

Estilos Estruturais Relacionados a Intrusões Magmáticas Básicas em Rochas Sedimentares

PEDRO VICTOR ZALÁN, JOÃO CLÁUDIO DE J. CONCEIÇÃO, MARCO ANTONIO M. ASTOLFI, VALÉRIA TIRIBA APPI, SVEN WOLFF, INÊS SANTOS VIEIRA e AIRTON MARQUES, Grupo de Trabalho da Bacia do Paraná, Departamento de Exploração e Centro de Pesquisas.

RESUMO — Intrusões magmáticas básicas têm papel fundamental na estruturação e na acumulação de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná e, provavelmente, em outras bacias com geologia similar (Bacia do Amazonas). Apresenta-se aqui a primeira descrição detalhada do estilo estrutural relacionado a tais magmatitos, constituído de seis elementos estruturais básicos: soleiras (planas e inclinadas), lacólitos, bismálitos, diques com estrutura gaivota (aqui definida pela primeira vez), diques com estruturas diversas, e apófises. Associada a estes elementos básicos, pode-se encontrar toda a gama de estruturas compressãoais, extensionais e transcorrentes. Este estudo permite auxiliar a discernir, em campo ou em uma seção sísmica, as estruturas relacionadas a corpos de diabásio daquelas relacionadas a outros elementos ou eventos tectônicos.

ABSTRACT — *Magmatic intrusions of basic character (mostly dolerites) play a significant role in the overall structural framework of the Paraná Basin, as well as in hydrocarbon accumulation. Possibly, basins with similar geology (Amazon Basin) will also have a great influence from such intrusions. The first detailed description of the structural style related to these igneous bodies is here presented. It is composed of six basic structural elements: sills (horizontal or inclined), laccoliths, bysmaliths, dykes with seagull structure (defined here for the first time), dykes with diverse structures, and apophyses. Secondly, all kinds of compressional, extensional and transcurrent structures can be found associated to these basic elements. The most important result of this work is to allow geophysicists, working with seismic sections from a basin permeated by dolerite intrusions, to differentiate between structures related to igneous bodies from structures related to other tectonic elements or events.*

(Originais recebidos em 16-IX-85.)

1 — INTRODUÇÃO

Intrusões ígneas básicas são um fenômeno geológico extremamente comum na geologia do Brasil. Milhares de diques e soleiras de diabásio formam exposições espetaculares na Bacia do Paraná. Suas espessuras, em geral, são da ordem de dezenas de metros, chegando, frequentemente, a centenas de metros. Soleiras de diabásio com espessuras próximas a um quilômetro têm espantado os geólogos e preocupado engenheiros de perfuração da PETROBRÁS que trabalham na Bacia do Amazonas.

É curioso notar que muito poucos geólogos dedicaram-se ao estudo estrutural de materiais rochosos intrudidos por corpos tão possantes de magmatitos básicos. Os estudos mais freqüentes relacionados a diques e soleiras de diabásio têm sido de caráter térmico, procurando quantificar a extensão e o modo de atuação da energia térmica proveniente da intrusão nas rochas encaixantes (formação de novos minerais, recristalização e diagênese da matéria orgânica). Tanto no Brasil como no resto do mundo, há

pouquíssimos estudos sobre a deformação sofrida por rochas sedimentares quando intrudidas por um corpo de diabásio com centenas de metros de espessura.

Todos os geólogos sabem que não existem, em subsuperfície, fissuras pre-existent (verticais e, muito menos, horizontais) com tamanha ordem de abertura. Daí conclui-se que diques e soleiras tiveram que criar seus espaços, empurrando as rochas encaixantes para os lados (originando compressão horizontal) e para cima (originando compressão vertical). Este trabalho objetiva apresentar uma descrição detalhada das estruturas geológicas decorrentes da intrusão de magmatitos básicos em rochas sedimentares, documentá-las com exemplos das bacias do Paraná e Amazonas e mostrar sua aplicação na prospecção de hidrocarbonetos.

O conceito de "estilo estrutural" de um conjunto de rochas, de fundamental importância em geologia de petróleo, é definido por um grupo de características geométricas das deformações por

elas sofridas durante um determinado evento tectônico. Por exemplo, quando um evento tectônico de caráter transcorrente afeta rochas sedimentares, determinadas estruturas se originam (dobras, falhas reversas e transcorrentes conjugadas, estruturas em flor, etc.), apresentando uma distribuição característica (*en échelon*) e orientações angulares de seus *trends* bem definidas (eixos de dobras formam um ângulo de $30^\circ \pm 15^\circ$ com a falha transcorrente principal, etc.).

Para a definição de estilos estruturais, os tipos de estruturas, suas morfologias e dimensões, suas distribuições horizontais e verticais, suas repetibilidades e os arranjos de seus *trends* são as características mais importantes. Outras características, tais como quantidade de estruturas presentes, localização geográfica e idade de sua formação, são secundárias.

A cada evento tectônico corresponde uma certa geometria deformacional. Como há um número limitado (poucas dezenas) de tipos de tectonismo básicos (extensão, compressão, subducção, diapirismo, vulcanismo, transcorrência, tectônica vertical de blocos, etc.), o número de estilos estruturais básicos conhecidos na natureza também é limitado.

Estilos estruturais se repetem no tempo e no espaço, servindo como guias para a interpretação estrutural de áreas pouco conhecidas, mas deformadas de maneira semelhante a outras mais bem estudadas. Como consequência, as trapas de hidrocarbonetos também se repetem.

A utilização do conceito de estilos estruturais na prospecção de petróleo possibilita a predição de trapas de hidrocarbonetos em áreas pouco conhecidas com muito mais segurança do que a prospecção cega, sem um modelo comparativo.

Neste trabalho são descritas e exemplificadas as estruturas, e suas características geométricas mais importantes, relacionadas a intrusões de diabásio em rochas sedimentares, definindo-se assim um estilo estrutural que poderá servir de modelo comparativo e preditivo para bacias sedimentares que apresentem intrusões ígneas básicas.

Esperamos que o resultado mais imediato deste estudo seja o de auxiliar os geofísicos envolvidos na interpretação de seções sísmicas das bacias do Paraná

e Amazonas. As seções sísmicas dessas bacias apresentam certas estruturas não-convencionais, que, até recentemente, tinham origem desconhecida ou eram erroneamente interpretadas. Acreditamos que tais estruturas podem agora ser mais bem compreendidas e interpretadas, utilizando-se o estilo estrutural aqui definido. A longo prazo, esperamos que este artigo contribua para a melhor compreensão da relação entre ocorrências de hidrocarbonetos e diabásios, tão comuns nessas bacias, possibilitando assim a detecção de trapas de óleo e gás associadas a esses magmatitos básicos.

O estilo estrutural aqui apresentado é fruto de uma série de observações de campo realizadas na borda leste da Bacia do Paraná (ZALÁN *et alii*, 1985) ⁽¹⁾, complementadas por pesquisa bibliográfica, dados de poços e de seções sísmicas.

2 — PRINCIPAIS ESTRUTURAS RELACIONADAS ÀS INTRUSÕES BÁSICAS

Serão descritas somente as estruturas mais importantes, cuja identificação correta é fundamental para uma melhor interpretação de seções sísmicas situadas em áreas infestadas por corpos de diabásio, e que também desempenhem papel importante no trapeamento de hidrocarbonetos.

2.1 — Soleira (*Sill*)

Soleiras são intrusões tabulares concordantes, isto é, posicionam-se paralela ou subparalelamente ao acamamento das rochas encaixantes (LOCZY & LADEIRA, 1980) ⁽²⁾. Suas dimensões horizontais são muito maiores do que as verticais. Suas espessuras variam desde alguns poucos metros até várias centenas de metros. Suas áreas de ocorrência oscilam entre centenas de metros quadrados e centenas de quilômetros quadrados. Um fenômeno freqüentemente observado nos afloramentos de soleiras da Bacia do Paraná é a ocorrência de dobras nos estratos situados acima do magmatito (fig. 1). Tais dobras consistem, geralmente, em anticlinais e sinclinais assimétricos (fig. 2), com desenvolvimento eventual de falhas reversas nos flancos mais inclinados. A direção e o sentido de transporte tectônico indicados por elas é, provavelmente, um reflexo da direção e sentido de intrusão. Suas amplitudes e comprimentos de ondas podem variar de decimétricos (foto 1) a decamétricos (foto 2).

Em seções sísmicas, as soleiras são facilmente identificadas por refletores muito bem definidos, planos, concordantes e de forte amplitude, verdadeiros *bright-spots* em meio às reflexões mais difusas do pacote sedimentar (fig. 3). A presença de refletores levemente dobrados acima dos fortes refletores corrobora tal interpretação, muito embora tal característica não seja obrigatória para que se caracterize uma soleira. As terminações das soleiras podem ser abruptas (na junção com o dique alimentador) ou graduais (por afinamento) (fig. 1).

2.2 — Salto de Soleira (*Sill Jump*)

As soleiras freqüentemente mudam de nível nas rochas encaixantes, "saltando" de um plano de acamamento para outro (acima ou abaixo) através de porções inclinadas (geralmente $10^\circ - 40^\circ$), que ligam as porções sub-horizontais da soleira situadas em níveis diferentes (figs. 1 e 3). Tal fenômeno encontra-se ilustrado na estampa 31 de BILLINGS (1972, p. 336) ⁽³⁾, assim como na figura 11.3 de PARK (1983, p. 89) ⁽⁴⁾. Sob essa denominação, inclui-se também qualquer língua de material magmático ejetado por uma soleira ou lacólito discordantemente e a baixo ângulo, para cima ou para baixo, dentro das rochas encaixantes. Tal fenômeno encontra-se exemplificado na figura 16-2 de PRESS & SIEVER (1982, p. 377) ⁽⁵⁾.

Em seções sísmicas, tais camadas inclinadas de diabásio aparecem sob a forma de refletores planos, inclinados, concordando discordantemente refletores sub-horizontais (fig. 3). Eles podem ser facilmente confundidos com um artefato de processamento ou com uma falha de baixo ângulo. Entretanto, a ocorrência de soleiras em poços ou afloramentos próximos, ou mesmo na seção sísmica em questão (definida a partir de critérios descritos anteriormente), a planaridade e sua restrita extensão vertical e horizontal favorecerão a interpretação de um pedaço de soleira inclinado.

2.3 — Lacólito (*Laccolith*)

Lacólitos são corpos intrusivos concordantes de grande espessura (até centenas de metros), possuindo, geralmente, base plana e topo arqueado (fig. 1). A característica mais importante destas intrusões é o arqueamento por elas induzido nas rochas encaixantes sobrepostas. Os lacólitos apresentam, em planta, uma forma circular ou oval. Conseqüentemente, os arqueamentos a eles

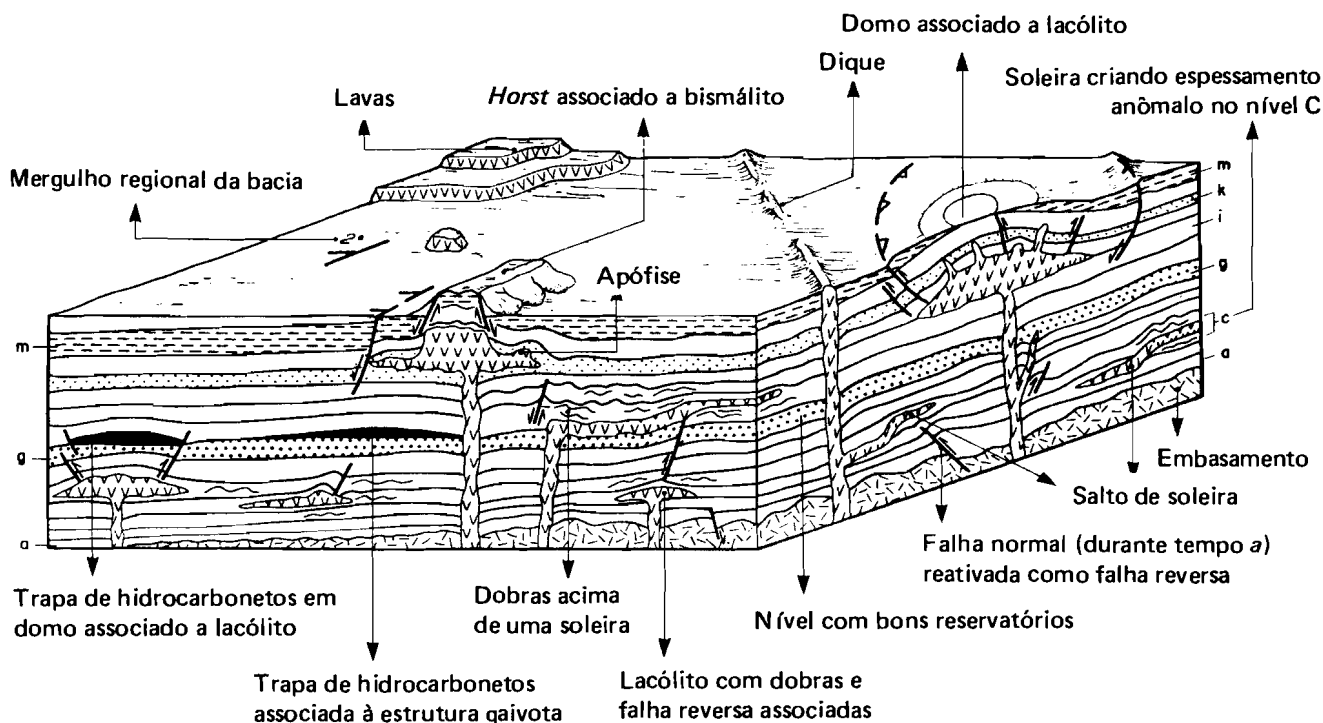


Fig. 1 - Bloco-diagrama esquemático mostrando os tipos de estruturas associadas a intrusões de diabásio e suas geometrias, na Bacia do Paraná. Possíveis trapas de hidrocarbonetos também estão indicadas.

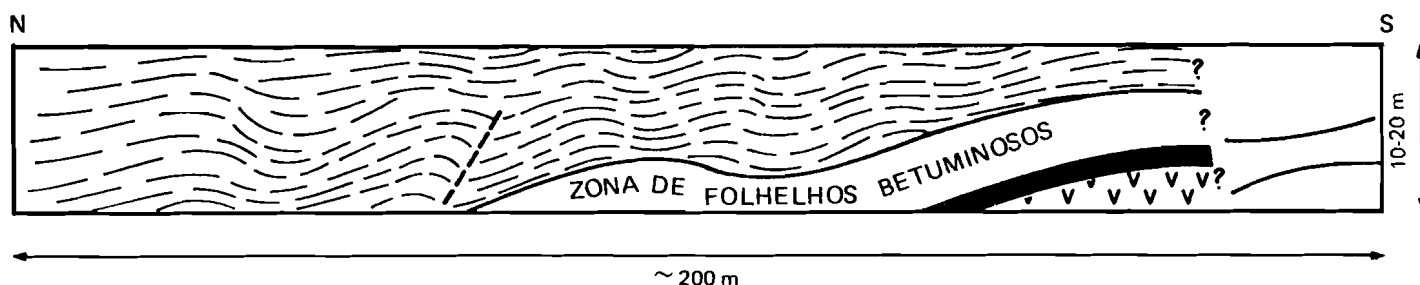


Fig. 2 - Seção esquemática de um corte de estrada na rodovia SP-127, km 121, mostrando uma série de dobras assimétricas na Formação Irati, situadas acima de uma soleira de diabásio que aflora no núcleo do grande anticlinal. A camada escura indica folhelhos betuminosos carbonizados pelo calor da intrusão.

associados são dômicos. Segundo LOCZY & LADEIRA (1980) ⁽²⁾, existem também lacólitos de convexidade dupla, que apresentam uma forma grosseiramente lenticular em seções verticais (ou sísmicas). A seção sísmica da figura 6 apresenta um belo exemplo de um corpo lenticular, pobre em reflexões internas, situado acima de uma feição estrutural típica de dique de diabásio (vide "Estrutura Gaivota", descrita no item 2.5). Tal corpo é aqui interpretado

como um lacólito de convexidade dupla.

Há todas as transições possíveis entre lacólitos e soleiras. Corpos cuja relação diâmetro/espessura é inferior a dez são arbitrariamente denominados lacólitos; quando a relação é superior a dez, trata-se de soleiras (BILLINGS, 1972) ⁽³⁾. Os domos causados pelos lacólitos podem vir a se constituir em excelentes trapas de hidrocarbonetos, desde que haja reservatórios neles envolvidos, gera-

ção sin- ou pós-intrusão e capeamento adequado.

A Bacia do Paraná, no estado de São Paulo, apresenta várias estruturas dômicas, provavelmente causadas por lacólitos de diabásio. SOARES (1974) ⁽⁶⁾ refuta tal interpretação, argumentando que, em Pitanga, a espessura de diabásio perfurada no interior do domo é inferior à perfurada fora dele. Entretanto, é muito difícil determinar, através de da-

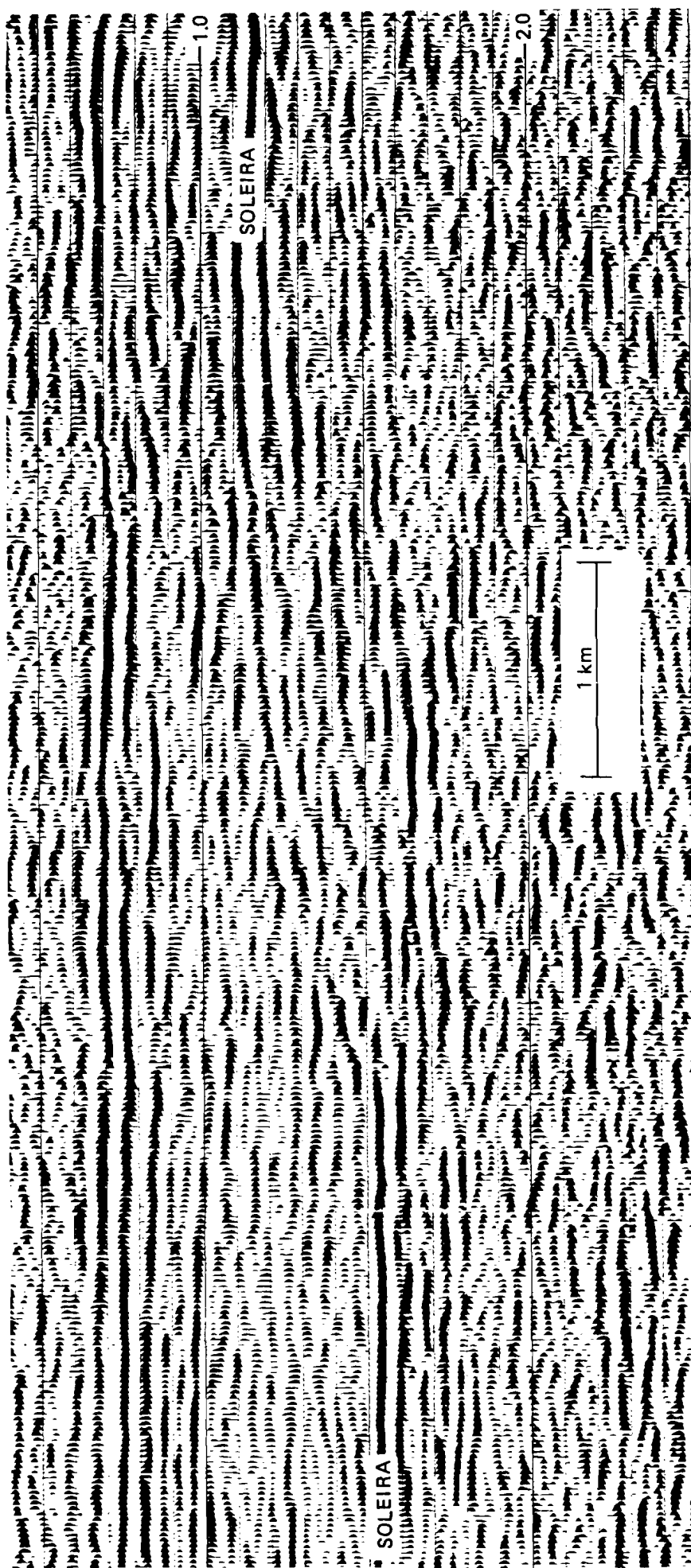


Fig. 3 - Seção sísmica migrada da Bacia do Paraná mostrando refletor inclinado, cortando discordantemente refletores horizontais e unindo dois refletores planares muito fortes (prováveis soleiras). O refletor inclinado é também, provavelmente, uma soleira inclinada (salto de soleira). Seção 65-002.



Foto 1 - Dobras suaves em estratos da Formação Irati situados acima de uma pequena soleira de diabásio. Rodovia SP-127, km 125,5.



Foto 2 - Vista parcial do corte de estrada esquematizado na figura 2.

dos de poço, a morfologia de um corpo de diabásio (dique, soleira, lacólito ou apófise). Portanto, a maior espessura de diabásio fora do domo pode ser devida a um dique subvertical, ao mesmo tempo em que o diabásio do interior do domo poderia ser o lacólito que originou o arqueamento. LEINZ & AMARAL (1978, fig. 12-2, p. 295) ⁽⁷⁾ apresentam um bloco-diagrama do domo de São Pedro, originado por um lacólito de diabásio. Os domos conhecidos até o momento em São Paulo não são portadores de óleo, uma vez que grande parte dos lacólitos está intrudida ao nível do Palermo/Irati/Teresina, estruturando apenas o arenito Pirambóia, que geralmente está aflorante ou não possui capeador adequado. As situações mais interessantes devem ocorrer

em domos relacionados a lacólitos intrudidos nas formações Ponta Grossa ou Itararé e que estruturam os arenitos Rio Bonito, capeados pelo sistema Palermo/Irati/Serra Alta.

Os lacólitos são facilmente identificáveis em seções sísmicas por meio dos seguintes critérios: (a) a estrutura anticlinal afeta um certo intervalo estratigráfico; (b) o núcleo da estrutura é constituído por uma zona pobre em reflexões internas; (c) os refletores situados abaixo da zona cega e do anticlinal são sub-horizontais e não-perturbados; (d) há divergência de refletores em torno da zona cega; (e) o topo da zona cega pode apresentar dobramentos subordinados complexos. Tais critérios foram

usados recentemente por CRONE *et alii* (1985) ⁽⁸⁾ para inferir a presença de lacólitos em seções sísmicas do rift de New Madrid, nos Estados Unidos. A figura 4 mostra um excelente exemplo de lacólito numa seção sísmica da Bacia do Paraná.

2.4 — Bismálito (*Bysmalith*)

Bismálito é um tipo especial de lacólito acima do qual as rochas encaixantes foram soerguidas por meio de falhamentos (fig. 1). A diferença principal entre um bismálito e um lacólito é a presença de ruptura no alçamento de seu teto, reflexo direto de sua geometria. Bismálitos são corpos com formas grosseiramente semelhantes a cubos ou paralele-

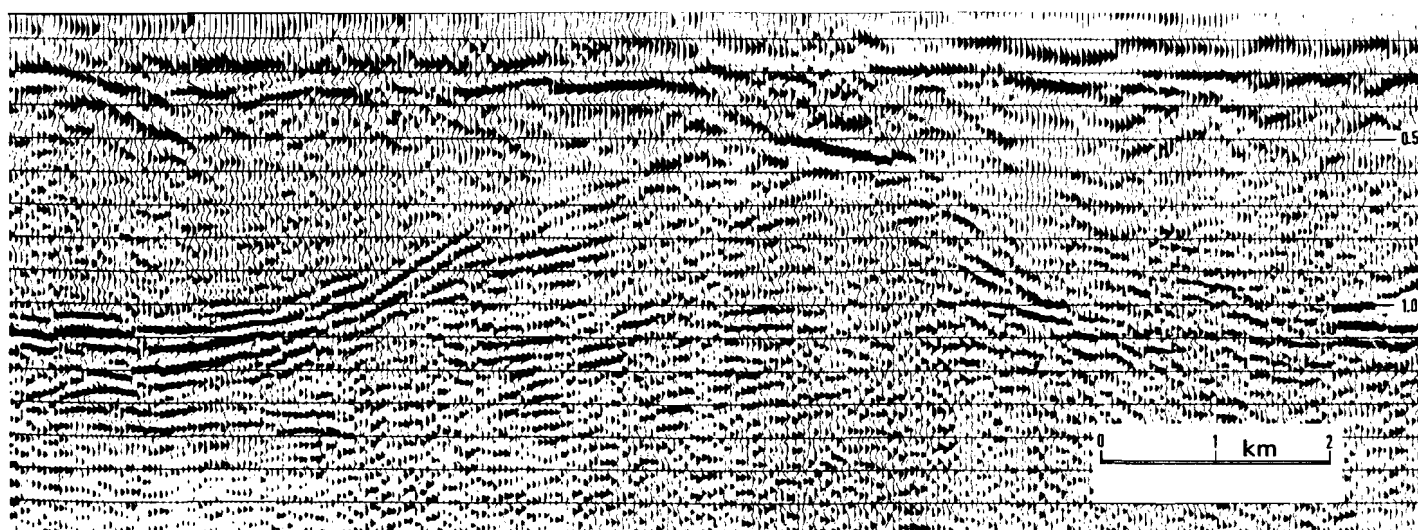


Fig. 4 - Seção sísmica não-migrada da Bacia do Paraná mostrando um exemplo das estruturas associadas a um lacólito de diabásio. Note-se a estrutura anticlinal, a zona cega central (ocupada pelo lacólito), a divergência dos refletores nas terminações da zona cega, os refletores sub-horizontais situados abaixo da zona cega e a presença de dobramentos complexos na parte superior do anticlinal. Seção 43-1.

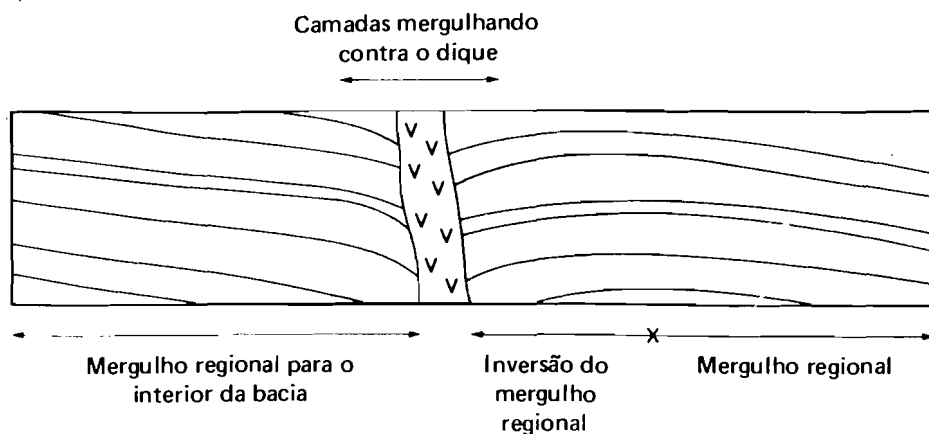


Fig. 5 - Estrutura gaivota, composta por um dique central e camadas que mergulham de encontro ao mesmo. Note-se o mergulho regional e a inversão do mesmo em um determinado lado do dique.

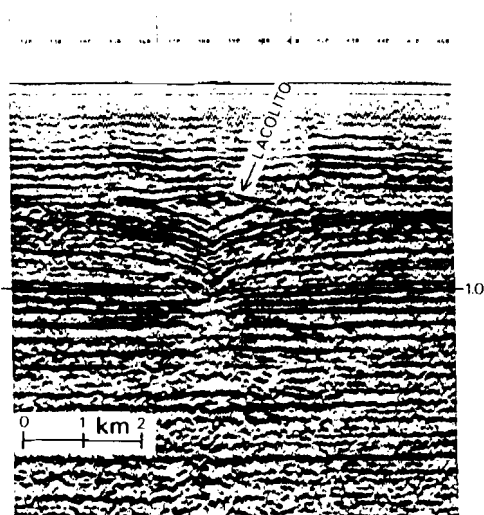


Fig. 6 - Estrutura gaivota e lacólito em seção sísmica da Bacia do Médio Amazonas. Seção 204-11 (não-migrada).

pípedos, com terminações laterais íngremes e abruptas. Os lacólitos geralmente levantam seus tetos por meio de arqueamentos e não falhamentos. Suas terminações laterais são em forma de cunhas. Os bismálitos originam *horsts*, enquanto os lacólitos formam domos. LONSDALE & LAWVER (1980) ⁽⁹⁾ estudaram a intrusão de tais corpos em sedimentos recentes situados em um centro de espalhamento no Golfo da Califórnia. A figura 7 do referido artigo é um excelente sumário das relações existentes entre falhamentos, dobramentos, mecanismos de intrusão e geometria dos corpos intrusivos. O *horst* de Pau d'Alho, em São Paulo, constitui um bom exemplo de estrutura resultante da intrusão de um bismálito. A figura 2 de SOARES (1974) ⁽⁶⁾ corrobora tal interpretação.

2.5 - Estrutura Gaivota (*Seagull Structure*)

Esta estrutura é aqui descrita e batizada pela primeira vez na literatura geológica. A estrutura gaivota desenvolve-se nos contatos de certos diques de diabásio com as rochas sedimentares encaixantes e consiste em estratos arqueados que mergulham de encontro ao dique (figs. 1 e 5, foto 3). Nas proximidades do dique, as camadas sedimentares perdem sua atitude original, flexionam-se para baixo e mergulham convergentemente para o dique. Tal estrutura foi observada diversas vezes em campo nas proximidades de diques, tanto em sua forma plena (ambos os lados mergulhando contra o dique), quanto parcial (apenas um dos lados mergulhando contra o dique). Bons exemplos desta estrutura podem ser encontrados em fotografias contidas no relatório de ARANHA *et alii* (1984, pontos 9 e 39) ⁽¹⁰⁾. A figura 6 mostra uma seção sísmica da Bacia do Médio Amazonas, apresentando uma convergência abrupta de refletores, de cima para baixo, ao longo de uma zona linear vertical, capeada por um corpo lenticular pobre em reflexões internas. Acreditamos que tal configuração represente o desenvolvimento, em grande escala, de uma estrutura gaivota. Interpretamos a zona linear vertical como um dique de diabásio, e o corpo lenticular acima dele como um lacólito. A ocorrência de evaporitos nas proximidades poderia levar a pensar em estrutura de colapso, causada pela dissolução dos sais. Entretanto, as morfologias resultantes de tais colapsos são bem diferentes e não ocorrem em zonas tão linearmente restritas.

Nem todos os diques de diabásio apresentam estrutura gaivota. Embora a

origem de tal estrutura ainda seja desconhecida, certas hipóteses podem ser tecidas: (a) a estrutura resultaria do colapso dos estratos ao redor do dique, em consequência da diminuição de volume e aumento da densidade sofrida pelo mesmo após seu resfriamento; (b) a estrutura representaria o arrasto das camadas nas margens de diques injetados de cima para baixo, a partir de soleiras ou lacólitos situados em níveis superiores. A resposta para tal questão só poderá ser obtida mediante experimentos de laboratório que simulem intrusões ígneas em rochas estratificadas.

A característica mais marcante desta estrutura, e que geralmente chama a atenção do geólogo no campo, é a inversão do mergulho regional das camadas em direção às bordas da bacia (fig. 5), que ocorre em determinado lado do dique. Tal inversão é que torna a estrutura gaivota importante para a prospecção de petróleo. Caso a estrutura ocorra em dimensões superiores à escala mesoscópica (como realmente parece ocorrer na figura 6), uma trapa de hidrocarbonetos estará presente no lado interno do dique (lado virado para o centro da bacia). Acreditamos que os vários campos de arenitos betuminosos ocorrentes nas regiões de Anhembi, Porto Martins, Bofete e Guareí, em São Paulo, sejam exemplos excelentes de acumulações de hidrocarbonetos em estruturas gaivotas.

Segundo ANTONIO THOMAZ FILHO (comunicação verbal), todas estas ocorrências de óleo estão associadas a diques de diabásio e situadas no lado oeste dos mesmos, ou seja, naquele voltado para o centro da bacia. Tal fato é ilustrado na figura 1 de THOMAZ FILHO (1982) ⁽¹¹⁾. Como o arenito Pirambóia é aflorante nessa região, torna-se necessário explicar o mecanismo que trapeou os hidrocarbonetos no lado oeste dos diques, impedindo sua fuga total para a superfície. A figura 5 de THOMAZ FILHO (1982) revela que o trapeamento em Anhembi se dá dentro do Pirambóia e não à superfície. Apenas parte da jazida aflora em uma ravina próxima. A estrutura gaivota parece ser o mecanismo trapeador na área. Tal interpretação é corroborada pela figura 3 de THOMAZ FILHO (1982), que mostra o contorno estrutural da base do Pirambóia. As curvas de nível que delineiam o alto tendem a fechar círculos nas proximidades do dique. Perfis estruturais, ligeiramente desviados da direção normal ao dique, mostram a inversão estrutural das camadas próximo ao dique, caracterizando a estrutura gaivota.

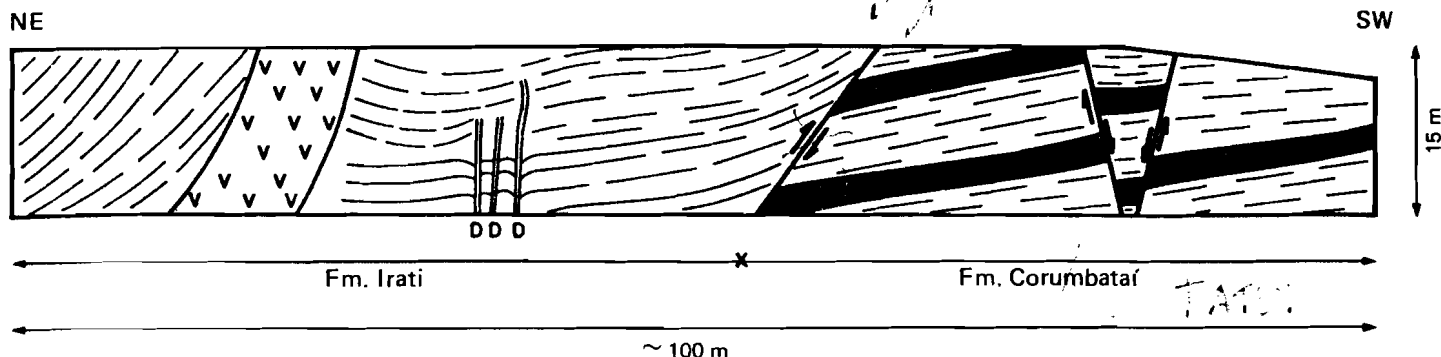


Fig. 7 - Corte de estrada (lado sudeste) mostrando a Formação Irati em contato de falha com a Formação Corumbataí e intrudida por diversos diques de diabásio. Notem-se camadas verticais ao lado de espesso dique, sugerindo uma íntima relação entre a intrusão e o tectonismo observado neste corte de estrada. "D" indica pequenos diques de diabásio que se unem para formar um dique mais espesso no outro lado da estrada. Camadas escuras indicam estratos-guia na Formação Corumbataí. Rodovia SP-191, próximo ao Ribeirão Passa Cinco.

2.6 — Dique (Dyke)

A estrutura mais importante relacionada a diques foi descrita no item anterior, onde se ressaltou que nem todos os diques apresentam estrutura gaivota. Alguns deles não apresentam deformação alguma nas rochas encaixantes, ao passo que outros podem apresentar camadas subverticais em suas imediações, mergulhando para fora do dique (fig. 7, foto 4). Muitas vezes, os diques encontram-se intrudidos ao longo de falhas, levantando a questão da idade das mesmas. Duas alternativas são viáveis: (a) a falha foi formada em um evento tectônico antecedente ao evento magmático; (b) a falha formou-se durante o evento tectônico extensional relacionado ao magmatismo

mo e imediatamente (em tempo geológico) preenchido por um dique. Na Bacia do Paraná, há evidências que apontam a existência de ambos os casos.

2.7 — Apófise (Apophysis)

Apófises são extremamente comuns nos magmatitos da Bacia do Paraná (fig. 1), podendo ocorrer relacionadas a diques (fig. 8, foto 5) ou no topo de soleiras (fig. 9). As deformações mais comumente associadas são dobramentos e flexuras nas rochas encaixantes. Seu reconhecimento em seções sísmicas e poços é extremamente difícil e, além disso, parecem não ter grande importância no traqueamento de hidrocarbonetos.

2.8 — Espessamento Anômalo de Intervalos Estratigráficos (Anomalous Thickening)

Quando intrudido por grande número de soleiras, lacólitos, etc., um determinado intervalo passará a apresentar uma espessura anormalmente alta em relação a áreas vizinhas com menor quantidade de intrusões. Os poços MO-1-PR e MO-2-PR, da Bacia do Paraná, constituem um bom exemplo desse fenômeno. No primeiro poço, a Formação Ponta Grossa possui 650 m de espessura, dos quais 245 m são de diabásio (10 corpos). O segundo poço apresenta 523 m de Formação Ponta Grossa, dos quais 113 m relativos a diabásio (7 corpos). A diferença de espessura desta formação

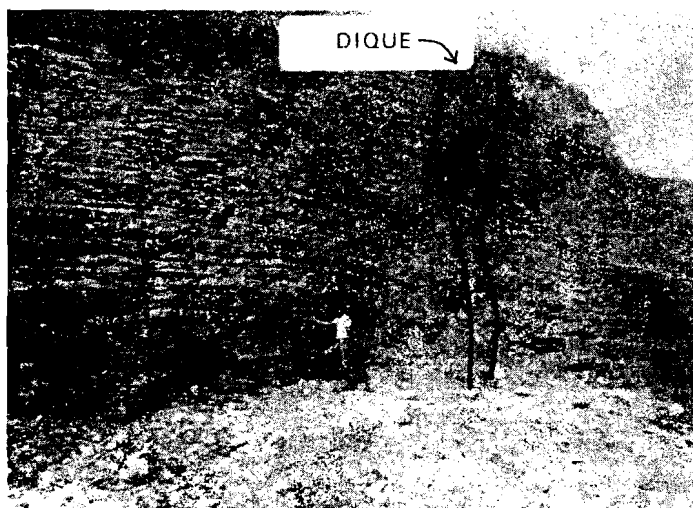


Foto 3 - Estrutura gaivota na Formação Irati. Pedreira da Fertil. Rodovia SP-143, a 15 km do cruzamento com a SP-300. Ponto 9 de ARANHA *et alii* (1984) ⁽¹⁰⁾.

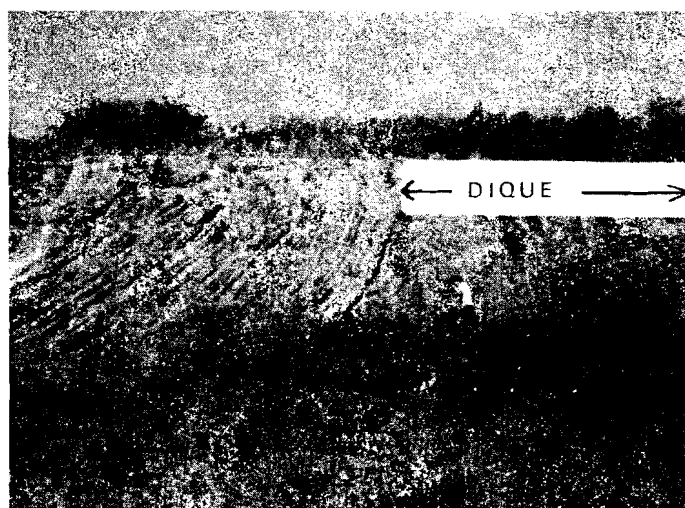


Foto 4 - Detalhe das camadas verticais próximo ao dique ilustrado na figura 7.

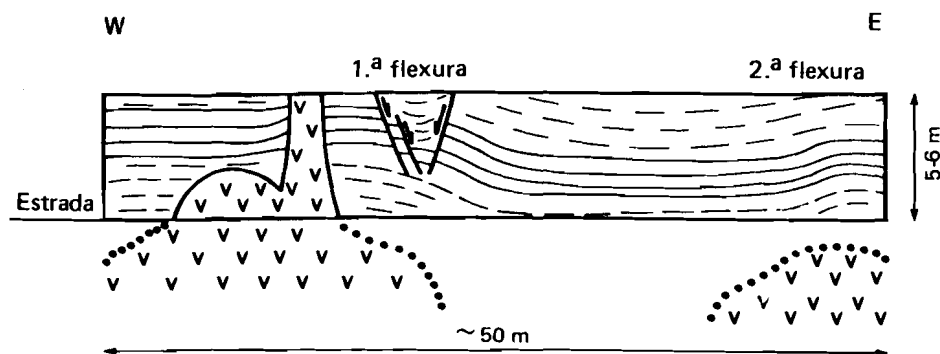


Fig. 8 - Corte de estrada (lado norte) mostrando flexuras monoclinais originadas pelo empuxo de dique e apófise de diabásio. A primeira flexura apresenta um *goben* em seu plano axial. A geometria do corpo magmático abaixo do nível da estrada foi inferida. Rodovia Raposo Tavares, 105,6 km a sudeste do entroncamento com a SP-255.

nos dois poços (127 m) é praticamente igual à diferença de espessura de diabásios (132 m). Tal fenômeno pode ser também reconhecido em seções sísmicas, por meio de correlação de topo e base ou mediante a observação de espessamento anômalo dentro de certa sismo-fácies. A presença de numerosos *bright-spots* (indicativos de soleiras) na porção mais espessa corroborará tal suposição. Neste caso, uma interpretação correta evitará o mapeamento de falhas ou de depocentros inexistentes, normalmente invocados para explicar espessamentos anômalos.

2.9 - Estruturas Diversas

A compressão lateral e vertical causada pela intrusão dos diversos corpos magmáticos acima descritos causa o apa-

recimento de um grande número de estruturas compressoriais, extensionais e transcorrentes nas rochas encaixantes. A figura 10 exemplifica a complexidade estrutural que pode estar associada a diques e soleiras de diabásio. Falhas reversas de escala mesoscópica, isoladas em meio a sedimentos essencialmente não-perturbados, são comuns na Bacia do Paraná (foto 6). Tais falhas, quando não associadas a lineamentos maiores, provavelmente são relacionadas à compressão lateral causada pela intrusão de um dique de diabásio nas proximidades.

3 - DISCUSSÃO

Intrusões magmáticas básicas têm papel fundamental na estruturação e na acumulação de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná e também, provavelmente,

na Bacia do Amazonas. Sua importância como agente deformador já tinha sido reconhecida em alguns poucos trabalhos do final do século passado e da primeira metade deste. Entretanto, o estilo estrutural a elas relacionado jamais havia sido descrito em detalhe. A maioria dos estudos de geologia estrutural e tectônica realizados nas décadas de 60, 70 e 80 praticamente ignoraram a importância destes magmatitos. Esperamos que este trabalho alcance o objetivo de reavivar a discussão acerca do assunto, graças à descrição detalhada das diversas estruturas relacionadas aos diabásios. O discernimento correto, em campo ou em uma seção sísmica, das estruturas que possam estar associadas a estes corpos ígneos e de outras que não estão a eles associadas, e sim a outros elementos ou eventos tectônicos, é de fundamental importância na correta interpretação da evolução geológica da bacia e na procura de trapas de hidrocarbonetos nela existentes.

O estilo estrutural aqui descrito consiste em seis elementos básicos: (a) soleiras (horizontais e inclinadas); (b) lacólitos; (c) bismálitos; (d) diques com estruturas gaivota; (e) diques com estruturas diversas; (f) apófises. Associada a estes elementos básicos, pode-se encontrar toda a gama de estruturas compressoriais, extensionais e transcorrentes. A escala destas estruturas parasfíticas tende a ser mesoscópica ou microscópica, enquanto a escala dos elementos básicos varia de mesoscópica a megascópica. Neste estilo estrutural, as dimensões das estruturas são importantes para a sua correta interpretação. Por exemplo, fa-

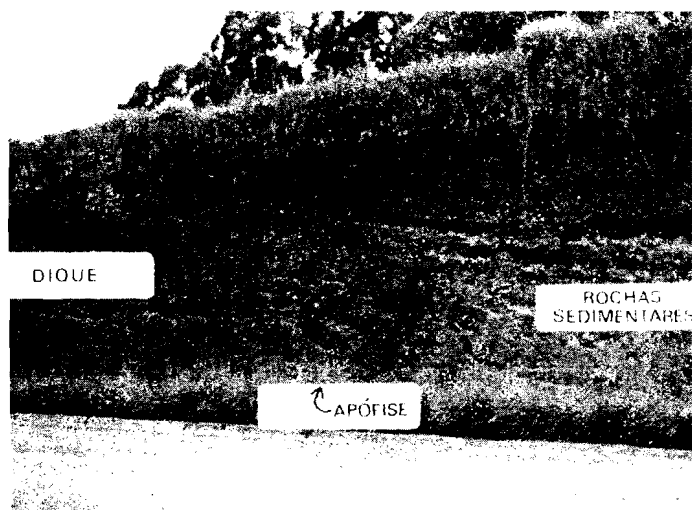


Foto 5 - Dique e apófise de diabásio. Rodovia Castro-Siqueira Campos, 80,7 km ao norte do entroncamento de Jaguariaíva.



Foto 6 - Falha reversa na Formação Teresina, provavelmente relacionada à compressão lateral proveniente de intrusão de dique próximo. Rodovia SP-255, 11 km ao norte de Taquaritiba.

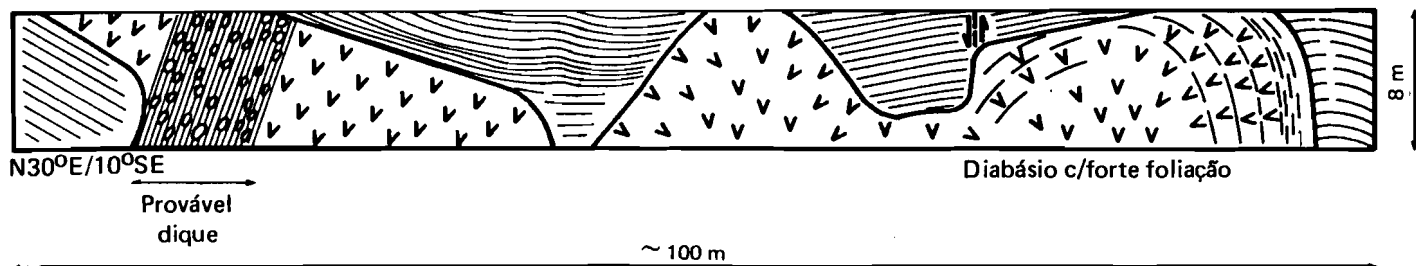


Fig. 9 - Corte de estrada (lado leste) ilustrando a geometria irregular do topo de uma soleira de diabásio, intrudida na Formação Teresina. Rodovia PR-92, 11,4 km ao norte de Siqueira Campos.

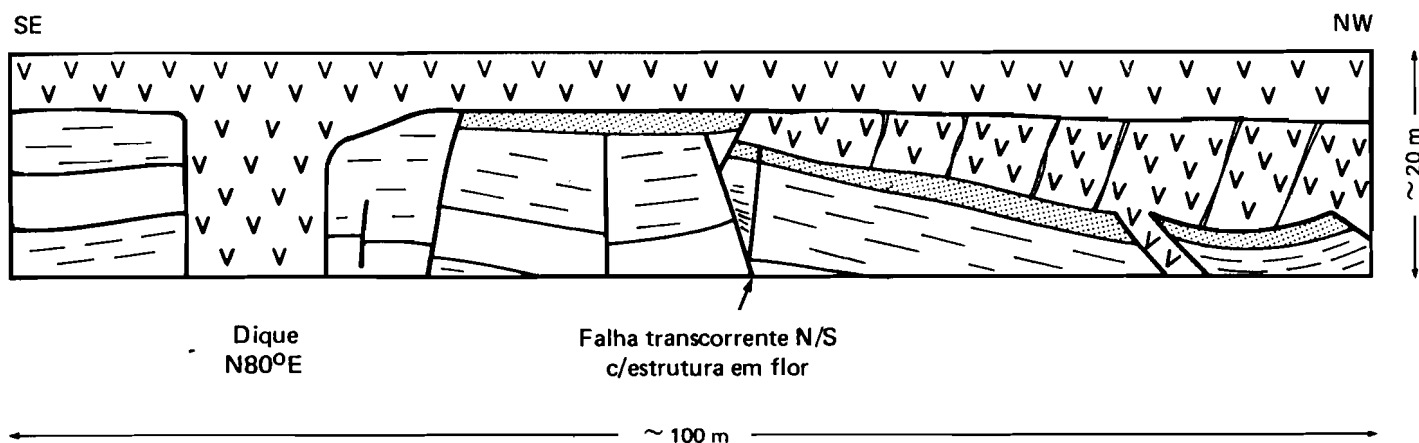


Fig. 10 - Corte de estrada (lado sudoeste) mostrando camadas da Formação Rio Bonito fortemente tectonizadas de maneira rúptil devido à intrusão de diques e soleiras de diabásio. Rodovia PR-92, trevo de Quatiguá.

lhas transcorrentes e dobramentos de escala megascópica não terão, provavelmente, sua origem relacionada a intrusões de diabásio. Entretanto, estruturas em flor e falhas reversas em escala de afloramento, próximas a corpos ígneos, terão grande chance de ter sua origem intimamente ligada às intrusões.

A litologia das formações intrudidas tem grande influência no tipo de estruturas desenvolvidas durante as intrusões. Formações ricas em arenitos (Furnas, Rio Bonito, Pirambóia) apresentam comportamento rúptil. Fraturamento e falhamento são suas respostas mais comuns à deformação. Diques predominam. Formações mais argilosas (Ponta Grossa, Palermo, Irati e Teresina) apresentam comportamento dúctil. Dobramentos, falhas reversas e de empurrão são comumente encontrados. Soleiras e lacólitos predominam.

A importância das estruturas relacio-

nadas aos magmatitos básicos no trapeamento de hidrocarbonetos foi aqui demonstrada utilizando-se as ocorrências de arenitos betuminosos no sudeste de São Paulo, quase que certamente trapeados por estruturas gaivota situadas no lado interno (para o centro da bacia) de diques de diabásio. Tal importância é também indicada pelos poços subcomerciais de gás CS-2-PR e CB-1-SP, cujos intervalos produtores situam-se imediatamente abaixo de corpos de diabásio.

Não resta dúvida quanto à enorme importância das rochas intrusivas básicas na Bacia do Paraná, tanto na estruturação da bacia, como no trapeamento de hidrocarbonetos. É hora de reconhecer tal importância e de partir para estudos mais detalhados, visando a melhor definição da geometria destes corpos ígneos e de sua relação com jazidas de hidrocarbonetos, sem descuidar das estruturas formadas em outros eventos tectônicos.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos agradecimentos ao Superintendente-Geral do DEPEX, Milton Romeu Franke, pela autorização para publicar este trabalho, assim como pela avaliação do mesmo; ao geólogo Laércio G. F. Aranha, da SUPEX, pela cessão da foto 3; ao geofísico Sérgio Michelucci Rodrigues, do DENOC, pelo empréstimo da seção sísmica da figura 6; e ao geólogo Eduardo Lopes de Freitas, do CENPES, pela cessão das fotos 1, 5 e 6.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (¹) ZALÁN, P. V. et alii. *Relatório de viagem de campo à borda leste da Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/G. T. Bacia do Paraná, 1985. 43 p. (Relatório interno).

- (²) LOCZY, L. & LADEIRA, E. A. *Geologia estrutural e introdução à geotectônica*. São Paulo, E. Blücher, 1980. 528 p.
- (³) BILLINGS, M. P. *Structural geology*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1972. 606 p.
- (⁴) PARK, R. G. *Foundations of structural geology*. Glasgow, UK, Blackie, 1983. 135 p.
- (⁵) PRESS, F. & SIEVER, R. *Earth*. San Francisco, Calif., W. H. Freeman, 1982. 613 p.
- (⁶) SOARES, P. C. Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre, 1974. *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Porto Alegre, SBG, 1974. v. 4, p. 107-21.
- (⁷) LEINZ, V. E. & AMARAL, S. E. *Geologia geral*. São Paulo, Cia. Editora Nacional, 1978. 397 p.
- (⁸) CRONE, A. J. *et alii*. Structure of the New Madrid seismic source zone in Southeastern Missouri and Northeastern Arkansas. *Geology*, 13: 547-50, 1985.
- (⁹) LONSDALE, P. & LAWVER, L. A. Immature plate boundary zones studied with a submersible in the Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 91: 555-69, 1980.
- (¹⁰) ARANHA, L. G. F.; FRANÇOLIN, J. B. L. & PANTOJA, J. L. *Geologia estrutural da área do lineamento da Serra da Fartura – Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. SUPLEX, 1984. 28 p. (Relatório interno).
- (¹¹) THOMAZ FILHO, A. Ocorrência de arenito betuminoso em Anhembi (SP) – Cubagem e condicionamento geológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 32., Salvador, 1982. *Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia*, 1982. v. 5, p. 2344-8.