Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Pesquisas Geológica na Bacia Carbonífera de Santa Catarina (Considerações sobre a Estratigrafia, Sedimentologia, Paleontologia e Petrografia dos Carvões)

Carlos Alfredo Bortoluzzi, Ana Emília Mendes Piccoli, Gerardo Eugenio Bossi, Margot Guerra Sommer, Marleni Marques Toigo, Maria Elizabeth Pons, Monika Wolf, Zuleika Corrêa Da Silva

Pesquisas em Geociências, 11 (1): 33-192, Set./Dez., 1978.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21767>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Set./Dez., 1978.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

PESQUISA GEOLÓGICA NA BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA *

(Considerações sobre a Estratigrafia, Sedimentologia, Paleontologia e Petrografia dos Carvões)

Carlos Alfredo Bortoluzzi **
Ana Emília Mendes Piccoli **
Gerardo Eugenio Bossi **
Margot Guerra Sommer **
Marleni Marques Toigo **
Maria Elizabeth H. Pons **
Monika Wolf **
Zuleika C. Corrêa da Silva **

SINOPSE

São analisadas as características estratigráficas, sedimentológicas, paleontológicas e petrográficas das rochas do Grupo Tubarão na bacia carbonífera de Santa Catarina, usando-se informações obtidas em afloramentos e em 44 furos de sondagens realizados pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).

O Subgrupo Itararé permaneceu indiviso. O Subgrupo Guatá foi subdividido nas Formações Rio Bonito e Palermo, tendo sido reconhecidos os três membros da Formação Rio Bonito: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis.

O preenchimento da bacia iniciou-se com depósitos fluvio-glaciais (Subgrupo Itararé), seguidos de um complexo fluvial de baixo gradiente associado a lagos paludiais (Formação Rio Bonito) e sedimentitos de planícies de marés (Formação Palermo). A transição Rio Bonito – Palermo é marcada localmente pela presença de sedimentação deltáica, sendo a seqüência Rio Bonito dividida em dois megaciclotemas.

Foi definida uma seqüência-tipo para a formação do carvão: pulsação-carvão-diastrama, indicando que a avulsão dos canais principais dos rios originou lagos que evoluíram para pântanos. A vegetação das regiões pantanosas (Glossopteridophyta, Cordaitophyta, Sphenophyta e Algae) parece ter sido a principal fonte da matéria orgânica originadora do carvão, enquanto que resíduos de coníferas e fetos estão presentes em menor proporção. Triletes constituem até 95% da assembléia de esporomorfos.

As camadas de carvão estudadas (6) se caracterizam pela presença de Trimacerita na qual a Exinita está representada, na sua maior parte, pela Alginita. Medidas do poder refletor indicam que o carvão se classifica em Betuminoso Alto Volátil A com 33 a 37% de matéria volátil na Vitrita.

* Realizado com auxílio financeiro do BNDE (Funtec 276). Resumo do relatório final.

** Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS.

Trabalho recebido para publicação em 28.9.78.

ABSTRACT

The stratigraphic and sedimentological characters of the Tubarão Group in the Santa Catarina Coal Basin are analyzed using information gathered from 44 wells lend by the Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).

While the Itararé Subgroup could not be divided, the Guatá Group, consists in two Formations: Palermo and Rio Bonito, which in turn is divided in three members: *Triunfo*, *Paraguaçu* and *Sideropolis*. The filling of the Basin started with fluvio-glacial materials (Itararé) followed by a fluvial complex of very low gradient with many patches of paludal lakes (Rio Bonito) endig up into tidal flats with some local deltas in the transition (Rio Bonito-Palermo). The Rio Bonito sequence could be organized in two megacyclothems grossly finning-up, formed by minor cycles also of the finning-up type.

The type sequence of coal formation: pulse-coal-diastem indicates that avulsion of main channels originated lakes that evolved into paludal marshes. Plants growing in the marshes (*Glossopteridophyta*, *Cordaitophyta*, *Sphenophyta*, *Algae*, etc.) were the principal source in coal formation, with minor contributions of *Coniferales*. *Triletes* spores sometimes make up to 95% of sporomorph assemblage.

The coal could be classified as Bituminous high volatile A, with 33 to 37% of volatiles in the vitrinite. Trimacerite is the principal component, (being Alginite the main contributor to its Exinite).

I – INTRODUÇÃO

I.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo complementar os dados existentes sobre o carvão e rochas associadas presentes na jazida do sul de Santa Catarina, usando técnicas petrográficas, palinológicas, estudo de estruturas sedimentares e outras, com a finalidade de caracterizar, correlacionar e orientar o emprego tecnológico dos carvões, bem como determinar as condições genéticas da bacia carbonífera.

A pesquisa foi baseada no estudo de amostras de afloramentos e testemunhos de sondagens, as últimas obtidas de perfurações realizadas pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) em convênio com o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM).

À época em que foi iniciado o planejamento da mesma, dispunha-se de um acervo de dados, oriundos da atividade do DNPM/CPRM, que compreendia essencialmente as informações do PROJETO CARVÃO DE SANTA CATARINA (vide fig. 1), limitando seu alcance à caracterização detalhada da camada de carvão Barro Branco – uma das mais altas na coluna estratigráfica da bacia – visto ser ela entendida como a principal fornecedora de carvão metalúrgico e com reais condições de ser minerada economicamente em toda a bacia.

Neste Projeto, apenas uma perfuração, a 1 AR-46-SC-01 alcançou o embasamento, tendo sido integralmente testemunhada, com o que dispunha-se de uma representação completa da Formação Rio Bonito, que é o objetivo primordial deste trabalho, além de porções das formações que lhe são limitantes pelo topo e pela base, respectivamente Formação Palermo e rochas do Subgrupo Itararé. Eleveu-se o citado poço como referência para os estudos a serem iniciados, tendo sido selecionados outros, distribuídos representativamente pela bacia, para a aplicação das diferentes técnicas de trabalho.

Uma primeira etapa de atividades foi então iniciada, tendo-se realizado o levantamento bibliográfico referente à bacia, o estudo das estruturas sedimentares em testemunhos de sondagens e a preparação de amostras para os estudos palinológicos, petrográficos e de mineralogia de argilas.

Devido à impossibilidade de obter-se amostras representativas de todas as camadas de carvão nos testemunhos de sondagens, uma vez que as mesmas haviam sido utilizadas pela CPRM para a

realização de análises físicas e químicas, algumas camadas foram amostradas em afloramentos e em minas.

Concomitantemente a esta atividade, a CPRM desenvolvia pesquisas objetivando, por um lado, o conhecimento qualitativo e quantitativo das camadas de carvão situadas abaixo da camada Barro Branco (algumas das quais descobertas nas sondagens do “Projeto Carvão de Santa Catarina”) e por outro, a potencialidade em carvões em faixas respectivamente ao norte e ao sul da jazida carbonífera conhecida.

O “Projeto Carvão no Pré-Barro Branco” (fig. 1), realizado numa área de aproximadamente 2.210km², compreendeu a perfuração de 46 poços dos quais 17 atingiram o embasamento. A utilização das informações oferecidas por estes poços proporcionou a chance de realização de um estudo estratigráfico mais detalhado do Grupo Tubarão na área da bacia carbonífera.

Do “Projeto Carvão Norte de Santa Catarina”, desenvolvido no centro-norte do Estado com a finalidade de testar a continuidade das camadas de carvão nesta direção (fig. 1) utilizou-se o carvão da camada Treviso presente no poço 1 PN-27-SC, para complementar dados de petrografia e palinologia.

O “Projeto Carvão em Araranguá-Torres” teve por objetivo avaliar a continuidade e a economicidade das camadas de carvão em direção ao sul do Estado, bem como procurar possíveis conexões entre a bacia de Santa Catarina e as do Rio Grande do Sul. A subsequente descoberta de carvão na área de Morungava no Rio Grande do Sul veio confirmar que os estudos realizados nesta área eram de grande importância para que fossem alcançados estes objetivos. Tendo isto em vista, foi selecionado para estudo o polo 5 AT-03-SC, situado próximo ao limite dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, visando determinar as características da sedimentação do Grupo Tubarão nesta área e a correlação das camadas de carvão com a bacia carbonífera atualmente em exploração. O estudo deste poço, por outro lado, forneceria condições para comparação destes parâmetros com os de poços perfurados no Rio Grande do Sul em estudos futuros.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo das estruturas das rochas sedimentares baseou-se na análise de 13 sondagens: 1 MA-22-SC-04, 1 CR-07-SC, 1 CR-13-SC-01, 1 LM-97-SC-05, 1 LM-96-SC-05, 1 NV-01-SC-01, 1 AR-37-SC-02, 1 AR-18-SC-02, 1 LM-30-SC-07, 1 LM-05-SC-05, nas rochas da Formação Rio Bonito e 1 AR-46-SC-01, 5 AT-03-SC e 1 PB-22-SC-01, em testemunhos da Formação Rio Bonito e do Subgrupo Itararé (fig. 2). Seguiu-se, neste estudo, o esquema usado por PICCOLI (1977) para a análise das 9 sondagens referidas em seu trabalho.

Os testemunhos foram observados detalhadamente desde sua parte mais inferior até o contato com as rochas das formações sobrepostas.

As litologias encontradas foram analisadas sob o ponto de vista de coloração, de conteúdo mineralógico e de granulometria, sendo as estruturas sedimentares classificadas e medidas minuciosamente. De acordo com a variabilidade desses critérios, foram separadas as diversas camadas que compõem as unidades em estudo.

A escolha dos testemunhos de sondagens prendeu-se a três pontos principais: a localização na área da bacia carbonífera; a profundidade alcançada pela sondagem e a presença de carvão. Seguiu-se uma direção geral norte-sul, sendo as sondagens escolhidas em distâncias aproximadamente iguais, selecionando-se as que apresentavam maior espessura de sedimentitos cortados, maior quantidade e melhor qualidade de carvão.

Para a identificação das estruturas sedimentares, quando necessário, foram feitos cortes longitudinais nos testemunhos de sondagens.

O estudo de granulometria e de mineralogia foi realizado em lupa binocular, em geral com aumento de 40 vezes por comparação dos grãos com a Tabela de Wentworth, usando-se o sedimento desagregado.

Para verificação da presença de carbonato de cálcio nos sedimentos foi usado ácido clorídrico.

A presença de óleo foi constatada através do estudo com “Mineralight” e Tetracloreto de Carbono.

A classificação das estruturas sedimentares foi baseada em um esquema que abrange classificações de PETTIJOHN (1957), PETTIJOHN e POTTER (1964), MCKEE e WEIR (1953) e DZULYNSKI e WALTON (1965), fundamentando-se principalmente em aspectos descritivos.

A análise de seqüências sedimentares foi baseada em descrição detalhada de 8 poços descritos por PICCOLI (1977): 1 LM-30-SC-07, 1 NV-01-SC-01, 1 CR-07-SC, 1 PB-22-SC-01, 1 MA-22-SC-04, 1 AR-46-SC-01, 1 AR-37-SC-02 e 5 AT-03-SC (figura 2). As características estruturais e texturais destes poços permitiram definir discontinuidades (pulsações e diastemas) e contatos gradacionais (normais e invertidos) que foram extrapolados para as descrições mais generalizadas dos restantes poços analisados (figura 2), baseados no trabalho de CAYE et alii (1975): 1 PB-21-SC-01, 1 PB-20-SC-01, 1 PB-41-SC-01, 1 PB-19-SC-01, 1 PB-18-SC-01, 1 PB-17-SC-01, 1 PB-13-SC-01, 1 PB-44-SC-01, 1 PB-16-SC-01, 1 PB-34-SC-01, 1 PB-37-SC-01, 1 PB-11-SC-01, 1 PB-24-SC-01, 1 PB-27-SC-01, 1 PB-03-SC-01, 1 PB-23-SC-01, 1 PB-07-SC-01, 1 PB-32-SC-01 e 1 PB-28-SC-01.

As informações consideradas essenciais a este trabalho compreendem duas seções longitudinais (A-A' e B-B') e quatro seções transversais (C-C', D-D', E-E' e F-F') que estão representadas nas figuras de 20 a 25.

Para a análise das texturas foi adotada a escala de escores (BOSSI e PICCOLI, 1978), cujos limites coincidem com as divisões da escala de Wentworth, a qual torna mais fácil a distinção das texturas geralmente compostas das rochas nos testemunhos de sondagens. Esta vai de 0 = não clásticos (carvão) a 10 = conglomerados. Os números intermediários representam argilitos (1), siltitos argilosos (2), siltitos arenosos (3), arenitos finos (4 e 5), arenitos médios (6 e 7) e arenitos grosseiros (8 e 9), sempre de acordo com a escala phi. As categorias em que ocorrem mesclas litológicas foram subdivididas em dois números, como é o caso dos arenitos.

Dos escores texturais, foram feitas médias alternantes e seus correspondentes desvios padrões a cada 20m, dando um valor de 10 em 10m.

As curvas de médias e desvios padrões foram desenhadas ao lado dos 8 perfis estudados por PICCOLI (1977). A primeira possui uma divisão no escore 4 (areia, silte, etc. . .) e a outra no valor 1,5, para indicar variações maiores.

O estudo das seqüências sedimentares da Formação Rio Bonito (principalmente) permitiu definir a presença de ciclos e megaciclos, cujo significado será discutido mais adiante (vide item II.2.1.3). A presença de ciclos em uma seqüência implica na existência de memória na sucessão que determina a recorrência de certas facies em uma certa ordem. Dada uma série de estádios (ou litologias), a probabilidade de passar a uma determinada litologia ao ascender-se na coluna estratigráfica, depende essencialmente do estádio imediatamente inferior (por exemplo: encontrar um arenito médio é mais provável se o estádio inferior é um arenito grosseiro). Tais séries são denominadas cadeias Markovianas de primeira ordem, pois o mecanismo de memória geralmente afeta os estádios imediatos da sucessão. A existência de propriedade markoviana pode ser ensaiada mediante o procedimento descrito por GINGERICH (1969), utilizando uma amostragem denominada "embedded", proposta por KRUMBEIN e DACEY (1969). Este tipo de amostragem considera unicamente as transições entre estádios diferentes (tendo-se definido previamente que litologias definem cada estádio), com base nas quais constrói-se uma matriz de freqüência (f_{ij}). Desta última podem derivar-se a matriz de probabilidades (P_{ij}) e o vetor de freqüência (f_i). A matriz de probabilidades define, em partes da unidade, a probabilidade de que um estádio A passe a outro B, geralmente diferente da probabilidade de que B passe para A. O vetor F_i simplesmente indica o número de capas de cada estádio considerado. Mediante o vetor f_i pode-se calcular a matriz de combinações independentes e_{ij} , que deve ser igual a P_{ij} no caso em que a sucessão haja sido originada por acaso (sem memória). A matriz de diferença (d_{ij}), que surge no caso de ficar cada casa de e_{ij} em correspondência com p_{ij} , define três tipos de transições: as negativas, que ocorrem com menos freqüência do que se a seqüência fora originada por acaso (estádios que raramente estão juntos); as próximas de zero, que se apresentam com uma freqüência que pode dar-se por acaso; e, finalmente, as positivas que aparecem em número maior que por acaso. Estas últimas são de interesse especial, pois indicam a existência de memória no sistema. A hipótese de aleatoriedade pode ser ensaiada mediante o ensaio X^2 usando a fórmula de BILLINGSLEY (1961), com $(n - r)$ graus de liberdade (n = número de casas positivas; r = range ou grau da matriz); se o valor excede largamente daqueles tabulados (em qualquer livro de Estatística elementar) existe propriedade markoviana.

Ordenando logicamente as transições com valor positivo mais alto na matriz d_{ij} constrói-se diagramas de ciclo ideal (ou estatístico), que geralmente refletem aspectos inerentes ao modelo de sedimentação. Os ciclos maiores (megaciclos) respondem a processos alheios ao modelo sedimentar e costumam ser definidos mediante considerações de tipo estratigráfico.

A partir do reconhecimento de diastemas, pulsações e camadas de carvão foram definidos 19 níveis de correlação traçáveis entre poços vizinhos e, em alguns casos, em toda a bacia.

Cada nível de correlação foi identificado nos poços 1 PB-22-SC-01 e 1 AR-46-SC-01, que foram tomados como perfis-tipos. O datum usado foi a camada de carvão Barro Branco, nível 16c, aqui definido.

Os critérios de correlação, utilizados de maneira combinada, foram os seguintes:

- a) posição em relação do datum (16c);
- b) litologias singificativas associadas;
- c) posição relativa dos níveis a correlacionar entre poços vizinhos;
- d) posição das camadas de carvão mais conhecidas;
- e) tendências ascendentes ou descendentes das linhas de correlação;
- f) posição dos “pescoços” das curvas de desvio padrão e média;
- g) mudanças nos perfis elétricos e radioativos;
- h) consistência interna entre os perfis que formam a malha escolhida.

Para o estudo de mineralogia de argilas usou-se 40 amostras de sedimentos finos retiradas a diferentes profundidades do furo de sondagem 1 AR-46-SC-01 (figura 2).

O método de análise foi o da difração de raios X, usando-se o difratômetro PHILIPS NORELCO, com a velocidade do goniômetro de 2° (2θ) por minuto e tubo de cobre (35KV e 20mA) com filtro de Ni.

As lâminas foram montadas com os sedimentos de granulação menor que 2 micra, separados por sedimentação. Desse material em suspensão preparou-se 4 lâminas por amostra (não orientada, orientada natural, glicolada e calcinada a 490°C).

A identificação dos grupos de argilo-minerais foi feita através de suas reflexões características.

Sob o ponto de vista palinológico foram estudadas amostras de carvão das camadas Pré-Bonito, Bonito, Ponte Alta, Barro Branco, Treviso, carvões A, B, C e D e rochas sedimentares associadas (sondagem 1 AR-46-SC-01, figura 2).

O carvão da camada Bonito foi coletado em afloramento, no cachimbo da localidade denominada Coletora, localizado na estrada Lauro Müller-Barro Branco.

As amostras de carvão da camada Barro Branco foram retiradas do Poço nº 1, setor Guatá, da Mina Barro Branco, em Lauro Müller.

As da camada Irapuá foram provenientes da mina a céu aberto da Cia. Siderúrgica Nacional, em Siderópolis.

As amostras das camadas Pré-Bonito, Treviso, Ponte Alta, A, B, C e D foram obtidas de testemunhos de sondagens, respectivamente:

- Pré-Bonito – furo 1 AR-33-SC-01
- Treviso – furo 1 PN-27-SC
- Ponte Alta – furos 1 AR-15-SC-02 e 5 BG-102-SC
- Carvões A, B, C e D – furo 1 AR-46-SC-01.

O método usado para a recuperação do material esporopolínico das rochas associadas e dos carvões foi o habitual de maceração palinológica.

Todas as amostras foram inicialmente trituradas, peneiradas e quarteadas.

Os sedimentos que contém carbonato de cálcio foram tratados com HCl a 25% a frio ou a quente e os silicatos foram eliminados pelo HF 48%. Os ácidos foram removidos por diluição e lavagem por centrifugações sucessivas.

A matéria orgânica do carvão foi eliminada através da solução padrão de Schulze (ácido nítrico + clorato de potássio). A neutralização para eliminação dos compostos húmicos feita com uma base (KOH-10%). O resíduo foi recuperado em álcool 90° e as lâminas montadas em Bálsamo do Canadá.

Para observação do material, como para a execução das fotomicrografias, foi utilizado um microscópio Carl Zeiss nº 4315857 e equipamento de câmara microfotográfica automática MK₄ da Wild acoplada ao aparelho microscópico.

As lâminas estão depositadas na Palinoteca do Setor de Palinologia do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre.

Os dados paleobotânicos que serviram de base para este trabalho resultaram de uma revisão crítica de trabalhos anteriores efetuados na região carbonífera de Santa Catarina.

Todas as amostras são constituídas por impressões e/ou compressões de folhas, frutificações e caules, ocorrentes em siltitos, argilitos e arenitos finos, de cor geralmente cinza e provém de coletas em afloramentos. Os níveis fossilíferos estudados pelos diversos autores situam-se preferentemente na parte superior da Formação Rio Bonito (figura 5), sendo as amostras em sua maioria provenientes das camadas Treviso e Irapuá. Foram estudadas, também, amostras procedentes de afloramentos da região de Lauro Müller, sul do Estado de Santa Catarina.

Embora em alguns casos ocorram cutículas preservadas em compressões, estas não foram até o momento analisadas.

Com base nas formas presentes, foram estabelecidos quadros representativos da ocorrência dos diversos grupos.

As análises petrográficas das camadas de carvão obedeceram a seguinte metodologia:

- a) coleta de amostras segundo um perfil vertical das camadas, da base até o topo;
- b) confecção de perfis petrográficos macroscópicos, determinando os litotipos;
- c) confecção de seções polidas das principais camadas de carvão, segundo o perfil vertical, para o estudo microscópico;
- d) confecção de perfis petrográficos microscópicos com determinação e contagem dos macerais e microlitotipos;
- e) determinação do grau de carbonificação.

A amostragem das principais camadas de carvão foi feita em várias regiões da bacia: em afloramentos, minas a céu aberto e de subsuperfície e em furos de sondagens.

A camada Barro Branco foi amostrada na mina a céu aberto da Cia. Carbonífera Próspera, em Siderópolis, na frente de trabalho da Malha I. A camada apresenta 1,81m de espessura; no entanto, com o desmonte na mina e traslado até o laboratório foram perdidos 7cm de carvão e o perfil macroscópico apresenta 1,74m de espessura. Foi feito um outro perfil macropetrográfico da camada Barro Branco na região de Novo Horizonte, num afloramento as margens do Rio Passa Dois, sem amostragem. Neste local, a camada alcança 1,92m.

A camada Irapuá foi coletada na mina subterrânea da Cia. Carbonífera Próspera, em Siderópolis. Nesta mina a camada ocorre a 96 m de profundidade e apresenta 2,20m de espessura.

A camada Bonito foi amostrada em um afloramento próximo a Lauro Müller, na localidade de Coletora. No afloramento a espessura total de carvão e siltitos intercalados atingiu 4,39m. O perfil corresponde às descrições de campo, revisadas em laboratório.

As camadas Treviso, Ponte Alta e Pré-Bonito foram estudadas em furos de sondagem realizados pela CPRM; devido à baixa percentagem de recuperação, as mesmas se apresentam incompletas, sendo os perfis, desta maneira, representativos apenas de uma pequena parte das camadas.

A camada Treviso foi coletada nos testemunhos de sondagem 1 PN-27 -SC, entre 191,37m e 191,48m de profundidade. O perfil descrito é de apenas 0,13m.

A camada Pré-Bonito foi coletada no furo de sondagem 1 AR-33-SC, entre 146,86m e 148,03m de profundidade; no entanto somente 0,18m foram disponíveis para a descrição petrográfica.

A camada Ponte Alta foi estudada nos testemunhos de sondagem 1 AR-15-SC, entre 43,22m e 43,59m de profundidade, sendo descritos 0,38m.

Os perfis petrográficos macroscópicos realizados são apresentados nas figuras 33A a 38A (33 – Barro Branco; 34 – Irapuá; 35 – Bonito; 36 – Ponte Alta; 37 – Treviso e 38 – Pré-Bonito).

A descrição micropetrográfica baseou-se na análise de microlitotipos em seções polidas de carvão, no microscópio de luz incidente.

As análises foram feitas segundo as normas do “Léxico Internacional de Petrografia do Carvão” para a análise de microlitotipos. A largura mínima da faixa para a contagem individual dos diferentes componentes – divergindo das normas – foi **admitida com 100 milimicra**. Esta diferença

deve ter levado a erros na contagem da Vitrita e Inertinita para menos e na contagem para mais na Trimacerita, no entanto os erros não foram significativos.

Os dados sobre as propriedades de fluorescência dos microlitotipos e seus macerais referem-se a observações com uso de luz UV e filtro azul.

O grau de carbonificação foi determinado pelas medidas do poder refletor médio das vitritas, segundo as normas do “Léxico Internacional de Petrografia do Carvão”.

Cada seção polida foi pesquisada a fim de encontrar Vitrita mensurável. Conforme a composição do carvão, o número de medidas foi bastante variável. Para cada seção polida foi calculada a média aritmética das medidas individuais. O valor médio da reflexão (Rm), o número de medidas individuais (n) e a faixa de oscilação das medidas individuais estão representados nas tabelas de IV a IX, para cada seção polida.

O valor médio das medidas individuais e a faixa de oscilação foram representados graficamente do lado direito dos perfis de microlitotipos. Dos valores médios das seções polidas individuais foi novamente calculada uma média aritmética que representa a média do poder refletor para a camada toda.

I.3 BACIA CARBONÍFERA

I.3.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia carbonífera de Santa Catarina está situada na região SE do Estado e sua parte conhecida estende-se desde aproximadamente as cabeceiras do Rio Hipólito, ao norte, até às vizinhanças de Araranguá (Morro dos Conventos), no litoral, ao sul. O limite oeste situa-se aproximadamente no meridiano de Nova Veneza e, a leste, é a linha de afloramentos que se dirige do sul de Içara até Lauro Müller e Brusque do Sul (figs. 1-3). Dados recentes de perfurações realizadas pelo DNPM/CPRM (Projeto Araranguá-Torres), entretanto, evidenciaram a presença de camadas de carvão mais para o sul, comprovando que a bacia estende-se até a região de Torres, pelo menos. A ocorrência de carvão extrapola ainda, os limites da atual região costeira meridional de Santa Catarina e do NE do Rio Grande do Sul para penetrar no domínio da Plataforma Continental, com o que o potencial deste importante recurso mineral sofrerá um acréscimo considerável.

Para os efeitos deste trabalho, pode-se dizer, entretanto, que a bacia tem um comprimento de 120-130km e uma largura de 20-30km, sendo alongada segundo N-S, ocupando uma área de aproximadamente 3.900km².

Criciúma é a principal cidade situada na região da bacia carbonífera, enquanto Siderópolis, Içara, Urussanga, Lauro Müller e Guatá são localidades menores. Urussanga, Orleães, Araranguá e Tubarão situam-se na periferia oriental, localizando-se na última o Lavador de Capivarí e a Usina Termoeletrica homônima, unidades estas responsáveis respectivamente pelo beneficiamento e utilização de parte do carvão extraído da região mineira.

O principal acesso à região faz-se pela BR-101, que liga Porto Alegre a Florianópolis, passando por Araranguá, Criciúma e Tubarão. Toda a área, entretanto, é servida por estradas estaduais e municipais em boas condições de trafegabilidade em qualquer época do ano. A região do triângulo Criciúma, Rio Maina, Içara é servida por estradas asfaltadas. As maiores dificuldades de acesso estão afetas à região ocidental, marginal à encosta da Serra Geral, onde apenas duas rodovias alcançam o Planalto, respectivamente a Estrada do Rio do Rasto (SC-56), que liga Lauro Müller a Bom Jardim da Serra, São Joaquim e Lages, e a rodovia Araranguá-Bom Jesus (SC-96), passando por Timbé do Sul (Rocinha), que se dirige a Vacaria pela RS-30, alcançando aí a BR-116.

Algumas cidades da região carbonífera, como Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Rio Maina, Criciúma, Tubarão, são servidas pela Estrada de Ferro Dona Tereza Cristina, atualmente utilizada apenas para o transporte do carvão das minas ao Lavador de Capivarí e daí ao porto de embarque de Imbituba.

I.3.2 LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS

Como pode ser visualizado pela figura nº 2, a bacia carbonífera de Santa Catarina foi dividida pelos geólogos da CPRM em 4 subáreas. A subárea 1 encontra-se ao norte de LauroMüller, logo abaixo situa-se a subárea 2, nas proximidades de Criciúma; as de números 3 e 4 encontram-se mais ao sul, contendo as cidades de Araranguá e Içara, respectivamente.

Em cada subárea, foram escolhidas em média 8 perfurações.

As perfurações 1 LM-96-SC-05, 1 LM-97-SC-05, 1 PB-21-SC-01, 1 PB-20-SC-01, 1 LM-102-SC, 1 PB-41-SC-01, 1 PB-19-SC-01, 1 LM-30-SC-07, 1 PB-18-SC-01, 1 PB-15-SC-01, 1 PB-17-SC-01 e 1 PB-13-SC-01 situam-se na subárea de nº 1, seguindo uma direção Norte-Sul, aproximadamente a linha de afloramento da camada Barro Branco.

Na subárea nº 2 localizam-se as sondagens 1 LM-05-SC, próximo à Forquilha, 1 LM-01-SC-05 e 1 PB-44-SC-01 nas proximidades de Treviso. Em direção ao sul, encontram-se as perfurações 1 PB-16-SC-01, 1 PB-34-SC-01, 1 PB-06-SC-01, 1 PB-37-SC-01, 1 NV-01-SC-01, 1 PB-11-SC-01, 1 CR-13-SC-01, 1 PB-24-SC-01, nos arredores de Criciúma, 1 CR-07-SC e PB-22-SC-01, à sudeste desta subárea.

A sondagem de número 1 MA-22-SC-04 situa-se ao Noroeste de Maracajá e as de números 1 AR-37-SC-02 e 1 AR-38-SC-02, ao sul da cidade de Araranguá, na subárea 3.

Em direção ao sudeste do Estado de Santa Catarina, encontra-se a subárea 4 onde localizam-se as sondagens 1 PB-03-SC-01, 1 PB-27-SC-01, 1 PB-07-SC-01, 1 AR-15-SC-02, 1 PB-25-SC-01, 1 AR-46-SC-01, 1 AR-33-SC-01, 1 PB-32-SC-01, 1 AR-13-SC, 1 AR-18-SC-02, 1 AR-02-SC, 1 PB-28-SC-01, 1 BG-102-SC e 1 PB-23-SC-01.

Independentemente desta divisão por subáreas foram analisadas as perfurações 1 PN-27-SC que está incluída no Projeto de Pesquisa do Carvão Norte de Santa Catarina e 5 AT-03-SC, na zona sul do Estado, do Projeto Araranguá-Torres.

1.3.3 SITUAÇÃO GEOLÓGICA

A grande feição geológica em que foram originadas as camadas de carvão é a Bacia do Paraná, uma antiga área subsidente encravada no Escudo Brasileiro.

Pode-se dizer que a faixa de sedimentitos gonduânicos na qual ocorre a jazida de carvão de Santa Catarina está situada na grande depressão periférica da margem oriental da Bacia do Paraná, formada de um lado pelo Escudo Cristalino (a leste) e de outro pelo planalto basáltico da Serra Geral (fig. 3).

A coluna de rochas que compõem a seqüência gonduânica, denominada “Sistema de Santa Catarina” assenta na região sobre rochas do Complexo Basal Brasileiro, cuja idade varia entre o Eo-Paleozóico e o Pré-Cambriano, sendo constituída pelos seguintes grupos, citados em ordem ascendente:

- GRUPO TUBARÃO: composto de rochas de origem glacial/glacígena e marinha (Subgrupo Itararé) de idade variável entre o Carbonífero Superior e o Permiano Inferior; e de rochas de origem fluvio-deltáica e marinha (Subgrupo Guatá), de idade Permiano Médio a Superior, de acordo com DAEMON e QUADROS (1970).

- GRUPO PASSA DOIS: composto por sedimentos marinhos, de águas rasas e fluviais do Permiano Superior (Subgrupos Estrada Nova e Rio do Rasto).

- GRUPO SÃO BENTO: constituído de sedimentitos de origem fluvial e eólica e lavas básicas, de idade juro-cretácica (Formações Botucatu e Serra Geral).

As camadas de carvão inserem-se no Grupo Tubarão (Subgrupo Guatá, Formação Rio Bonito), sendo conhecidas desde o fim do século passado. Até há bem pouco, admitia-se a existência de 6 (seis) camadas de carvão. Trabalhos realizados pelo DNPM/CPRM, a partir de 1971, vieram demonstrar a existência de outras camadas, desconhecidas ou eventualmente confundidas com as tradicionais. Algumas apresentam ampla distribuição, enquanto outras têm interesse local. Apenas a “camada Barro Branco” faz-se presente em toda a extensão da bacia hulheífera. As características de seus carvões são variáveis, existindo mudanças de diversas propriedades dentro de uma camada individual.

Atualmente, podem ser diferenciadas as seguintes camadas de carvão, relacionadas de cima para baixo: camada Treviso, camada Barro Branco, camada Irapuá, camada “A”, camada “B”, camada Ponte Alta, camada Bonito, camada Pré-Bonito, camada “C” e camada “D”.

II – GRUPO TUBARÃO NA ÁREA DA PESQUISA

As rochas do Grupo Tubarão têm sido objeto de inúmeros estudos, desde a proposição original de WHITE (1908), que empregou esta designação para caracterizar os sedimentitos basais da sequência gonduânica do sul de Santa Catarina, aos quais associam-se as camadas de carvão.

Os trabalhos de OLIVEIRA (1916 e 1927), MAACK (1974), GORDON Jr. (1947), PUTZER (1952a, 1952b, 1954 e 1955) e MENDES (1962), MACHADO, CASTANHO e DEQUECH (1962) e ROCHA CAMPOS (1967) merecem destaque especial.

SCHNEIDER et alii (1974), realizaram uma revisão estratigráfica da Bacia do Paraná com base na integração dos dados obtidos pela PETROBRÁS em trabalhos de superfície e subsuperfície, acrescentando um substancial acervo de informações às já existentes.

Neste trabalho preferiu-se manter as unidades hierarquicamente superiores à categoria de formação dentro, respectivamente, das categorias de subgrupos e grupos, de acordo com o estabelecido por MENDES (1962) e adotado por ROCHA CAMPOS (1967) e outros. Assim, o Grupo Tubarão na bacia carbonífera de Santa Catarina fica caracterizado da seguinte forma:

PERMIANO	Subgrupo GUATÁ	Formação PALERMO	
		Formação RIO BONITO	Membro Siderópolis
			Membro Paraguaçu
			Membro Triunfo
CARB. SUP.	Subgrupo ITARARÉ	Formação RIO DO SUL	
		Formação MAFRA Formação CAMPO DO TENENTE	

No estudo desta sequência, além de realizar-se a análise das rochas do Subgrupo Itararé e da Formação Palermo, dedicou-se maior atenção ao detalhamento estratigráfico da Formação Rio Bonito.

II.1 SUBGRUPO ITARARÉ

Compreende a sequência de sedimentitos basais da coluna gonduânica da Bacia do Paraná, caracterizada pela presença de diamictitos, tilitos, arenitos e pelitos que refletem influências glaciais em suas diferentes manifestações deposicionais.

Trabalhos de mapeamento regional realizados por geólogos da PETROBRÁS e outros mostraram que o Itararé inclui pacotes sedimentares que por suas características físicas podem ser subdivididos em formações. SCHNEIDER et alii (1974) propuseram a divisão do Itararé em 4 (quatro) formações: AQUIDAUANA, CAMPO DO TENENTE, MAFRA e RIO DO SUL. A primeira ocorre em Mato Grosso, Goiás e Nordeste de São Paulo, enquanto que as demais até o momento foram mapeadas somente em Santa Catarina e no Paraná.

O Subgrupo Itararé presente em outras regiões do Estado de São Paulo permanece indiviso, em razão da inexistência de mapeamentos que comprovem a continuidade das formações que ocorrem em Santa Catarina e no Paraná.

A espessura do Itararé diminui de norte para sul na Bacia do Paraná, apresentando ocorrência muito limitada a partir do sul de Santa Catarina. De acordo com SCHNEIDER et alii (op. cit.) a

Formação Rio do Sul assenta sobre o embasamento no flanco sul-sudeste da Bacia, tendo esta relação de contato sido verificada na região de Ibirama (localidade do D'Alborgia), no centro-leste de Santa Catarina. A partir daí o Itararé diminui de espessura em direção ao sul, até desaparecer sob sedimentos mais jovens na região de Orleães. Acredita-se, por isso, que o Itararé esteja representado apenas por sua formação mais superior na bacia carbonífera de Santa Catarina.

O comportamento desta unidade em superfície, no flanco leste-sudeste da Bacia, assim como sua presença na região litorânea de Santa Catarina, onde as formações gonduânicas penetram no Oceano Atlântico, permaneciam obscuras até o aparecimento do relatório de CAYE et alii (1975), quando ficou comprovada a sua presença na região situada entre Orleães e o Atlântico.

II.1.1 ESTRATIGRAFIA

O Itararé da região carbonífera compreende um pacote de rochas clásticas com espessura média de 55m, alcançando um máximo de 130m localmente (poço 1 PB-15-SC-01, Projeto Barro Branco, perfurado no flanco norte-nordeste da bacia). A seção deste último é uma das mais completas do Itararé na área, podendo ser considerada como a sua coluna-tipo de subsuperfície. A tendência é a de verificar-se um espessamento da sedimentação na porção norte da bacia, a partir da localidade de Santana, certamente devida a um reativamento de falhas antigas durante o tempo Itararé.

A unidade pode ser caracterizada por três seqüências sedimentares: uma inferior, que inicia normalmente por conglomerado de base sobreposto por um pacote de lutitos; uma intermediária, essencialmente arenosa e outra superior, lutítica, contendo corpos lenticulares de arenito. Esta última é de notável constância na região, podendo ser facilmente indentificada nos perfis de raios gama e elétricos, constituindo-se estes em excelentes auxiliares para a determinação do topo do Itararé.

A figura 4 mostra as relações entre as diferentes litologias numa seção N-S traçada a partir de poços situados próximo à margem oriental da bacia. Os números ao lado de cada seção colunar identificam os pacotes litológicos referidos a cada uma das seqüências maiores, como definidas a seguir.

II.1.1.1 – Seqüência inferior

Esta seqüência compreende: (1) Conglomerados cinza claros a escuros, matriz quartzo-feldspática, sílica a arenosa grosseira, mal a muito mal classificada, com clastos arredondados a subangulares cujo tamanho varia de grânulos a blocos (normalmente de rochas graníticas). As rochas em geral são maciças ou com estratificações incipientes. Em determinados níveis, entretanto, nota-se a presença de estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, raramente de grande porte. A espessura deste pacote alcança no máximo 5,5m (poços 1 AR-46-SC-01 e 1 PB-11-SC-01). Conglomerados estão presentes em 57% dos poços analisados, perfazendo 3,5%, em média, da espessura total de sedimentos.

(2) Siltitos cinza-escuros e folhelhos siltico-argilosos cinza-escuros, quase pretos (1 AR-46-SC-01), carbonosos, micáceos, piritosos, com laminações paralelas e seixos pingados, com lentes de arenito muito fino. A presença de siltitos verifica-se em 57% dos poços, normalmente sobrepondo-se aos conglomerados descritos no item precedente. No poço 1 PB-18-SC-01, entretanto, os lutitos assentam diretamente sobre embasamento, apresentando a maior espessura (11m) dentre os poços observados.

II.1.1.2 – Seqüência intermediária

É constituída por arenitos cinza-claros, muito finos intercalando ritmicamente lâminas paralelas a sub-paralelas inclinadas cinza-escuras, cimento calcífero, micáceos ou esbranquiçados (3). As interfaces entre as lâminas normalmente são onduladas. O pacote é homogêneo, apresentando as mesmas características ao longo de toda a seção, que alcança a espessura de aproximadamente 50m no poço 1 PB-15-SC-01 (fig. 4). A presença destes arenitos restringe-se à parte norte da bacia carbonífera, sugerindo a presença de um paleovale ou mais provavelmente um baixo estrutural ao N-NW de uma linha que passa ao norte de Santana e ao sul de Treviso.

Sobrepondo-se ao anterior, aparece um pacote também essencialmente arenosos (4), compreendendo porém arenitos médios a muitos finos, eventualmente grosseiros, esbranquiçados a cinza-

claros, ocasionalmente intercalando lâminas mais escuras, feldspáticos, micáceos, com estratificações paralelas e sub-paralelas, às vezes cruzadas, lenticulares e convolutas.

A presença de intercalações de folhelhos escuros e brechas intraformacionais (com galhas de pelitos escuros ou fragmentos de rochas graníticas) não é rara.

Este conjunto está presente em 100% dos poços estudados. Nos poços 1 PB-25-SC-01 e 1 PB-16-SC-01 assenta diretamente sobre o embasamento (fig. 4).

II.1.1.3 – Sequência superior

É constituída por um complexo de siltitos, arenitos e eventualmente folhelhos que se intercalam, estando os arenitos presentes especialmente ao norte da linha Treviso-Santana.

A porção basal é composta de siltitos argilosos cinza escuros a quase pretos (5), carbonosos, com intercalações rítmicas de arenitos finos, esbranquiçados, exibindo normalmente laminações convolutas. A interlaminação de sedimentitos claros e escuros empresta à rocha aspecto varvítico. Marcas de carga são freqüentes.

Localmente há o desenvolvimento de corpos por vezes espessos (alcança 17,5m no 1 PB-15-SC 01) de arenitos (6) finos a muito finos, esbranquiçados, quartzosos, micáceos, entremeando lâminas paralelas de siltitos pretos que, às vezes, formam camadas com espessuras de alguns centímetros. No topo da sequência superior, que corresponde ao nível de correlação 2c (quadro 1) voltam a aparecer ritmitos (5), formados pela alternância de siltitos argilosos a arenosos, cinza-escuros a pretos, com lâminas e leitos de arenitos finos a muito finos de cores mais claras. As camadas apresentam laminações paralelas a sub-paralelas, sendo freqüentes as estruturas de escorregamento e seixos pingados.

Este pacote essencialmente siltico, com uma probabilidade de presença igual a 1 (100%), foi tomado como referência de subsuperfície para assinalar o topo do Subgrupo Itararé na região.

Embora os aspectos litológicos e estruturais não mudem drasticamente, é possível assinalar-se algumas diferenças entre a sedimentação do Itararé e a do Rio Bonito.

1º – Os siltitos do topo do Itararé são rítmicos (varvitos), apresentam seixos pingados e são mais escuros que os da parte inferior da Formação Rio Bonito;

2º – Os feldspatos são sensivelmente menos abundantes nos arenitos do Itararé;

3º – As estratificações cruzadas do Itararé são em geral de pequena escala, sendo de média a grande escala na base do Rio Bonito;

4º – As estruturas de escorregamento são mais freqüentes no Itararé do que na parte inferior do Rio Bonito.

Sob o ponto de vista litológico, pode-se resumir o conjunto de sedimentação Itararé como segue:

Os folhelhos são a litologia menos freqüente. Estão presentes em apenas 28% dos poços, alcançando um máximo de 20% em relação aos outros sedimentitos, com média de aproximadamente 4%.

Conglomerados estão representados em 57% dos poços, constituídos de 0 a 14% dos sedimentitos, com média de 3,5% sobre o total nos poços analisados.

Os siltitos estão presentes em todos os poços, variando sua ocorrência entre 6 a 61%, com o valor médio de 21,5%.

As litologias mais representativas do Itararé na região são os arenitos. Ocorrem em 100% dos poços, variando a sua participação entre 26-90%, com o valor médio de 71% em relação ao total dos sedimentitos.

A espessura máxima da unidade foi atravessada no poço 1 PB-15-SC-01, tendo alcançado cerca de 130m. Decresce sensivelmente para o sul (15m no 1 PB-25-SC-01, próximo à ponte sobre o Rio dos Porcos, na BR-101) mantendo espessuras não superiores a 30m na área entre Araranguá e Torres. No poço 5 AT-03-SC sua espessura oscila entre 4m (de acordo com SUFFERT, 1976) e 16m, como foi estimado pelas características litológicas e pelos perfis elétricos e radioativos.

Não há elementos que possam contrariar a interpretação de SCHNEIDER et alii (1974) de que os sedimentitos do Itararé do sul de Santa Catarina sejam equivalentes à Formação Rio do Sul, nem evidências de que a referida sedimentação se tenha verificado em ambiente marinho.

A sedimentação dos siltitos várvidos com seixos pingados deve ter-se verificado, em corpos de águas rasas influenciados por ondas e com a eventual presença de blocos de gelo flutuantes. As texturas e estruturas sedimentares dos arenitos e conglomerados (como os presentes no poço 1 AR-46-SC-01, estampa I, figs. 1 a 4) denotam origem fluvial.

II.1.2 PALEONTOLOGIA E IDADE

Com base nos trabalhos palinológicos realizados na presente pesquisa e em trabalho anterior de PONS (1975), conclui-se que o Itararé pode ser correlacionado:

1) com o Complexo *Cordaitina* (Nuskoisporites) da microflora à *Striatiti*, de BALME (1966), correspondente ao intervalo Sakmariiano Superior-Artinskiano Inferior (Permiano Inferior) da Austrália;

2) com a Biozona Camerati de HART (1970), de idade Stephaniano-Sakmariiano da África do Sul;

3) com a Florizona 1 de BHARADWAJ (1966), que vai cronologicamente do Carbonífero Inferior ao Permiano Inferior da Índia;

4) com a associação palinológica do Permiano Inferior argentino.

Com relação às biozonas estabelecidas por DAEMON e QUADROS (1970) para associações da Bacia do Paraná do Sul do Brasil, a microflora do Itararé da "Coluna WHITE" corresponde ao intervalo bioestratigráfico G/H1, cuja idade situa-se entre o Stephaniano e o Sakmariiano.

Considera-se, ainda, através da comparação da microflora Itararé com a da Formação San Gregório do Uruguai, estudada por MARQUES TOIGO (1973) que a primeira é mais antiga que a do material uruguaio.

A análise do conteúdo esporopolínico permite-nos situar esta unidade no Permiano Inferior (SAKMARIANO).

II.2 ESTRATIGRAFIA DO SUBGRUPO GUATÁ

II.2.1 FORMAÇÃO RIO BONITO

A bacia carbonífera de Santa Catarina é uma das regiões da Bacia do Paraná em que a Formação Rio Bonito encontra-se melhor representada, prestando-se de maneira especial para o estabelecimento de uma estratigrafia de detalhe.

Como seção básica de subsuperfície foi escolhido o poço 1 AR-46-SC-01 (fig. 19) que, por apresentar a maior soma de elementos característicos da unidade e a mais completa sequência de camadas de carvão, pode ser considerada como a coluna-tipo da Formação Rio Bonito da área.

Os demais poços, estudados sob um ou mais pontos de vista, foram selecionados de forma a proporcionarem a visão mais completa da formação e de suas camadas de carvão através da bacia. Escolheu-se, além disso, um poço perfurado na região sul do Estado (5 AT-03-SC, entre Araranjá e Torres – fig. 19) com o objetivo de estabelecer correlações entre esta região e a bacia carbonífera clássica, além de proporcionar, para outra etapa de pesquisas*, um elemento de conexão entre a bacia de Santa Catarina e a do leste do Rio Grande do Sul.

A Formação Rio Bonito compreende sedimentitos eminentemente clásticos, sendo secundário seu conteúdo em rochas químicas (calcários) e organógenas (calcários e carvões). O pacote que a constitui comporta subdivisões com base em diferentes critérios. Utilizou-se dois deles para esta finalidade; o litológico e o baseado nos ciclos de sedimentação, cujos resultados mostraram-se, significativamente idênticos, qual seja, indicadores de uma subdivisão triplíce da formação, ratificando o estabelecido por SCHNEIDER et alii (1974).

A fig. 5 apresenta uma seção ideal da Formação Rio Bonito mostrando as características gerais da Estratigrafia e a distribuição das camadas de carvão.

* Estudo integrado das jazidas de carvão dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina com o apoio financeiro da FINEP, em andamento.

FIG. 5

SECÇÃO COLUMAR IDEAL DA

FORMAÇÃO RIO BONITO MOSTRANDO

A POSIÇÃO DAS CAMADAS DE CARVÃO

ESCALA 1:500

DEB. FLORES DE CASTRO

TABELA I

Poços		1 - AR - 46 - SC				1 PB -25-SC.01				1 PB -22-SC.01				1 PB -11-SC.01				
Unidades		Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	
Esp.m	Calcário																	
%																		
Esp.m	Argila/Folhelho	—		6,8	6,8	1,0	—	1,0	2,0	—	1,0	2,0	3,0	—	—	2,2	2,0	
%		—		11,0	5,5	2,5	—	2,0	1,5	—	2,5	4,0	2,5	—	—	4,0	1,0	
Esp.m	Siltito	6,0	27,4	12,7	46,0	1,0	11,0	20,0	32,0	1,0	11,0	10,0	22,0	3,0	44,68	5,0	52,0	
%		22,5	67,0	21,0	36,0	2,5	35,5	34,5	25,0	3,5	26,0	20,0	18,0	7,5	99,3	9,5	38,0	
Esp.m	Argila+Siltito	6,0	27,4	19,5	52,8	2,0	11,0	21,0	34,0	1,0	12,0	12,0	25,0	3,0	44,68	7,2	54,0	
%		22,5	67,0	30,5	41,5	5,0	35,5	36,5	26,5	3,5	28,5	24,0	20,5	7,5	99,3	13,5	39,0	
Esp.m	Conglomerado													4,0	—	—	4,0	
%														10,0	—	—	3,0	
Esp.m	Arenito	20,7	11,7	37,72	70,12	37,5	19,43	35,24	92,17	29,0	30,26	35,27	94,53	33,5	—	44,12	77,0	
%		77,5	28,5	59,00	54,4	95,0	62,5	60,5	71,5	96,5	71,00	72,5	77,8	82,5	—	84,2	56,0	
Esp.m	Diabásio *			3,30	3,30							3,0	3,0					
%				5,0	5,0							5,7	2,4					
Composição Textura Cor		Feld. Mic. Gr. Cza.	Qtzo. Fino Cza cl.	Qtzo. F.M.g. Cza. cl.		Feld. Mic. Carb. F.m. Esb.	Qtzo. F. med. G. Cza. Esb.	Qtzo. Mic. Raro Carb. f.m.f.		Feld. Carb. f. ag. Cza.	Qtzo. Mic. Carb. f.m.f. Cza.	Qtzo. Mic. f.m.f. Cza. Esb.		Feld. F. g., m.g. Cza.	—	Qtzo. m.g. Cza. cl.		
Esp.m	Carvão		1,9	3,48	5,38		0,57	1,76	2,33		0,24	1,73	1,27		0,32	1,18	1,0	
%			4,5	5,7	4,1		2,00	3,00	2,0		0,5	3,5	2,7		0,7	2,3	1,0	
Treviso				=	=													
B. Branco				X	X			X	X			X	X			X	X	
Irapuá								X	X			X	X					
Camada "A"				X	X			=	=			=	=					
Camada "B"				X	X			=	=			=	=					
Ponte Alta				?	?			=	=									
Bonito				X	X			X	X			X	X			X	X	
Pré-Bonito			X		X		X		X		X		X		X		X	
Camada "C"			X		X													
Camada "D"			X		X													
Outras			=		=										=	=	=	
Espessura total (m)		26,7	41,0	60,7	128,4	39,5	31,0	58,0	128,5	30,0	42,5	49,0	121,5	40,5	45,0	52,5	138,0	

* Valores não computados no total da espessura da Formação.

= Vestígios da camada de carvão.

TABELA II

Poços		1 PB – 16 – Sc. 01				1 PB – 12 – SC.01				1 PB – 17 – SC.01*				1 PN-15 – SC.01			
Unidades		Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.
Esp.m	Calcário	—	—	1,5	1,5										2,0	3,0	5,0
%		—	—	2,5	1,0										4,5	4,5	3,5
Esp.m	Argila/Folhelho	—	—	1,0				2,0	2,0							Tr.	
%		—	—	1,5	0,5			3,5	1,5								
Esp.m	Siltito	12,0	35,5	4,0	50,5	11,0	32,0	4,0	47,0	1,5	4,2	5,0	10,7	1,5	43,0	11,0	55,5
%		37,5	73,0	7,0	36,5	24,5	89,0	7,0	35,5	9,0	11,0	7,0	8,5	7,0	95,5	16,0	41,0
Esp.m	Argila+Siltito	12,0	35,5	5,0	52,5	11,0	32,0	6,0	49,0	1,5	4,2	5,0	10,7	1,5	43,0	11,0	55,5
%		37,5	73,0	8,5	38,0	24,5	89,0	19,5	34,8	9,0	11,0	7,0	8,5	7,0	95,5	16,0	41,0
Esp.m	Conglomerado																
%																	
Esp.m	Arenito	20,0	13,0	48,82	81,82	34,0	4,0	52,3	90,3	14,5	34,3	62,3	111,1	20,0	—	53,79	73,79
%		62,5	27,0	85,2	59,4	75,5	11,0	86,5	64,0	91,0	89,0	90,5	90,0	93,0	—	78,5	55,0
Esp.m	Diabásio																
%																	
Composição Textura Cor		Feld. Carb. g.-m. fino Cza.	m.f. Cin-za claro	Feld. Carb. f.m.g. Cza. claro		Feld. Carb. m.f.-m. Cza. Esb.		Feld. pco. Carb. g.m.g.m Cza. cl.		Otzo. Mic. Calc. f.am. Esb.	Otzo. Mic. Calc. f.am. Cza. esv.	Otzo. Feld. raro Calc. Esbr.		Feld. p/mic. Calc. g.amg. Cza.		Otzo. Mic. g.f.m. pco.Cl. Cza.	
Esp.m	Carvão			2,18	1,18			1,71	1,71			1,70	1,70			0,71	0,71
%				3,8	1,6			2,9	1,2			2,5	1,5			1,0	0,5
Treviso																	
B. Branco				X	X			X	X			X	X			X	X
Irapuá								=	=							=	=
Camada "A"				X	X			=	=							X	X
Camada "B"				X	X			=	=			X	X			=	=
Ponte Alta				=	=											X	X
Bonito				X	X			X	X			X	X				
Pré-Bonito			=		=		=		=								
Camada "C"																	
Camada "D"																	
Outras																	
Espessura total (m)		32,0	48,5	57,5	138,0	45,0	36,0	60,0	141,0	16,0	38,57	69,0	123,5	21,5	45,0	68,5	135,0

* Anômalo, provável falha. Aparentemente não ocorre o membro intermediário. Toda a parte abaixo da camada Bon. é arenosa.

= Vestígios da camada de carvão.

TABELA III

Poços		1 PB – 18 – SC. 01				1 PB – 21 – SC.01				MA – 22 – SC **				5 AT–03 – SC			
Unidades		Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.	Mbro. Triun.	Mbro. Parg.	Mbro. Sidr.	Fm. R.Bon.
Esp.m	Calcário		3,0	1,0	4,0	—	—										
%			4,5	1,0	2,3												
Esp.m	Argila/Folhelho	—	—	Tr.	—							1,0			1,0		1,0
%		—	—		—										5,0		1,0
Esp.m	Siltito	9,0	63,0	20,9	92,9	3,0	43,5	10,0	56,5			7,0			20,5	7,0	27,5
%		28,0	91,0	26,5	51,5	7,9	81,5	17,5	38,0						95,0	12,0	27,5
Esp.m	Argila+Siltito	9,0	63,0	20,9	92,9	3,0	43,5	10,0	56,4						21,5	7,0	28,5
%		28,0	91,0	26,5	51,5	7,9	81,5	17,5	38,0						100,0	12,0	28,5
Esp.m	Conglomerado																
%																	
Esp.m	Arenito	23,0	03,0	55,0	81,0	35,0	10,0	46,3	91,3			54,75		11,5	—	59,0	70,5
%		72,0	4,5	69,6	45,0	92,1	18,5	82,0	61,0					100,0	—	88,0	70,5
Esp.m	Diabásio *							11,0	11,0							14,5	14,5
%								16,3	6,5							17,0	10,0
Composição Textura Cor		Feld. Mic. Carb. f.m. Cza.es.	Otzo. Feld. Carb. f.med. Cza.	Feld. Mic. pço. Ca f.mg.		Feld. Mic. Carb. f.e m. Cza.esb	Feld. Mic. Silt/ Arg. Cza.	Otzo. Mic. Silt. Arg. Cza.									
Esp.m	Carvão			2,10	2,10	0,03		0,18	0,21			0,25					1,16
%				2,6	1,2			0,5	1,0								1,1
Treviso																	
B. Branco				X	X			X	X			X	X				
Irapuá				=	=											X	X
Camada "A"				X	X											X	X
Camada "B"				X	X												
Ponte Alta				X	X												
Bonito				X	X											X	X
Pré-Bonito															X		X
Camada "C"																	
Camada "D"																	
Outras						X			X								
Espessura total (m)		32,0	69,0	79,0	180,0	38,0	53,5	56,5	148,0			62,0		11,5	21,5	67,16	100,16

X Espessura não computada para a formação.

= Vestígios da camada de carvão.

** A Formação Rio Bonito não foi totalmente atravessada pela sondagem.

As tabelas de I a III reúnem informações a respeito das litologias presentes em uma série de poços tomada como amostra. A localização destes poços é mostrada na fig. 2.

Membro Triunfo:

O membro basal da Formação Rio Bonito compreende uma seção eminentemente arenosas que inicia logo acima dos siltitos escuros do topo do Itararé e se distribui até a primeira camada de carvão da base do Membro Paraguaçu (camada de carvão "D"), ou na ausência desta, na altura dos primeiros corpos espessos de siltitos, que constituem a litologia predominante desse membro.

Este intervalo estratigráfico é bem marcado nos perfis de raios gama e de resistividade, podendo estes servir como instrumentos auxiliares para sua delimitação. O estudo das seqüências sedimentares, por outro lado, evidenciou a presença de dois níveis de correlação, um no topo do Itararé (nível de correlação 2c) e outro no topo da camada de carvão "D" (nível de correlação 4c – quadro 1) com probabilidade de ocorrência respectivamente de 1 (100%) e 0,88 (88%) (quadro 2).

Nos poços que serviram de base para este estudo as espessuras do Membro Triunfo variaram entre 16,0m (poço 1 PB-17-SC-01) e 45,0m (1 PB-12-SC-01), com 32,0m de valor médio. CAYE et alii (1975) referem como 20,0 e 60,0m os valores extremos de espessura na área da bacia carbonífera. As maiores espessuras do Membro Triunfo são encontradas na borda leste da bacia, especialmente nas sub-bacias de Barro Branco-Lauro Müller e Siderópolis e na área a leste de Içara. A tendência é a de verificar-se um adelgaçamento em direção ao centro e ao oeste da mesma, situação esta compatível com a idéia de SCHNEIDER e CASTRO (1975), que afirmam ser a parte inferior do Membro Triunfo contemporânea, na margem leste da Bacia do Paraná, com a parte superior da Formação Rio do Sul (Intervalo Estratigráfico II) presente mais a oeste. O processo de progradação deltáico iniciado nesta fase prosseguiu atuando, na opinião dos referidos autores, na margem leste da bacia, durante todo o transcurso do tempo Rio Bonito, apresentando nesta fase uma nítida predominância de depósitos deltáicos (de canais e prodelta) e eventualmente litorâneos.

Arenitos subarcoseanos e arcóseos esbranquiçados são as litologias predominantes do Membro Triunfo, compreendendo 84% do total de seus sedimentitos. Siltitos, folhelhos, conglomerados e carvões ocorrem apenas secundariamente. Os arenitos formam espessos pacotes; apresentam granulometria gradativa de grosseira a fina e passam normalmente, no final do processo, para siltitos, constituindo seqüências cíclicas. Em determinados locais ocorrem apenas dois destes ciclos, enquanto em outros ocorrem quatro ou mais. Não raro observa-se que a seqüência inicia logo acima do Itararé com arenitos grosseiros a conglomeráticos, subarcoseanos, maciços na base e com estratificações paralelas (figs. 19 a 25), litologia esta distinta dos arenitos muito finos do Itararé, essencialmente quartzosos. Globalmente, contudo, os arenitos do Membro Triunfo são predominantemente médios a finos, cinza claros a esbranquiçados, micáceos, com cimento carbonático, cujas estruturas sedimentares predominantes são as estratificações paralelas, estratificações e laminações onduladas, estratificações cruzadas acanaladas de média a grande escala e baixo ângulo (estampa I, fig. 5) e acamamento gradacional. Estilólitos ocorrem ocasionalmente.

Conglomerados (ortoconglomerados petromíticos) ocorrem apenas ocasionalmente (foram constatados nos poços 1 AR-46-SC-01 e 1 PB-11-SC-01) na parte média da seção, com espessuras muito reduzidas. São cinza claros, matriz fina, micácea, com seixos de quartzo, folhelhos e siltitos.

Folhelhos e siltitos constituem os restantes 16,0% do Membro Triunfo, sendo que os primeiros contribuem com apenas 0,5% do total de sedimentitos, aparecendo em cerca de 10% dos poços. Os folhelhos são argilosos, cinza escuros quase pretos, carbonosos, com nódulos de pirita e traços de carvão brilhante. Uma das raras ocorrências encontra-se no poço 1 PB-25-SC-01, no contato com o Membro Paraguaçu.

Os siltitos são arenosos e argilosos, cinza-escuros, carbonosos, micáceos, pouco feldspáticos, com nódulos de pirita, laminações plano-paralelas, irregulares, "flaser" e estruturas de escorregamento ou podem ser maciços (fig. 19). Ocorrem normalmente como camadas delgadas, intercaladas aos arenitos ao longo de toda a seção, enfatizando os diferentes tipos de estratificações; pacotes mais espessos podem aparecer no final de um ciclo maior de sedimentação, junto aos arenitos muito finos.

Nesse intervalo há uma nítida predominância de argilas do tipo interestratificadas (I-M) sobre os demais tipos, especialmente da caolinita, que passa a ser mais importante a partir do Membro Paraguaçu.

Membro Paraguaçu:

É caracterizado por apresentar rochas com granulometria fina, principalmente siltitos; secundariamente ocorrem argilitos, folhelhos, arenitos finos e calcários. Carvões ocorrem no topo e na base (fig. 5).

A espessura do Membro Paraguaçu varia entre 31,0 e 69,0m, com média de 45,0m. A maior frequência de medidas de espessura situa-se também no valor da média.

É limitado inferiormente pela camada de carvão "D" ou, na ausência desta, por um siltito esverdeado micáceo, interlaminação com arenito muito fino, esbranquiçado, de notável presença no perfil de raios gama, que corresponde ao nível de correlação 4c (quadro 1 e figs. 20 a 25).

Seu limite superior é marcado pela presença de um siltito arenoso esverdeado a cinza, eventualmente preto, carbonoso, micáceo, normalmente maciço, mais raramente com laminações paralelas. Sua espessura oscila entre 3,0 e 6,0m (fig. 5). Ocorre imediatamente abaixo da camada de carvão Bonito (nível de correlação 9c, quadro 1 e figs. 20 a 25), intercalando-se entre esta e a camada Pré-Bonito, quando está presente esta última.

Duas camadas de carvão ocorrem na base do membro: a camada "D", que é a camada guia indicativa da base e a camada "C" separada da primeira por cerca de 6,0m de sedimentitos. Estes iniciam com uma camada de siltito escuro logo acima da camada "D", que passa gradativamente para arenito fino, médio e eventualmente grosseiro e deste, novamente, as granulometrias decrescem até passarem a siltito na base da camada "C".

O intervalo entre a camada de carvão "C" e a base da camada Pré-Bonito é de 34,0m no poço 1 AR-46-SC-01 (fig. 19), espessura esta que pode ser considerada como valor médio para a região. A sequência aí presente é formada por siltitos arenosos cinza escuros a claros, calcíferos, frequentemente carbonosos, com estruturas sedimentares predominantemente de pequeno porte, como estratificações cruzadas acanaladas com estruturas de corte e preenchimento (estampa I, fig. 6), laminações plano-paralelas, irregulares e lenticulares (estampa I, fig. 7). De importância neste intervalo são as estruturas de escorregamento (estampa I, fig. 8) resultantes de prováveis deslizamentos. Esta litologia representa 67% da sedimentação do Membro Paraguaçu.

Folhelhos pretos e argilitos carbonosos, assim como calcários acinzentados ocorrem apenas esporadicamente. Os folhelhos, via de regra, apresentam "slickensides" e restos vegetais mal preservados.

Arenitos constituem praticamente os restantes 31,5% da litologia deste intervalo. Apresentam cores cinza-claras, às vezes intercalando lâminas mais escuras. São feldspáticos e grosseiros na porção inferior da sequência, enquanto médios a muito finos quartzosos, quando intercalados aos siltitos.

O arenito Bonito Inferior, referido por WHITE (1908) e depois por PUTZER (1952 e 1954) não ocorre generalizadamente através da bacia. Sua presença pôde ser constatada em cerca de 60% dos poços analisados. Quando aparece é normalmente quartzoso (menos de 10% de feldspatos), fino a siltico, às vezes micáceo, piritoso, cinza claro a cinza esverdeado; outras vezes é cinza-claro com lâminas mais escuras, cimento carbonático, variando de maciço a laminado (lâminas paralelas ou onduladas), ocasionalmente com estratificações cruzadas de pequena escala e estruturas de escorregamento. Grada superiormente para siltito arenoso sotoposto à camada Bonito ou à Pré-Bonito, quando esta ocorre e também para siltito no sentido de sua base.

As argilas do Membro Paraguaçu mostram tendência a apresentar camadas mixtas (I-M) com um enriquecimento gradual em caolinita, que passa a predominar na porção superior.

Membro Siderópolis:

O Membro Siderópolis constitui a parte superior da Formação Rio Bonito, englobando o pacote areno-siltico que contém as camadas de carvão mais importantes da bacia.

Seu limite inferior é a camada de carvão Bonito ou seus equivalentes estratigráficos (nível de correlação 9c, quadro 1 e figs. 20 a 25) que ocorre com uma probabilidade 1,00 (quadro 2); o limite superior é a base da Formação Palermo, com a qual está em contato transicional.

Nas perfurações estudadas (tabelas de I a III) as espessuras máxima, mínima e média registradas foram respectivamente de 79,0m (1 PB-18-SC-01), 52,0m (1 PB-11-SC-01 e 1 PB-22-SC-01) e 63,0m. As espessuras mais frequentes situam-se entre 67,5 e 69,0m.

A sequência sedimentar do Membro Siderópolis é predominantemente arenosa (74,5% de arenitos) à semelhança do membro inferior da formação. Seguem-se em abundância os siltitos (17,0%) que estão presentes, como os arenitos, em todos os poços. Folhelhos (2,5%) foram constatados em 60% dos poços enquanto calcários em apenas 30% deles, não alcançando mais que 0,8% do total de sedimentitos. Intrusões de diabásio são frequentes (aparecem em 30% das perfurações).

Neste membro da Formação Rio Bonito estão concentradas 7 (sete) das 10 (dez) camadas de carvão conhecidas na bacia. A espessura líquida de carvão constitui cerca de 3,0% do total de sedimentitos (Tabelas de I a III), estando o mesmo distribuído em dois conjuntos de camadas bem localizados: um basal, ocupando o terço (1/3) inferior do membro (primeiros 12 a 15 metros), compreendendo as camadas BONITO, PONTE ALTA, "B" e "A", em ordem ascendente; outro superior, englobando as camadas IRAPUÁ, BARRO BRANCO e TREVISÓ, conjunto este situado no terço (1/3) médio/superior da sub-unidade (25 a 30 metros superiores).

O primeiro pode ser considerado como um complexo de camadas, das quais apenas a Bonito mostra distribuição significativa na bacia, ocorrendo em 80% dos poços estudados. As quatro camadas de carvão inferiores aparecem juntas apenas no poço 1 PB-18-SC-01, localizado na parte norte da bacia, às margens do Rio Rocinha.

O segundo tem como representante mais típico a camada Barro Branco, de presença generalizada na bacia carbonífera clássica e mesmo fora de seus limites. As demais camadas, tanto de um como de outro dos conjuntos ocorrem apenas localmente, em maior ou menor extensão, na dependência dos fenômenos (possivelmente tectônicos) que comandaram o equilíbrio da bacia, determinando épocas de maior ou menor subsidência e de fixação da vegetação no ambiente de sedimentação. A ausência de carvão em determinados locais da bacia é devida tanto a causas erosionais quanto de não deposição, fenômenos estes normais, no ambiente fluvio-deltáico em que se verificou a sedimentação.

As camadas Bonito e Barro Branco estão separadas entre si por um pacote sedimentar cuja espessura varia entre 33,0 e 65,0m, com a média aproximada de 47,5m, verificando-se a maior incidência de valores de espessura entre 38,0 e 41,0m.

A distância vertical entre a camada "A" e a camada Bonito (inferiormente) e entre a camada "A" e a Camada Barro Branco (superiormente) variam respectivamente entre 13,0 e 26,0m (média de 25,0m) e 19,5 – 37,0 (média de 20,7m).

O termo basal do Membro Siderópolis é a camada de carvão Bonito. Esta possui distribuição suficientemente grande através da bacia para ser considerada como camada de referência, como já citamos anteriormente (nível de correlação 9c, com probabilidade de ocorrência igual a 1,00 – quadro 2, figs. 19 a 25).

Acima da camada Bonito assenta-se em geral um folhelho siltico ou siltito cinza escuro, carbonoso, com abundantes restos vegetais. Este horizonte habitualmente é delgado (espessura de centímetros), podendo entretanto alcançar até 3,6m, como no poço 1 AR-46-SC-01.

Segue-se um arenito quartzoso (menos que 10% de feldspato) com granulometria crescente ("coarsening upward") cujos termos granulométricos variam desde muito finos até grosseiros e novamente diminuem no sentido ascendente ("fining upward") até gradarem para siltito e mesmo folhelho preto, carbonoso, imediatamente abaixo da camada de carvão Ponte Alta. O arenito apresenta-se desde maciço até laminado (lâminas paralelas a onduladas), micáceo, cimento calcífero, cinza claro ou alternando níveis de tonalidades claras e escuras. Este arenito, que em certos locais não pode ser individualizado, é o Arenito Bonito Superior de WHITE (1908). Sua espessura varia de aproximadamente 3,0m (1 AR-46-SC-01) até 7,0m (1 PB-16-SC-01 e 1 PB-18-SC-01). No poço 1 PB-15-SC-01 alcança 13,0m porém esta seção não deve ser tomada como referência, tendo em vista que aí não ocorre a camada Bonito. Na base do Membro Siderópolis aparecem, na parte norte da bacia, duas camadas de calcário cinza a esbranquiçado, grosseiro; o calcário também está presente na base do membro no 1 PB-16-SC-01 e 1 PB-18-SC-01, associado ao carvão.

Acima da camada Ponte Alta (nível de correlação 11c – quadro 1) ocorrem novamente siltitos carbonosos e/ou arenitos quartzosos finos. No poço 1 PB-18-SC-01, cerca de 2,0m acima do primeiro nível de carvão identificado como Ponte Alta aparece nova camada de carvão, com espessura de 0,2m (fig. 21).

À camada Ponte Alta (segundo nível), segue-se novo pacote sedimentar composto de siltito cinza escuro que passa para arenito quartzoso fino a grosseiro e deste mais uma vez para siltito, até a

camada de carvão "B". Uma outra sequência ocorre entre as camadas "B" e "A". A espessura do pacote situado entre o topo da camada Ponte Alta e a camada "B" é de 14,5m, enquanto é de apenas 2,5m o intervalo que separa esta última da camada "A". A repetição deste tipo de seqüências, aparentemente cíclicas, é bem característico no poço 1 PB-18-SC-01, onde estão desenvolvidas todas as camadas de carvão da base do Membro Siderópolis. O mesmo não se verifica nos demais (tabelas de I a III), onde observa-se quebra dos ciclos em diferentes níveis. Na maior parte da região carbonífera, não houve condições para o desenvolvimento de carvão nesta parte da Formação Rio Bonito (excluindo a camada de carvão Bonito), ocorrendo apenas folhelhos carbonosos (figs. 20 a 25) e o grande ciclo sedimentar que culminou com a formação da camada Barro Branco. Pode-se considerar que o poço 1 PB-18-SC-01 exhibe a seção padrão característica do conjunto litológico basal.

Em cima da camada "A" quase sempre aparece um arenito esbranquiçado a cinza, grosseiro a muito grosseiro na base, quartzoso, cimento calcífero, maciço, que passa para médio e fino, com estratificações paralelas e cruzadas acanaladas de média a pequena escala, com nódulos de pirita e estilólitos (estampa I, fig. 9). Este corpo arenoso é habitualmente espesso (alcança até 20,0m em alguns poços) e grada superiormente para siltito arenoso listrado (entremeando tons claros e escuros de cinza) a "flaser" ou para siltito com estratificações cruzadas de pequena escala, carbonoso, eventualmente bioturbado. Este pacote constitui em geral um único ciclo de sedimentação com textura granodecrescente; porém poderá compreender mais de um, havendo então intercalações repetidas de siltitos e mais raramente de folhelhos carbonosos. No topo desta seqüência aparece a camada de carvão Irapuá.

Sobre a camada Irapuá assenta o Arenito Barro Branco Inferior. Este é quartzoso, esbranquiçado, com estratificações cruzadas de pequena escala ou estratificações onduladas com marcas de carga na parte superior; inicia grosseiro e passa para termos mais finos até gradar a siltito micáceo no contato com a camada de carvão Barro Branco. Sua espessura média é de cerca de 6,0m (máxima de 10,5 e mínima de 4,0m nas perfurações estudadas), que corresponde ao afastamento entre as camadas de carvão Irapuá e Barro Branco.

Esta última é o horizonte mais notável da coluna do Membro Siderópolis sob o ponto-de-vista estratigráfico. A probabilidade de ocorrência da camada de carvão ou de seus equivalentes estratigráficos é de 1,00 (100%) (quadros 1 e 2); constitui o nível de correlação 16c referido nas figuras 20 a 25.

O carvão Barro Branco é seguido normalmente por siltito arenoso com laminações onduladas, entremeando tons de cinza com lâminas pretas; é calcífero, duro e rico em restos orgânicos macegados. Trata-se da camada denominada Alevante na região mineira, cuja importância maior está ligada ao fato de constituir o teto da maior parte das minas da região. Sua espessura média é de 1,55m, sendo freqüentes os locais onde a camada apresenta 2,0m de espessura. Está ausente em alguns dos poços estudados (1 AR-37-SC-02, 1 CR-07-SC, 1 CR-13-SC e 1 PB-21-SC-01) e no poço 1 AR-46-SC-01 apresenta espessura de 4,85m (figs. 19 a 25).

Ao Alevante segue-se o arenito Barro Branco Superior. Trata-se de um arenito quartzoso, cinza esbranquiçado, grãos sub-angulares a subarredondados, calcífero, finalmente micáceo, com estratificações cruzadas acanaladas de pequena escala na base, passando a apresentar predominância de estratificações paralelas para o topo; este arenito pode também aparecer maciço, com estilólitos preenchidos por material argilo-carbonoso. Em duas das perfurações estudadas ocorreram horizontes de solos fósseis com marcas de pequenas raízes (estampa I, fig. 10). Sua espessura média é de 6,0m, com máximo de 16,5m (poço 1 CR-13-SC-01) e mínima de 2,5m (poço 1 PB-18-SC-01); neste intervalo foram observadas camadas de arenito portadoras de óleo vivo.

O Arenito Barro Branco Superior em certos locais pode estar diretamente em contato com o Palermo; em outros, contudo, acima dele pode aparecer até 16,0m (como registrado no poço 1 AR-46-SC-01) de siltitos arenosos cinza claros com lâminas escuras, às vezes bioturbados e com estruturas "flaser" (estampa I, fig. 11), assim como folhelhos carbonosos, intercalados com bancos de arenitos quartzosos, finos a médios, maciços ou com estratificações cruzadas de pequena escala.

A camada de carvão Treviso, que é a mais superior da Formação Rio Bonito, aparece intercalada no Arenito Barro Branco Superior em diferentes alturas. PUTZER (1952) já referia que devido ao fato de ocorrer apenas esporadicamente (preferentemente na zona de maior subsidência da bacia que originou a camada Barro Branco), sua posição estratigráfica é imprecisa. De acordo com o refe-

rido autor, a distância vertical entre a camada Barro Branco e a Treviso em sondagens antigas da bacia carbonífera é a seguinte: cabeceiras do rio Jordão (furo nº IV) 8,95m; rio Pio (furo nº I) 3,28m; Nova Veneza (furo nº VII) 8,75m. Na localidade de Palermo, em afloramento, encontra-se a camada Treviso a apenas 0,5m sobre a Barro Branco. Sua espessura, em afloramentos, varia entre 0,3 a 1,2m, com apenas 0,2 a 0,3m de carvão (PUTZER, op. cit.).

A camada Treviso, na maior parte das perfurações, foi identificada através do estudo de seqüências sedimentares (nível de correlação 17c – quadro 1).

A espessura total da cobertura pós Barro Branco é, portanto, muito variável, ocorrendo interdigitações entre litologias da Formação Rio Bonito e da Formação Palermo em diferentes alturas acima da camada de carvão (nível de correlação 16 c). O contato entre ambas as formações é tipicamente gradacional, verificando-se relações faciais mútuas no intervalo compreendido entre os níveis de correlação 16 c e 18 c (quadros 1 e 2; figs. 20-25).

As argilas do Membro Siderópolis são do tipo misto (I-M) e caolinita, com nítida predominância do último tipo.

II.2.1.1 – Paleobotânica

O interesse econômico gerado pela presença de carvão em Santa Catarina levou indiretamente ao reconhecimento e estudo de grande número de formas vegetais fósseis.

DAVID WHITE (in White I.C., 1908) realiza o trabalho pioneiro em Santa Catarina, descrevendo uma coleção procedente de 8 localidades da área norte da Bacia Carbonífera, ao longo da “estrada nova” de Lauro Müller. De acordo com seção colunar proposta por MENDES (1952) para as séries Itararé e Tubarão, estas localidades pertenceriam a três horizontes estratigráficos (quadro 3).

gráficos

READ (1941) caracteriza, em um afloramento da Camada Treviso (de acordo com White, 1908) ou Camada Irapuá (Putzer, 1952), uma taoflora com 7 espécies respectivamente: *Lepidodendron pedroanum* (Carruthers) Zeiller, *Lepidostrobus* sp., *Glossopteris indica* Schimper, *Glossopteris* sp. cf. *ampla* Dana. A coleção revisada por RIGBY (1972), foi assim redefinida: *Glossopteris* sp. cf. *G. ampla* Dana, *Lycopodiopsis pedroanus* (Carruthers) Edwards, *Lepidostrobus* sp.

No período entre 1946 e 1954 DOLIANITI descreve para o afloramento Bainha, 35 espécies vegetais, constantes da relação abaixo:

Glossopteris stricta Bunbury, *G. formosa* Feist., *G. angustifolia* var. *taeniopteroides* Seward, *G. angustifolia* Brongn., *G. spathulo-cordata* Feistm., *G. ampla* Dana, *G. browniana* Brongn., *G. indica* Schimper, *Gangamopteris cyclopteroides* Feistm., *G. obovata* (Carr.) White, *G. obovata* var. *major* Feistm., *G. mosesii* Dolianiti, *G. buriadica* var. *acrodeltoides* Dolianiti, *Ottokaria santa-catarinae* Dolianiti, *Ottokaria ovalis* White, *Ottokaria* sp., *Vertebraria indica* Brongn., *Cordaites hisloppi* (Bunb.) Seward, *Phyllothea* sp., *Calamites* sp., *Cardiocarpon* sp., *Buriadia* sp., *Cyclopitys dichotoma* Feistm., *Chiropteris reniformis* Kawasaki, *Pecopteris* sp., *Sphenopteris lobifolia* Morris, *Sphenopteris* sp., *Taeniopteris feddeni* Feistm., *T. cricumensis* Dolianiti, *Taeniopteris* sp., *Samaropsis* sp., *Psygmyphyllum* sp., *Bayera* sp., *Sigillaria* sp., *Actinopteris bengalensis* Feistm.

BARBOSA (1958) apresenta uma listagem dos elementos da taoflora do Gondwana Inferior do Brasil, sugerindo par a flora do Bainha idade Estefaniana Superior. A presença de *Barakaria* associada a *Glossopteris* e *Gangamopteris* revela uma flora de idade Barakar.

MILLAN (1965, 1967, 1969) identifica para o afloramento Bainha *Samaropsis millerii* (Feistm.) Seward, *S. bainheiras* Millan (?) e *S. cricumensis* Millan. Para o Horizonte I de MENDES (1952) esse autor (op. cit.) identifica *Samaropsis moreirana* (White) Millan, *Samaropsis seixasi* Millan; para o Horizonte II *Cordaicarpus oliveiranus* (White) Millan, *Carpolithus* sp. White e para o Horizonte III, *Samaropsis moreirana* (White) Millan. Estabelece o autor os gêneros *Dolianitia* Millan e *Plumsteadia apedicellata* Millan. *Noeggerathiopsis hislopi* é descrito por MILLAN (1971) para o afloramento Bainha, sendo descrito por YOSHIDA (1966) um tufo de *Glossopterideas*, *Buriadia* sp. e *Brasilocladus acicularis* Yoshida, as duas últimas correspondendo a coníferas.

RIGBY (1969b) apresenta uma reconstituição da paisagem na época da deposição da Formação Rio Bonito em Santa Catarina. O mesmo autor descreve *Rhodea cricumana* Rigby (1969c),

uma nova família de esfenófitas Notocalamitaceae (1972b), uma distribuição estratigráfica das plantas do Gondwana Inferior (1972a) e uma revisão do gênero *Arberia* (1972c).

Pela análise de coleções provenientes da região de Lauro Müller (SC), estudadas por D. WHITE (1908), RIGBY (1972d) estabelece 4 horizontes bioestratigráficos para o Rio Bonito em SC, cujos gêneros são explicitados no quadro 3.

RÜSLER (1973) propõe a subdivisão do neopaleozóico da Bacia do Paraná em uma sequência tafoflorística A-D. A Formação Rio Bonito é colocada pelo autor em um intervalo B-C, e a taoflora de Criciúma na taoflora C. O mesmo autor (1975b) em um estudo comparativo entre taofloras neopaleozóicas da Argentina e Brasil sugere que a taoflora C possa ser correlacionada com algumas taofloras do Lubekense A.

RÜSLER (1974b, 1975a), registra a ocorrência de macrofósseis vegetais em Rio da Estiva, SC, na Formação Rio Bonito.

ROCHA CAMPOS e RÜSLER (1976) estabelecem, com base em faunas e floras, reconstituições paleogeográficas e paleoclimáticas para o neopaleozóico brasileiro; utilizando, também, dados paleomagnéticos, fornecem os autores outros subsídios para a interpretação da migração das floras e penetração de elementos nórdicos.

OLIVEIRA (1978) de 4 afloramentos fossilíferos da Formação Rio Bonito na região de Criciúma, SC, realiza um estudo sistemático detalhado de 80 espécies, registrando os seguintes gêneros:

Ponsotheca lobifolia gen. et sp. nov.; *Notoangaridium cricumensis* (Rigby) gen. nov.; *Arberiopsis boureaui* gen. et sp. nov.; (?) *Arberiopsis* sp. A; (?) *Arberiopsis* sp. B; (?) *Arberiopsis* sp. C; *Gangamopteris rigbyi* sp. nov.; *Glossopteris spathulato-cordata* (Feistm.) emend. Banerjee & Ghosh var. *dolianitii* var. nov.; (?) *Rhabdotaenia cricumensis* (Dolianiti) n. comb. e *Buriadia mendesii* sp. nov. Com base na litologia e no tipo de fósseis ocorrentes e em dados paleomagnéticos, estabelece a autora a reconstituição do paleoambiente deposicional, paleoclima e paleogeografia da Formação Rio Bonito no Estado de SC, mais especificamente na região de Criciúma.

Características Gerais da Taoflora

Qualitativas — Evidencia-se, na composição paleoflorística da Formação Rio Bonito em Santa Catarina, a presença dos seguintes grupos vegetais: Sphenophyta, Filicophyta, Licophyta, Pteridospermophyta, Cordaitophyta, Coniferophyta e Pteridophylla, além de estruturas vegetais indeterminadas, classificadas como Incertae sedis.

As Glossopteridophyta ocorrem sob forma de folhas e frutificações (estampa II, fig. 4, 8, 9). O grupo das Cordaitophyta está representado por folhas normalmente isoladas (apenas um registro de tufo foliar) e elevado número de sementes (estampa II, fig. 6, 7), as quais podem ser atribuídas, em sua maioria, a este grupo.

Pequenas folhas uninerviadas ou terminalizações de ramos, (estampa II, fig. 1), sementes e fragmentos de troncos silicificados são atribuídos às Coniferophyta.

Raras frondes férteis, e mais comumente frondes estéreis têm sido classificadas como Filicophyta e/ou Pteridophylla.

As Pteridospermophyta têm sua representação através de frutificações. As Licophyta são representadas por frutificações e folhas.

Associada à assembléia vegetal, OLIVEIRA (1978) registra para o afloramento Bainha, a presença de um leaeídeo (habitat de água doce ou salobra).

Quantitativas — A análise dos trabalhos já efetuados em Santa Catarina fornece poucos subsídios para análise quantitativa, uma vez que as referências são feitas qualitativamente.

Reconstituindo-se um quadro geral de ocorrências para taoflora da F. Rio Bonito de Santa Catarina, obtém-se, aproximadamente os seguintes percentuais gerais (figura 26):

Glossopteridophyta — 50%

Cordaitophyta — 25%

Filicophyta — 1%

Coniferophyta — 5%

Pteridospermophyta — 3%

Licophyta — 3%

Sphenophyta — 7%
Pteridophylla — 4%
Incertae sedis — 2%

Representantes nórdicos são raríssimos nas assembléias, que podem ser considerados como “floras à *Glossopteris*” quase puras (quadro 4).

A relação de frequência entre *Glossopteris* e *Gangamopteris* é normalmente de 4 a 6:1.

Um parâmetro observado é a pequena quantidade de espécies em relação ao grande número de indivíduos em cada espécie na assembléia; deve-se considerar aqui, porém, que um grande número de espécimens pertencem sem dúvida, a uma única planta-mãe; mesmo assim, os números totais de órgãos-gêneros têm valor estatístico.

Subsídios para a reconstrução paleoambiental e paleoclimática:

São aqui citadas evidências as quais, associadas aos demais dados paleomagnéticos, sedimentológicos e estratigráficos, permitirão o estabelecimento de proposições que objetivam a reconstituição das condições paleoclimáticas e paleoambientais vigorantes durante a deposição da Formação Rio Bonito no Estado de Santa Catarina.

A predominância quantitativa ($\pm 50\%$) de *Glossopterídeas* (estampa II, fig. 4, 8, 9) na associação sugere ciclicidade climática, uma vez que a caducidade foliar, extensiva também às frutificações tem sido indicada como característica do grupo. Com efeito, em uma incidência quase que absoluta, folhas e estruturas reprodutivas têm sido encontradas isoladas do eixo caulinar (PLUMSTEAD, 1958).

De acordo com KRASILOV (1977) citando CRIDLAND (1964), e PANT e SINGH (1968), as características das raízes de *Cordaites* e *Glossopteris* situam-nas entre plantas de mangrove.

As folhas que normalmente são encontradas destacadas do eixo caulinar, como ocorre com as *Glossopterídeas*, seriam decíduas; MILLAN (1971) sugere que espessos bancos de folhas de *Glossopterídeas* e *Noeggerathiopsis* (estampa II, fig. 6, 8, 9), originariam depósitos fossilíferos como os encontrados no Baínha.

Ao considerar-se na associação paleoflorística da Formação Rio Bonito em Santa Catarina a relação “número de espécies x número de indivíduos para cada espécie”, constata-se que apesar do pequeno número de espécies presentes, há um número relativamente grande de indivíduos. Dados fitogeográficos indicam que, em floras atuais, este tipo de relação ocorre em regiões bem definidas, que se caracterizam por climas frios.

Estas constatações, associadas às demais evidências paleobotânicas já mencionadas, levam a concluir sobre a existência de um paleoambiente fluvio-deltaico com planícies de inundação e de um clima frio, com provável ciclicidade, que caracterizaram a deposição da Formação Rio Bonito em Santa Catarina.

As coníferas (estampa II, fig. 1) que tem como habitat preferencial regiões mais elevadas, de clima seco e atualmente concentram-se em regiões de alto contraste de temperaturas em relação à ciclicidade periódica, estão pobremente representadas (1%), correspondendo, provavelmente a elementos alóctones nessa associação.

As Filicophytas (estampa II, fig. 2,3), dependentes dos fatores sombra a umidade, desenvolvem-se atualmente em zonas tropicais e sub-tropicais; a baixa representatividade do grupo na associação, leva a indicar um clima temperado a frio.

A presença de restos de caules de Sphenophyta (*Paracalamites*) em níveis definidos e em regular quantidade nos afloramentos fornece dados para interpretação paleoambiental. O grupo das Sphenophyta (estampa II, fig.5) constitui-se em excelente indicador paleoambiental pela grande similitude morfológica e anatômica que as formas fósseis têm em relação aos representantes atuais.

Normalmente os exemplares desse grupo crescem em planícies de inundação podendo desenvolver-se em solos pobres em nutrientes onde não há condições para o desenvolvimento de plantas com grande porte.

OLIVEIRA (1978) supõe, para a taoflora Irapuá, deposição seletiva do material em diferentes níveis do pacote de folhelhos, devido à variação na competência do agente transportador, com de-

créscimo de velocidade na porção mediana da camada, o que teria ocasionado, segundo o autor, a predominância de impressões de folhas; na base e no topo conservaram-se apenas as partes mais resistentes como sementes, frutificações e caules do grupo *Paracalamites*.

Correlação das taofloras da Formação Rio Bonito de Santa Catarina com taofloras do Eo-paleozóico Brasileiro.

Diversas tentativas de estabelecimento de horizontes bioestratigráficos com base em caracterizações de paleofloras já foram estabelecidas para a Bacia do Paraná.

Os horizontes estabelecidos por MENDES (1952), RIGBY (1972) e RÖSLER (1973, 1975b), acham-se sintetizados no quadro 3.

A caracterização mais recente, proposta por RÖSLER (1973, 1975b) indica 7 horizontes bioestratigráficos, tendo como localidade tipo para a taoflora C, a taoflora da região de Criciúma, SC.

A localidade de Acampamento Velho (RS) apresentada por RÖSLER (1975) e OLIVEIRA (1978) como pertencente ao Subgrupo Guatá, foi enquadrada por CORREA DA SILVA (1978) no Sub-Grupo Itararé.

De acordo com o quadro proposto por OLIVEIRA (1978) as taofloras relacionadas por RIGBY (1972) para Lauro Müller, apresentam 13 espécies coincidentes (70%), o que as coloca em uma mesma associação.

Já a taoflora de Treviso (RIGBY, 1972) tem apenas 2 espécies em comum com a Irapuá (24% da associação) o que poderia indicar diferenças ecológicas, segundo a autora, uma vez que os afloramentos encontram-se próximos geograficamente e se localizam na mesma camada (PUTZER, 1952).

Tomando como base a idéia de deslocamento translatitudinal do continente sul-americano durante o Permiano Inferior no sentido Norte-Sul (paleogeográfico), RÖSLER (1976) indica para a Formação Rio Bonito, no Estado de Santa Catarina, a caracterização mais típica da flora de *Glossopteris* para a Bacia do Paraná. Esta taoflora, segundo o autor é sensivelmente mais diversificada do que as ocorrentes no Rio Bonito do Paraná, de acordo com esta teoria, o povoamento da Bacia do Paraná, ter-se-ia dado por um processo migratório que provavelmente teve um sentido norte-sul, ocasionando, em momentos cronologicamente distintos, floras com características semelhantes, fato que deve ser observado nas tentativas de correlação.

Correlação da taoflora da Formação Rio Bonito de Santa Catarina com outras taofloras gonduânicas.

Argentina — ARCHANGELSKY (1971) e ARCHANGELSKY e ARRONDO (1975) subdividem o Permiano Argentino em 3 andares: Bonetense, Lubekense A, Lubekense B. RÖSLER (1975a, b) sugere correlação entre o Lubekense A e a parte inferior da Formação Rio Bonito.

OLIVEIRA (1978) correlaciona a taoflora de Irapuá com o Lubekense B.

OLIVEIRA (op. cit.) concorda com RIGBY (1972) na suposição de que as floras da Bacia do Paraná e da Argentina desenvolveram-se em diferentes padrões e que o livre intercâmbio de espécies era difícil ou impossível. De acordo com CORREA DA SILVA e ARRONDO (1977) porém, as taofloras da Formação Mariana Pimentel e Acampamento Velho no Rio Grande do Sul se assemelham muito às da Argentina, tendo sido estas duas províncias florísticas, provavelmente intercomunicáveis, pelo menos durante o período de deposição do Itararé no Rio Grande do Sul.

Austrália — taoflora de Irwin River Coal Measures (Bacia de Perth e Collie), do lado ocidental australiano, a qual é considerada de idade Artinskiana (DICKINS in BANKS et alii, 1969). Constitui-se esta taoflora a mais semelhante por sua composição, à taoflora Irapuá, segundo OLIVEIRA (op. cit.).

Índia — porção basal do andar Barakar, provavelmente de idade Artinskiana (SHAH e SASTRY, 1975) ou Kunguriano (ROBINSON, 1967 apud ARRONDO, 1972).

África — Ecce Médio. PLUMSTEAD (1966) coloca esta taoflora no último andar da Zona III, tendendo para a base da Zona IV (alto do Permiano Inferior ou base do Permiano Médio).

Antártida — não há correspondência viável. A correlação poderia se dar em um nível hipotético abaixo das taofloras estudadas por SCHOPF e RIGBY (1969), de idade Permiano Médio a Superior, e acima da Flora de Milorgfjella, de idade Carbonífero Superior.

II.2.1.2 – Palinologia

Estudos palinológicos de superfície e subsuperfície dos sedimentos da Formação Rio Bonito (carvões e rochas associadas) indicam a presença de uma associação esporopolínica mais ou menos uniforme da base ao topo.

O diagrama polínico do furo de sondagem 1 AR-46-SC-01 (fig. 39) escolhido como o mais representativo pela abundância e preservação do material palinológico, permitiu a realização de uma análise quantitativa em 16 horizontes férteis. Foram considerados os seguintes grupos para a confecção do diagrama: esporos triletes lisos, esporos triletes apiculados, esporos triletes murornados, esporos triletes zonados (zonados e cingulados), grãos monossacados, grãos bissacados, grãos estriados, grãos monocolpados, esporos monoletes e vários (algas, esporos de fungo, etc...).

Foram determinadas aproximadamente 50 espécies, cujos gêneros mais comuns são: *Punctatisporites*, *Deltoidospora* e *Calamospora* entre os triletes lisos; *Horriditriletes*, *Apiculatisporis*, *Granulatisporites* e *Cyclogranisporites*, triletes apiculados; *Cristatisporites*, *Lundbladispota*, *Vallatisporites* e *Krauselispores*, triletes zonados; *Potonieispores*, *Virk-kipollenites* e *Cannanoropollis* (*Cordaitina*), monossacados; *Cabeniasaccites*, *Vesicaspora*, *Sulcatispores* e *Vestigispores* no grupo dos grãos bissacados; *Vittatina*, *Protohaploxylinus*, *Striatopodocarpites* e *Striasulcites*, entre os estriados; *Ginkgocycadophytus*, monosulcados; e *Laevigatospores*, nos monoletes.

O gênero *Thymospora*, comum na Formação Palermo, tem seu primeiro registro na parte superior da sequência considerada como Formação Rio Bonito, pelos geólogos da CPRM. Esta ocorrência talvez marque o limite entre estas duas formações, o que viria a coincidir com as conclusões da análise de seqüências (níveis de correlação 16 e 18c).

Pela abundância de esporos triletes, lisos, apiculados e zonados em determinados níveis, esporos estes referidos às Lycopsidias que são preferentemente de clima úmido e solos inundados por águas doces (RUSSO, ARCHANGELSKY e GAMERO, 1978) e em outros níveis, grãos monossacados, bissacados e estriados, que corresponderiam a uma vegetação mais afastada da bacia sedimentar pode-se supor que tenha ocorrido um gradual processo de decréscimo da umidade devido possivelmente a mudanças climáticas.

A variação dos fatores climáticos mostra uma certa ciclicidade, tendo ocorrido fases de clima úmido que correspondem à formação das camadas de carvão, intercalados a fases de clima mais seco, propício ao desenvolvimento de outro tipo de vegetação.

II.2.1.3 – Análise da seqüência sedimentar

Uma vez estabelecidas as correlações, mediante os procedimentos descritos no capítulo I.1, foi determinada a persistência de tais níveis em toda a área através do cálculo da probabilidade de presença nos poços que deveriam tê-los atravessado (quadros 1 e 2).

Os níveis principais foram marcados com asterisco e constituíram elementos essenciais na correlação estratigráfica. Em sua maioria definiram-se pela presença da seguinte seqüência: pulsação – carvão (ou siltito preto) – diastema. Nas duas camadas mais importantes (Bonito e Barro Branco) ocorrem isoladamente extensas transições abaixo (texturas gradadas normais) e acima (texturas gradadas invertidas), com uma probabilidade de 0,22 e 0,26, respectivamente.

O nível 2c, com probabilidade de 1,00 (100%) constituiu o limite entre o Subgrupo Itararé e a Formação Rio Bonito. O comportamento dos níveis imediatamente superiores e inferiores, geralmente quase paralelos, permitiram interpretar este contato como concordante. Neste ponto também se produz uma mudança no perfil de raios gama, sendo o Itararé marcadamente mais radioativo que a base do Rio Bonito.

O nível de correlação 4c, com probabilidade de 0,85 foi tomado como limite entre os membros Triunfo e Paraguaçu; juntamente com o nível 5c, apresenta ocasionalmente carvão. O seguinte nível importante é o topo da camada Bonito Superior (nível 9c), que representa o limite entre os membros Paraguaçu e Siderópolis. Os níveis 7c, 8c, 10c e 11c estão ligados geneticamente a este último. O nível 16c (camada de carvão Barro Branco) constitui o último nível de probabilidade 1,00, começando neste ponto a transição gradual para a Formação Palermo, que se define entre os níveis 17c e 18c.

Relações entre pulsações, diastemas e camadas de carvão: as camadas de carvão representam estágios de interrupção, ou quase, da sedimentação clástica, para dar lugar à acumulação de turfa. A freqüente repetição de carvão com siltitos e argilas negras indica que o aporte clástico apresentava importância ocasional, atuando como diluente para a acumulação de detritos orgânicos.

Puderam ser definidos 4 tipos de relações entre pulsações, diastemas e camadas de carvão:

Tipo I — caracterizado por uma pulsação e um diastema próximo ao carvão, limitando-o respectivamente inferior e superiormente. É freqüente nas camadas de carvão menos persistentes (A, B, Ponte Alta, Irapuá, C, D e Treviso). O exemplo derivou-se da observação da camada de carvão Bonito presente na sondagem 1LM-30-SC-07 (norte da bacia) onde aparecem seqüências arenosas que apresentam escassas modificações acima e abaixo da camada de carvão.

Sua explicação talvez esteja relacionada com o abandono de canais e subsequente formação de lagunas e charcos transitórios.

Tipo II — compreende uma pulsação bem definida (camada de carvão), limitando inferiormente um grande corpo arenoso e superiormente uma seqüência gradacional invertida (tipo deltáica?). Ocorre predominantemente associado à camada de carvão Barro Branco e, eventualmente, às camadas Bonito e Pré-Bonito.

Tipo III — é um ciclotema aproximadamente simétrico que inicia com um diastema na base de um espesso corpo arenoso que passa gradativamente ao carvão, com ou sem uma pulsação definida. Ao carvão segue-se uma seqüência clástica com acamadamento gradacional invertido ("coarsening upward"), mais fina que a subjacente ao carvão. Trata-se de uma variante do Tipo II e também é sugestiva de ambiente deltáico. Ocorreu unicamente associada à camada de carvão Barro Branco.

Tipo IV — caracteriza um ciclotema assimétrico composto. Inicia com um corpo arenoso basal que assenta sobre um diastema e grada para litologias mais finas e finalmente para carvão, repetindo-se este em vários níveis, separados por siltitos ou arenitos finos com leve disposição gradada normal ou invertida. Ao ciclotema segue-se novo diastema. É o tipo mais freqüente associado às camadas de carvão Pré-Bonito Superior e Inferior e Bonito Inferior e Superior.

Os três últimos tipos são representativos de ciclos de evolução normal em ambientes fluviais e, ocasionalmente, deltáicos, com passagem gradual de um litótopo de canal ativo (ou distributário) para outros interfluvial (ou interdistributário) que finalmente se tornou paludial, com ou sem evolução gradual regressiva a canal ativo.

Ciclos: a existência de "memória" em uma seqüência sedimentar estabelece um tipo de sucessão repetidamente recorrente que permite definir um ciclo, seja mediante procedimentos empíricos ou estatísticos. O sentido da palavra ciclo implica unicamente no fenômeno de recorrência, enquanto que o termo "ciclotema" se refere aos sedimentos envolvidos (FUCHTBAUER, 1974).

As causas que explicam tais ciclos pertencem a dois grandes grupos:

a) exógenas — devidas a fatores mecânicos ou químicos gerados pela interação atmosfera-hidrosfera-litosfera. Compreendem aspectos climáticos (temperatura, precipitação, ventos, etc...), sedimentogênicos (material envolvido, natureza do agente de transporte, etc...) e edafo-diagenéticos (compactação diferencial, processos de formação de solos, cimentação inicial, etc...).

b) endógenas — resultantes de modificações locais do ritmo de subsidência por afundamento diferencial do embasamento; variações tectônicas regionais que, afetando a área fonte ou a bacia de sedimentação, modificam indiretamente alguns fatores exógenos, flutuações do nível do mar, etc...

Os ciclos exógenos são definidos através a formulação de um modelo sedimentar que implica em reunir, de forma apropriada, um certo número de fatores exógenos. Em outras palavras, os ciclotemas exógenos definem seqüências acumuladas pela contínua interação de certos fatores ambientais.

Por meio de um procedimento estatístico baseado em cadeias Markovianas é possível definir ciclotemas teóricos para a propriedade considerada (textura, estrutura ou combinação de ambas), os quais, em vez de representarem um único ciclo "completo" ou "ideal" empírico, apresentam ramificações laterais e oscilações que contêm, em conjunto, as diferentes variantes mais freqüentes que realmente ocorrem na seqüência. Estes ciclotemas teóricos podem ser explicados mediante a formulação de um modelo sedimentar que surge da combinação de certos fatores exógenos com ou sem a participação de fatores endógenos.

Dois tipos de ciclotemas surgem ao analisar estatisticamente seqüências sedimentares compostas por mais de dois estádios (litologias clásticas): "finning upward" e assimétricos.

A maior parte dos ciclos “finning up” têm sido interpretados como originados em ambientes fluviais por simples migrações de canais e modificação das facies tanto de canal como laterais ou de planícies aluviais. ALLEN (1965), DUFF, HALLAN e WALTON (1967) e outros consideram que o simples mecanismo de migração de canais em uma planície aluvial combinada com subsidência continuada explica a quase totalidade das particularidades do conjunto de ciclotemas “finning up” encontrados no Molasse Alpino e no Old Red Sandstone.

Este tipo de ciclotemas com camadas de carvão parecem ser comuns no Permiano Inferior em grande parte do Continente de Gondwana (Ecca Series da África do Sul; Black Shales and Coal Group da Rodésia; Bastion Coal Measures e Buckley Coal Measures de Terra Vitória, Antártida; Greta Coal Measures, Maitland Group e Tomago Measures da Austrália e Damuda System, da Índia). Todos estes casos foram identificados como ciclos “finning up”, interpretados como formados em ambientes fluviais, geralmente amplos, em terras baixas de escassos gradientes, com acumulação de carvão em lagos efêmeros ou pântanos. Nos Illawara Coal Measures da Austrália aparecem, além dos ciclos “finning up”, ciclos assimétricos de tipo similar aos dos ciclotemas carboníferos da Europa, que segundo DUFF et al. (op. cit.) podem ser referidos à combinação de ambientes fluviais e deltáicos.

CICLOS EXÓGENOS:

Estes ciclos foram analisados através de matrizes de transição de texturas e estruturas nos 8 poços estudados com detalhe (figs. 20 e 21). Em ambos os casos as matrizes apresentaram forte dependência Markoviana.

A matriz de texturas demonstrou a predominância de um ciclo em que os sedimentos se tornaram mais finos em direção ao topo.

E = arenito grosseiro

A = siltito

C = arenito médio

F (B) = folhelho preto e carvão

D = arenito fino

As probabilidades indicadas acima representam aqueles valores que restaram em cada casa da matriz de probabilidades (F) subtraída da matriz aleatória (γ).

Este ciclotema, fortemente definido em seu início, mostrou oscilações ao final e a passagem ao ciclo seguinte ocorreu através de um diastema nem sempre seguido de um arenito grosseiro (E).

Ciclos assimétricos, como no caso da camada Barro Branco nos poços 1 PB-22-SC-01 e 1 AR 46-SC-01 não tiveram probabilidade determinada e foram somente ocasionais.

A matriz de estruturas computada de forma similar à anterior, mostrou um ciclo mais complicado composto de dois subciclos independentes entre si:

A: Fluvial — com evolução paralela ao ciclo textural, iniciou e terminou com um diastema (figura 6).

B: Paludial: — definido pela seqüência: pulsação → carvão → diastema, de forte probabilidade interna, o que contrastou com o ciclotema de estrutura fluviais.

P → O → H

Ciclo ideal de estruturas:

A sequência paludial propiciou a acumulação de carvão e compreendeu um processo decididamente independente de migração de canais fluviais e sedimentação de distributários. Esta sequência pressupõe estabilidade e escasso aporte de clásticos, resultando o carvão (autóctone) unicamente da acumulação de detritos de plantas que cresciam “in situ”.

A sequência fluvial, por sua vez apresentou freqüentes oscilações, iniciando-se com estruturas maciças em arenitos e terminando por siltitos também maciços. As estruturas deformacionais apresentaram probabilidades positivas unicamente com as estruturas maciças e cruzadas arenosas. As transições residuais positivas foram sempre mais fracas que em ambiente paludial

CICLOS ENDÓGENOS:

Dentro da Formação Rio Bonito, os níveis de arenito grosso se encontraram distribuídos entre os ciclos exógenos definidos pelos níveis 2c e 5c e os ciclos exógenos entre os níveis 12c e 14c. De forma geral, as texturas tornaram-se mais finas para o topo em cada grupo que culminou com níveis de grande persistência de siltitos e carvão. Desta maneira puderam ser definidos dois megaciclos: Bonito e Barro Branco.

Megaciclo Bonito: compreendeu a totalidade dos membros Triunfo e Paraguaçu e teve início com os ciclos definidos pelos diastemas 2c, 3c e 4c que apresentaram arenitos grosseiros em suas partes inferiores. O número de ciclos envolvidos foi variável, normalmente 5, mesmo que em alguns casos tenham superado a 10. O último ciclo, que se iniciou geralmente com 4c, 5c ou 6, é o mais espesso e culminou com uma grande sequência de siltitos com ou sem intercalações de carvão (níveis de correlação 7c, 8c, 9c, 10c e 11c).

Megaciclo Barro Branco: iniciou com os diastemas 12c e 13c que, em muitos casos, encontravam-se diretamente sobre o diastema 9c, podendo pressupor um período de erosão previamente a sua acumulação. Compreendeu, em geral, 3 ciclos definidos pelos diastemas 15c, 16c e 17c, ou 2, quando faltou 15c. A seção localizada entre 12c e 15c foi predominantemente arenosa e os níveis de carvão que ali ocorreram foram sempre do tipo I (abandono de canal). O ciclo que se iniciou com o diastema acima da camada Irupá (15c) tornou-se, na parte sul da bacia, simétrico. Na parte mais inferior ocorreram arenitos grosseiros a médios que passaram gradacionalmente a sedimentos finos e ao carvão de camada Barro Branco (16c) que foi recoberto, também de forma gradual, por siltitos e arenitos finos. Este ciclo, definidamente simétrico, pela presença das estruturas sedimentares e texturas gradacionais normais e logo invertidas, sugeriu um ambiente deltáico previamente à sedimentação de planícies da maré da Formação Palermo.

QUADRO 1

Nível	Camada	Membro (SCHNEIDER et alii, 1974)	Formação/Subgrupo
18c	Treviso Barro Branco Irapuá “A” “B” Ponte Alta Bonito Superior Bonito Inferior	Siderópolis	Rio Bonito
17c			
16c			
15c			
14c			
13c			
12c			
11c			
10c			
9c			
8c	Pré-Bonito Superior Pré-Bonito Inferior “C” “D”	Paraguaçu	
7c			
6c			
5c			
4c			
3c		Triunfo	
2c			
1c			Itararé
0c			

Embasamento Granítico de Pedras Grandes

QUADRO 2

NÍVEL DE CORRELAÇÃO CAMADA		SEÇÕES						CONJUNTO DE SEÇÕES
		A-A'	B-B'	C-C'	D-D'	E-E'	F-F'	
Formação Rio Bonito	18c	0,0	0,25	0,0	0,0	0,33	1,0	0,30
	17c (Treviso)	0,66	0,33	0,5	0,5	0,66	1,0	0,55
	16c (Barro Branco)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00*
	15c (Irapuá) 0,60	0,60	0,63	0,40	0,66	0,25	0,66	0,47
	14c	0,60	0,25	0,20	0,33	0,25	0,66	0,28
	13c (“A”)	1,00	0,50	1,00	0,75	1,00	0,33	0,80
	12c (“B”)	0,43	0,90	0,80	0,25	0,50	1,00	0,72
	11c (Ponte Alta)	0,10	0,58	0,60	0,66	0,25	0,33	0,54
	10c (Bonito Sup.)	0,10	0,16	0,20	1,00	0,00	0,33	0,26
	9c (Bonito Inf.)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00*
	8c (Pré-Bon. Sup.)	0,40	0,58	0,80	1,00	0,00	0,00	0,80
	7c (Pré-Bon. Inf.)	0,40	0,50	1,00	1,00	0,00	0,00	0,73
	6c	0,00	0,25	0,50	0,66	0,00	0,50	0,33
	5c (“C”)	0,00	0,33	0,75	0,66	0,00	0,50	0,44
	4c (“D”)	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	0,88*
	3c	0,00	0,75	0,50	0,00	1,00	1,00	0,66
Subgrupo Itararé	2c	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00*
	1c	1,00	0,75	1,00	1,00	0,66	0,50	0,72
	0c	0,00	0,58	0,75	1,00	0,66	0,50	0,70

II.2.1.4 – Ambiente de sedimentação

A parte inferior da Formação Rio Bonito (Membro Triunfo) compreende sedimentitos arenosos imaturos com gradação normal até siltitos. As estruturas sedimentares aí presentes (camadas maciças e com estratificações acanaladas de grande a média escala) são sugestivas de ambiente fluvial meandrante de baixo gradiente, com facies de canais e planícies de inundação, nestas últimas incluídos os siltitos.

As litologias texturalmente mais finas da porção média (Membro Paraguaçu) e as estruturas sedimentares associadas (estratificações cruzadas de pequena escala, estruturas de corte e preenchimento, estruturas de escorregamento, laminações plano-paralelas e irregulares) denotam uma gênese em ambiente fluvial de baixa energia, com facies de canais, de planícies de inundação e inter-fluviais (canais abandonados) com marcante caráter palustre, onde formaram-se as camadas de carvão inferiores (“D”, “C” e Pré-Bonito). Esta sedimentação constitui o que foi definido como Megaciclo Bonito (de caráter endógeno), que inicia com os ciclos exógenos identificados pelos diastemas 2c, 3c e 4c, que costumam apresentar arenitos grosseiros em suas partes inferiores e culminam com a sequência de siltitos, com ou sem intercalações de carvão (níveis de correlação 7c e 11c).

O Membro Siderópolis prossegue com a mesma característica ambiental até a camada de carvão Irapuá (nível de correlação 15c).

As litologias, estruturas sedimentares, tipos de argilas e ciclos sedimentares (figs. 20 a 25) indicam, para a parte inferior deste membro, origem em ambiente fluvial em conexão com extenso corpo d’água (lago de águas rasas). O ciclo sedimentar que começa logo acima da camada de carvão Irapuá é simétrico (Tipo III). Inicia com arenitos grosseiros a médios que gradam para pelitos e ao carvão da camada Barro Branco, o qual, por seu turno, é recoberto também de forma gradativa por um pacote de pelitos e arenitos. Este ciclo simétrico, que apresenta inicialmente texturas gradacionais normais e depois invertidas, apresenta características estruturais e texturais que permitem associá-lo a um ambiente deltáico.

Os sedimentitos finos da parte mais superior do Membro Siderópolis, com estruturas “flaser” e bioturbações, são indicadores de ambiente de planície de maré.

As camadas de carvão com mais ampla distribuição horizontal (Bonito e Barro Branco) devem ter-se originado em extensas planícies pantanosas, recobertas por delgada lâmina d’água. As evidências sedimentológicas, paleobotânicas e de petrografia dos carvões dão suporte à idéia de que estes carvões originaram-se numa bacia do tipo límnic, com vegetação essencialmente autóctone.

O clima reinante na época da sedimentação da Formação Rio Bonito, deveria ser frio, com ciclicidade de fases úmidas (propícias à formação de carvão) e de clima seco (em que predominaram outros tipos de vegetação).

II.2.1.5 – Idade

As associações esporopólicas da Formação Rio Bonito, encontradas nos carvões e rochas associadas, através de estudos de superfície e sub-superfície, corresponderiam aos intervalos H₃ – I, de DAEMON e QUADROS, 1970 (ARCHANGELSKY e MARQUES TOIGO, 1978) referidos a uma idade permiana inferior – Artinskiano/Kunguriano, predominantemente artinskiana. A partir do intervalo H₃ os grãos estriados tornam-se mais freqüentes, embora a presença de grãos monossacados, bissacados, junto com esporos lisos, apiculados, cavados e acavados é mais ou menos constante do Intervalo H₃ ao J. Esta seção pode correlacionar-se com a Zona de *Cristatisporites* da Argentina, datada como de idade Sakmariiano/Artinskiano, cuja parte basal corresponderia ao Itararé no Brasil, ou seja ao Intervalo H₂.

Sob o ponto-de-vista paleobotânico, pode-se dizer que apesar de não possuir formas de bio-cron restrito a megaflores da Formação Rio Bonito, quando analisada em conjunto, é mais propriamente correlacionável com floras do Artinskiano (Permiano Inferior, parte superior), podendo estender-se até o Kunguriano (camada Irapuá). Estas idades são pouco mais antigas que as evidenciadas pelos dados palinológicos de DAEMON e QUADROS (op. cit.), que enquadram o Rio Bonito no intervalo Kunguriano-Kazaniano.

A idade fornecida pela megaflores, assim como pela Palinologia, concorda com a estabelecida por ROCHA CAMPOS (1970) e RUNNEGAR (1972) com base nos moluscos fósseis marinhos de Taió, correlacionáveis com os ocorrentes no Artinskiano da Austrália.

II.2.2 – FORMAÇÃO PALERMO

A Formação Palermo pode ser considerada como uma das unidades que guardam maior constância nos seus caracteres, sejam eles litológicos ou estruturais internos, dentre as formações gonduânicas do sul do Brasil. A região da bacia carbonífera de Santa Catarina, justamente por ser a área em que esta unidade foi definida, é onde o Palermo aparece com suas feições mais típicas.

Os limites da Formação Palermo são arbitrários. O contato com a Formação Rio Bonito caracteriza-se por uma zona de transição, antes que por uma feição de contornos nítidos (vide quadros 1 e 2, níveis de correlação 17c-18c — figs. 20 a 25). O mesmo ocorre na passagem do Palermo para o Irati.

A espessura da formação, referida na bibliografia, é da ordem de 100m (MACHADO, 1972; WILLIG et alii, 1974; MONACO et alii, 1974; FIGUEIREDO F.^o e BORTOLUZZI, 1975). Os valores das 5 sondagens que possuem a seção completa do Palermo indicou 96,0m para a espessura média da Formação na área.

Sob o ponto-de-vista litológico, a Formação Palermo pode ser considerada como eminentemente pelítica, sendo constituída de siltitos arenosos, siltitos e folhelhos silticos com intercalações delgadas e interlaminações de arenitos muito finos. As cores predominantes são o cinza-escuro, médio e claro; mais raramente ocorrem sedimentitos cinza-esverdeados. Matéria orgânica concentra-se principalmente nos horizontes de granulometria mais fina; carbonato de cálcio aparece em pequena quantidade como cimentante dos grãos que são em geral subarredondados e subangulares, com superfícies polidas.

As estruturas sedimentares presentes (HABEKOST, 1976) são normalmente sindeposicionais, predominando os tipos que resultam do intercamadamento de silte e areia fina a muito fina, tais como: estratificação lenticular, ondulada, “flaser” (muitas vezes transicionais de uma para outra) e intercamadamento de areia e lama. Estas estruturas são mais freqüentes na base da formação, podendo aparecer em menor proporção na parte média da mesma.

Em direção ao topo estas feições passam a tornar-se menos visíveis, sendo substituídas por estratificações e laminações irregulares, tanto menos evidentes quanto mais próximo estiver o contato com a Formação Irati.

Estratos maciços são raros: aparecem preferentemente na porção inferior da formação, tornando-se mais raros e mesmo ausentes na porção superior.

Estudos realizados no sentido de determinar a provável ocorrência de ciclos sedimentares vieram demonstrar a possibilidade de reconhecimento de ciclos formados por quatro membros: estratos maciços (1), seguidos de siltitos laminados (2), com laminação “flaser” (3) e novamente siltitos portadores de estruturas laminares (4).

Estruturas pós-deposicionais não apresentam maior significado no contexto da Formação Palermo. Ocasionalmente alguns intervalos são afetados por estruturas de deslizamento e marcas de carga.

Estruturas biogênicas, por outro lado, parecem ser a feição mais característica da formação, ocorrendo em maior ou menor extensão em todas as perfurações estudadas. As bioturbações foram agrupadas em quatro tipos, denominados “A” (sem evidência de escavações); “B” (1 a 6 escavações em 20cm² de área); “C” (7 a 12 escavações/20cm²) e “D” (13 a 20 escavações/20cm²). O tipo “B” é o que ocorre com maior freqüência: sua presença, assim como a das estratificações do tipo “flaser”, estão relacionadas com o aumento da espessura de sedimentos pelíticos (para W da bacia carbonífera).

Na margem leste da bacia verifica-se uma tendência ao aumento da proporção dos estratos maciços ou cruzados, acompanhando o acréscimo relativo de areia.

Sob o ponto-de-vista paleoambiental, parece não haver dúvida que o freqüente intercamadamento de sedimentos finos (silticos) e arenosos finos, as estratificações e laminações lenticulares (“flaser” e outras), irregulares e plano-paralelas, além das estruturas de bioturbação (estampa I, fig. 12), são características de ambientes sub-aquosos. A sedimentação da Formação Palermo deve ter-se verificado em um ambiente de águas rasas em condições de baixa energia, sob a influência de fraca a moderada ação de ondas, eventualmente afetado por atividade de pequenos canais (sedimentação arenosa de canais de maré).

Não há evidências indicadoras, de que tal sedimentação tenha se desenvolvido em ambiente marinho, como postulam SCHNEIDER et alii (1974). Trata-se efetivamente de ambiente transicional, onde o principal corpo d’água poderia ser um extenso lago.

QUADRO N.º 3

HORIZONTES BIOESTRATIGRÁFICOS SEGUNDO AS CARACTERÍSTICAS DA PALEOFLORA

MENDES (1952)	RIGBY (1972)	ROSLER (1973, 1975b)
Horizonte 1 (Joãoquim Branco Bed) – <i>Rosellinites gangamopteroides</i> D. White, <i>Hysterites brasiliensis</i> D. White, <i>Phyllothecca grisebachii</i> Zeller, <i>P. muelleriana</i> D. White, <i>P. sp. Glosiopteris browniana</i> Brongniart, <i>Vertebraria</i> ? sp. <i>Gangamopteris obovata</i> (Carr.) D. White, <i>Arberia minasica</i> D. White, <i>Derbyella aurita</i> D. White, <i>Noeggerathiopsis hislopi</i> (Bunb.) Feistm., <i>Cardiocarpon seixasii</i> D. White, <i>C. moretratum</i> D. White, <i>Voltria</i> ? sp.	Horizonte I – <i>Phyllothecca grisebachii</i> Zeller, <i>Schizoneura gondwanensis</i> Feistm., <i>Puncadantites australis</i> Rigby, <i>Sphenopteris lobifolia</i> , Morris, <i>Glosiopteris browniana</i> Brongni., <i>C. angustifolia</i> Brongni., <i>G. ampla</i> Dana, <i>G. communis</i> Feistm., <i>G. occidentalis</i> White, <i>Gangamopteris obovata</i> (Carr.) White, <i>Vertebraria</i> sp., <i>Arberia minasica</i> White, <i>Noeggerathiopsis spathulata</i> (Dana) Feistmantel, <i>Wallkalla millanii</i> Rigby, <i>Buriada heterophylla</i> (Feistm.) Seward & Sahni, brotos de gimnospermas, <i>Samaropsis seixasii</i> (White) Seward, <i>S. moretrana</i> (White) Dollaniti, <i>S. mendesii</i> Rigby, <i>S. yoditidae</i> Rigby, <i>Cordacarpus olivetranus</i> (White) Milan.	Tafoflora A – pré-Glosiopteridae; abundante quantidade de <i>Puncadantites</i> , <i>Paramocladia</i> , <i>Lycopodiopsis pedunculata</i> , <i>Samaropsis</i> , <i>Bortychoptis</i> (Gondwandium), <i>Rhacopteris</i> , <i>Adiantites</i> , <i>Noeggerathiopsis</i> , <i>Buriadia</i> . É a mais antiga, de idade carbonífera superior. Corresponde essencialmente a de Monte Mor, SP.
Horizonte 2 – <i>Equisetites calamitinoideus</i> D. White, <i>Schizoneura</i> ? sp., <i>Sigillaria australis</i> D. White, <i>Sphenopteris hastata</i> McCoy, <i>Glosiopteris indica</i> Schimper, <i>G. ampla</i> Dana, <i>G. occidentalis</i> D. White, <i>Noeggerathiopsis hislopi</i> (Bunb.) Feistm., <i>Cardiocarpon</i> ? sp.	Horizonte II – Folhas de lícofitas, género equisetaleano, <i>Puncadantites australis</i> Rigby, <i>Sphenopteris lobifolia</i> Morris, <i>Glosiopteris ampla</i> Dana, <i>G. communis</i> Feistm., <i>G. occidentalis</i> White, <i>Noeggerathiopsis spathulata</i> (Dana) Feistm.	Tafoflora B – “taioflóras que ocorrem ao longo da falha aflorante da parte basal da Formação Rio Bonito, no Estado do Paraná, e possivelmente correlacionáveis com outras de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Acampamento Velho).” É caracterizada pela presença de glosiopterídeas associadas a felíceas esporangadas (<i>Asterotheca</i>), coníferas (<i>Paranocladus</i>), articuladas (<i>Sphenophyllum</i> , <i>Amularia</i>) além de lícofitas arbórescentes. Idade: Permiano Inferior.
Horizonte 3 – <i>Glosiopteris browniana</i> Brongniart, <i>Gangamopteris obovata</i> (Carr.) D. White, <i>Noeggerathiopsis hislopi</i> (Bunb.) Feistm., <i>Cardiocarpon moretratum</i> D. White, <i>Vertebraria</i> sp.	Horizonte III – <i>Glosiopteris browniana</i> Brongni., <i>Gangamopteris obovata</i> (Carr.) White, <i>Vertebraria</i> sp., <i>Noeggerathiopsis spathulata</i> (Dana) Feistm., <i>Samaropsis moretrana</i> (White) Dollaniti, <i>Cordacarpus olivetranus</i> (White) Milan.	Algumas localidades como Cerquinho Velho (SP) e Acampamento Velho (RS) evidenciam as primeiras ocorrências de glosiopterídeas (folhas gangamopteríóides), considerando-se de tafofloras intermediárias entre A e B.
	Horizonte IV – <i>Lycopodiopsis</i> sp., <i>Glosiopteris browniana</i> Brongni., <i>G. angustifolia</i> Brongni., <i>G. communis</i> Feistm., <i>Gangamopteris obovata</i> (Carr.) White, <i>Arberia minasica</i> White, <i>Noeggerathiopsis spathulata</i> (Dana) Feistm., raízes <i>Samaropsis moretrana</i> (White) Dollaniti, <i>S. thomasi</i> Schöpl.	Tafoflora C – predominância marcante das glosiopterídeas, particularmente do género <i>Glosiopteris</i> . <i>Arberia</i> e <i>Noeggerathiopsis</i> são elementos relativamente comuns. Locófitas são já mais raras, e nenhuma forma de <i>Asterotheca</i> até o momento. Foi reconhecida. Taioflóras que ocorrem predominantemente no Estado de Santa Catarina, em várias localidades”. Idade provável: Artinskiano e Kunguriano.
		Tafoflora D – compreende ocorrências desde São Paulo até o Rio Grande do Sul. A principal característica da tafoflora D é a presença de <i>Lycopodiopsis derbyi</i> como elementos mais comuns. <i>Krauselcladus</i> (YOSHIDA, 1970), folhas de ginkgófitas e restos de carófitas, são encontrados em algumas localidades. Várias formas características das tafofloras A, B e C estão ausentes. Ocorre na Formação Irati e principalmente na Estrada Nova. Localidades típicas: Artemis (SP), Laras (SP) e Fluvópolis (PR). Idade: Permiano Superior.
		Tafoflora E – é a mais jovem entre as que apresentam <i>Glosiopteris</i> , geralmente pequenos e estreitos; <i>Sphenophyllum</i> é do tipo <i>S. speciosum</i> . Outros elementos são raros. Ocorre na Formação Rio do Rasto, no Paraná e Santa Catarina. Localidade tipo: Dorizon (PR). Idade: Permiano Inferior ao Triássico Inf. (?).
		Tafoflora F – muitas espécies de <i>Dicroidium</i> e outros elementos triássicos. Ausência de elementos das floras precedentes. Ocorre na Fácies Santa Maria (Formação Rosário do Sul). Idade: Triássico Médio.

III – CAMADAS DE CARVÃO

As camadas de carvão da jazida catarinense distribuem-se dentro de uma bacia contínua, sendo estes carvões os únicos em nosso país capazes de serem transformados em coque para utilização na indústria siderúrgica.

A literatura geológica existente até a década de 1970 acusava a presença de seis (6) camadas de carvão em Santa Catarina, todas situadas na porção superior da Formação Rio Bonito.

A partir de 1971, a jazida foi objeto de uma retomada de estudos, tendo sido programado um novo plano de pesquisa objetivando verificar o condicionamento geral da bacia, o comportamento das camadas de carvão e a descoberta eventual de novos leitos de carvão. Tal programa, oriundo de convênio entre o DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) e a COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM), forneceu um acervo de dados que muito veio contribuir para esclarecer aspectos importantes dos problemas anteriormente referidos.

Na discussão desse problema, devem ser referidos três trabalhos de fundamental importância para a caracterização das camadas de carvão: o de WHITE (1908) e os de PUTZER (1952 e 1955).

WHITE (op. cit.) foi o primeiro a estudar em detalhe o carvão de Santa Catarina, tendo descrito cinco camadas que durante muito tempo foram consideradas como as únicas presentes na bacia carbonífera. Na ordem descendente, estas camadas foram denominadas respectivamente **Treviso, Barro Branco, Irapuá, Ponte Alta e Bonito**.

Na seção descrita pelo mesmo ao longo da chamada “estrada nova do Rio do Rasto”, entre Lauro Müller e o topo da Serra Geral, todas elas ficam perfeitamente caracterizadas como pertencentes à porção superior (70 a 80m superiores) da Formação Rio Bonito, situação esta que ficou igualmente bem definida em perfurações então existentes e em outras realizadas posteriormente.

WHITE (op. cit.) destaca que, aparentemente, nenhum leito de carvão importante se apresenta na metade inferior da Formação Rio Bonito, ainda que alguns horizontes de folhelhos carbonosos com restos de vegetais ocorram logo acima do granito e em outros níveis da parte inferior da formação.

Os trabalhos de PUTZER (1952 e 1955) ampliaram o acervo de dados a respeito do carvão de Santa Catarina. As reservas de carvão, até então estimadas em cerca de 270 milhões de toneladas, passaram à cifra de um bilhão e 100 milhões de toneladas de carvão minerável (900 milhões de toneladas para o Barro Branco, 260 milhões para o Bonito e 10 milhões para o Irapuá). Da análise de 150 perfis de sondagens e observações de campo resultaram novos conceitos a respeito da estratigrafia e da tectônica da região, fatos estes que muito contribuíram para a melhor sistematização da mineração e um aproveitamento mais racional do carvão de Santa Catarina.

Merece destaque o fato de ter sido PUTZER (1952) o primeiro autor a chamar a atenção para a existência de uma camada anterior à Bonito, até então considerado o horizonte carbonífero mais antigo. Segundo aquele autor, nos furos de sondagem Içara II (localizado próximo da Mina A-I da Cia. Mineração Geral do Brasil ao Sul de Içara) e UV-3 (Urussanga Velha, sito 3,5 km ao norte desta vila) ocorre uma camada de carvão à qual ele denominou camada Pré-Bonito, de espessura variável entre 0,95 e 0,60m de carvão minerável, situada nas sondagens respectivamente 8,20m e 5,00m abaixo da camada Bonito.

Estudos recentes realizados pelo DNPM-CPRM revelaram a presença de novas camadas de carvão, tanto na parte média (camadas “C” e “D”) como na superior (camadas “A” e “B”) da formação Rio Bonito.

O relatório elaborado por FABRICIO (1973), contém estudo detalhado da camada de carvão Barro Branco, além de grande quantidade de informações sobre as camadas Irapuá, Bonito e Pré-Bonito (espessura, distribuição, características físicas e químicas e estudos de beneficiamento). Destacam-se, dentre as conclusões do autor, as que seguem:

a) a potencialidade da camada Barro Branco em produzir carvão metalúrgico, através de beneficiamento, é variável entre 45% e 65%;

b) as reservas de carvão foram significativamente ampliadas, conforme verifica-se no quadro a seguir:

RESERVAS	CAMADAS			
	B. Branco	Irapuá	Bonito	Total (10 ⁶ T)
Medida	237,6	—	31,3	268,9
Indicada	374,3	—	117,4	491,7
Inferida	148,5	10,0	253,7	412,2
Total	760,4	10,0	402,4	1.172,8

CAYE et alii (1975) reuniram os dados referentes ao “Projeto Carvão no Pré-Barro Branco”, concluindo que:

- a) ocorrem pelo menos 10 (dez) camadas de carvão na Formação Rio Bonito de Santa Catarina;
- b) das camadas de carvão anteriores à Barro Branco, merece destaque especial a camada Bonito, quer pela área de ocorrência (aprox. 1.000km²) quer pela tonelagem de minério (reserva total da ordem de 460.691.100t.), embora sua relação CARVÃO METALÚRGICO/CARVÃO VAPOR seja de apenas 0,3. As principais áreas de ocorrência da camada Bonito são as de Criciúma (296km²), Lauro Müller, Treviso (186km²) e Rio América (23km²);
- c) a camada Irapuá provavelmente seja a terceira em importância, ainda que sua área de ocorrência seja pequena, dadas as suas características de coqueificação apenas levemente inferiores às da camada Barro Branco;
- d) excetuando-se as camadas Ponte Alta e Pré-Bonito, quando mineradas localmente em conjunto com a Barro Branco e/ou Bonito, as outras camadas de carvão presentes na Formação Rio Bonito não apresentam interesse econômico;
- e) após esta nova etapa de pesquisas, as reservas mineráveis de carvão passaram a apresentar as tonelagens que seguem:

RESERVAS	CAMADAS			
	B. Branco	Irapuá	Bonito	Total (10 ⁶ T)
Medida	237,6	—	30,9	268,5
Indicada	374,3	—	206,5	580,8
Inferida	148,5	10,0	610,5	769,0
Total	760,4	10,0	847,9	1.618,3

Em 1973, o DNPM, em convênio com a CPRM iniciou as atividades do “Projeto Carvão Norte de Santa Catarina”, com os objetivos de verificar a continuidade das camadas de carvão em direção ao norte do Estado, complementar os estudos geológicos existentes sobre a geologia da região, quantificar as reservas de carvão e determinar as características físicas e químicas dos carvões eventualmente presentes.

A área do projeto está situada no centro-leste de Santa Catarina (fig. 1) compreendendo uma superfície de 6.500km², sobre a qual foram realizados 38 furos de sondagens. As conclusões deste trabalho, constantes do relatório de FABRICIO et alii (1976) podem ser assim resumidas:

- a) a camada Barro Branco é a de maior importância sob o ponto de vista econômico. Sua área de ocorrência se estende desde a bacia hidrográfica do Rio Laranjeiras, ao sul, até o paralelo que passa pelas vizinhanças de Alfredo Wagner, na área central do Projeto, sendo de maior significado econômico a área situada próximo ao Rio Laranjeiras. Nesta região, a camada Barro Branco apresenta uma reserva total de 86.960.000 toneladas;
- b) a camada de carvão Bonito é representada apenas por um de seus leitos. Em nenhuma perfuração ou localidade encontrou-se camada com espessura minerável economicamente;
- c) as demais camadas conhecidas de carvão apresentam-se inexpressivas ou mesmo estão ausentes na área do Projeto;

d) em alguns furos foram constatadas camadas de carvão no intervalo inferior da Formação Rio Bonito, desconhecidas nas áreas dos projetos anteriores.

Em 1976, foi iniciada a 1ª etapa do “Projeto Carvão em Araranguá-Torres” com a finalidade de verificar o comportamento das camadas de carvão nesta área, cuja extensão é de aproximadamente 50km e se estende desde o extremo sul da faixa carbonífera catarinense até o extremo norte do Rio Grande do Sul, na região de Torres (fig. 1), onde uma sondagem da PETROBRÁS (Tost-1-RS) havia revelado a presença de 4 camadas de carvão.

De acordo com SÜFFERT (1976), os resultados mais significativos deste trabalho consistiram no seguinte:

a) a seqüência litológica que contém as camadas de carvão economicamente exploráveis da Formação Rio Bonito (intervalo superior e topo de intervalo médio) foi encontrada em todos os poços;

b) das camadas encontradas, a que se afigura como mais importante é a Bonito Inferior. A espessura máxima constatada foi de 0,64m de carvão, porém a recuperação de carvão metalúrgico (26-29% na camada total) avaliada pelas análises, os valores de FSI, enxofre e voláteis indicam boas qualidades para uso metalúrgico; as reservas são da ordem de 59.500.000 toneladas.

III.1 – CAMADA DE CARVÃO “D”

Foi assim denominada por FABRICIO (1973) para identificar a camada de carvão mais inferior da Formação Rio Bonito. Sua presença marca o limite inferior do Membro Paraguaçu, sendo normalmente seguida pela camada de carvão “C”, da qual está separada por cerca de 6,0m de sedimentos (fig. 5).

Ocorre numa área bastante restrita da bacia, praticamente circunscrita às imediações do Balneário do Rincão, no município de Içara (fig. 6), onde foi encontrada nos poços 1 AR-46-SC-01 e 1 PB-10-SC-01, respectivamente com 0,18 e 0,12m de carvão.

Apesar de sua inexpressiva presença como camada de carvão, os seus equivalentes estratigráficos são de extraordinária constância através da bacia. O nível de correlação 4c, que a identifica (figs. 20 a 25), ocorre com probabilidade entre 1,00 e 0,75 (quadros 1 e 2).

Esta camada está presente com uma espessura de 0,15m de carvão no poço 1 PB-16-SC-01, situado ao norte da bacia (Sul de Rio América, município de Urussanga), sendo esta a única ocorrência notável da camada “D” fora da área de Içara.

Pela sua reduzida espessura e pequena extensão horizontal não tem qualquer possibilidade de ser lavrada economicamente.

III.2 – CAMADA DE CARVÃO “C”

FABRICIO (1973) empregou esta designação para a camada de carvão encontrada nos furos de sondagem 1 AR-46-SC-01 e 1 CR-68-SC, respectivamente a 41,0m e 35,0m abaixo da camada Bonito.

Compreende uma camada delgada de carvão fosco, piritoso, muito denso, cuja presença somente foi constatada nas porções S e SE da bacia; sua ocorrência mais setentrional situa-se na margem direita do rio Sangão, a NE da Forquilha, onde foi perfurado o poço 1 MA-69-SC. Para SE a camada penetra no Oceano Atlântico, porém, com tendência a desaparecer nesta direção.

O maior desenvolvimento da camada (fig. 7) verifica-se na região situada entre os rios dos Porcos e Urussanga, estando a sub-bacia que lhe deu origem orientada segundo NE, direção esta coincidente com a da camada “D”.

No poço 1 AR-46-SC-01, a camada apresenta espessura de 0,25m, é contínua e está separada da camada “D” por cerca de 6,5m de siltitos e arenitos. A pequena espessura da camada não permite o seu aproveitamento econômico. Neste trabalho foi definida como o nível de correlação 5c, com 0,44 de probabilidade de ocorrência (quadros 1 e 2).

As camadas de carvão D e C apresentam sob o ponto de vista da análise de grupos as mesmas características; no entanto, do ponto de vista qualitativo, há uma marcada diferenciação no grupo dos esporos triletes zonados.

A camada de carvão D é caracterizada pela ocorrência do gênero *Cristatisporites*, com 97% de representação na associação.

Na camada de carvão C *Cristatisporites* é totalmente substituído por formas de esporos do tipo *Grandispora* (?) uma nova espécie não identificada em trabalhos anteriores para os carvões brasileiros.

III.3 – CAMADA DE CARVÃO PRÉ-BONITO

Foi identificada por PUTZER (1952) nas regiões de Içara (furo Içara II, ao sul de Içara) e Urussanga Velha (furo UV-3) onde aparece respectivamente 8,20m (com espessura de 1,15m) e 5,00m (com espessura de 0,7m) abaixo da camada Bonito.

Sua presença e posição estratigráfica ficaram plenamente confirmadas e caracterizadas nas recentes perfurações realizadas pelo DNPM/CPRM. Está situada na parte superior do Membro Paraguaçu, habitualmente separada da camada Bonito por um pacote com espessura média de 6,0m (variando de 3,0 a 8,0m) de siltito arenoso, cinza a esverdeado que às vezes passa a preto maciço, muito carbonoso, principalmente logo acima da camada de carvão.

A camada, cuja espessura média é de 4,0m compreende dois leitos de carvão separados por cerca de 3m de siltito e/ou folhelho; o leito superior é normalmente mais espesso que o inferior, podendo ser formado por carvão puro ou apresentar intercalações de siltitos ou folhelhos; o leito inferior é quase sempre constituído exclusivamente de carvão (fig. 8). Sua principal área de ocorrência situa-se ao sul de uma linha que passa por Criciúma e Forquilha abrangendo uma ampla faixa que daí se dirige para SE até o Atlântico. Para o norte da bacia a camada segue numa estreita faixa, com espessura muito delgada de carvão, que acompanha a sua margem oriental até as proximidades de Siderópolis, a partir de onde não mais ocorre (fig. 9).

Define-se como nível de correlação 7 e 8c, respectivamente, camada Pré-Bonito Inferior e Superior com alta probabilidade de ocorrência no total dos poços analisados (quadros 1 e 2).

CAYE et alii (1975) realizaram análises em nove testemunhos de sondagens do leito superior desta camada, concluindo: “trata-se de carvão de baixa qualidade. A percentagem de carvão metalúrgico é tão pequena que talvez nem seria economicamente interessante sua separação do carvão vapor. A quantidade desse último, por metro quadrado, também é consideravelmente mais baixa que na camada Bonito.

A mineração da camada Pré-Bonito (principalmente parte superior), só poderá ser feita, em áreas restritas, se:

- for planejada uma lavra em conjunto com outras camadas sobrepostas a esta;
- existir um mercado para o carvão vapor”.

POÇO I - PB - 22 - SC - 01
 (QUARTA LINHA - MUNICÍPIO CRICIÚMA)

POÇO I - PB - 10 - SC - 01
 (MUNICÍPIO DE IÇARA)

FIG. 8 DETALHE DA CAMADA DE CARVÃO PRÉ-BONITO

DE PLÁVIA DE CASTRO

FORMATO - A-4 - 210 x 297 mm.

Petrografia:

As figs. 38A e 38B mostram respectivamente os perfis macro e microscópicos da camada Pré-Bonito coletada do furo de sondagem 1 AR-33-SC (intervalo 146,86 - 148,03m), onde encontrava-se disponível apenas 0,18m de carvão.

Nesta amostra, a composição em microlitotipos se assemelha em muito com a da parte superior da camada Bonito, sendo notável a presença de Clarita, que com a Trimacerita constituem os componentes mais importantes deste carvão.

Sob o ponto de vista faciológico, a presença de Clarita indica proximidade de terra, sendo provável que esta camada, juntamente com a Bonito, tenha se formado dentro da “zona de Calamites”, nas margens da bacia, porém ainda abaixo do nível freático.

Quanto ao grau de carbonificação, deduzido do poder refletor das vitritas, chega-se à conclusão de que a camada Pré-Bonito está um pouco mais carbonificada que as principais camadas de carvão da bacia, encontrando-se no limite entre o “Gasflammkohle” e o “Gaskohle” da terminologia alemã, contendo de 33-34% de Matéria Volátil na Vitrita.

A pequena representatividade da amostra estudada não autoriza os autores a estabelecerem esta classificação como definitiva. Estudos futuros deverão ser realizados na tentativa de melhor caracterizar a camada Pré-Bonito. Se forem confirmadas as características petrográficas anteriormente apontadas, abre-se uma nova perspectiva para o seu aproveitamento, especialmente se for minerada em conjunto com a camada Bonito.

PALINOLOGIA:

A associação palinológica da camada Pré-Bonito (poço 1 AR-33-SC) compreende formas dos grupos Laevigati, Apiculati, Cingulati, Muornati, Monoletes e Disaccites são estriados, com um total de 14 gêneros. (ver fig. 27).

O gênero de maior frequência relativa foi *Granulatisporites*, do grupo Apiculati, com a porcentagem média de 62,50%.

Gêneros como *Cyclogranisporites*, *Raistrickia*, *Neoraistrickia*, *Lophotriletes* e *Apiculatisporites* aparecem ao longo de toda a sequência estudada, mas em menor porcentagem. O gênero *Lundbladisporea*, do grupo Cingulati tem pouca representatividade, assim como *Cristatisporites* do grupo Cingulicavati. Dos esporos Monoletes aparecem *Laevigatisporites* e *Torispora* também em baixa porcentagem.

O gênero *Vestigisporites* é o único representante do grupo Disaccites, aparecendo, por sua vez, com baixa frequência relativa na associação.

III.4 – CAMADA DE CARVÃO BONITO

A camada de carvão Bonito marca o limite inferior do Membro Siderópolis. É a que contém maior espessura líquida de carvão dentre as camadas da Formação Rio Bonito.

Sua distribuição é ampla, ocupando uma área de aproximadamente 1.000km² distribuídos por uma faixa de 70 x 15km com a maior dimensão orientada segundo NW. A camada comporta-se estruturalmente como uma monoclinal com direção N70°W e mergulho de aproximadamente 1° para SW. Este comportamento determina a existência de uma zona de afloramentos a leste, com orientação N-S, entre o alto vale do rio Caeté até o rio Palmeira. Daí inflete para W, acompanhando os rios Cedro, Bonito e Passa Dois até cerca de 1km ao sul de Lauro Müller. Nos cursos superiores dos dois últimos rios a camada aflora entre as cotas de +236 a +239m, com espessuras de 3,0 a 3,8m no rio Passa Dois e 2,2 a 4,7m no rio Bonito (PUTZER, 1952). Para S e SE as cotas vão gradativamente baixando até -420m nas proximidades da foz do rio Araranguá, de onde, dirigindo-se para SE, penetra no Oceano Atlântico.

A camada Bonito é normalmente formada por dois leitos de carvão, denominados superior e inferior (fig. 35A), com espessuras desiguais e separados por arenitos finos, siltitos e eventualmente folhelhos. Bonito Inferior tem espessura média de 2,0m e é formada por carvão com intercalações de siltitos e folhelhos. Bonito Superior (Bonito Rider, de WHITE, 1908) apresenta espessura média de 0,4m sendo constituída normalmente por um único leito; eventualmente ocorrem intercalações de siltitos ou folhelhos.

As áreas onde aparecem as maiores espessuras da camada Bonito, assim como de carvão na camada, são as que seguem (fig. 10), de S para N:

1 – Área entre o Rio dos Porcos e o Rio Urussanga: com espessura de carvão até 2,48m (poço 1 AR-32-SC, na margem do Atlântico).

2 – Área da Içara: com espessura máxima de carvão na camada igual a 1,18m (1 PB-04-SC).

3 – Área de Santana – Rio América: espessura de carvão na camada de até 1,30m.

4 – Área Treviso – Lauro Müller: onde ocorrem espessuras de carvão superiores a 3,30m, sendo os maiores constatados na bacia.

As reservas totais de carvão da Camada Bonito (de acordo com CAYE et alii, op. cit.) estão situadas ao redor de 847.900.000t, discriminadas da seguinte forma:

Reserva Medida: 30.900.000t.

Reserva Indicada: 206.500.000t.

Reserva Inferida: 610.500.000t.

A avaliação desses carvões, com base nas análises físico/químicas, apresentada por esses autores é a que segue:

– alto teor em cinza; baixo rendimento em metalúrgico; teor de enxofre variável e alto teor em matéria volátil.

Comparativamente pode-se dizer que enquanto o valor médio de cinza da camada Barro Branco é de 25% de cinza, o da Bonito é de 36% de cinza. De modo geral, os teores de cinza aumentam de leste para oeste, encontrando-se os mais baixos (33% cinza) ao sul de Içara e aumentando daí em direção ao norte e oeste. Na região a oeste de Treviso encontram-se os teores mais elevados em cinza.

Os teores de matéria volátil e os valores do F.S.I. (Free Swelling Index) do fluído no líquido de densidade 1,50 são constantes em toda a área de ocorrência da camada Bonito, apresentando valores de aproximadamente 30% e 6%, respectivamente.

Os teores de enxofre aumentam de sul para norte. Na região entre Criciúma e o Oceano Atlântico os teores variam de 0,57 a 0,99%, com média de 0,75%.

Na região de Rio América, o teor varia entre 0,82% e 1,64%.

Na região a oeste de Lauro Müller os teores são mais elevados, estando em torno de 2,0%. Na área em que a camada de carvão apresenta maior espessura, os teores variam de 1,16% a SW (poço 1 LM-54-SC-05) até 2,24% a NE (poço 1 PB-14-SC-01).

Petrografia:

As figs. 35A e 35B exibem respectivamente os perfis macro e micropetrográficos da camada amostrada em afloramento, na região de Lauro Müller, na área de concessão da Cia. Nacional de Mineração de Carvão Barro Branco (C.N.M.C.B.B.) – localidade de Coletora.

Os diagramas evidenciam, à primeira vista, que a camada Bonito é muito rica em minerais, especialmente pirita (presente não apenas como nódulos mas também sob a forma de globulitos na clarita e na trimacerita), indicando um ambiente fortemente redutor na época de deposição da camada.

O aspecto de carvão brilhante na parte superior da camada (fig. 35A) é determinado pelo elevado teor de clarita, enquanto os carvões listrados e opacos exibem este aspecto em virtude do variado teor em minerais.

Sob o ponto-de-vista faciológico o carvão da camada Bonito, como de resto o de todas as camadas estudadas, mostra elevado teor em Alginita na Trimacerita, Clarita e Durita. Como as algas são organismos que vivem em águas abertas é lícito deduzir-se que estes carvões formaram-se numa bacia subaquática, com tendência para a fácies sapropélica. O acamadamento microscópico geralmente bem evidente nos carvões sugerem uma gênese transicional entre os carvões húmicos e os sapropélicos. A presença de Clarita na parte superior da camada indica a proximidade de terra, o que permite inferir que a mesma formou-se nas margens da bacia, dentro da chamada “zona de Calamites”.

Os resultados das medidas do poder refletor realizados em 127 amostras (seções polidas) indicaram o valor médio (Rm%) de 0,79, com cerca de 36 a 37% de matéria volátil na Vitrita.

De acordo com as normas do “Léxico Internacional de Petrologia do Carvão”, o carvão da camada Bonito é classificado como “Carvão Betuminoso Alto Volátil A” (Gasflammkohle).

Palinologia:

A associação de esporomorfos da Camada Bonito determinada através de 57 espécies, indica-nos a predominância absoluta do gênero *Lundbladispora*, alcançando 48% de porcentagem relativa (fig. 28).

Em frequência bem mais baixa aparecem os gêneros *Punctatisporites*, *Granulatisporites* e *Cristatisporites*.

Pré-pólen do grupo dos Monosaccites aparecem em baixíssima porcentagem.

Dissaccites não estriados dos gêneros *Vesicaspora*, *Piceapollenites* e *Sulcatissporites* são de grande importância na associação, alcançando até 60% nos níveis onde o gênero *Lundbladispora* se encontra ausente.

As formas Incertae Sedis, isto é, o gênero *Portalites* e *Forma Indeterminada tipo F* estão restritas a poucos níveis da seqüência, e em baixa porcentagem relativa.

III.5 – CAMADA DE CARVÃO PONTE ALTA

A camada Ponte Alta apresenta-se normalmente constituída por um único leito de carvão, sem intercalação de rochas estereis. O carvão, macroscopicamente, é finamente listrado (Durênio mais Clarênio) a opaco (Durênio mais Fusênio), com eventuais lâminas de carvão brilhante (Vitrênio). A fig. 36A mostra o perfil da camada no poço 1 AR-15-SC, na região SE da bacia.

A existência da camada Ponte Alta tem sido muito debatida na literatura geológica referente à região carbonífera. CAYE et alii (1975) trataram demoradamente o problema, concluindo que a denominação Ponte Alta deve ser aplicada à camada de carvão situada poucos metros (entre 3,0 a 8,0m) acima da camada Bonito, como aparece nos perfis do rio Deserto e da Mina Santa Cecília (PUTZER, 1952) e que normalmente ocorre sobreposta a uma camada de siltito preto.

Neste trabalho confirmou-se que é realmente difícil reconhecer e diferenciar esta camada, assim como as “A” e “B” (que constituem, juntamente com a camada Bonito, o que foi denominado complexo inferior do Membro Siderópolis), visto que nesta parte do Membro Siderópolis podem aparecer até quatro camadas de carvão em determinados poços (caso do 1 PB-18-SC-01) enquanto que em outros não aparece nenhuma (exceção feita à camada Bonito).

A identificação dos níveis de correlação permitiram o reconhecimento da camada Ponte Alta e a sua diferenciação dos horizontes de carvão que se lhe sobrepõem.

O nível de correlação 11c (quadro 1), que corresponde à camada Ponte Alta, está geneticamente associada ao 9c (Bonito) e apresenta comumente carvão na parte meridional da bacia, onde persiste com uma probabilidade superior a 0,66 (quadro 2).

Os níveis 12c e 13c (quadro 1), respectivamente indicadores das camadas de carvão “B” e “A” são mutuamente excludentes em sua distribuição lateral, sendo o primeiro bastante persistente no perfil B-B’ (fig. 21) e o segundo no perfil A-A’ (fig. 20). Estes dois níveis definem, em conjunto, o início do megaciclo Barro Branco, que constitui grande parte da sedimentação do Membro Siderópolis.

É indispensável que este critério de reconhecimento seja confirmado pela comparação com outros, como o palinológico, por exemplo. Infelizmente, as tentativas de caracterização palinológica e petrográfica da camada Ponte Alta realizadas com os testemunhos do poço 1 AR-15-SC e 5 BG-102-SC, resultaram infrutíferas, tendo em vista que o carvão foi totalmente transformado em coque natural por influência de intrusões de diabásio.

A camada Ponte Alta mostra-se melhor desenvolvida na região Sudeste da bacia, entre o rio dos Porcos e o Urussanga (fig. 11). A máxima espessura de carvão foi constatada no poço 1 AR-39-SC, cerca de 4km a NW da localidade Praia do Rincão, município de Içara.

Uma amostra submetida a análises físicas e químicas demonstra, segundo CAYE et alii (op. cit.) que há possibilidade de aproveitamento econômico deste carvão, desde que minerado simultaneamente com outras camadas. Os resultados abaixo reproduzidos indicam 46,5% de cinza e 1,7% de enxofre na camada total e os cálculos efetuados pelos mesmos autores revelam que a recuperação é de 230kg/m² de carvão metalúrgico com 18,5% de cinza e 1.080kg/m² de carvão vapor, na bitola de 3,175mm.

III.6 CAMADA DE CARVÃO “B”

Designação dada por FABRICIO (1973) para uma camada constituída por intercalações de carvão e siltito situada cerca de 4m abaixo da camada de carvão “A”.

Na fig. 14 estão esquematizados dois perfis da camada “B”, como presente respectivamente na parte norte (1 PB-17-SC-01) e sul (1 PB-10-SC-01) da bacia carbonífera. Neste último poço foi constatada a maior espessura de carvão na camada: 0,86m, com a camada total medindo 0,88m. FABRICIO (op. cit.) refere que o furo 1 AR-39-SC-02 apresenta a maior espessura da camada, com 1,38m, porém com apenas 0,68m de carvão.

A distribuição da camada “B” (fig. 12) na bacia coincide com a da camada Ponte Alta (fig. 11) e a da camada “A” (fig. 15), sendo também coincidentes as respectivas áreas de maior espessamento (região ao Sul de Içara, entre os rios dos Porcos e Urussanga).

O nível de correlação 12c (quadro 1 e figs. 20 a 25) indica a presença de carvão ou de seus equivalentes estratigráficos.

CAYE et alii (op. cit.), assim como os presentes autores, descartam a possibilidade de aproveitamento econômico desta camada face à sua reduzida espessura e ao baixo rendimento em metalúrgico. A camada total apresenta 76,1% de cinza e 0,75% de enxofre.

A camada de carvão “B”, palinologicamente se apresenta negativa (1 AR-46-SC-01), provavelmente devido a intrusão de diabásio que ocorre sobrejacente.

III.7 – CAMADA DE CARVÃO “A”

É a mais superior das que constituem o complexo inferior de camadas de carvão do Membro Siderópolis.

Compreende normalmente uma camada formada por leitos de carvão intercalados com folhelhos carbonosos e siltitos. No poço 1 PB-18-SC-01 aparece bipartida (fig. 13) tendo o leito superior espessura de 0,22m (0,10m de carvão) e o inferior 0,15m (0,09m de carvão). O intervalo entre as duas (2,25m) é ocupado por arenito muito grosseiro que grada, superior e inferiormente, para siltito cinza.

A linha de correlação 13c (quadro 1 e figs. 20 a 25) marca a presença da camada ou de seus equivalentes estratigráficos.

O mapa de isópacas (fig. 15) mostra a fraca representatividade desta camada na bacia carbonífera, ressalva feita aos poços perfurados na região SE da bacia (1 AR-04-SC, 1 AR-41-SC e 1 AR-44-SC, com espessura de carvão na camada respectivamente de 0,75m, 0,52m e 0,76m) onde ocorre carvão com mais de 0,5m de espessura.

Suas principais regiões de ocorrência estão localizadas ao Sul de Içara, entre Siderópolis e Rio América e a Oeste de Barro Branco/Guatá.

Não há perspectiva econômica de lavra desta camada, mesmo que feita em conjunto com outra, devido a sua pequena espessura e à baixa qualidade do carvão, apresentando, de acordo com CAYE et alii (1975), 76,8 a 67,0% de cinza e 0,82 a 1,33% de enxofre na camada total.

Negativa sob o ponto de vista palinológico (1 AR-46-SC-01) por encontrar-se próxima a uma intrusão de diabásio.

III.8 – CAMADA DE CARVÃO IRAPUÁ

É uma camada formada por leitos espessos de carvão que intercalam um número variável de delgadas camadas de siltitos e folhelhos cinza-escuros a pretos.

Ocorre normalmente sobreposta a siltitos-arenosos listrados com estruturas “flaser” e soto-posta ao Arenito Barro Branco inferior. A espessura média do pacote entre Irapuá e Barro Branco é de 6,0m (máximo de 12,0; mínimo de 4,0m). PUTZER (1952) assinala como sendo de 25,0m o intervalo Barro Branco – Irapuá na subida do morro Bainha, em Criciúma.

O siltito subjacente a camada ou a própria camada, quando degenera para siltito ou argilito carbonoso, são extremamente ricos em restos vegetais fósseis (vide dados paleobotânicos da Formação Rio Bonito).

As ocorrências importantes dessa camada são pequenas e localizadas estando normalmente associadas a áreas de maior taxa de subsidência, que começaram a manifestar-se neste período e tiveram sequência na época Barro Branco (figs. 16 e 17). Como elemento de correlação (nível 15c – quadros 1 e 2, figs. 20 a 25) a camada Irapuá tem chance de ocorrência de apenas 0,66.

De acordo com CAYE et alii (1975), “normalmente a espessura do carvão na camada é delgada, embora ocorra em área considerável dentro da região carbonífera. Seus depósitos mais significativos ocorrem em áreas restritas, normalmente com formas alongadas ou de ferradura, sugerindo deposição em paleocanais. Estes depósitos estão alinhados em uma faixa norte-sul, que se estende das cabeceiras do Rio Hipólito até oeste de Criciúma, onde sofre uma inflexão para sudeste até as proximidades da Praia do Rincão, foz do Rio Urussanga”.

As regiões de maior espessura da camada Irapuá são as de Treviso (1,0m de carvão na camada), parcialmente minerado; Siderópolis (1,8m de carvão em camada total de 2,5m de espessura) ainda em lavra; Rio Maina (1,5m de carvão em camada total de 1,8m de espessura) já em fase final de lavra e Criciúma (1,0m de carvão em camada total de 2,0m) onde a mesma é atualmente minerada.

De acordo com os mesmos autores a recuperação total de carvão na camada é de aproximadamente 600kg/m², com proporções mais ou menos idênticas de carvão metalúrgico (280kg/m²) e carvão vapor (320kg/m²), podendo-se dizer, em função das análises físicas e químicas, que a camada Irapuá apresenta “características levemente inferiores à Barro Branco para fins siderúrgicos”. A mineração simultânea das suas camadas, entretanto, reduz sensivelmente os custos de produção.

Petrografia:

Sob o ponto de vista petrográfico as características da camada Irapuá são aproximadamente idênticas às da camada Barro Branco. A predominância absoluta recai sobre a Trimacerita, com um leve acréscimo, contudo, na percentagem de Vitrita. A riqueza em minerais é notória, fazendo com que seja alto seu teor em cinzas. A presença abundante de algas indica que foi formado em condições subaquáticas, com presença constante de uma lâmina d’água.

A camada estudada (fig. 34B) foi amostrada na mina subterrânea da CSN, em Siderópolis, a 96m de profundidade. Pode ser caracterizada como “Carvão Betuminoso Alto Volátil A (Gasflam-mkohle)”, com 35 - 36% de matéria volátil na Vitrita.

Palinologia:

A associação palinológica da camada Irapuá apresentou um total de 28 gêneros, compreendendo formas dos grupos Laevigati, Apiculati, Cingulati, Muornati, Monoletes, Disaccites não estriados, Disaccites striati e Incertae Sedis. O gênero de maior percentagem relativa na associação foi *Lundbladispora* com a média de 35,8%. Em segundo lugar, com a percentagem de 14,2% está o gênero *Punctatisporites* do grupo Laevigati (fig. 29).

Os demais gêneros como *Deltoidospora*, *Laevigatosporites*, *Leiotriletes*, *Calamospora* e *Retusotriletes* aparecem em baixíssima percentagem, assim como *Granulatisporites*, *Neoraistrickia*, *Acanatotriletes*, *Cyclogranisporites*, *Verrucosisporites*, do grupo dos Apiculati.

Os esporos Monoletes com os gêneros *Punctatisporites* e cf. *Speciososporites* aparecem em baixíssima percentagem.

Dentre os Disaccites não estriados, o gênero *Sulcatissporites* aparece em grande quantidade.

Outros gêneros como *Illinites*, *Piceapollenites*, *Vestigisporites*, cf. *Pytyosporites* foram também identificados, mas em baixas percentagens de ocorrência.

O gênero cf. *Striatoabietites*, representando os Disaccites striatiti aparece em baixa frequência relativa.

Do grupo dos Incertae Sedis, sempre em baixa percentagem na associação, temos a *Forma Indeterminada tipo A*, *Forma Indeterminada tipo F*, os gêneros *Portalites* e *Balmeella*.

III.9 CAMADA BARRO BRANCO

É a mais importante economicamente, a mais estudada e a mais uniformemente distribuída das camadas de carvão da bacia carbonífera catarinense, constituindo-se numa excelente camada de

FIG 13 DETALHE DA CAMADA DE CARVÃO "A"

FIG 14 DETALHE DA CAMADA DE CARVÃO "B"

DES. FLÁVIA DE CASTRO

FORMATO - A-4 210 x 297 mm

referência para a estratigrafia (nível de correlação 16c, com probabilidade de ocorrência igual a 1,00 – quadros 1 e 2, figs. 20 a 25).

Está afastada, em média, 6,0m da camada Irapuá, subjacente, sendo este intervalo normalmente ocupado pelo chamado Arenito Barro Branco Inferior, cuja espessura, entretanto, é bastante variável. PUTZER (1952) assinala que na subida Bainha, em Criciúma, o Arenito Barro Branco Inferior alcança até 25m de espessura.

A espessura média da camada total, deduzida de 269 poços efetivos perfurados pela CPRM/DNPM foi de 1,49m, enquanto que o valor médio de carvão na camada foi de 0,74m.

As maiores espessuras de carvão na camada encontram-se na região ao norte de Maracajá, às margens do rio Mãe Luzia, entre a localidade de Forquilha e São Roque. A média de carvão na camada nesta região, derivada de 71 poços, foi de 0,77m, com espessura máxima de 1,53m encontrada nos poços 1 MA-09-SC-04 e 1 MA-66-SC-08. A camada total alcança média de 1,30m com o máximo de 2,85m também no poço 1 MA-66-SC-08.

Dá em direção ao norte da bacia existem outras áreas localizadas de maior espessamento, sendo uma delas a que compreende as regiões de Criciúma – Rio Maina – Siderópolis. Os valores médios de espessuras, obtidos de 68 poços espalhados por esta área foram os seguintes: camada total, 1,08m; carvão na camada, 0,55m. Note-se que esta é uma área intensamente minerada e que em muitos locais já foram trabalhadas as ocorrências mais espessas, com o que estes valores tendem a diminuir progressivamente com o tempo. Podem ser comparadas com os apresentados por MACHADO et alii (1962) na tabela apresentada a seguir, referentes ao final da década de 1950, início da de 1960, quando o valor médio calculado de 477 poços perfurados na área era de 0,88m de carvão na camada.

Outra área importante situa-se entre os altos vales dos rios Mãe Luzia e Oratório, a oeste de uma linha que passa por Palermo (ao sul) e Guatá (ao norte). Encontram-se aí espessuras de camada total excepcionalmente superior a 5,0m (5,05m no poço 1 LM-81-SC) e carvão na camada com até 1,59m (1 LM-44-SC) e 1,73m (1 CC-43-SC). Entretanto, nem sempre as camadas mais espessas são as que apresentam maior espessura de carvão.

Uma região de espessura extrema da camada Barro Branco é citada por MACHADO et alii (op. cit.) como sendo a de Santana, onde a camada total alcança 3,6m e a espessura de carvão chega a 2,3m; somente a “última veia” do Banco contribui com 0,8m de carvão. A área aproximada desta sub-bacia mede 3.000m x 500m.

Para o norte do Rio Oratório as espessuras do carvão gradativamente diminuem (fig. 17), atingindo, na altura da confluência dos rios Laranjeiras e Minador valores máximos da ordem de 0,7m.

É conveniente ressaltar ainda que há um evidente prolongamento da camada Barro Branco para SE, no extremo meridional da bacia, em direção à Plataforma Continental. Na região litorânea de Araranguá (Balneário Arroio do Silva) as espessuras de carvão alcançam até 1,00m no poço 1 AR-34-SC-02. A camada contudo parece desaparecer em direção ao extremo sul do Estado. Os poços perfurados nesta região (Projeto Carvão em Araranguá-Torres) evidenciaram apenas os seus correspondentes estratigráficos (nível de correlação 16c, figs. 19 e 20), sugerindo que em direção ao Rio Grande do Sul os carvões teriam se depositado em tempo anterior ao Barro Branco.

A distribuição acima referida evidencia o eixo principal da bacia Barro Branco (NNW), dividindo a faixa de sedimentação carbonífera em duas partes desiguais, sendo mais ampla a de leste, fazendo com que a mesma configure uma área de subsidência assimétrica (CAYE et alii, op. cit.). Digno de nota é que a tendência para este comportamento passa já a manifestar-se no tempo Irapuá, pois as principais áreas de ocorrência desta camada localiza-se a grosso modo segundo esta mesma direção (linha Sangão – Treviso).

Com base na observação de PUTZER (1952) e FABRICIO (1973) e dos dados disponíveis sobre a bacia neste estudo, pode-se afirmar o seguinte:

a) estruturalmente a camada comporta-se como uma monoclinal com suave mergulho regional (aprox. 1°) para WSW. Tendo em vista que é intensamente cortada por falhas, mergulhos locais de até 15° podem ser constatados. MACHADO et alii (1962) afirmam que mergulhos de 2° a 3° (2-5%) são os mais comuns e que raras são as minas que conseguem projetar todas as suas galerias com declividade inferior a 3%;

b) na porção norte da bacia a camada Barro Branco ocorre em cotas de até 400m acima do nível do mar (Rio Palmas, afluentes da margem esquerda do Rio Laranjeiras). Ao sul, ocorre em cotas

de até 350m (dentro da bacia atualmente em exploração). Na área do Projeto Araranguá-Torres (poço 5 AT-03-SC) chega a -703,00m e a tendência é de aprofundar-se mais ainda para o extremo sul;

c) os limites da bacia estendiam-se para E e NE (fig. 17) além da linha atual de afloramentos. Nas vizinhanças de Içara, entretanto, encontra-se um dos bordos da bacia, além do qual jamais formou-se carvão. É lícito imaginar-se, pois, que as áreas elevadas do Escudo encontravam-se apenas pouco mais a leste da atual faixa de afloramentos e que não deveriam existir ocorrências muito importantes de carvão nesta direção;

d) o limite ocidental da bacia, como é evidenciado pelo mapa de isópacas (fig. 17) está praticamente marcado pelo meridiano de 49°31'45", além do qual as camadas de carvão vão progressivamente adelgaçando-se até desaparecerem.

A suspeita de PUTZER (1952, p.25), de que "é muito provável sua continuidade para W, isto é, na porção ocidental, compreendendo a parte das reservas inferidas numa área mais ou menos até o rio Mãe Luzia, entre os lugares Mãe Luzia e Rio Jordão, como na parte já em exploração. Esperamos que aí se verifiquem condições favoráveis, com uma espessura considerável de carvão recuperável", não se confirmou, uma vez que esta região mostra espessura insignificante de carvão (0,10m a 0,5m, no máximo);

e) de modo geral, os carvões com teores mais baixos de cinzas (carvão britado a 3,175mm e fluando em líquido de densidade 1,85), encontram-se no bordo leste da bacia (área ao Sul de Içara), enquanto os mais altos situam-se na borda ocidental e em áreas localizadas nas porções central e sudeste da mesma (a área entre o Rio dos Porcos e o Atlântico apresenta teor de cinza superior a 30%).

Além dos eixos com carvão de baixo teor de cinza do leste da bacia, ocorrem outras, como aquelas situadas a oeste de Forquilha e a leste da linha que liga Forquilha a Maracajá.

O carvão da camada Barro Branco apresenta um rendimento em metalúrgico, na área da bacia carbonífera, que varia entre 45% e 65% (FABRICIO, 1973).

Perfil Ideal da Camada Barro Branco (PUTZER, 1952, modificado)

Capa: — Arenito Barro Branco superior, de grão fino, claro.

	"Alevante"	0,15m até acima de 1,00m de siltitos arenosos escuros, ricos em FeS ₂ .
x	"Forro"	0,20 — 0,50m carvão brilhante, com FeS ₂ , ocasionalmente com intercalações de folhelhos (bichiga).
	"Quadração"	0,50 — 0,60m folhelhos cinzentos com poucos leitos de carvão, não mineráveis.
x	"Coringa"	0,04 — 0,07m Carvão brilhante, pouca pirita.
	"Barro Branco"	0,24 — 0,35m silito branco-cinzeno, com restos de plantas fósseis.
x	"Primeira Veia"	0,06 — 0,12m Carvão brilhante com FeS ₂ . 0,02 — 0,05m Folhelho cinzeno.
Banco	x "Segunda Veia"	0,05 — 0,08m Carvão brilhante com FeS ₂ . 0,03m Folhelho cinzeno.
	x "Quebra-canela"	0,15 — 0,19m Carvão brilhante com FeS ₂ . 0,02m Folhelho cinzeno.
	x "Veia fina"	0,01 — 0,03m Carvão brilhante. 0,04 — 0,07m Folhelho cinzeno.
	"Última Veia"	0,08 — 0,10m Carvão pouco xistoso com FeS ₂
	Soma . . .	1,45 — 2,20m Camada total

Lapa: Alguns decímetros de um folhelho arenoso muito escuro, depois Arenito Branco Inferior, muitas vezes de grão grosso.

O "x" assinala as camadas recuperáveis.

LITOLOGIA	CANTÃO Siderópolis (média de 44 furos)	PRÓSPERA Corda-Bamba (média de 70 furos)	PRÓSPERA Linha Batista (média de 70 furos)	UNIÃO (média de 188 furos)	CATARINENSE (média de 41 furos)	PRÓSPERA Sangão (média de 59 furos)
Carvão (Forro)	47	11	31	50	46	39
Folhelho	10	9	12	11	11	11
Carvão	3	3	2	2	2	3
Folhelho	11	11	11	11	13	12
Carvão Quadração	3	2	2	2	2	2
Folhelho	15	11	11	13	13	13
Carvão	2	3	2	2	2	2
Folhelho	14	14	15	15	13	14
Carvão (Coringa)	6	5	3	5	5	5
Folhelho (B. Branco)	27	27	27	27	25	25
Carvão (1. ^a veia)	10	10	11	21	14	8
Folhelho	—	7	—	—	4	4
Carvão (2. ^a veia)	—	1	—	—	5	2
Folhelho	6	1	5	4	3	1
Carvão (Q. Canela) Banco	18	10	13	14	15	15
Folhelho	5	4	4	3	4	3
Carvão (Veia Fina)	4	3	3	3	3	3
Folhelho	15	6	5	4	6	6
Carvão (Última Veia)	11	10	10	12	12	11
RESUMO DA CAMADA						
Forro	47	11	31	50	46	39
Quadração	58	53	55	56	56	57
Coringa	6	6	3	5	5	5
Barro Branco	27	28	27	27	25	25
Banco	69	52	51	61	66	53
Esp. Total da Camada	207	150	167	199	198	179
CARVAO APROVEITAVEL						
Forro	47	11	31	50	46	39
Coringa	6	6	3	5	5	5
Veias do Banco	43	34	37	50	49	39
Carvão total	96	51	71	105	100	83

19 Valores médios da camada de carvão Barro Branco (valores em centímetros) — segundo MACHADO, DEQUECH e CASTANHO (1962).

Seu perfil típico, com as denominações regionais dos diferentes horizontes, é a seguir detalhado:

Alevante: Siltito arenoso cinza claro a escuro, com restos vegetais.

Forro: é um leito de carvão preto, com finas lâminas ou lentes mais brilhantes, piritoso, com espessura média de 0,35m. A presença de leitos estéreis no forro pode ser observada em algumas regiões, como a W de Criciúma, em Santana e ao N da bacia, no Rio Capivaras. Trata-se de intercalações lenticulares de folhelhos pretos e marrons ou de siltitos escuros, denominados pelos mineiros da região como “bichiga”.

A espessura do forro é variável. Pode desaparecer em algumas áreas, como nas zonas de Içara – Esplanada e Guatá e apresentar espessura superior a 0,5m na região de W de Siderópolis e Treviso.

O contato superior desta camada faz-se normalmente com o siltito “Alevante”.

Quadrção: compreende um pacote de folhelhos, siltitos e camadas de carvão, cuja espessura média é de 0,6m.

É conhecida a presença de uma intercalação de arenito médio à fino, calcífero, branco, muito denso, intercalado na Quadrção na área entre os Rio Hipólito e Laranjeiras, ao Norte de Lauro Müller. Sua espessura alcança até 3,0m (poço 1 LM-81-SC-07), sendo denominada “pedra voadeira” pelos mineiros da região.

Quando a espessura da “voadeira” supera 0,5m, a lavra do forro poderá tornar-se anti-econômica.

Coringa: é uma camada fina e extremamente constante de carvão brilhante, pouco piritoso, da base de Quadrção, que repousa diretamente sobre o siltito Barro Branco. Sua espessura varia entre 0,03 – 0,06m e é recuperável. Sua espessura máxima (0,1m) foi constatada na zona do morro da Figueira – rio Queimado enquanto os valores mínimos (0,02m) estão presentes ao longo da linha de afloramento que começa na mina Cecília e chega à zona de Urussanga, bem como na área norte da região carbonífera (PUTZER, op. cit.)

Siltito Barro Branco: é uma camada de siltito cinza claro, argiloso (caolim), com abundantes restos de matéria vegetal carbonificada, que altera-se para cores esbranquiçadas (daí sua denominação). Sua espessura média é de 0,28m.

Banco: compreende um conjunto de camadas de carvão muito piritosas (o FeS_2 geralmente é marcassita), separadas por leitos de folhelhos e siltitos pretos, cujo número varia de 1 a 5, sendo mais comum ocorrerem 3. A espessura média do Banco é de 0,67m, com 0,2m em média de material estéril.

De acordo com FABRICIO (1973), “entre a camada de carvão Barro Branco e o arenito que lhe está sotoposto, normalmente ocorre um leito de folhelho preto com resto de raízes fósseis (underclay) com espessura média de 0,10m”.

Petrografia:

As figuras 33A e 33B representam, respectivamente, os perfis macro e micropetrográficos da camada Barro Branco da mina a céu aberto de Siderópolis, da Companhia Carbonífera Próspera, estudada neste trabalho.

Em essência este carvão pode ser designado como carvão opaco listrado, tendo em vista que a Trimacerita é o seu componente principal. A camada apresenta megásporos e micrósporos em grande quantidade e com mais frequência que as outras camadas de carvão, indicando que provavelmente originou-se mais distante da margem da bacia que as demais.

Os resultados das medidas do poder refletor (entre 0,70-0,90 Rm%) mostram que a camada atingiu o estágio de “Carvão Betuminoso Alto Volátil A” (n.º 6 da Class. Internacional), com aproximadamente 36% – 37% de matéria volátil na Vitrita.

Estes resultados coincidem aproximadamente com os verificados por BORTOLUZZI, BITTENCOURT e NAHUYS (1971) para os carvões do Patrimônio (PR = 0,86 a 0,89 Rm%, MV = 41,6 – 42,7%). O carvão de Forquilha, por outro lado, apresenta valores bem mais elevados de poder refletor (1,55 – 1,66 Rm%), porém com menor percentagem de matérias voláteis (29,1 – 36,5%).

Em resumo, tratam-se de carvões com alto teor em voláteis e um teor baixo de Vitrita e Exinita, o que não lhes proporcionam elevadas propriedades coqueificantes. Sob o ponto-de-vista de

coqueificação, pois, seria altamente recomendável o prosseguimento dos estudos petrográficos, a fim de encontrar-se áreas da bacia onde as proporções destes macerais sejam maiores e tentar-se corrigir essa deficiência mediante misturas adequadas de carvões.

Observe-se que a camada Barro Branco é a que contém os melhores carvões de Santa Catarina, sendo os únicos que oferecem condições para utilização na siderurgia.

Palinologia:

Analisando a associação palinológica da Camada Barro Branco, vê-se que o gênero de maior frequência é *Vesicaspora*, do grupo dos Disaccites não estriados, com cerca de 22% de porcentagem relativa, seguido pelos gêneros *Lundbladispota* do grupo dos Cingulati e *Punctatisporites* do grupo dos Laevigati. (fig. 30)

O restante da associação está composta pelos gêneros *Calamospora*, *Cyclogranisporites*, *Granulatisporites*, *Acanthotriletes*, *Vallatisporites* e *Lundbladispota* (Densosporites).

Do grupo dos Monosaccites, o gênero *Cordaitina* foi o único representante, encontrado em baixa porcentagem relativa e num só nível da sequência.

Com exceção do gênero *Vesicaspora*, que predomina, os demais gêneros do grupo dos Disaccites não estriados como *Piceapollenites*, *Illinites*, *Pityosporites* e *Vestigisporites* aparecem esporadicamente na sequência.

Das formas bissacadas Striatiti somente o gênero *Protohaploxypinus* aparece, com porcentagem não significativa.

Do grupo dos Monoletes, aparece o gênero *Laevigatosporites*, e do grupo dos Incertae Sedis, o gênero *Portalites*, ambos sem maior significação na sequência.

III.10 CAMADA DE CARVÃO TREVISO

É a camada mais superiormente situada na coluna da Formação Rio Bonito. Ocorre apenas localmente, nas regiões de maior subsidência da sub-bacia Barro Branco, segundo uma linha N-S ao longo da bacia. De acordo com PUTZER (1952) em afloramento (região de Palermo e 4,5km a W de Lauro Müller) a camada apresenta espessuras variáveis entre 0,30 e 1,20m, mas com apenas 0,20 a 0,30m de carvão. Dados de subsuperfície indicam um máximo de 0,17m (poço 1 LM-97-SC-05) na porção norte da bacia (fig. 18).

Nas sondagens antigas do DNPM, referidas por PUTZER (op. cit.) a distância Treviso-Barro Branco varia entre 0,5m (em Palermo) e 8,95m (cabeceras do Rio Jordão). CAYE et alii (1975) referem que esta camada está em média 5,0m acima da Barro Branco.

Não foi encontrado carvão associado à camada em nenhum dos poços estudados (tabelas I a III). O estudo dos ciclos sedimentares proporcionou a identificação de um nível de correlação (17c, quadros 1 e 2) com probabilidade máxima de ocorrência de 0,66, logo acima da camada Barro Branco. Este nível corresponde à camada Treviso, sendo normalmente representado por folhelhos carbonosos.

Petrografia:

Uma análise petrográfica foi realizada no carvão coletado no 1 PN-27-SC, entre 191,37 – 191,48m, indicando que esta camada consiste apenas num argilito rico em Liptinita. (fig. 37A e 37B).

Palinologia:

A associação palinológica da camada Treviso, num total de 16 gêneros estudados, compreende formas dos grupos Laevigati, Apiculati, Murornati, Cingulati, Monoletes, Monosaccites, Disaccites não estriados e Incertae Sedis. (fig. 31).

As espécies mais representativas na associação foram *Punctatisporites(?) plicatus* do grupo dos Apiculati com 57,6% e *Laevigatosporites perminutus* do grupo dos Monoletes com 23,12%. Outros gêneros presentes, mas de menor representatividade foram *Deltoidospora*, *Leiotriletes*, *Granulatisporites*, *Lundbladispota*, *Murospora*, *Vallatisporites*, *Reticulatisporites*, *Convolutispora*, *Cristatisporites* e *Torispora*.

Com pouca representatividade na associação, temos ainda o gênero *Cordaitina* do grupo dos Monosaccites, o gênero *Vestigisporites* do grupo dos Disaccites não estriados e o gênero *Balmeella* pertencente aos Incertae Sedis.

IV CONCLUSÕES

1. O Subgrupo Itararé compreende, na área da bacia carbonífera de Santa Catarina, um pacote de rochas clásticas sedimentadas em ambiente continental. Os siltitos rítmicos, com seixos pingados depositaram-se em corpos de águas razas (lagos de degelo?) influenciados por ondas e com a presença de blocos flutuantes de gelo. Os arenitos e pelo menos parte dos conglomerados, como pode-se deduzir de seus aspectos estruturais internos, são de origem fluvial.

A análise do conteúdo esporopolínico das rochas do Subgrupo Itararé permite situá-las no Permiano Inferior (Sakmario).

2. É possível estabelecer-se diferenças entre a sedimentação Itararé e a do Rio Bonito, sendo mais evidentes as que seguem:

a) os siltitos do topo do Itararé são rítmicos, portadores de seixos pingados, e são mais escuros que os da parte inferior da Formação Rio Bonito.

b) os arenitos do Itararé são sensivelmente menos feldspáticos que os da base da Formação Rio Bonito; as estratificações cruzadas dos primeiros são em geral de pequena escala, enquanto de média a grande escala na base da Formação Rio Bonito;

c) as estruturas de escorregamento são mais frequentes no Itararé do que na parte inferior do Rio Bonito.

3. O contato entre as rochas do Subgrupo Itararé e as da Formação Rio Bonito é concordante. Os siltitos do topo do Itararé na área são bem marcados nos perfis elétricos e radioativos. O estudo das seqüências sedimentares, por outro lado, evidenciou que o nível de correlação 2c, característico deste limite, ocorre com probabilidade de 1,00 (100%).

4. A Formação Rio Bonito pode ser dividida em três sub-unidades, caracterizadas sob a designação de membros, conforme proposição de SCHNEIDER et alii (1974). Seus limites podem ser evidenciados, tanto pelos aspectos puramente litológicos quanto pelas características dos perfis elétricos e radioativos e pelas seqüências sedimentares.

Litologicamente, os membros inferior (Triunfo) e superior (Siderópolis) diferenciam-se do intermediário (Paraguaçu) por apresentarem-se substancialmente mais arenosos. Em doze poços onde estas proporções foram calculadas, as porcentagens de arenito revelaram os seguintes dados: Membro Triunfo: 100% (máx.) a 62,5 (mín.), med.: 85,2%; Membro Paraguaçu: 89,0% (máx.) a zero (mín.), 28,0% (méd.); Membro Siderópolis: 90,5% (máx.) a 59,0% (mín.), 78,7% (méd.). A Formação Rio Bonito apresenta, em média, 64,0% de arenito, com máximo de 90,0% e mínimo de 45,0%. Os valores observados nas diferentes áreas da bacia não se afastam substancialmente da média. Em direção ao sul do Estado, fora dos limites da bacia carbonífera clássica, verificou-se um aumento da porcentagem de arenito nos membros inferior e superior da formação (poço 5 AT-03-SC).

5. A análise das seqüências sedimentares permitiu estabelecer níveis de correlação definidos por camadas de carvão, pulsações e diastemas. Estes níveis possibilitaram confirmar a divisão acima referida da Formação Rio Bonito. Os níveis de correlação 4c (camada de carvão "D" ou seus equivalentes estratigráficos) e 9c (camada de carvão Bonito Superior) marcam respectivamente os limites entre os membros Triunfo e Paraguaçu e entre este último e o Membro Siderópolis.

6. Foram definidos quatro tipos de relações entre pulsações, diastemas e camadas de carvão, cada um deles caracterizando a gênese de um tipo de camada de carvão (BOSSI e PICCOLI, 1978).

7. Na seqüência sedimentar da Formação Rio Bonito podem ser identificados ciclos exógenos e endógenos (megaciclos). Os primeiros representam ciclos gradacionais normais resultantes de um decréscimo paulatino da energia do agente de transporte no decorrer da sedimentação; os últimos, constituem-se de vários ciclos exógenos, dispostos de maneira simétrica (tipo deltáico) ou assimétrico (tipo fluvial), sendo resultantes de causas epirogênicas (BOSSI E PICCOLI, op. cit.).

8. A maior parte da Formação Rio Bonito originou-se em ambiente fluvial de caráter meandrante, com fácies de canal, planícies de inundação e palustre. Apenas a porção mais superior do Mem-

bro Siderópolis (ciclo simétrico que inicia com um diastema logo acima da camada de carvão Irapuá) apresenta características estruturais e texturais compatíveis com ambiente deltáico.

9. A idade da Formação Rio Bonito, como deduzida dos estudos palinológicos e paleobotânicos (megaflora) concorda com a estabelecida por ROCHA CAMPOS (1970) e RUNNEGAR (1972), correspondendo ao Artinskiano.

10. O contato entre as formações Rio Bonito e Palermo é transicional e ocorre em um intervalo logo acima dos níveis de correlação 16c e 18c. Estas unidades interdigitam-se na zona do contato, havendo substituições mútuas dos seus termos litológicos no intervalo representado pelos níveis de correlação 17c e 18c.

11. Correlacionando as camadas de carvão de Santa Catarina de acordo com seu conteúdo palinológico, vemos que a Camada Barro Branco apresenta menor diversificação de gêneros e espécies do que a Camada Bonito, embora quantitativamente o número de espécimens seja maior na Camada Barro Branco. Ao nível genérico diferem quanto à porcentagem de *Lundbladispora*, com cerca de 60% na Camada Bonito e 30-40% na Camada Barro Branco, e quanto à *Vesicaspora*, com porcentagem de 60% na Camada Barro Branco e 22-23% na Camada Bonito. Além disto, a Camada Bonito apresenta maior porcentagem de formas bissacadas não identificadas. As espécies ausentes na Camada Barro Branco e presentes somente na Camada Bonito, quantitativamente não são significativas, embora o sejam qualitativamente. (ver fig. 32).

Em relação à Camada Irapuá, a Camada Barro Branco apresenta uma associação semelhante na ocorrência da maioria das espécies, com exceção das formas *Monosaccites*, ausentes na Camada Irapuá. O gênero *Lundbladispora* apresenta uma porcentagem de quase 70% como na Camada Bonito. A ausência do gênero *Vesicaspora* na camada Irapuá é o principal fator de distinção desta camada com as camadas Bonito e Barro Branco.

A Camada Treviso apresenta boa preservação do material palinológico e é qualitativamente mais pobre do que as demais camadas de carvão. Apresenta pela primeira vez as espécies *Punctatisporites ? plicatus* e *Laevigatosporites perminutus*, num total de 80% da associação.

Na Camada Pré-Bonito há o predomínio em mais de 60% da espécie *Granulatisporites angularis*, o que distingue esta camada das demais. Também não foi registrada a ocorrência das formas *Monosaccites*, *Striatiti* e *Incertae Sedis*.

12. As associações esporopolínicas das camadas de carvão, com predominância dos esporos triletes dos grupos Zonati, Cingulati (às vezes com até 95,0% de frequência) normalmente associados às Lycopsidas — que são plantas dependentes de água — asseguram que os carvões de Santa Catarina desenvolveram-se em condições sub-aquáticas.

Esta afirmação é corroborada, ainda, pelos seguintes fatores:

a) pela elevada porcentagem de Alginita em todas as camadas de carvão, constituindo o maceral mais importante do Grupo Exinita;

b) pelo alto teor em minerais presentes, especialmente pela abundância de concreções e nódulos de pirita.

A pirita singenética presente em grande quantidade nos carvões de Santa Catarina demonstra que imperavam na turfeira condições fortemente redutoras. O ambiente tinha tendência para fácies sapropélica, o que torna-se evidente pelo acamamento microscópico dos carvões, geralmente bem marcado.

13. Os carvões de Santa Catarina originaram-se em uma bacia do tipo límnico, representada por interflúvios (ou interdistributários, no caso da Camada Barro Branco) palustres nos quais a lâmina d'água era essencialmente controlada pelo nível freático, com escasso acesso de material clástico, ou seja, em águas praticamente paradas.

14. Este último aspecto limita o ingresso da matéria orgânica vegetal alóctone, com o que deve-se admitir que as camadas de carvão formaram-se às expensas de vegetação que crescia no sítio de sedimentação. O caráter essencialmente autóctone destes carvões pode também ser evidenciado, de acordo com POTONIE (1955) e SMITH (1957), pelo espessamento equatorial dos esporos e pelo caráter denso e espesso da exina que os reveste.

15. Dados paleobotânicos evidenciaram ser a vegetação da turfeira constituída predominantemente por Glossopteridales e Cordaitales, plantas estas de hábito arborescente cujas características anatômicas indicam adaptação a ambiente pantanoso. MILLAN (1971) sugere que bancos sazonais relacionados a esses grupos vegetais originariam depósitos fossilíferos como os encontrados na Formação Rio Bonito. A predominância quantitativa dos grupos vegetais acima referidos sugere ciclicidade climática, uma vez que a caducidade foliar, extensiva também às frutificações, têm sido indicadas como características desses grupos.

Nas associações esporopolínicas, entretanto, aparecem pequenas porcentagens de Disaccites e Monosaccites, formas estas relacionadas com as Glossopteridales e Pteridospermales (Gymnospermas), justificando-se este fato por problemas de preservação.

16. As coníferas, que têm como habitat preferencial as regiões elevadas concentram-se atualmente em áreas de alto contraste de temperatura em relação à ciclicidade periódica. Estes grupos aparecem com baixa representatividade na associação paleobotânica.

17. A presença de caules de esfenófitas em níveis bem definidos fornece um excelente subsídio à interpretação paleoambiental. Normalmente as formas associadas a este grupo desenvolvem-se abundantemente em planícies de inundação; e junto às barrancas de rios, sua quantidade diminui sensivelmente.

18. Os fetos, que são vegetais dependentes dos fatores sombra e umidade, desenvolvem-se atualmente em zonas tropicais e sub-tropicais. A pequena representatividade do grupo na associação sugere clima temperado a frio.

19. A associação paleobotânica da Formação Rio Bonito caracteriza-se por apresentar pequeno número de espécies e grande número de indivíduos. Esta relação é indicadora, em floras atuais, de regiões bem definidas de clima frio, podendo-se concluir que esta condição imperou também na época da sedimentação Rio Bonito.

20. As camadas de carvão inferiores ("D", "C" e Pré-Bonito) constituem um conjunto que ocupa essencialmente o mesmo sítio deposicional, localizado na porção SE da bacia carbonífera (vide figs. 6, 7 e 9). Este comportamento foi determinado pela reativação de falhas antigas de direção NE-SE em diferentes épocas do tempo Rio Bonito médio, levando à formação de sub-bacias em que a taxa de subsidência propiciava condições à formação de carvão.

Aparentemente as condições de restrição, pelo menos até o tempo em que se depositou a camada de carvão Bonito, estavam relacionados à existência de um alto estrutural na parte central da bacia (seguindo numa linha que passa aproximadamente pelas regiões de Nova Veneza, Siderópolis e Urussanga) que dividia a área de sedimentação em duas porções distintas, situadas uma ao norte, onde predominava a sedimentação clástica e outra ao sul desta linha, caracterizada por uma deposição de clásticos e organógenos.

A tendência à reativação das falhas persistiu até a formação da camada Barro Branco. A camada de carvão Bonito ultrapassa os limites do alto estrutural acima aludido, depositando-se quase que uniformemente ao longo da bacia. Observa-se porém uma preferência ao espessamento do carvão em quatro áreas perfeitamente individualizadas, seguindo a mesma orientação NE-SW.

As camadas de carvão "Ponte Alta", "B" e "A" voltam a apresentar o mesmo comportamento das camadas inferiores, qual seja, maior desenvolvimento no flanco SE da bacia, com ocorrências apenas esporádicas fora desta área. Esta situação denota uma reativação diferencial nas diversas áreas da bacia de maneira a proporcionar um crescente aumento de ocorrências de carvão desde a camada Ponte Alta até a camada "A". A partir desta, a bacia assumiu uma maior estabilidade, observando-se que a camada Irapuá alcança um desenvolvimento longitudinal mais extenso que culmina com a deposição ampla da camada Barro Branco.

Este processo evolutivo é essencialmente compatível com a evolução dos megaciclos Bonito e Barro Branco.

21. A característica petrográfica mais importante das camadas de carvão é o elevado teor em Trimacerita (Clarodurita e Duroclarita) com substancial presença da Alginita neste maceral bem como na Clarita e na Durita.

Os carvões catarinenses são pobres em Esporinita (Exinita) e Macrinita (Inertinita), fato este que, sob o ponto de vista da combinação de microlitotipos da Trimacerita, distingue-os nitidamente dos carvões do Hemisfério Norte.

O grau de carbonificação deduzido das medidas de poder refletor permite-nos afirmar que as camadas **Treviso**, **Barro Branco** atingiram o estágio de CARVÃO BETUMINOSO ALTO VOLÁTIL A (Gasflammkohle), com aproximadamente 36-37% de matéria volátil na Vitrita.

A camada **Irapuá** é um CARVÃO BETUMINOSO ALTO VOLÁTIL A com cerca de 35-36% de matéria volátil na Vitrita.

A camada Pré-Bonito apresenta um grau de carbonificação pouco mais avançado, encontrando-se no limite entre CARVÃO BETUMINOSO ALTO VOLÁTIL A e BETUMINOSO MÉDIO VOLÁTIL, contando com 33-34% de matéria volátil na Vitrita. Deve-se ressaltar, contudo que o estudo deste carvão foi feito com base em amostra de uma camada com aproximadamente 1,0 m de espessura em que se pode dispor de apenas 18 cm de carvão para análise, com o que o resultado poderia não ser representativo para toda a camada.

22. Os carvões classificados de acordo com o critério petrográfico situam-se todos dentro de uma faixa bem delimitada, o que confere aos mesmos, sob este ponto de vista, idênticas propriedades.

Certamente o maior problema relacionado com os carvões brasileiros é o da sua plasticidade ou em outras palavras, das suas propriedades coqueificantes. Restaria justificar, pois, a razão pela qual certos carvões de Santa Catarina são coqueificáveis e outros não.

O fato que imediatamente deve ser considerado relaciona-se com o grau de evolução (RANK) dos carvões, que independe de certos fatores decisivos no processo de coqueificação, como por exemplo, os teores de cinza e enxofre. Ora, é também evidente, pelos gráficos representativos das propriedades micropetrográficas que os carvões de Santa Catarina são ricos em pirita e em carbominerita, de maneira especial os da camada Treviso e Bonito.

O teor em matérias voláteis (M.V.), por outro lado, é um fator decisivo no processo, sendo que o **inchamento** (F.S.I.) é mais intenso quando o teor em M.V. situa-se entre 20 e 25%, qual seja, dos carvões classificados nas categorias BETUMINOSOS MÉDIOS a BAIXOS VOLÁTEIS da classificação americana (FETTKOHL da alemã, GRAS À COURTE FLAMME da francesa), com índice de inchamento (F.S.I.) superior a 2,5. Os carvões de Santa Catarina possuem M.V. entre 33 e 37%. Com os menores teores observados nas camadas Irapuá e Pré-Bonito; como foi referido anteriormente sabe-se que o F.S.I. acima e abaixo do teor ideal de M.V. diminui sensivelmente, com o que, por correlação, suas propriedades coqueificantes.

Em relação à aptidão do inchamento e à coqueificação, os grupos macerais do carvão comportam-se da seguinte forma:

A *Exinita* (E) é o grupo de macerais mais leves ($d = 1,05 - 1,10$), o mais rico em gorduras, em matérias voláteis e hidrogênio; é também o mais fluído e com alto poder de inchamento, porém o menos aglutinante.

A *Inertinita* (I) é o grupo mais denso ($d = 1,4$ a $1,5$), o mais pobre em matérias voláteis, o menos fusível e o menos expansível. As propriedades coqueificantes são por isso praticamente nulas e o papel anticoqueificante ("amaigrissant") é tanto mais acentuado quanto mais elevado for o teor e, sobretudo, a granulometria da Inertinita (principalmente Fusinita e Semifusinita).

A *Vitrita* (V) compreende um grupo de macerais com densidade ($d = 1,25$ a $1,30$) e matérias voláteis intermediárias. Do ponto de vista de coqueificação, é o grupo mais aglutinante e mais expansivo dos carvões graxos.

A estrutura do coque é um reflexo destas propriedades. O coque apresenta cavidades tanto maiores quanto mais elevados forem os teores em V e E. O aspecto estrutural do coque corresponde a um forte desprendimento de gases (M.V.) no decorrer da fase plástica ou zona de fusão dos carvões. A fusão, porém, não provoca a expansão (inchamento) e a matéria fundida é muito fluída (muita Exinita) e pouco aglutinante (muita Inertinita), pois neste caso o gás escapa sem provocar inchamento.

Ressalta, da análise petrográfica, que é muito baixa a porcentagem de Vitrinita (Vitrita) nos carvões de Santa Catarina bem como de Exinita, estando este grupo maceral representado apenas na Trimacerita, Clarita e Durita que são os microlitotipos predominantes. Porém, já foi enfatizada a dominante presença de Alginita na Trimacerita, em detrimento da Esporinita. Faltam os carvões analisados, portanto, quantidades suficientes de constituintes petrográficos que lhes confirmem elevadas propriedades coqueificantes.

Aliado a este fato, temos o problema do alto teor de minerais, o que lhes empresta características de carvões com altos teores em cinzas, fato este de importância relevante na coqueificação e no rendimento em carvão metalúrgico

Estas conclusões, são compatíveis com o que se conhece dos carvões catarinenses através da aplicação de outros métodos de classificação.

Deve-se ressaltar contudo, que os estudos petrográficos realizados abrem uma nova perspectiva para os carvões das camadas Irapuá e Pré-Bonito, os quais apresentam grau de evolução pouco mais elevado que os demais. O aproveitamento destes carvões deve ser planejado no sentido de proporcionar frações adequadas a misturas que levem, eventualmente, a um maior rendimento em metalúrgico.

V) RECOMENDAÇÕES FINAIS

Os diferentes métodos de pesquisa empregados neste trabalho, além de trazerem subsídios importantes ao acervo de dados sobre a bacia carbonífera de Santa Catarina revelaram que aspectos de interesse relevante para o mais completo conhecimento desta área sedimentar — assim como dos carvões a ela associados — carecem de estudos adicionais.

Objetivando o alcance destas metas, recomendamos:

1º — O prosseguimento dos estudos petrográficos visando a caracterização dos carvões, sob este aspecto, em diferentes áreas de bacia. Somente desta forma ter-se-á uma visão representativa das propriedades petrográficas, com a possibilidade de sugerir-se medidas efetivas em termos de misturas de diferentes tipos de carvões que levem a um maior rendimento em metalúrgico.

2º — O incremento das pesquisas palinológicas com objetivos de correlacionar e datar os carvões e rochas associadas;

3º — A realização de mapas de paleocorrentes, litofaciais e estruturais com a finalidade de estudar a evolução da bacia de sedimentação e as implicações tectônicas na gênese das camadas de carvão;

4º — Novos estudos do campo da Geoquímica (como por exemplo a determinação de Boro nos sedimentos) e Micropaleontologia, a partir da camada Barro Branco, a fim de avaliar-se a possível presença de sedimentitos marinhos;

5º — Continuar os estudos de análises de seqüências em áreas adjacentes, visto ter esta técnica se revelado de extrema utilidade para o conhecimento das camadas de carvão ou de seus equivalentes estratigráficos.