

O POTENCIAL PETROLÍFERO E AS PERSPECTIVAS EXPLORATÓRIAS DA BACIA DO SOLIMÕES – NORTE DO BRASIL

SOLIMÕES BASIN: OIL POTENTIAL AND EXPLORATION PERSPECTIVES – NORTHERN BRAZIL

Isaias Ramos Brazil¹

RESUMO - A atividade exploratória visando a descoberta de hidrocarbonetos na Bacia Paleozóica do Solimões, anteriormente denominada Bacia do Alto Amazonas, desenvolveu-se a partir dos trabalhos geológicos iniciados na região Amazônica, em 1917, através do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil - SGMB, Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM e Conselho Nacional do Petróleo - CNP. A atuação da PETROBRÁS na bacia se fez sentir através de duas memoráveis campanhas exploratórias: a primeira, na década de 60, quando perfurou 16 poços estratigráficos, revelando uma bacia extremamente atraente para petróleo. A segunda, desencadeada a partir de 1975, culminou com a descoberta de gás em quantidades comerciais no *trend* do Juruá, em 1978, ensejando com a evolução da pesquisa, a descoberta de óleo em 1986 no *trend* do Urucu. O esforço exploratório despendido forneceu um considerável acervo de dados e um razoável conhecimento sobre a geologia da bacia, propiciando a descoberta de significativos volumes de óleo, gás e condensado, e possibilidades de novas descobertas com o prosseguimento da pesquisa exploratória.

(Originais recebidos em 20.10.89)

ABSTRACT - Hydrocarbon exploration activities in the Paleozoic Solimões Basin, formerly known as the Alto Amazonas, date to 1917, when Brazil's Geological and Mineralogical Service, the National Department of Mineral Production and the National Petroleum Council began geological work in the Amazon region. PETROBRÁS has been active in the basin through two major exploratory campaigns. Undertaken during the sixties and tested by sixteen stratigraphic wells, the first campaign revealed an extremely attractive oil basin. The second, launched in 1975, culminated with the 1978 discovery of commercial quantities of gas in the Juruá Trend; the further evolution of research activities led to the 1986 discovery of oil in the Urucu Trend. Exploratory efforts have yielded a sizeable amount of data and have increased knowledge of the geology of the basin, resulting in the discovery of significant volumes of oil, gas, and condensate. It has also been possible to predict new discoveries based on continued exploratory research.

(Expanded abstract available at the end of the paper.)

1 - INTRODUÇÃO

A Bacia do Solimões encontra-se localizada na porção norte do Brasil, entre os paralelos 2° e 8° S e meridianos 62° e 72° W. Geologicamente situa-se entre o Arco de Iquitos, na fronteira com o Peru, e o de Purus, que a separa da Bacia do Amazonas. Possui uma área prospectável para hidrocarbonetos de aproximadamente 300 000 Km², até o presente restrita à seção paleozóica (fig. 1).

A exploração de petróleo desenvolvida pela PETROBRÁS nessa bacia paleozóica iniciou-se na década de 60 com a

perfuração de poços estratigráficos ao longo dos principais rios da região, com base, principalmente, em gravimetria e geologia de superfície, e teve como grande mérito definir a estratigrafia básica da bacia, revelando a presença de rochas geradoras, selantes e reservatórios.

O avanço tecnológico da sísmica de reflexão, aliado à evolução dos meios de comunicação e transporte, permitiram a retomada do processo exploratório a partir de 1975. Os levantamentos sísmicos terrestres, apoiados nos trabalhos geológicos de reavaliação da bacia, culminaram por delinear expressiva anomalia

1 - Setor de Bacias Terrestres (SEBAT), Divisão de Interpretação (DINTER), Distrito de Exploração da Bacia Potiguar (DEBAR), Av. Interventor Mário Câmara, 2783, Nazaré, CEP 59070, Natal, R.G. do Norte, Brasil.

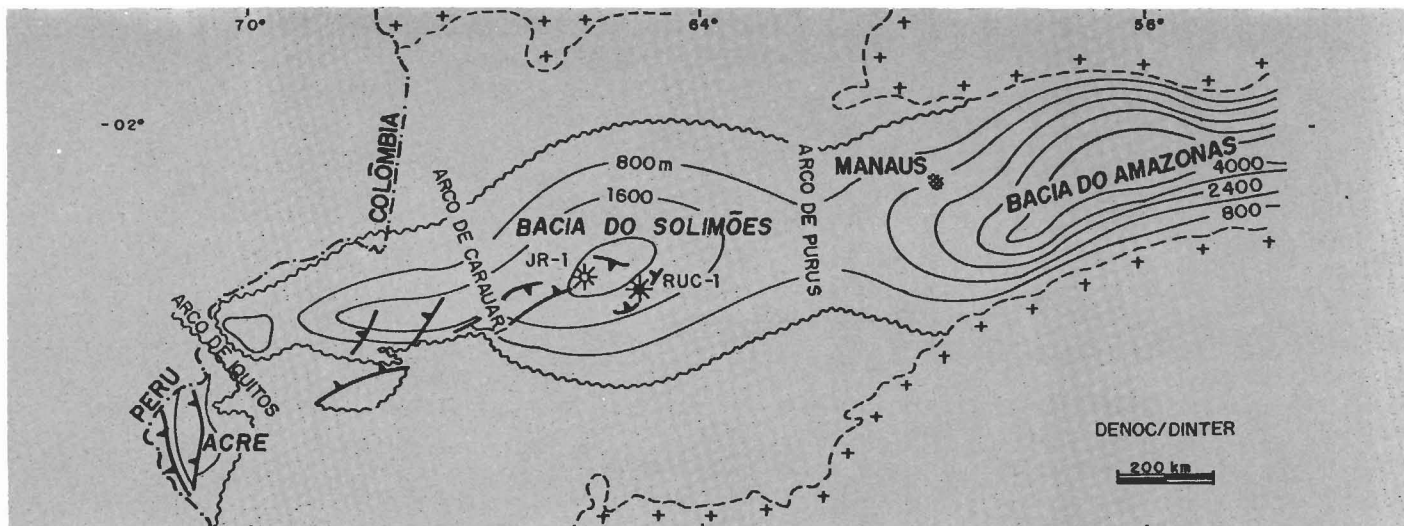


Fig. 1 - Mapa de Isópacas da seção paleozóica, incluindo as soleiras de diabásio.
 Fig. 1 - Isopach map of Paleozoic section, including diabase sills.

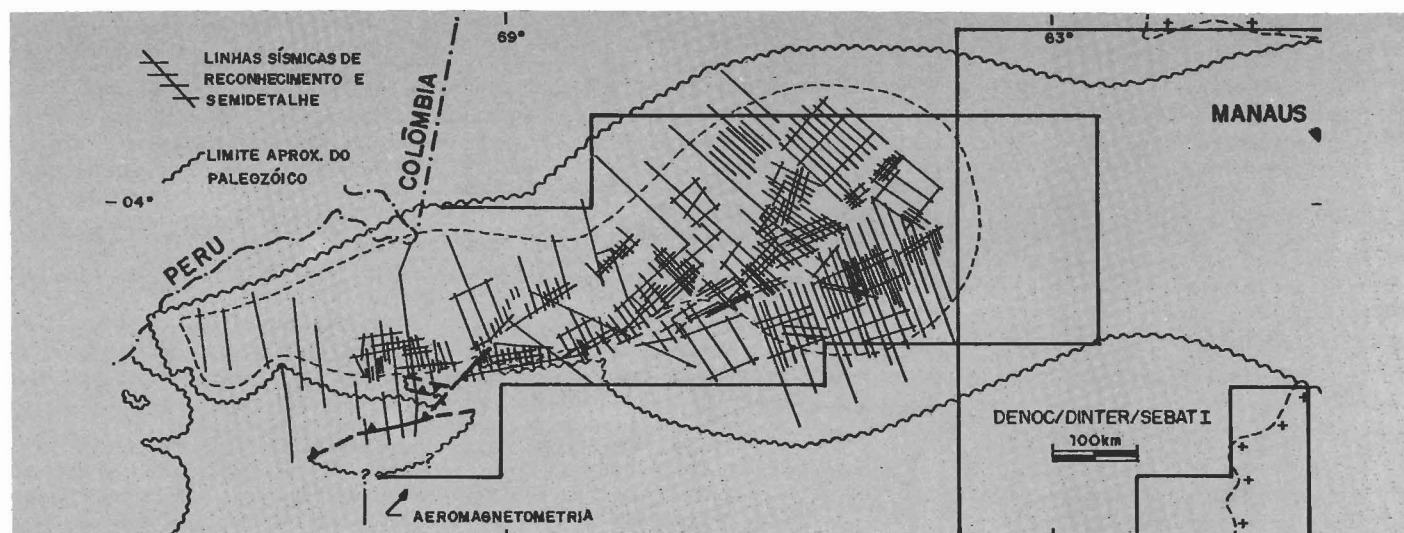


Fig. 2 - Mapa da Bacia do Solimões contendo os levantamentos magnetométricos, gravimétricos e sísmicos.
 Fig. 2 - Map of Solimões Basin indicating areas of magnetometric, gravimetric, and seismic surveys.

estrutural (alinhamento estrutural do Juruá), onde perfurou-se, em 1978, o pioneiro 1-JR-1-AM (Juruá nº 01), revelando o primeiro campo de gás com potencialidade econômica em bacia paleozóica brasileira.

O incremento das atividades exploratórias, além de apropriar um significativo volume de gás, propiciou a descoberta de óleo, em 1986, na província estrutural do Rio Urucu.

2 - GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Solimões evoluiu a partir do Ordoviciano como uma sinéclise interior continental com flexura, de oeste para

leste, condicionada pelo contexto andino. O seu arcabouço estratigráfico é composto por cinco seqüências deposicionais, interrompidas por importantes discordâncias regionais, associadas a orogêneses de borda de placa. Após o magmatismo básico Juro-triássico seguiu-se, no Eocretáceo, um tectonismo modificador cisalhante (tectônica Juruá) responsável pela formação dos expressivos *trends* estruturais compostos de anticlinais assimétricas associadas a falhas reversas e pela remobilização e trapeamento das acumulações de hidrocarbonetos. No Terciário, a sobrecarga da cordilheira andina causou flexuramento crustal e deslocamento do decopentro da bacia para a região sub-

andina e conseqüente espessamento da seqüência terciária naquela direção.

3 - PANORAMA DA EXPLORAÇÃO

Nesses últimos 12 anos de pesquisa, foi considerável o esforço exploratório desenvolvido pela PETROBRÁS com a participação, embora de menor monta, de algumas companhias estrangeiras que operaram sob contrato de risco, destacando o Consórcio Pecten - British Petroleum - Idemitsu.

A bacia acha-se toda coberta por aeromagnetometria, gravimetria e sísmica de reflexão a nível de reconhecimento, e as áreas mais promissoras por sísmica

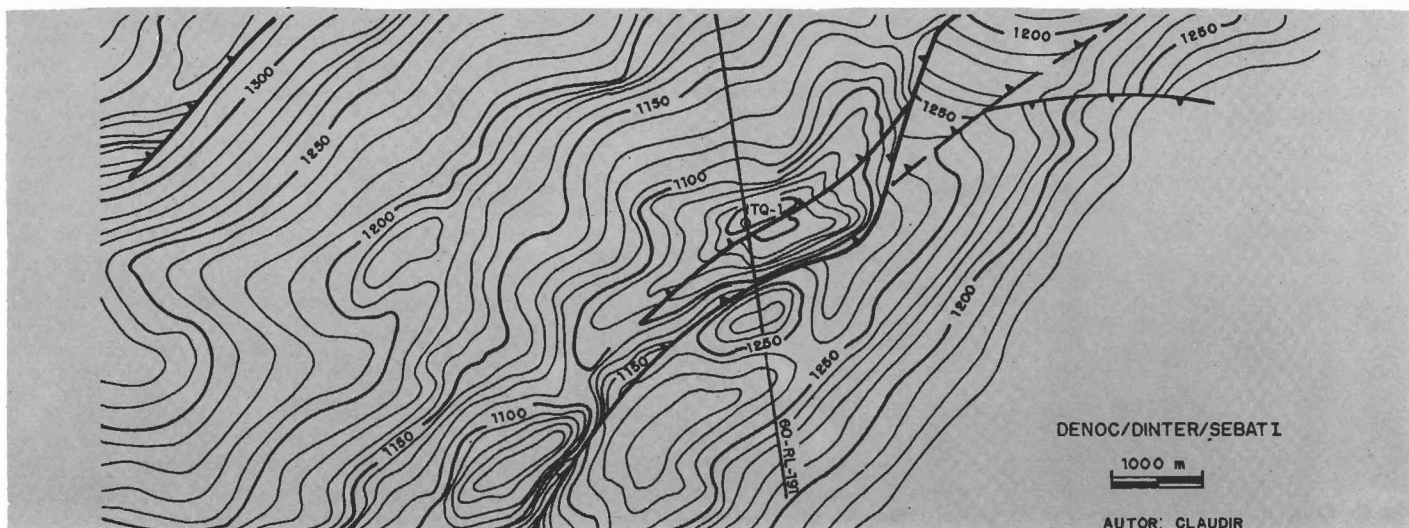


Fig. 5 - Mapa estrutural sísmico do trend do Itaqui - província petrolífera do Jandiatuba.

Fig. 5 - Seismic structural map of Itaqui Trend, Jandiatuba petroleum province.

possível compartimentar a Bacia do Solimões em quatro províncias, distribuídas nas sub-bacias do Juruá a leste e Jandiatuba a oeste, permitindo uma análise criteriosa e mais realista da potencialidade petrolífera da bacia (fig. 4).

4.1 - Província do Jandiatuba

É a porção mais ocidental da Bacia do Solimões, localizada entre o Rio Javari, na fronteira com o Peru, e o Rio Jutai. Geologicamente situa-se entre os Arcos de Iquitos e Carauari (fig. 4). Esta província possui, aproximadamente 90 000 km² de área prospectável, estando coberta por

cerca de 5 000 km de linhas sísmicas de reflexão. Foi testada por 11 poços, sendo seis estratigráficos da década de 60 e cinco pioneiros da fase Juruá. A qualidade sísmica da área pode ser considerada boa. Na porção sul desta província encontram-se mapeados expressivos alinhamentos estruturais contendo significativas estruturas dômicas associadas, com bom controle sísmico e prontas para testes exploratórios (figs. 5 e 6). Por outro lado, extensas áreas nas suas porções norte e oeste ainda são pouco conhecidas geologicamente, encontrando-se cobertas somente por sísmica de reconhecimento e sem informações de poços.

O processo exploratório que caminhava a passos largos nesta porção da bacia foi bruscamente interrompido em 1985, devido aos incidentes ocorridos, envolvendo trabalhadores das equipes sísmicas e a comunidade indígena local.

As características geoquímicas da Sub-bacia do Jandiatuba são excelentes. No poço 1-JD-1-AM (Jandiatuba nº 01) perfurou-se cerca de 70 m da seção radioativa devoniana, principal geradora da bacia, com teores médios de carbono orgânico de 5%, chegando a 8%, sendo os maiores teores constatados na Bacia do Solimões (fig. 7). As análises de ma-

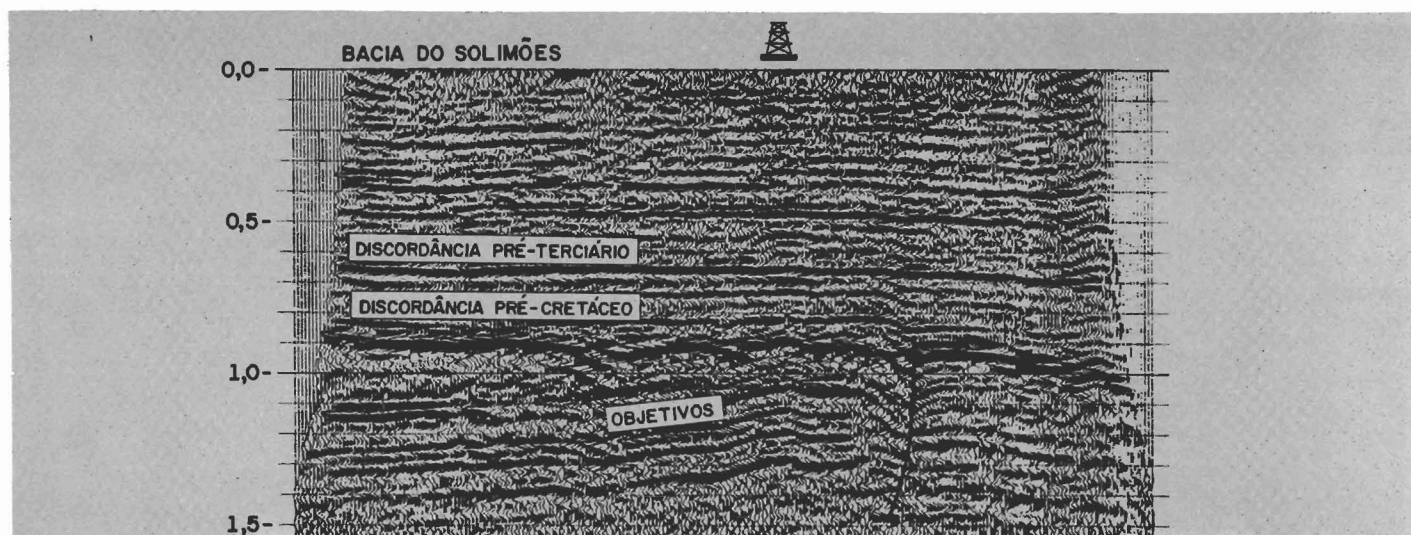


Fig. 6 - Linha sísmica 60-RL-191, trend do Itaqui - província petrolífera do Jandiatuba.

Fig. 6 - Seismic profile 60-RL-191, crossing Itaqui Trend, Jandiatuba petroleum province.

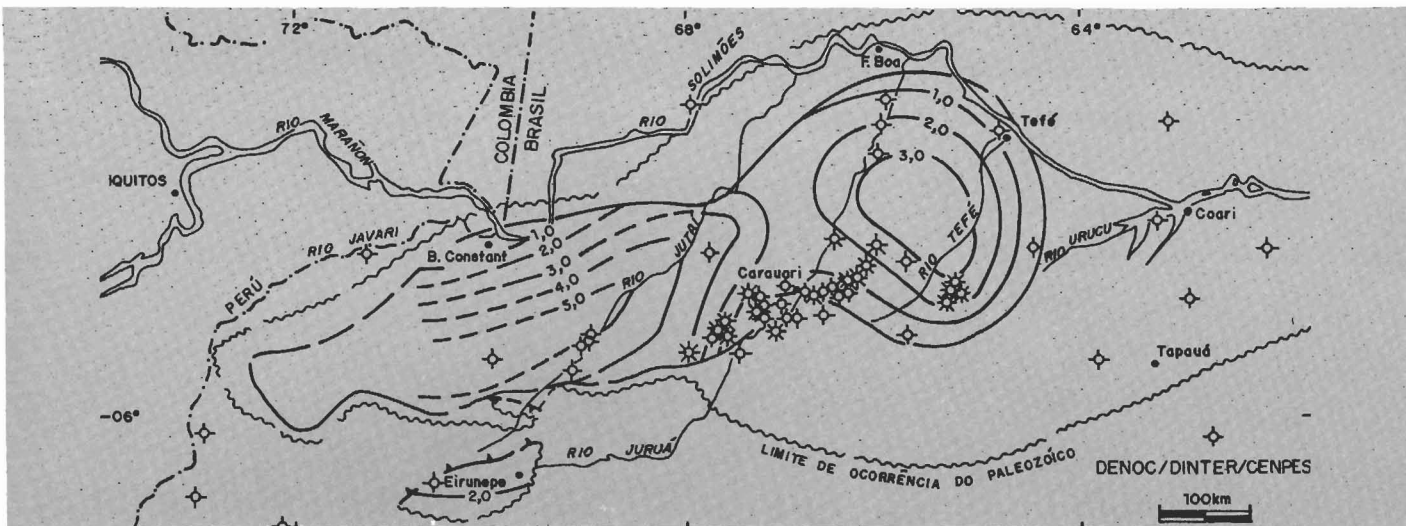


Fig. 7 - Mapa de isoteores médios de carbono orgânico - seção frasniana da Bacia do Solimões.

Fig. 7 - Total organic carbon map, Frasnian section of Solimões Basin.

turação (IAT=3.4) apontam para um potencial essencialmente gasoso, cujos volumes prováveis de gás *in place* podem ultrapassar a $20 \times 10^9 \text{ m}^3$, considerando-se somente as estruturas mapeadas. Convém lembrar que o poço Jandiátuba nº 01, perfurado na calha central, produziu em teste de formação, a poço revestido, 180 000 m^3/d de gás e significativo volume de condensado de 47° API. É possível que, em direção às bordas, a seção geradora esteja menos senil, ainda dentro da janela de preservação de óleo.

4.2 - Província do Juruá

É a parte central da Bacia do Solimões, situada entre os rios Jutá e Tefé. Geologicamente compreende o alinhamento

estrutural do Juruá e demais *trends* adjacentes implantados na área do Arco de Carauari (fig. 4). É a porção da bacia mais conhecida e explorada, estando toda coberta por sísmica de reflexão a nível de reconhecimento e semidetalhe. Os principais *trends* mapeados acham-se cobertos por sísmica de detalhe e testados, pelo menos, por um poço pioneiro. Algumas estruturas mapeadas não foram perfuradas por encontrarem-se em áreas indígenas ou por possuírem área fechada de pequeno porte e, portanto, fora da filosofia exploratória da época.

Todas as acumulações comerciais de gás conhecidas na bacia, antes da fase Urucu, estão contidas no alinhamento estrutural do Juruá (fig. 3). Os 44 poços explo-

ratórios perfurados na fase do Juruá proporcionaram a descoberta de dez campos de gás cujos volumes originais *in place* atingem $38 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Rel. Reservas Dez/1988).

O potencial petrolífero dessa província é nitidamente gasoso, podendo-se esperar a produção de algum condensado. De qualquer maneira, as melhores situações estruturais já foram testadas e o volume de hidrocarbonetos a ser descoberto dificilmente dobrará o já conhecido, embora possa ser ampliado.

4.3 - Província do Tefé

Esta província compreende toda a borda norte da Sub-bacia do Juruá (fig. 4). Possuindo cerca de 90 000 km^2 de área

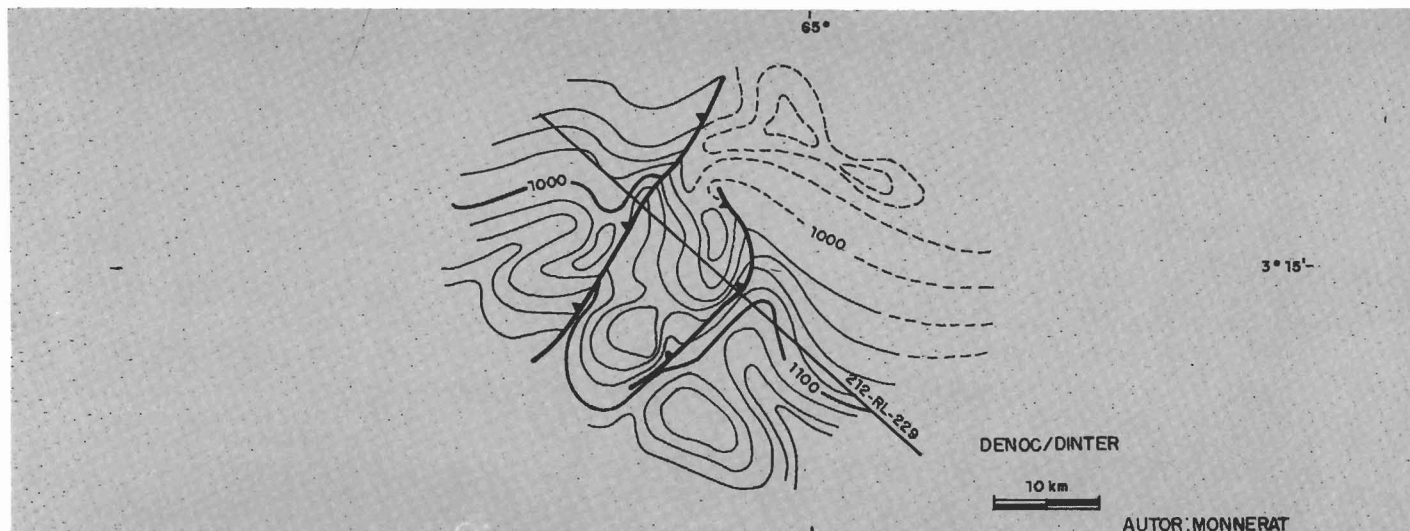


Fig. 8 - Mapa estrutural sísmico da área do Rio Caiçara - província petrolífera do Tefé.

Fig. 8 - Seismic structural map of Rio Caiçara area, Tefé petroleum province.

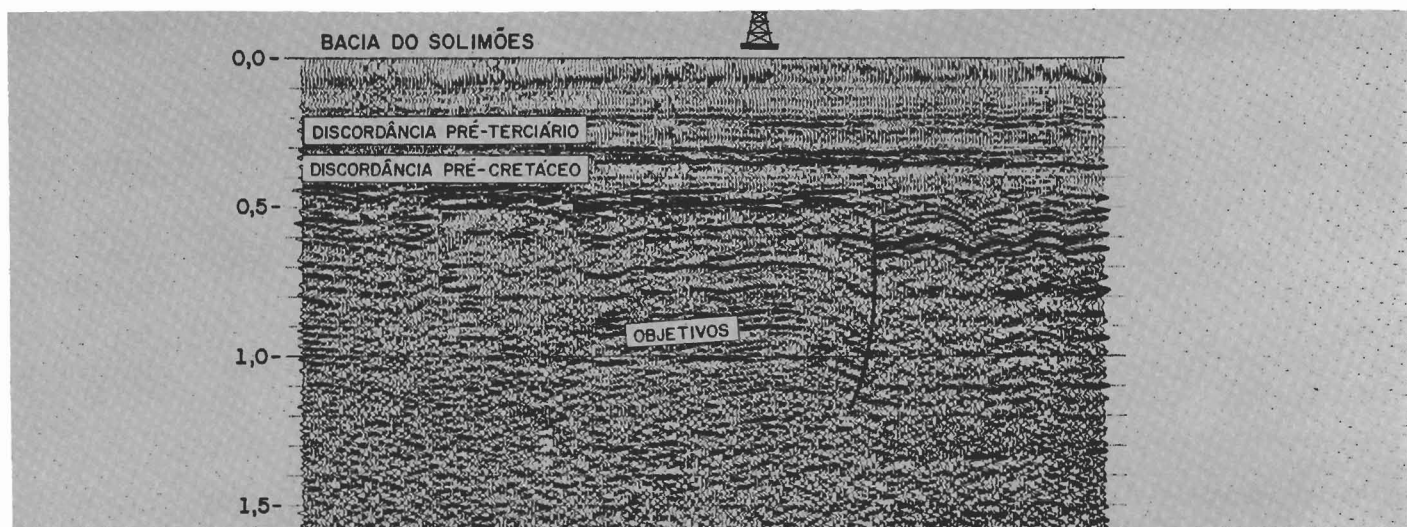


Fig. 9 - Linha sísmica 212-RL-229 - área do Rio Caiçara.
 Fig. 9 - Seismic profile 212-RL-229, Rio Caiçara area.

prospectável, configura-se como sendo a porção menos conhecida da Bacia do Solimões. Somente parte dela acha-se coberta por sísmica de reconhecimento com algum semidetalhe localizado. Possui meia dúzia de poços estratigráficos, todos perfurados na década de 60, sem nenhum apoio sísmico. Após o sucesso obtido com a perfuração do 1-RUC-1-AM, o distrito passou a olhar esta área com renovado interesse, pela possibilidade de a mesma conter hidrocarboneto líquido, devido à sua similaridade geológica com a borda sul, embora, aparentemente, apresente-se menos tectonizada.

A qualidade sísmica dessa área é inferior à constatada nas demais porções da Bacia do Solimões, notadamente próximo à calha central, onde ocorre maior espessura de diabásio. Na parte mais rasa tem-se conseguido uma qualidade sísmica suficiente para mapear com segurança, a nível do objetivo, o que permitiu o mapeamento de algumas anomalias significativas (figs. 8 e 9).

A análise geoquímica da seção radioativa devoniana, folhelhos e diamictitos, atravessada pelos poços da área, revelou estado senil de maturação, em condições

de gerar somente gás. Entretanto, sabe-se que as intrusivas básicas tiveram papel importante na maturação dos folhelhos geradores. Quando as soleiras de diabásio ocorrem próximo à seção geradora, a exemplo da área do Juruá (200 m estruturalmente acima), a matéria orgânica apresenta-se senil e, quando distante, como na área do Urucu (cerca de 800 m), a matéria orgânica permanece dentro da janela de preservação do óleo (fig. 10).

A escassez de dados sobre a Província do Tefé impede uma análise mais realista

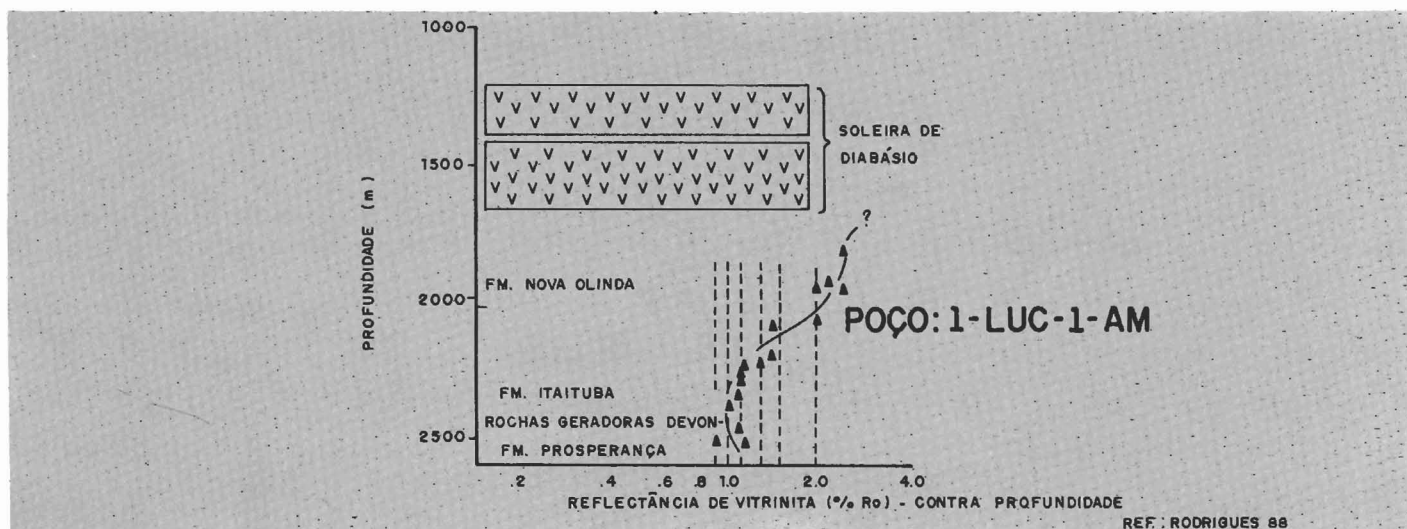


Fig. 10 - Influência das soleiras de diabásio na maturação.
 Fig. 10 - Thermal effect of diabase sills on maturation.

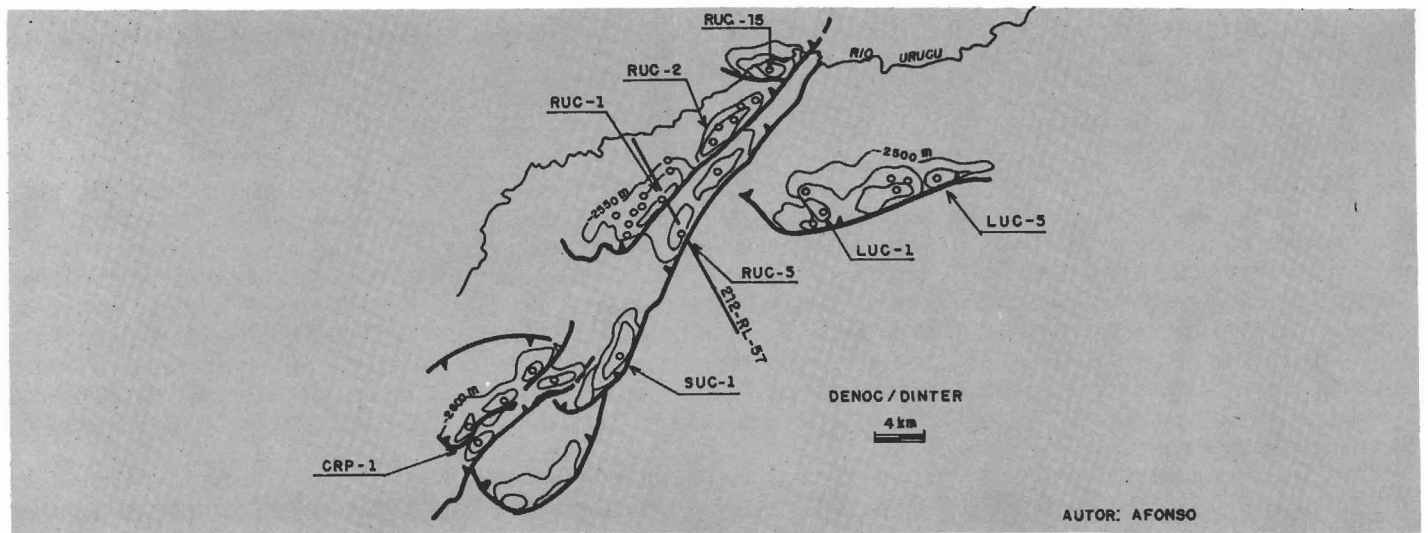


Fig. 11 - Mapa estrutural sísmico em profundidade do trend do Urucu - província petrolífera do Urucu.
 Fig. 11 - Depth-converted seismic structural map of Urucu Trend, Urucu petroleum province.

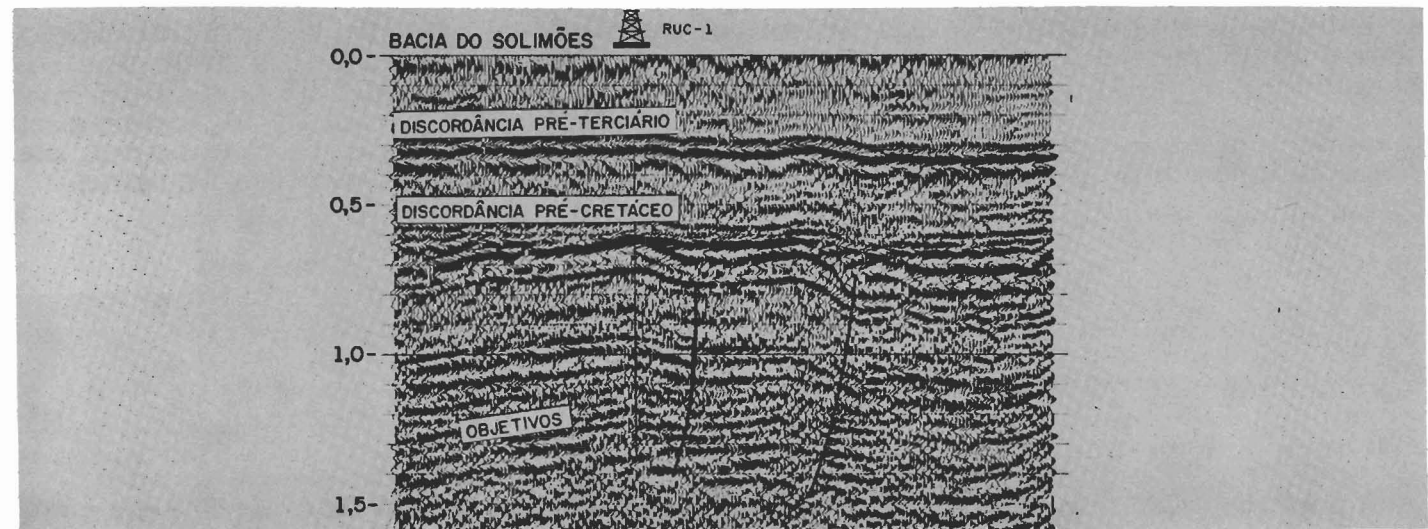


Fig. 12 - Linha sísmica 212-RL-57, trend do Rio Urucu.
 Fig. 12 - Seismic profile 212-RL-57, Rio Urucu Trend.

sobre a sua potencialidade petrolífera. Entretanto, com base nos resultados alcançados nas províncias do Juruá e Urucu, espera-se a descoberta de novas jazidas nesta estratégica porção da bacia.

4.4 - Província do Urucu

Esta província ocupa parte da calha central da Sub-bacia do Juruá, estendendo-se em direção à borda sul (fig. 4).

Nos últimos três anos, o esforço exploratório desenvolvido pelo DENOC tem-se concentrado nesta porção da bacia, face aos excelentes resultados alcançados. A

área acha-se toda coberta por sísmica de reflexão a nível de reconhecimento e de semidetalhe. Os principais trends mapeados encontram-se controlados por sísmica de detalhe e estão sendo testados por poços pioneiros. As anomalias estruturais detectadas nas áreas circunvizinhas aos trends estão sendo alvo de novos programas sísmicos.

A qualidade sísmica desta província é muito boa nas suas porções intermediária e rasa, porém, nas partes mais profundas, próximo à calha central, a qualidade é deteriorada provavelmente pela maior espessura de diabásio existente.

O mapeamento estrutural sísmico, utilizando cerca de 15 000 km de linhas, além de identificar inúmeras anomalias, aparentemente isoladas, permitiu mapear três expressivos trends, todos localizados na porção intermediária desta província. Os trends mapeados do Rio Urucu, Igarapé Açú e Igarapé Ingá acham-se testados por poços pioneiros. Destes, destaca-se o trend do Urucu (figs. 11 e 12), onde foram perfurados 20 poços exploratórios, resultando na descoberta de cinco campos contendo óleo, gás e condensado, cujos volumes originais *in place* alcançaram 123 x 10⁶ bbl de óleo e 33 x 10⁶ m³ de gás (Rel. Reservas Dez/88).

5 - CONCLUSÕES

A Província do Jandiatuba apresenta um potencial petrolífero essencialmente gasoso e, embora seja bastante atrativa pela possibilidade de conter consideráveis volumes de hidrocarbonetos, a pesquisa exploratória nesta área deverá permanecer suspensa ainda por longo período, até que seja possível a exploração de petróleo em áreas indígenas.

Embora as situações estruturais mais promissoras da Província do Juruá já tenham sido testadas, é possível adicionar um significativo volume de gás às reservas já conhecidas, através da perfuração das estruturas menores já mapeadas e do refinamento da pesquisa exploratória orientada para outros possíveis prospectos existentes na área.

Os dados geológicos e geofísicos existentes sobre a Província do Tefé ainda

são muito escassos. Contudo, as primeiras seções sísmicas daquela área, adquiridas na atual fase exploratória, mostram expressivas anomalias estruturais, muito atrativas pelo fato de apresentarem similaridades com outras já testadas com êxito e também por se encontrarem próximo às margens do Rio Solimões, via natural de escoamento de produtos da região.

Os excelentes resultados obtidos na Província do Urucu, aliados às diversas situações estruturais detectadas adjacentes aos *trends* mapeados, somadas às perspectivas vislumbradas na Província do Tefé, além de incentivar o incremento da pesquisa, permitem prever a longevidade do processo exploratório da Bacia do Solimões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ESTEVES, Fernando Roberto. *Exploração na Área do Juruá*. Manaus: PETROBRÁS/DENOC/DINTER, 1982. 6 f (Relatório SIEX - 131-00024).
- RODRIGUES, Sérgio Michelucci. *Ocorrências de gás não associado na Área do Juruá e estágio exploratório na Bacia do Alto Amazonas*. Manaus: PETROBRÁS/DENOC, 1985. 14 f. (Relatório SIEX - 131-06079).
- SZATMARI, Peter, SIMÕES, Ivan de Araújo, CARVALHO, Renato Senna de. *Evaporitos na Bacia do Amazonas*. Rio de Janeiro. PETROBRÁS/DEXPRO/DIVEX/SEGEL, 1975. 128 f. (Relatório SIEX - 103-05054).
- TSUBONE, Kaoru, APOLUCENO NETO, Amaro Ferreira, BRAZIL, Isaías Ramos. *Tectonics and sedimentation of the Solimões, northern Brazil*. Manaus: PETROBRÁS/DENOC, 1988. 9 f. (Relatório SIEX - 131-06719).

EXPANDED ABSTRACT

Hydrocarbon exploration activities in the Solimões Basin, formerly known as the Alto Amazonas, date to 1917. During these early years, Brazil's Geological and Mineralogical Service, the National Department of Mineral Production, and the National Petroleum Council drilled a small number of shallow wells in the basin. PETROBRÁS efforts in the Solimões can be divided into two phases: (1) The first, occurring during the late fifties and early sixties (specifically, 1957-1963), was based chiefly on gravity methods and field geology; activities culminated with the drilling of sixteen stratigraphic wells bordering the region's main rivers. The fruit of this campaign was a better understanding of basin stratigraphy and the identification of potential source, seal, and reservoir rocks. However, as hydrocarbon finds were scarce and serious operational difficulties were encountered, oil prospecting was temporarily suspended. (2) In the early seventies, PETROBRÁS resumed exploration activities, using improved seismic methods (both acquisition and computer processing) and a more refined telecommunications system. New seismic surveys were conducted based on a

geological review of the basin, and these led to the 1978 discovery of the Juruá gas trend and the 1986 discovery of the Rio Urucu oil province.

These efforts by PETROBRÁS, undertaken in conjunction with foreign oil companies working under risk contracts, yielded a sizeable amount of data and increased knowledge of basin geology, in turn leading to the discovery of significant volumes of oil, gas, and condensates. It has also become possible to predict further discoveries based on continued exploratory research.

Based on this new information, geoscientists divided the Solimões Basin into four potential petroleum provinces, distributed within the Juruá and Jandiatuba sub-basins located, respectively, to the east and west of the Carauari Arch. It also became possible to arrive at a more refined and realistic analysis of petroleum potential.

Forming the westernmost portion of the Solimões Basin, the Jandiatuba province is located between the Iquitos Arch on the Peruvian border and the Carauari Arch,

wich separates the province from the Juruá Sub-basin. Its exploitable area totals about 90 000 km², in wich 5 000 km of good quality reflection seismic profiles have been acquired and eleven wells drilled. As a result of these studies, 70-m-thick Devonian black shales have been identified as the source rock for the entire Solimões Basin. Geochemical analyses indicate that these shales have a total organic carbon content of 5% and maturation analysis indicates that they are gas-prone. Considering only some of the structures now mapped, the indicated volume of gas in place far exceeds 20 billion m³. Huge areas of the northern and western portions of this province have yet to be seismically mapped. Study of these areas has been limited to reconnaissance seismic surveys, with no well information available, thus attesting to the juvenile exploration stage of this sub-basin.

Located in the central part of the Solimões Basin, the Juruá province is associated with the Juruá Structural Lineament (a tectonic feature composed of asymmetrical anticlines associated with reverse faults) and with similar, adjacent trends along the region of the Carauari

Arch. All commercial gas accumulations detected prior to the Rio Urucu discovery are located in this province. Total volume of gas in place may be as high as 38 billion m³, distributed over ten fields. This province is the most fully explored in the basin with 20 000 km of seismic profiles having been acquired within its 70 000 km² area. Additionally, forty-four exploratory (wildcat and extension) wells were drilled during the late seventies and early eighties, the period known as the "Juruá phase". All promising structural situations have been tested by at least one wildcat. It may nonetheless be possible to increase the gas reserves in this province by drilling smaller structures and by refining exploratory research aimed at other potential prospects.

Situated at the northern edge of the Juruá Sub-basin, the Tefé is the largest (90 000 km² of exploitable area) and least

studied province in the Solimões Basin. Only some portions of it have been covered by reconnaissance and semi-detailed seismic surveys, and to date only six wells - all stratigraphic - have been drilled. Interest in this province has been renewed by a successful exploratory campaign in the Urucu province (located at the southern edge of the same sub-basin), owing to the possible occurrence of a similar geological situation at the northern edge of the sub-basin. Recently acquired seismic profiles indicate that the structural features of the Tefé are similar to those of the Juruá and Urucu provinces. It should be pointed out that if this province becomes prolific, its importance will be enhanced by its location on the Solimões River bank, which would facilitate transportation.

Found at the southern edge of the Juruá Sub-basin, the Urucu province extends down to its central trough. Owing to the

excellent results already achieved, PETROBRÁS has concentrated all of its efforts in this particular province of the Solimões Basin over the past three years. About 15 000 km of seismic lines have been acquired, including the first onshore 3-D seismic survey, covering most of the major discoveries. Seismic interpretation has resulted in the mapping of several structural features tested by wildcat drilling and by some extension wells. A major structural lineament has been identified, all of the aforementioned structures being associated with it. Estimated volumes of oil and gas in place are 123 million barrels and 33 billion m³.

The excellent results achieved in this province, weighed together with results for the Juruá province and the potential predicted for the remaining two provinces, suggest that exploration activities in the Solimões Basin will have a long life.

