



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

ERIKA LAJTMAN BEREICÔA

**ROTEIRO GEOLÓGICO:
SISTEMAS PETROLÍFEROS DA
BACIA DO PARANÁ**

NITERÓI-RJ

2016

ERIKA LAJTMAN BEREICÔA

**ROTEIRO GEOLÓGICO:
SISTEMAS PETROLÍFEROS DA
BACIA DO PARANÁ**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense como parte da disciplina de Projeto Final II e requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Gilmar Vital Bueno

Coorientador: André Luiz Ferrari

NITERÓI-RJ

2016

B487

Bereicôa, Erika Lajtman

Roteiro geológico: sistemas petrolíferos da Bacia do Paraná /
Erika Lajtman Bereicôa. – Niterói : [s.n.], 2016.
49 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) –
Universidade Federal Fluminense, 2016.

1.Bacia do Paraná. 2.Sistemas petrolíferos. 3.Roteiro
geológico. I.Título.

CDD 551.80981

ERIKA LAJTMAN BEREICÔA

**ROTEIRO GEOLÓGICO:
SISTEMAS PETROLÍFEROS DA
BACIA DO PARANÁ**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense como parte da disciplina de Projeto Final II e requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. André Luiz Ferrari – LAGEMAR (UFF)

Dr. Antônio Fernando M. Freire – PETROBRAS

NITERÓI-RJ

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, por todo o esforço exercido para que eu pudesse ter uma educação de qualidade e chegasse até aqui além, é claro, de todo o apoio e por sempre acreditarem em mim e no meu potencial. À minha irmã que, mesmo muitas vezes estando longe, sempre me deu os melhores conselhos e força para seguir em frente. Aos meus avós por todo apoio, incentivo e força. Acima de tudo, agradeço a todo amor, carinho e apoio que, mesmo em momentos tão difíceis, sempre recebi da minha família. Nada disso teria acontecido sem vocês.

Ao meu namorado, Rodolfo, por todo apoio, ajuda e principalmente pela paciência durante o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada por todo o carinho que tornaram cada dia um pouco mais leve.

Às minhas amigas de turma: Alice, Vanessa, Gabriela, Lais, Déborah, Mayara e Ana Paula. Obrigada por terem feito parte desta etapa da minha vida, sempre com muito bom humor e companheirismo acima de tudo. Que essa amizade seja para a vida toda.

Agradeço ao meu orientador Gilmar Vital Bueno, por toda a ajuda, aprendizados e dedicação para este trabalho. Foi um prazer trabalhar com você.

A todo o corpo docente da UFF pelo aprendizado durante estes cinco anos de graduação.

Ao professor Fernando Vesely da UPFR (Paraná) e Anderson Iata da UNESP (Rio Claro) que dedicaram seu tempo nos acompanhando em alguns dias do trabalho de campo e por todas as informações e ensinamentos passados. Ao engenheiro de minas, Fernando Sucinsky, que nos acompanhou durante a visita à mina de São Mateus do Sul. A gerente do Parque Estadual de Vila Velha, Marilda, que possibilitou a visita e estudos no parque.

Aos membros da banca: professor André Luiz Ferrari e Fernando Freire. Obrigada por participarem da minha banca e pelo tempo dedicado para a avaliação e desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A Bacia do Paraná é uma grande bacia intracratônica sobre a porção centro-leste da América do Sul, incluindo parte do território do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai, totalizando uma área de aproximadamente 1.500.00 km². No Brasil, essa bacia abrange os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás. Sua evolução tectono-sedimentar iniciou no Ordoviciano Superior e seu preenchimento está dividido em seis supersequências alcançando cerca de 7.000 m de espessura. Os diversos ciclos de sedimentação e erosão estão relacionados a ciclos orogênicos e subsidências relacionadas que acabaram por modificar fortemente o cenário da bacia. Um intenso magmatismo ocorreu durante o Mesozóico e traduziu-se na bacia por espessas coberturas de lavas, redes de diques e vários níveis de soleiras de diabásio, influenciando fortemente nos sistemas petrolíferos. São reconhecidos dois sistemas petrolíferos (SP) na bacia: Ponta Grossa/Itararé e Irati/Pirambóia.

O presente trabalho visou compreender ambos os sistemas petrolíferos a partir de pesquisas bibliográficas e trabalhos de campo, os quais propiciaram elaborar um roteiro geológico focado nos elementos dos dois sistemas petrolíferos. Neste roteiro são apresentados afloramentos representativos das rochas geradoras, reservatórios e selos, bem como feições estruturais relacionadas aos processos de migração e trapeamento. A área da pesquisa englobou os estados do Paraná e São Paulo, onde são conhecidas acumulações de hidrocarbonetos produzidas por ambos os sistemas petrolíferos.

Palavras chave: Bacia intracratônica, sistemas petrolíferos, roteiro geológico, Paraná, São Paulo, Brasil.

ABSTRACT

The Paraná Basin is a large intracratonic basin on the central eastern portion of South America, including part of the territories of countries such as Brazil, Argentina, Uruguay and Paraguay, with a total area of approximately 1.500.00 km². In Brazil, this basin covers the states of Rio Grande do Sul , Paraná , Santa Catarina , São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul and Goiás. The tectonic-sedimentary evolution began in de Upper Ordovician and its filling is divided into six supersequences reaching about 7.000 m thickness. Various sedimentation cycles and erosion are related to orogenic cycles and subsidence which strongly modified the basin scenario. An intense magmatism occurred during the Mesozoic resulting in thick lava roofs, dikes networks and various levels of diabase sills, strongly influencing the petroleum systems. Two petroleum systems (PS) are recognized in the basin: Ponta Grossa/Itararé e Irati/Pirambóia.

This study aims to understand both petroleum systems from literature searches and a geological field trip, allowing the presentation of representative outcrops of source rocks, reservoirs and cap rocks, as well structural features relate to migration and trapping process. The research focus area includes the states of Paraná and São Paulo, where hydrocarbon accumulations produced by both petroleum systems are well known.

Keywords: Intracratonic basin, petroleum systems, geological field trip, Paraná, São Paulo, Brazil.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01:** Localização da Bacia do Paraná (Brasil) e Chaco-Paraná (Argentina, Uruguai e Paraguai).....p. 2
- Figura 02:** Arcabouço tectônico da Bacia do Paraná com ênfase para os elementos estruturais de orientação SW-NE. Destaque para o conjunto de altos e baixos estruturais que define a província denominada de “rifte central”p. 4
- Figura 03:** A Bacia do Paraná e suas supersequências.....p. 5
- Figura 04:** Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-ocidental no Neo-Ordoviciano ao tempo da Orogenia Oclóyica e implantação da Bacia do Paraná.....p. 6
- Figura 05:** Diagrama mostrando a configuração tectono-sedimentar da supersequência Rio Ivaí.....p. 6
- Figura 06:** Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-ocidental no Neodevoniano ao tempo da Orogenia Precordilheriana, responsável pela deposição da supersequência Paraná.....p. 7
- Figura 07:** Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-ocidental no Eo/Neopermiano ao tempo da Orogenia Sanrafaélica, em período de continentalização da Bacia do Paraná.....p. 8
- Figura 08:** Configuração geométrica da supersequência Gondwana I indicando mudança do *onlap* de sul para norte da bacia.....p. 9
- Figura 09:** Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-ocidental no Neojurássico caracterizado por desenvolvimentos de grábens e sedimentação predominantemente eólica.....p. 10
- Figura 10:** Diagrama esquemático orientado na direção norte-sul, evidenciando a evolução da subsidência das supersequências Gondwana III e Bauru da Bacia do Paraná.....p. 11
- Figura 11:** Modelo de preenchimento da supersequência Bauru.....p. 12
- Figura 12.1:** Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.....p. 13
- Figura 12.2:** Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.....p. 14
- Figura 13:** Seção sísmica interpretada da Bacia do Paraná com o topo de unidades litoestratigráficas relacionadas aos elementos dos sistemas petrolíferos.....p. 17
- Figura 14:** Carta de eventos dos sistemas petrolíferos da Bacia do Paraná.....p. 18

Figura 15: Modelo conceitual de estrutura e acumulação para o sistema petrolífero Ponta Grossa-Itararé.....	p. 19
Figura 16: Modelo evolutivo para geração, migração e acumulação para os arenitos asfálticos da Bacia do Paraná.....	p. 20
Figura 17: Localização do campo de Barra Bonita.....	p. 21
Figura 18: Teste de poço no campo de gás de Barra Bonita.....	p. 21
Figura 19: Estrutura em flor positiva caracterizando uma transtensão, a semelhança da interpretação da trapa do campo de Barra Bonita.....	p. 22
Figura 20: Localização da SIX.....	p. 23
Figura 21: Sucessão estratigráfica da área da SIX.....	p. 24
Figura 22: Máquina (<i>dragline</i>) responsável pela retirada da camada referente a Formação Serra Alta (cobertura) para que seja possível a extração das camadas inferiores do folhelho preto da Formação Irati.....	p. 24
Figura 23: Localização de ocorrência dos arenitos asfálticos no estado de São Paulo.....	p. 25
Figura 24: Seção geológica da Bacia do Paraná, evidenciando a área dos arenitos oleígenos.....	p. 26
Figura 25: Carta estratigráfica modificada, evidenciando os sistemas petrolíferos, onde as rochas geradoras são marcadas por um retângulo vermelho e as rochas reservatório, por uma elipse azul.....	p. 27
Figura 26: Mapa do roteiro geológico.....	p. 27
Figura 27: Modelo em 3D do relevo da região, evidenciando uma serra alongada com sentido N-S. Foto tirada do painel de informações do Parque do Monge.....	p. 28
Figura 28: Topo da serra alongada mostrada na figura anterior. Nota-se sua elevada altitude sobressaindo-se de forma marcante na topografia.....	p. 28
Figura 29: Modelo deposicional esquemático para o Grupo Itararé.....	p. 29

Figura 30: Mapa geológico do sudeste do Paraná, com a representação do trato deposicional canal-lobos interpretado para os arenitos Lapa e Vila Velha.....	p. 30
Figura 31: Detalhe do arenito mineralogicamente imaturo onde pode-se observar o bem preservado grão de feldspato indicando uma rápida deposição característica de ambiente glacial.....	p. 30
Figura 32: Estrutura sigmoidal.....	p. 31
Figura 33: Camadas bem demarcadas e estratificadas.....	p. 31
Figura 34: Em (A) pelitos basais, (B) arenito maciço sigmoidal, (C) intervalo com arenito com estratificações cruzadas de grande porte e (D) retorna outro corpo de arenito maciço.....	p. 32
Figura 35: Ritmitos mais jovens, contudo, faciologicamente associados aos diamictitos das encaixantes do Arenito Lapa.....	p. 32
Figura 36: Detalhe da camada de ritmito.....	p. 33
Figura 37: Parte inferior. É possível notar uma camada de folhelho abaixo, uma de folhelhos e margas acima e entre elas uma camada de siltito.....	p. 34
Figura 38: Parte superior. Notando-se uma grande camada de folhelho abaixo e siltitos acima.....	p. 34
Figura 39: Detalhe da parte superior. Folhelhos intercalados com cinza vulcânica e calcita.....	p. 34
Figura 40: Lobos arenosos do Grupo Itararé, vistos do Parque Estadual de Vila Velha.....	p. 35
Figura 41: Testemunhos dos lobos fortemente afetados por erosão.....	p. 36
Figura 42: "A Taça", monumento do Parque Estadual de Vila Velha.....	p. 36
Figura 43: Folhelhos da Formação Ponta Grossa. A linha tracejada delimita a camada superior de folhelhos.....	p. 37
Figura 44: Detalhe de um fóssil (Lingula?).....	p. 38
Figura 45: Fósseis conchoidais da Formação Ponta Grossa.....	p. 38

- Figura 46:** Vista panorâmica de duas estruturas do tipo flor positiva. A área marcada em vermelho é vista no detalhe a seguir.....p. 39
- Figura 47:** Estrutura em flor positiva. Detalhe da figura anterior.....p. 39
- Figura 48:** Plano limítrofe da zona de falha de direção N74W e mergulho 76NE.....p. 40
- Figura 49:** Vista panorâmica dos arenitos eólicos da Formação Pirambóia.....p. 40
- Figura 50:** Camadas bem estratificadas e demarcadas dos arenitos eólicos da Formação Pirambóia.....p. 41
- Figura 51:** Estratificações cruzadas do arenito eólico da Formação Pirambóia.....p. 41
- Figura 52:** Vista panorâmica da pedreira de Staviás.....p. 42
- Figura 53:** Soleira de diabásio da pedreira de Staviás. Notar as camadas planas na parte superior, indicativo da intrusão interestratal, característica de soleiras. Escala: ônibus marcado em laranja.....p. 42
- Figura 54:** Gravura da antiga usina de extração do folhelho betuminoso que funcionava na fazenda. A foto foi cedida pelo dono da fazenda.....p. 43
- Figura 55:** Estratificações cruzadas evidenciando um ambiente deposicional eólico.....p. 44
- Figura 56:** Depósitos de interdunas (área brancas) que atuam como barreiras estratigráficas à migração.....p. 44
- Figura 57:** Arenito asfáltico da Formação Pirambóia. Notar a granulometria extremamente fina relacionada aos arenitos eólicos da Formação Pirambóia.....p. 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Relação entre o estágio de formação de hidrocarbonetos, valores de reflectância da vitrinita e nível de maturação das rochas geradoras.....	p. 16
---	-------

SUMÁRIO

1-INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.2 ÁREA DE ESTUDO	1
1.3 METODOLOGIA	2
2-GEOLOGIA DA BACIA DO PARANÁ	3
2.1. EMBASAMENTO	3
2.2 EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR	4
2.3.1 SUPERSEQUÊNCIA RIO IVAÍ (ORDOVICIANO-SILURIANO).....	5
2.3.2 SUPERSEQUÊNCIA PARANÁ (DEVONIANO)	7
2.3.3 SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA I (PENSILVANIANO-SCYTHIANO).....	7
2.3.4 SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA II (ANISIANO-NORIANO)	9
2.3.5 SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA III (JURÁSSICO-NEOCRETÁCEO).....	9
2.3.6 SUPERSEQUÊNCIA BAURU (APTIANO-MAASTRICHTIANO)	11
3-MAGMATISMO SERRA GERAL	12
4-SISTEMA PETROLÍFERO	15
4.1 CONCEITOS BÁSICOS.....	15
4.2 PONTA GROSSA/ITARARÉ	18
4.3 IRATI/ PIRAMBÓIA.....	19
5-PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE HIDROCARBONETOS	20
5.1 CAMPO DE BARRA BONITA	21
5.2 MINA DE SÃO MATEUS DO SUL (SIX)	23
5.3 ARENITOS ASFÁLTICOS NO ALTO ESTRUTURAL DE ANHEMBI	24
6-ROTEIRO GEOLÓGICO	26
7-CONCLUSÕES	46
8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1-INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

O trabalho proposto teve como objetivos:

- Estudar os sistemas petrolíferos da Bacia do Paraná, bem como apresentar afloramentos representativos dos vários elementos dos sistemas petrolíferos em forma de Roteiro Geológico.
- Fazer uma compilação da bibliografia disponível sobre diferentes aspectos da geologia da bacia, relacionando as informações levantadas e os sistemas petrolíferos.

Para isso, foi realizado um trabalho de campo pelos estados de São Paulo e Paraná em um período de seis dias, contando com a participação da autora desta monografia, Erika Lajtman Bereicôa, do professor-orientador Gilmar Vital Bueno e dos professores convidados: Fernando Vesely (UFPR- Paraná) e Anderson Iata (UNESP – Rio Claro).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Paraná é uma grande bacia vulcano-sedimentar sobre a porção centro-leste da América do Sul, incluindo parte do território do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai (Figura 01), totalizando uma área de aproximadamente 1.500.00 km² (Milani *et al.* 2006). No Brasil, essa bacia abrange os estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás. É uma típica bacia intracratônica com forma elipsoidal (eixo maior N-S). Teve seu desenvolvimento durante parte das eras Paleozóica e Mesozóica, alojando um registro estratigráfico que compreende do Ordoviciano Superior ao Cretáceo Superior, com espessura máxima acima de 7.000 m na porção central (Milani *et al.* op cit).

O autor citado também afirma que a bacia teve sua formação em um ambiente de golfo aberto para o Oceano Panthalassa e seu progressivo fechamento se deu devido a um movimento convergente entre o paleocontinente Gondwana e a crosta oceânica.

Os vários ciclos de sedimentação e erosão estariam relacionados, segundo Milani *et al.* (op cit), a ciclos orogenéticos e subsidências relacionadas por todo o registro estratigráfico, modificando o cenário de deposição sedimentar e a tectônica da bacia.

Durante o Eocretáceo, um volumoso magmatismo, denominado Formação Serra Geral, ocorreu na bacia, tanto na forma de espessos derrames subaéreos quanto em diques e soleiras que foram introduzidas entre as camadas sedimentares (Campos *et al.* 1998), sendo um evento de extrema importância para os sistemas petrolíferos.



Figura 01: Localização da Bacia do Paraná (Brasil) e Chaco-Paraná (Argentina, Uruguai e Paraguai) (Zalán et al., 1990).

1.3 METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido a partir de um processo de levantamento bibliográfico e de campo.

O levantamento bibliográfico baseou-se na consulta de diversos artigos acadêmicos e boletins de geociências, a fim de se obter um entendimento sobre a Bacia do Paraná. As pesquisas das fontes bibliográficas foram feitas principalmente nos periódicos da CAPES, consultas em Boletins de Geociências da Petrobras, na biblioteca do Instituto de Geociências da UFF e consultas no site da ANP.

Já o levantamento de campo, teve como objetivo pesquisar, selecionar e catalogar afloramentos para comporem o roteiro geológico, com a finalidade de propor uma observação direta dos elementos em estudo. Para isso, foram consultados roteiros geológicos já realizados nesta bacia. A definição dos pontos de observação foi feita em conjunto com o professor orientador e com o apoio dos professores convidados. As coordenadas geográficas foram rastreadas através de um aparelho de GPS e convertidas para coordenadas UTM com o uso de um conversor online¹ do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Ao todo, dez pontos de parada foram definidos nos estados de Paraná e São Paulo em um total de seis dias.

¹<http://www.dpi.inpe.br/calcula/>

2.1. EMBASAMENTO

As rochas sedimentares da Bacia do Paraná foram depositadas sobre uma extensa área do supercontinente Gondwana. A bacia teve seu desenvolvimento sobre um embasamento proterozóico de blocos cratônicos envolvidos por cinturões de dobramentos e empurrões de orientação SW-NE, predominantemente de idade brasileira (Milani *et al.* 2006).

O embasamento foi fortemente influenciado pelos movimentos convergentes entre o bloco siálico e o assoalho oceânico do Panthalassa e também por ativos cinturões colisionais e bacias de antepaís a eles relacionadas, que ocorreram na sua vizinhança (Milani, 1997). Segundo o autor, a subsidência e a acumulação sedimentar tiveram início durante o Meso a Neo-Ordoviciano, correlacionadas com a Orogenia Oclóyca, onde a Precordilheira colidiu contra o Gondwana. Este esforço compressivo acarretou na reativação transtensiva de zonas de fraqueza, gerando a subsidência inicial da bacia. Outros episódios orogênicos, como a Orogenia Precordilheirana (Eodevoniano) e a Orogenia San Rafaélica (Neopermiano), geraram grandes taxas de subsidência intracratônica.

Ainda segundo Milani (1997), dados de sísmica de reflexão detectaram um padrão SW-NE de estruturas, interpretadas como calhas na região central da bacia e alojando um pacote sedimentar paleozóico, tal feição foi denominada de rifte central. Anomalias gravimétricas e magnetométricas corroboram com esta teoria, já que revelam um depocentro de orientação SW-NE provavelmente relacionada à estruturação do embasamento (Figura 02).

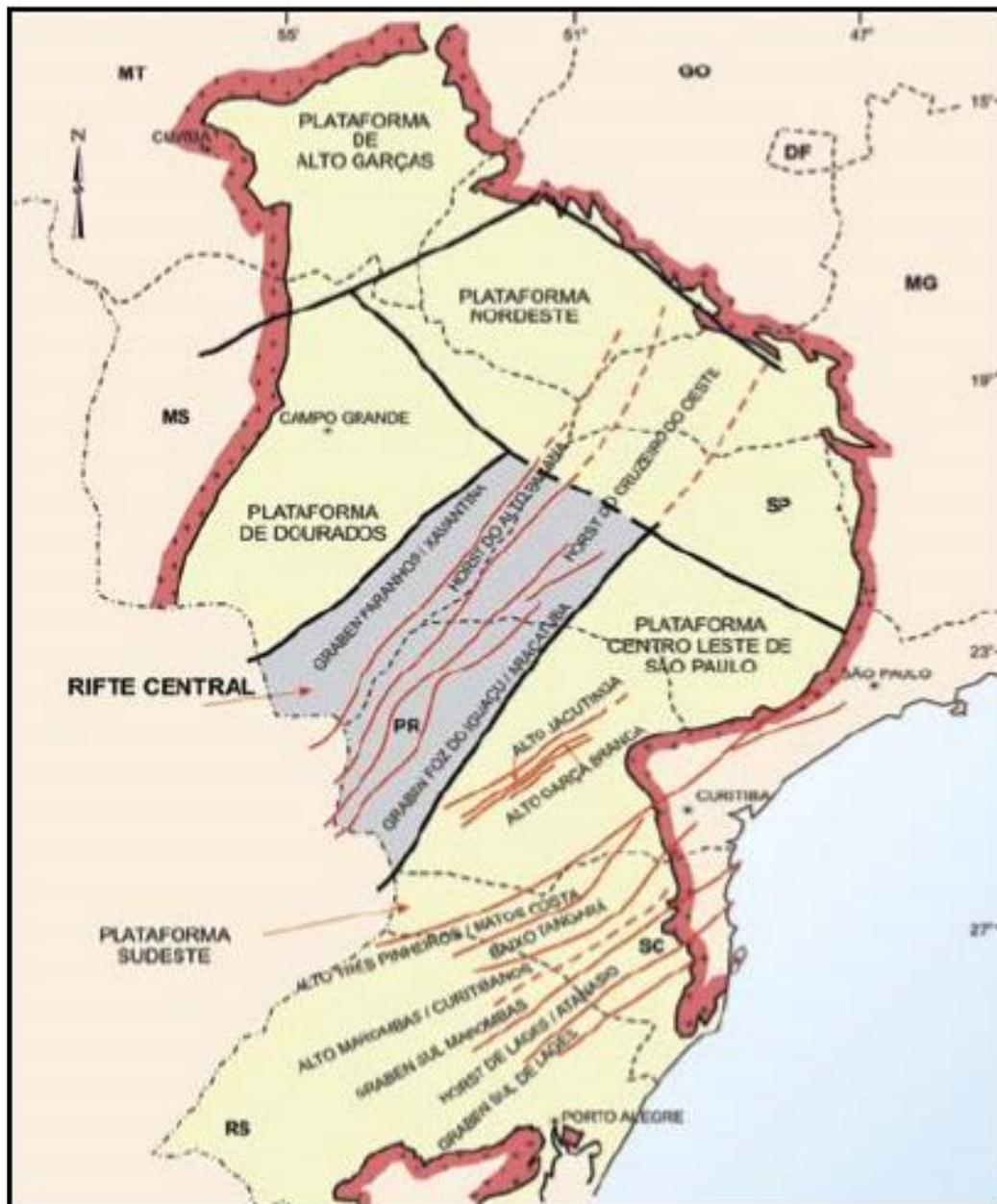


Figura 02: Arcabouço tectônico da Bacia do Paraná com ênfase nos lineamentos SW-NE. Destaque para o conjunto de altos e baixos estruturais que definem a província denominada de rifte central (modificado de Milani, 2004).

2.2 EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR

De acordo com Milani *et al.* (2006), seis unidades aloestratigráficas de segunda ordem ou supersequências foram definidas, cada uma delas incluindo um registro geológico com algumas dezenas de milhões de anos, definindo assim o arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná (Figura 03). Seu registro sedimentar total abrange o intervalo de 450-65 Ma. Ao passo que as supersequências Rio Ivaí (O-S), Paraná (D) e Gondwana I (Neo-C – Eo-Tr) documentam grandes ciclos transgressivos-regressivos paleozoicos de variação de nível de base, Gondwana II, Gondwana III e Bauru representam sucessões sedimentares continentais mesozoicas e rochas ígneas associadas (Milani *et al.* op cit).

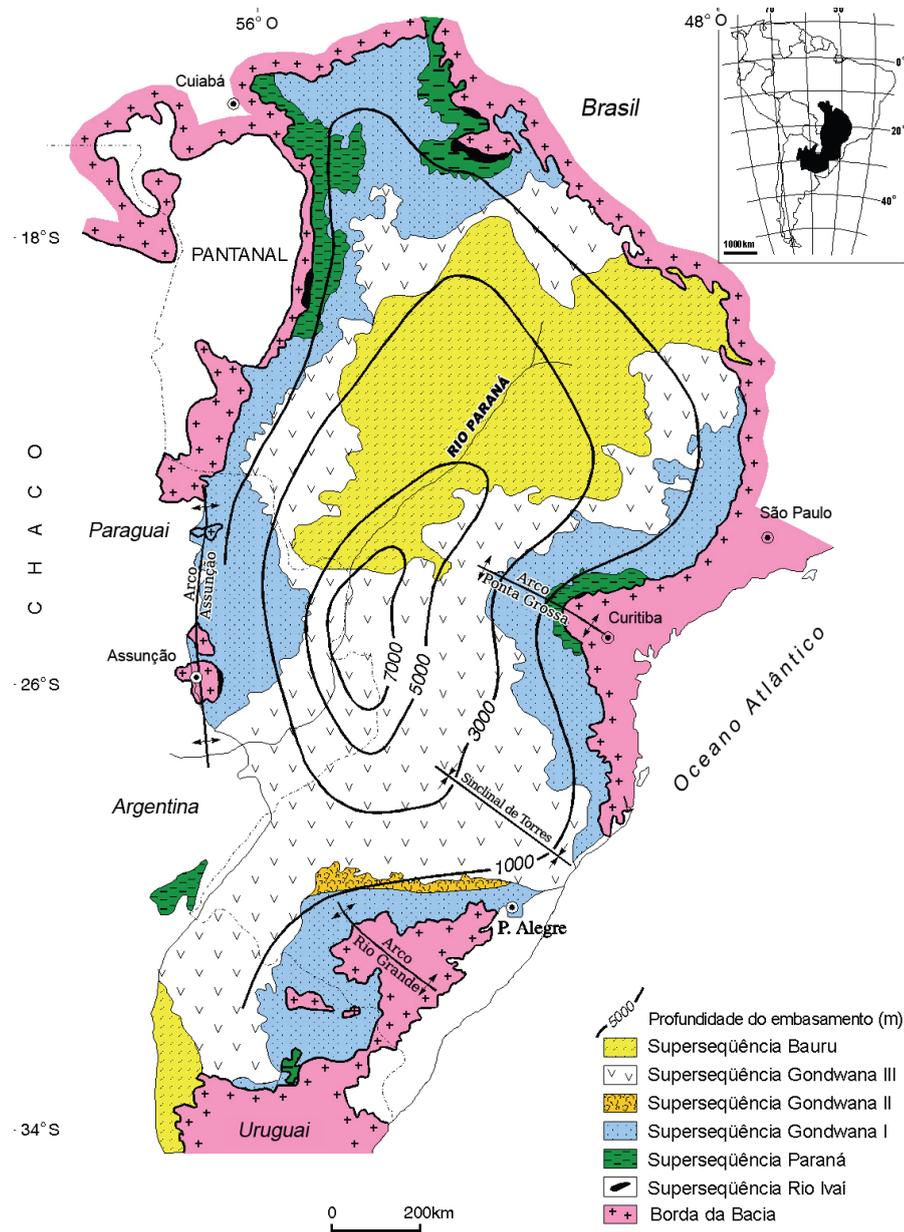


Figura 03: A Bacia do Paraná e suas superseqüências. (Milani, 2006).

2.3.1 SUPERSEQUÊNCIA RIO IVAÍ (ORDOVICIANO-SILURIANO)

A supersequência Rio Ivaí envolve as formações Alto Garças, Iapó e Vila Maria (Figura 12). Corresponde aos episódios iniciais de formação da bacia, estando intimamente ligada à acresção do terreno Pré-Cordilheira ao continente Gondwana resultando na Orogenia Oclóyca (Figura 04). Sua base é representada pela Formação Alto Garças com arenitos conglomeráticos de origem fluvial. Também houve atividade ígnea associada aos siliciclásticos da Formação Alto Garças, com a presença do magmatismo Três Lagoas de natureza básica, acompanhando um rifteamento inicial na história tectônica-deposicional da bacia (Figura 05). A Formação Iapó consiste em diamictitos avermelhados com presença de matacões estriados e facetados, definindo um marco estratigráfico importante, relacionado com a glaciação neo-ordoviciano que afetou grande parte do Gondwana. O

topo da supersequência é predominantemente constituído de folhelhos da Formação Vila Maria, interpretada como sendo de ambiente marinho raso a transicional. Esta supersequência representa a primeira incursão de água marinha do Panthalassa nesta região, com máxima transgressão registrada nos pelitos Vila Maria, caracterizando o primeiro ciclo transgressivo-regressivo da bacia (Milani *et al.* 2006).

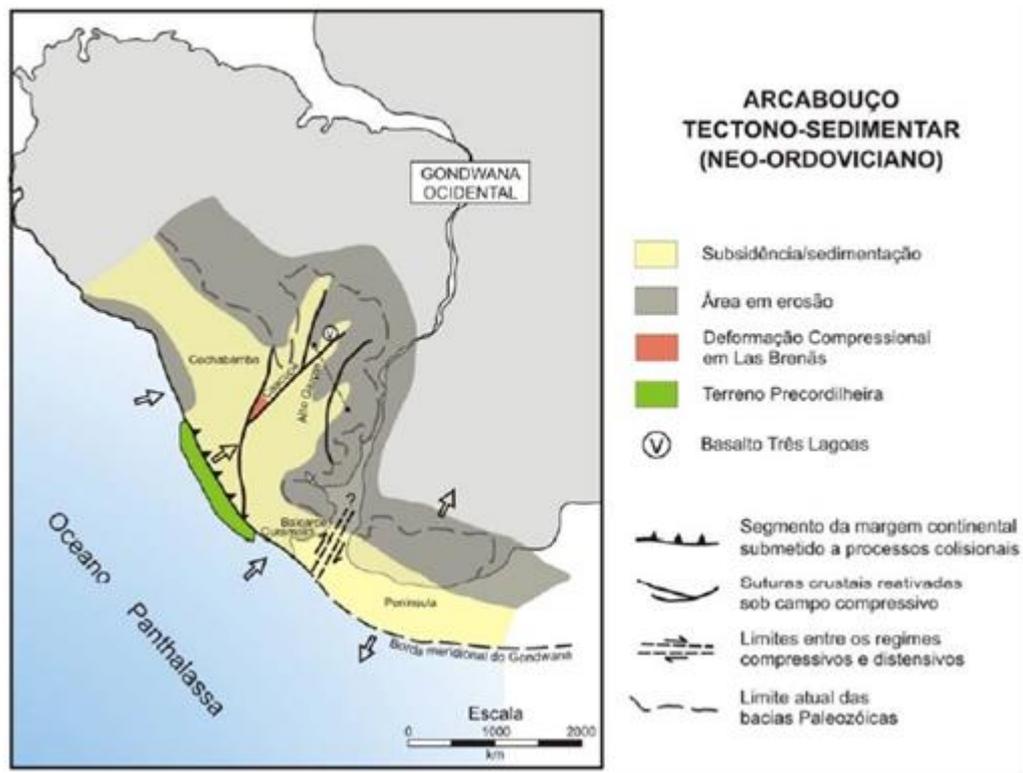


Figura 04: Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-occidental no Neo-Ordoviciano ao tempo da Orogenia Oclóyica e implantação da Bacia do Paraná (modificado de Milani 1997).

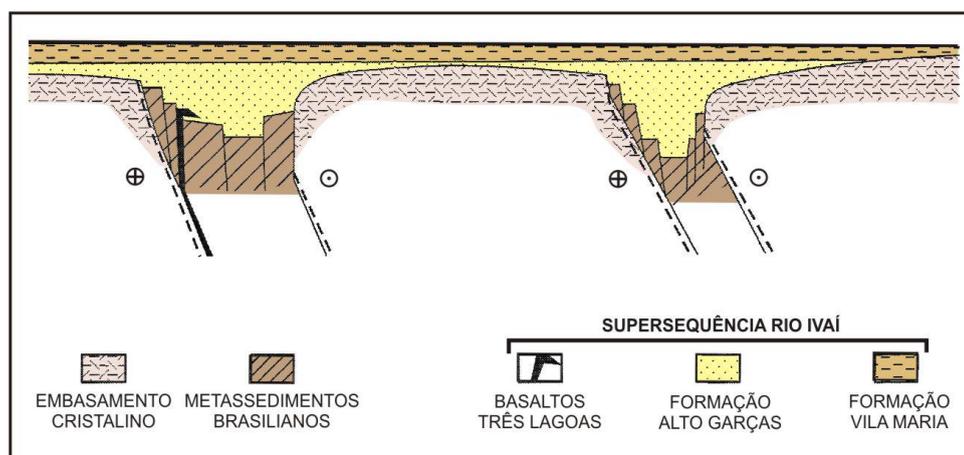


Figura 05: Diagrama mostrando a configuração tectono-sedimentar da supersequência Rio Ivaí. (Milani 1997,2000).

2.3.2 SUPERSEQUÊNCIA PARANÁ (DEVONIANO)

Após a orogenia que deu origem à supersequência Rio Ivaí, um novo evento de subsidência ocorreu, condicionando a deposição da supersequência Paraná, que compreende as formações Furnas e Ponta Grossa (Figura 12). Segundo Milani (1997), esta subsidência foi gerada por um novo evento orogênico, a Orogenia Precordilheirana (Figura 06), registrando um ciclo transgressivo-regressivo. A Formação Furnas é composta por arenitos quartzosos havendo estratificações cruzadas de diversas naturezas. Já a Formação Ponta Grossa é predominantemente argilosa e apresenta um conteúdo rico de microfósseis, confirmando sua idade devoniana.

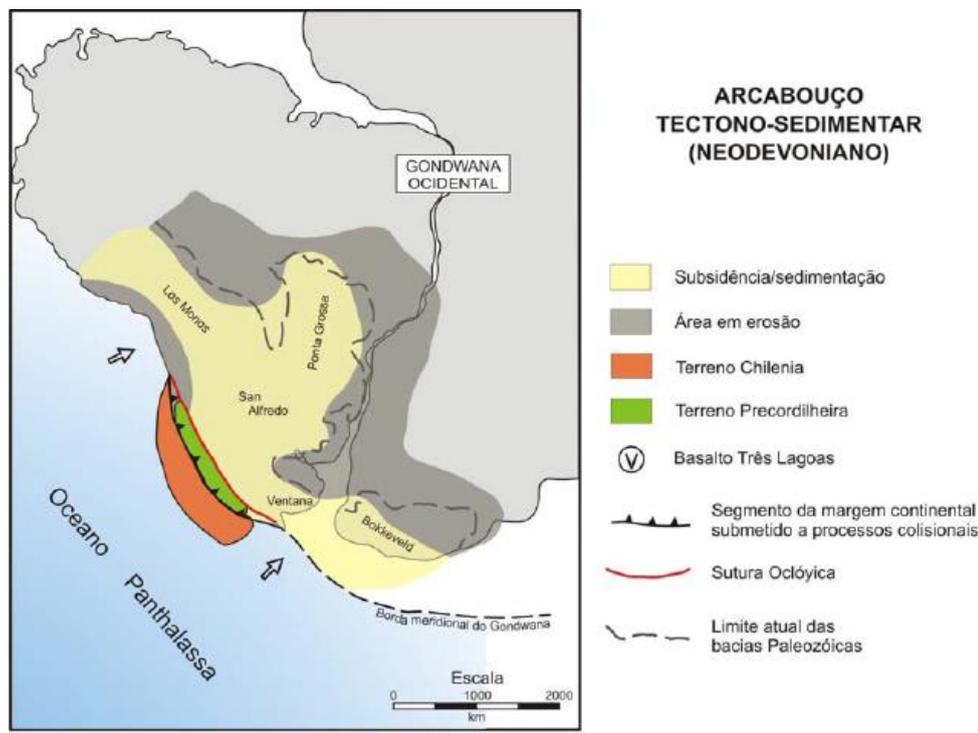


Figura 06: Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-ocidental no Neodevôniano ao tempo da Orogenia Precordilheirana, responsável pela deposição da supersequência Paraná (modificado de Milani 1997).

2.3.3 SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA I (PENSILVANIANO-SCYTHIANO)

Segundo Milani *et al* (2006):

“A presença e movimentação de calotas de gelo relacionadas com a grande glaciação gondwânica, que atingiu seu pico durante o Mississipiano, foram fatores decisivos para dificultar a acumulação de sedimentos na Bacia do Paraná durante o Eocarbonífero. Esta condição é documentada pela extensa lacuna de até 55 Ma de duração existente entre os pacotes devoniano e carbonífero superior. A sedimentação na Bacia do Paraná foi retomada com a deglaciação, no Westfaliano.”

A supersequência Gondwana I é o maior registro sedimentar da bacia e marca a saída do continente de um regime talassocrático para geocrático. Houve um terceiro evento colisional, gerando a Orogenia Chánica. Diferentemente das duas primeiras supersequências, esta não possui relação direta com esta orogenia, porém o registro de subsidência relacionado a este período encontra-se presente em depósitos nas bacias de antepaís. O evento colisional seguinte que ocorreu na borda sul-ocidental do continente, no Permiano, é denominado de Orogenia San Rafaélica e, esta sim, teve grande importância na deposição de sedimentos da bacia (Figura 07). Também foi responsável pelo rearranjo estrutural do substrato da sinéclise, marcado na bacia pela inversão súbita do sentido de *onlap* de sul para norte (Figura 08), invertendo o padrão dominante durante a sedimentação do Grupo Itararé (Milani, 1998).

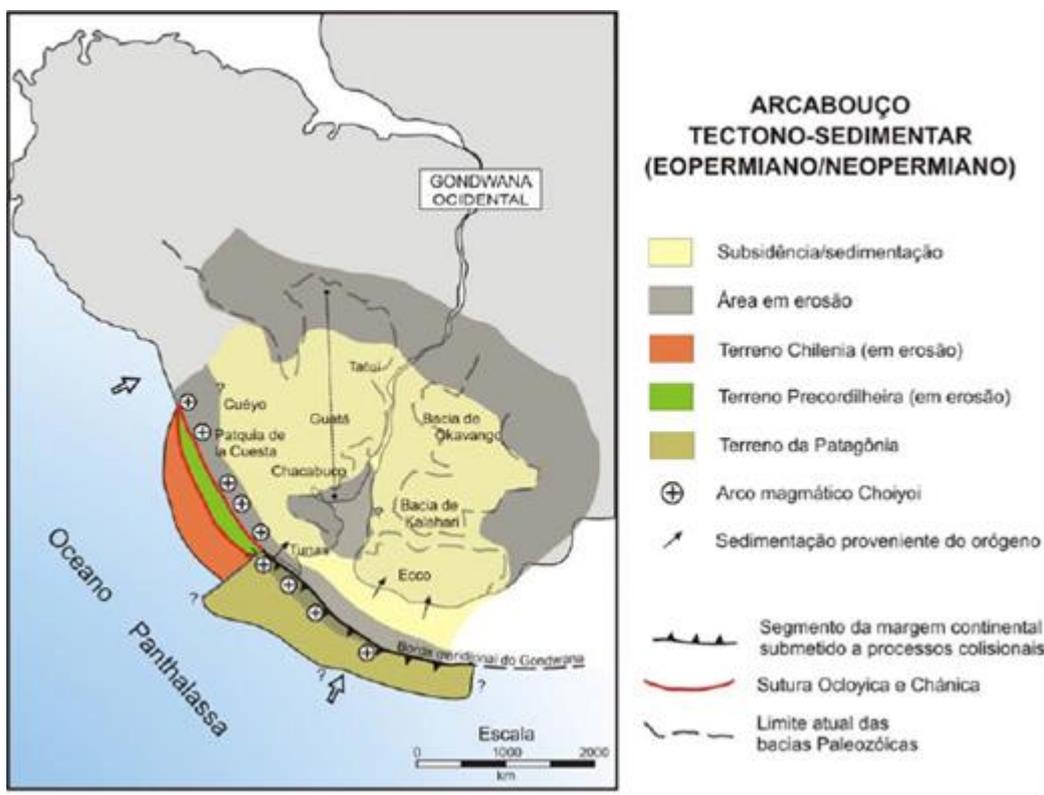


Figura 07: Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-ocidental no Eo/Neopermiano ao tempo da Orogenia Sanrafaélica, em período de continentalização da Bacia do Paraná (modificado de Milani 1997).

Assim, a terceira supersequência é um pacote complexo de rochas sedimentares, com a presença inicial de sedimentos glaciogênicos de natureza tanto marinha quanto continental, que fazem parte do Grupo Itararé. O degelo permitiu mecanismos de transporte e deposição de massas, retrabalhando fortemente o substrato e definindo um estilo muito particular para essa seção, fazendo com que o Grupo Itararé seja constituído por diamictitos intercalados a arenitos, com elementos tanto glacioterrestres quanto glaciomarinhas (Milani, 1997). Em seguida ao pacote glaciogênico, vem uma

seção transgressiva (Grupo Guatá), incluindo arenitos, siltitos e carvões de ambiente deltaico (Formação Rio Bonito) e siltitos e folhelhos representando a inundação máxima desta supersequência (Formação Palermo). De acordo com Milani (1997), acima da Formação Palermo, uma possante seção regressiva (Grupo Passa Dois) foi depositada por um ciclo de subsidência renovada do embasamento, culminando nos depósitos eólicos eotriássicos (Formação Sanga do Cabral e Pirambóia) (Figura 12).

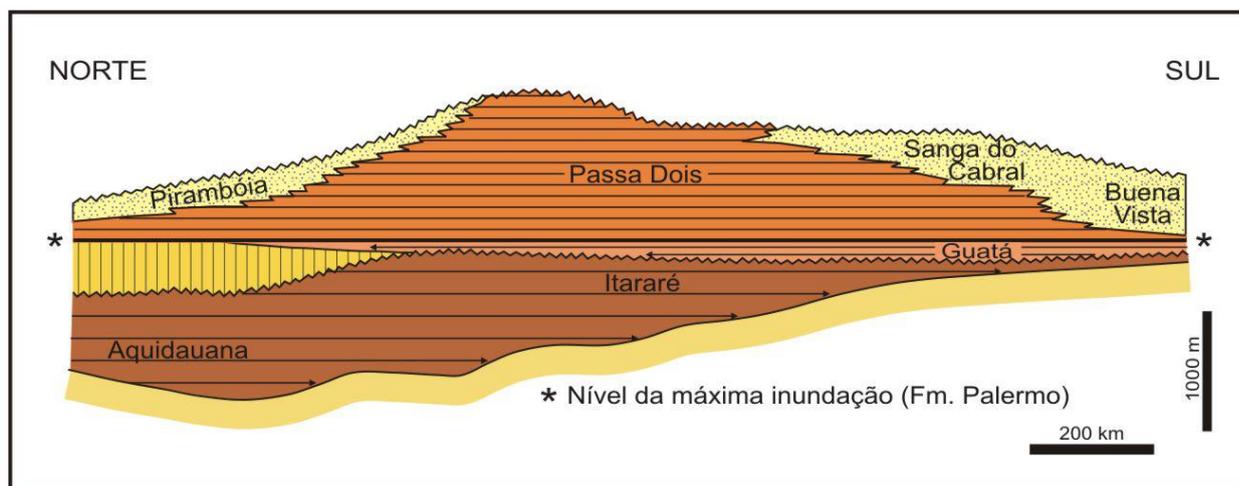


Figura 08: Configuração geométrica da supersequência Gondwana I indicando mudança do onlap de sul para norte da bacia. (Milan et al, 2000).

2.3.4 SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA II (ANISIANO-NORIANO)

A supersequência Gondwana II é restrita apenas para a região sul da bacia, no estado do Rio Grande do Sul e porção norte do Uruguai. É caracterizada por depósitos flúvio-lacustres que incluem conglomerados, arenitos e folhelhos (Figura 12). Exibe uma abundante fauna de répteis e mamíferos do Triássico Médio e Neotriássico (Milani *et al.* 2006).

Pelitos lacustres e arenitos fluviais se intercalam neste pacote, evidenciando uma ciclicidade que teria se desenvolvido em resposta às variações do nível de base do lago em função de um controle combinado da tectônica e do clima (Milani e Ramos, 1998).

2.3.5 SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA III (JURÁSSICO-NEOCRETÁCEO)

Durante o Triássico, grandes mudanças no regime tectônico ocorreram. Segundo Milani (1997), houve um relaxamento do campo regional compressivo que atuava junto à margem do supercontinente desde o início do Paleozóico, gerando uma distensão generalizada. No fim do Triássico, houve a quebra do Pangea e posterior quebra do continente gondwânico com abertura do Oceano Atlântico (Figura 09).

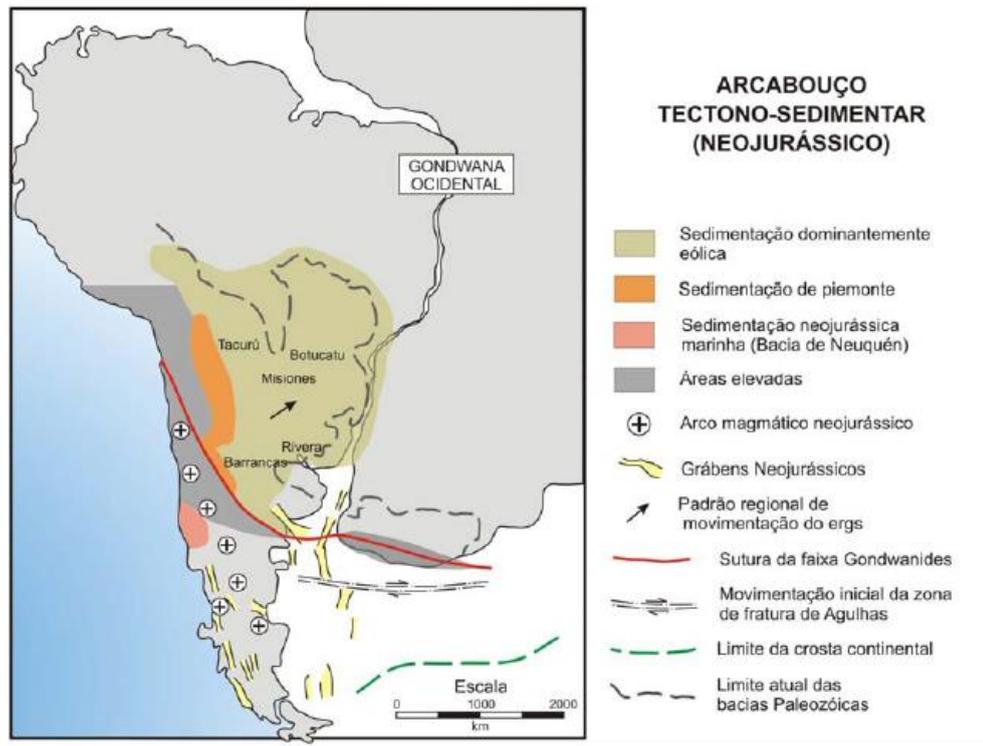


Figura 09: Arcabouço tectono-sedimentar do Gondwana sul-ocidental no Neojurássico caracterizado por desenvolvimentos de grabens e sedimentação predominantemente eólica (modificado de Milani 1997).

Neste novo regime tectônico, foi depositada a supersequência Gondwana III onde estão presentes as Formações Botucatu e Formação Serra Geral (Figura 12). O registro da grande desertificação do Gondwana, que precedeu a ruptura mesozóica do paleocontinente é representado pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu. A Formação Serra Geral é caracterizada pelo evento ígneo que ocorreu no Eocretáceo. Diques e soleiras se intercalam com o pacote sedimentar (Milani *et al.* 2006). O magmatismo acabou por modelar o substrato da bacia devido à carga litoestática destas rochas, contribuindo para a geração de espaço nesta supersequência (Figura 10).

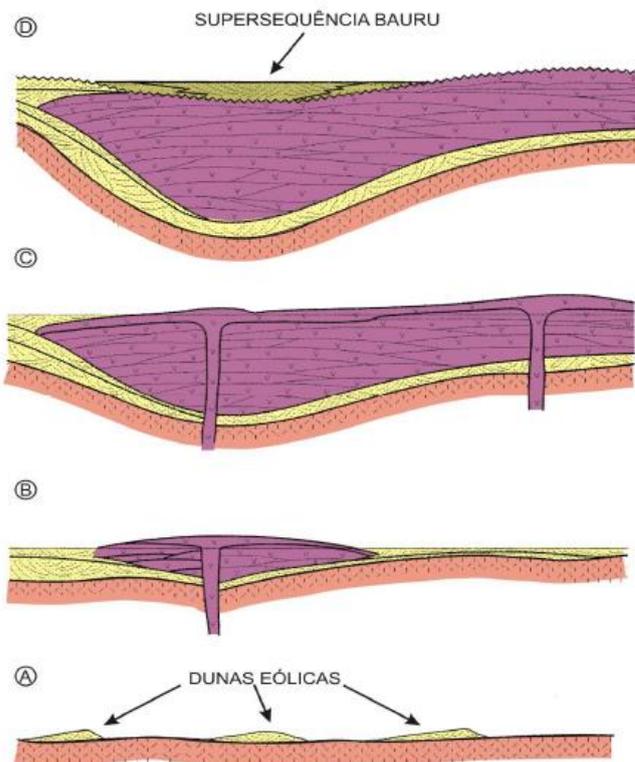


Figura 10: Diagrama esquemático orientado na direção norte-sul, evidenciando a evolução da subsidência das supersequências Gondwana III e Bauru da Bacia do Paraná (Milani et al, 2000). (A) Desenvolvimento da discordância infra-Botucatu de ergs. (B) Início da subsidência flexural devido ao magmatismo Serra Geral, que favoreceu a deposição dos depósitos eólicos Botucatu. (C) Evolução do magmatismo de centro-norte para sul. (D) Cobertura Bauru alojada sobre depressão gerada pelo resfriamento e acomodação final da pilha de lavas.

2.3.6 SUPERSEQUÊNCIA BAURU (APTIANO-MAASTRICHTIANO)

O último episódio deposicional da bacia é a supersequência Bauru com idades Eocretáceo a Neocretáceo. Segundo Milani *et al.* (2006), os sedimentos desta seção estão sobrepostos à Formação Serra Geral por uma discordância erosiva. Fazem parte desta unidade os Grupos Bauru e Caiuá (Figura 12), ambas com predominância de arenitos de origem flúvio-lacustre passando para depósitos de regime torrencial com leques aluviais em clima semi-árido (Figura 11).

Alguns autores separam esta supersequência da Bacia do Paraná, acreditando que a mesma findaria com os derrames basálticos da Formação Serra Geral. Porém, esta monografia é baseada nos estudos de Milani e será reconhecida a presença desta supersequência, mesmo que ela não faça parte dos sistemas petrolíferos que serão estudados.

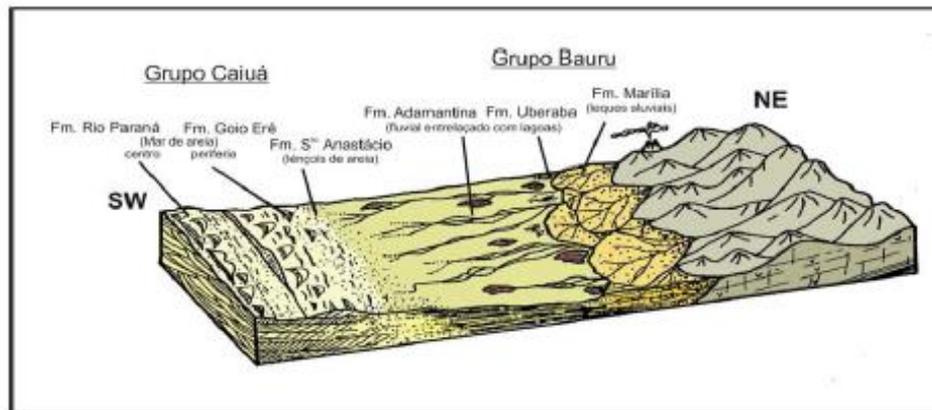


Figura 11: Modelo de preenchimento da supersequência Bauru (Fernandes e Coimbra, 1996).

3-MAGMATISMO SERRA GERAL

Durante o Mesozóico, um intenso vulcanismo fissural afetou grande parte das bacias cratônicas sul-americanas, constituindo ampla província magmática. Na Bacia do Paraná, o evento se traduziu por uma espessa cobertura de lavas, uma intrincada rede de diques cortando a seção sedimentar inteira e vários níveis de soleiras intrudidas segundo os planos de estratificação dos sedimentos paleozoicos (Milani *et al.* 2006). A invasão magmática ocorreu em praticamente toda a bacia e atualmente, com aproximadamente 133 Ma² de retrabalhamento erosivo, três quartos da área total da bacia ainda está recoberto pelas rochas ígneas da Formação Serra Geral (Figura 12).

A atividade ígnea teve efeitos variados no desenvolvimento e preservação dos sistemas petrolíferos da bacia. Ao mesmo tempo que favoreceu a formação de estruturas trapeadoras e forneceu energia termal para a maturação da matéria orgânica e expulsão dos fluidos, pela produção de reservatórios fraturados e zonas de canalização de fluidos, foi responsável pelo fraturamento das rochas selantes e desmantelamento e reabertura das estruturas trapeadoras (Artur e Soares, 2002).

² O magmatismo Serra Geral faz parte da Província Mágmatca Paraná-Etendeka, com idade de aproximadamente 133 Ma datada a partir da análise de Ar⁴⁰-Ar³⁹ feita por Renne *et al.* (1992).

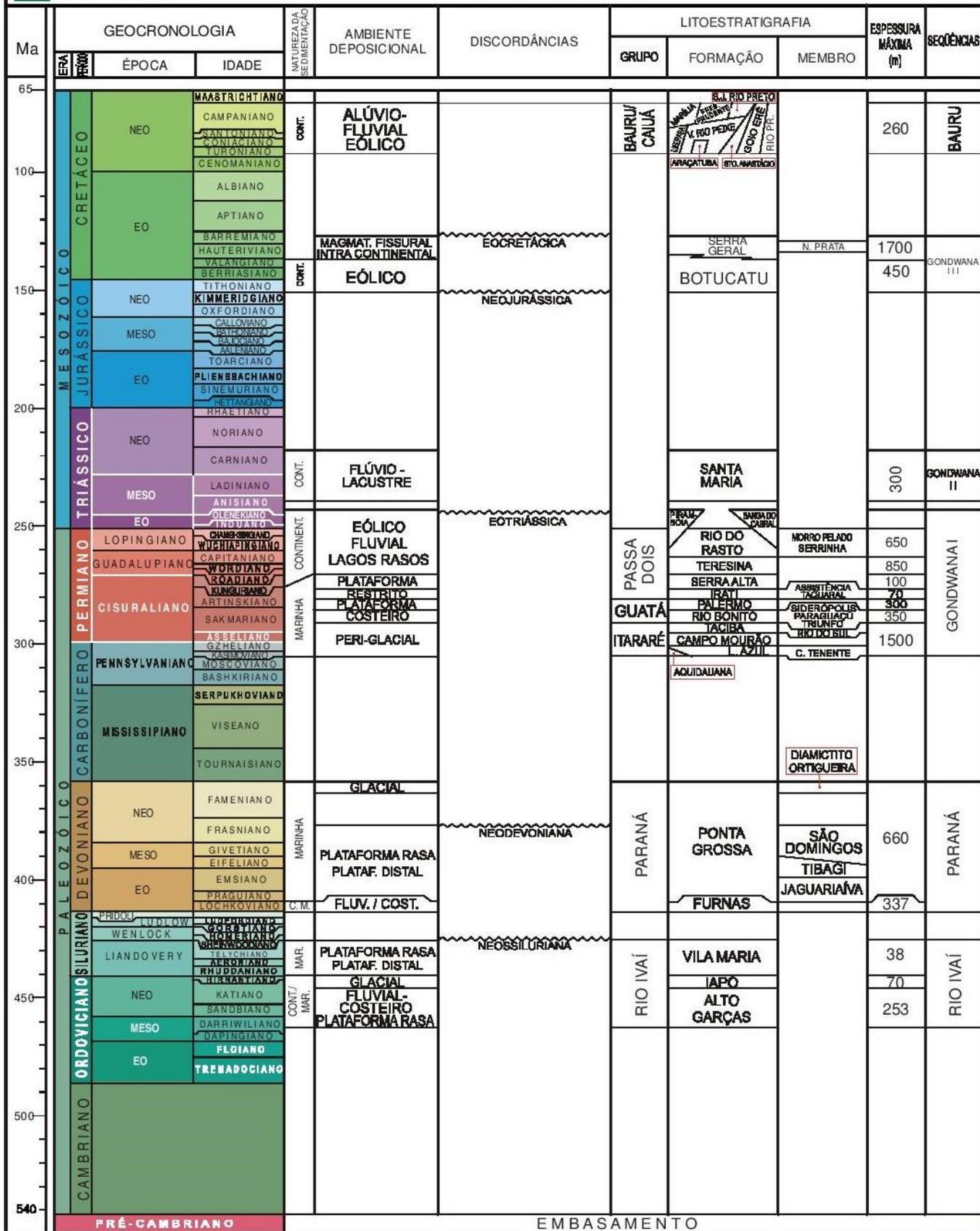


Figura 12.1: Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani et al, 2007)

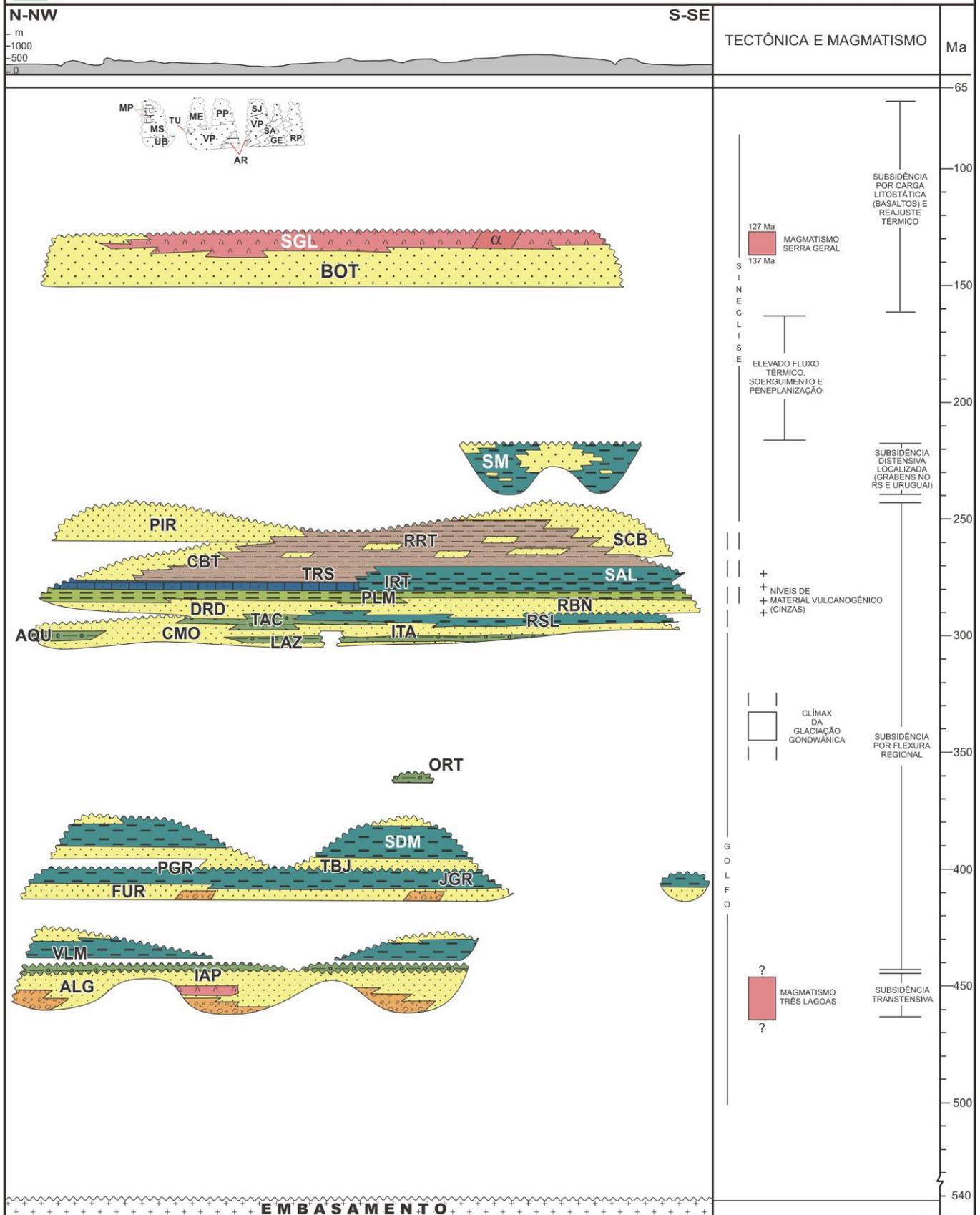


Figura 12.2: Carta estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani et al. 2007).

4-SISTEMA PETROLÍFERO

Ao longo de décadas de exploração, a indústria petrolífera percebeu que, para se encontrar jazidas de hidrocarbonetos com volume significativo, era de extrema importância que determinados eventos geológicos ocorressem simultaneamente nas bacias sedimentares (Milani *et al.* 2000). O estudo destes eventos de maneira integrada foi denominado sistema petrolífero. Magoon e Dow (1994) definiram sistema petrolífero como sendo uma rocha fonte ativa e todo o óleo e gás relacionados, incluindo todos os elementos e processos necessários para a acumulação existir. Os elementos essenciais são: rochas geradoras maduras, rochas reservatório, rochas selantes e trapas. Os processos incluem a formação da armadilha e a geração-migração-acumulação do óleo. Todos os elementos essenciais devem ser colocados no tempo e no espaço de modo que os processos necessários para a acumulação possam ocorrer (Figura 14) (Magoon e Dow, 1994).

4.1 CONCEITOS BÁSICOS

- Rocha Geradora:

A rocha geradora deve conter matéria orgânica em quantidade e qualidade adequadas para a geração de hidrocarbonetos, além de condições ideais necessárias para a evolução térmica e aumento de pressão, para que haja a degradação térmica do querogênio e a consequente geração do óleo. De modo geral, uma rocha geradora deve conter um mínimo de 0,5 a 1,0 de teor de carbono orgânico total (PGT, 2013).

A formação desta rocha tem origem em ambientes de baixa energia e anóxicos, a fim de se preservar a matéria orgânica, e é predominantemente composta por sedimentos finos como folhelhos e calcilutitos (Monteiro, 2011).

Segundo Monteiro (op cit), existem 4 estágios para a formação do petróleo: diagênese, catagênese, metagênese e metamorfismo.

A diagênese ocorre quando os sedimentos ainda estão submetidos a baixas profundidades e temperaturas. Predomina-se a atividade bacteriana, transformando a matéria orgânica em querogênio. Nesta etapa, o único hidrocarboneto gerado em quantidades significativas é o metano.

Com o progressivo soterramento e consequente aumento da temperatura (entre 50°C a 150°C) e pressão, ocorre a catagênese (Tissot & Welte, 2013). A evolução térmica resulta na quebra das moléculas de querogênio e na formação de hidrocarbonetos líquidos e gasosos.

Na metagênese, a temperatura pode atingir 210°C, propiciando a quebra das moléculas de hidrocarbonetos líquidos e transformando-os em gás leve.

Após a fase de metagênese, o aumento da temperatura leva à degradação do hidrogênio gerado. Esta etapa é denominada metamorfismo e seus produtos finais são grafite, gás carbônico e

resíduos de gás metano.

A maturação de uma rocha geradora se refere ao estágio de evolução alcançado pelas mesmas. Uma rocha imatura encontra-se ainda na fase da diagênese, onde ainda não ocorreu a geração de volumes significativos de óleo. A rocha pode ser considerada madura durante a etapa inicial da catagênese, onde ocorre a geração de óleo. Na etapa final da catagênese, ocorre a geração de gás e a rocha já passa a ser considerada senil (PGT, 2013).

Para definir o grau de maturação da rocha usa-se a medida de reflectância da vitrinite (%Ro) (Tabela 01). Esta medida baseia-se na determinação, ao microscópio, do poder refletor das partículas de vitrinite (parte do tecido de plantas) presentes no querogênio.

ESTÁGIO	%Ro	NÍVEL DE MATURAÇÃO
Diagênese	< 0,6	Imaturo
Catagênese	0,60-1,00	zona de óleo
Catagênese	1,00-1,35	Maturo zona regressiva
Catagênese	1,35-2,00	zona de gás úmido
Metagênese	> 2,0	Senil zona de gás seco

Tabela 01: Relação entre o estágio de formação de hidrocarbonetos, valores de reflectância da vitrinite e nível de maturação das rochas geradoras (PGT, 2013).

O processo de expulsão dos hidrocarbonetos do querogênio é chamado de migração primária. A compactação e expansão volumétrica exercida pela quantidade de hidrocarbonetos gerados produz um aumento de pressão, favorecendo a formação de microfraturas por onde o hidrocarboneto flui até chegar à rocha reservatório, caracterizando a migração secundária (PGT, 2013).

- Rocha Reservatório:

Estas rochas devem possuir valores de porosidade e permeabilidade que possibilitem o armazenamento dos hidrocarbonetos gerados na rocha geradora. Em sua maioria, são compostas por arenitos e/ou carbonatos (Monteiro, 2011).

A qualidade do reservatório vai depender do grau de permoporosidade. De um modo geral, a porosidade e a permeabilidade são diretamente proporcionais ao grau de seleção e tamanho dos grãos e inversamente proporcional à esfericidade dos grãos (Monteiro, op cit). Logo, admite-se que a qualidade do reservatório depende do ambiente deposicional, da composição sedimentar e da compactação da camada litoestratigráfica em que se encontra.

- Trapas:

São situações geológicas em que o arranjo espacial de rochas reservatório e rochas selante possibilitam a acumulação do hidrocarboneto (PGT, 2013).

De acordo com a mesma fonte, as trapas podem ser classificadas como sendo estruturais, estratigráficas, hidrodinâmicas ou mistas. As estruturais são aquelas cujo a geometria é resultado de ação tectônica e são relacionadas a falhas, dobras ou diápiros. As estratigráficas resultam de variações litológicas podendo ser de origem deposicional ou pós-deposicional. As hidrodinâmicas formam-se em locais onde o fluxo descendente de água retém o óleo sem nenhum tipo de barreira estratigráfica ou estrutural. As mistas são derivadas de situações em que duas ou mais trapas citadas anteriormente se combinam.

- Rocha Selante ou Capeadora:

Estas rochas são responsáveis pela retenção do hidrocarboneto nas trapas. Apresentam nível muito baixo de permeabilidade e porosidade e possuem característica plástica, impedindo seu fraturamento e consequente escape de fluido.

Os selos mais comuns são compostos por evaporitos e folhelhos.

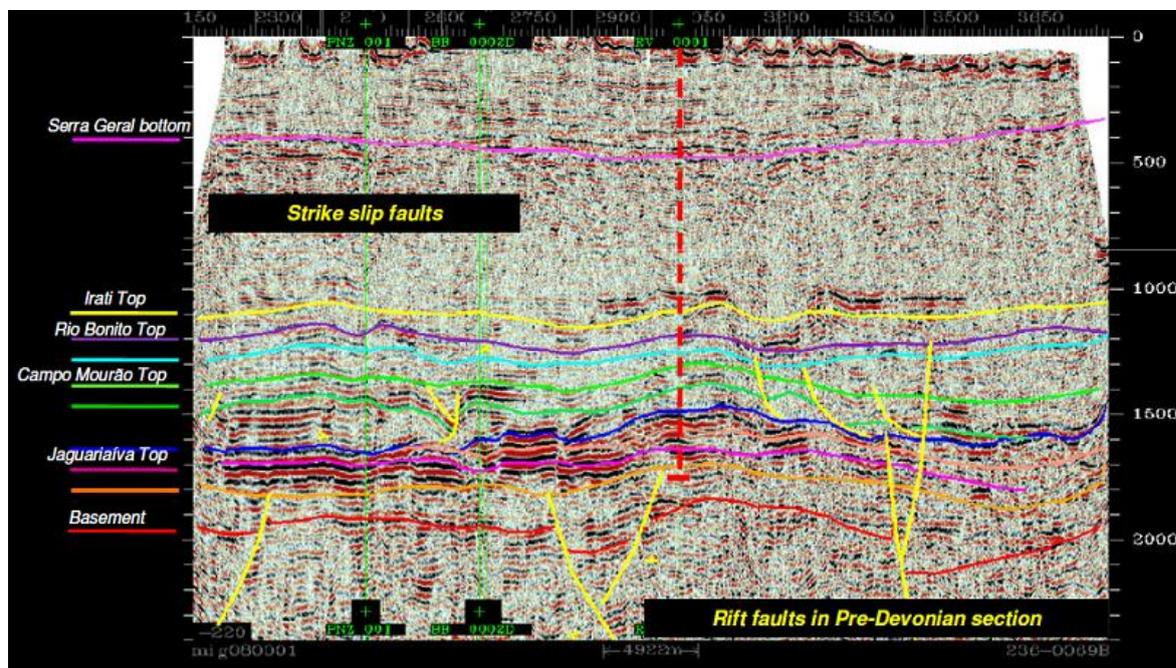


Figura 13: Seção sísmica interpretada da Bacia do Paraná com o topo de unidades litoestratigráficas relacionadas aos elementos dos sistemas petrolíferos (Catto, 2008 apud ANP). O primeiro sistema petrolífero tem sua geradora no topo da Jaguaraiava e reservatório no topo do Campo Mourão, já o segundo sistema petrolífero tem a geradora no topo do Irati. Estruturas do tipo flor e strike-slips confirmam o domínio transpressivo da bacia.

O potencial petrolífero da Bacia do Paraná é definido por dois sistemas petrolíferos: Ponta Grossa-Itararé e Irati-Pirambóia (Figura 13).

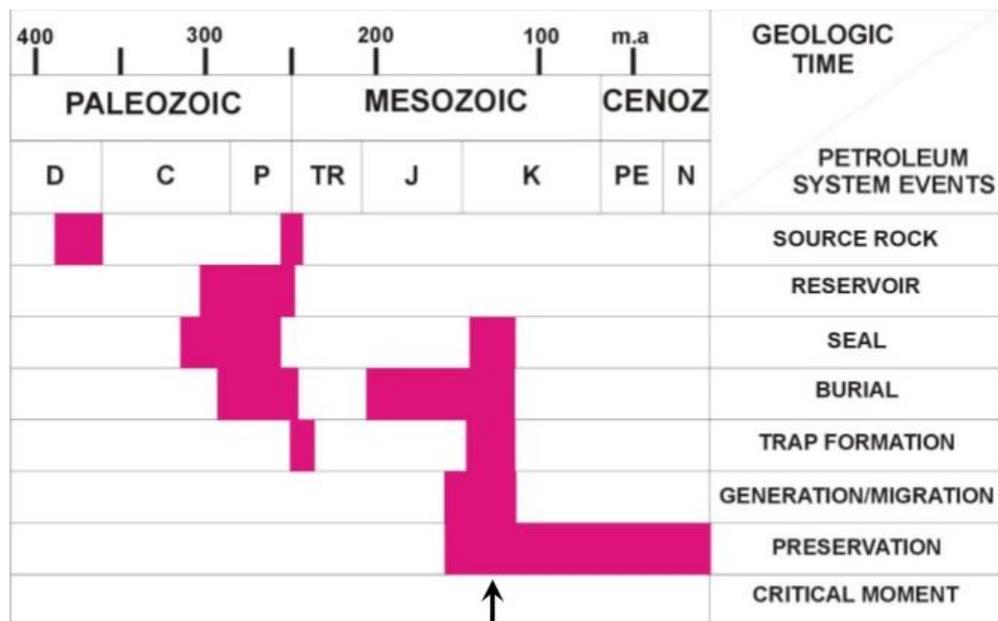


Figura 14: Carta de eventos dos sistemas petrolíferos da Bacia do Paraná (Milani e Zalán, 1999).

4.2 PONTA GROSSA/ITARARÉ

Este sistema petrolífero inclui os folhelhos devonianos da Formação Ponta Grossa, responsáveis pela geração de hidrocarbonetos leves para os arenitos do Grupo Itararé (Figura 15), que correspondem a arenitos glaciogênicos do Permo-carbonífero (Campos *et al.* 1998). Diversas ocorrências de gás e condensado foram constatadas, como o caso da acumulação de Barra Bonita.

Milani *et al.* (2006), afirma que estes folhelhos devonianos são de qualidade média a razoável, possuindo um teor de carbono orgânico residual total máximo de cerca de 4% e um valor médio abaixo de 1%. O mesmo autor constata que os folhelhos estão em elevado estágio de maturação em praticamente todos os domínios da bacia, devido ao stress térmico causado pelos corpos intrusivos do Mesozóico. Possui querogênio tipo III, sendo um bom potencial para a geração de gás (PGT, 2013).

A trapa deste sistema é classificada como estrutural (Rostirolla *et al.* 2008) com evidências de estruturas transpressivas de direção NE e seu selo é predominantemente composto por soleiras de diabásio do magmatismo Serra Geral (Figura 15), que também forneceu caminhos de migração para o óleo a partir de diques e fraturas relacionadas.

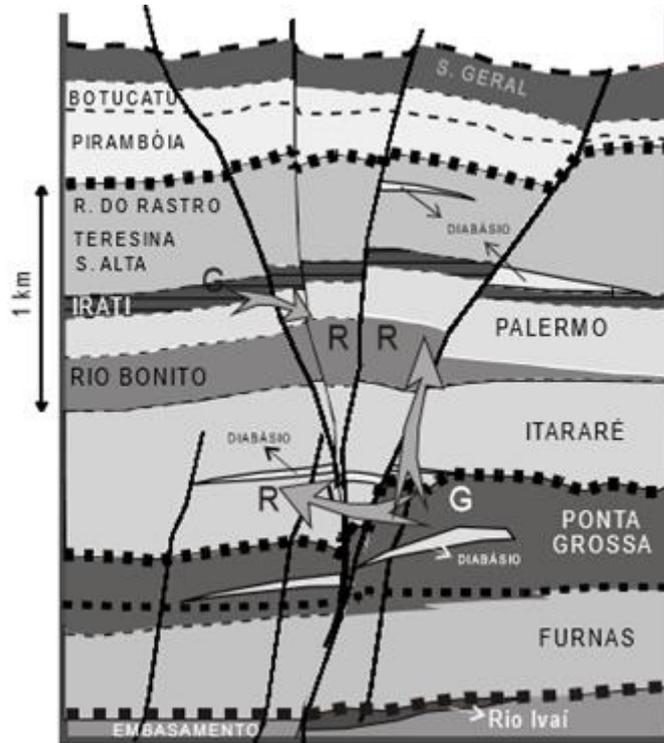


Figura 15: Modelo conceitual de estrutura e acumulação para o sistema petrolífero Ponta Grossa-Itararé. Geração (G) de gás a partir dos folhelhos da Formação Ponta Grossa que foram maturados devido à intrusão ígnea, migração principalmente vertical ao longo de falhas transcorrentes aos reservatórios arenosos (R) do Grupo Itararé, acumulação em trapas estruturais condicionadas às diversas fases de reativação de paleoestruturas e retenção por camadas selantes de diabásio (Artur e Soares, 2002).

4.3 IRATI/ PIRAMBÓIA

Segundo Campos *et al.* (1998), o sistema petrolífero Irati/Pirambóia combina geração a partir dos folhelhos permianos betuminosos da Formação Irati e acumulação em arenitos da Formação Pirambóia (Figura 16).

Os folhelhos betuminosos estão presentes na porção sul da Bacia do Paraná e exibem um COT residual de até 23%, com óleos de densidade API de 22° a 33° (Milani *et al.* 2006). A matéria orgânica é de predomínio algal com rica composição lipídica (Milani, *op cit.*). O querogênio é do tipo I, normalmente encontrado em rochas geradoras depositadas em ambiente lacustre, e possui maior probabilidade de geração de óleo (PGT, 2013).

As trapas deste sistema podem ser estruturais ou estratigráficas. As rochas selantes possuem origens distintas, acredita-se que em zonas deformadas, soleiras de diabásio atuam como bons selos, enquanto que, nas regiões mais estáveis, seriam os arenitos argilosos intercalados na sedimentação (Artur e Soares, 2002). Falhas, fraturas e paredes de diques teriam fornecido caminhos de migração para este sistema (Figura 16).

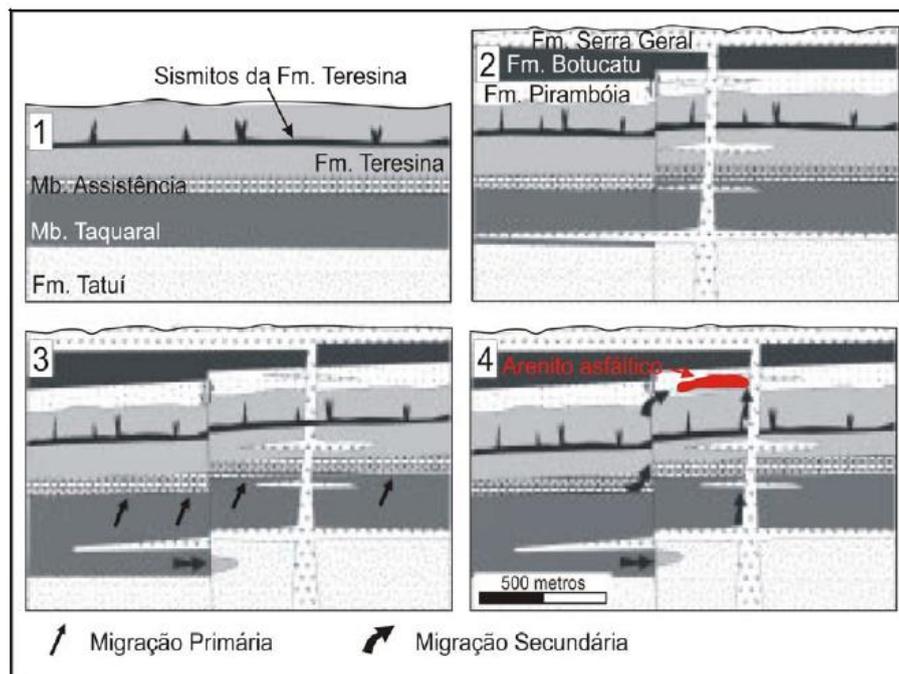


Figura 16: Modelo evolutivo para geração, migração e acumulação para os arenitos asfálticos (arenitos impregnados por óleo) da Bacia do Paraná (modificado de Araújo et al., 2004).

5-PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE HIDROCARBONETOS

A Bacia do Paraná não apresenta um grande histórico de descobertas significativas e lucrativas de hidrocarbonetos. Um programa exploratório realizado pela PETROBRAS de 1988 a 1996 foi responsável pela descoberta dos primeiros poços rentáveis (Campos *et al.* 1998). Sua extensa área e adversidades geológicas podem explicar a baixa produtividade desta bacia.

Apesar disto, são registradas diversas formas de ocorrências de hidrocarbonetos com reservas lucrativas que serão descritas a seguir.

5.1 CAMPO DE BARRA BONITA



Figura 17: Localização do campo de Barra Bonita (Google Maps).

Em 1996, A PETROBRAS concluiu a descoberta do campo de Barra Bonita, a primeira descoberta comercial de gás da Bacia do Paraná, apresentando um potencial de produção superior a 200.000 m³/dia de gás em cada um dos dois poços perfurados (Figura 18), localizados no centro de uma das regiões mais industrializadas do país, no município de Pitanga, Paraná (Figura 17) (Campos *et al.* 1998).



Figura 18: Teste de poço no campo de gás de Barra Bonita (ANP).

Informações acerca da porosidade e permeabilidade obtidas a partir de dados de poço permitiram afirmar que o reservatório de gás é composto pelos arenitos glaciogênicos da Formação Campo Mourão/Grupo Itararé (Campos *et al.* op cit). O autor também afirma que o selo deste campo é composto por soleiras de diabásio associadas ao vulcanismo Serra Geral. A porção basal da soleira encontra-se fraturada, permitindo acumulação de gás.

Rostirolla *et al.* (2008) admite que as trapas do sistema Ponta Grossa/Itararé são essencialmente estruturais, formadas em um domínio transpressivo. Acredita-se que a trapa da concentração de gás no campo de Barra Bonita é predominantemente composta por estruturas em flor positiva (Figura 19).

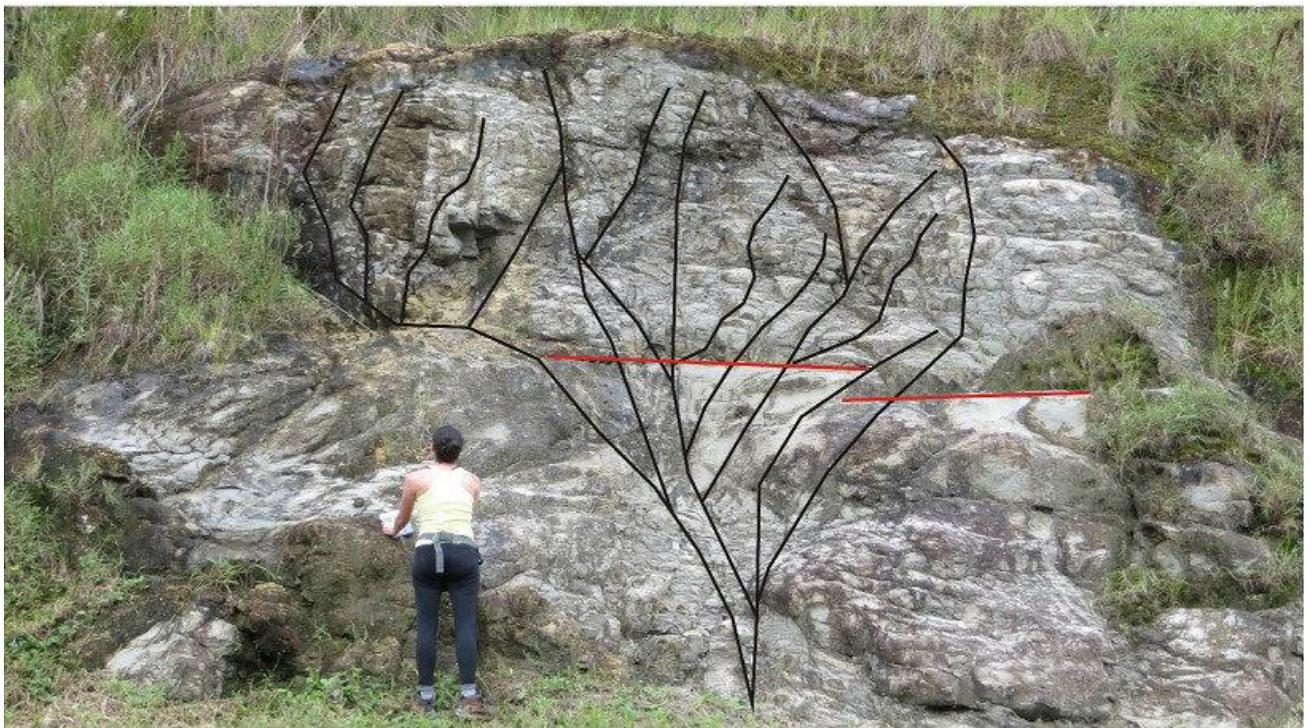


Figura 19: Estrutura em flor positiva caracterizando uma transtensão, a semelhança da interpretação da trapa do campo de Barra Bonita.

5.2 MINA DE SÃO MATEUS DO SUL (SIX)



Figura 20: Localização da SIX (Google Maps).

Em 1991, após anos de exploração, foi consolidada a industrialização (extração e processamento) do folhelho da mina de São Mateus do Sul (PR) (Figura 20), com o uso da tecnologia Petrosix®, criada e patenteada pela PETROBRAS. Este “xisto”, ou folhelho pirobotuminoso, da Formação Irati (Membro Assistência) (Figura 21 e 22), com elevado conteúdo de matéria orgânica, pode ser convertido em óleo e gás a partir de um processo de aquecimento (pirólise).

Produtos como óleo combustível, nafta, gás combustível, gás liquefeito, enxofre e insumos para pavimentação utilizados em diferentes setores tais como cerâmica, refinaria de petróleo, cimenteira e usinas de açúcar e agricultura são produzidos nesta unidade. Também é produzido um insumo para a formulação de fertilizantes, a partir da água produzida durante a retorta. Estes produtos atendem à demanda dos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo.

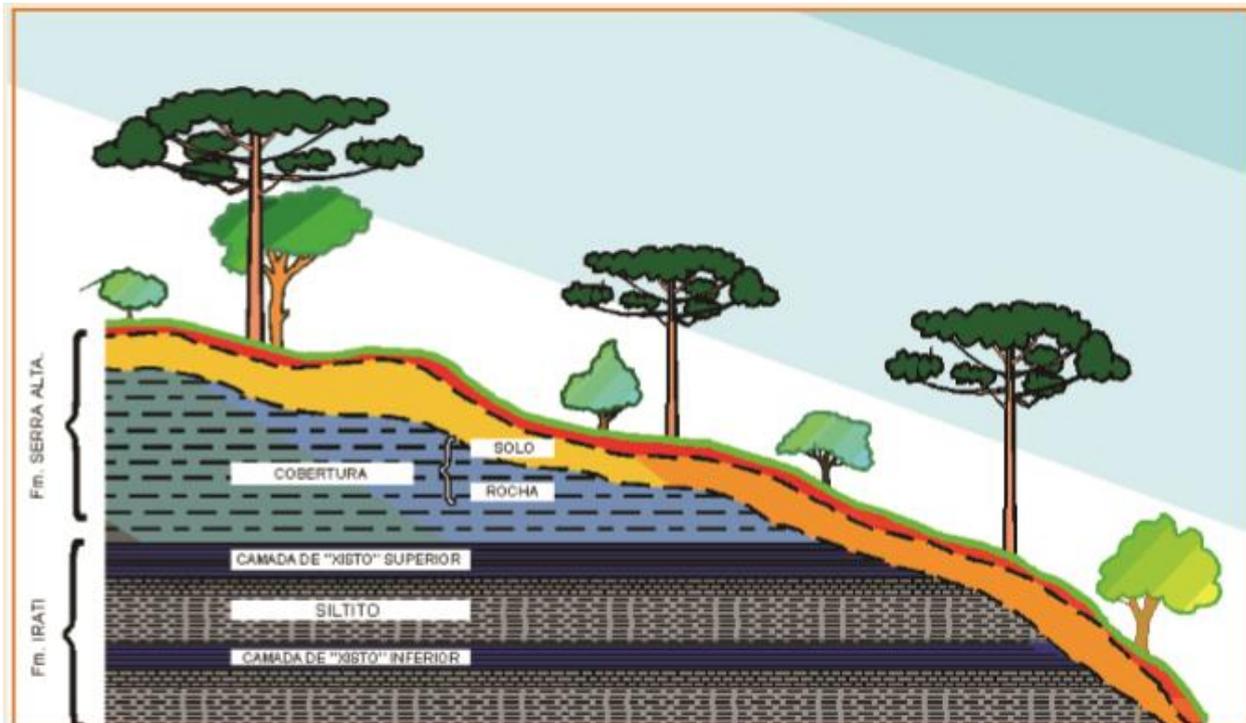


Figura 21: Sucessão estratigráfica da área da SIX (Porto Alegre, 1995).



Figura 22: Máquina (dragline) responsável pela retirada da camada referente a Formação Serra Alta (cobertura) para que seja possível a extração das camadas inferiores de folhelho preto da Formação Irati. Pode-se perceber a remoção ocorrida do lado esquerdo e a deposição do resíduo no lado direito, deixando livre o folhelho preto para ser minerado.

5.3 ARENITOS ASFÁLTICOS NO ALTO ESTRUTURAL DE ANHEMBI

Araújo *et al.* (2003), afirma que existem duas regiões principais de ocorrência de arenitos asfálticos ou betuminosos na borda leste da Bacia do Paraná. Uma delas é a região do Alto Estrutural do Anhembi, localizada na depressão do Rio Tietê no estado de São Paulo (Figura 23), com afloramentos de rochas permianas em meio a rochas triássicas.

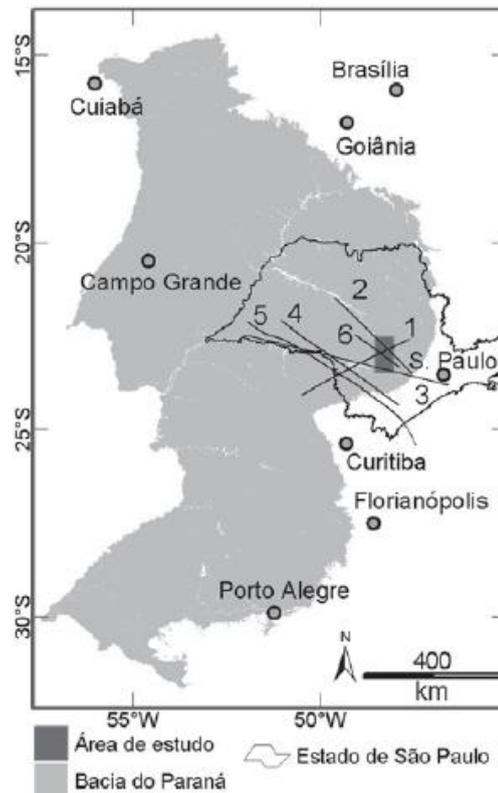


Figura 23: Localização de ocorrência dos arenitos asfálticos no estado de São Paulo (Araújo et al. 2003).

Nesta área, segundo o mesmo autor, os arenitos da Formação Pirambóia são preenchidos por betume proveniente da rocha geradora da Formação Irati. A distribuição do hidrocarboneto nem sempre é homogênea devido às diferenças faciológicas dos arenitos que causam variações na permeabilidade e porosidade (depósitos de interdunas). Intrusões vulcânicas da Formação Serra Geral tiveram influência em todas as etapas do sistema petrolífero Irati/Pirambóia: ao mesmo tempo que possibilitou a maturação da rocha geradora, permitiu a migração ao longo de paredes de diques e selou o sistema com a presença de soleiras de diabásio.

A Figura 24 comprova o efeito de um basculamento da área devido à ação tectônica, expondo a camada de basalto selante que foi conseqüentemente erodida, permitindo a exumação da jazida, onde afloram as camadas de arenito asfáltico



Figura 24: Seção geológica da Bacia do Paraná, indicando a área dos arenitos oleíferos (Modificado de Araújo et. al. 2000).

6-ROTEIRO GEOLÓGICO

O trajeto do campo priorizou a parte norte/leste da Bacia do Paraná, nos estados de São Paulo e Paraná. Neste percurso é possível obter uma boa noção da história geológica da bacia e dos seus sistemas petrolíferos.

Para se observar os elementos litológicos do sistema petrolífero Ponta Grossa/Itararé (Figura 25) visitou-se a Fazenda Vila Velha onde afloram os folhelhos geradores devonianos da Formação Ponta Grossa. Os arenitos glaciogênicos do Grupo Itararé vistos no Parque Estadual de Vila Velha e no Parque Estadual do Monge, representam as rochas reservatório. O modelo de trapa para este sistema é o campo de Barra Bonita, a qual foi interpretada como uma estrutura de transpressão produzida por falhas transcorrentes de direção nordeste. Estrutura em flor positiva, análoga a este mecanismo, foi visualizada em um corte de estrada próximo a cidade de Tibagi também no Paraná. O selo deste sistema, interpretado como soleiras de diabásio da formação Serra Geral, pôde ser visto na pedra de Stavias, próximo a cidade de Rio Claro, São Paulo.

O sistema petrolífero Irati/Pirambóia (Figura 25) tem como rocha geradora os folhelhos permiânicos da Formação Irati que afloram na pedra da SIX-Petrobras, em São Mateus do Sul. Os reservatórios são os arenitos eólicos da Formação Pirambóia vistos em corte de rodovia próximo a cidade de Charqueada e preenchidos com óleo/asfalto na Fazenda Betumita, ambas no estado de São Paulo.

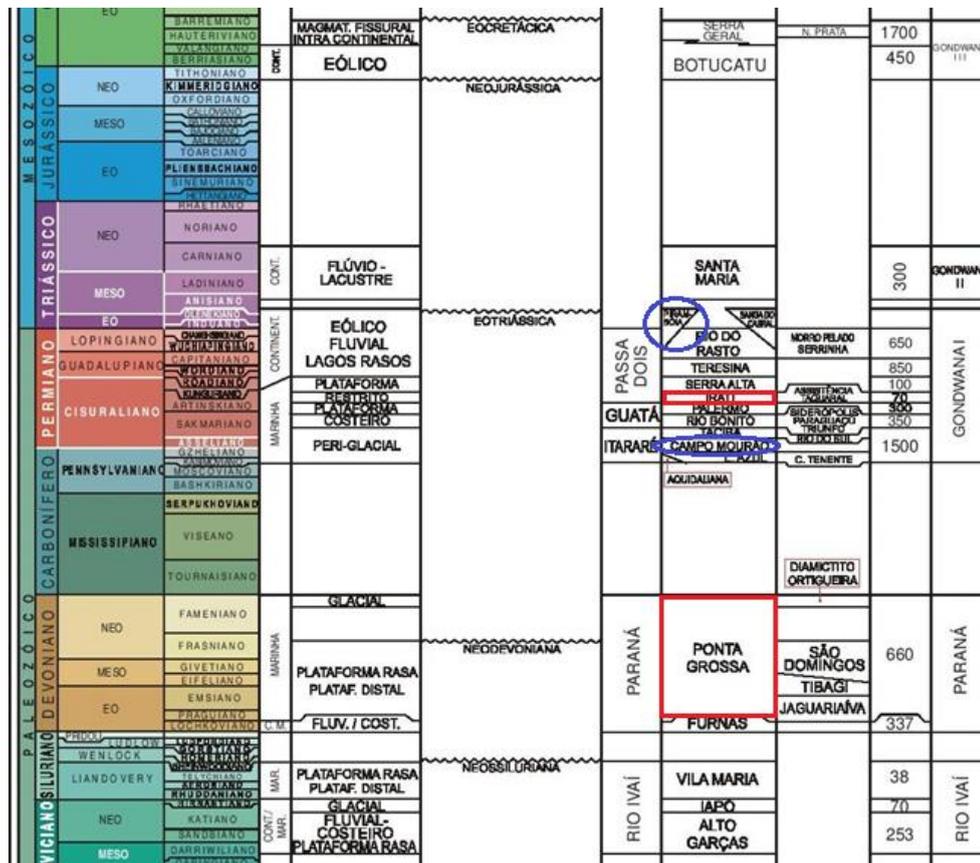


Figura 25: Carta estratigráfica modificada e detalhada, evidenciando os sistemas petrolíferos, onde as rochas geradoras são marcadas por um retângulo vermelho e as rochas reservatório, por uma elipse azul (modificado de Milani et al. 2007).

Ao todo foram percorridos aproximadamente 3.000 km em seis dias, com saída do Rio de Janeiro no dia 25/02/2016 e retorno no dia 01/03/2016 e, selecionadas dez paradas para compor o roteiro geológico (Figura 26).

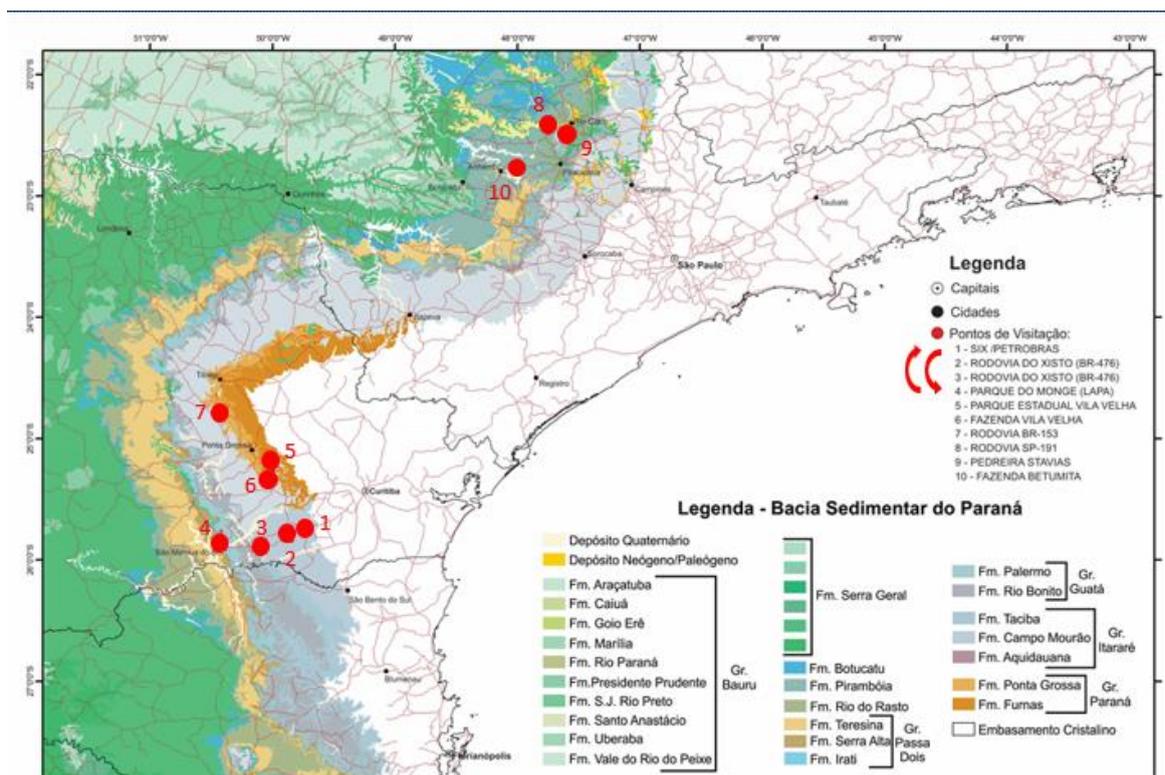


Figura 26: Mapa do roteiro geológico.

1º dia: Trajeto Curitiba – Lapa – São Mateus do Sul – Ponta Grossa

PONTO - 01: Parque do Monge, Lapa – Paraná (coordenadas em UTM (m) - X: 630655 e Y: 7148002)

O Parque Estadual do Monge foi criado em 1962 e possui uma área de 371,6 hectares. Nele encontram-se afloramentos de arenitos de paleocanais de geleiras da Formação Campo Mourão – Grupo Itararé (Figuras 27 e 28).

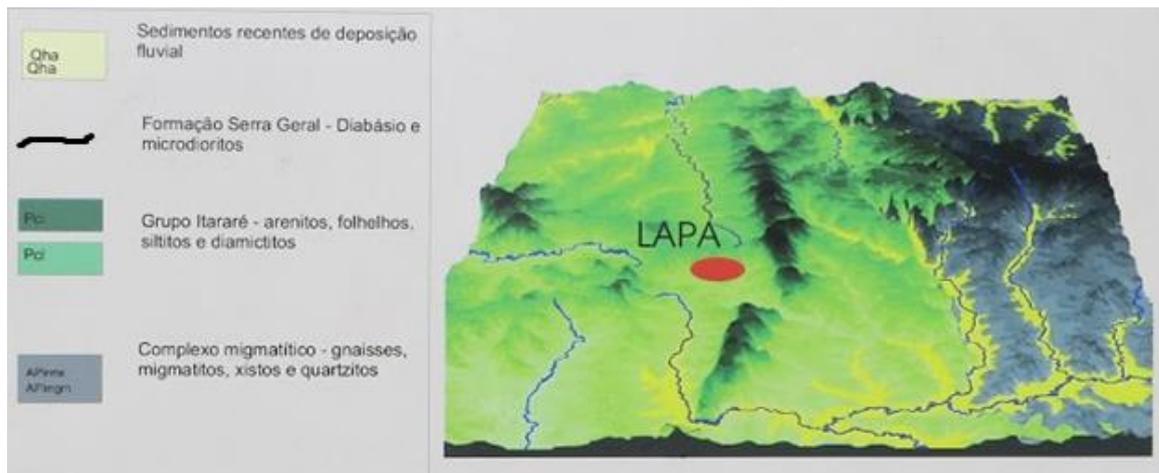


Figura 27: Modelo em 3D do relevo da região, evidenciando uma serra alongada com sentido N-S. Foto tirada do painel de informações do Parque do Monge.



Figura 28: Topo da serra alongada mostrada na figura anterior. Nota-se sua elevada altitude sobressaindo-se de forma marcante na topografia.

A deposição do arenito Lapa (Formação Ponta Grossa) foi resultado do preenchimento de um canal com 100 km de extensão e 1000 m de largura que hoje constitui a Serra do Monge. Este canal, com direção NW (Figura 30), teve sua formação durante a ocorrência de glaciações no Carbonífero Superior (França *et al.* 1996), no limite entre as geleiras existentes e um ambiente de águas rasas (Figura 29). Em um ambiente de nível de mar alto, sedimentos finos e blocos de gelo com clastos ficam suspensos na água e, devido à ação da gravidade, são depositados no fundo do mar, formando depósitos de diamictitos, ritmitos e folhelhos. Com o nível do mar abaixando, esta área é exposta à erosão e são formados vales incisivos que, com um posterior aumento do nível do mar, são preenchidos por areias.

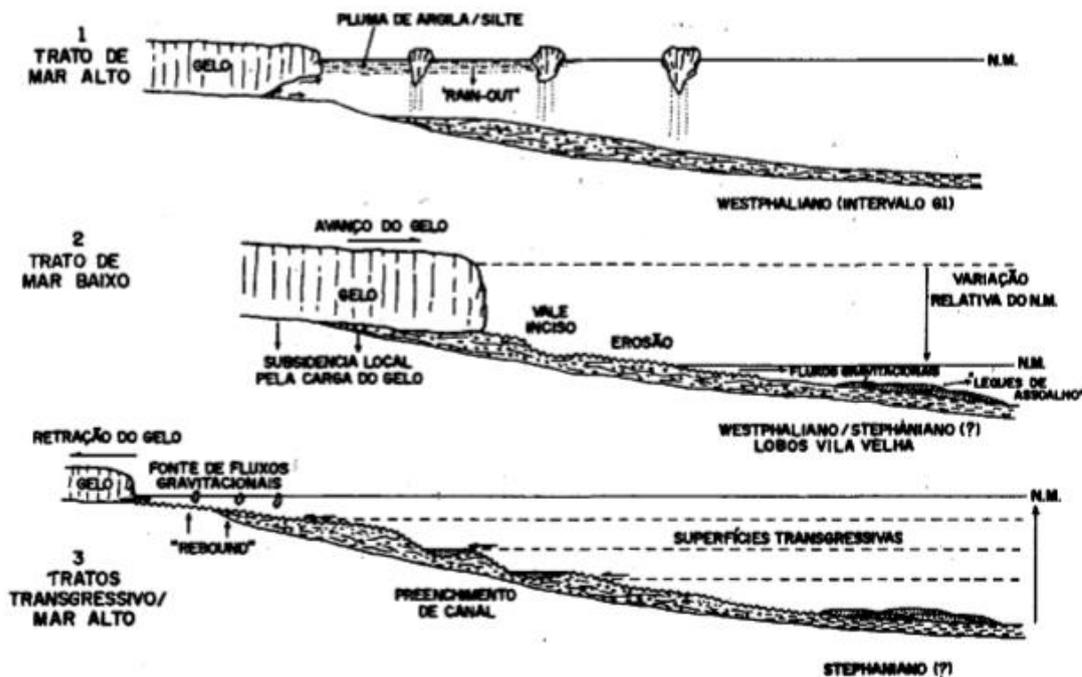


Figura 29: Modelo deposicional esquemático para o Grupo Itararé (França *et al.*, 1996).

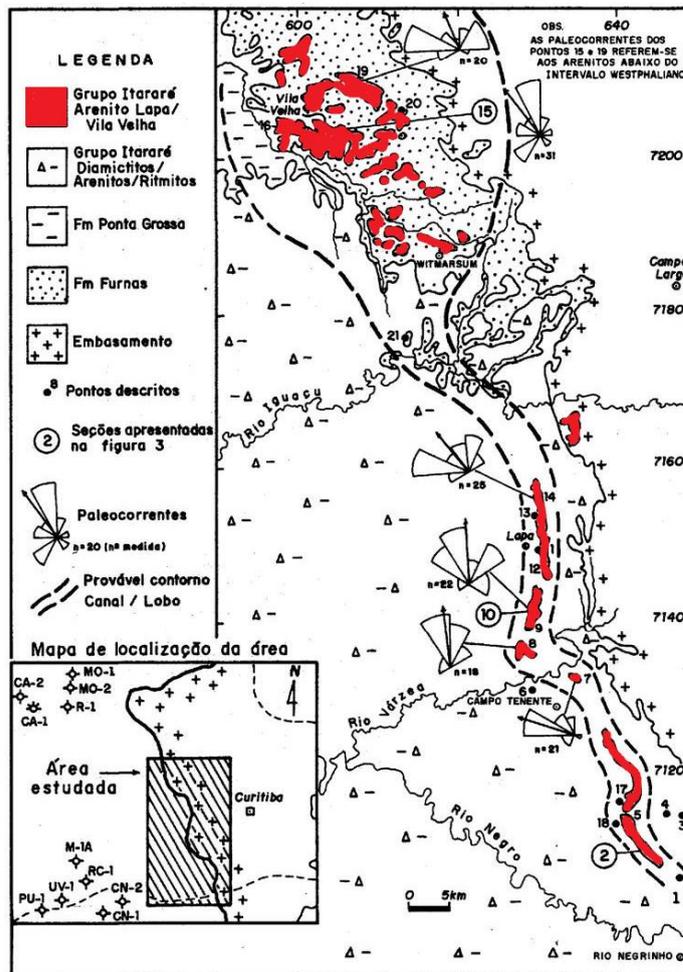


Figura 30: Mapa geológico do sudeste do Paraná, com a representação do trato deposicional canal-lobos interpretado para os arenitos Lapa e Vila Velha (França et al., 1996).

Estratificações e estruturas sigmoidais são encontradas nos arenitos e suportam com a interpretação de paleocanais (Figuras 31, 32 e 33).



Figura 31: Detalhe do arenito mineralogicamente imaturo onde pode-se observar o bem preservado grão de feldspato indicando uma rápida deposição característica de ambiente glacial.



Figura 32: Estrutura sigmoidal encontrada no arenito Lapa.

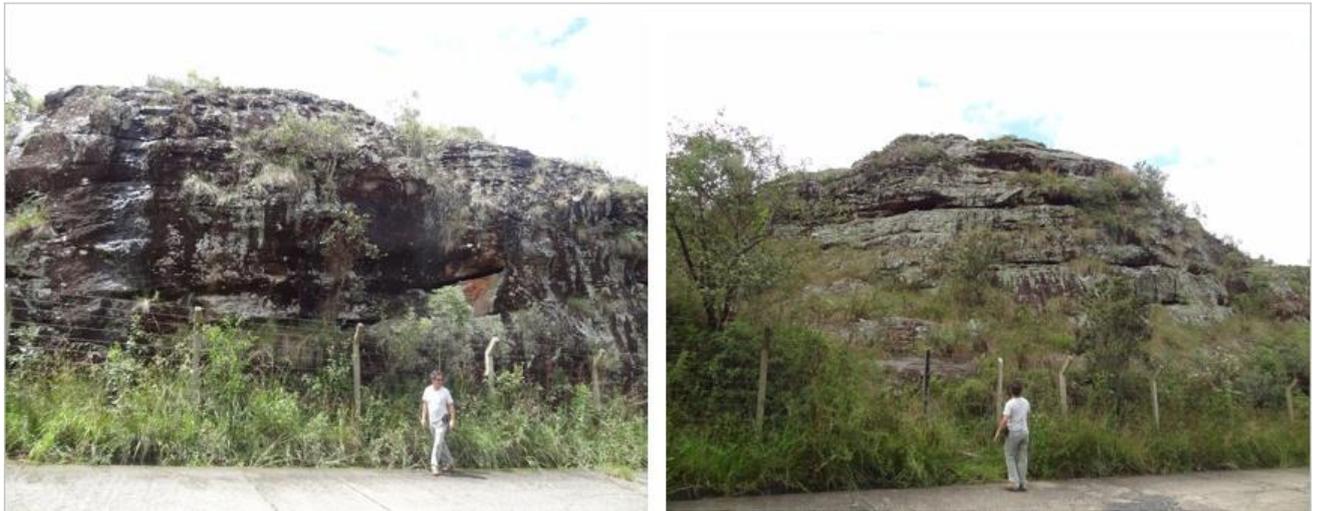


Figura 33: Camadas bem demarcadas e estratificadas.

PONTO - 02: Rodovia do Xisto (BR 476) – Paraná (coordenadas em UTM (m) - X: 614663 e Y: 7147750)

Neste corte da rodovia, observam-se arenitos litologicamente análogos ao Arenito Lapa, porém, estratigraficamente mais jovens (Figura 34).



Figura 34: Em (A) pelitos basais, (B) arenito maciço sigmoidal, (C) intervalo com arenito com estratificações cruzadas de grande porte e (D) retorna outro corpo de arenito maciço.

PONTO - 03: Rodovia do Xisto (BR 476) – Paraná (coordenadas em UTM (m) – X:595793 e Y: 7137750)

O corte da rodovia exhibe excelente afloramento de ritmitos (Figuras 35 e 36) estratigraficamente mais jovens as rochas encaixantes dos paleocanais dos arenitos Lapa, diamictitos.



Figura 35: Ritmitos mais jovens, contudo, faciologicamente associados aos diamictitos das encaixantes do Arenito Lapa.



Figura 36: Detalhe da camada de ritmo.

PONTO - 04: SIX PETROBRAS Mina de São Mateus do Sul – Paraná (coordenadas em UTM (m) - X: 560564 e Y: 7139773)

A visita à mina foi conduzida pelo engenheiro Fernando Susinski (Figura 37).

Nesta parada foi possível observar os folhelhos negros e imaturos da Formação Irati, que se tornaram rochas geradoras induzidas pela temperatura gerada durante as intrusões de soleiras de diabásio da Formação Serra Geral, uma vez que não houve o soterramento adequado para atingir a maturação.

Nos afloramentos também é notável a presença de camadas de siltitos, folhelhos e margas evidenciando um ambiente deposicional aquoso de baixa energia.

A extração é feita em duas camadas: uma superior mais espessa (Figura 38 e 39) e uma inferior, separadas por um intervalo siltíco-carbonático.



Figura 37: Parte inferior. É possível notar uma camada de folhelho abaixo, uma de folhelhos e margas acima e entre elas uma camada de siltito.



Figura 38: Parte superior. Notando-se uma grande camada de folhelho abaixo e siltitos acima.



Figura 39: Detalhe da parte superior. Folhelhos intercalados com cinza vulcânica e calcita.

2º dia: Trajeto Ponta Grossa – Vila Velha – Tibagi - Ourinhos

No segundo dia do campo, contamos com a colaboração do professor Fernando Vesely (UFPR – Curitiba).

PONTO - 05: Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa – Paraná (coordenadas UTM (m) – X: 600956 e Y:7206623)

O Parque Estadual de Vila Velha foi criado em 1953 com a finalidade de conservação das estruturas geológicas, fauna e flora da região. O principal atrativo do parque são os arenitos da Formação Furnas, Grupo Itararé (Figuras 40, 41 e 42).

França *et al.* (1996) interpretam que estes arenitos, depositados em um contexto de sedimentação periglacial ou glacialmente induzida, são lobos subaquosos alimentados pelo sistema de canais do arenito Lapa, como mostrado na Figura 30. Estes foram interpretados como sendo os reservatórios do campo de gás de Barra Bonita no Paraná.



Figura 40: Lobos arenosos do Grupo Itararé, vistos do Parque Estadual de Vila Velha.



Figura 41: Testemunhos dos lobos fortemente afetados por erosão.



Figura 42: "A Taça", monumento do Parque Estadual de Vila Velha.

PONTO - 06: Fazenda Vila Velha, Ponta Grossa – Paraná (coordenadas UTM (m) – X: 598770 e Y: 7202112)

Dentro da Fazenda Vila Velha, no corte de uma linha férrea, são vistos afloramentos das formações Ponta Grossa (folhelhos) e Furnas (arenitos), os primeiros são representantes dos geradores do sistema petrolífero Ponta Grossa-Itararé (Figura 43). Os folhelhos devonianos geradores estão em contato com os arenitos Vila Velha, Grupo Itararé, por uma discordância angular, indicativo de tectonismo. O expressivo hiato deposicional observado na carta estratigráfica foi possivelmente ampliado pela ação erosiva das geleiras.

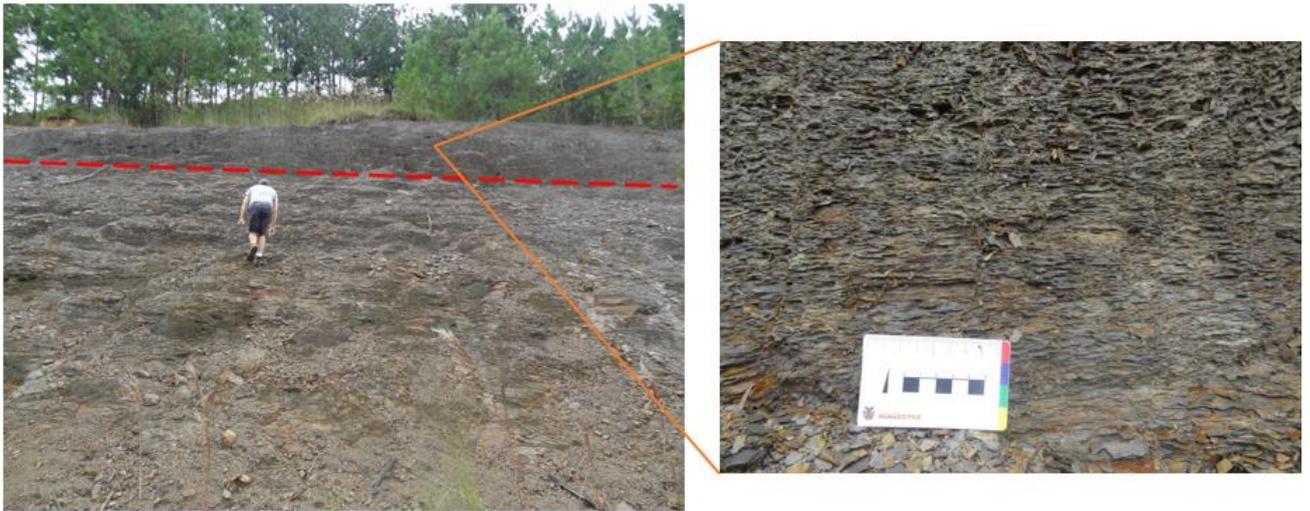


Figura 43: Folhelhos da Formação Ponta Grossa. A linha tracejada delimita a camada superior de folhelhos.

A concentração fossilífera é grande, evidenciando um ambiente com pouca oxigenação, favorável à preservação da matéria orgânica (Figuras 44 e 45).



Figura 44: Detalhe de um fóssil (Lingula?).



Figura 45: Fósséis conchoidais da Formação Ponta Grossa.

PONTO - 07: Rodovia BR 153 – Paraná (coordenadas UTM (m) – X: 554438 e Y: 7259534)

Neste corte da estrada, estruturas do tipo flor positiva estão presentes e indicam um conjunto de falhas transcorrentes de direção N74W e mergulho 76NE em um domínio de transpressão (Figuras 46, 47 e 48). Esta zona transpressiva pode ser considerada como análoga a que gerou a trapa do campo de Barra Bonita, sistema petrolífero Ponta Grossa/ Itararé.



Figura 46: Vista panorâmica de duas estruturas do tipo flor positiva. A área marcada em vermelho é vista no detalhe a seguir.



Figura 47: Estrutura em flor positiva. Detalhe da figura anterior.



Figura 48: Plano limítrofe da zona de falha de direção N74W e mergulho 76NE.

3º dia: Trajeto Ourinhos – Rio Claro

A partir deste dia, o professor Iata Anderson (UNESP – Rio Claro) se integrou ao grupo.

PONTO - 08: Rodovia Irineu Pentead, SP 191 – São Paulo (coordenadas em UTM (m) – X: 800448 e Y: 7531987).

No corte da rodovia, observam-se os arenitos eólicos da Formação Pirambóia, considerados os reservatórios do sistema petrolífero Irati/Pirambóia. Sua granulometria fina e o bom selecionamento de grãos, as estratificações de alto ângulo e superfícies de truncamento, refletem a deposição em um ambiente de dunas (Figuras 49, 50 e 51).



Figura 49: Vista panorâmica dos arenitos eólicos da Formação Pirambóia.



Figura 50: Camadas bem estratificadas e demarcadas dos arenitos eólicos da Formação Pirambóia.



Figura 51: Estratificações cruzadas do arenito eólico da Formação Pirambóia.

4º dia: Trajeto Rio Claro – Anhembi

PONTO - 09: Pedreira Stavias, Rodovia SP 127 – São Paulo (coordenadas em UTM (m) – X:233658 e Y: 7511002)

A pedreira de Stavias consiste na extração de diabásio da Formação Serra Geral para uso na construção civil. Esta soleira de diabásio de aproximadamente 40 metros de espessura aflorante, assemelha-se ao capeador do Campo de Barra Bonita, sendo o selo do sistema petrolífero Ponta Grossa-Itararé (Figuras 52 e 53).



Figura 52: Vista panorâmica da pedreira de Stavias.



Figura 53: Soleira de diabásio da pedreira de Stavias. Notar as camadas planas na parte superior, indicativo da intrusão interestratal, característica de soleiras. Escala: ônibus marcado em laranja.

PONTO - 10: Fazenda Betumita, Anhembi– São Paulo (coordenadas em UTM (m) – X: 835744 e Y: 7510757.

Nesta fazenda (Figura 54), comprova-se o sistema petrolífero Irati/Pirambóia pela presença de asfaltos nos arenitos eólicos da Formação Pirambóia



Figura 54: Gravura da antiga usina de extração do folhelho betuminoso que funcionava na fazenda. A foto foi cedida pelo dono da fazenda.

O ambiente eólico visto no Ponto – 09, aqui foi preenchido por óleo gerado na Formação Irati e posteriormente biodegradado em função da exposição dos reservatórios, (Figuras 55 e 57) provocada por um tectonismo que basculou camadas com a consequente exposição e erosão do basalto selante da Formação Serra Geral.



Figura 55: Estratificações cruzadas evidenciando um ambiente deposicional eólico.

Nos afloramentos é possível visualizar segmentos sem óleo (áreas brancas), estes podem ser interpretados como depósitos de interdunas (Figura 56), os quais produzem uma heterogeneidade no reservatório, atuando como barreiras estratigráficas à migração.



Figura 56: Depósitos de interdunas (áreas brancas) que atuam como barreiras estratigráficas à migração.

Devido à ação térmica de soleiras de diabásio do magmatismo Serra Geral, o óleo foi gerado na Formação Irati e migrou ao longo de falhas e paredes de diques para os depósitos eólicos.



Figura 57: Arenito asfáltico da Formação Pirambóia. Notar a granulometria extremamente fina relacionada aos arenitos eólicos da Formação Pirambóia.

7-CONCLUSÕES

O trabalho proposto teve seus objetivos alcançados a partir de pesquisas bibliográficas sobre a história geológica da bacia e de seus sistemas petrolíferos que puderam ser observados e confirmados no roteiro de campo.

A dinâmica de campo utilizada foi satisfatória pois pode-se contemplar todas as estruturas importantes que formam ambos os sistemas petrolíferos.

Foi possível perceber a grandeza da bacia, tanto em área quanto na sua história evolutiva, já que abrange diversos tipos litológicos relacionados a diferentes ambientes deposicionais desenvolvidos em um longo período de tempo. Entendeu-se a importância e o tamanho dos eventos magmáticos ocorridos na área que, além de modificar o cenário geológico, participaram de forma expressiva em todas as etapas de formação dos sistemas petrolíferos.

8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. Disponível em: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round10/arquivos/seminarios/STA_4_Bacia_do_Parana_ingles.pdf. Acesso em: 10/03/2016.

ARAÚJO, L. M.; Triguis, J. A.; Cerqueira J.R.; Freitas L. D. S. *The atypical Permian Petroleum System of the Paraná Basin, Brazil*. AAPG Memoir 73, Chapter 26, p. 377-402, 2000.

ARAÚJO, C.C., Yamamoto, J.K., Madrucci, V. *Análise morfoestrutural em área de ocorrência de arenito asfáltico, Bacia do Paraná, São Paulo*. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v.24, n.1/2, p. 25-41, 2003

ARAÚJO, C.C., Yamamoto, J.K., Rostirolla, S.P. *Distribuição espacial e caracterização geológica dos arenitos asfálticos da borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo*. Rev. Bras. Geol. v. 34, n. 2, p. 187-200, 2004.

ARTUR, P. C., SOARES, P. C. *Paleoestruturas e Petróleo na Bacia do Paraná*. Revista Brasileira de Geociências, v.32, n.4, p. 433-448, 2002.

CAMPOS, L. D., Milani, E., Toledo, M. A., Queiroz, R. J. O., Catto, A., & Selke, S. *Barra Bonita: a primeira acumulação comercial de hidrocarboneto da Bacia do Paraná*. Brazilian Petroleum Institute, Rio Oil & Gas Conference, Rio de Janeiro, Brazil, *IBP17198, atas, 7p*, 1998.

FERNANDES, Luiz Alberto; COIMBRA, Armando Marcio. *A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil)*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 68, n. 2, p. 195-206, 1996.

FRANÇA, A. B.; WINTER, W. R.; ASSINE, M. L. *Arenitos Lapa-Vila Velha: um modelo de trato de sistemas subaquosos canal-lobos sob influência glacial, Grupo Itararé (CP), Bacia do Paraná*. Brazilian Journal of Geology, v. 26, n. 1, p. 43-56, 1996.

MAGOON, Leslie B., and Wallace G. DOW. *The Petroleum System: Chapter 1: Part I. Introduction*. p. 3-24, 1994.

MILANI E.J. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul ocidental*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UFRGS, 1997.

MILANI, Edison J., e Victor A. RAMOS. *Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná*. Revista Brasileira de Geociências v.28, n.4, p. 473-484, 1998.

MILANI E.J., ZALÁN P.V. *An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America*. Episodes, v.22, n.3, p. 199-205, 1999.

MILANI, E. J., FRANÇA A. B., MEDEIROS R. A. *Rochas geradoras e rochas-reservatório da Bacia do Paraná, faixa oriental de afloramentos, Estado do Paraná*. Boletim de Geociências da Petrobras v.15, n.1, p. 135-162, 2006.

MILANI E.J., MELO, J.H.G, SOUZA, P.A., FERNANDES, L.A., FRANÇA, A.B. *Bacia do Paraná*. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p. 265-287, 2007.

MILANI, E. J., BRANDÃO, J. A. S. L., ZALÁN P. V., GAMBOA L. A. P. *Petróleo na Margem Continental Brasileira: Geologia, Exploração, Resultados e Perspectivas*. Brazilian Journal of Geophysics, v.18, n. 3, p. 1-46, Rio de Janeiro, 2000.

MILANI, E. J. *Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná*. MANTESSONETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, CDR, p. 265-291, 2004.

MONTEIRO, P. 2011. *Petróleo e Gás. Aula 4. Geologia do Petróleo*: <http://pt.slideshare.net/Pedrujr/aula-4-petrleo-prof-pedro-ibrapeq-7966464>. Acesso em: 25/02/2016

PETROBRAS. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/unidade-de-industrializacao-do-xisto-six.htm>. Acesso em: 25/02/2016.

PGT. PETROLEUM GEOSCIENCE TECHNOLOGY. *Geologia do Petróleo*. Disponível em: http://albertowj.files.wordpress.com/2010/03/geologia_do_petroleo.pdf. Acesso em: 03/03/2016.

PORTO ALEGRE, H. K. *Aspectos hidrogeológicos em área reabilitada na mineração do xisto em São Mateus do Sul, Paraná, Brasil*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

RENNE, P. R., ERNESTO, M., PACCA, I. G., COE, R. S., GLEN, J. M., PRÉVOT, M., & PERRIN, M. *The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary*. *Science*, v. 258, n.5084, p. 975-979, (1992).

ROSTIROLLA, S. P., ASSINE, M. L., FERNANDES, L. A., & ARTUR, P. C. *Reativação de paleo-lineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná-o exemplo do alto estrutural de Quatiguá*. *Brazilian Journal of Geology*, v.30, n. 4, p. 639-648, 2008.

TISSOT, Bernard P.; WELTE, Dietrich H. *Petroleum formation and occurrence*. Springer Science & Business Media, 2013.

ZALÁN, P. V., WOLFF, S., CONCEIÇÃO, J. D. J., MARQUES, A., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., e ZANOTTO, O. A. *Bacia do Paraná. Origem e evolução das bacias sedimentares*, p. 135-168, 1990.

