

TONSTEINS DA FORMAÇÃO RIO BONITO NO DEPÓSITO DE CARVÃO CANDIOTA, RS.

SÉRGIO LUÍS FABRIS DE MATOS¹, JORGE KAZUO YAMAMOTO², JORGE HACHIRO³
& ARMANDO MÁRCIO COIMBRA (IN MEMORIAM)

ABSTRACT *TONSTEINS OF THE RIO BONITO FORMATION IN THE CANDIOTA COAL DEPOSIT, RS* Tonsteins are the most notable and conspicuous chrono-stratigraphic markers known in sedimentary sequences. They are actual chronosurfaces due to their instantaneous formation in the geological time table scale. Considering the mineralogical composition and stratigraphic behavior of the tonsteins of the Candiota Coalfield, southernmost Brazil, it was possible for the first time to demonstrate that they were originally of fine pyroclastic-fall material, transported by wind over Permian deposition areas of the Paraná Basin. The tonsteins are nowadays composed of kaolinite, originated from post sedimentary transformation of volcanic glass. The transformation of volcanic glass to kaolinite was favored by organic acids coming from coal-bearing beds. Scattered in the kaolinitic mass, accessory minerals such as euhedral zircon, beta-quartz paramorph and apatite are considered as pyroclastic minerals preserved during diagenesis. The occurrence of these minerals confirms the origin of Rio Bonito Formation tonsteins as deposits transformed from tephra. On the other hand, pyrite associated with fossil vegetal remains scattered in tonsteins are considered authigenic. The lateral continuity of beds for more than ten kilometers with small thickness variation of the tonsteins is considered as typical of distal pyroclastic-fall deposits. The occurrence of several tonstein beds interlayered with coal beds indicates several episodes of tephra sedimentation, represented by ash and dust, during a period of time corresponding to Paraná Basin coal beds.

Keywords: tonstein, coal, Permian, Paraná basin.

RESUMO Os tonsteins são os mais notáveis e conspícuos marcos estratigráfico-temporais conhecidos em sucessões sedimentares. Representam verdadeiras 'superfícies temporais' graças a sua formação instantânea na escala do tempo geológico. Considerando a composição mineralógica e o comportamento estratigráfico dos tonsteins do Depósito de Carvão Candiota (Permiano), foi possível pela primeira vez demonstrar que se tratam de depósitos formados pela queda de material piroclástico fino em suspensão na atmosfera, sobre áreas de deposição da Bacia do Paraná. Estes tonsteins são compostos atualmente por caulinita, originada da alteração pós-sedimentar do vidro vulcânico. A alteração do vidro para caulinita foi favorecida pela presença de ácidos orgânicos provenientes das camadas de carvão. Dispersos na massa caulínica ocorrem zircão euhedral, pseudomorfos de quartzo-beta e apatita, considerados como minerais piroclásticos preservados durante a diagênese. A ocorrência destes minerais e a continuidade lateral das camadas por dezenas de quilômetros, com variação mínima de espessura, confirmaram a origem dos tonsteins da Formação Rio Bonito associada a depósitos distais de tefra transformados. Por outro lado, as pirritas associadas a fragmentos de carvão dispersos nos tonsteins foram consideradas autigênicas. A ocorrência de leitos de tonsteins intercalados nas camadas de carvão indica várias fases de sedimentação de tefra nas frações cinza e pó durante o período de tempo correspondente à deposição do intervalo portador de carvão da Bacia do Paraná.

Palavras-chave: tonstein, carvão, Permiano, Bacia do Paraná

INTRODUÇÃO Tonstein é geralmente uma camada não-marinha, de composição caulínica, derivada de depósitos distais de cinzas vulcanogênicas, acumulados sobre antigas turfeiras (Bohor & Triplehorn 1993). A caulinita é o argilomineral mais comum em camadas de carvão, ocorrendo de diversas formas: preenchendo vazios de vegetais, como agregados isolados ou como camadas de espessura centimétrica a subcentimétrica de grande continuidade lateral, conhecidas por tonsteins (Diessel 1992).

As camadas de tonstein são originadas em eventos instantâneos na escala de tempo geológico, podendo, por isto, serem usadas como data isócronos. São verdadeiras superfícies temporais, úteis na correlação estratigráfica de eventos (Huff *et al.* 1992).

Este artigo apresenta evidências da origem piroclástica dos tonsteins intercalados nos leitos de carvão da Formação Rio Bonito na área do Depósito de Carvão Candiota (Fig. 1). As principais evidências que deram suporte a esta interpretação foram o comportamento estratigráfico e as características texturais e mineralógicas, as quais demonstraram que os tonsteins do Depósito de Carvão Candiota, outrora interpretados como acúmulos de material terrígeno (e.g. Della Fávera *et al.*, 1992), são produtos da alteração, compactação e transformação de camadas de tefra. Tufos da mesma idade já foram relatados em outras bacias sul-americanas como as de Paganzo, Calingasta-Uspallata e San Rafael (López-Gamundi *et al.* 1992).

A existência de shards e junções de bolhas em diversas unidades estratigráficas permianas da Bacia do Paraná foram descritas por Coutinho *et al.* (1988), corroborando com a presente hipótese da proveniência dos tonsteins associar-se à atividade vulcânica que originou a tefra depositada no período.

O Depósito de Carvão Candiota é localizado no extremo sul do Brasil, na porção meridional do Estado do Rio Grande do Sul, próximo da fronteira com a República Oriental do Uruguai (Fig. 1).

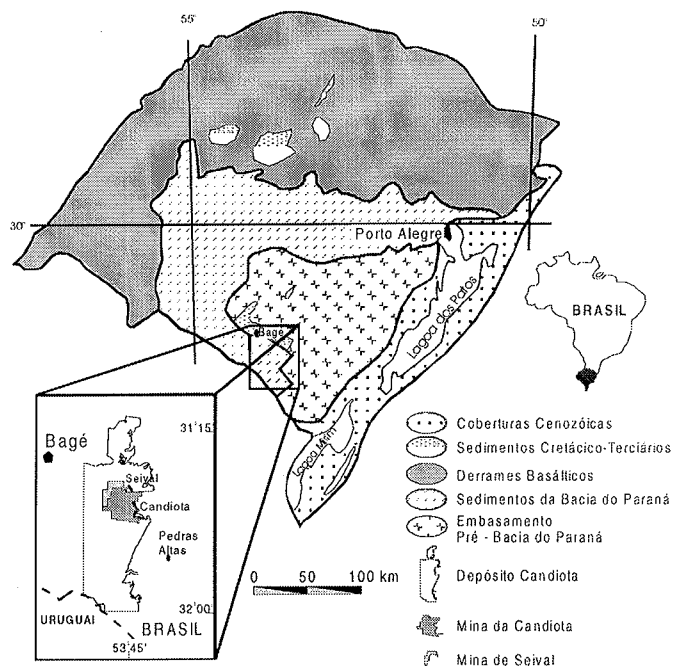


Figura 1 – Localização da área explorada do Depósito de Carvão Candiota no sul do Estado do Rio Grande do Sul as áreas das minas Candiota e Seival.

- 1 - Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562, CEP 05.508-900, São Paulo, SP, Brasil. (sergio.fabris@pangeo.com.br)
- 2 - Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562, CEP 05.508-900, São Paulo, SP, Brasil. (jkyamamo@usp.br)
- 3 - Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562, CEP 05.508-900, São Paulo, SP, Brasil. (jhachiro@usp.br)

As mais importantes exposições do intervalo portador de carvão estão localizadas nas regiões centro e leste do Depósito de Carvão Candiota. Nestas regiões, as camadas de carvão estão mais próximas da superfície e por isso lá estão instaladas as mais importantes minas de carvão: Candiota e Seival. Nas frentes de lavra destas minas encontram-se os principais afloramentos de *tonsteins*.

ASPECTOS GEOLÓGICOS O principal intervalo portador de carvão da Bacia do Paraná pertence à Formação Rio Bonito do Grupo Guatá, ocorrendo nas porções central e sul da bacia (Fig. 2). A inconformidade basal da Formação Rio Bonito constitui-se no limite de uma seqüência de segunda ordem do tipo 1, a qual compreende ainda o restante do Grupo Guatá (Formação Palermo), o Grupo Passa Dois (Della Fávera *et al.* 1992, Della Fávera 1995) e parte do Grupo São Bento, sendo seu limite superior marcado pelo topo da Formação Pirambóia (Matos & Coimbra 1997). A inconformidade basal está associada a uma queda do nível do mar, com erosão da porção superior do Grupo Itararé. O limite superior corresponde ao final da deposição da Formação Pirambóia e marca o fim da deposição associada a um mar epicontinental.

A Formação Rio Bonito registra inicialmente um Trato de Sistemas de Mar Baixo seguido por um Trato de Sistemas Transgressivo, no qual os mais importantes leitos de carvão foram depositados. O Trato de Sistemas Transgressivo pode ser dividido em três para seqüências: a primeira composta por arenitos que estão em *onlap* sobre o Trato de Sistemas de Mar Baixo, a segunda, recobrida a primeira, formada por tempestitos e um sistema de ilha barreira-laguna onde a maioria dos leitos de carvão foram formados e a terceira, que recobre o sistema de ilha barreira-laguna com conjuntos de ciclos tempestíficos (Della Fávera 1995).

| LITOESTRATIGRAFIA | | | CRONOESTRATIGRAFIA | | |
|-------------------|---|--|--------------------|-------------|------------|
| GRUPO | N | FORMAÇÕES | S | SISTEMA | ERA |
| SÃO BENTO | | Pirambóia | | TRIÁSSICO | MESOZOICO |
| PASSA DOIS | | Corumbataí, Teresina, Serra Alta | | PERMIANO | PALEOZOICO |
| SG Irati | | Assistência, Taquaral | | | |
| GUATÁ | | Dourados, Palermo, Rio Bonito | | CARBONÍFERO | PALEOZOICO |
| ITARARÉ | | Taciba, Campo Mourão, Aquidauana, Lagoa Azul | | | |

Figura 2 - Litoestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná, adaptada de Milani *et al.* 1994, com a incorporação das propostas de Riccomini *et al.* (1984), Matos (1995), Hachiro (1996), Matos & Coimbra (1997). Subgrupo=SG

Dentre os leitos de carvão do Depósito de Carvão Candiota destaca-se a Camada Candiota, a qual pode ser encontrada ao longo de praticamente todo o depósito (Aboarrage & Lopes 1986). Ela é composta por dois bancos de carvão com cerca de um metro de espessura ou mais, separados por uma camada de pelito de cor creme denominada de Argilito Interbancos com até um metro de espessura. O Banco Superior foi formado em áreas baixas e freqüentemente inundadas. O Banco Inferior foi formado em áreas baixas e úmidas com períodos de inundação. O Argilito Suprabancos, outra camada de argilito de cor creme, recobre o Banco Superior, apresentando espessura em torno de 1 m. (Fig. 3A). A deposição dos bancos de carvão ocorreu principalmente nas margens continentais da laguna, as quais eram mais protegida do mar aberto. As camadas de argilito depositaram-se principalmente nas porções mais centrais da laguna e recobriram os bancos de carvão durante o processo de inundação. Esta inundação estava associada ao processo de transgressão marinha (Alves & Ade 1996) que tinha curso na época e provocava a retrogradação das fácies (Matos 1999).

TONSTEINS DO DEPÓSITO DE CARVÃO CANDIOTA As camadas de *tonsteins* intercaladas nas camadas de carvão da Formação

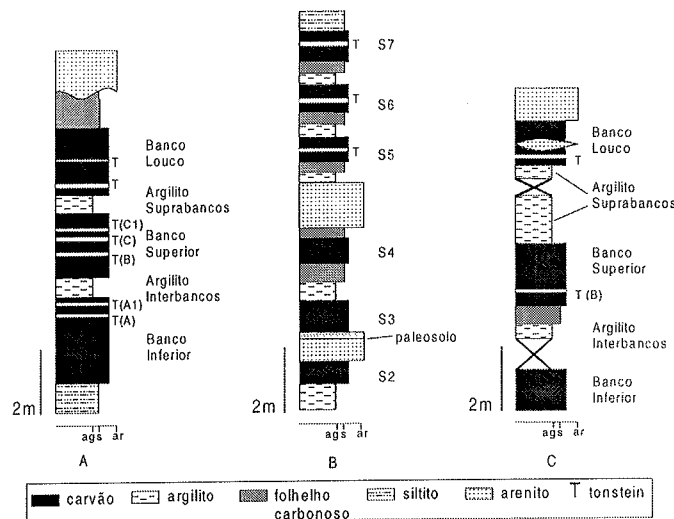


Figura 3 - A - seção típica da Camada de Carvão Candiota na área das minas Candiota e Seival; B - seção do conjunto superior de bancos de carvão do afloramento do km 146,4, BR 293, direção Pelotas-Bagé. C - seção do afloramento do km 152 da BR 293, onde as seguintes camadas estão expostas: Banco Louco, Argilito Suprabancos e Camada de Carvão Candiota. As camadas de tonstein identificadas por T estão representadas com exagero vertical (texturas: ag=argila, s=silte, ar=areia).

Rio Bonito apresentam cor cinza clara, as vezes amarelada, e contêm alguns fragmentos de carvão e evidências de fitoturbação. A Camada de Carvão Candiota, especialmente nas áreas das minas Candiota e Seival, apresenta cinco camadas de *tonsteins* (Fig. 3A), três das quais foram primeiramente descritas por Corrêa da Silva (1973):

- *Tonstein A* – intercalado no Banco Inferior de carvão, ocorrendo 30 cm abaixo do topo do banco com espessuras entre 6 e 10 cm;
- *Tonstein B* – intercalado no Banco Superior de carvão, entre 60 e 80 cm do topo do banco, com espessuras entre 5 e 8 cm;
- *Tonstein C* – intercalado no Banco Superior de carvão, entre 30 e 50 cm do topo do banco, com espessuras entre 2 e 3 cm.

As outras duas camadas de *tonstein*, com espessuras entre 5 e 10 mm, foram descritas por Matos (1999):

- *Tonstein A1* – ocorre intercalado no Banco Inferior de carvão, 20 cm acima do *tonstein A*;
- *Tonstein C1* – ocorre intercalado no Banco Superior de carvão, 10 cm acima do *tonstein C* (Fig. 3A)

No Banco Louco, nome do banco de carvão de ocorrência errática sobre o Argilito Suprabancos, ocorrem duas camadas de *tonstein*: a primeira com até 5 cm de espessura, que intercala-se na porção média do banco, e a segunda, com espessura de até 1 cm, ocorre acima da mais espessa, sendo separadas por camada de carvão com espessura variável (Fig. 3A).

Três outras camadas de *tonstein* foram reconhecidas intercaladas em outros bancos de carvão: em frente de lavra da Mina de Seival nas 5ª e 6ª camadas de carvão acima da Camada de Carvão Candiota (S5, S6 - Figuras 4 e 5), no afloramento do km 147.5 da BR 293 (Pelotas-Bagé) nas 5ª, 6ª e 7ª camadas de carvão acima da Camada de Carvão Candiota (S5, S6, S7 - Figuras 4 e 3B).

Os *tonsteins* apresentam notável comportamento estratigráfico na área do depósito, como contatos abruptos com as camadas de carvão e grande continuidade lateral sem alterações substanciais na sua espessura e composição. Esta continuidade lateral foi verificada por mais de 20 km, onde os *tonsteins C* e *B* do Banco Superior de carvão da Camada de Carvão Candiota e o *tonstein* mais superior do Banco Louco foram observados em pontos separados por até 10 km (pontos 1, 2, e 5) Figura 4 e Figura 6. Particularmente o *tonstein B* e o *tonstein* mais superior do Banco Louco foram observados entre pontos distantes a 22 km (Ponto 3) Figura 4 e Figura 3C. Os *tonsteins* dos bancos de carvão S5 and S6 foram reconhecidos em pontos distantes 11 km um do outro (Pontos 2 e 4) Figura 4.

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS A natureza vulcânica do material que deu origem aos *tonsteins* pode ser identificada pela aná-

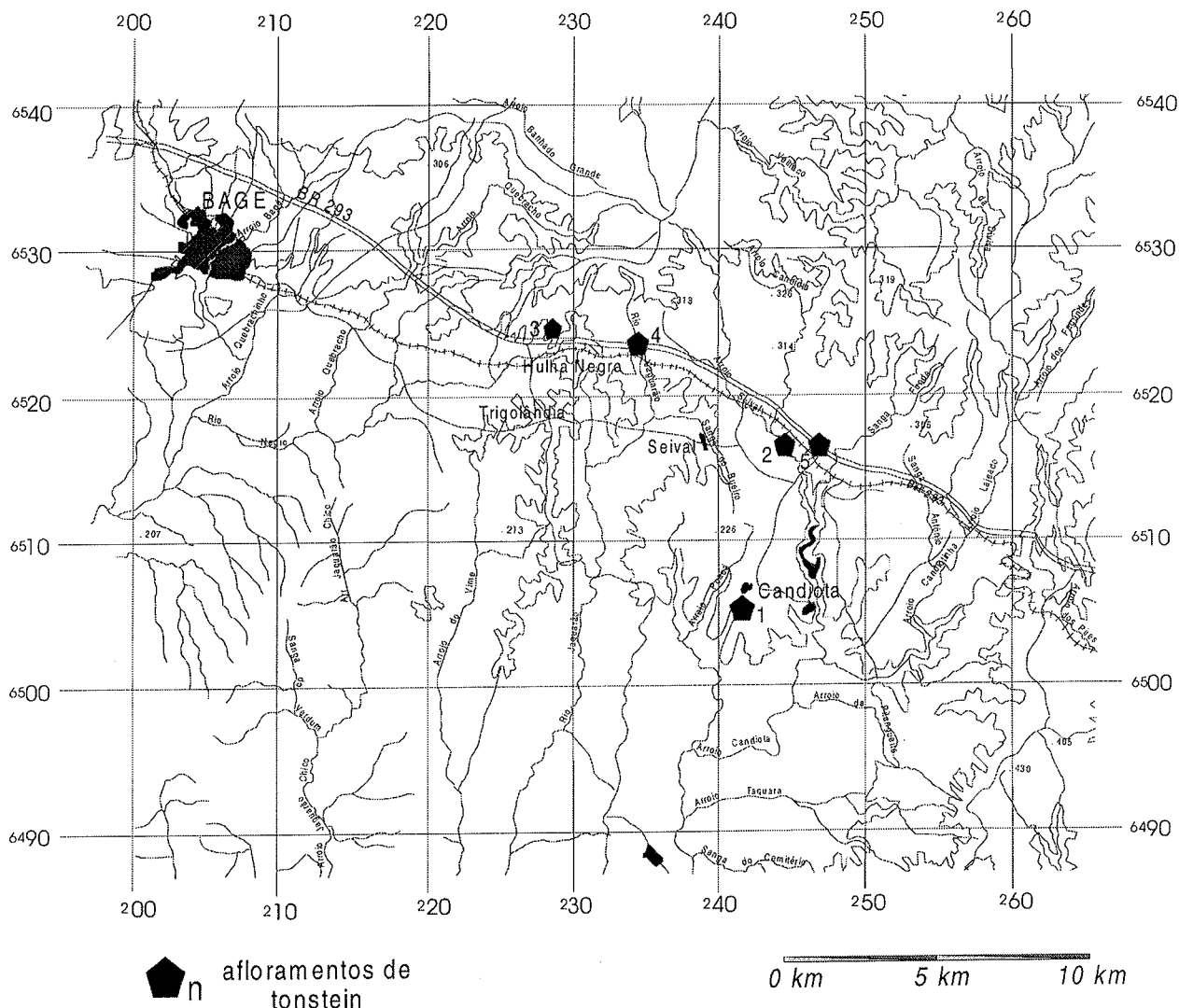


Figura 4 - Distribuição dos afloramentos de tonstein. Ponto 1 – tonsteins A, B e C da Camada de Carvão Candiota e do Banco Louco; Ponto 2 – tonsteins B e C da Camada de Carvão Candiota, do Banco Louco e das camadas S5 e S6; Ponto 3 – tonstein B da Camada de Carvão Candiota e tonstein superior do Banco Louco; Ponto 4 – tonsteins das camadas S5, S6 e S7; Ponto 5 – tonsteins do Banco Louco.

lise conjunta de sua mineralogia e textura. Segundo Bohor & Triplehorn (1993), a caulinita presente em *tonsteins* resulta da alteração *in situ* de vidro vulcânico, principalmente pela ação de ácidos húmicos que percolam a tefra e provém do material orgânico. Além disso, alguns minerais podem preservar suas formas primárias, não sendo afetados pelo processo de transformação pós-deposicional, entre eles: quartzo, sanidina, zircão eudral, biotita, rutilo, ilmenita, magnetita, apatita e allanita (Bohor and Triplehorn, 1993). Bolhas de vidro, ou *shards* de lapillis, alterados para caulinita, podem servir como evidência da origem vulcânica do material.

Os *tonsteins* que ocorrem no Depósito de Carvão Candiota foram processados no laboratório seguindo os passos propostos por Bohor & Triplehorn (1993), devidamente adaptados para as características particulares do material coletado.

Inicialmente foram separadas as frações argilosa e não-argilosa. Da fração não-argilosa foram separados os minerais leves dos pesados, obedecendo as seguintes etapas: a) desagregação manual de *tonsteins*, com sua dispersão em água e desmontagem com pistilo de borracha, procedimento utilizado para minimizar a quebra de cristais; b) bateamento em batéia cônica ou concentração em mesa vibratória; c) separação de minerais magnéticos com imã; d) separação de minerais pesados pela retenção em líquidos densos (bromofórmio e iodeto de metila).

As frações leve e pesada foram então observadas em lupa e em microscópio eletrônico de varredura. A fração argilosa foi submetida à difração de raios X.

MINERALOGIA DOS TONSTEINS Visando a separação dos minerais que preservaram suas características mesmo durante os pro-

cessos de transformação da tefra dos que são produtos de transformações pós-deposicionais, os minerais identificados foram classificados em duas categorias: autigênicos (secundários) e piroclásticos (primários).

Minerais autigênicos CAULINITA As análises por difração de raios X revelaram que a caulinita é o argilomineral predominante nas camadas de *tonstein*. Os longos picos de base estreita demonstraram sua boa cristalização (Fig. 7). Ao Microscópio Eletrônico de Varredura foi confirmada a boa cristalização, na forma de plaquetas e agregados vermiculares (Fig. 8A). Estas formas de cristalização da caulinita são evidências da sua origem autigênica por transformação do vidro vulcânico das tefras após o soterramento por matéria orgânica no sítio de deposição.

PIRITA É um mineral freqüente, disseminado em pequenas quantidades nas formas de pequenos cristais isolados ou agregados framboidais. Estas duas formas estão associadas aos pequenos fragmentos de carvão encontrados nos *tonsteins* (Fig. 8B). Ribeiro Filho & Mussa (1977) identificaram pirita autigênica em diversas outras camadas de carvão permianas da Bacia do Paraná.

Minerais Piroclásticos ZIRCÃO Os zircões encontrados nos *tonsteins* da Camada de Carvão Candiota apresentam-se hialinos e bem cristalizados, predominando as formas eudrais alongadas com ausência de arredondamentos de arestas e estrias nas faces (Fig. 8C). Secundariamente ocorrem zircões equidimensionais (Fig. 8D).

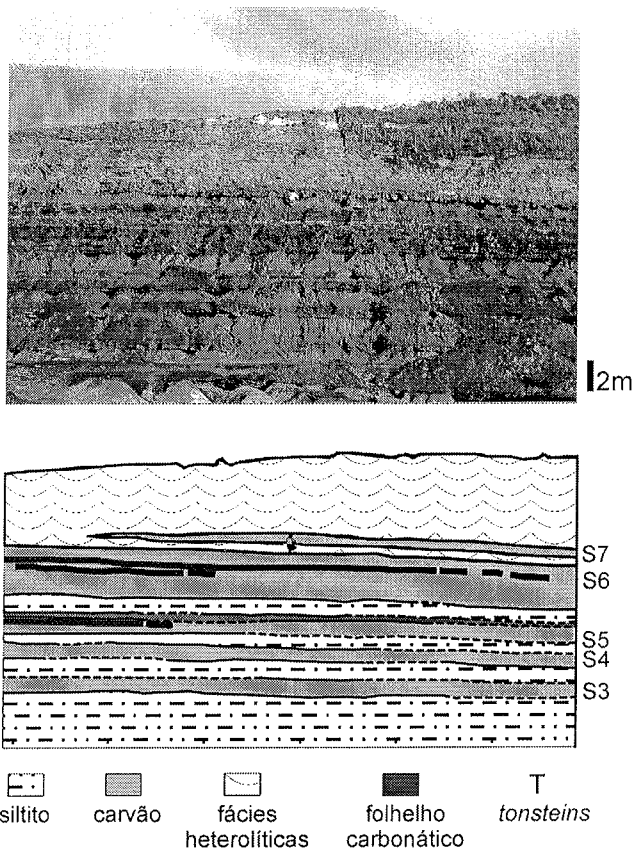


Figura 5 - Frente de lavra abandonada da mina de Seival, onde está exposto o conjunto de bancos de carvão que ocorre acima da Camada de Carvão Candiota. Nas Camadas S5 e S6 foram observados tonsteins.

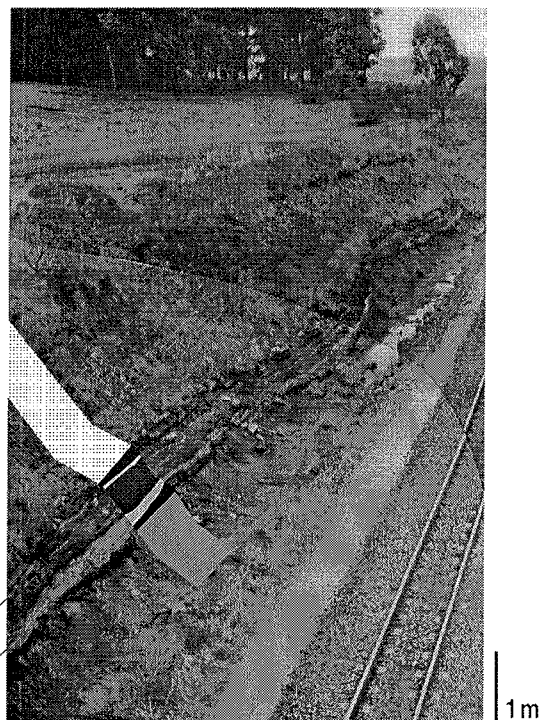
QUARTZO Cristais bipiramidais de quartzo sem desenvolvimento de faces prismáticas foram encontrados nos tonsteins da Camada de Carvão Candiota. Eles foram interpretados como pseudomorfos de quartzo de alta temperatura, quartzo-beta, os quais foram posteriormente convertidos a quartzo-alfa, de temperaturas abaixo de 573° C. Segundo Blatt et al. (1980), o quartzo-beta está associado à eventos vulcânicos explosivos, ricos em voláteis que favorecem o desenvolvimento da morfologia euedral (Fig. 8E).

APATITA A apatita ocorre como cristais prismáticos euedrais (Fig. 8F) e, a sua presença é rara. Para Bohor & Triplehorn (1993), a apatita pode ser geralmente alterada por ácidos percolantes eliminando os vestígios do mineral. Nas camadas estudadas a alteração da apatita parece não ter sido eficiente.

ORIGEM DOS TONSTEINS Inicialmente, os tonsteins da Camada de Carvão Candiota foram interpretados por Corrêa da Silva (1973) como sedimentos de origem clástica, deslocados por via aquosa. Nesta interpretação de Corrêa da Silva (1973), os cristais bem formados de caulinita seriam resultado de processo de neomorfismo de material originalmente clástico. Nesta mesma linha, Della Fávera et al. (1992) propuseram que os tonsteins da Camada de Carvão Candiota seriam possíveis marcos paleoclimáticos associados a períodos secos, onde a quantidade de argila detrítica excedia a quantidade de matéria orgânica sedimentada. Assim, as camadas de argila teriam sido depositadas após a precipitação em meio aquoso, preferencialmente sem grandes agitações.

Entretanto, as seguintes evidências demonstraram a origem dos tonsteins como depósitos distais de tefras, transportadas em suspensão na atmosfera:

- extensão lateral por dezenas de quilômetros, com variações mínimas na espessura e nas características texturais e estruturais;
- contatos predominantemente abruptos com as camadas de carvão;
- tonsteins compostos por caulinita vermicular, resultante da transformação do vidro vulcânico em condições ácidas. Este processo de



- arenito com estratificação cruzada
- Banco Louco
- folhelho carbonático
- tonstein
- T(sBL) tonstein superior do Banco Louco
- T(iBL) tonstein inferior do Banco Louco

Figura 6 - Afloramento do Banco Louco expondo duas camadas de tonstein em corte da estrada de ferro Bagé-Pelotas, próximo do cruzamento com a via de acesso à mina da Candiota.

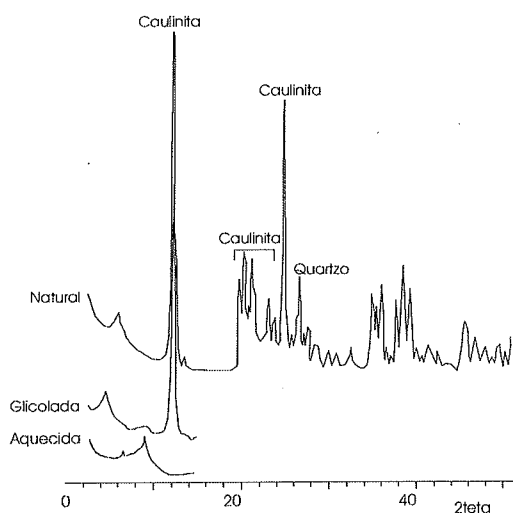


Figura 7 - Difração de raios X do tonsteins da Camada de Carvão Candiota

transformação é explicado por Bohor & Triplehorn (1993), onde o vidro vulcânico reage com a água gerando silicato de alumínio, deixando cátions em solução. Sob condições ácidas, onde compostos orgânicos catalíticos estão disponíveis, o silicato de alumínio hidratado pode ser transformado em caulinita;

- a predominância de zircões alongados, a ausência de estrias e de evidências de arredondamento nestes e ainda a ausência de concentrações ao longo da camada (paleoplácer), são mais características de depósitos de materiais piroclásticos (Dopita and Kralik, 1977 apud Bohor and Triplehorn, 1993);