



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO PALINOLÓGICA, PETROLÓGICA E GEOQUÍMICA ORGÂNICA DAS DUAS PRINCIPAIS SEQÜÊNCIAS DE ROCHAS GERADORAS DA BACIA DO PARANÁ

Kern, M.; Pacheco, R.; Engelke, V.; Franco, N.; Blanco, M. and Kalkreuth, W.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências – Departamento de Geologia.
Endereço: Av. Bento Gonçalves nº 9500. Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul – Brasil.

E-mail: marciokern@yahoo.com

Resumo – A principal meta deste estudo é a caracterização petrográfica e geoquímica das duas principais seqüências potencialmente geradoras de hidrocarbonetos da Bacia do Paraná. A caracterização destas rochas é baseada numa extensa e representativa coleta de amostras da área de ocorrência destas rochas na Bacia do Paraná ao longo de um *trend* SW-NE. As amostras foram coletadas em afloramentos, cavas de mineração e sondagens cedidas pelo Serviço Geológico Brasileiro e pelo Departamento Nacional de Produção Mineral. As seqüências de rochas analisadas possuem bom potencial de geração de hidrocarbonetos. Parâmetros petrológicos e geoquímicos indicam que os folhelhos da Formação Irati são os que possuem maior potencial enquanto os folhelhos da Formação Ponta Grossa possuem um menor potencial gerador. Diferentes estágios de evolução termal foram identificados baseados nos parâmetros de Pirólise Rock Eval (T_{máx}) e Índices de Coloração de Esporos (ICE). T_{máx} e ICE mostram que a maioria das rochas analisadas são imaturas mas em certas áreas estas rochas encontram-se no estágio inicial da geração de hidrocarbonetos, zona madura da janela de óleo. A integração dos dados de petrografia e geoquímica orgânica irão contribuir para a reconstrução das fácies orgânicas e ambientes deposicionais das rochas geradoras, definidos pela estratigrafia de seqüências.

Palavras-Chave: Rochas Geradoras, Bacia do Paraná.

Abstract – The principal aim of this study is the geochemical and petrographical characterization of the two main sequences of potential source rocks of Paraná Basin. The characterization of the source rocks is based on extensive sampling representing the whole area of occurrence of the sedimentary rock sequence along a SW-NE transect. The sample material was collected from outcrop locations, surface mines and core from exploration boreholes and provided by the Geological Survey of Brazil and the National Department of Mineral Production. The two analyzed source rock sequences show potential for the generation of hydrocarbons, with the black shales of the Irati Formation having the greatest hydrocarbon generation potential, whereas geochemical and petrological parameters indicate a lower hydrocarbon generation potential for the Ponta Grossa Formation. Different stages of thermal evolution were identified based on Rock Eval Pyrolysis (T_{max} °C) and Spore Colour Index (SCI). T_{max} and SCI show that most of the analyzed samples are immature, but there are certain areas, where they are at the initial stage of the mature zone (oil window). The integration of the geochemical and petrographical data will contribute to an assessment of paleofacies and paleoenvironments of the source rocks, defined by concepts of sequence stratigraphy.

Keywords: Paraná Basin, Source Rocks.

1. Introdução

Este trabalho visa à caracterização petrológica, geoquímica e palinológica das duas principais seqüências de rochas potencialmente geradoras da Bacia do Paraná, uma grande área sedimentar intracontinental localizada na porção central-leste do continente Sul Americano, com cerca de 1.700.000 km² de superfície territorial, Zalán *et al.* (1990).

Segundo Milani *et al.* (1998) o arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná é constituído por seis unidades aloestratigráficas de segunda ordem, Superseqüências denominadas: Rio Ivaí (Idade Caradoniano-Landoveriano), Paraná (Lockoviano-Frasniano), Gondwana I (Westfaliano-Scythiano), Gondwana II (Anisiano-Noriano), Gondwana III (Neojurássico-Berriasiano) e Bauru (Aptiano-Maestrichtiano). Destas seis Superseqüências apenas parte de duas possuem potencial para serem geradoras de hidrocarbonetos, que são as Superseqüências Paraná e Gondwana I, dentro destas duas as principais geradoras são as Seqüências de rochas sedimentares Devonianas e Permianas, historicamente denominadas de Formação Ponta Grossa (Devoniano Superior) e Formação Irati (Neo-Permiano - Kazaniano) que estão sendo estudadas neste trabalho.

A caracterização geoquímica e palinológica das rochas geradoras da Bacia do Paraná é o objetivo central deste trabalho que está baseado numa coleta de amostras realizada ao longo de toda a área de ocorrência das seqüências de rochas sedimentares enfocadas. No total foram coletadas 98 amostras de locais distintos. Para isto foi necessário percorrermos mais de 3000 km de rodovias para coletarmos amostras tanto em afloramentos e cavas de mineração. A coleta iniciou no extremo sul do Brasil na cidade de Aceguá e terminou nos arredores de Rondonópolis já na região centro-oeste do país. Além de amostras de afloramentos trabalhamos também com amostras de testemunhos de sondagens realizadas na década de oitenta e cedidas pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

2. Metodologia

Para alcançarmos os objetivos deste trabalho e fazermos a caracterização petrológica, palinológica e geoquímica orgânica das rochas geradoras da Bacia do Paraná foi necessário primeiro prepararmos as amostras, o que envolveu uma série de procedimentos que começaram com a secagem, trituração, moagem, peneiramento, separação granulométrica (1 à 2 mm) e quarteamento em três frações distintas de cada amostra coletada, frações de rocha estas, que serviram para a confecção de seções polidas, lâminas delgadas e análises geoquímicas.

Para a petrologia orgânica foram confeccionadas as seções polidas misturando 20 gramas de rocha pulverizada a araldite gerando um plug que passou por duas etapas de lixamento e duas etapas de polimento com alumina até sua análise em microscópio óptico à luz refletida azul (fluorescente) e branca, onde procedemos as análises de reflectância da vitrinite.

Para a palinologia as amostras passaram pela acidificação em Ácido Clorídrico (HCL) e Ácido Fluorídrico (HF) com o objetivo de separarmos e isolarmos a matéria orgânica da matéria mineral para a confecção das lâminas delgadas utilizadas tanto para as análises palinológicas quanto para as análises de palinofácies e determinação do índice de coloração de esporos.

Para a Geoquímica orgânica as amostras foram pulverizadas e levadas a determinação do carbono orgânico total e a análises de pirólise e *rock-eval*.

3. Resultados e Discussão

3.1 Geoquímica Orgânica

Os resultados das análises geoquímicas mostram que as rochas analisadas são constituídas de diferentes tipos de querogêneos. O conteúdo de COT nas Rochas da Formação Irati é elevado podendo chegar a valores de até 21wt %, com valores médios de 5 wt %. Quanto ao IH das rochas da Formação Irati analisadas até o presente momento apresentam uma ampla variação, os valores mais expressivos identificados foram em rochas coletadas na região de São Mateus do Sul com os valores chegando a 749,83 mgHC/gCOT.

Para a Formação Ponta Grossa os valores de COT como um todo são baixos e distintos e alcançaram o valor máximo de 2,81wt % e média de 0,71wt %. Quanto ao IH este não apresenta uma grande variação, os valores mais expressivos identificados foram da ordem de 440,33 mgHC/g COT. Estes baixos valores de COT e IH obtidos para a Formação Ponta Grossa podem ser explicados pela ação do intemperismo que oxidou as amostras de afloramentos coletadas para as análises, já que em uma amostra oriunda de cava de mineração o COT obtido chegou a 2,81 wt %. A figura 1 mostra os tipos de querogênios das duas Seqüências de rochas analisadas (Formação Irati e Formação Ponta Grossa), o diagrama de maneira prática apresenta os resultados obtidos.

Foram também identificados através das análises realizadas diferentes estágios de evolução térmica. T_{máx} e ICE indicam que a maioria das amostras analisadas estão dentro de um estágio de maturação térmica baixo, ou seja, imaturo, mas ocorrem áreas de exceção, que por ação de intrusões tornam as rochas em condições de gerar hidrocarbonetos.

3.2 Palinofácies

O conceito de palinofácies foi introduzido por Combaz (1964) e sua definição pode ser entendida como o estudo palinológico da assembléia total da matéria orgânica contida em um sedimento após a remoção da matéria mineral pela acidificação com Ácido Clorídrico (HCl) e Ácido Fluorídrico (HF). Em trabalhos desta natureza o observador tenta identificar os componentes palinológicos individuais (fitoclastos, palinomorfs e matéria orgânica amorfa) e suas proporções relativas em qualquer uma das amostras atentando particularmente ao seu tamanho, estrutura, fluorescência, forma e estado de preservação, conforme define a metodologia desenvolvida por Tyson (1995). O exame qualitativo e quantitativo da matéria orgânica é feito em lâminas organopalinológicas utilizando técnicas de microscopia de luz branca transmitida e fluorescência para a caracterização do material e seus grupos constituintes.

Dados de palinofácies foram obtidos através da contagem de 500 partículas de matéria orgânica dispersa por amostra (querogênio) de acordo com a metodologia utilizada por Tyson (1995) e Mendonça Filho (1999). Os dados mostram que a matéria orgânica preservada nas rochas sedimentares analisadas é constituída essencialmente por uma mistura complexa e heterogênea, a qual, pode ser dividida em três grupos distintos de constituintes morfológicos (a) matéria orgânica amorfa, (b) fitoclastos e (c) palinomorfs, observados nas figuras 2 à 7 respectivamente.

Os resultados percentuais obtidos foram recalculados para os diferentes grupos de constituintes do querogênio e identificados com o objetivo de caracterizar e quantificar as variações existentes para cada amostra analisada. Até agora as lâminas organopalinológicas analisadas mostram que a assembléia de componentes da Matéria Orgânica Amorfa predomina sobre o grupo dos Fitoclastos e Palinomorfs. Isto nos remete a sistemas redox, com proximidade de aporte fluvial conforme mostram os diagramas ternários (Figura 8), adaptados de Tyson (1995).

Segundo Tyson (1995) o material amorfo possui maior potencial de geração de Petróleo, enquanto que os componentes do grupo de fitoclastos possuem maior potencial para a geração de gás, portanto os Folhelhos das Formações Irati e Ponta Grossa possuem sim, bom potencial para geração de óleo, o que requer no entanto um estudo detalhado para locais onde intrusões possam ter assumido o papel de agente maturador da matéria orgânica.

3.3 Medidas de Reflectância da Vitrinita (Ro%)

O microscópio empregado para a medição da reflectância de partículas de Vitrinita é o de luz refletida, similar aos microscópios utilizados na microscopia de minerais opacos, a idéia do método é por comparação determinar a cor da vitrinita da amostra analisada comparando com padrões de reflectâncias conhecidas e assim estabelecer o nível de maturação da rocha analisada.

Para as amostras da Bacia do Paraná estamos utilizando um padrão de safira sintética com reflectância nominal de Ro 0,579 %. Este é utilizado no início de cada análise para ajustar o amplificador de modo que o digitalizador apresente o número 0,579%. Durante o trabalho, a calibração é realizada a cada intervalo de leitura entre duas lâminas sucessivas a fim de manter a precisão das medidas.

Os resultados mostram que os valores medidos de reflectância em Vitrinitas numa amostra variam de partícula para partícula por três razões distintas: 1ª. presença de materiais estranhos nas partículas; 2ª. presença de partículas de Vitrinitas retrabalhadas; 3ª. presença de Vitrinitas alteradas física e/ou quimicamente. Em amostras oriundas de sondagens encontramos Vitrinitas “caídas”, provindas de intervalos estratigráficos diferentes dos analisados. Além destes aspectos verificados existem em algumas amostras partículas alteradas física e/ou quimicamente, estas Vitrinitas alteradas ocorrem nas amostras analisadas e apresentam normalmente superfícies manchadas causando um aumento ou uma diminuição da reflectância dependendo do caso, e existem partículas de Vitrinitas impregnadas de betume as quais passaram por extração soxlet.

As amostras da Sequência Irati apresentaram variação nas medidas de Ro % (0,46-0,75) com a medida de maior frequência de Ro % 0,51 e a média Rm 0,54 % quando não alteradas termicamente e Rmáx 2,379 (medida alterada termicamente por intrusão).

Já as amostras da Sequência Ponta Grossa as medidas de reflectância apresentaram variação entre Ro% (0,40-0,80) com a medida de maior frequência de Ro % 0,53 e a média Rm 0,52 % quando não alteradas termicamente e Rmáx 2,01 (medida alterada termicamente por intrusão).

3.4 Índice de Coloração de Esporos (ICE)

Este parâmetro de maturação é aplicado a palinomorfs (esporos e pólenes) estudados em luz transmitida. Os palinomorfs mudam de coloração em relação ao nível de maturação e estas variações de cor são usualmente identificadas. A contagem propriamente dita é feita contando-se a população de esporomorfs existentes na lâmina do sedimento, perfazendo toda a superfície da mesma, utilizando-se uma ocular de 10 x e objetiva de 20 x de aumento. As informações obtidas são registradas manualmente em fichas em forma de tabela.

A assembléia de esporos, contida na porção orgânica das amostras analisadas revelou-nos que, existem populações distintas de esporomorfs em cada amostra, principalmente nas amostras coletadas em afloramentos que

podem ter sofrido contaminação por material carregado ou por deposição posterior a sua formação e ou por erosão e transporte tanto eólico quanto subaquoso. Estas evidências estão sendo analisadas com muita atenção, além disso, o grau de maturação de cada população identificada por amostra é distinto e varia muito podendo ser imaturo à senil.

Além disso foi verificado que em algumas amostras existem esporomorfos alterados termicamente e sua coloração não reflete o verdadeiro índice de coloração. Nestes casos foram refeitas as análises e comparados os parâmetros de maturação ópticos com os parâmetros geoquímicos para determinar se ocorreu ou não na amostra coletada a ação térmica de intrusões vulcânicas.

Os resultados dizem que na Sequência Irati as medidas de Índice de Coloração de Esporos apresentaram variação de ICE (1,0-4,0) com a medida de maior frequência de ICE (2,0) e a média ICE (3,0) quando não alteradas termicamente e ICE Máximo de (6,0) quando alteradas física e termicamente por intrusões. Nas amostras da Sequência Ponta Grossa as medidas de índice de Coloração de Esporos apresentaram variação entre ICE (1,5-4,0) com a medida de maior frequência de 3,0 e a média 2,5 quando não alteradas e ICE (4,5-7,0)

4. Conclusões

Os resultados obtidos mostram que os valores medidos de reflectância em Vitritinas numa amostra variam de partícula para partícula por três razões distintas: 1ª. presença de materiais estranhos nas partículas; 2ª. presença de partículas de Vitritinas retrabalhadas; 3ª. presença de Vitritinas alteradas física e/ou quimicamente. Em amostras oriundas de sondagens encontramos Vitritinas “caídas”, provindas de intervalos estratigráficos diferentes dos analisados. Além disso existem em algumas amostras partículas alteradas física e/ou quimicamente, estas Vitritinas alteradas apresentam normalmente superfícies manchadas causando um aumento ou uma diminuição da reflectância, dependendo do caso e existem partículas de Vitritinas impregnadas de betume as quais passaram por extração soxlet.

As amostras da Sequência Irati apresentaram variação nas medidas de Ro % (0,46-0,75) onde a medida com maior frequência foi de Ro % 0,51 e ICE entre (2,0-4,0). Já as amostras da Sequência Ponta Grossa as medidas de reflectância apresentaram variação entre Ro % (0,40-0,80) com a medida de maior frequência de Ro % (0,53) e ICE entre (2,0 – 5,0) em amostras não alteradas e retrabalhadas.

Baseados nestes dados pode-se dizer que as duas sequências de rochas analisadas apresentam um bom potencial para geração de hidrocarbonetos mas os folhelhos da formação Irati são os que possuem maior potencial.

As variações palinofaciológicas e organogeoquímicas observadas até agora nos dizem que as unidades litoestratigráficas estudadas estão provavelmente relacionadas a variações no regime de oxigênio que influenciaram na preservação da matéria orgânica, os elevados percentuais de matéria orgânica amorfa sugerem condições ambientais de baixa energia com pouca circulação de águas oxigenadas ou com a coluna d'água estratificada.

A assembléia de componentes palinológicos e organoclastos nos mostra que os fitoclastos e os esporomorfos concentram-se em amostras com granulometria mais grossa, por estarem mais próximos a área fonte enquanto que a matéria orgânica amorfa concentra-se nas amostras de granulometria fina e que supostamente sofreram maior transporte.

Os resultados compartilhados e a análise do banco de dados gerado permitirá a confecção de curvas de variação do nível de base além de nos permitir fazer estimativas faciológicas e sua correlação com a interpretação originada pela estratigrafia de sequências.

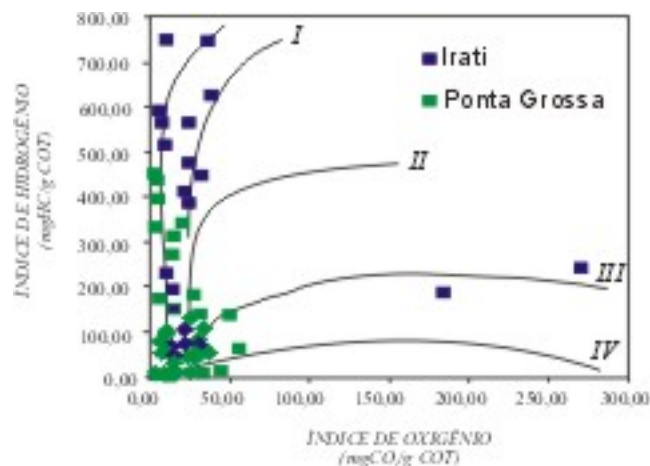


Figura 1. Diagrama IH versus IO mostrando os diferentes tipos de querogênio dos sedimentos das sequências sedimentares Ponta Grossa e Irati.

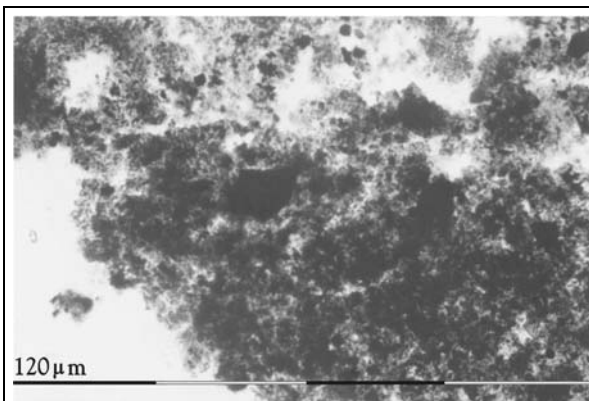


Figura 2. Microfotografia de matéria orgânica amorfa contida em sedimentos da Formação Irati. Amostra 04-050.

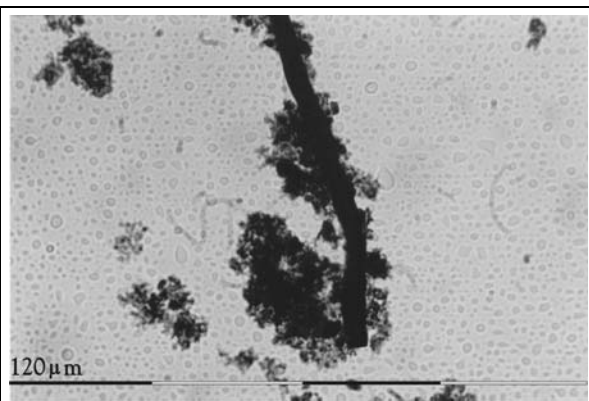


Figura 3. Microfotografia em luz branca de um fitoclasto estruturado, ao seu redor observamos fungos e matéria orgânica amorfa. Amostra 04-063, Formação Irati.

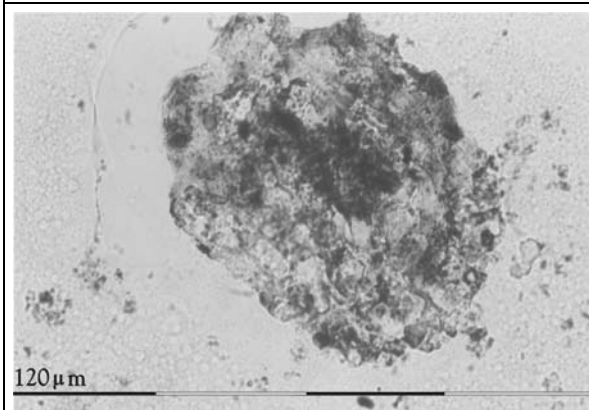


Figura 4. Microfotografia em luz branca de um fragmento de alga *Botryococcus*, Grupo dos Palinomorfos. Amostra 04-049, Formação Irati.



Figura 5. Microfotografia de um traqueídeo com pits, nota-se que a estrutura interna apresenta elevado grau de preservação. Grupo dos Fitoclastos. Amostras 04-048, Formação Irati.

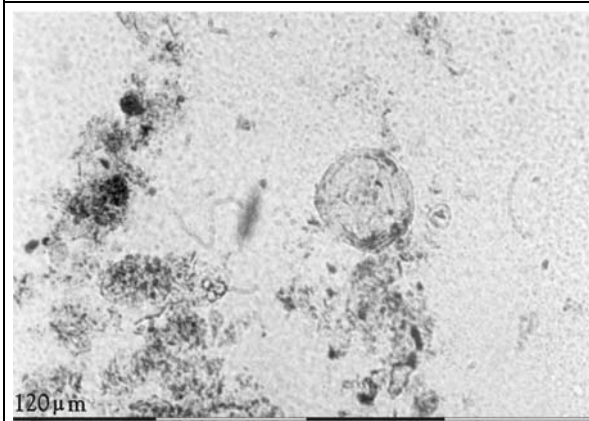


Figura 6. Microfotografia em luz branca de um esporo parcialmente coberto com fragmentos pequenos de matéria orgânica amorfa. Grupo dos Palinomorfos. Amostra 04-068, Formação Ponta Grossa.

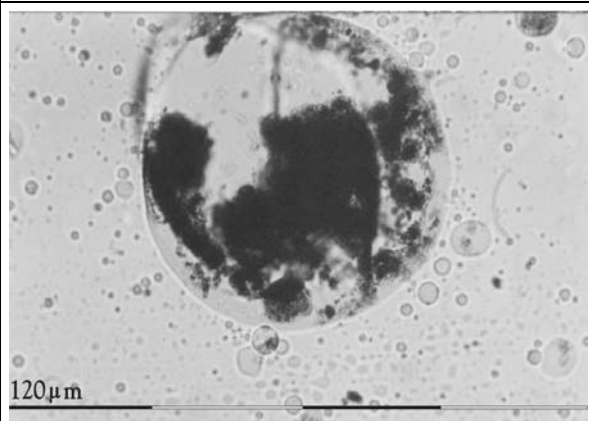


Figura 7. Microfotografia em luz branca de um microfóssil classificado como Tasmanitaceae – *Tasmanites Mourae*. Grupo dos Palinomorfos. Amostra 04-056, Formação Ponta Grossa.

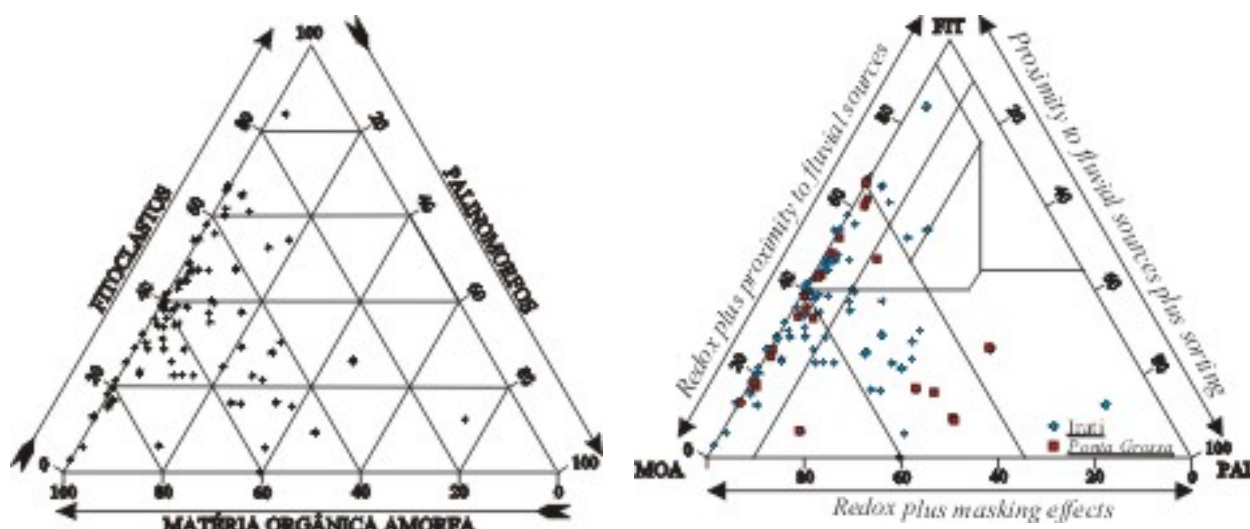


Figura 8. Diagramas ternários Matéria Orgânica Amorfa, Fitoclastos X Palinomorfos (adaptados de Tyson, 1995), mostrando os diferentes grupos de constituintes palinomorfos das rochas das Sequências Sedimentares Ponta Grossa e Irati e uma estimativa das possíveis fácies deposicionais da matéria orgânica das seqüências de rochas em foco.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq e ao CTPETRO pelo suporte financeiro, ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo suporte logístico ao Serviço Geológico Brasileiro e ao Departamento Nacional de Produção Mineral por nos permitir a seleção e a coleta de algumas amostras em suas sondagens.

6. Referências

- ARAÚJO, LAURY MEDEIROS DE. 2001. Análise da Expressão estratigráfica dos Parâmetros de Geoquímica Orgânica e Inorgânica nas Sequências Depositionais Irati, Bacia do Paraná. Tese de Doutorado PPGeo-UFRGS 2v. il.
- COMBAZ, A. 1964. Les Palinofaciès. *Revue Micropaléontologie*, 7, 205-218.
- DURAND. 1980. Kerogen. Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks. Ed. Technip. 519 p
- DOW, W. G. 1977. Kerogen Studies and Geological Interpretations. *J. Geochem. Expl.* 7: 79-99.
- MENDONÇA FILHO, J. G. 1999. Aplicação de estudos de Palinofácies e Fácies Orgânicas em Rochas do Paleozóico Superior da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Ph.D. Thesis, 2 Vol.
- MILANI, E. J. & ZALÁN, P. V. 1999. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America. *Episodes*, V. 22, n.3, p. 199-216.
- TISSOT, B & WELTE, D. H. 1984. Petroleum Formation and Occurrence. Hidelberg: Springer Verlag, 2 ed. 699 p.
- TYSON, R. V. 1995. Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies. Chapman & Hall. London. 615 p.
- HUNT, J. M. 1995. Petroleum Geochemistry and Geology. Ed. Freeman, 2 ed. 743 p.
- PETERS, K. E. 1986. Guidelines for Evaluating Petroleum Source Rock using Programmed Pyrolysis. *AAPG Bulletin* 70 (3): 318-329.
- ZALÁN, P. V., WOLFF, S., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., CONCEIÇÃO, J. C. J., APPI, V., SANTOS NETO, E. V., CERQUEIRA, J. R., MARQUES, A. 1990. The Paraná Basin, Brazil. *AAPG. Mem.* N.51, P.681-708.