



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Geologia

**Caracterização geológica da ocorrência de óleo na Formação Rio Bonito associada a um modelo não convencional de geração**

Ivan Soares Loufi

Rio de Janeiro

2011

Ivan Soares Loufí

**Caracterização geológica da ocorrência de óleo na Formação Rio Bonito associada a um modelo não convencional de geração**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Análise de Bacias.

**Orientador: Prof. Dr. Egberto Pereira**

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

L893 Loutfi, Ivan Soares.

Caracterização geológica da ocorrência de óleo na  
Formação Rio Bonito associada a um modelo não  
convencional de geração / Ivan Soares Loutfi. – 2011.  
xxx f.

Orientador: Egberto Pereira.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Geologia estratigráfica – Teses. 2. Paraná, Rio, Bacia -  
Teses. I. Pererira, Egberto. II. Universidade do Estado do Rio  
de Janeiro. Faculdade de Geologia. III. Título.

CDU 551.7 (282.281.62)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

---

Assinatura

Data

Ivan Soares Loufí

**Caracterização geológica da ocorrência de óleo na Formação Rio Bonito associada a um modelo não convencional de geração**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Análise de Bacias.

Aprovado em 31 de março de 2011.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Egberto Pereira (Orientador)

Faculdade de Geologia

---

Prof. Dr. René Rodrigues

Faculdade de Geologia

---

Dr. Laury Medeiros de Araujo

Petrobras

Rio de Janeiro

2009

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais *Claude Izzat Loutfi* e *Lourdes Soares Loutfi*, que sempre me apoiaram e que serão referência por toda minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Impossível não iniciar meus agradecimentos sem mencionar o apoio incondicional dos meus pais. Para a realização deste mestrado tive que fazer várias concessões em minha vida, mas vocês (pai e mãe) me deram ânimo e coragem para esta nova empreitada. Por isto, esta dissertação é uma conquista nossa, por todo esforço, carinho, investimento, por terem priorizado na cultura e na educação de seus filhos, por serem sempre exemplos de vida.

Também, os meus mais profundos agradecimentos ao meu orientador Egberto, pela oportunidade que tem me dado e pela confiança que tem postado em mim desde o início. Agradeço pelo seu comprometimento com os bolsistas, pela sua contribuição com a instituição UERJ e pelo grande profissional que é.

Meus sinceros agradecimentos à Lila, que me ensinou, num bom período, no manuseio do software Arc-Gis. Lila, você é um exemplo de ser humano, uma pessoa altruísta, amiga e cheia de senso de humor... muito obrigado!

Ao meu co-orientador Renê, pela atenção, paciência e dedicação.

Agradeço a todos meus amigos pelo simples fato de existir e que alegam a minha vida, que me ensinam coisas certas e erradas, que tiveram paciência com minhas ausências em festas e encontros de fim de semana.

Também aos amigos geólogos que vieram com críticas construtivas enriquecendo esta dissertação; e aos amigos não geólogos, mas que tiveram interesse em ouvir e entender os mistérios da terra.

Por fim agradeço à nossa casa, movida por esta energia colossal, a qual tentamos decifrar os seus mais variados fenômenos. E pela natureza misteriosa e intrigante, de tão perfeita que é, com toda a sua magnificência.

Eu não procuro saber as respostas, procuro compreender as perguntas

*Confúcio*

## RESUMO

LOUTFI, Ivan Soares. *Caracterização geológica da ocorrência de óleo na Formação Rio Bonito associada a um modelo não convencional de geração*. 2011. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

O trabalho teve como escopo a caracterização geológica, em termos estruturais e estratigráficos, do sistema petrolífero responsável pela ocorrência de óleos encontrados na Formação Rio Bonito, na região carbonífera de Santa Catarina. Atualmente, especula-se que a assinatura geoquímica destes óleos relaciona-se à Formação Irati associado a um modelo não convencional de geração, vinculando a maturação térmica à intrusão de diabásio, devido a um soterramento insuficiente da rocha geradora. Como a Formação Irati encontra-se posicionada estratigraficamente acima da Formação Rio Bonito, o sistema está associado a um forte controle estrutural para o modelo de migração. A preparação de um mapa geológico integrado para a área de estudo envolvendo dados geológicos de campo, dados aeromagnetométricos e informações de furos de sondagem permitiu um entendimento mais aprofundado do arcabouço tectônico-estratigráfico da região. Seções geológicas mostraram a presença de falhas de grandes rejeitos que promoveram um sistema de *Horsts* e *Grabens* relacionados às NE-SW e secundariamente a falhas E-W, que permitiram a colocação da Formação Irati em contato lateral ou em um posicionamento abaixo da Formação Rio Bonito. A partir das seções cronoestratigráficas elaboradas foi possível reconhecer prováveis selos, trapas estratigráficas e estruturais, associados ao sistema petrolífero Irati-Rio Bonito. A análise geoquímica (isótopos e biomarcadores) dos óleos coletados na Formação Rio Bonito apontaram que os mesmos estão associadas aos folhelhos do Membro Assistência da Formação Irati, por possuírem uma razão pristano/fitano menor que 1, gamacerano, e a presença de isoprenóides pentametilicosano (i-25) e esqualano (i-30). A partir de análises geoquímicas realizadas em extratos orgânicos extraídos de folhelhos da Formação Irati intrudidos por diabásio, obteve-se valores da relação entre biomarcadores correspondentes e valores de Ro que indicam que foi alcançado o pico de geração de óleo. Contudo, não há registro na área de estudo de um soterramento suficiente que favorecesse essa situação, levando-nos, assim, a acreditar em um modelo de geração não convencional, por meio da intrusão de diabásio nas rochas geradoras. O arcabouço estrutural e os óleos estudados na região sugerem um processo migratório de sudoeste para o nordeste, ao longo de um sistema de falhas NE-SW, encontradas na região, que foram geradas anteriormente ou concomitantemente ao derrame basáltico associado à Formação Serra Geral.

Palavras-chave: Bacia do Paraná. Exsudações de óleos. Formação Rio Bonito. Formação Irati. Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito.

## ABSTRACT

The work aims at the geological characterization of the structural and stratigraphic system responsible for the petroleum oils that occurs in Rio Bonito Formation, in the coalfield of Santa Catarina. Currently, it has been speculated that the geochemical signature of this oil is related to the Irati Formation associated with an unconventional model generation, by the thermal maturation of diabase intrusion, due to source rock insufficient burial. As the Irati is stratigraphically positioned above the Rio Bonito, the system is associated to a strong structural control for the migration model. The preparation of a geological map for the area that includes the geological field data, airborne magnetic data and drillhole information has enabled to a deep understanding of tectonic-stratigraphic region. Geological cross-sections showed the presence of faults that caused a system of *grabens* and horsts related to NE-SW faults and secondarily E-W that may have positioned the Irati Formation sidewise or below the Rio Bonito Formation. Cronostratigraphic sections made it possible to recognize seals, structural and stratigraphic traps associated with the petroleum system Irati-Rio Bonito. The geochemical analysis of the oil (isotopes and biomarkers) collected at the Rio Bonito Formation, indicated that they are associated with the Assistência Member shales (Irati Formation), by having the ratio pristane / phytane lower than 1, gammacerane, and the presence of isoprenoid pentametilicosano (i-25) and squalane (i-30). Geochemical analysis on organic extracts taken from Irati shales intruded by diabase, revealed Ro values that indicated peak oil generation was reached. However, there are no records in the study area about a sufficient burial favoring this situation, leading us, in this case, to believe in an unconventional generation model through the diabase intrusion in the source rocks. The structural and oil studied in the region suggest the existence of a migratory process from southwest to northeast along the NE-SW fault system that was generated previously the basalt floods associated with the Serra Geral Formation.

Keywords: Paraná Basin. Oil exudation. Rio Bonito Formation. Irati Formation. Petroleum System Irati-Rio Bonito.

## LISTA DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 1 -  | Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com profundidade do embasamento. Fonte: Milani (1997).....   | 21 |
| Figura 2 -  | Arcabouço Tectônico do Embasamento da Bacia do Paraná. Fonte: (Milani et al. 1997).....  | 24 |
| Figura 3 -  | Lineamentos com direções NW-SE, NE-SW e E-W. Fonte: Zalán et al, (1990).....   | 26 |
| Figura 4 -  | Sobreposição das isolinhas da anomalia Bouguer aos dos dados magnéticos com continuação para cima em 5000 m. Fonte: Freitas et al., (2006).....  | 27 |
| Figura 5 -  | Modelo de geração de fraturas de direção N-S devido a flexura da Placa Sul Americana. Fonte: (Freitas, 2006).....  | 28 |
| Figura 6 -  | Sequência Estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani et al., 1997).....   | 31 |
| Figura 7 -  | Configuração paleogeográfica da Formação Rio Bonito. Fonte: modificado de Winter (1996 apud Milani et al., 2007).....  | 32 |
| Figura 8 -  | Seção Ideal da Formação Rio Bonito, mostrando a espessura dos Membros Siderópolis, Paraguaçu e Triunfo. Fonte: modificado de (Bortoluzzi et al., 1978).....  | 34 |
| Figura 9 -  | Carta estratigráfica com as unidades do Carbonífero e Permiano da Bacia do Paraná com destaque à Fm. Rio Bonito. Fonte: (Holz et al, 2006).....  | 35 |
| Figura 10 - | Configuração Paleozóica do mar restrito Irati-Whitehill – Permiano Superior. Fonte: (modificado de Lavina, (1991 apud Milani et al., 2007).....  | 37 |
| Figura 11 - | Mapa à esquerda: Mapa de isópacas da Formação Irati. Mapa à direita: Mapa integrado com a distribuição de soleiras na Formação Irati (isolinhas sem cor). Fonte: Corrêa & Pereira (2005). No mapa à esquerda, têm-se teores de COT, com isolinha de 20m de espessura total de soleiras (em vermelho). Fonte: Araújo et al. (2000)..... | 39 |
| Figura 12 - | Mapa de Isópacas da Formação Rio Bonito Fonte: Pantoja, 1983.<br>B) Fotografia da lâmina delgada dos arenitos quartzosos de grãos bem arredondados, município de São João do Triunfo – PR Fonte: Milani, 2007.   | 43 |
| Figura 13 - | Modelo geológico idealizado Alto Estrutural de Quatiguá – Bacia do Paraná. Fonte: Rostirolla et al. (2000).....  | 45 |
| Figura 14 - | Modelo de migração dos depósitos de arenitos asfálticos de Anhembi (SP), do sistema petrolífero permiano da Bacia do Paraná. Fonte: adaptado de Thomaz Filho, 1982.....  | 46 |
| Figura 15 - | Carta de eventos do sistema petrolífero permiano da Bacia do Paraná.   |    |

|   |    |
|---|----|
| Fonte: adaptado de Araújo et al., 2000.....   | 47 |
| Figura 16 - Mapa da área de estudo representado pelo quadrado traçado em amarelo.....   | 48 |
| Figura 17 - Mapas originais do Projeto Borda Leste (CPRM/DNPM) para a confecção do Mapa Geológico da Área de Estudo (Anexo 1): A) Mapa de Integração Geológica e Avaliação Econômica folhas SH-22-X-BI, SH-22-X-A-III e SH-22-X-A-III. B) Mapa de Levantamento Aeromagnetométrico. C) Mapa de Locação de Furos de Sonda, Folhas SH-22-X-A-III e SH-22-X-BI..... | 49 |
| Figura 18 - Mapa de Campo Total (A) e o Mapa Aeromagnetométrico interpretado (B)  | 50 |
| Figura 19 - Rochas Vulcânicas da Fm. Serra Geral no topo da Serra do Rio do Rastro; porção oeste da área de estudo, Santa Catarina – Brasil, fonte( <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Parana_traps.JPG">http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Parana_traps.JPG</a> ).....  | 52 |
| Figura 20 - Exemplo de Log BG-01 original (A) e digitalizado (B) do Projeto Borda Leste; com a identificação do <i>datum</i> Superfície de Inundação Máxima (SIM) no Perfil de Raio Gama na base da Fm. Palermo.....  | 53 |
| Figura 21 - Fragmento do Mapa Geológico da Área de Estudo: 1) Batólito 2) Eixos de Vulcanismo N-S seccionadas por falhas NE na Formação Serra Geral. 3) Falhas NW seccionando diques de diabásio N-S. 4) Eixo Vulcânico de direção NE. 5) Falha N-S seccionando Falhas Profundas NE.....  | 57 |
| Figura 22 - Roseta Estrutural da área de estudo das Formações Rio Bonito, Palermo, Iratí e soleiras que cortam a Fm. Iratí; e estereograma apresentando o <i>dip direction</i> do acamamento destas formações.....  | 58 |
| Figura 23 - Localização das seções geológicas de campo. Seções Geológicas KK', LL', MM', NN' e EE'.....   | 59 |
| Figura 24 - Seção Litoestratigráfica KK' apresentando <i>graben</i> no Ponto 25, posicionando a Fm. Iratí em contato com a Fm. Rio Bonito. No Ponto 27 nota-se a presença de arenitos da Fm. Rio Bonito com suspeita de óleo.....   | 61 |
| Figura 25 - Seção Litoestratigráfica LL'. Soleiras intrudidas em folhelhos da Fm. Iratí no Ponto 16; detalhe do COT elevado da Amostra 1 (AM 1). COT abaixo da janela de geração no Ponto 14.....   | 63 |
| Figura 26 - Seção Litoestratigráfica MM'. Falha normal expõe a Fm. Iratí em contato com a Fm. Rio Bonito. O Ponto 23 apresenta um arenito associado à Fm. Rio Bonito com manchas escuras e suspeitas de exudação óleo.....  | 64 |
| Figura 27 - Comparação das estruturas encontradas em escala de campo e em escala regional, com base na roseta das estruturas da Fm. Botucatu e Fm. Rio do Rastro (canto direito da figura A) e imagens de satélite.....   | 65 |
| Figura 28 - Seção Litoestratigráfica NN'. No Ponto 19 detalhe da Cachoeira de Santo Antônio apresentando o contato do Grupo Rio do Rastro na base com a   |    |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
|             | Formação Botucatu no topo. Dobra de Arraste mostrando a cinemática da falha com o rebatimento do bloco Iratí.....   | 66 |
| Figura 29 - | Imagem de Satélite da Seção litoestratigráfica EE' indicando os lineamento onde situam-se as falhas representadas em perfil na Fig 6.10.....  | 67 |
| Figura 30 - | Comparação da Seção Litológica EE' e Cronoestratigráfica EE', com vista em detalhe das soleiras e manchas de óleo.....  | 69 |
| Figura 31 - | Perfil Estratigráfico da Formação Rio Bonito da Região Carbonífera de Santa Catarina a partir da cota de 60m (Ponto 3).....   | 72 |
| Figura 32 - | Aspecto do afloramento no Ponto 23 apresentando sigmóides com manchas escuras superficiais em sua parede, e manchas penetrativas entre os estratos da rocha.....  | 73 |
| Figura 33 - | Perfil Estratigráfico da Formação Palermo da Região Carbonífera de Santa Catarina a partir da cota de 120 m (Ponto 1).....  | 77 |
| Figura 34 - | Perfil Estratigráfico da Formação Iratí da Região Carbonífera de Santa Catarina a partir da cota de 142 m (Ponto 22).....   | 80 |
| Figura 35 - | Fragmento ampliado do Mapa Geológico Local da Área de Estudo, mostrando a locação das seções cronoestratigráficas.....  | 81 |
| Figura 36 - | Seção Cronoestratigráfica A-A' no sentido do mergulho regional das camadas. Presença de manchas de óleo em fácies de lobos deltaicos de granulometria muito fina a fina. Descontinuidade lateral da Camada Carvão Bonito Inferior devido à presença de falhas de crescimento..... | 84 |
| Figura 37 - | Seção Cronoestratigráfica B-B'. Presença de falha de crescimento no horizonte do Carvão Bonito Inferior. No topo da Fm. Rio Bonito migração de lobos deltaicos.....   | 85 |
| Figura 38 - | Seção Cronoestratigráfica C-C' no sentido do mergulho regional das camadas. Falhas de crescimento na base do Membro Siderópolis (Fm. Rio Bonito). Migração de lobos deltaicos na porção centro-esquerda da figura   | 86 |
| Figura 39 - | Seção Cronoestratigráfica D-D' no sentido regional de direção das camadas. Carvão Bonito Inferior com grande continuidade lateral. Folhelhos marcando ciclos de aprofundamento da bacia.....  | 87 |
| Figura 40 - | Seção Cronoestratigráfica E-E' no sentido regional de direção das camadas. Migração de lobos deltaicos na porção centro da figura.....  | 88 |
| Figura 41 - | Seção Cronoestratigráfica F-F' no sentido regional de direção das camadas. Migração de lobos deltaicos arenosos no centro da figura.....  | 89 |
| Figura 42 - | Seção Cronoestratigráfica G-G' no sentido regional de direção das camadas. Falhas de crescimento na base do Membro Siderópolis (Fm. Rio   |    |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
|             | Bonito). Folhelho no centro da figura, com grande continuidade lateral, marcando ciclos de aprofundamento da bacia.....   | 90  |
| Figura 43 - | Seção Cronoestratigráfica H-H' no sentido regional de direção das camadas. Folhelho no centro da figura, com grande continuidade lateral, marcando ciclos de aprofundamento da bacia.....   | 91  |
| Figura 44 - | Seção Cronoestratigráfica I-I' no sentido regional de direção das camadas. Migração de lobos deltaicos na porção centro-esquerda da figura.....   | 92  |
| Figura 45 - | Seção Cronoestratigráfica J-J' no sentido regional do mergulho das camadas. Falhas de crescimento na base do Membro Siderópolis (Fm. Rio Bonito).....   | 93  |
| Figura 46 - | Manchas escuras nos arenitos da Fm. Rio Bonito (possíveis exudações de óleo). A) Manchas superficiais escuras no Ponto 23. B) Lentes escuras intraestratais no Ponto 23. C) Manchas escuras superficiais no Ponto 28. D) Aspecto do Afloramento no Ponto 27, E) Aspecto em Detalhe das lentes escuras intraestratais do Ponto 27..... | 102 |
| Figura 47 - | Quadrados em laranja (Pontos 23, 27 e 28) – localização das amostras de óleo da Fm. Rio Bonito. Quadrados em verde – localização das amostras do extrato orgânico da Fm. Irati (Pontos 16 e 17) e da Fm. Rio Bonito (Ponto 3).....  | 103 |
| Figura 48 - | Cromatogramas de íons totais (modo SCAN) amostra do possível óleo da Fm. Rio Bonito, região carbonífera de Criciúma – SC, P = Pristano, F = Fitano, G = Gamacerano 80.....  | 105 |
| Figura 49 - | Íon 183 (modo SCAN) amostra do possível óleo da Fm. Rio Bonito, região carbonífera de Criciúma – SC, isoprenóides acíclicos iC <sub>25</sub> (2,6,10,15,19-pentametilicosano) e iC <sub>30</sub> (esqualano).....   | 105 |
| Figura 50 - | Fragmentogramas m/z 191 do possível óleo da Fm. Rio Bonito da região..... carbonífera de Criciúma – SC, Ts = Trisnorneohopano, Tm = trisnorhopano, G = Gamacero.....  | 107 |
| Figura 51 - | Fragmentogramas m/z 217 das amostras de óleo da região carbonífera de Criciúma – SC.....  | 108 |
| Figura 52 - | Diagrama esquemático mostrando as abundâncias relativas dos hidrocarbonetos líquidos e gasosos em função da evolução térmica do querogênio. Fonte: (modif. de Tissot & Welte, 1978).....  | 109 |
| Figura 53 - | Fragmentogramas das frações aromáticas das amostras de óleo da região carbonífera de Criciúma - SC: m/z 178 (fenantreno) e m/z 192 (metilfenantreno).....   | 109 |
| Figura 55   | Cromatogramas de íons totais (modo SCAN) do extrato orgânico das possíveis geradoras de óleo na região carbonífera Criciúma-SC. P =   |     |

|   |     |
|---|-----|
| pristano, F = fitano, G = Gamacerano.....   | 113 |
| Figura 56 - Íon 183 (modo SCAN) do extrato orgânico da possível geradora de óleo na região carbonífera de Criciúma-SC. Isoprenóides acíclicos $iC_{25}$ (2,6,10,15,19-pentameteicosano) e $iC_{30}$ (esqualano), ND = Não Determinado.....  | 114 |
| Figura 57 - Fragmentogramas m/z 191 do extrato orgânico da região carbonífera de Criciúma - SC, Ts = Trisnorneohopano, Tm = trisnorhopano, G = Gamacerano.....  | 115 |
| Figura 58 - Fragmentogramas m/z 217 dos extratos orgânicos da região carbonífera de Criciúma – SC.....  | 116 |
| Figura 59 - Fragmentogramas das frações aromáticas das amostras do extrato orgânico da região carbonífera de Criciúma-SC: m/z 178 (fenantreno) e m/z 192 (metilfenantrenos).....  | 117 |
| Figura 60 - Cromatograma de íons totais monitorados (TIC) e m/z 192 (metilfenantrenos) das principais camadas de carvão do sul catarinense. F = fenantreno, MF = metilfenantrenos. Fonte: OLIVEIRA (2009).....  | 119 |
| Figura 61 - Localização das amostras extraídas para análise geoquímica. Quadrados em Vermelho (Pontos 23, 27 e 28) - amostras de óleo da tabela 7.5. Quadrados em verde (Pontos 16 e 17) - amostras do extrato orgânico da tabela 7.5. Quadrado em branco (Mina da Carbonífera Catarinense) amostras da Tabela 7.6 extraídas da dissertação de mestrado de Oliveira (2009).....                               | 122 |
| Figura 62 - Mapa de isólitais de intrusivas na Fm. Iratí na área de estudo (Oliveira, 2009).....  | 124 |
| Figura 63 - Seções geológicas destacando, no quadrado em vermelho, a disposição da Fm. Iratí em contato com a Fm. Rio Bonito.....   | 125 |
| Figura 64 - Mapas comparativos do sentido regional da migração de hidrocarbonetos dentro da Fm. Rio Bonito, segundo Oliveira, 2009 (mapa à esquerda) e do modelo proposto nesta dissertação (mapa à direita). No mapa à direita têm-se os quadrados em Amarelo (Pontos 23, 27 e 28): locais de amostras de óleo. Quadrados em verde - (Pontos 16 e 17): locais de coleta de amostras do extrato orgânico..... | 126 |
| Figura 65 - Trapa estrutural encontrado no furo BG-04 da seção litoestratigráfica E-E'..  | 127 |
| Figura 66 - Trapas estratigráficas na Formação Rio Bonito, encontrados nos furos BG-61 e BG-59 da seção geológica F-F'.....   | 128 |
| Figura 67 - Bloco diagrama apresentando os possíveis eventos tectônicos (Fases 1, 2, 3 e 4) ocorridos após a deposição da Fm. Rio Bonito.....   | 130 |
| Figura 68 - Bloco diagrama apresentando os possíveis eventos tectônicos finais (Fases   |     |

|  |     |
|--|-----|
| 5, 6 e 7).....   | 131 |
| Figura 69 - Desenho esquemático das estruturas associadas com as fases tectônicas e os pulsos de magmatismo envolvidos, com idades de magmatismo baseadas segundo Corrêa & Pereira (2005)..... | 133 |
| Figura 70 - Carta de eventos do sistema petrolífero Iratí - Rio Bonito na região carbonífera de Criciúma – SC. Fonte: (baseado em Araújo et al., 2000).....                                    | 134 |

## LISTA DE TABELAS

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabela 1 - | Amostras coletadas de arenitos na Fm. Rio Bonito (região carbonífera de Criciúma – SC) para análise geoquímica (Isótopos e Biomarcadores).   | 103 |
| Tabela 2 - | Relações entre os compostos do extrato orgânico das possíveis geradoras de óleo na região carbonífera de Criciúma - SC. Razões P/F = pristano/fitano, Ts = Trisnorneohopano, Tm = trisnorhopano, G = Gamacerano, C <sub>30</sub> = C <sub>30</sub> (αβ) Hopano , Ro = Grau de maturação. ND = Não Determinado..... | 104 |
| Tabela 3 - | Apresentação das amostras coletadas na região carbonífera de Criciúma – SC, com teores de Carbono Orgânico Total (COT).....  | 111 |
| Tabela 4 - | Relações entre os compostos do extrato orgânico das possíveis geradoras de óleo na região carbonífera de Criciúma-SC. Razões P/F = Pristano/Fitano, Ts = Trisnorneohopano, Tm = trisnorhopano, G = Gamacerano, Ro = Maturação Térmica.....   | 113 |
| Tabela 5 - | Dados de δ <sup>13</sup> C‰ das amostras de óleo da área de estudo e das potenciais rochas geradoras. ND = Não Determinado.....  | 121 |
| Tabela 6 - | Dados de δ <sup>13</sup> C‰ das amostras de óleo coletados em poços na mina da Carbonífera Catarinense, dados retirados da dissertação de mestrado de Oliveira (2009).....   | 121 |

## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
|       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 18 |
| 1     | <b>CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL DA BACIA DO PARANÁ.....</b>              | 20 |
| 1.1   | <b>Introdução</b> .....   | 20 |
| 1.2   | <b>Localização e aspectos gerais</b> .....                              | 20 |
| 1.3   | <b>Contexto Geotectônico</b> .....                                      | 22 |
| 1.3.1 | <u>Estrutura do Embasamento</u> .....                                   | 22 |
| 1.3.2 | <u>Arcabouço Estrutural</u> .....                                       | 25 |
| 1.4   | <u>Arcabouço Estratigráfico da Bacia do Paraná</u> .....                | 29 |
| 2     | <b>ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....                 | 32 |
| 2.1   | <b>Sistema Depositional da Formação Rio Bonito</b> .....                | 32 |
| 2.2   | <b>Sistema Depositional da Formação Palermo</b> .....                   | 35 |
| 2.3   | <b>Sistema Depositional da Formação Irati</b> .....                     | 36 |
| 3     | <b>SISTEMA PETROLÍFERO DA BACIA DO PARANÁ</b> .....                     | 40 |
| 3.1   | <b>Modelo de Geração não Convencional de Hidrocarbonetos</b> .....      | 40 |
| 3.2   | <b>Maturação da matéria orgânica por intrusões ígneas</b> .....         | 40 |
| 3.3   | <b>Sistema Petrolífero Permiano da Bacia do Paraná</b> .....            | 42 |
| 3.3.1 | <u>Rocha Geradora – Formação Irati</u> .....                            | 42 |
| 3.3.2 | <u>Rocha Reservatório – Formação Rio Bonito</u> .....                   | 43 |
| 3.3.3 | <u>Formação Pirambóia</u> .....   | 44 |
| 3.3.4 | <u>Migração, Trapeamento e <i>Timing</i></u> .....                      | 44 |
| 4     | <b>METODOLOGIA E BASE DE DADOS</b> .....                                | 48 |
| 4.1   | <b>Localização</b> .....  | 48 |
| 4.2   | <b>Confecções do Mapa Geológico da Área de Estudo (Mapa Base)</b> ..... | 48 |
| 4.3   | <b>Geologia Local da Área de Estudo</b> .....                           | 51 |
| 4.4   | <b>Mapeamento da Área</b> .....   | 52 |
| 4.5   | <b>Confecção de Seções Cronoestratigráficas</b> .....                   | 53 |
| 4.6   | <b>Confecção de Seções Geológicas</b> .....                             | 54 |
| 4.7   | <b>Análises Geoquímicas (COT, Isótopos, Biomarcadores)</b> .....        | 54 |
| 5     | <b>ANÁLISE TECTONO-ESTRATIGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO...</b>              | 55 |
| 5.1   | <b>Análise Estrutural</b> .....   | 55 |
| 5.2   | <b>Seções Geológicas</b> .....  | 59 |
| 5.2.1 | <u>Seção Geológica K-K'</u> .....                                       | 60 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.2.2   | <u>Seção Geológica L-L'</u> .....                          | 62  |
| 5.2.3   | <u>Seção Geológica M-M'</u> .....                          | 63  |
| 5.2.4   | <u>Seção Geológica N-N'</u> .....                          | 64  |
| 5.2.5   | <u>Seção Geológica E-E'</u> .....                          | 67  |
| 5.3     | <b>Perfis Estratigráfico</b> .....                         | 70  |
| 5.3.1   | <u>Formação Rio Bonito</u> .....                           | 70  |
| 5.3.1.1 | Fácies Sigmoidais.....                                     | 70  |
| 5.3.1.2 | Fácies com Intraclastos Argilosos.....                     | 73  |
| 5.3.1.3 | Fácies com Estratificação Cruzada Tabular e Acanalada..... | 74  |
| 5.3.1.4 | Fácies com Estratificação Plano Paralela.....              | 74  |
| 5.3.1.5 | Fácies com Estratificação Cruzada por Onda.....            | 74  |
| 5.3.1.6 | Fácies Pelítica.....                                       | 75  |
| 5.3.2   | <u>Formação Palermo</u> .....                              | 75  |
| 5.3.2.1 | Fácies Laminada.....                                       | 76  |
| 5.3.2.2 | Fácies Síltica.....  | 76  |
| 5.3.2.3 | Fácies Argilosa.....                                       | 76  |
| 5.3.3   | <u>Formação Irati</u> .....                                | 78  |
| 5.3.3.1 | Fácies Folhelhos Sílticos.....                             | 78  |
| 5.3.3.2 | Fácies Folhelhos Negros.....                               | 78  |
| 5.4     | <b>Evolução Estratigráfica</b> .....                       | 81  |
| 6       | <b>ANÁLISE GEOQUÍMICA</b> .....                            | 94  |
| 6.1     | <b>Introdução</b> .....                                    | 94  |
| 6.1.1   | <u>Carbono Orgânico Total</u> .....                        | 94  |
| 6.1.2   | <u>Tipos e Evolução Térmica da Matéria Orgânica</u> .....  | 95  |
| 6.1.3   | <u>Isótopos</u> .....                                      | 96  |
| 6.1.4   | <u>Fosseis Químicos</u> .....                              | 96  |
| 6.1.4.1 | Alcanos.....   | 97  |
| 6.1.4.2 | Isoprenóides Acíclicos.....                                | 97  |
| 6.1.4.3 | Hidrocarbonetos Cíclicos.....                              | 98  |
| 6.1.4.4 | Hidrocarbonetos Aromáticos.....                            | 100 |
| 6.2     | <b>Análises dos resultados obtidos</b> .....               | 101 |
| 6.2.1   | <u>O óleo da Fm. Rio Bonito</u> .....                      | 101 |
| 6.2.1.1 | Alcanos normais e isoprenóides.....                        | 104 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 6.2.1.2 | Terpanos.....  | 106 |
| 6.2.1.3 | Esteranos.....   | 107 |
| 6.2.1.4 | Hidrocarbonetos Aromáticos.....  | 108 |
| 6.2.2   | <u>Análise do Extrato Orgânico – Identificação da Rocha Geradora</u> .....         | 110 |
| 6.2.2.1 | Alcanos normais e isoprenóides.....  | 112 |
| 6.2.2.2 | Terpanos.....  | 114 |
| 6.2.2.3 | Esteranos.....   | 116 |
| 6.2.2.4 | Aromáticos.....  | 117 |
| 6.2.3   | <u>Conclusão</u> .....   | 117 |
| 6.2.4   | <u>Isótopos</u> .....  | 119 |
| 7       | <b>SISTEMA PETROLÍFERO</b> .....   | 123 |
| 7.1     | <b>Geração</b> .....   | 123 |
| 7.2     | <b>Migração na região</b> .....  | 124 |
| 7.3     | <b>Trapeamento</b> .....   | 127 |
| 7.4     | <b>Relação Temporal entre os eventos</b> .....                                     | 128 |
| 7.4.1   | <u>Principais estruturas tectônicas atuantes do Neopermiano ao Mesozóico</u> ..... | 128 |
| 7.4.2   | <u>Contemporaneidade entre os eventos</u> .....                                    | 132 |
| 8       | <b>COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÃO</b> .....  | 135 |
| 8.1     | <b>Base de Dados Geológicos</b> .....  | 135 |
| 8.2     | <b>O contato da Geradora Irati com o Reservatório Rio Bonito</b> .....             | 135 |
| 8.3     | <b>A maturação da rocha geradora por intrusivas</b> .....                          | 135 |
| 8.4     | <b>Amostras de óleo observadas na Formação Rio Bonito</b> .....                    | 136 |
| 8.5     | <b>Paleoestruturas nos processos migratórios</b> .....                             | 136 |
| 8.6     | <b>Modelo de migração dos hidrocarbonetos</b> .....                                | 137 |
| 8.7     | <b>Momento Crítico (Geração/Migração/Acumulação)</b> .....                         | 137 |
| 8.8     | <b>Zonas de Escape de Óleo</b> .....   | 138 |
|         | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 139 |
|         | <b>ANEXO A - Mapa geológico da área de estudo</b> .....                            | 147 |

## INTRODUÇÃO

### Motivação

Na região carbonífera de Santa Catarina, borda leste da bacia do Paraná, vem sendo registradas várias ocorrências de óleo associadas aos arenitos da Formação Rio Bonito. Tais ocorrências, ainda pouco conhecidas, despertaram nosso interesse pela identificação da rocha geradora associada, e o entendimento dos processos geológicos responsáveis pelas acumulações.

Atualmente, permite-se relacionar a assinatura geoquímica dos óleos destas acumulações com a Formação Irati. Conforme discutido na literatura, sabe-se que a Formação Irati apresenta-se termicamente pouco evoluída, em função de a mesma ter sofrido um soterramento insuficiente. Assim, torna-se necessário se admitir que a geração de óleo a partir dessa unidade só foi possível a partir de modelos não convencionais de geração, neste caso vinculado a intrusão de diabásio.

Ressalta-se o fato de que a Formação Irati encontra-se posicionada estratigraficamente acima da Formação Rio Bonito. Assim, o sistema petrolífero observado além de apresentar um caráter não convencional de geração, está associado a um forte controle estrutural para o modelo de migração.

### Objetivos

O presente trabalho tem como escopo apresentar a caracterização geológica, em termos estruturais e estratigráficos, do sistema petrolífero responsável pela ocorrência de óleo na Formação Rio Bonito, observado na região carbonífera de Santa Catarina. Assim, faz-se necessário a análise faciológica dos arenitos da Formação Rio Bonito, para definir o arcabouço deposicional, bem como o estudo dos condicionantes estruturais que controlaram as rotas de migração do óleo gerado e as intrusões, e a caracterização geoquímica das ocorrências observadas.

Através dos dados de campo e dados fornecidos pela CPRM/DNPM que são perfis de sondagem, mapa geológico e geofísico, será construída uma carta de eventos com a definição de um possível *play* exploratório na região sudeste de Santa Catarina, na Bacia do Paraná.

Sendo assim, este projeto irá colaborar para o desenvolvimento do conhecimento sobre sistemas petrolíferos formados a partir de processo de geração não convencional, onde a definição do momento crítico está diretamente relacionado à dinâmica de intrusão e a definição de rotas de migração.

## **1 – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL DA BACIA DO PARANÁ**

### **1.1 Introdução**

A Bacia do Paraná é uma extensa bacia intracontinental paleozóica-mesozóica, estabelecida no Neo-Ordoviciano sobre a crosta continental estabilizada pelos processos geotectônicos ligados ao Ciclo Brasileiro. Devido à sua grande complexidade geológica e seus depósitos de carvão e urânio na Formação Rio Bonito, assim como seu potencial petrolífero, esta bacia tem despertado grandes interesses científicos e, por isso, vem sendo estudada há mais de um século.

O marco inicial na sistematização estratigráfica da Bacia do Paraná pode ser estabelecido na publicação do relatório de White (1908), na Serra do Rio do Rastro, no qual foi possível agrupar os estratos compreendidos entre o “Conglomerado Orleães” (Grupo Itararé) e as “Eruptivas da Serra Geral” cujas referências são importantes até os dias atuais. Durante o decorrer dos estudos científicos da Bacia do Paraná, ao longo do século, alguns trabalhos assumiram particular importância como as obras de, Fulfaro e Landin (1976); Maack (1947); Milani (1997); Schneider et al (1974), entre outros; porém muitas perguntas ainda precisam ser respondidas a respeito dos processos formadores desta bacia e sua evolução.

### **1.2 Localização e aspectos gerais**

A Bacia do Paraná localiza-se ao sudoeste do Escudo Atlântico e é uma das bacias sedimentares (sinéclises) da Plataforma Sul-Americana, possui uma área de 1.500.000 quilômetros quadrados englobando os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, e toda a região sul do Brasil, incluindo parte dos territórios da Argentina, Uruguai e Paraguai.

Esta bacia possui forma elíptica de orientação NNE-SSW e apresenta dois terços de sua superfície coberta por rochas basálticas de idade Eocretácica, o outro terço da superfície da

bacia compreende uma faixa de afloramento que circundam a capa de lavas (figura 1) onde são observadas as várias seqüências sedimentares paleozóicas que preencheram a bacia.

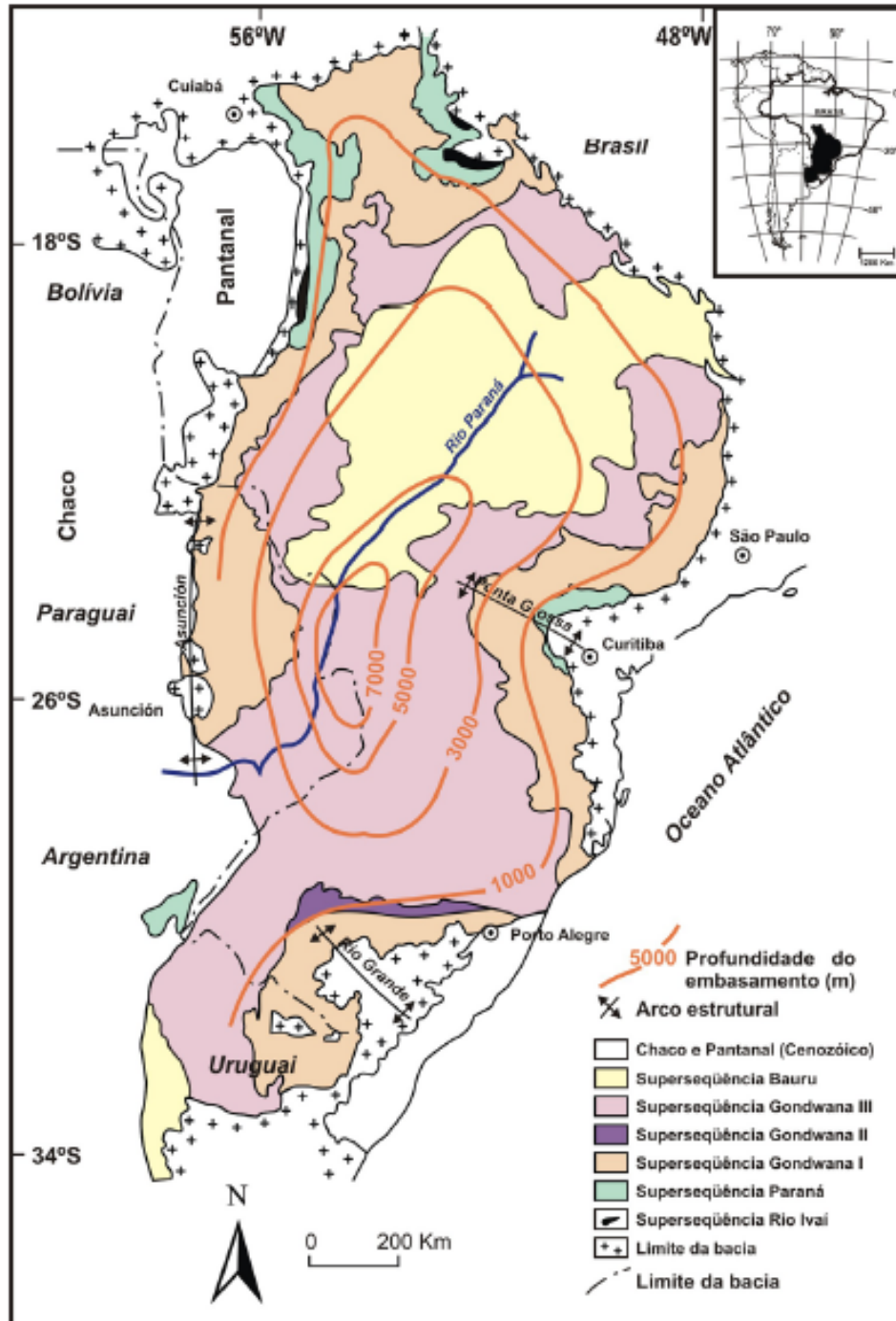


Figura 1 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com profundidade do embasamento

Fonte: Milani, 1997.

Esta bacia é considerada, apesar da divergência de alguns autores, como uma bacia intracratônica, que é aplicado a um sítio de acumulação de sedimentos no interior do cráton ou plataforma, unidade geotectônica relativamente imóvel da Terra, geralmente de grande tamanho.

A origem e os mecanismos de subsidência de sinéclises intracratônicas ainda são pouco compreendidos. Alguns modelos para explicá-las incluem: distensão litosférica seguida de subsidência térmica, aumento da densidade litosférica devido à mudança de fase relacionada a metamorfismo induzido por anomalia térmica e desequilíbrio mecânico produzido pela aplicação de esforços horizontais intraplaca (CHANG et al., 1990).

O aumento da litosfera continental na margem sul do Gondwana foi um importante fator para a progressiva continentalização da bacia, contribuindo para o seu isolamento em relação ao oceano, resultando numa configuração de depressão intracratônica.

### 1.3 Contexto Geotectônico

A evolução tectono-sedimentar da Bacia do Paraná é ainda hoje motivo de discussão entre os diversos estudos já realizados, dando margem a diversas interpretações de modelos que expliquem a sua origem, a estruturação do embasamento e sedimentação. Apesar disso, alguns conceitos parecem se destacar e alguns pontos em comum podem ser verificados.

#### 1.3.1 Estrutura do Embasamento

Inicialmente, foi proposto que o embasamento da bacia seria constituído por um “núcleo cratônico”, também chamado de Bloco Paraná, limitado por faixas móveis brasileiras (CORDANI et al., 1984; ZALÁN et al., 1990). A característica fundamental desta unidade tectônica interpretada como um cráton brasileiro seria sua estabilidade durante os eventos tectônicos do Neoproterozóico-Eopaleozóico.

Entretanto, para Milani e Ramos (1998), tal interpretação implicaria na existência de um domínio estável justamente na região central da sinéclise, um fato que não se ajusta à história de subsidência da bacia. Uma nova interpretação para a compartimentação tectônica

da bacia foi apresentada por Milani et al. (1997), sugerindo a ocorrência de uma grande área recém-construída do supercontinente chamado Gondwana, composto de núcleos cratônicos (rochas metassedimentares dobradas e empurradas, granitos e faixas de crátons isotopicamente remobilizados) (figura 2) e dispersamente recobertos por remanescentes de bacias de antepaís (molássicas), todos formados durante o Brasileiro, com início no Proterozóico superior (700-650ma) e resfriamento no Cambro-Ordoviciano (500-450ma).

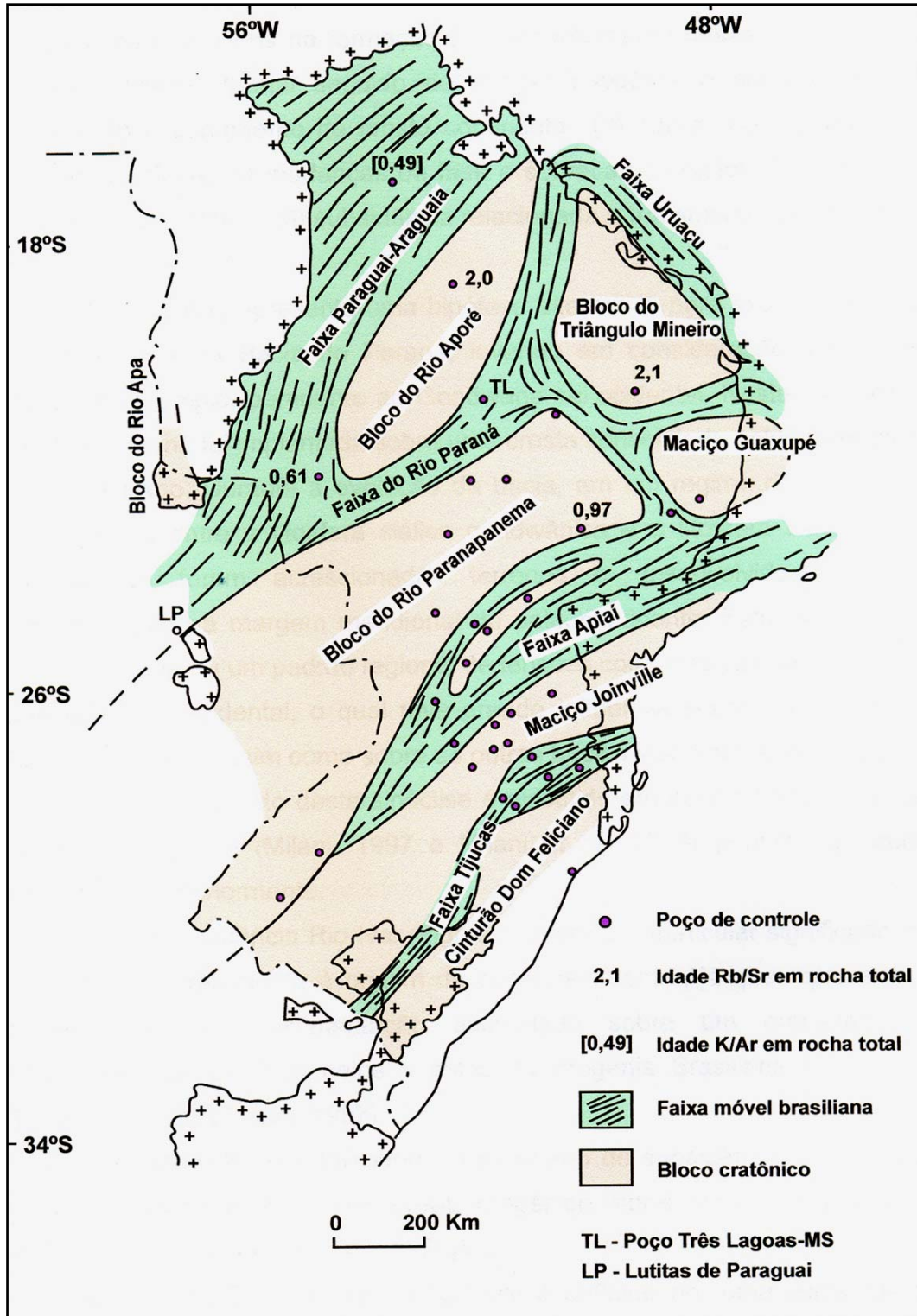


Figura 2 – Arcabouço Tectônico do Embasamento da Bacia do Paraná.  
 Fonte: Milani et al., 1997

### 1.3.2 Arcabouço Estrutural

Segundo Zalán et al. (1987), um dos elementos importantes para a evolução da Bacia do Paraná são as linhas de fraqueza pré-existentes no embasamento, que foram reativadas durante as fases tectônicas posteriores; podendo ser agrupados em três grandes lineamentos tectônicos principais com padrão estrutural diferente: NW-SE, NE-SW e E-W; sendo as duas primeiras as mais importantes (figura 3).

As estruturas tectônicas com direção NW-SE estão associadas à ocorrência de grandes diques, devido à forte reativação durante o quebraamento juro-cretáceo do Gondwana que promoveu o condicionamento de milhares de corpos ígneos intrusivos e a extrusão do mais volumoso derrame de lavas do planeta. O peso das lavas pressionou a crosta, causando uma importante fase de subsidência da bacia. Este evento foi denominado de reativação Wealdeniana por Almeida (1967), ou evento Sul-Atlântico por Schobbenhaus et al. (1984).

Entretanto, o padrão estrutural das zonas de falha NE possui uma ausência significativa de diques e é constituída ou por uma única falha larga ou por uma zona de falha retilíneas (ZALÁN et al., 1987). Apesar das estruturas relacionadas a movimentações transcorrentes serem freqüentes nos lineamentos NW, os mesmos são muito mais comuns ao longo dos lineamentos NE.

Os lineamentos E-W são pouco compreendidos na Bacia do Paraná. Zalán et al. (1987) afirmam que seu desenvolvimento teve início a partir do Triássico, cujo paralelismo com as zonas de fratura oceânica sugerem uma ligação com o desenvolvimento do Atlântico Sul.

Em 2006, Freitas et al. (2006) realizaram análises estruturais na porção norte da área de estudo desta dissertação (figura 3), e observaram um bom ajuste do mapa gerado a partir das estruturas obtidas com as anomalias Bouguer e os lineamentos de Zalán et al (1990). As anomalias Bouguer foram consideradas, dentre os dados obtidos, como aquelas mais representativas das estruturas relacionadas ao embasamento, as quais foram traçadas utilizando-se simultaneamente feições magnéticas (contraste) com continuação para cima de 5000m e isolinhas de anomalias gravimétricas Bouguer (figura 4).

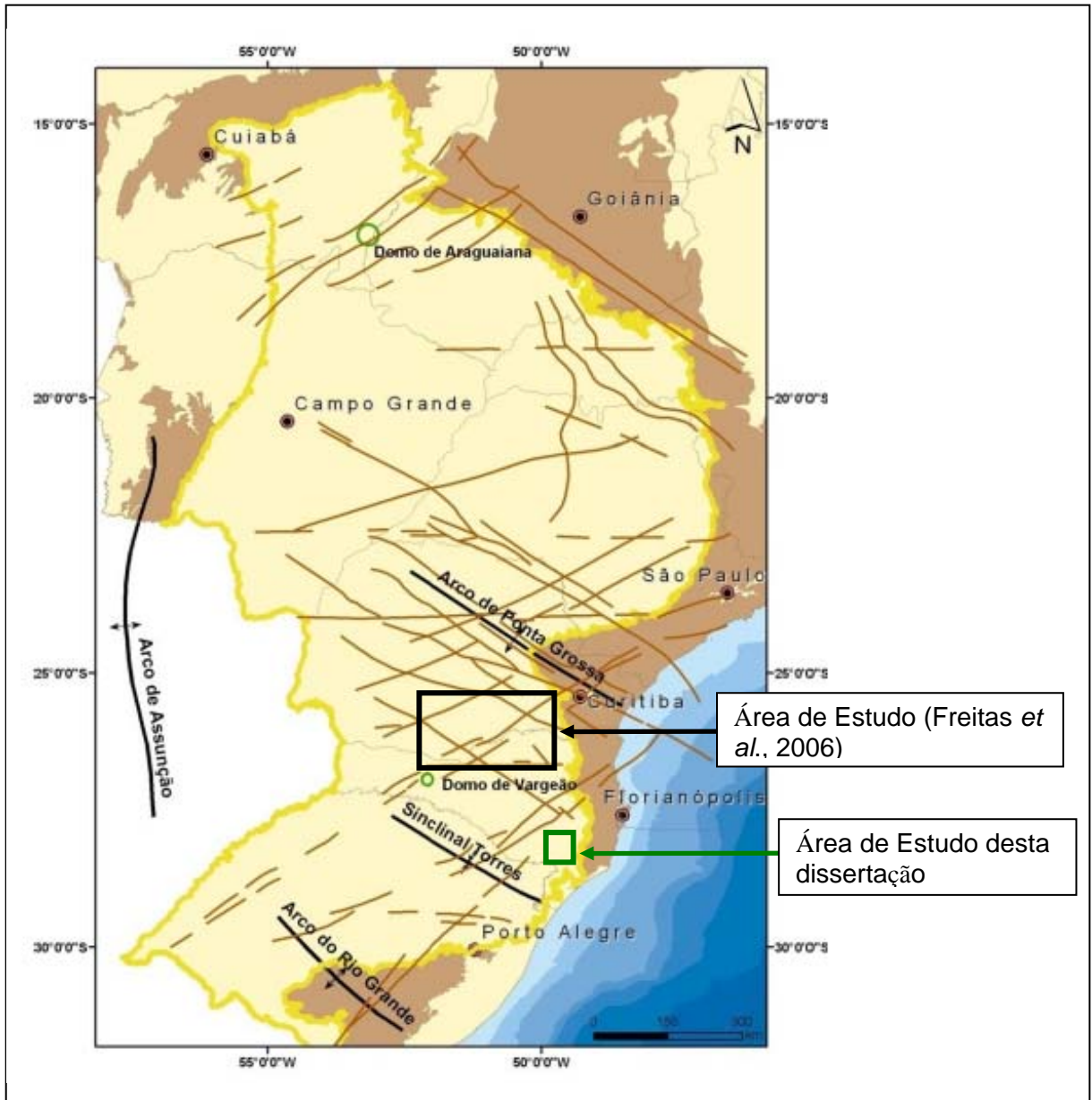


Figura 3 – Lineamentos com direções NW-SE, NE-SW e E-W  
 Fonte: Zalán et al., 1990

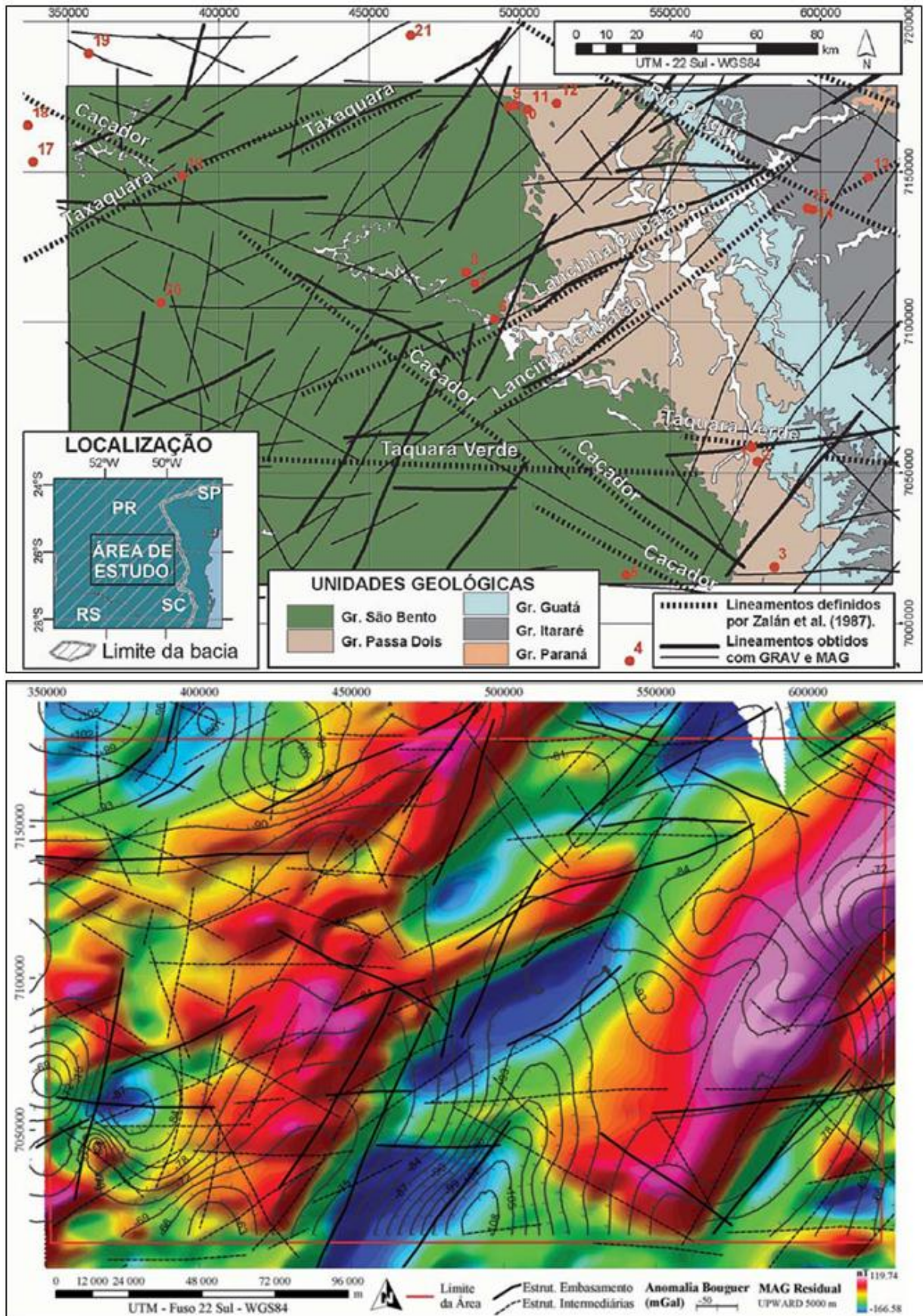


Figura 4 – Sobreposição das isolinhas da anomalia Bouguer aos dos dados magnéticos com continuação para cima em 5000m.

Fonte: Freitas et al., 2006.

Também foram identificadas estruturas N-S de regime rúptil, e exclusivamente superficiais, enquanto que os outros padrões estruturais parecem ocorrer em diversos níveis investigados (FREITAS et al., 2006).

Segundo Rostirolla et al. (2005), as estruturas N-S poderiam estar associadas à evolução cenozóica da Placa Sul-Americana, por serem estruturas frontais às tensões horizontais máximas com direção E-W (figura 5).

Outra hipótese é que estas estruturas N-S poderiam ter sua geração associada ao rifteamento cretáceo, ocorrido durante a abertura do Atlântico Sul, com uma propagação das estruturas distensionais na direção oeste, adentrando a Placa Sul-Americana, conforme Macedo (1989).

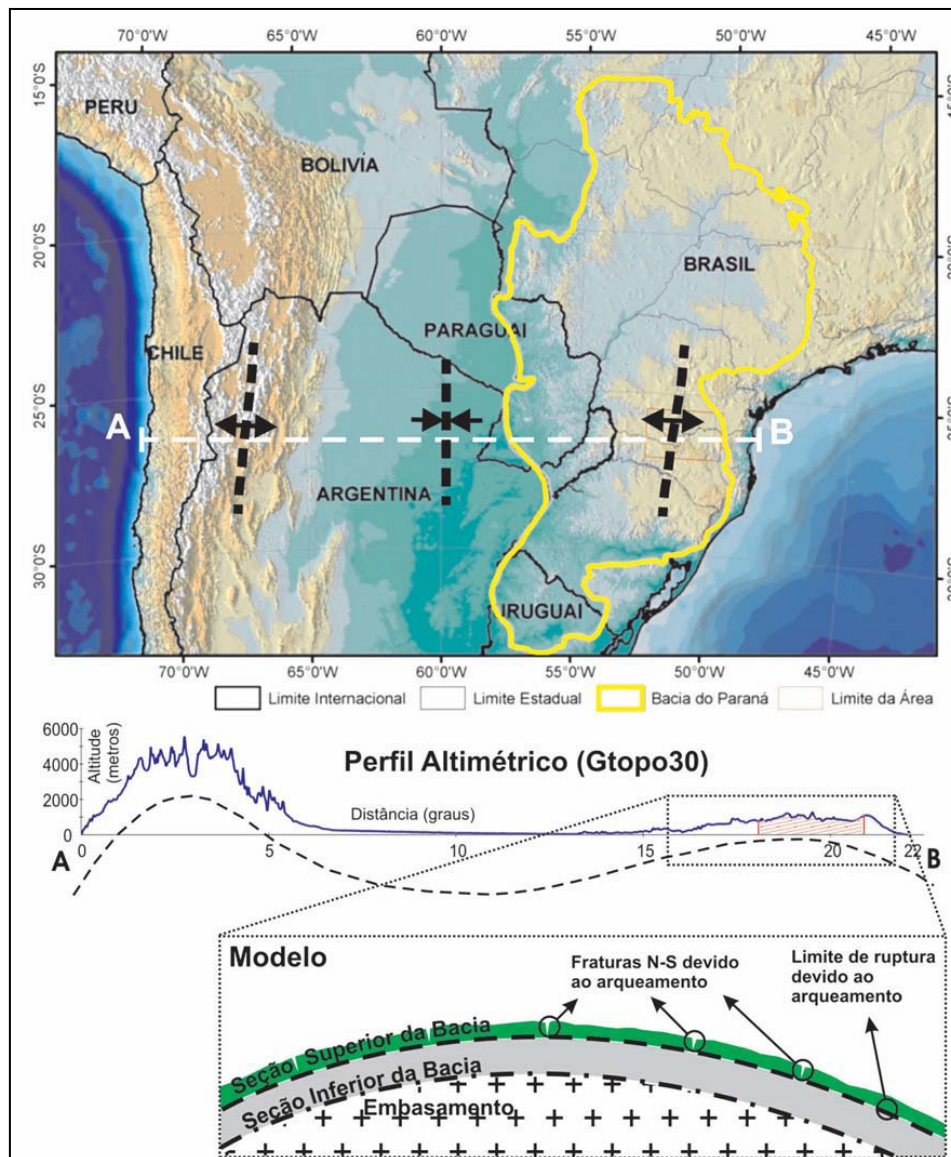


Figura 5 – Modelo de geração de fraturas de direção N-S devido a flexura da Placa Sul Americana.

Fonte: Freitas, 2006.

#### 1.4 Arcabouço Estratigráfico da Bacia do Paraná

A sedimentação da Bacia do Paraná ocorreu entre o Neo-ordoviciano e o Neocretáceo, documentando assim quase 400 Ma de história deposicional. A mesma é entendida como uma complexa conjugação de processos ora favoráveis ao empilhamento sedimentar, ora patrocinadoras a não deposição ou à remoção erosiva de unidades anteriormente acumuladas, na qual sucederam no tempo diversas Bacias do Paraná (ZALÁN et al., 1990).

Milani (1997) reconheceu seis unidades aloestratigráficas de 2ª ordem ou supersequências (figura 6), são elas: Rio Ivaí (Caradociano-Landoveriano), Paraná (Lockoviano-Frasniano), Gondwana I (Westfaliano-Scythiano), Gondwana II (Anisiano-Noriano), Gondwana III (jurásico Superior-Berriasiano) e Bauru (Aptiano-Mastrichtiano). Essas supersequências constituem o registro de períodos de acumulação separados por intervalos de erosão generalizada, sendo as três primeiras supersequências constituídas por ciclos transgressivos-regressivos paleozóicos e as três últimas constituídas por sedimentos continentais.

A Sequência Rio Ivaí corresponde ao pacote sedimentar mais antigo da Bacia do Paraná; geocronologicamente é definida como Supersequência Siluriana – Ordoviciano, com ampla distribuição na bacia. Entretanto, esta sequência não é uniforme, com seções mais espessas em calhas alongadas orientadas NE-SW e com tendência para o espessamento a oeste, atingindo cerca de 1000 m na porção paraguaia da bacia. É constituída por conglomerados e arenitos da Formação Alto Garças, os diamictitos da Formação Iapó e os siltitos e folhelhosossilíferos da Formação Vila Maria. No que diz respeito à paleogeografia, esta sequência foi depositada, provavelmente, em um golfo completamente aberto para oeste, para uma margem passiva do proto-Pacífico. Não há evidências para a existência do Arco de Assunção a esta época.

Em discordância, sobrepõe-se, em seguida, o pacote devoniano da Bacia do Paraná (Supersequência Paraná); constituído por depósitos fluviais da Formação Furnas e os depósitos neríticos da Formação Ponta Grossa.

O resultado, de uma grande glaciação gondwânica, resultou num hiato deposicional de cerca de 50 Ma. Em seguida, sobre a discordância gerada assenta-se uma sequência transgressiva / regressiva (Supersequência Gondwana I), composta por diamictitos, tilitos, e varvitos do Grupo Itararé.

Sobreposto ao Grupo Itararé, tem-se o Grupo Guatá, com a deposição de rochas areníticas e pelíticas da Formação Rio Bonito, e um intervalo transgressivo com a deposição dos folhelhos marinhos da Formação Palermo.

Acima da Formação Palermo, observa-se uma espessa seção transgressiva representada pelo Grupo Passa Dois; a base desta unidade é marcada pela presença de folhelhos do Membro Taquaral das Formações Irati. Segundo Schneider et al. (1974), a Fm. Irati pode ser subdividida em 2 membros: Taquaral, como já mencionada, e Assistência. O Membro Taquaral consiste de siltitos e folhelhos cinza claros e azulados, e o Membro Assistência constituído por folhelhos cinza escuros com intercalação de folhelhos pretos pirobetuminosos associados a horizontes de calcário creme e cinza escuros dolomíticos. Segundo Schneider et al. (1974.), estas litologias representam um ambiente marinho de águas calmas, do que discordam Petri e Fúlvaro (1983) que atribui para deposição deste membro um ambiente lagunar, por falta de fósseis tipicamente marinhos, existência de fendas de dessecação e estruturas em *tepee*.

As formações Sanga do Cabral e Pirambóia correspondem ao evento de continentalização dos sistemas deposicionais da bacia com a deposição dos sedimentos eólicos eotriássicos. Este evento acompanhou o ciclo orogênico ocorrido na margem meridional gondwânico, durante o fim do Paleozóico e início do Triássico, conhecida como orogenia Sanrafaélica (MILANI, 1997).

A Supersequência Gondwana II apresenta uma distribuição espacial restrita. Na bacia sua ocorrência limita-se a áreas do Rio Grande do Sul e do Uruguai; sendo constituída, predominantemente, por pelitos fossilíferos (fosséis de tetrápodes) de idade meso a neotriássica da Formação Santa Maria.

Na Supersequência Gondwana III o clima árido dominou amplas regiões do Gondwana, dando origem a paleodesertos como o Botucatu. Sobrepondo ao arenito Botucatu, encontram-se os basaltos da Formação Serra Geral, cuja origem está relacionada ao regime distensivo instalado no Pangea àquela época, que culminou na abertura do Atlântico Sul. Esta Formação é constituída predominantemente por basaltos e basalto-andesitos de filiação toleítica, os quais contrastam com riolitos e riolacitos.

O pacote neocretácico (Supersequência Bauru) é constituído por um conjunto de rochas sedimentares de origem aluvial, fluvial e eólica que encerraram a história deposicional da Bacia do Paraná, isto se deu como consequência do resfriamento das rochas ígneas do evento Serra Geral, instalando-se na Bacia um período de subsidência térmica, depositando a Supersequência Bauru.

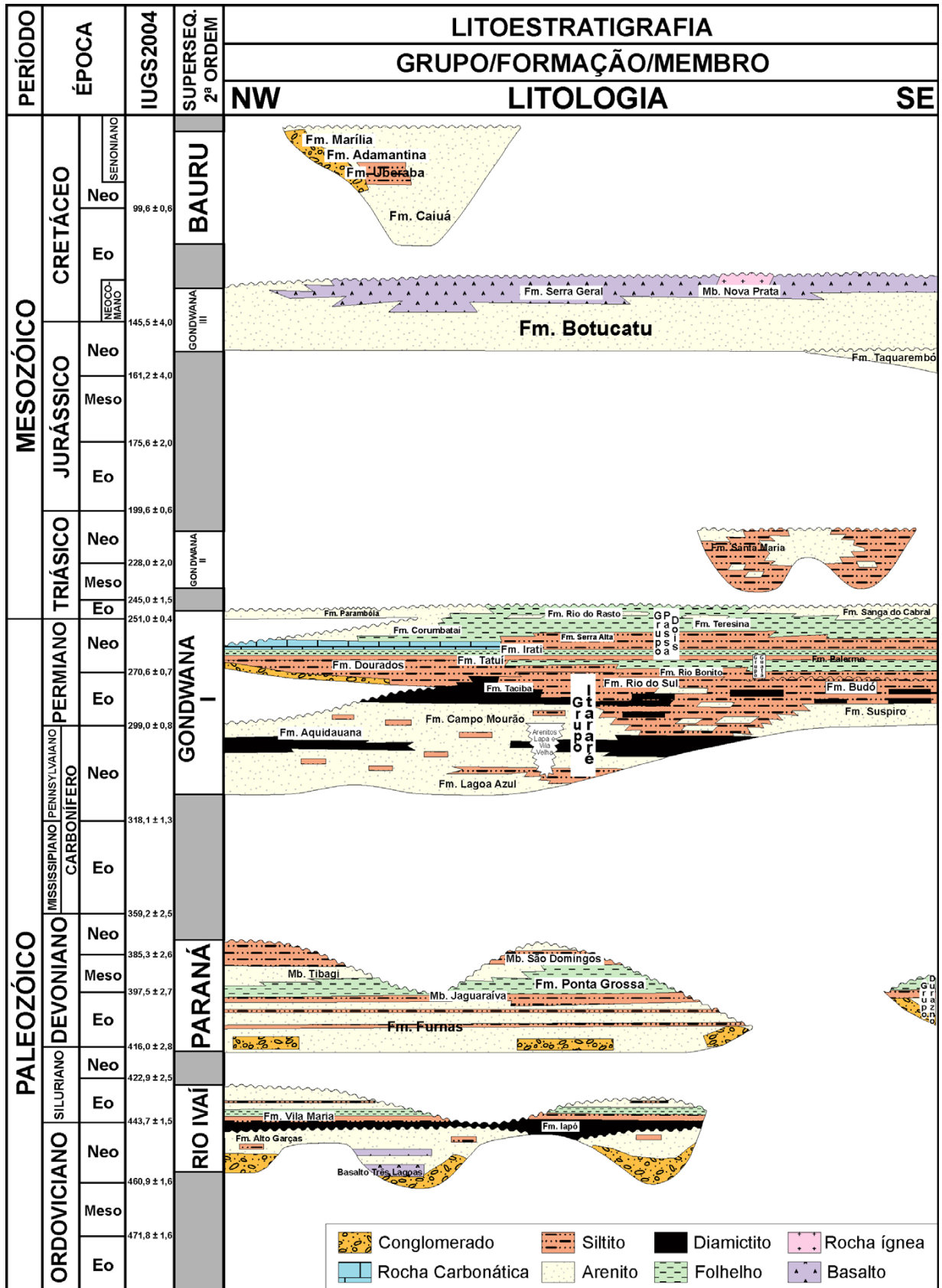


Figura 6 – Sequência Estratigráfica da Bacia do Paraná

Fonte: Milani et al., 1997