositional 1 (SEQ1)

A Sequência Depositional 1 (SEQ1) equivale litoestratigraficamente às formações Itaim, Pimenteiras e Cabeças nos perfis analisados no presente trabalho, compreendendo um intervalo de deposição de cerca de 37 Ma, de acordo com a carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007), e cuja hierarquia é definida como de segunda ordem de acordo com Van Wagoner *et al.* (1991). É delimitada na base pela superfície LS1, que corresponde à Discordância Eodevoniana entre o Grupo Serra Grande e o Grupo Canindé, observada por Caputo (1984), Góes & Feijó (1994), Vaz *et al.* (2007) e outros.

No topo, a sequência é delimitada pela superfície LS2, que marca a passagem abrupta dos arenitos da Formação Cabeças para os folhelhos plataformais da Formação Longá, discordância ainda não reconhecida na carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007) e aqui denominada Discordância Neodevoniana. Esta discordância, identificada por meio dos perfis de raios gama, pode estar associada a níveis de diamictito presentes na Formação Cabeças, como apresentado por Caputo *et al.* (2008).

A sequência inicia-se com o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), que corresponde litoestratigraficamente à Formação Itaim (Figura 3). As litofácies que compõem este trato de sistemas geométrico correspondem a folhelhos, siltitos e arenitos. Conforme se observa na Figura 3, estas litofácies definem dois conjuntos de parassequências progradacionais, cuja geometria em funil mostra a variação de litotipo mais fino na base com engrossamento textural para o topo, características compatíveis com a interpretação de sistemas deltaicos feita por Caputo (1984), Vaz *et al.* (2007) e outros autores.

São observados nos poços estudados a frequente ocorrência de camadas mais espessas de folhelhos e siltitos na base dos dois conjuntos de parassequências, que indicam deposição em ambiente de prodelta. Nesta porção, também ocorrem delgadas camadas de arenito que podem ser atribuídas a eventos de tempestade, como também observaram Caputo (1984) e Della Fávera (1990).

No topo dos conjuntos de parassequências 1 e 2, observa-se litofácies menos radiativas (arenitos) com maior espessura, podendo-se inferir deposição em subambiente de frente deltaica. Em geral, nos seis poços estudados, o Conjunto de Parassequências 2 apresenta maior espessura das camadas de arenito, indicando progradação da frente deltaica sobre o prodelta. Essa tendência progradante dos conjuntos de parassequências descritos anteriormente culmina na Superfície Regressiva Máxima 1 (SRM1), que marca a máxima extensão dos depósitos de nível baixo em direção à bacia e início do Trato de Sistemas Transgressivo (TST).

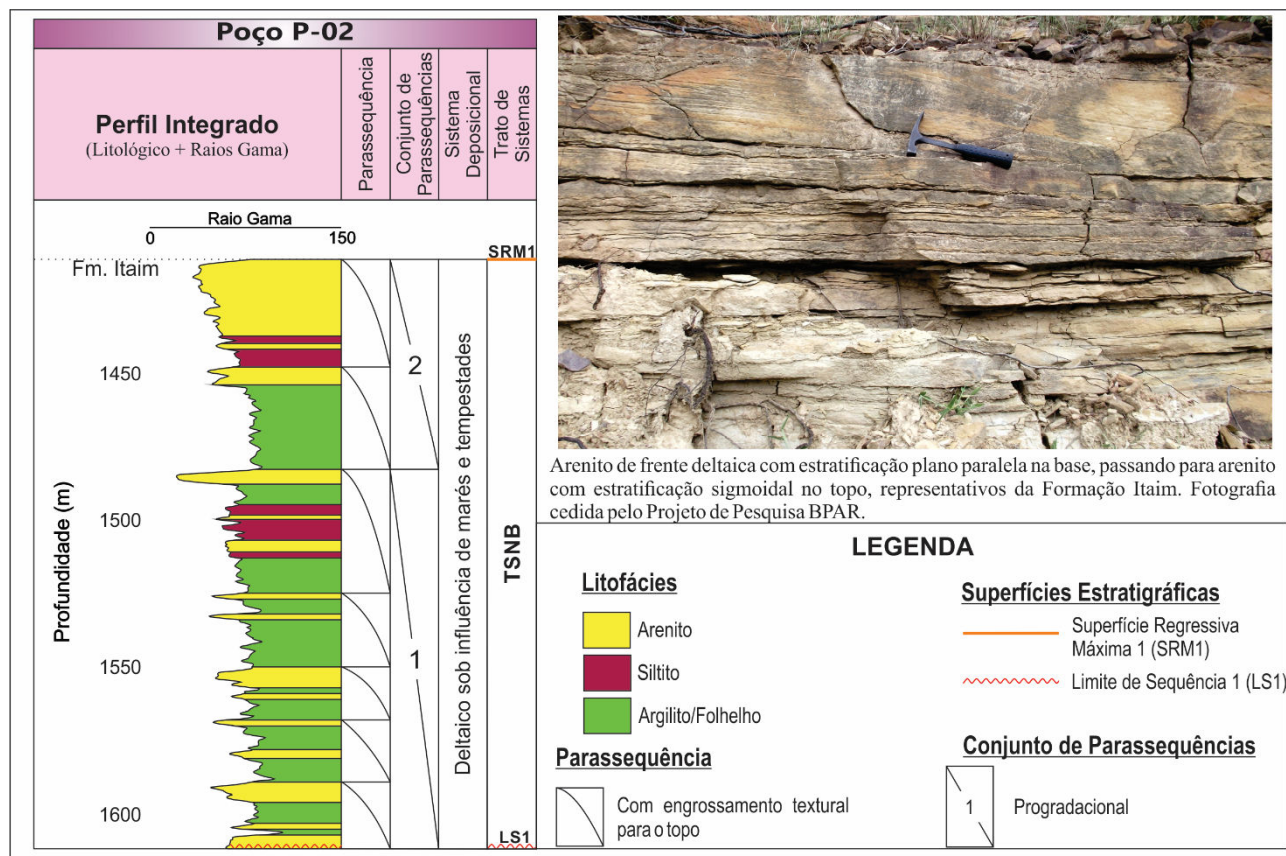


Figura 3: Intervalo do perfil integrado do poço P-02 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), correspondente à Formação Itaim. À direita superior, fotografia ilustrativa do TSNB em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

O TST é constituído pelos conjuntos de parassequências 3 e 4, que correspondem à porção inferior da Formação Pimenteiras. Este trato de sistemas geométrico é caracterizado pela predominância de litofácies pelíticas de ambiente plataformal, em geral com ocorrência de camadas delgadas de arenito que, assim como no TSNB, podem ser atribuídas a eventos de tempestades com base na descrição feita por Caputo (1984) e Della Fávera (1990). É notório o padrão agradacional a retrogradacional dos conjuntos de parassequências que compõem este trato, cujos folhelhos se tornam cada vez mais radiativos em direção ao topo, culminando na Superfície Transgressiva Máxima 1 (STM1), posicionada em um nível de folhelho cuja radiatividade no perfil de raios gama é próxima a 150 API (unidade de radiação do *American Petroleum Institute*) conforme observa-se na Figura 4.

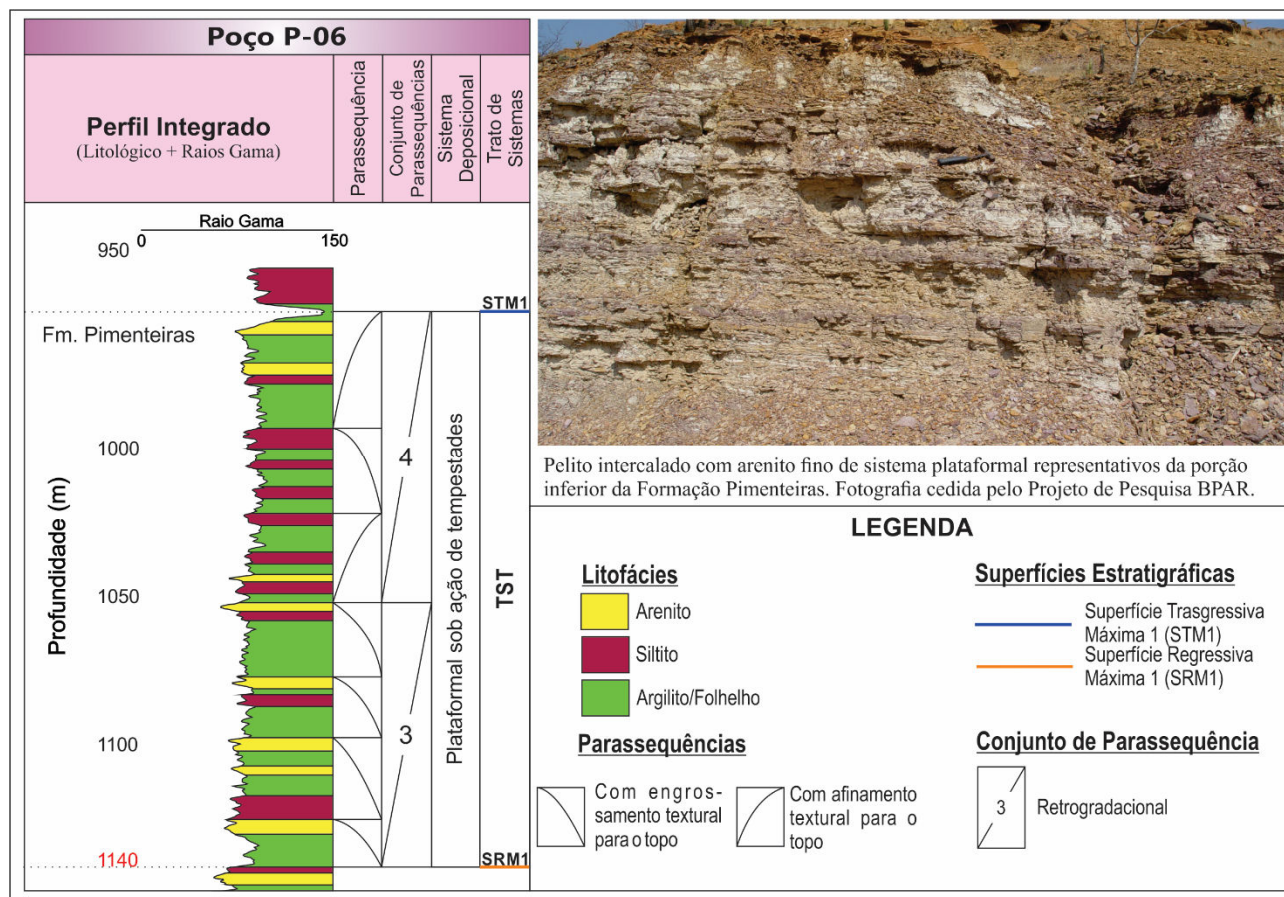


Figura 4: Intervalo do perfil integrado do poço P-06 ilustrando o Trato de Sistemas Transgressivo (TST), correspondente à porção inferior da Formação Pimenteiras. À direita superior, fotografia ilustrativa do TST em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

A partir da STM1 inicia-se o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), o qual se caracteriza pelo padrão predominantemente progradacional dos conjuntos de parassequências que o compõem, apresentando engrossamento textural cada vez mais marcante em direção ao topo da unidade e limite superior da SEQ1, a superfície LS2 (Figura 5). Esta superfície, denominada neste trabalho de Discordância Neodevoniana, coincide com o limite entre as formações Cabeças e Longá e é marcada pela passagem abrupta de arenitos da formação inferior para pelitos da formação superior, que foi interpretada como uma superfície erosiva em razão da sua variação lateral nos perfis, com ausência de litofácies em alguns indicando possível erosão. No topo do TSNA (porção superior da Formação Cabeças) é descrita a ocorrência de diamictitos resultantes da glaciação do Fameniano, de acordo com Caputo (1984), Caputo *et al.* (2008) e outros.

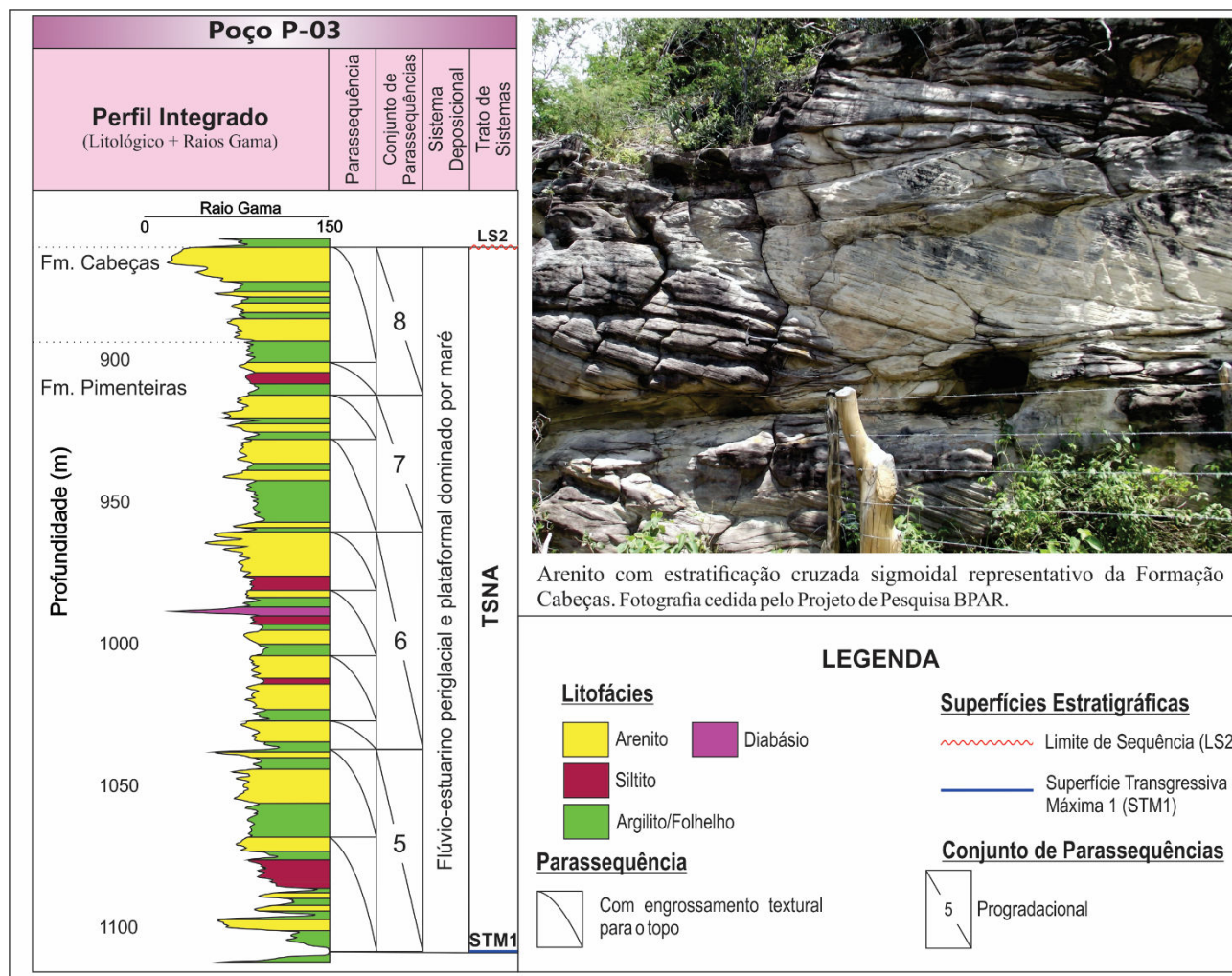


Figura 5: Intervalo do perfil integrado do poço P-03 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), correspondente à porção superior da Formação Pimenteiras e à Formação Cabeças. À direita superior, fotografia ilustrativa do TSNA em afloramento. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

Sequência Depositional 2 (SEQ2)

A Sequência Depositional 2 (SEQ2) equivale litoestratigraficamente à Formação Longá, constituída principalmente por rochas pelíticas (Fotografia 1) cuja deposição se deu em um sistema plataformar em um intervalo de cerca de 15 Ma, de acordo com a carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007). Isto a enquadra ainda como um ciclo de segunda ordem, porém, vale ressaltar a menor magnitude desta em relação à Sequência Depositional 1, também de segunda ordem de acordo com Van Wagoner *et al.* (1991).



Fotografia 1: Fotomontagem ilustrando a sucessão de rochas pelíticas da Formação Longá na localidade de Elesbão Veloso – PI, cedida pelo Projeto de Pesquisa BPAR.

A SEQ2 é delimitada na base pela Discordância Neodevoniana, que corresponde nos perfis ao Limite de Sequências 2 (superfície LS2) e, no topo, pela Discordância Eocarbonífera (Vaz *et al.*, 2007), marcada nos perfis pelo Limite de Sequências 3 (superfície LS3). É constituída pelos Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), Trato de Sistemas Transgressivo (TST) e, eventualmente, Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA).

O TSNB da SEQ2 (Figura 6) é constituído por um conjunto de parassequências no qual as litofácies presentes são argilitos/folhelhos, siltitos e arenitos. Tais litofácies, assim como no TSNB da SEQ1, apresentam um padrão progradacional a agradacional da base para o topo, com uma proporção maior de pelito na parte superior do perfil. O TSNB sobrepõe a superfície LS2 (Discordância Neodevoniana) e tem como limite superior a SRM2.

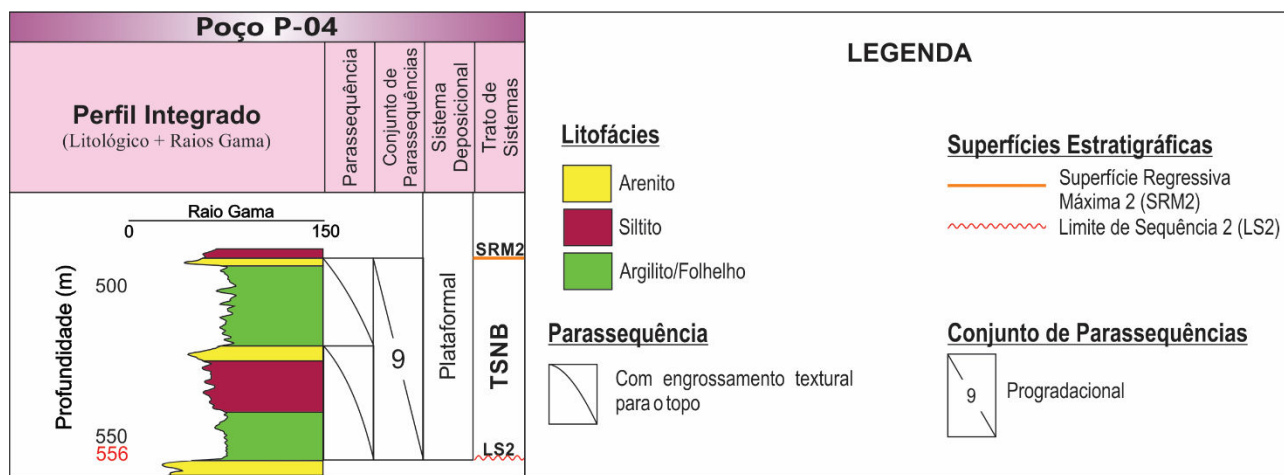


Figura 6: Intervalo do perfil integrado do poço P-04 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Baixo (TSNB), correspondente à porção inferior da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

O TST da SEQ2 (Figura 7) é constituído por um conjunto de parassequências cuja tendência é predominantemente retrogradacional, iniciando-se na SRM2, que o separa do TSNB, e culminando

na STM2, posicionada no nível de folhelho mais radiativo da sequência. Nos poços em que a sequência está incompleta, ou seja, nos poços P-01, P-02, P-04 e P-05, em que o TSNA não foi observado, o limite deste trato de sistemas é o limite da sequência (LS3), a Discordância Eocarbonífera (Vaz *et al.*, 2007).

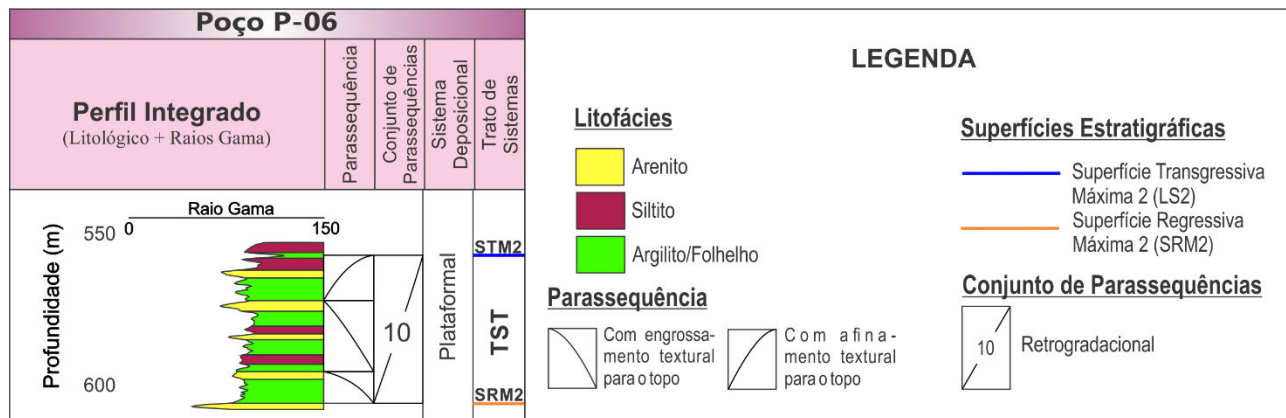


Figura 7: Intervalo do perfil integrado do Poço P-06 ilustrando o Trato de Sistemas Transgressivo (TST), correspondente à porção mediana da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

O TSNA da SEQ2 (Figura 8), presente somente nos poços P-03 e P-06, sobrepõe a STM2 e é constituído por um conjunto de parassequências prográdacional em que predominam litofácies areníticas. O topo deste trato de sistemas é a superfície LS3, correspondente à Discordância Eocarbonífera, que separa temporalmente, com um hiato de cerca de 10 Ma, as rochas desta unidade da Formação Poti, de acordo com a carta estratigráfica de Vaz *et al.* (2007).

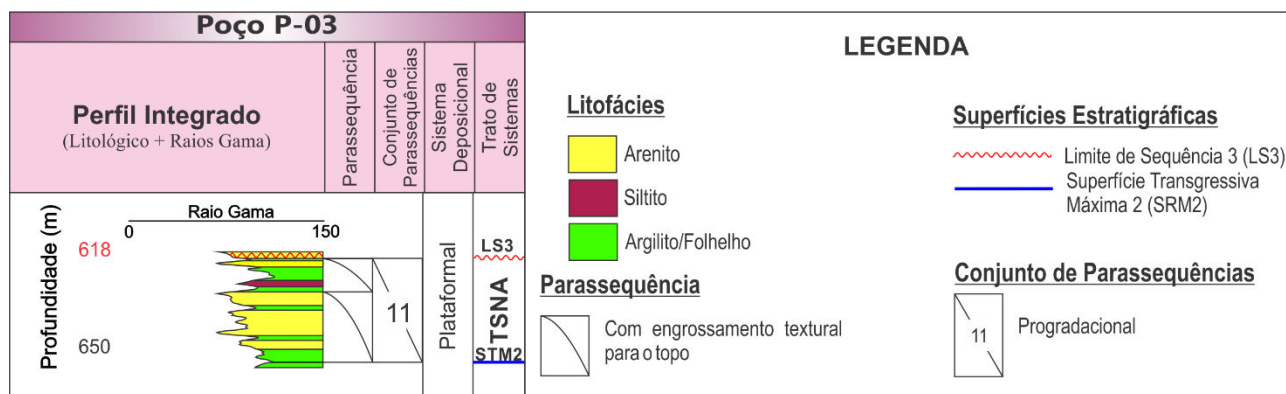


Figura 8: Intervalo do perfil integrado do Poço P-03 ilustrando o Trato de Sistemas de Nível Alto (TSNA), correspondente à porção superior da Formação Longá. Sistema deposicional de acordo com Vaz *et al.* (2007).

ANÁLISE 2D

A análise estratigráfica em duas dimensões da seção estudada foi realizada em duas fases: na primeira foi confeccionada uma seção estratigráfica esquemática perpassando cinco poços interpretados

na etapa anterior e, na segunda, foi realizada a interpretação sismoestratigráfica das três linhas sísmicas disponibilizadas para estudo.

Análise da Seção Estratigráfica

A seção estratigráfica A-A' (Figura 9) tem direção aproximada SW-NE, comprimento de cerca de 200 km, iniciando-se no poço P-06, passando pelos poços P-05, P-04, P-03 até o poço P-02. Nesta seção foi realizada a correlação dos poços acima mencionados a partir das seis superfícies estratigráficas determinadas na análise estratigráfica 1D. Para tanto, o *datum* escolhido foi a Superfície Transgressiva Máxima 1 (STM1) em razão de sua fácil identificação em todos os perfis analisados e de seu significado estratigráfico no contexto da Bacia do Parnaíba por representar o marco da maior transgressão marinha registrada em toda a sua coluna sedimentar (Góes & Feijó, 1994).

Vale ressaltar que esta seção estratigráfica é esquemática, apresentando apenas uma estimativa do que poderia ser o comportamento das superfícies estratigráficas ao longo das linhas que ligam cada poço, não sendo, portanto, uma reprodução da realidade. Todavia, este tipo de projeção é válida para se entender acerca do preenchimento sedimentar das unidades estratigráficas de interesse.

De uma maneira geral, observa-se na seção A-A' suaves variações de espessura dos tratos de sistemas das duas sequências, o que é bastante coerente com o contexto deposicional de uma bacia do tipo sinéclise, como é o caso da Bacia do Parnaíba. Conforme observa-se na Figura 9, as maiores variações se encontram no TSNA da SEQ1, no segmento entre os poços P-04 e P-03.

Os TSNB e TST da SEQ1 apresentam espessuras semelhantes, o que para o primeiro pode ser entendido como resultante do ainda pequeno espaço de acomodação durante a sua deposição e para o segundo, sua espessura relativamente grande em comparação com modelos de deposição deste trato, pode estar relacionada à uma lenta subida do nível eustático. Já o TSNA apresenta a maior espessura da SEQ1 em razão do acréscimo da taxa de deposição e do maior espaço de acomodação referente ao período no qual se depositou este trato.

Na SEQ2, o TSNB tem suas maiores espessuras na região dos poços P-04 e P-03. O TST também tem acréscimo de espessura na região desses poços, sendo importante ressaltar que o limite superior deste trato nos poços P-02, P-04 e P-05 representa a fusão da STM2 com o LS3, que constitui a Discordância Eocarbonífera. Por fim, o TSNA da SEQ2 ocorre na seção a SW, no poço P-06, e em menor espessura no poço P-03, estando ausente nos demais poços da seção.

Em relação à SEQ1, a SEQ2 apresenta espessura menor em razão de sua menor magnitude, associada a um ciclo deposicional cuja transgressão marinha é menos abrangente e possivelmente mais rápida.

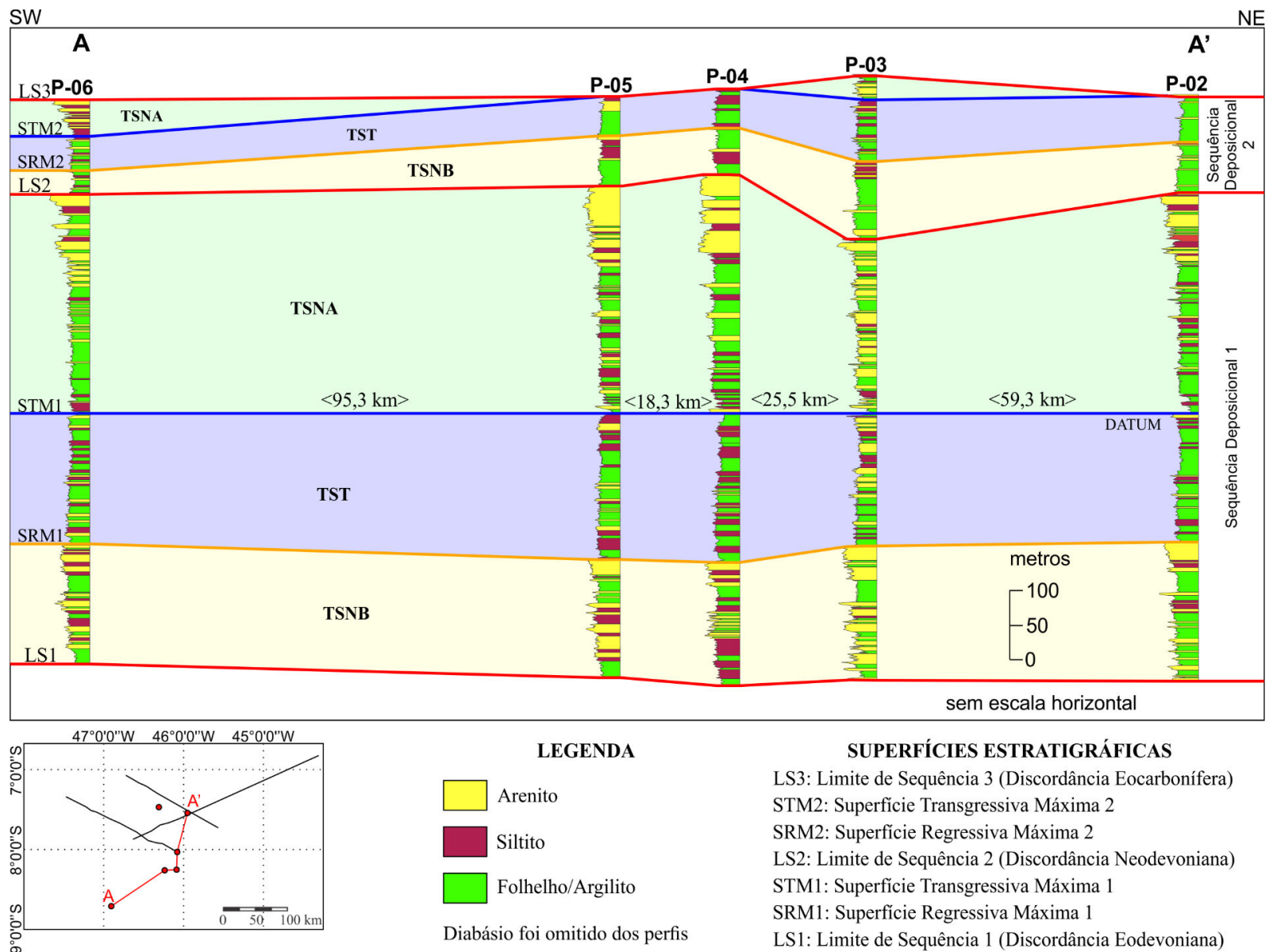


Figura 9: Seção estratigráfica esquemática de correlação dos poços P-06, P-05, P-04, P-03 e P-02.

Análise Sismoestratigráfica

A análise sismoestratigráfica teve como objetivo principal reconhecer as sismofeições (terminações dos refletores e sismofácies) bem como retratar a distribuição lateral das unidades genéticas reconhecidas na análise 1D. Para tanto, foram analisadas as linhas sísmicas A (Figura 10), B e C, amarradas com os poços P-02 e P-03, que se localizam nas suas proximidades. Além das superfícies-chaves, corpos de diabásio auxiliaram nesta amarração. Esses corpos, por constituírem refletores de alta amplitude, em decorrência do forte contraste de impedância acústica no contato destas rochas ígneas com as rochas sedimentares que as circundam, foram usados para definir na Linha Sísmica A (Figura 11A) o posicionamento do perfil de raios gama.

Com relação às terminações dos refletores, procurou-se investigar a ocorrência de terminações em *onlap*, *downlap*, truncamento erosional e/ou *toplap*, com as discordâncias que constituem os limites de sequências, bem como terminações em truncamento aparente e/ou *downlap* com as superfícies transgressivas máximas. No entanto, com exceção de uma única terminação em *downlap* observada sobre uma superfície transgressiva máxima (Figura 11B), os demais tipos não puderam ser identificados nas linhas analisadas. De uma maneira geral, como se observa na Figura 10, os refletores que definem as superfícies estratigráficas da seção em estudo são paralelos e contínuos e foram reconhecidos principalmente pela correlação com os poços e por se revelarem refletores com alta amplitude.

Conforme mostra a Figura 10, foram identificadas as superfícies LS1, LS2 e LS3, que limitam as sequências deposicionais 1 e 2, sendo que na SEQ1 foi possível determinar as superfícies que separam cada um dos três tratos de sistemas: SRM1 e STM1. Na SEQ2 não foram identificadas as superfícies estratigráficas e tratos de sistemas que a compõem em razão de sua menor espessura, indivisível na escala das linhas sísmicas estudadas.

Com relação às sismofácies internas, o conjunto de refletores que define o TST da SEQ1 constitui sismofácies paralela a subparalela, com refletores fortemente contínuos, que indicam processo de deposição por decantação/floculação, compatível com o predomínio de pelitos nesta unidade. Os demais tratos de sistemas, TSNB e TSNA, da SEQ1 são representados por refletores mais descontínuos que constituem sismofácies paralela a subparalela, indicando deposição por processos trativos e gravitacionais, típicos de sistemas ricos em fácies areníticas, corroborado pela presença de terminações em *downlap* no TSNA (Figura 11B).

O conjunto de refletores que corresponde à SEQ2 se mostra comumente contínuo constituindo também sismofácies paralela a subparalela. Os corpos de diabásio, que ocorrem frequentemente intrudindo as rochas sedimentares, compõem uma sismofácies em particular, com configuração paralela, exibindo refletores contínuos e com alta amplitude, superior aos demais refletores, o que facilitou

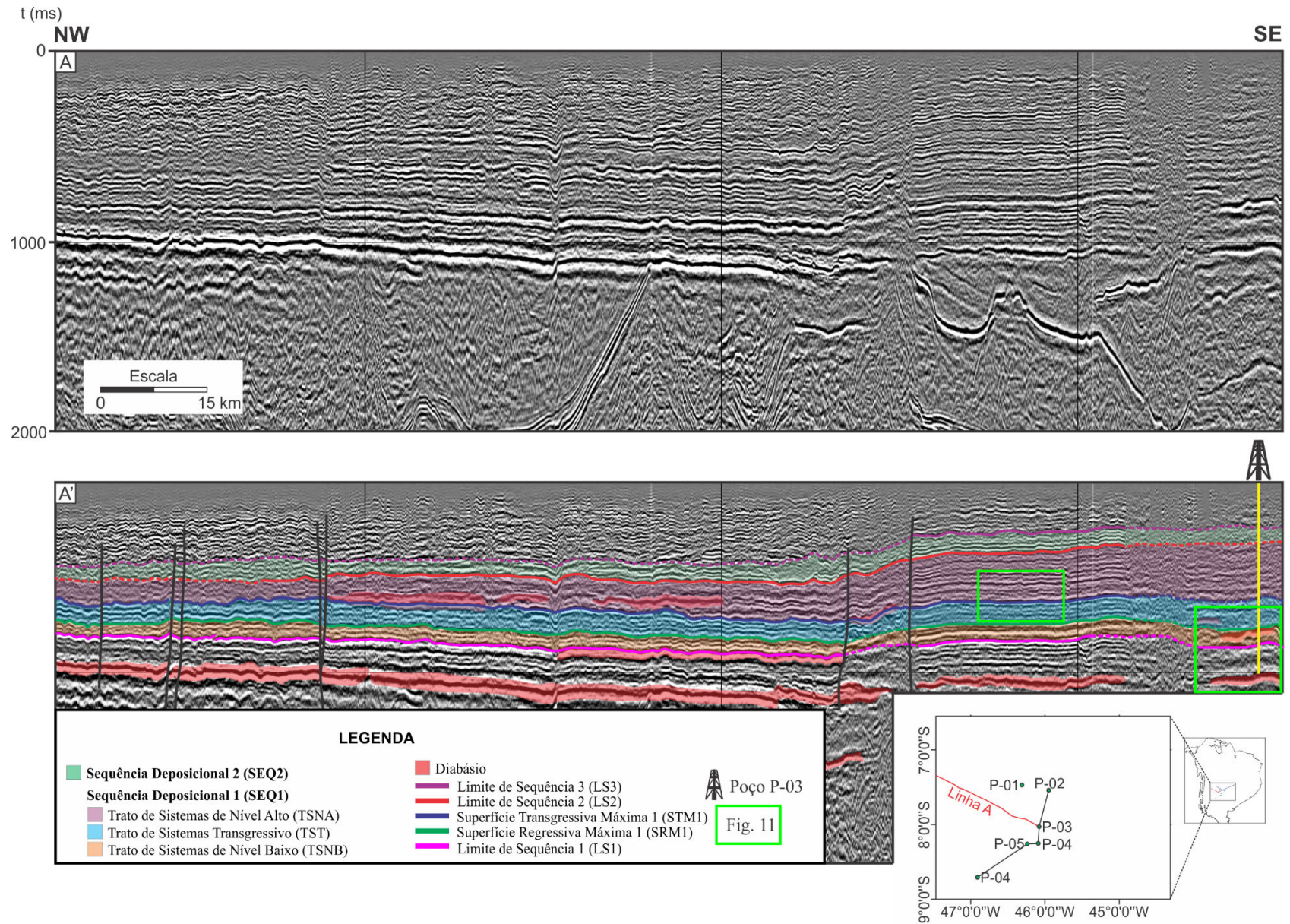


Figura 10: Linha Sísmica A, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas identificados à partir da amarração com o poço P-03.

na correlação e interpretação das linhas sísmicas. Externamente, as unidades genéticas, sejam os tratos de sistemas da SEQ1 ou a SEQ2, interpreta-se geometria aproximadamente tabular, refletindo a espessura pouco variável de todos os refletores ao longo da seção.

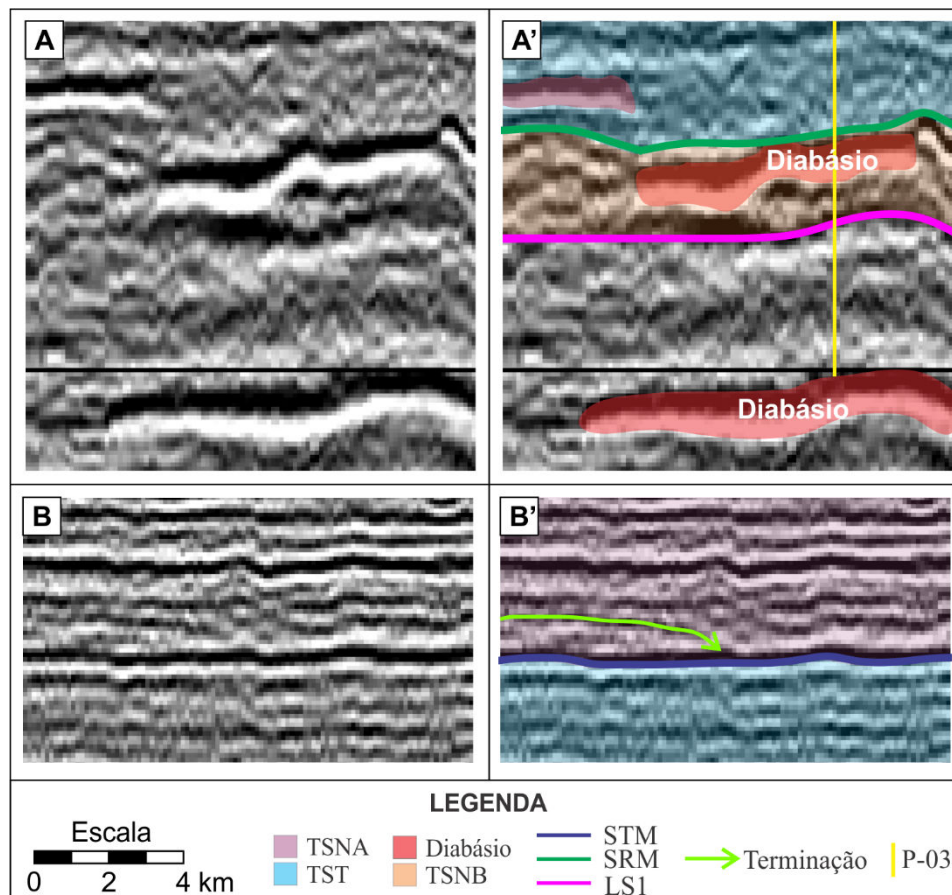


Figura 11: A) Refletores gerados por corpos de diabásio utilizados na amarração sísmica-poço; B) Terminação em downlap sobre a STM da SEQ1. A localização destes quadros na Linha Sísmica A podem ser conferidos na Figura 10.

A análise sismoestratigráfica permitiu, por fim, compreender o comportamento das unidades genéticas ao longo das seções estudadas. Como já descrito, cada unidade genética, seja um trato de sistemas ou a própria sequência deposicional, é caracterizada por apresentar geometria tabular com refletores internos paralelos a subparalelos e concordantes com as superfícies estratigráficas limitantes. A espessura pouco variável destas unidades ao longo da seção é coerente com a ambiência tectônica de uma bacia do tipo sinéclise e compatível com o contexto em que a bacia estudada foi gerada.

MAPAS DE ISÓCORAS

Foram elaborados quatro mapas de isócoras (Figura 12) com base na espessura em subsuperfície das unidades estratigráficas estudadas, na medida em que foi possível a associação direta destas com as unidades litoestratigráficas pré-estabelecidas, o que não foi possível somente para elaboração do

mapa de isócoras do TST e TSNA, que foi gerado um só mapa para as duas unidades em razão de ambos conterem parte da Formação Pimenteiras. Apenas a análise poço a poço permitiria a determinação da espessura de cada um desses tratos individualmente. Vale salientar também que, em razão da concentração de poços em determinadas regiões da bacia em detrimento de outras, o resultado da modelagem pode não corresponder para todas as regiões devido à extrapolação dos dados.

O mapa de isócoras do TSNB da SEQ1, que corresponde à Formação Itaim, mostra a espessura máxima desta unidade superior a 200 m, localizada na região centro-sul e sudeste da bacia, o que poderia evidenciar uma possível configuração de depocentro. Porém, considerando-se a escassez de poços amostrados para elaboração do mapa, a ausência de dados de campo (análise de fácies, direções de paleocorrente etc.) e, principalmente, o tipo de bacia, que dificulta até mesmo a determinação de um TSNB na maioria dos casos, não é possível determinar, com os dados analisados, qual seria a localização do depocentro ou mesmo o *trend* deposicional desta unidade.

Já, no mapa combinado do TST com o TSNA, a espessura máxima é superior a 900 m e ocorre na porção leste. Da mesma maneira, o mapa da SEQ1 completa apresenta maior espessura também na porção leste da Bacia do Parnaíba, onde pode ser superior a 1.050 m, influenciado pela maior espessura dos TST e TSNA nesta região.

O mapa de isócoras da SEQ2 completa, que corresponde à Formação Longá, apresenta espessuras superiores a 300 m na porção sudeste da Bacia do Parnaíba, estendendo-se para norte e noroeste. Porém, é importante considerar que a maior parte dos poços amostrados se encontram na porção sudoeste do mapa, onde as espessuras são inferiores a 150 m, e apenas um poço na região leste apresentou espessura superior a 300 m, fato que resultou na extrapolação e pode não refletir o que de fato ocorre em subsuperfície nessa região.

Corroborando o que se observa na Linha Sísmica A, os mapas de isócoras do intervalo estudado completo e dos TST e TSNA combinados mostram aumento de espessura de NW para SE, tanto na região em que a linha sísmica está localizada quanto se observada a bacia de uma maneira geral. No entanto, pela análise sismoestratigráfica, fica claro que essas variações se devem principalmente ao TSNA, cuja espessura é maior na porção sudeste da linha. Já nos mapas referentes ao TSNB da SEQ1 e SEQ2 completa, na região em que se encontra a Linha Sísmica A, não se observa variações expressivas de espessura, corroborando também o que se observa ao longo da linha sísmica.

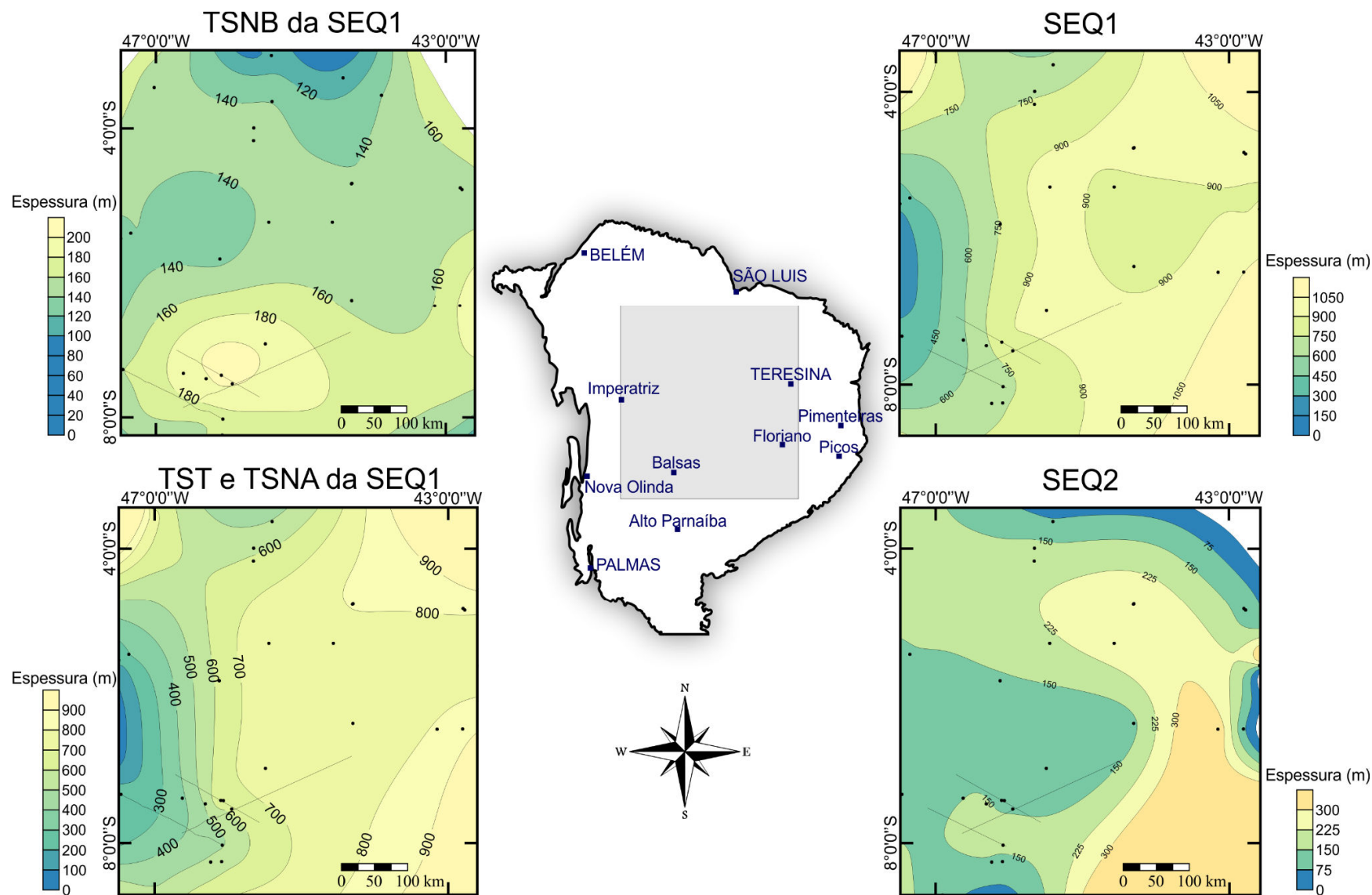


Figura 12: Mapas de isócoras das unidades estratigráficas: TSNB (equivalente à Formação Itaim), superior esquerda; TST e TSNA (formações Pimenteiras e Cabeças), inferior esquerda; SEQ1 completa (formações Itaim, Pimenteiras e Cabeças), superior direita; SEQ2 completa (Formação Longá), inferior direita.

SÍNTESE ESTRATIGRÁFICA

O método da estratigrafia de sequências aplicado à seção devoniana da Bacia do Parnaíba apresentou resultados, em geral, condizentes com este modelo de bacia e com os resultados de trabalhos anteriores. Della Fávera (2001) aponta como principais desafios na aplicação deste método nas bacias intracratônicas brasileiras: suas dimensões excepcionalmente grandes, com rampas de mergulho muito suaves; linhas de tempo praticamente horizontais e uma história evolutiva que compreende longos períodos de lenta acumulação de sedimentos. Assim, o uso da estratigrafia de sequências como método de análise estratigráfica possibilitou compartimentar a seção estudada em duas sequências deposicionais: Sequência Depositional 1 (37 Ma) e Sequência Depositional 2 (15 Ma), separadas pela Discordância Neodevoniana.

A SEQ1 constitui um ciclo transgressivo-regressivo completo de segunda ordem na qual os sistemas deposicionais, interpretados com base na bibliografia e nos padrões das litofácies, são representados pelos sistemas marinho raso, deltaico e estuarino, por vezes sob influência de tempestades e condições periglaciais. É importante ressaltar que, em se tratando de uma bacia intracratônica – na qual a deposição ocorre em rampas com mergulhos muito suaves, qualquer elevação do nível eustático afeta a deposição em uma vasta região da bacia, gerando estratos aproximadamente horizontais, geometria e distribuição dos tratos de sistemas diferentes do que se observa nos modelos de bacias com tectônica mais atuante.

A deposição da SEQ1 inicia-se com o TSNB (Figura 13-a), quando o nível relativo do mar, em sua posição mínima, começa a subir após o evento que deu origem à Discordância Eodevoniana. Este trato de sistemas foi determinado por meio da análise 1D considerando-se as características das litofácies e os padrões de empilhamento que indicam sua ocorrência: conjuntos de ciclos com padrões de empilhamento que evoluem da base para o topo de progradação para agradacionais. Este arranjo é resultado do acréscimo gradual da taxa de acomodação a medida que a taxa de subida do nível de base aumenta. No momento em que ocorre a máxima extensão dos depósitos de nível baixo em direção à bacia, é gerada a SRM, que ao menos nos poços estudados, coincide com o topo da Formação Itaim.

O TST foi depositado em ambiente plataformar sob influência de tempestades já em um contexto em que a taxa de subida do nível de base, neste caso o nível relativo do mar, supera a taxa de subsidência (Figura 13-b). Esta situação resulta em um conjunto de parassequências com padrão de empilhamento retrogradacional. Ao final deste trato, ocorre a máxima extensão dos depósitos marinhos em direção ao continente e seu topo é representado pela STM1.

O TSNA inicia sua deposição a partir desta máxima transgressão (Figura 14-c), evoluindo de um contexto plataformal para um sistema deltaico ou estuarino com influência glacial. Este trato de sistemas é depositado em condições de decréscimo na taxa de subida do nível de base, o que ocasiona a diminuição na taxa de acomodação, gerando conjuntos de parassequências inicialmente agradacionais que passam a progradacionais no estágio final de deposição. Tanto na análise dos perfis integrados quanto na análise sismoestratigráfica, este trato de sistemas apresentou corpos arenosos mais desenvolvidos, com maiores espessuras e presença terminações em *downlap* não observadas em nenhum outro trato, possivelmente em razão de seu espaço de acomodação e aporte sedimentar serem maiores que os dos outros tratos.

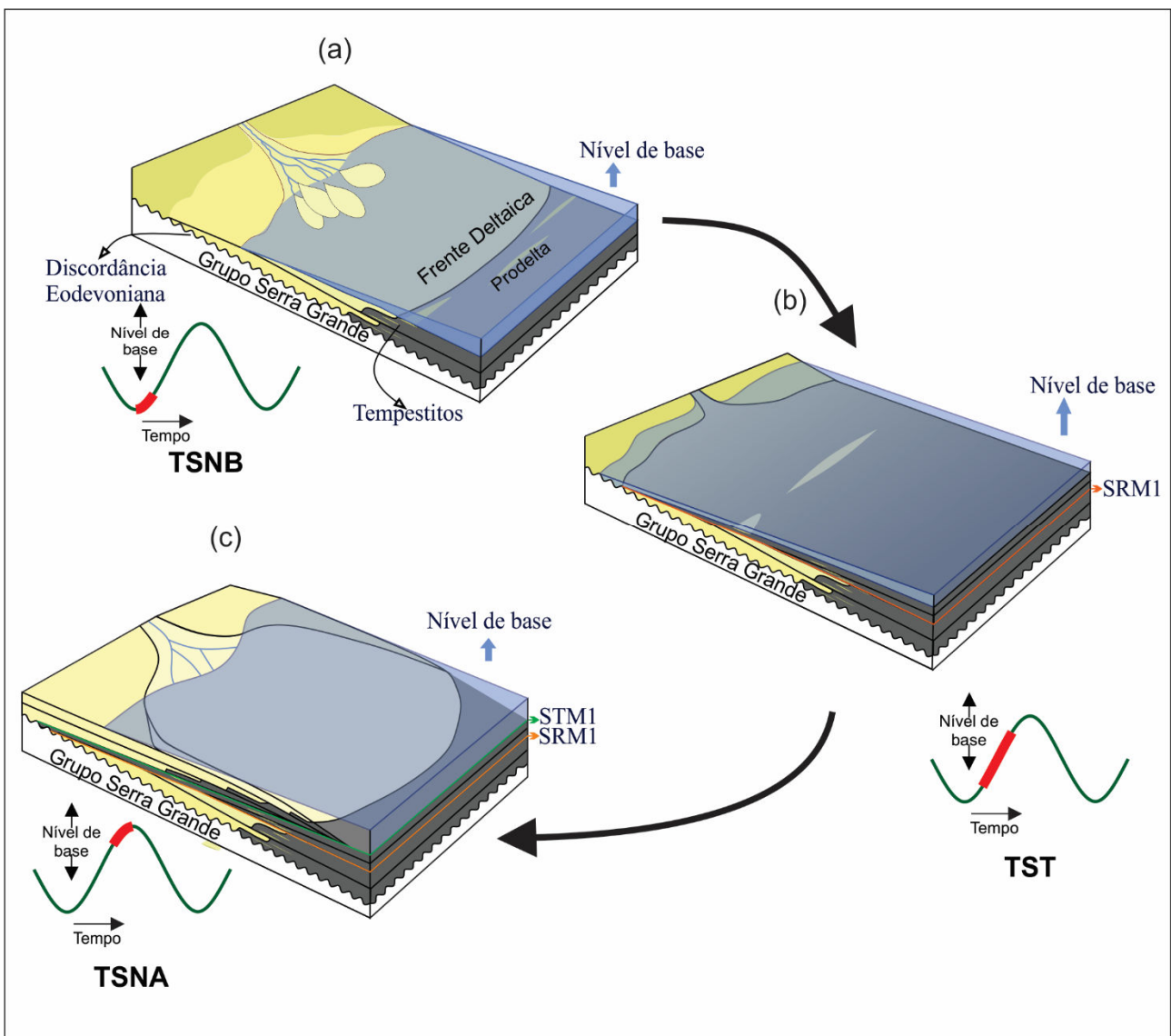


Figura 13: Modelos estratigráficos evolutivos da Sequência Depositional 1 (SEQ1) com exagero vertical para melhor visualização das superfícies estratigráficas e processos envolvidos, sem orientação. (a) TSNB, depositado em condições de subida do nível de base e acréscimo da taxa de acomodação; (b) TST, depositado durante a transgressão marinha; (c) TSNA, depositado no momento final da subida do nível de base, quando a taxa de subida do nível de base começa a diminuir, até o nível do mar estacionário.

A SEQ2, de menor magnitude que a SEQ1, depositou-se completamente em ambiente marinho e apresenta-se incompleta em alguns poços em que o TSNA não foi identificado. A deposição desta sequência inicia-se com um TSNB, de difícil detecção nos perfis, em razão de conter litofácies depositadas em um mesmo contexto ambiental que aquele do TST sobreposto. No TSNB tais litofácies se apresentam em conjuntos de parassequências com padrão de empilhamento progradacional típico de uma fase regressiva, no entanto, o TST apresenta um arranjo das parassequências notadamente retrogradacional.

Por fim, o TSNA, nos poços em que ocorre, apresentam um padrão fortemente progradacional, com maior ocorrência de camadas de arenito no topo da seção, que poderiam ser interpretadas como depositadas a partir de sistemas costeiros arenosos (como ilha barreira, praial ou mesmo uma frente deltaica).

CONCLUSÃO

Diante dos resultados aqui apresentados, pode-se concluir que a aplicação do método da estratigrafia de sequências na seção estudada da Bacia do Parnaíba, baseada principalmente na análise de perfis geofísicos (em especial o de raios gama) para determinação das superfícies estratigráficas e tratos de sistemas, mostrou-se bastante viável, visto que as sucessões de litofácies reconhecidas nos perfis exibem padrões de empilhamento típicos dos tratos de sistemas identificados.

AGRADECIMENTOS

As autoras expressam seus agradecimentos ao Laboratório de Geologia e Geofísica do Petróleo da UFRN pela estrutura física que possibilitou a execução desta pesquisa, ao Projeto de Pesquisa “Geologia e Sistemas Petrolíferos da Bacia Intracratônica do Parnaíba, Nordeste do Brasil” (BPAR), que proveu recursos para a realização desta pesquisa, ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG-UFRN) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por viabilizarem o desenvolvimento da Dissertação de Mestrado, da qual este artigo é parte integrante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, G.A. Revisão geológica da Bacia Paleozoica do Maranhão. *In*: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1971, São Paulo. **Anais**. v. 3, p. 113-122.

2. ALBUQUERQUE, K.R.M. **Subdivisão estratigráfica da sequência Devoniana da bacia do Parnaíba**. Rio de Janeiro, 2000. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
3. BARBOSA, R.C.M. **Paleoambiente e Proveniência da Formação Cabeças da Bacia do Parnaíba: Evidências da Glaciação Fammeniana e Implicações na Potencialidade do Reservatório**. Belém, 2014. 124 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
4. CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil**. Santa Barbara, 1984. 583 p. Tese (Doutorado) – University of California.
5. CAPUTO, M.V.; MELO, J.H.G.; STREEL, M.; ISBELL, J.L. Late Devonian and early Carboniferous glacial records of South America. **Geological Society of America Special Papers**, v. 441, p. 161–173, 2008.
6. CAROZZI, A.V. **Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão**. Rio de Janeiro, PETROBRAS. Série Ciência-Técnica-Petróleo, n. 7, 1975.
7. CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo** – Folhas SA.22 (Belém), SA.23 (São Luís), SA.24 (Fortaleza), SB.22 (Araguaia), SB.23 (Teresina), SB.24 (Jaguaribe), SC.22 (Tocantins), SC.23 (Rio São Francisco), SC.24 (Aracaju), Escala 1:1. 000.000. Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM. CD-ROM, 2004.
8. DELLA FÁVERA, J.C. **Tempestitos na Bacia do Parnaíba**. Porto Alegre, 1990. 560 p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
9. DELLA FÁVERA, J.C. **Fundamentos de Estratigrafia Moderna**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 264p., 2001.
10. FREITAS, E.L. **Análise Estratigráfica da Sequência Devoniana aflorantes na Bacia do Parnaíba entre as cidades de Picos e Oeiras (PI)**. Ouro Preto, 1990. 175 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
11. GALLOWAY, W.E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 73, n. 2, p. 125-142, 1989.
12. GÓES, A.M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. São Paulo, 1995. 171 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

13. GÓES, A.M de O. & FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 57-68, 1994.
14. KEGEL, W. **Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 48 p., 1953.
15. LOBATO, G. & BORGHI, L. Análise estratigráfica de alta resolução do limite formacional Longá/Poti, Bacia do Parnaíba – Um caso de investigação de possíveis corpos isolados de arenito. *In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás*, 4, 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: Associação Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 2007, 10 p. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_1_1_0333-1.pdf. Acessado em: 15 jan. 2015.
16. PLINT, A.G. Sharp-Based shoreface sequences and “offshore bars” in the Cardium Formation of Alberta: Their relationship to relative changes sea level. *In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G. St. C.; POSAMETIER, H.W.; ROSS, C.A.; VAN WAGONER, J.C. (eds.). Sea-level changes: an integrated approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, v. 42, p. 357-370, 1988.
17. PONCIANO, L.C.M.O. & DELLA FÁVERA, J.C. Flood-dominated fluvio-deltaic system: a new depositional model for the Devonian Cabeças Formation, Parnaíba Basin, Piauí, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 81, n. 4, p. 769-780, 2009.
18. REZENDE, N.G.A.M. **A Zona Zeolítica da Formação Corda, Bacia do Parnaíba**. Belém, 2002. 142 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
19. SLOSS, L.L. Sequences in the cratonic interior of North America. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, p. 93-113, 1963.
20. SMALL, H.L. **Geologia e suprimento d’água subterrânea no Piauí e parte do Ceará**. Rio de Janeiro: Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca, 146 p, 1914.
21. VAN WAGONER, J.C.; MITCHUM, R.M.; CAMPION, K.M.; RAHMANIAN, V.D. **Siliclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies**. American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series, n. 7, 55 p., 1991.
22. VAZ, P.T.; REZENDE, N.G.A.M.; WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W.A. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

23. VETTORAZZI, A.L.S. **Caracterização sedimentológica dos arenitos da Formação Cabeças (Devoniano) na borda leste da Bacia do Parnaíba**. Rio de Janeiro, 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
24. YOUNG, C.G.K. **Contribuição à análise da Formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba): caracterização de um potencial intervalo de rochas-reservatório**. Rio de Janeiro, 2003. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
25. YOUNG, C.G.K. **Estratigrafia de alta resolução da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba)**. Rio de Janeiro, 2006. 174 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
26. YOUNG, C.G.K. & BORGHI, L. Isolated sandstone bodies: a new model for petroleum exploration in Brazilian Paleozoic Basins. In: RIO OIL AND GAS 2006 EXPO & CONFERENCE, Rio de Janeiro, 2006. **Resumos expandidos...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, CD-ROM, 6p.

3.3. Resultados Complementares

Como resultado final da análise estratigráfica 1D, foram gerados os perfis integrados dos poços P-01, P-02, P-03, P-04, P-05 e P-06, que se encontram completos nas figuras 3.2 e 3.3, nas páginas que se seguem. As simbologias e abreviações utilizadas nestes perfis encontram-se agrupadas na Figura 3.1.

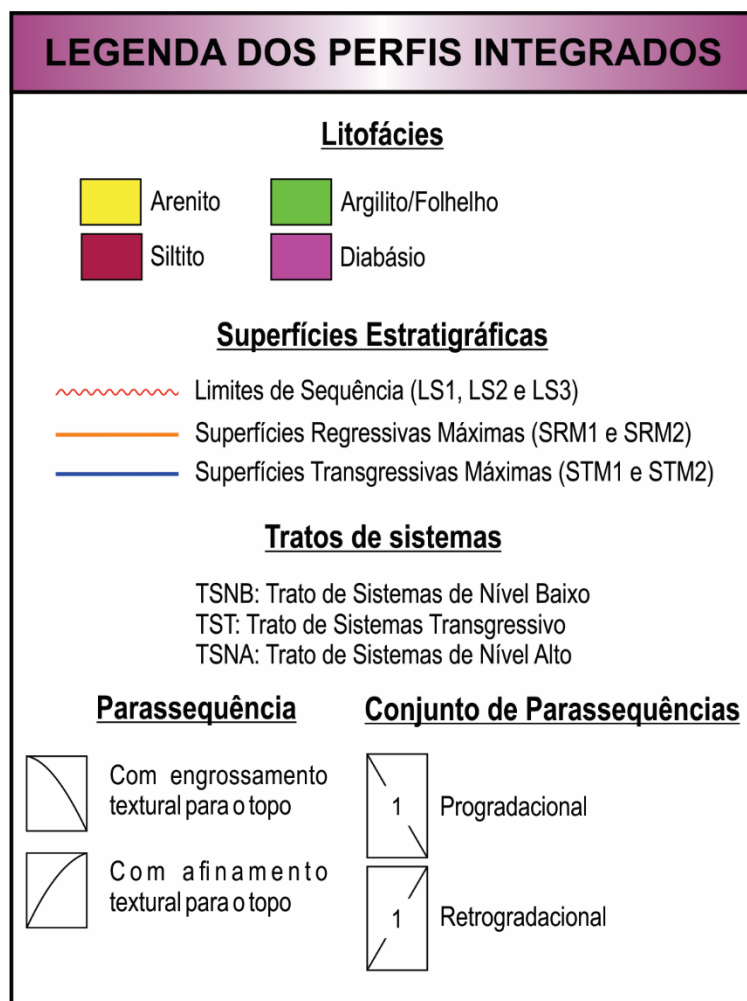


Figura 3.1: Simbologia e abreviações utilizadas nos perfis integrados dos poços analisados (figuras 3.2 e 3.3).

Conforme já apresentado no Artigo Científico, componente anterior deste capítulo, nos perfis analisados foram identificados as parassequências, conjuntos de parassequências, superfícies estratigráficas, tratos de sistemas e, finalmente, as sequências deposicionais de segunda ordem. Observa-se nestes perfis, de uma maneira geral, semelhanças no padrão de ocorrência dos elementos analisados, tal como a repetição dos conjuntos de parassequências em quase todos os perfis, o que facilitou a realização desta etapa da análise estratigráfica. Ressalta-se também, mais fortemente nos perfis dos poços P-01 e P-02 (Figura 3.2), a ocorrência de espessas intrusões de rochas ígneas na seção estudada.

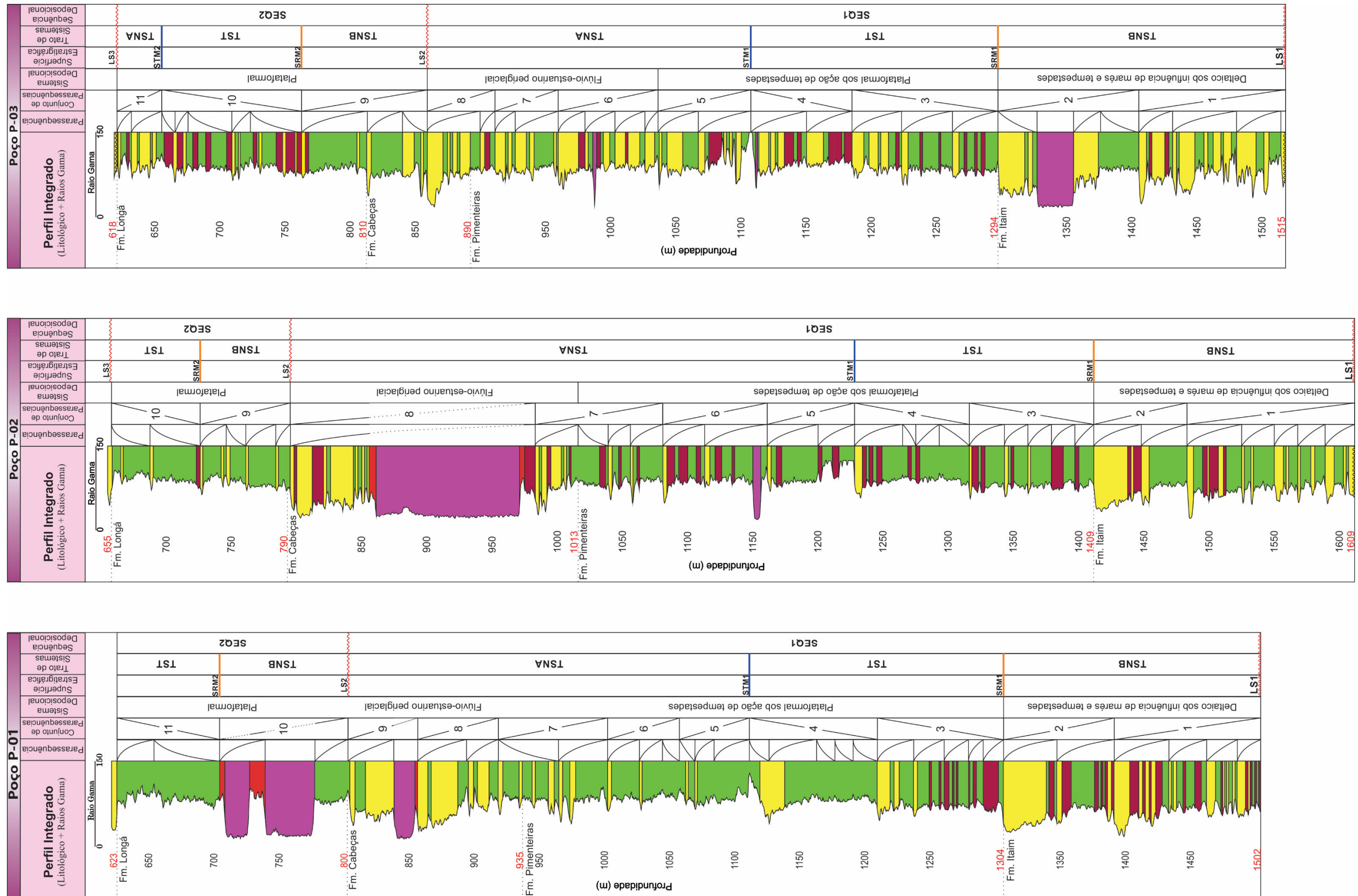


Figura 3.2: Perfis integrados completos dos poços P-01, P-02 e P-03.

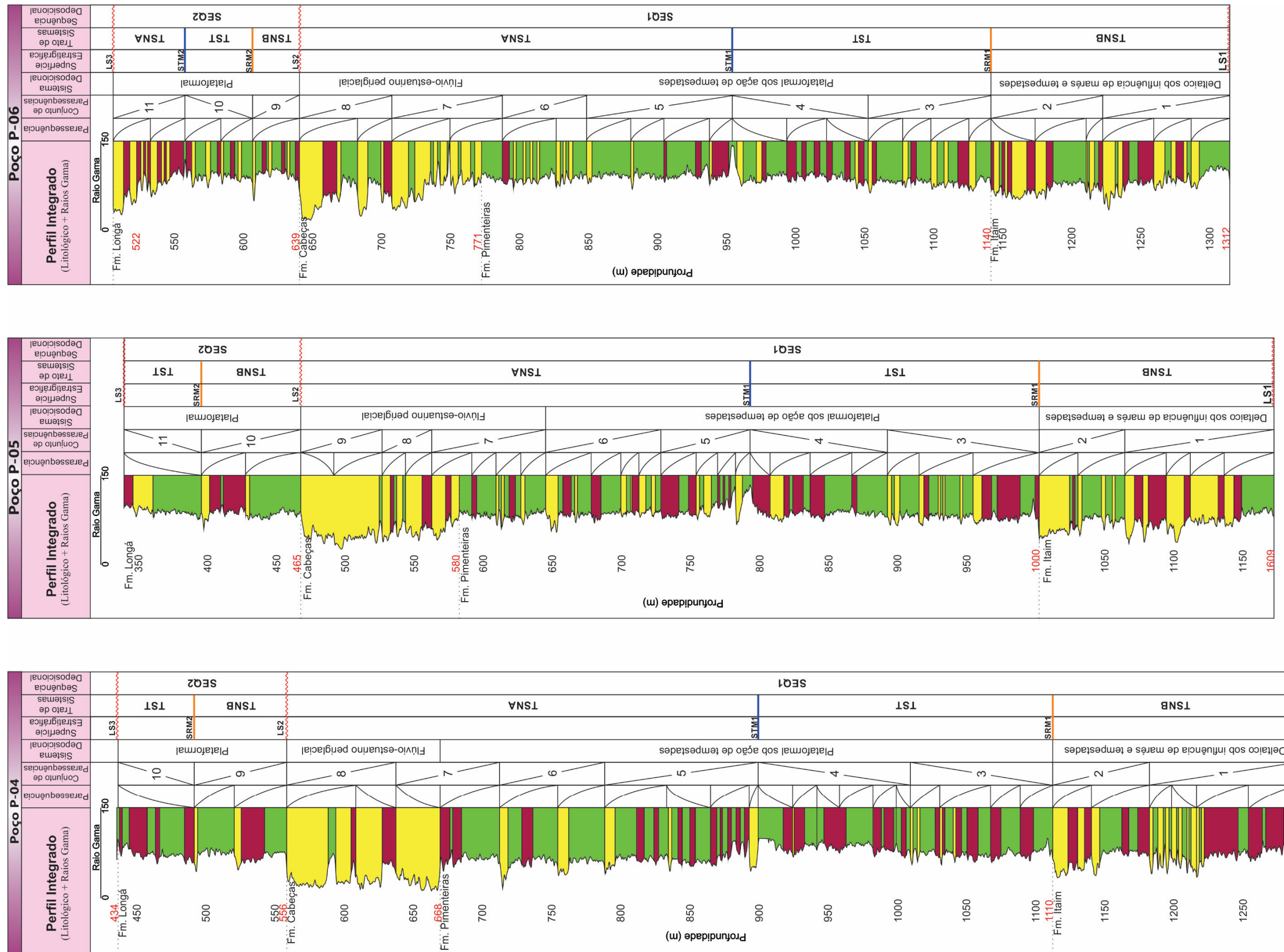


Figura 3.3: Perfis integrados completos dos poços P-01, P-02 e P-03.

Além da seção estratigráfica A-A', apresentada no Artigo (Figura 9), foi elaborada a seção estratigráfica B-B' de direção aproximada W-E (Figura 3.4), passando pelos poços P-01 e P-02, omitindo-se os corpos de diabásio. Também foi utilizado como *datum* a Superfície Transgressiva Máxima da Sequência 1 (STM1) devido a sua fácil identificação nos perfis analisados e significado estratigráfico, como marco da maior transgressão marinha da Bacia do Parnaíba (Góes & Feijó, 1994).

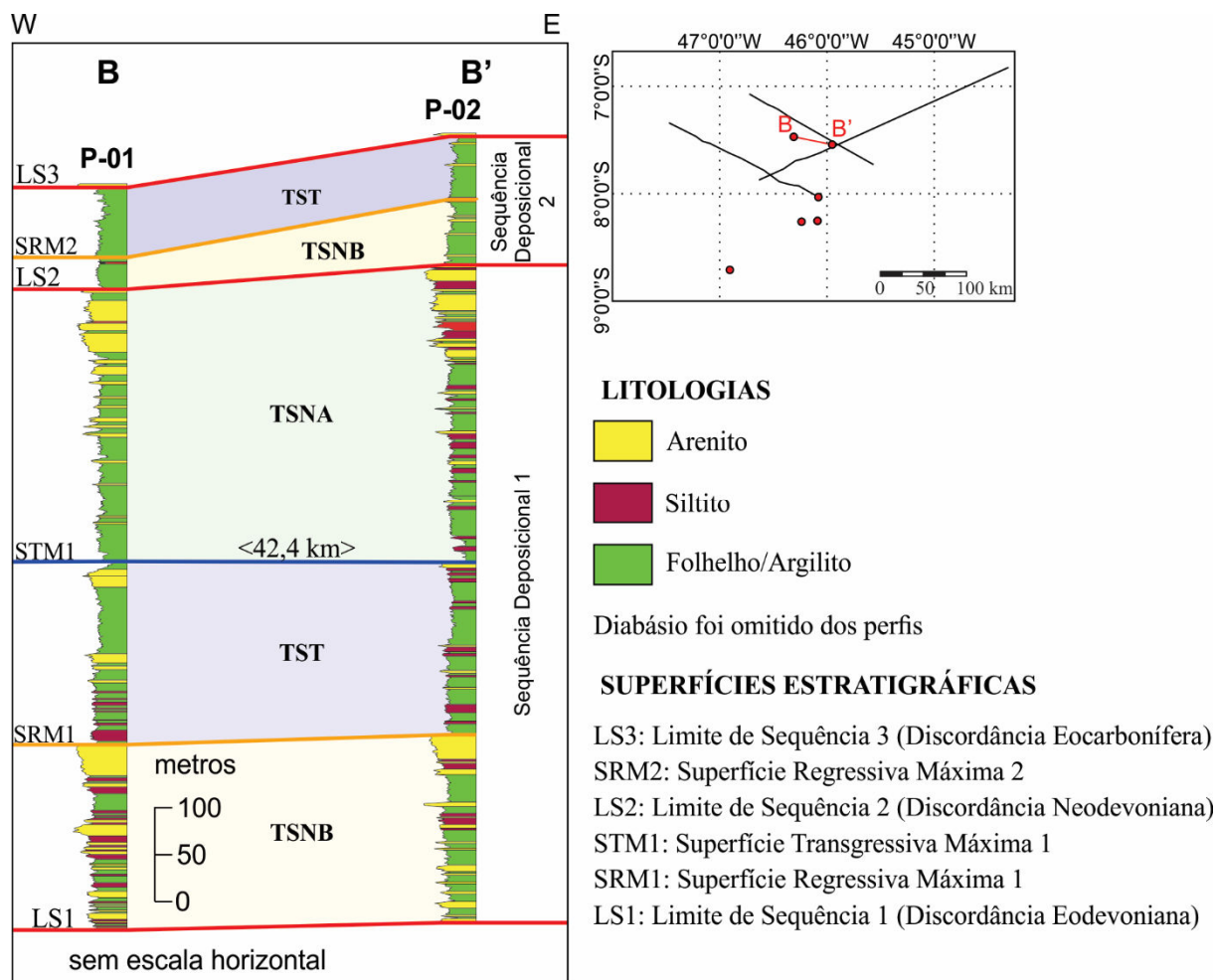


Figura 3.4: Seção estratigráfica esquemática de correlação dos poços P-01 e P-02. Corpos de diabásio foram omitidos da seção.

Nesta seção, observa-se que, lateralmente, os tratos de sistemas da SEQ1 têm espessura quase constante de um perfil a outro, assim como ocorre na SEQ2 como um todo. Esta constatação é corroborada pela Linha Sísmica B (Figura 3.6), a qual está posicionada subparalela a esta seção, na qual os refletores equivalentes às superfícies estratigráficas são também subparalelos.

Por fim, estão ilustradas nas figuras 3.5, 3.6 e 3.7 as linhas sísmicas A, B e C, respectivamente, cuja análise estratigráfica foi introduzida no Artigo Científico.

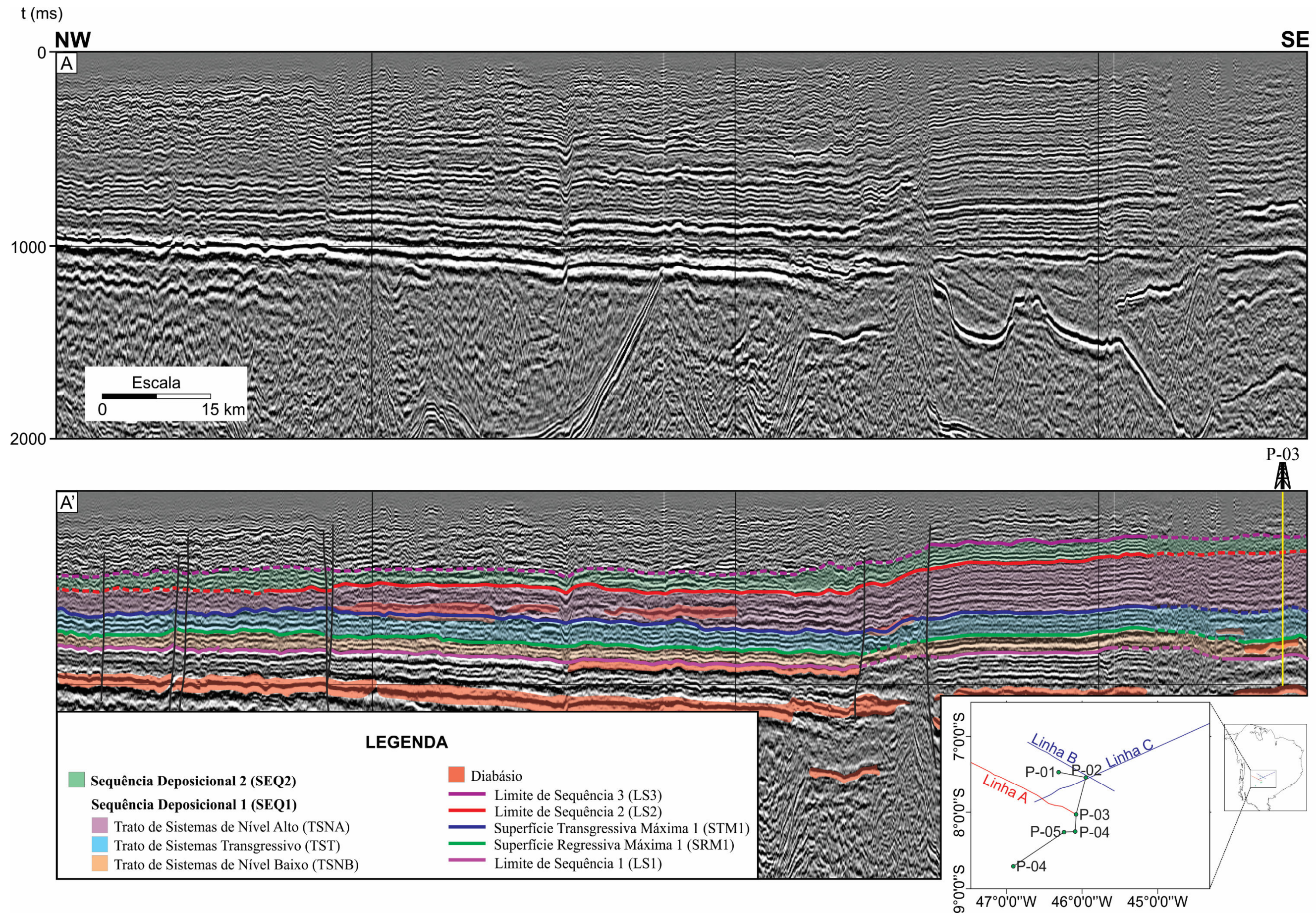


Figura 3.5: Linha Sísmica A, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas interpretados a partir da amarração com o poço P-03.

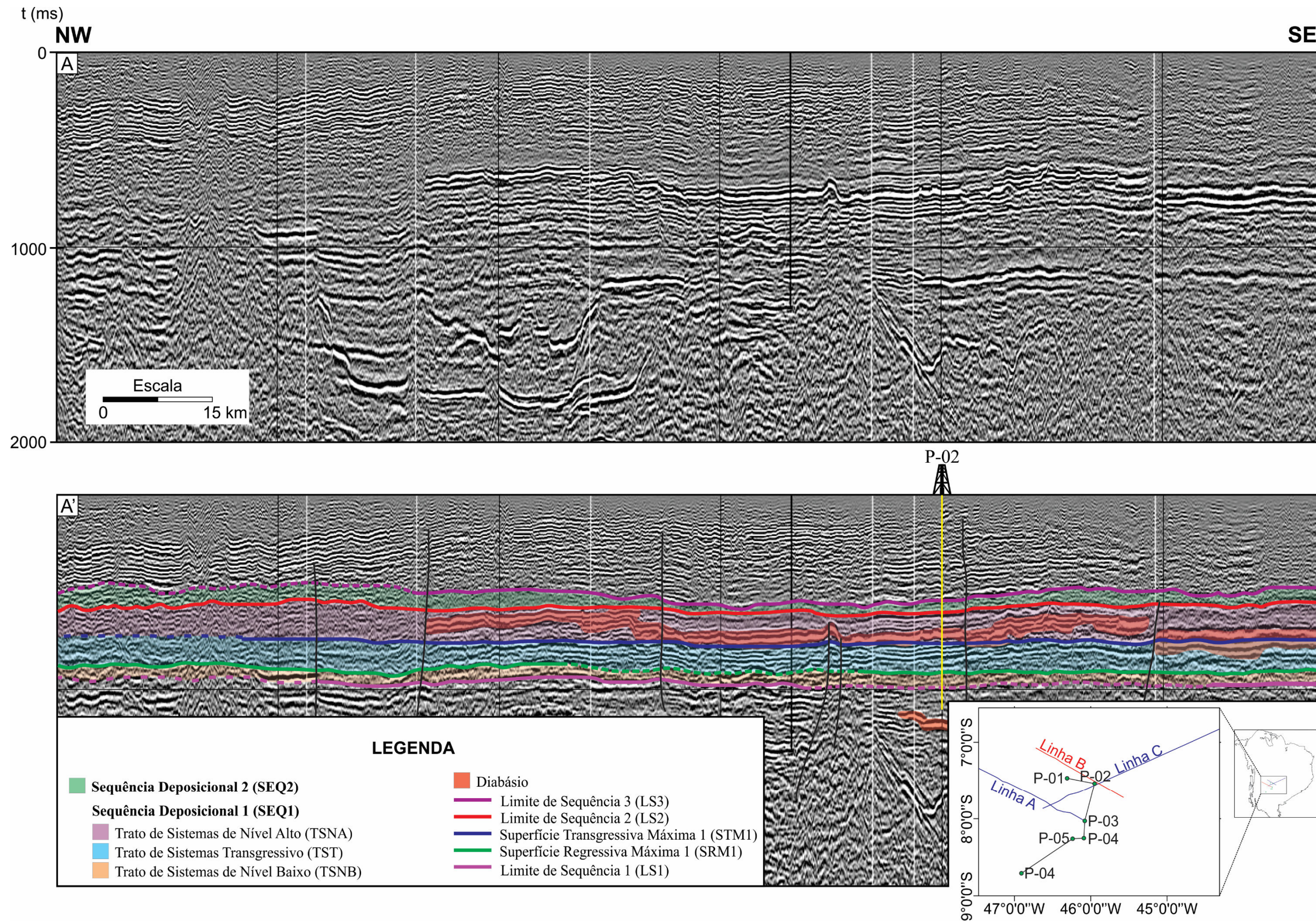


Figura 3.6: Linha Sísmica B, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas interpretados a partir da amarração com o poço P-02.

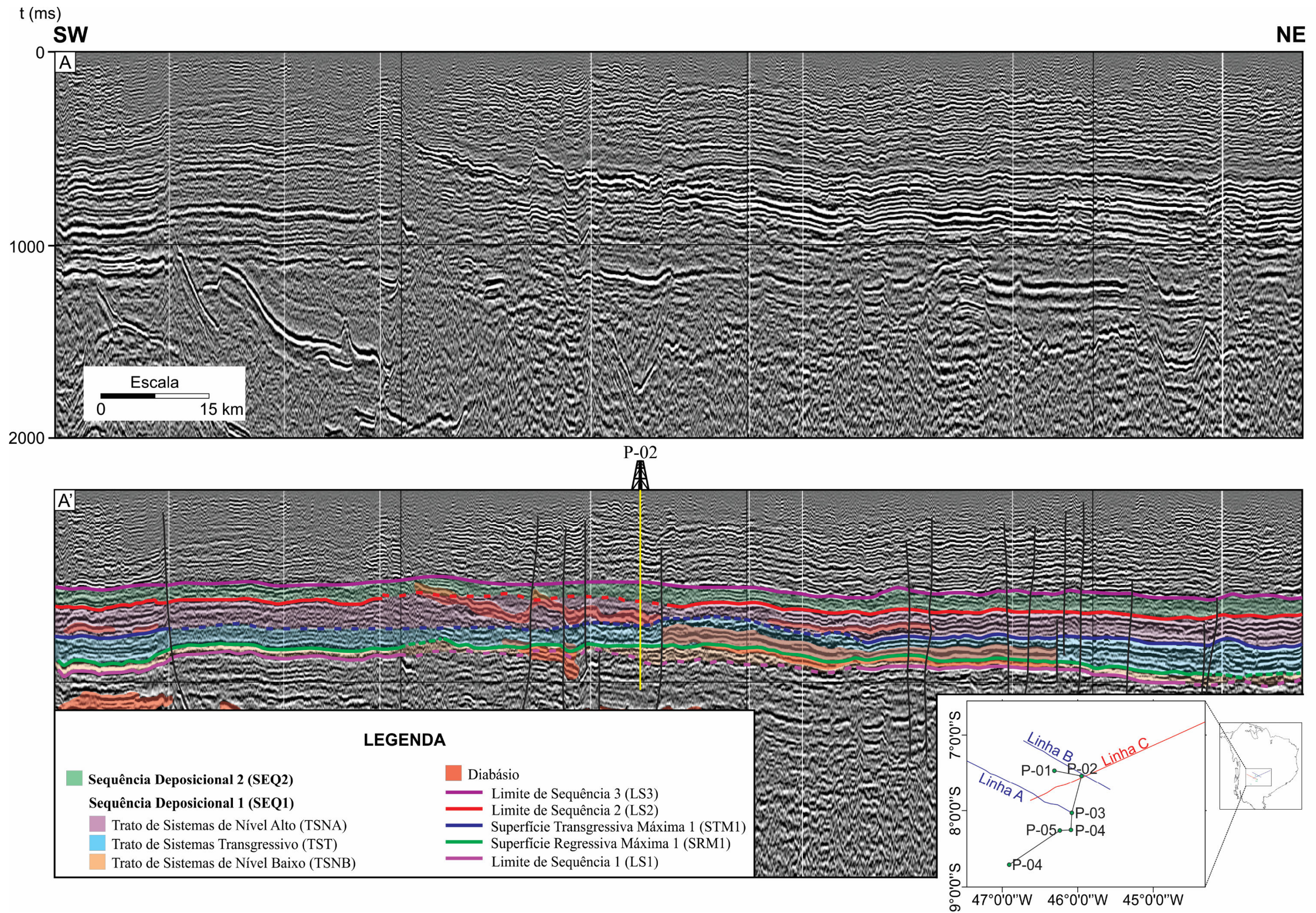


Figura 3.7: Linha Sísmica C, mostrando superfícies estratigráficas e tratos de sistemas interpretados a partir da amarração com o poço P-02.

4. **CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

Diante dos dados e resultados apresentados nesta Dissertação de Mestrado, pode-se concluir que a aplicação do método da estratigrafia de seqüências na análise da seção Mesodevoniana-Eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, baseada principalmente no estudo de perfis geofísicos (em especial o de raios gama) para determinação das superfícies estratigráficas e unidades genéticas, mostrou-se bastante viável, visto que as sucessões de litofácies reconhecidas nos perfis exibem padrões de empilhamento típicos, que puderam ser associados aos tratos de sistemas.

Análises faciológicas e bioestratigráficas de testemunhos de sondagem da seção estudada, bem como estudos de afloramentos com foco na identificação das superfícies estratigráficas e das fácies que definem com maior precisão os sistemas deposicionais e o contexto paleoambiental em que se depositaram as rochas do Devoniano da Bacia do Parnaíba, poderão enriquecer a discussão e a proposição de modelos evolutivos mais contundentes.

A aplicação da estratigrafia de seqüências na análise da seção Mesodevoniana-Eocarbonífera, objetivo principal desta dissertação, resultou no reconhecimento de duas seqüências deposicionais de segunda ordem: Sequência Depositional 1 (SEQ1) e Sequência Depositional 2 (SEQ2).

A SEQ1 começa deposição em sistema deltaico sob influência de tempestades do TSNB, cuja frente deltaica avança sobre o prodelta até o seu máximo avanço na superfície regressiva máxima. Com a taxa de acomodação crescente e a subida do nível de base, depositam-se as rochas sedimentares plataformais do TST, que são sobrepostas novamente por rochas depositadas em sistemas costeiros, flúvio-estuarinos ou deltaicos e periglaciais do TSNA, no momento em que a taxa de aporte sedimentar supera a de criação de espaço, com a taxa de subida do nível de base decrescendo. Isso reflete em estratos inicialmente agradacionais se tornando cada vez mais progradacionais, que culminam na Discordância Neodevoniana.

A SEQ2 foi depositada completamente em ambiente plataformal e se inicia com o TSNB, caracterizado por um conjunto de parassequências progradacional, seguido do TST, retrogradacional. O limite superior deste trato corresponde à fusão da superfície transgressiva máxima com a Discordância Eocarbonífera, nas porções em que o significativo evento erosivo que originou esta discordância consumiu os sedimentos do TSNA, preservado em alguns dos poços analisados.

REFERÊNCIAS

A

Abrantes Júnior F.R. & Nogueira A.C.R. 2013 Reconstituição paleoambiental das formações Motuca e Sambaíba, Permo-Triássico da Bacia do Parnaíba no sudoeste do Estado do Maranhão, Brasil. *Geol. USP, Série Científica [online]*, **13(3)**:65-82.

Aguiar G.A. 1971. Revisão geológica da Bacia Paleozoica do Maranhão. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo. *Anais*. v. 3, p. 113-122.

Albuquerque K.R.M. 2000. *Subdivisão estratigráfica da Sequência Devoniana da bacia do Parnaíba*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 130 p.

Almeida F.F.M. de. 1967. *Origem e evolução da Plataforma Brasileira*. Rio de Janeiro, DNPM-DGM, 36p (Boletim 241).

Almeida F.F.M.de. 1969. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. *In*: Congr. Bras. Geol., 23. Salvador, *Anais*, p. 29-46.

Almeida F.F.M. & Carneiro C.D.R. 2004. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. *In*: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (org.). *Geologia da plataforma sul-americana: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, p. 43-58.

Arora, B.R., Trivedi N.B., Vitorello I., Padilha A.L., Rigoti A., Chamalaun F.H. 1999. Overview of geomagnetic deep soundings (GDS) as applied in the Parnaíba Basin, North-Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, **17(1)**:43-65.

B

Barbosa R.C.M. 2014. *Paleoambiente e Proveniência da Formação Cabeças da Bacia do Parnaíba: Evidências da Glaciação Fammeniana e Implicações na Potencialidade do Reservatório*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 124 p.

C

Caputo M.V. 1984. *Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil*. Tese de Doutorado, University of California, Santa Barbara, 583 p.

Caputo M.V. & Lima E.C. 1984. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande – Bacia do Parnaíba. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 33. Rio de Janeiro, *Anais*, v. 2, p. 740-753.

Caputo M.V., Reis D.E.S., Barata C.F., Pereira L.C. 2006. Evolução tectônica da Bacia do Parnaíba: qual a influência das orogenias? *In: Simpósio de Geologia da Amazônia*, 6, Manaus, *Anais*, v. 1 (CD-ROM).

Caputo M.V., Melo J.H.G., Streef M., Isbell J.L. 2008. Late Devonian and early Carboniferous glacial records of South America. *Geological Society of America Special Papers*, **441**:161–173.

Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Hasui Y., Zalán P.V., Teixeira J.B.G. 2012. Estágios Evolutivos do Brasil no Fanerozoico. *In: Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Bartorelli A.. Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 900 p.

Carozzi A.V. 1975. *Análise ambiental e evolução tectônica sinsedimentar da seção siluro-eocarbo-nífera da Bacia do Maranhão*. Rio de Janeiro, PETROBRAS. Série Ciência-Técnica-Petróleo, n. 7.

Catuneanu O. 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Amsterdam: Elsevier, 375 p.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. 2004. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folhas SA.22 (Belém), SA.23 (São Luís), SA.24 (Fortaleza), SB.22 (Araguaia), SB.23 (Teresina), SB.24 (Jaguaribe), SC.22 (Tocantins), SC.23 (Rio São Francisco), SC.24 (Aracaju)*, Escala 1:1. 000.000. Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM. CD-ROM.

D

Della Fávera J.C. 1990. *Tempestitos na Bacia do Parnaíba*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 560 p.

Della Fávera J.C. 2001. *Fundamentos de Estratigrafia Moderna*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 264p.

F

Freitas E.L. 1990. *Análise Estratigráfica da Sequência Devoniana aflorantes na Bacia do Parnaíba entre as cidades de Picos e Oeiras (PI)*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 175 p.

G

Galloway W.E. 1989. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **73**(2):125-142.

Góes A.M. 1995. *A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 171 p.

Góes A.M De O. & Feijó F.J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **8**(1):57-68.

Góes A.M. & Rossetti D.F. 2001. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: Rossetti D.F., Góes A.M., Truckenbrodt W. (eds.). *O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú*. Coleção Friedrich Katzer Ed., Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 15-29.

H

Hasui Y. 2012. Cráton São Luís. In: Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Bartorelli A. *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 900 p.

K

Kegel W. 1953. *Contribuição para o estudo do Devoniano da Bacia do Parnaíba*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 48 p.

L

Lobato G. & Borghi L. 2007. Análise estratigráfica de alta resolução do limite formacional Longá/Poti, Bacia do Parnaíba – Um caso de investigação de possíveis corpos isolados de arenito. *In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 4, 2007, Campinas, Anais*, 10 p.

M

Mesner J.C. & Wooldridge L.C.P. 1964. Maranhão Paleozoic Basin and Cretaceous Coastal Basins, North Brazil. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, **48**(9):1475-1512.

Milani E.J. & Thomaz Filho A. 2000. Sedimentary basins of South America. *In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic evolution of South America. Intern. Geol. Congr., Rio de Janeiro, Anais*, p. 389-450.

O

Oliveira D.C. & Mohriak W.U. 2003. Jaibaras Trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag Basin, Northeastern Brazil. Guildford, *Marine and Petroleum Geology*, **20**:351-383.

P

Plint A.G. 1988. Sharp-Based shoreface sequences and “offshore bars” in the Cardium Formation of Alberta: Their relationship to relative changes sea level. *In: Wilgus C.K., Hastings B.S., Kendall C.G. St. C., Posamentier H.W., Ross C.A., Van Wagoner J.C. (eds.). Sea-level changes: an integrated approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, **42**:357-370.

Ponciano L.C.M.O. & Della Fávera J.C. 2008. Flood-dominated fluvio-deltaic system: a new depositional model for the Devonian Cabeças Formation, Parnaíba Basin, Piauí, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **81**(4):769-780.

R

Rezende N.G.A.M. 2002. *A Zona Zeolítica da Formação Corda, Bacia do Parnaíba*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 142 p.

S

Santos M.E.C.M. & Carvalho M.S.S. 2004. *Paleontologia das Bacias do Parnaíba, São Luís e Grajaú*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, Livro eletrônico em CD-ROM.

Severiano Ribeiro H.J.P. 2001. *Estratigrafia de Sequências: Fundamentos e Aplicações*. São Leopoldo: Editora Unisinos. 428 p.

Sloss L.L. 1963. Sequences in the cratonic interior of North America. *Geological Society of America Bulletin*, **74**:93-113.

Small, H.L. 1914. *Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará*. Rio de Janeiro: Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca, 146 p.

V

Van Wagoner J.C., Mitchum R.M., Campion K.M.; Rahmanian V.D. 1991. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series*, n. 7, 55 p.

Vaz P.T., Rezende N.G.A.M., Wanderley Filho J.R., Travassos W.A. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, **15**(2):253-263.

Vettorazzi A.L.S. 2012. *Caracterização sedimentológica dos arenitos da Formação Cabeças (Devoniano) na borda leste da Bacia do Parnaíba*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 91 p.

Y

Young C.G.K. 2003. *Contribuição à análise da Formação Pimenteira (Devoniano, bacia do Parnaíba): caracterização de um potencial intervalo de rochas-reservatório*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 84 p.

Young, C.G.K. 2006. *Estratigrafia de alta resolução da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 174 p.

Young C.G.K. & Borghi L. 2006. Isolated sandstone bodies: a new model for petroleum exploration in Brazilian Paleozoic Basins. *In: Rio Oil and Gas 2006 Expo & Conference, Rio de Janeiro. Resumos expandidos*, CD-ROM, 6p.