

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**CAULINITA EM DEPÓSITOS TRIÁSSICOS –UM EXEMPLO NO GRÁBEN
ARROIO MOIRÃO-RS**

ISAQUE CONCEIÇÃO RODRIGUES DA SILVA

ORIENTADORA:

Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Anderson Maraschin

Prof. Dr. Rualdo Menegat

Profa. Dra. Cassiana Michelin

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de
Mestre em Geociências

Porto Alegre – 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Conceição Rodrigues da Silva, Isaque
CAULINITA EM DEPÓSITOS TRIÁSSICOS -UM EXEMPLO NO
GRÁBEN ARROIO MOIRÃO-RS / Isaque Conceição Rodrigues
da Silva. -- 2017.
65 f.

Orientadora: Ana Maria Pimentel Mizusaki.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto
Alegre, BR-RS, 2017.

1. Caulinita. 2. Triássico. 3. Gráben Arroio
Moirão. 4. Estratigrafia. I. Maria Pimentel
Mizusaki, Ana , orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos iniciais são direcionados ao meu Senhor Jesus, que sempre esteve comigo em todos os momentos, me guiando e consolando. Sem Ele eu jamais poderia sequer ter iniciado este trabalho. À ele toda honra, toda glória e toda adoração.

Agradeço a UFRGS e ao Instituto de Geociências, por ofertar este curso e ter proporcionado um ensino público de qualidade.

Agradeço imensamente a minha Orientadora Ana Mizusaki. E que orientadora!!! Seus conselhos foram de total importância na minha formação e em meu aprendizado. Guardarei com carinho todas as suas palavras e todas as suas recomendações. Recomendações estas, que aprimoraram completamente o presente trabalho, bem como, encheram meu coração com lições que levarei pra vida!

Agradeço aos colegas Camile Urban, Laís Gabrielli e Patrícia Zacca pelas dicas, recomendações e informações a mim transferidas. Agradeço também aos meus colegas Fernando Rios, Rafaela Kunrath e Henrique Redivo que além de tudo isso, forneceram bons momentos de esparecimento. Nossas conversas astrológicas foram estonteantes.

Finalmente, agradeço ao meu alicerce familiar de minha mãe e meu pai. Vocês sempre acreditaram em mim, até mesmo quando eu não acreditava. Agradeço por todo o suporte que me foi dado desde que nasci, pois foi fundamental para o homem que sou hoje! Amo vocês!

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-Representação esquemática do desenvolvimento da caulinita durante a deposição, eodiagenese e mesodiagenese. Na eodiagenese, K-feldspatos são transformados em caulinita (Kao). Na mesodiagenese em temperaturas > 110°C ocorre crescimento da dickita a partir da caulinita previamente formada na eodiagenese (modificado de Worden & Morad, 2003)..... | 16 |
| Figura 2- Mapa de localização da Bacia do Paraná e seus relictos (adaptado de Ketzer, 1997). | 18 |
| Figura 3-Litoestratigrafia e cronoestratigrafia da sucessão triássica da Bacia do Paraná (modificado de Faccini, 1989; Pierini et al., 2002) | 19 |
| Figura 4- Mapa de localização do Gráben Arroio Moirão no Escudo Sul-Rio-Grandense, em destaque (modificado de Ketzer, 1997)..... | 20 |
| Figura 5-Mapa geológico do Gráben Arroio Moirão (modificado de CPRM, 2005)..... | 23 |
| Figura 6-Fluxograma demonstrando de forma simplificada a metodologia utilizada..... | 25 |
| Figura 7- A) Afloramento de lamito; B) presença de caulinita substituindo minerais detríticos como feldspatos e micas, bem como clastos argilosos e por vezes preenchendo poros, observada em microscopia óptica; C) difratograma identificando caulinita (Kao)..... | 27 |
| Figura 8- Detalhe ao microscópio eletrônico de varredura. A) Caulinita mal formada, incipiente substituindo mineral detrítico; B) Caulinita bem formada, estrutura típica de booklets..... | 28 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. CAULINITA | 10 |
| 2.1 IMPORTÂNCIA E SIGNIFICADO | 11 |
| 2.2 CAULINITA AUTIGÊNICA | 12 |
| 2.3 CAULINITA DIAGENÉTICA | 13 |
| 2.3.1 Eodiagênese..... | 14 |
| 2.3.2 Mesodiagênese | 15 |
| 2.3.3 Telodiagênese..... | 16 |
| 3.CONTEXTO GEOLÓGICO | 17 |
| 3.1 BACIA DO PARANÁ E SEUS “RELICTOS” | 17 |
| 4. GRÁBEN ARROIO MOIRÃO | 19 |
| 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 19 |
| 4.2 SEDIMENTAÇÃO | 20 |
| 5. METODOLOGIA | 23 |
| 6. RESULTADOS | 27 |
| 7. DICUSSÕES E CONCLUSÕES | 29 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 30 |
| 9. CARTA DE SUBMISSÃO | 38 |
| 10. ARTIGO | 39 |
| CAULINITA EM DEPÓSITOS TRIÁSSICOS: UM EXEMPLO NO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO (SUL DO BRASIL, RS) | 39 |
| INTRODUÇÃO | 40 |
| A CAULINITA | 41 |
| CONTEXTO REGIONAL..... | 41 |
| LOCALIZAÇÃO | 43 |
| MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS..... | 43 |
| RESULTADOS..... | 44 |
| DISCUSSÕES..... | 47 |
| CONCLUSÕES | 49 |
| AGRADECIMENTOS..... | 50 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 51 |
| FIGURAS..... | 58 |

RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo do argilomineral caulinita. Este, ocorre geralmente como produto de alteração *in situ* da rocha, sendo definido como caulinita autigênica, ou também pode ocorrer dentro dos processos diagenético (eodiagênese ou telodiagênese). Nos depósitos do Gráben Arroio Moirão ocorre a presença do argilomineral caulinita em todos os perfis levantados, desde a base até o topo. A caulinita encontrada mostra diferentes estágios de formação. No primeiro estágio os grãos detríticos são substituídos por uma caulinita com lamelas em estágios iniciais, finas e anédricas. No segundo estágio ocorrem lamelas um pouco mais espessas, com arestas melhor definidas caracterizando uma caulinita subédrica. O terceiro estágio apresenta lamelas bem definidas, mais espessas em relação às iniciais, pseudohexagonais, expondo estrutura em *booklets* compondo uma caulinita euédrica. Entende-se que devido aos contatos pontuais observados nos grãos detríticos, as rochas do Gráben Arroio Moirão sofreram soterramento não muito profundo configurando uma compactação leve. Provavelmente estes sedimentos se enquadram dentro do processo de eodiagênese, no qual, a temperatura e profundidade caracterizam-se por serem amenos ($\leq 70^{\circ}\text{C}$; $\leq 2\text{km}$). Durante o soerguimento destes pacotes dentro do processo de telodiagênese, as camadas foram expostas a condições intempéricas favoráveis à formação da caulinita. São elas a ação do clima principalmente pela infiltração de água meteórica que utiliza-se do sistema de permeabilidade e porosidade da rocha, bem como falhas e fraturas presentes. Portanto, o argilomineral encontra condições propícias à sua formação, no qual, ocorre substituindo grãos detríticos como feldspatos, micas, fragmentos argilosos, gerando desta forma um processo de caulinitização generalizada no Gráben Arroio Moirão.

Palavras chave: Caulinita, Triássico, Gráben Arroio Moirão.

ABSTRACT

The survey herein approaches the clay mineral kaolinite study. Either this mineral occurs as a product of a rock alteration *in situ*, defined as authigenic kaolinite, or it can be developed inside diagenetic processes (eodiagenesis or telodiagenesis). In the Arroio Moirão Graben, the presence of the clay mineral kaolinite is evident in every profile, from the bottom to the top. The kaolinite observed shows different stages of formation. On the first stage, detrital grains are replaced by a kaolinite displaying fine, anedric and incipient lamellae. On the second stage, lamellae are a little bit thicker, presenting better definition to the edges characterizing subedric kaolinite. On the third stage, lamellae are pseudo-hexagonal, thicker, well ordered and expose booklets structure, forming euhedral kaolinite. Due to the point contacts observed on detrital grains, rocks from Arroio Moirão Graben suffered a not so deep burial, as a result, a slight packing. Probably these sediments are part of eodiagenesis process, where, temperature and depth are mild ($\leq 70^{\circ}\text{C}$; $\leq 2\text{km}$). During the uplift of these rocks under telodiagenesis process, layers were exposed to weathering conditions favorable to kaolinite formation, like rainwater infiltration through permeability and porosity rock system, as well as, faults and joints existent. Therefore, this clay mineral is under favorable conditions to its formation, where kaolinite substitutes detrital grains like feldspars, micas, clay fragments, promoting a widespread kaolinization to Arroio Moirão Graben.

Key-words: Kaolinite, Triassic, Arroio Moirão Graben.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação compreende um capítulo introdutório onde são apresentados dados que permitiram a identificação da caulinita nos sedimentos triássicos do Gráben Arroio Moirão (RS). São exemplificadas as características das caulinitas com a proposição do modelo de formação deste argilomineral para o Gráben Arroio Moirão (RS). Complementa a dissertação, carta de submissão e manuscrito submetido a periódico.

1. INTRODUÇÃO

A caulinita compreende um silicato de alumínio hidratado comumente de coloração esbranquiçada encaixado no grupo dos argilominerais. Compartilha da mesma composição ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) com os polimorfos dickita e nacrita (Chamley; 1989). A caulinita por ser, na maioria das vezes, um mineral formado a partir de alteração intempérica, tem sido utilizada como uma ferramenta eficaz na interpretação de processos de paleoalteração e também processos atuais (Ruffel *et al.*, 2002). Trabalhos anteriores, por muito tempo, definiram a caulinita como apenas autigênica, mas pesquisas recentes a têm encaixado dentro de processos diagenéticos como eodiagênese ou telodiagênese (Lanson, 2002; Worden & Morad, 2003; Ruiz Cruz, 2007).

A caulinita foi identificada nos depósitos do Gráben Arroio Moirão (RS). Esta estrutura está inserida dentro de unidades gondwânicas constantemente correlacionadas aos depósitos da Bacia do Paraná (Ketzer, 1997; Milani, 1997; CPRM, 2006; Urban, 2014). O gráben situa-se na porção centro-sul do Escudo Sul-Rio-Grandense e é constituído de depósitos sedimentares triássicos sendo também denominado como relicto da Bacia do Paraná. Dentro deste contexto, trabalhos anteriores (Lima, 2016; Borsa, 2015) já haviam comentado sobre a presença da caulinita em algumas porções do Gráben Arroio Moirão, mas ainda não ocorrera uma caracterização detalhada deste argilomineral.

Na área estudada são identificados arenitos, siltitos e lamitos de coloração avermelhada que variam de bem selecionados a mal selecionados. Os grãos do arcabouço são subangulosos/angulosos, raramente subarredondados e os contatos predominantemente pontuais. A caulinita mostra-se bem formada expondo constantemente sua estrutura em *booklets*. Encontra-se substituindo feldspatos, clastos argilosos e preenchendo interstícios das lamelas de micas.

A caulinita tem sido observada em toda área do Gráben Arroio Moirão e também desde as litologias da base até aquelas do topo dos perfis levantados.

A formação deste mineral ocorreu por processos pós-deposicionais, possivelmente através da concomitância de processos telodiagenéticos e intempéricos logo após a estabilização estrutural do relicto. A ação de água meteórica percolante nos poros das rochas também deve ser evocada, pois a mesma torna-se fundamental para formação da caulinita.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo fazer o levantamento litológico simplificado, bem como o empilhamento estratigráfico a partir da confecção de perfis colunares. Em seguida, investigar a presença, disposição e abrangência deste argilomineral na área de trabalho, além de caracterizar os fatores que desencadearam a formação da caulinita.

2. CAULINITA

A caulinita está inserida no conjunto dos argilominerais, os quais, se destacam cinco principais grupos: clorita, esmectita, caulinita, illita e interestratificados (Weaver, 1980; Chamley, 1989). Dentro deste espectro faz-se necessário definir a diferença entre os termos: argilominerais e argilas. O termo argilominerais, compreende minerais formados a partir de tetraedros de SiO_4 dispostos na forma de “folhas” (filossilicatos) e contendo grande quantidade de H_2O aprisionado entre as camadas (Deer *et al.*, 1998). Já o termo argila remete a tamanho de grão compondo uma fração menor que $2\mu\text{m}$ (Guggenheim & Martin, 1995). Apesar da recorrência dos grupos de argilominerais, o presente trabalho tem por objetivo focar-se predominantemente no argilomineral caulinita

O argilomineral caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) compreende um silicato de alumínio hidratado geralmente de cor esbranquiçada, porém, dependendo das impurezas presentes podem ocorrer outras colorações (Chamley, 1989; Meunier, 2005) A caulinita é classificada como um dos seis minerais mais abundantes a uma profundidade de até dez metros na crosta terrestre (DNPM, 2001).

A identificação deste argilomineral ocorreu a partir da exploração de uma argila esbranquiçada para a produção de porcelana na colina “*kauling*” próxima de Jauchau Fu ao norte da China. Esta colina emprestou seu nome para o que atualmente denominamos de caulim (Grim, 1968). Deste modo, o caulim designa de forma genérica o conjunto de minerais do grupo da caulinita, sendo a caulinita o mineral mais comum, todavia, também apresentando frações de outros silicatos hidratados de alumínio (Da Luz & Damasceno, 1993; Murray, 2007).

Dentro deste grupo estão os polimorfos: caulinita, dickita e nacrita. A caulinita pertence ao sistema triclinico, ocorre sob baixas temperaturas e apresenta placas pseudo-hexagonais empilhadas denominadas de estrutura vermicular ou em *booklets*. A dickita pertence ao sistema monoclinico, ocorre sob maior temperatura e exhibe prismas

romboédricos. A nacrita do sistema monoclinico é rara na diagênese e ocorre em rochas contendo betume ou carvão (Worden & Morad, 2003; Meunier, 2005).

2.1 IMPORTÂNCIA E SIGNIFICADO

Os argilominerais, em geral, possuem um papel fundamental na sedimentologia e estratigrafia, por expressarem muitas vezes significados atrelados ao paleoclima e intemperismo. Destaca-se, em especial a caulinita, que demanda condições de interação física e química com águas percolantes que atuam antes, durante e depois da deposição (Blatt *et al.*, 1980; O'brian & Slatt, 1990; Potter *et al.*, 2005; Milliken, 2014; Lazar *et al.*, 2015). Por necessitarem de tais condições são considerados uma ferramenta eficaz para interpretação tanto de paleo-processos como de processos atuais (Ruffel *et al.*, 2002; Raucskik & Varga, 2008).

Apesar desta ferramenta ser de grande utilidade, torna-se necessária uma avaliação criteriosa dos depósitos a serem analisados, julgando se os mesmos sofreram retrabalhamento ou diagênese, o que pode transformar a composição primária e mascarar os indicativos paleoclimáticos (Keller, 1970; Singer, 1980; Thiry, 2000). Não obstante, a partir de análises sistemáticas, onde estes efeitos não foram atuantes, argilominerais como a caulinita podem ser utilizados como indicadores de paleoclima e intemperismo (Singer, 1984; Ruffell *et al.*, 2002; Pellenard & Decononinck, 2006; Schnyder *et al.*, 2006; Raucskik & Varga, 2008; Chaudhri & Singh, 2012).

Para um melhor entendimento de como a caulinita pode ser um indicador paleoclimático e intempérico faz-se necessário discorrer sobre os processos de gênese e evolução deste argilomineral. Simplificadamente, condições físicas e químicas nos quais são formados os minerais do grupo da caulinita, ocorrem sob baixa temperatura e pressão. Estes minerais são comumente formados em dois ambientes:

- a- nos perfis de intemperismo propiciando a formação de caulinita autigênica;
- b- na diagênese de rochas sedimentares gerando a caulinita diagenética.

Como os ambientes geológicos propiciam situações complexas, pode ocorrer a presença dos dois tipos de caulinita em um mesmo contexto geológico (Emery *et al.*, 1990; Ruiz Cruz, 2007; Bauluz *et al.*, 2014).

2.2 CAULINITA AUTIGÊNICA

Os trabalhos iniciais sobre a caulinita (Ross & Kerr, 1930; Glass *et al.*, 1956; Shelton, 1964) desenvolvidos em meados do século passado envolvendo sua caracterização, formação e evolução, não enquadravam o mineral dentro do processo diagenético, mas sim, como resultado de intenso intemperismo. Basicamente uma abordagem voltada para um perfil de alteração de rocha.

Dentro deste contexto a caulinita autigênica é produto da transformação de minerais pré-existentes e *in situ*, ou seja, desprovido de qualquer transporte (Ross & Kerr, 1930; Glass *et al.*, 1956). Sua formação é desencadeada a partir da alteração/lixiviação de silicatos (especialmente feldspatos e muscovitas) em presença de água. Esta reação é intensificada principalmente onde a caulinita é formada em condições de clima quente úmido, devido a temperatura característica (30-40°C), alta precipitação pluviométrica e a presença de Ca^{2+} e HCO_3^- na água dos poros das rochas que geram uma leve acidez (Chamley, 1989; Emery, *et al.*, 1990; Hallam *et al.*, 1991; Righi & Meunier, 1995; Ruffel *et al.*, 2002). Lembrando que os fatores considerados nesta situação são apenas a transformação de minerais detríticos pelo contato com o meio aquoso, sendo intensificados pela temperatura em uma rocha já estabilizada, não levando em consideração processos tectônicos ou diagenéticos.

Algumas rochas sedimentares são mais suscetíveis a sofrerem a dissolução de minerais primários para então ocorrer a precipitação da caulinita autigênica de forma mais efetiva, pois, o padrão de abundância e a distribuição da caulinita é influenciado pelos seguintes fatores:

- a- quantidade de silicatos detríticos instáveis;
- b- a precipitação anual;
- c- condutividade hidráulica;
- d- taxa de fluidez no corpo rochoso (Worden & Morad, 2003).

Por exigir uma considerável precipitação pluviométrica anual, acentuada pela temperatura, o estudo da caulinita tem sido utilizado como ferramenta para interpretação paleoclimática pois ela forma-se direta ou indiretamente a partir da decomposição por hidrólise dos alumino-silicatos primários. Logo, as taxas de decomposição por hidrólise são fortemente influenciadas pela ação da água no meio, também chamado de lixiviação. Ou seja, quanto maior a taxa de lixiviação, maior a quantidade de minerais do grupo da caulinita e

demais minerais argilosos que pertencem aos estágios avançados de intemperismo estarem presentes nas rochas (Jackson, 1969).

A caulinita também demanda um meio com certa quantidade de silicatos detríticos, e uma boa relação entre a porosidade, permeabilidade e capacidade que a água possui de percolar e se distribuir no meio rochoso, denominado de taxa de fluidez. As rochas que possuem estas características propícias aos minerais de caulinita, se resumem a basicamente pelitos e arenitos (Chamley, 1989). A presença dos minerais de caulinita autigênica nessas rochas ocorre: nos interstícios dos grãos de granulometria areia/silte do arcabouço; em microcavidades e rachaduras (algumas formadas pela lixiviação ou por remoção de plantas); e em fraturas (Shelton, 1964; Ruiz & Cruz, 2007).

Já a ocorrência da caulinita autigênica é propiciada por:

- cristalização de materiais que foram introduzidos no sistema por meio de soluções ou por material advindo de suspensões coloidais;
- alteração que substitua algum mineral pré-existente;
- recristalização de finos grãos detríticos de caulinita.

Por fim, o indicativo de que a caulinita possui origem autigênica é a estrutura delicada e perfeita de agregados minerais na forma vermicular ou de *booklets*, que não resistiria ao transporte e deposição sem destruição ou modificação considerável (Ross & Kerr, 1930; Glass *et al.*, 1956; Glass, 1958; Shelton, 1964). Torna-se importante ressaltar que embora a caulinita seja um mineral abundante, ela comumente coexiste com frações menores de outros argilominerais como a esmectita e/ou ilita (Ruiz Cruz, 2007).

2.3 CAULINITA DIAGENÉTICA

Dentro do âmbito da diagênese pressupõe-se um processo maior do que apenas a análise de alteração intempérica, mas agora, a análise da formação da caulinita dentro de processos de soterramento, litificação, soerguimento e intemperismo. Visto que antes, parte-se do entendimento que a rocha já estava estabilizada quando iniciou-se a formação da caulinita. Assume-se então, que sedimentos iniciam-se inconsolidados, produzidos por processos pré-deposicionais como intemperismo, erosão e transporte, e depois sofrem processos sin-deposicionais como precipitação química ou bioquímica a partir de água dos mares ou lagos para então serem submetidos a processos pós-deposicionais, também chamados de diagênese para enfim, tornarem-se rochas sedimentares. De forma sucinta, a diagênese contempla um

campo de condições físicas e químicas que controla processos geológicos atuantes em sedimentos inconsolidados, rochas sedimentares pré-existentes, depósitos superficiais como solos e até mesmo outros tipos de rocha na superfície da crosta terrestre nos primeiros milhares de metros de profundidade, além de incluir processos de alteração sob baixas de temperatura de rochas ígneas e metamórficas (Tucker, 2001).

A partir do final do último século, a caulinita até então amplamente denominada como autigênica começou a ser incluída dentro da fase eodiagenética do processo de diagênese, de modo que os autores mais recentes preferem o termo caulinita eodiagenética em detrimento de caulinita autigênica (Ruiz Cruz & Andreo, 1996; Pe-Piper *et al.*, 2005; Piper *et al.*, 2009; Bauluz *et al.*, 2014). Partindo do preceito conceitual as duas formas de caracterização estão corretas, sendo apenas encaradas de forma diferente, visto que mesmo dentro do processo de eodiagênese a caulinita continua a ser autigênica já que a preservação da caulinita é impossível diante de qualquer transporte. O grande diferencial é encarar a caulinita como parte do processo diagenético ou não. Diante disto, sabe-se que irremediavelmente a formação da caulinita ou a partir de intemperismo de paleosolos ou por diagênese precoce abaixo do lençol freático demonstra que a água meteórica é fundamental para a formação a caulinita em ambas as denominações.

Em estágios mais avançados de diagênese geralmente em frações arenosas tem sido descrita a transformação da caulinita para a dickita a uma temperatura aproximada entre 120 - 130°C (Kisch, 1983; Ehrenberg *et al.*, 1993; Ruiz Cruz, 1994; Ruiz Cruz & Andreo, 1996; Beaufort *et al.*, 1998; Cassagnabere, 1998).

2.3.1 Eodiagênese

Trabalhos recentes (Lanson *et al.*, 2002; Worden & Morad, 2003; Bauluz *et al.*, 2014; Waldmann & Gaupp, 2016) preferem por utilizar a terminologia caulinita eodiagenética no lugar de caulinita autigênica, por entenderem que a formação da caulinita está muitas vezes inclusa em um processo mais amplo do que apenas a análise de uma rocha alterada. Esta interpretação fundamenta-se que os principais tamanhos de grãos passíveis para formação de caulinita são as frações areia, silte e argila. Estes sedimentos ainda inconsolidados e recém depositados compreendem uma mistura de fragmentos minerais instáveis mas que mesmo assim, resistiram ao intemperismo, erosão e transporte. Esta assembleia mineral detrítica por

possuir uma instabilidade, tende a reagir com a água do ambiente durante a eodiagênese. Nesta fase a formação da caulinita inicia-se devido aos seguintes fatores: a precipitação de água nos poros existentes, a substituição da estrutura dos grãos de k-feldspato e devido a substituição de argilas detríticas. Assume-se que caulinita nesta condição está em subsuperfície ou durante soterramento raso e é fortemente controlada pelas fácies deposicionais, composição detrítica e condições climáticas, ou seja características atreladas ao ambiente eodiagenético (Worden & Morad, 2003; Ruiz Cruz, 2007).

Este processo é favorecido por condições ácidas e pela presença de matéria orgânica. Enquanto o pH está ácido ocorre a dissolução de minerais do arcabouço e a caulinita é precipitada nos poros, porém a solubilidade decai com o tempo até chegar a valores de pH neutro e não há mais formação deste argilomineral. A formação da caulinita por meio deste processo é intensificada em sedimentos de origem continental, onde condições climáticas são mais efetivas na alteração de sedimentos detríticos (Berner, 1980; Ruiz Cruz & Andreo, 1996).

A caulinita eodiagenética possui hábito vermicular formando estruturas denominadas *booklets* (Chamley, 1989). Nos sedimentos arenosos a formação digenética de minerais secundários como a caulinita é propícia devido a uma boa relação entre porosidade e permeabilidade que favorecem a migração de fluídos. A maioria dos arenitos contém além de quartzo, grãos detríticos de feldspato e micas, promovendo uma assembleia mineral propícia para a formação da caulinita (Lanson *et al.*, 2002).

2.3.2 Mesodiagênese

Dentro desta fase inicia-se de fato os processos diagenéticos relacionados a trocas de pressões, temperatura e a química da água nos poros que induzem as reações características da dinâmica mesodiagenética. Neste contexto, a temperatura é o principal fator controlador das fases minerais das rochas. A assembleia de argilominerais muda de acordo com o aumento da temperatura, levando a uma série de reações progressivas. A caulinita e esmectita eodiagenéticas são substituídas por dickita, illita e clorita mesodiagenéticas (Lanson *et al.*, 2002; Worden & Morad, 2003).

Com o progressivo aumento do soterramento, profundidade e temperatura (2-3 km; T= 70-90°C), os pequenos minerais de caulinita eodiagenética em forma de *booklets*, vermiculares, e pseudo-hexagonais são progressivamente substituídos por cristais bem

desenvolvidos e espessos. A partir deste estágio os cristais espessos compreendem a uma caulinita bem desenvolvida e dickita desordenada que substituiu a caulinita eodiagenética (Ehrenberg *et al.*, 1993; Morad *et al.*, 1994; Cassagnabere, 1998). Quando a profundidade de soterramento atinge 3 à 4,5 km (90-130°C), a caulinita eodiagenética residual sofre dissolução e reprecipitação, agora como cristais de dickita em blocos (Beaufort *et al.*, 1998). Este padrão da dickita em blocos tende a ser mais desordenado em relação ao padrão bem ordenado da caulinita vermicular eodiagenética (Brindley & Brown, 1980). A partir de 4,5 km de profundidade e temperatura maior que 130° C a presença de dickita em blocos bem ordenada é dominante e o padrão de empilhamento vermicular e em *booklets* não é preservado (Cassagnabere, 1998; Worden & Morad, 2003). Na figura 1 é possível observar a formação da caulinita a partir do K-feldspato, gerando a caulinita na eodiagênese e posteriormente a dickita na mesodiagênese.

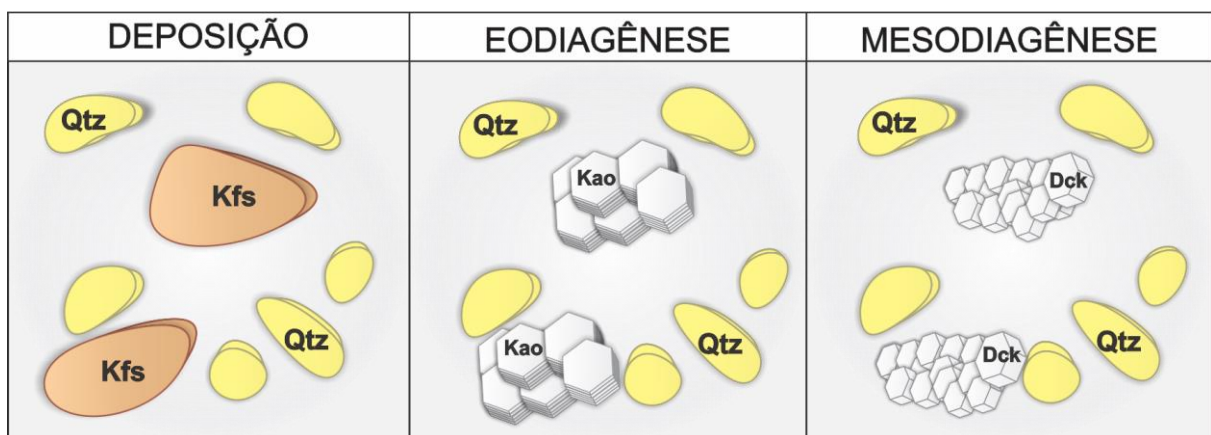


Figura 1-Representação esquemática do desenvolvimento da caulinita durante a deposição, eodiagênese e mesodiagênese. Na eodiagênese, K-feldspatos são transformados em caulinita (Kao). Na mesodiagênese em temperaturas > 110°C ocorre crescimento da dickita a partir da caulinita previamente formada na eodiagênese (modificado de Worden & Morad, 2003).

2.3.3 Telodiagênese

No âmbito do estudo da caulinita, os trabalhos têm-se voltado para caracterização da caulinita autigênica e diagenética (eodiagênese). Contudo, Worden & Morad (2003) exemplificam a formação de caulinita em um contexto telodiagenético partindo do entendimento que a água que reside nos poros das rochas é resultado de processos diagenéticos anteriores, principalmente de processos mesodiagenéticos. Durante o soerguimento, a erosão e a formação de uma inconformidade, esta água é substituída pela

água meteórica. Neste processo de influxo o soerguimento tectônico geralmente é o fator controlador. Vale ressaltar que os processos telodiagenéticos são mais prevalentes ao longo das bordas da bacia e blocos de falha do que na porção central da bacia (Worden & Morad, 2003).

Alguns exemplos deste argilomineral têm sido percorridos e interpretados como telodiagenéticos como o exemplo da caulinita em arenitos da Formação Argila Kimmeridge (*Kimmeridge Clay Formation*) localizada na Inglaterra, durante soerguimento ocorrido no Jurássico (Emery *et al.*, 1990; Ketzer *et al.*, 2003).

3.CONTEXTO GEOLÓGICO

A caulinita analisada neste trabalho ocorre nos sedimentos triássicos inseridos no contexto geológico do Gráben Arroio Moirão (RS). Trata-se de um dos relictos relacionados à Bacia do Paraná, interpretado como porção residual da bacia, atualmente sem ligação geográfica (Ketzer, 1997; CPRM, 2006; Lima, 2014; Machado, 2014; Ferreira, 2015; Horn, 2015). Logo, torna-se importante abordar o contexto geológico da Bacia do Paraná e seus “relictos” para o melhor entendimento do presente estudo.

3.1 BACIA DO PARANÁ E SEUS “RELICTOS”

O nome Bacia do Paraná originou-se a partir do rio Paraná (Maack, 1952), constituindo uma região sedimentar do continente sul-americano que abrange além do Brasil, o Paraguai, Argentina e Uruguai, com uma área de aproximadamente 1.500.000 km² e 7.000 m de espessura de rochas sedimentares e magmáticas. Na porção brasileira é recoberta por derrames basálticos, chegando a 1.300 m de espessura e até 2.000 metros se somados as rochas intrusivas rasas (Zalán *et al.*, 1987, 1990). A bacia possui um formato ovalado, e é alongada na direção NE-SW com 1.700 km de comprimento e largura de 900 km (Milani, 1997; Milani *et al.*, 2007).

No embasamento, são reconhecidas unidades gondwânicas ou relictos, termos genéricos que referem-se a qualquer depósito pertencente ao período de estabilidade do continente Gondwana assim chamadas sequências Gondwana I e II (Milani, 1997) da Bacia do Paraná. Estas unidades estão alocadas sobre a denominação de Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), também de caráter genérico representando uma região geográfica do Rio Grande do

Sul. Neste escudo ocorrem rochas do embasamento (pré-gondwânicas) e o termo ESRG não possui qualquer significado genético ou de estabilidade tectônica. A definição das unidades isoladas que ocorrem sobre o escudo foi proposta pela CPRM (2006). A figura 2 resume a localização da Bacia do Paraná e seus relictos.

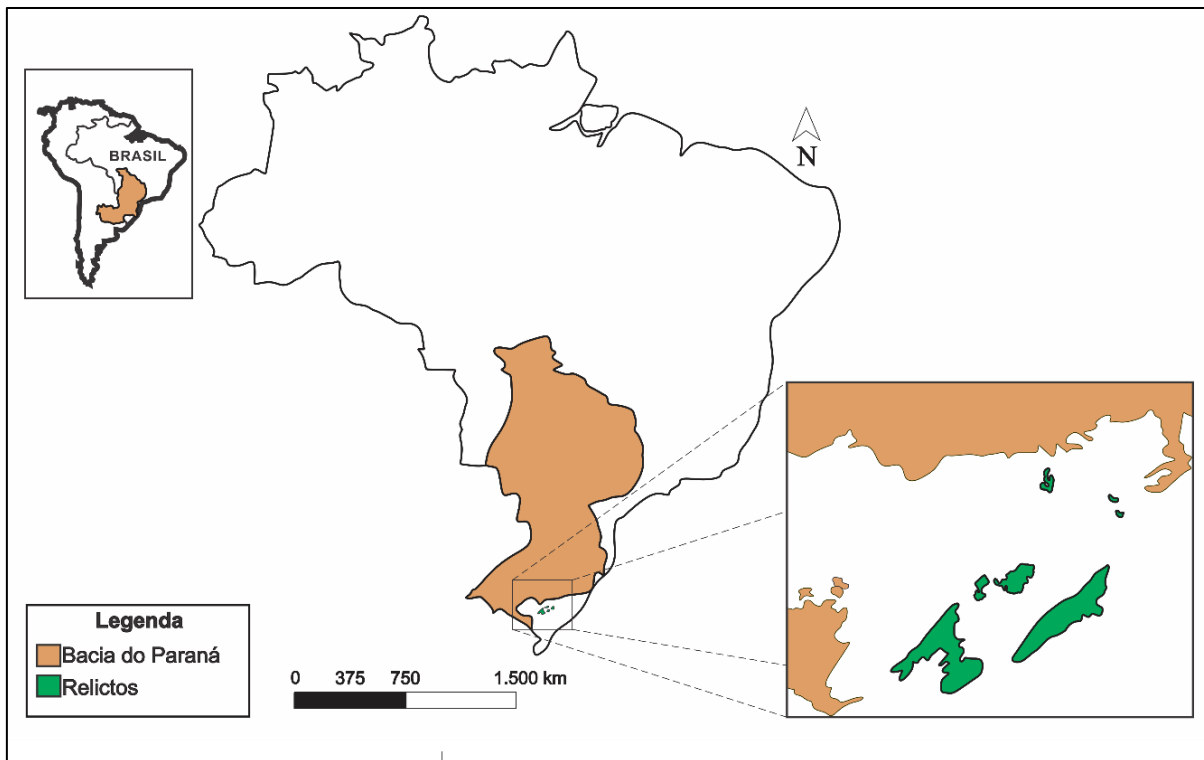


Figura 2- Mapa de localização da Bacia do Paraná e seus relictos (adaptado de Ketzer, 1997).

Dentro do contexto estratigráfico da Bacia do Paraná foram reconhecidas seis unidades de ampla escala ou supersequências que abrangem pacotes rochosos com intervalos temporais de algumas dezenas de milhões de anos e são demarcados por superfícies de discordância com abrangência inter-regional: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru (Milani, 1997; Vail *et al.*, 1977).

O conhecimento das supersequências é fundamental para o entendimento da área analisada que tem sido correlacionada com os depósitos da Supersequência Gondwana II, no qual se encaixa a Formação Santa Maria (Fig. 3).

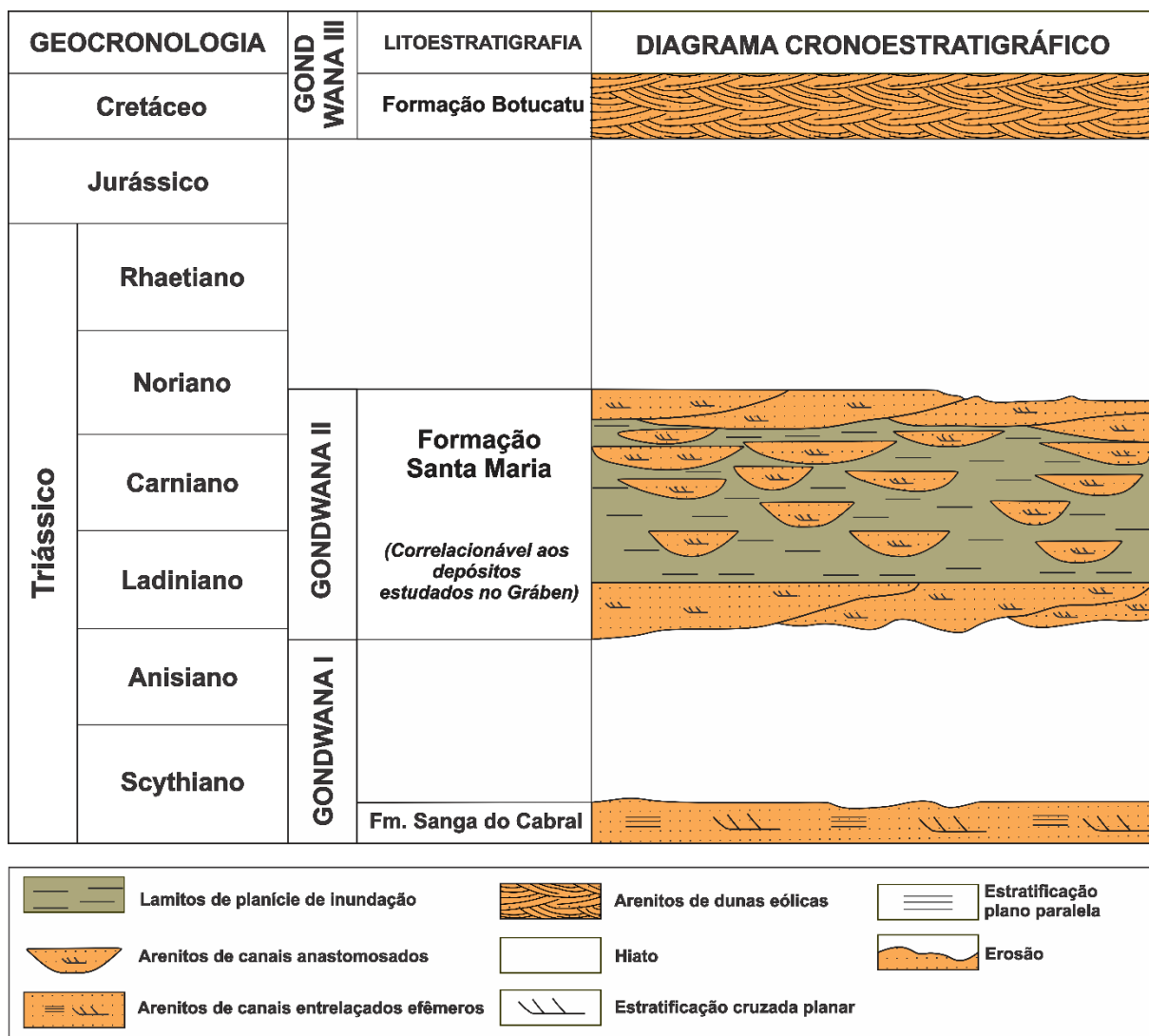


Figura 3-Litoestratigrafia e cronoestratigrafia da sucessão triássica da Bacia do Paraná (modificado de Faccini, 1989; Pierini *et al.*, 2002)

4. GRÁBEN ARROIO MOIRÃO

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Gráben Arroio Moirão faz parte de unidades gondwânicas situadas no Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG) ao sul da Bacia do Paraná (Fig.4) entre as cidades de Canguçu e Santana da Boa Vista (RS) e mostra-se circundado pelas unidades gondwânicas Boa Vista, Cerro Partido, Delfino, Amaral Ferrador, e Tabuleiro. O Gráben registra unidades triássicas sedimentares características de depósitos efêmeros de ambiente tectônico extensional (Urban, 2014; Lima, 2014).

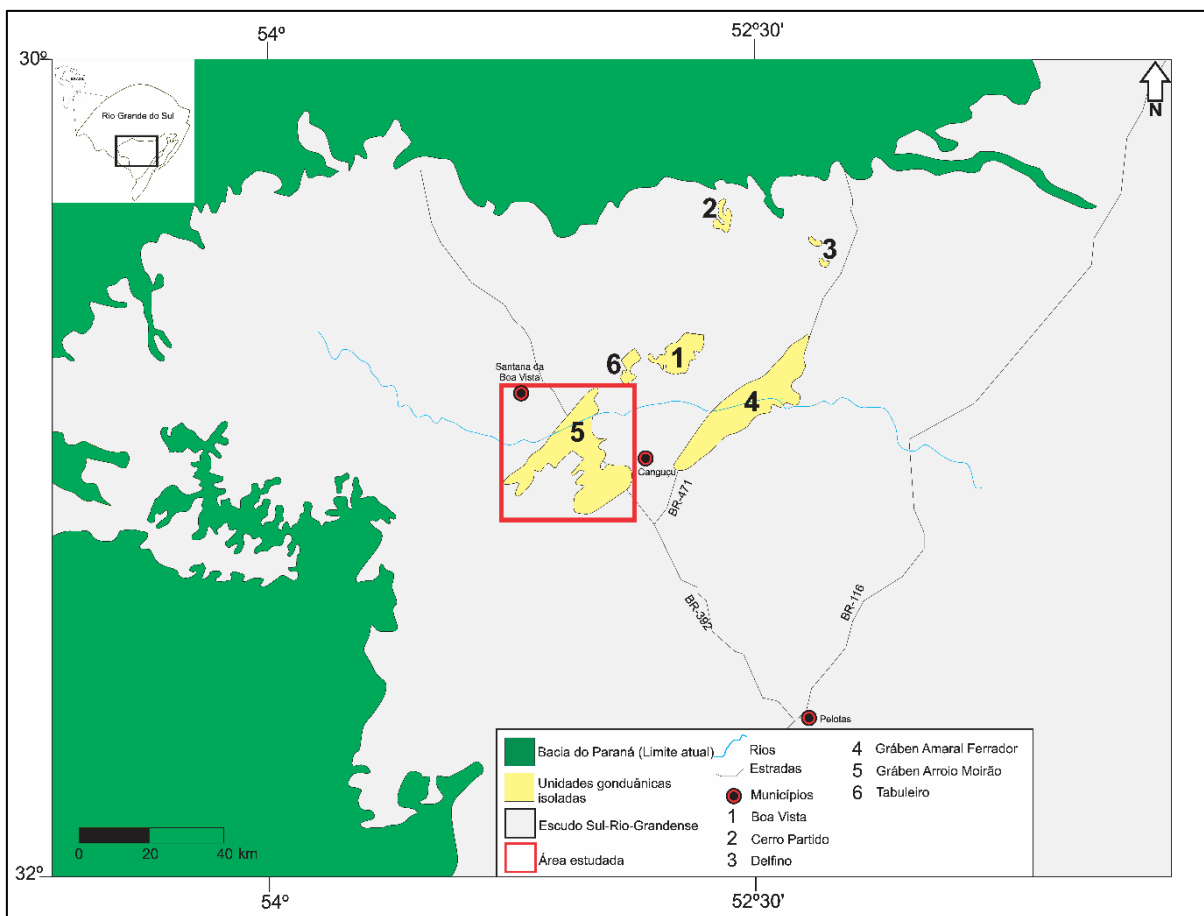


Figura 4- Mapa de localização do Gráben Arroio Moirão no Escudo Sul-Rio-Grandense, em destaque (modificado de Ketzer, 1997).

4.2 SEDIMENTAÇÃO

Para abordar o Gráben Arroio Moirão é necessário entender a evolução da sedimentação desta unidade. Sendo assim, estudos têm referido sua gênese ao período Triássico no qual, ocorreu uma distensão generalizada na porção sul do paleocontinente Gondwana, quando ocorreu a deposição da Supersequência Gondwana II (Formação Santa Maria) mediante a formação de uma bacia do tipo *rift* (Milani, 1997; Zerfass *et al.*2004). Atualmente este registro ocorre em porções isoladas no Rio Grande do Sul e no Uruguai, que de modo geral representam sedimentos pelíticos-arenosos. Vale ressaltar que durante o Triássico ocorreu o máximo de desenvolvimento do Pangeia que durante sua consolidação, resultou em soerguimento generalizado de massas continentais caracterizado por um baixo nível de base relativamente de clima árido a semi-árido com sedimentação continental (Zerfass, 2003).

As orientações das estruturas na região do Gráben Arroio Moirão seguem o mesmo sistema de falhas NE-SW e NW-SE encontradas na Bacia do Paraná. Por suas devidas similaridades, Milani (1997) insere o Gráben no contexto estratigráfico da Supersequência Gondwana II, podendo ser chamado de unidade gondwânica ou relicto da Bacia do Paraná.

No sul da América do Sul foram identificadas fases de sedimentação durante o Triássico: no Eotriássico ocorrem as amplas bacias aluviais correspondentes a Formação Sanga do Cabral e no Meso e Eotriássico expressam a Formação Santa Maria como já mostrado na figura 3.

De modo geral a Formação Santa Maria apresenta pacotes pelíticos que ocorrem predominantemente no Rio Grande do Sul, chegando também ao Uruguai. Em termos de fósseis vertebrados foram reconhecidos os presentes grupos: *Dicynodontia*, *Cynodontia*, *Pseudosuchia*, *Rhynchocephalia* e *Saurischia*, bem como plantas fósseis e invertebrados (*Crustacea* e *Insecta*).

Finalizando a sumarização do contexto da Formação Santa Maria agora adentrando ao Gráben Arroio Moirão, um dos primeiros trabalhos na região foi cunhado por Ketzer (1997) utilizando o termo Formação Caneleiras com o intuito de definir as rochas sedimentares isoladas e preservadas sobre ESRG, baseando-se apenas na cronoestratigrafia. Resumidamente ele conclui que a Formação Caneleiras decorre de uma preservada sedimentação da Bacia do Paraná entre o Permiano e o Eocretáceo, sobreposta na porção leste do ESRG, através de reativações de falhas rúpteis, gerando *cuestas* restritas em estruturas tipo gráben. Ketzer (1997) abrange seis unidades isoladas que apresentam certa correlação entre si, embasadas por descrição de campo, correlações estratigráficas regionais e a aplicação de métodos geofísicos.

No final da década de 90 foram sugeridas outras definições e assim a denominação de Formação Caneleiras de Ketzer (1997) para unidades sedimentares do gráben Arroio Moirão foi substituída, utilizando então, uma abordagem tectono-estratigráfica que integrou as unidades isoladas sobre o ESRG na região de Encruzilhada do Sul (RS). Logo, foram definidas duas sequências deposicionais correlatas às Formações Rio Bonito, Rio do Rasto e Sanga do Cabral. Essas separadas por discordâncias com gênese atrelada a reativações tectônicas do embasamento, em especial a Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, durante o Permiano Superior (Menegat *et al.*, 1993, 1995).

Litoestratigraficamente, Ketzer (1997) elucida que no Gráben Arroio Moirão a Formação Sanga do Cabral é constituída por fácies lacustres, deltaicas, fluviais e eólicas e a Formação Santa Maria possui fácies fluviais, pelitos lacustres, arenitos finos e siltitos lenticulares deltaicos.

Logo depois, Zerfass (2003) propõe um arcabouço tectono-estratigráfico mais minucioso para as sucessões continentais triássicas no Rio Grande do Sul. Basicamente o autor definiu duas supersequências deposicionais de segunda ordem, denominadas: Sanga do Cabral (Triássico Inferior) e Santa Maria (Triássico Médio a Superior). A Supersequência Sanga do Cabral registra depósitos fluviais efêmeros de baixa sinuosidade e planícies de baixo gradiente. A idade sugerida corresponde ao Induano Superior baseada em fósseis de tetrápodes, especialmente *Procolophonidae* (Lavina, 1982; Santana, 1992; Schultz, 1995; Silva, 1999). As associações de fácies da Supersequência Santa Maria sugerem associação/deposição com rios de baixa sinuosidade, deltas e lagos. A idade triássica é embasada por datações prévias desenvolvidas por Faccini *et al.* (1990), utilizando fósseis de *Rincossauros* do gênero *Hyperodapedon*.

Já CPRM, (1999, 2000) ao abordar as folhas geográficas Pedro Osório e Cachoeira do Sul descrevem a preservação das unidades na forma de morro-testemunhos entendidas agora como porções reliquiárias de uma bacia do tipo gráben, o qual destaca-se o Gráben Arroio Moirão.

A definição das unidades reliquiárias que ocorrem sobrepostas ao Escudo é embasada por dados de campo e sensoriamento remoto utilizados pela CPRM (2006) para ilustrar o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, que apresenta as seguintes nomenclaturas: Formação Rio Bonito (Cerro Partido e Delfino); Formação Sanga do Cabral (Boa Vista, Gráben Amaral Ferrador, Gráben Arroio Moirão e Tabuleiro).

As contribuições da CPRM (1999, 2000) incluíram as unidades sedimentares do gráben Arroio Moirão como abrangendo as formações Sanga do Cabral e Santa Maria. Entretanto, o mapeamento geológico da CPRM (2005, 2006) atribui aos depósitos do Gráben como correlatos à Formação Santa Maria. Lima (2014) propõe para as unidades do Gráben Arroio Moirão um modelo deposicional resultante de fluxos efêmeros de baixa densidade do tipo inunditos, concordante com Zavala *et al.* (2011).

Por fim, Horn *et al.* (2015) enquadrando estratigraficamente os depósitos do gráben Arroio Moirão como pertencentes a Supersequência Santa Maria II concordante a

nomenclatura de Zerfass (2003) embasado na descoberta de partes do esqueleto de *Rincossauro*. Neste material, o único sulco presente entre as fileiras dentárias do maxilar permitiu atribuir o material ao gênero *Hyperodapedon*, um fóssil guia da biozona *Hyperodapedon* de idade Carniana. A figura 5 demonstra o mapa geológico do Gráben Arroio Moirão.

Em termos de paleoambientes Ketzer (1997) e Faccini (2000) propõem a presença de depósitos de inunditos para o Gráben Arroio Moirão, entretanto após verificarem o pacote sedimentar aflorante na região, Ketzer (1997) definiu um sistema fluvial entrelaçado perene para estas rochas. Todavia novamente trabalhos recentes como os de Lima (2014), Borsa (2015) e Rodrigues (2015) apontaram várias características de fácies, associações e sucessões de fácies, que dão suporte a modelos de depósitos de inunditos para a região do Gráben Arroio Moirão.

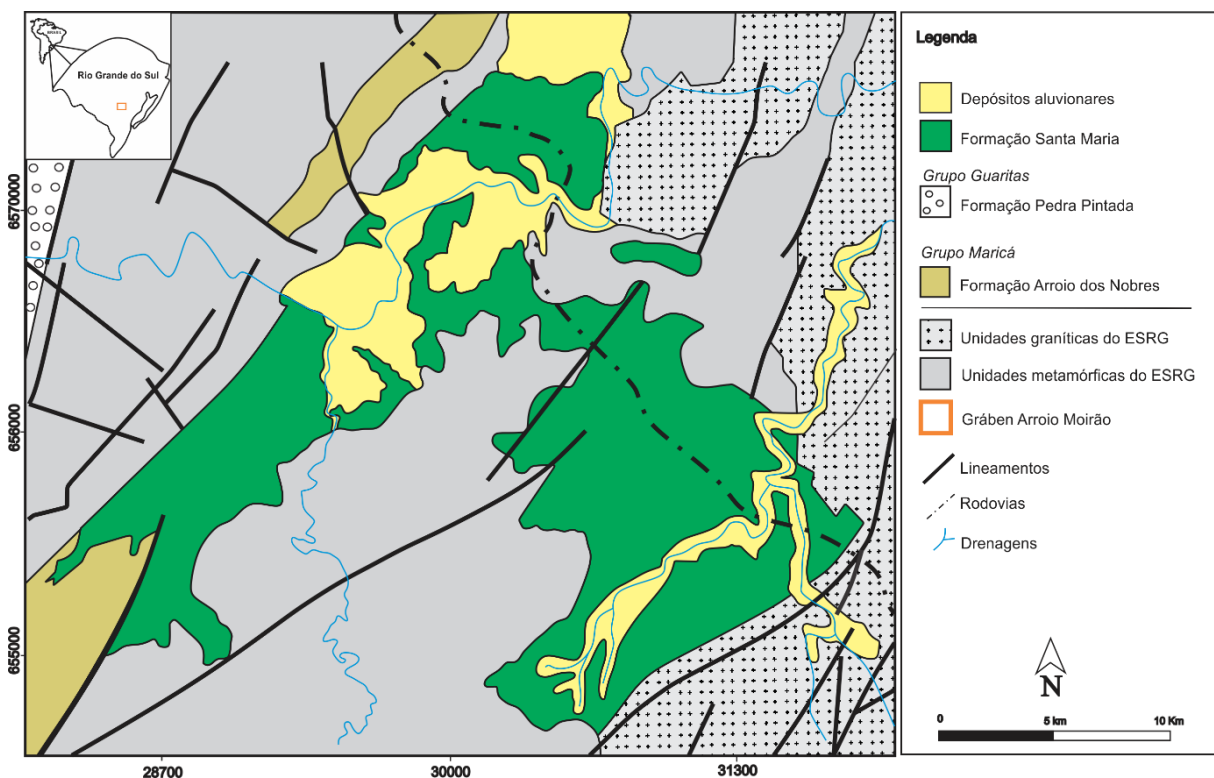


Figura 5-Mapa geológico do Gráben Arroio Moirão (modificado de CPRM, 2005).

5. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho divide-se basicamente nas etapas (Fig. 6):

- a- levantamento bibliográfico;
- b- trabalho de campo e coleta de amostras;
- c- análises específicas em laboratórios;
- d- interpretação e discussão dos resultados das análises.

A primeira etapa deste trabalho consistiu em pesquisas bibliográficas tais como livros, artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado abrangendo a Bacia do Paraná, Formação Santa Maria e o Gráben Arroio Moirão, bem como a gênese da caulinita, sua evolução e ambientes formadores.

A segunda fase decorreu na realização de trabalhos de campo. Foram confeccionados perfis colunares abrangendo as porções norte, sudoeste e sudeste do Gráben Arroio Moirão e coleta de amostras de rocha para análises posteriores bem como registro fotográfico.

A etapa de laboratório envolveu o tratamento dos dados de campo, elaboração de mapas com os pontos devidamente plotados, figuras esquemáticas, tabelas e croquis para isso foram utilizados os softwares ArcGis, Corel Draw e Microsoft Word. As amostras coletadas em campo foram submetidas a técnicas de Difractometria de Raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise granulométrica. Ainda, foram utilizadas lâminas petrográficas cedidas por Lima (2014), confeccionadas de acordo com a metodologia padrão. As lâminas foram descritas com microscópio Leitz Laborluz 12 (de aumentos entre 2,5X e 50X) sob luz natural e luz polarizada.

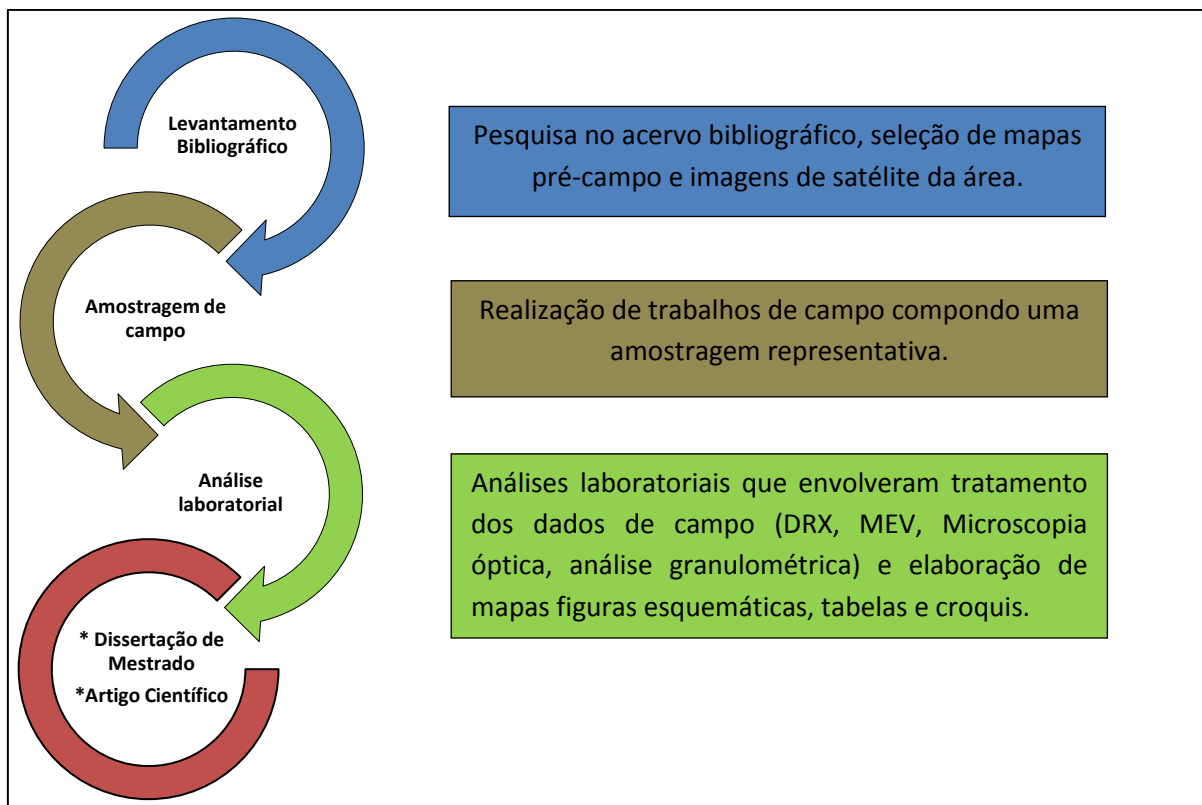


Figura 6-Fluxograma demonstrando de forma simplificada a metodologia utilizada.

A caracterização das fases mineralógicas foi obtida com a aplicação da técnica da difração de raios X (DRX) nas frações finas separadas dos sedimentos ($FF < 2 \mu\text{m}$). O difratômetro utilizado configura um Siemens D5000 Diffraktometer do Laboratório de Difractometria de Raios X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O difratômetro estava sob condições de radiação $K\alpha\text{Cu}$, 40 kV, 30 mA de corrente de filamento e intervalo de 2 a 72° (2θ). A separação da fração fina ($FF < 2 \mu\text{m}$) das amostras coletadas baseou-se nos procedimentos descritos por Alves (1987). As amostras foram pulverizadas em gral de ágata e cinco gramas do pó resultante são dispersos em 50 ml de água destilada e submetidos ao ultra-som, na presença de uma solução de pirofosfato de sódio (atua como defloculante). Na solução resultante, com o auxílio da centrífuga, separou-se a $FF < 2 \mu\text{m}$. Esta fração é depositada em duas lâminas de vidro nas quais os argilominerais são orientados segundo a técnica do esfregaço (Gibbs, 1965). As lâminas assim preparadas são secas em condições naturais.

Para a identificação dos argilominerais, analisou-se inicialmente uma destas lâminas (denominadas normais). A outra lâmina foi colocada num dessecador contendo

etilenoglicol ($\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$). O dessecador foi colocado em estufa aquecida a 60°C por 8 horas, obtendo-se então a amostra/lâmina glicolada para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos. Após a análise desta segunda lâmina no difratômetro, procedeu-se seu calcinação por 2 horas em um forno a 500°C com o objetivo de se obter a amostra/lâmina calcinada. Esta auxilia na avaliação dos argilominerais que colapsam a sua estrutura nestas condições, permitindo uma identificação mais precisa. A partir da análise conjunta dos difratogramas obtidos com a amostra natural, glicolada e aquecida e da comparação deles com padrões do banco de dados do computador (PDF2) através do programa DiffracPlus® Siemens-Bruker-Axs, é possível, reconhecer os argilominerais presentes na $\text{FF} < 2\ \mu\text{m}$.

Durante o procedimento da microscopia eletrônica de varredura MEV, a preparação dos fragmentos seguiu o procedimento descrito por Mizusaki (1986) onde os fragmentos milimétricos de rocha são colados (com fita dupla face) em porta amostras especiais (dimensões de aproximadamente $5 \times 6\ \text{mm}$) e metalizados. Na metalização, a preparação é recoberta com uma película metálica de ouro, com espessura média de $100\ \text{Å}$, o que a torna superficialmente condutora. As amostras foram analisadas em aumentos variáveis e fotodocumentadas com um microscópio eletrônico de varredura PHILIPS modelo XL30, pertencente ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da PUC. Associado ao MEV foi utilizado o espectrômetro de energia dispersiva EDS que permite obter dados químicos semiquantitativos.

A análise granulométrica foi utilizada para determinar a distribuição das frações granulométrica de cada amostra, ou em outras palavras, a porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de grãos representa na massa seca total. Inicialmente procedeu-se a secagem das amostras afim da retirada de umidade. Posteriormente as mesmas foram desagregadas e passaram pelo processo de quarteamento, que decorre na realização da pesagem inicial das amostras com balança de precisão, então, realiza-se a passagem úmida da amostra desagregada em malha de 0,062, recolhido o material líquido com a fração de 0,062 (silte e argila) para a proveta de 1000ml. O material grosso que não passou pela malha é repesado para obter o peso dos finos. Adiante ocorre a pipetagem de finos do líquido da proveta para determinar a porcentagem de argila e silte. Seguindo, ocorre o peneiramento dos grossos para obter os tamanhos das areias. Finalmente, junta-se o peso dos finos e dos grossos. Estes resultados são inseridos no software Panicom para obter a porcentagem simples

e acumulada com interpretação de Shepar para classificar a amostra. O método para os grossos segue o modelo de Wentworth (1922) e Krumbein (1934) de escalas. O método para os finos segue o modelo de lei de Stokes (1851) de decantação.

6. RESULTADOS

A partir do presente trabalho foi possível definir três perfis colunares abrangendo as porções norte, sudoeste e sudeste do gráben, afim de realizar uma amostragem representativa, tanto em área geográfica, quanto verticalmente e lateralmente. As amostras de rocha abrangem arenitos, siltitos e lamitos (Fig. 7A, B). Ao serem analisadas em laboratório observou-se a presença do mineral caulinita em todas as amostras (Fig. 7C). Apresenta-se substituindo minerais detríticos como feldspatos e micas, bem como clastos argilosos e por vezes preenchendo poros.

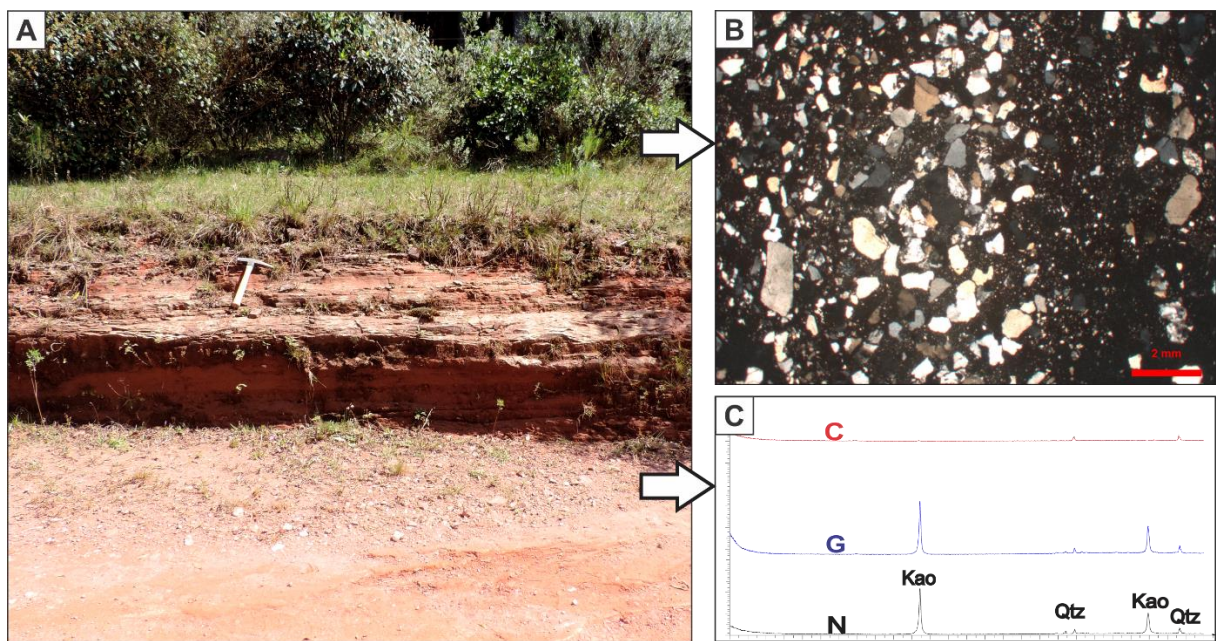


Figura 7- A) Afloramento de lamito; B) Presença de caulinita substituindo minerais detríticos como feldspatos e micas, bem como clastos argilosos e por vezes preenchendo poros, observada em microscopia óptica; C) Difratoograma identificando caulinita (Kao).

Em imagens obtidas por meio de MEV observa-se a caulinita tanto em forma incipiente substituindo clastos e com placas em formação, quanto a caulinita bem formada com placas pseudo-hexagonais compondo estrutura em *booklets* (Figs. 8A, B).

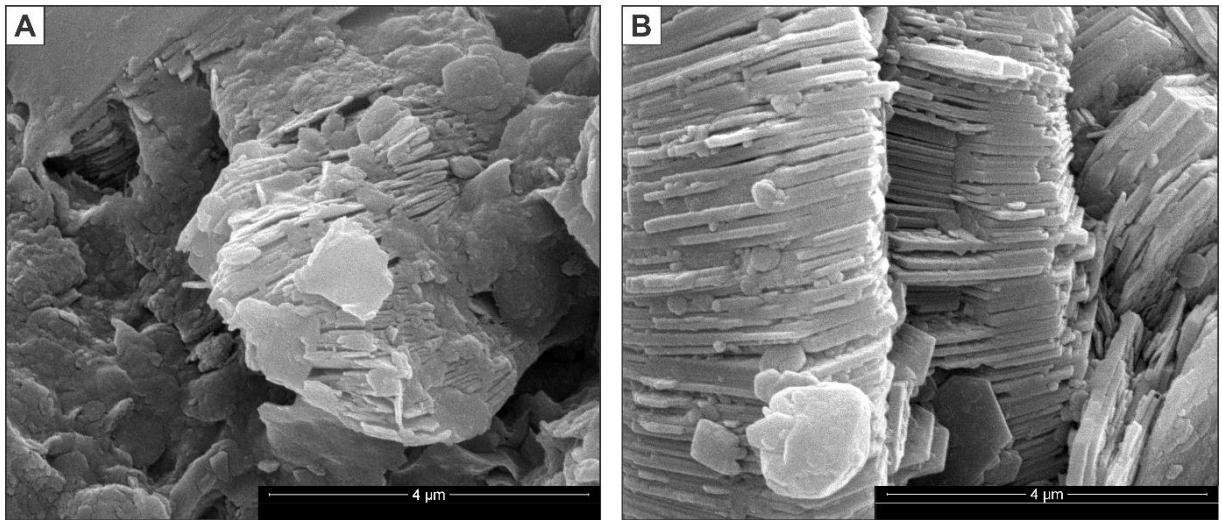


Figura 8- Detalhe ao microscópio eletrônico de varredura. A) Caulinita mal formada, incipiente substituindo mineral detrítico; B) Caulinita bem formada, estrutura típica de *booklets*.

7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A partir dos dados e técnicas utilizadas foi possível caracterizar a presença da caulinita distribuída em toda a seção estratigráfica do Gráben Arroio Moirão tanto em área geográfica quanto lateralmente e verticalmente com expressiva porcentagem nas rochas. A ocorrência da caulinita ocorre a partir da alteração de minerais detríticos nas litologias como feldspatos, micas e fragmentos de argila. Também é visível que ocorre diferentes estágios de formação do mineral desde uma caulinita incipiente, substituindo minerais, passando por uma caulinita mais desenvolvida já com lamelas definidas, mas ainda finas, até uma caulinita bem desenvolvida com estrutura vermicular e em *booklets* mais espessas em relação as anteriores.

Devido a presença exclusiva de contatos pontuais entre os grãos que compõem o arcabouço é possível inferir que houve compactação leve. A espessura aflorante no Gráben e a inferida em subsuperfície mostram que não ocorreu soterramento profundo. Ademais, é impossível não lembrar a semelhança entre os depósitos da Formação Santa Maria e os do Gráben Arroio Moirão já extensivamente comentado por diversos autores. Em relação aos argilominerais a Formação Santa Maria apresenta abundante presença de interestratificados de illita/esmectita e porcentagens ínfimas de caulinita (Pierini *et al.*, 2002). No presente trabalho o resultado é inverso, indicando que possivelmente o isolamento do Gráben Arroio Moirão ocorrido no Gondwana propiciou exposição ao clima diferente dos depósitos da Formação Santa Maria.

Portanto, a ocorrência da caulinita substituindo grãos detríticos nos litotipos do gráben foi desencadeada por processos pós-depositivos de intemperismo/telodiagênese, o qual ainda não é possível definir um intervalo de tempo preciso para a sua formação, mas é possível observar diferentes estágios de formação, desde fases incipientes até uma caulinita bem formada e como diferentes dimensões.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F. F. M.; Melo, M. S. A., 1981. Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo – IPT. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo: IPT, 1981, v.1, p.46-81. Escala:1:500.000.* Blatt, H., Middleton, G., Murray, R., 1980. *Origin of Sedimentary Rocks: Second Edition*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Ill., 782 p.

Alves, D.B. 1987. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobras. *Boletim Geociências daPetrobras*, 1(2):157-175.

Bauluz, B., Yuste, A., Mayayo, M. J., Canudo, J. I., 2014. Early kaolinization of detrital Weald facies in the Galve Sub-basin (Central Iberian Chain, north-east Spain) and its relationship to palaeoclimate. *Cretaceous Research*, 50, 214-227.

Beaufort, D., Cassagnabere, A., Petit, S., 1998. Kaolinite-to-dickite reaction in sandstone reservoirs. *Clay Mineral.*, 33, 297–316.

Berner, R.A., 1980. *Early Diagenesis: a Theoretical Approach*. Princeton University Press, Princeton, 241 pp.

Blatt, H., Middleton, G., Murray, R., 1980. *Origin of Sedimentary Rocks: Second Edition*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Ill., 782 pp.

Brindley, G.W., Brown, G., 1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Monograph 5, Mineralogical Society, London, 495 p.

Casagrande, J, 2010. *Análise estratigráfica e estrutural do intervalo carbonoso portador de CBM –Eo-permiano da Bacia do Paraná*. Porto Alegre, 137p. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Cassagnabere, A., 1998. *Caractérisation et interpretation de la transition kaolinite-dickite dans les reservoirs à hydrocarbures de Froy et Rind (Mer du Nord), Norvège*. 238 p, PhD thesis, University of Poitiers.

Chaudhri, A. R., Singh, M., 2012. Clay minerals as climate change indicators- A case study. *American Journal of Climate Change*, 1, 231-239.

Chamley, H., 1989. *Clay sedimentology*. Springer, Berlin-Heidelberg, 623 p.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 1999. *Mapa Geológico da Folha de Pedro Osório, Folha SH.22-Y-C*. Responsáveis técnicos Ramgrab, G.E. & Wildner, W. Brasília, CPRM, escala 1:250.000.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2000. *Mapa Geológico da Folha de Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A*. Responsáveis técnicos Porcher, C.A. & Lopes, R.C. Brasília, CPRM, escala 1:250.000.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2005. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Organizado por Wilder, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. Porto Alegre, CPRM, escala 1:750.000. 1 CD-ROM.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2006. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:750.000.

Curtis, C.D., Coleman, M.L., Love, L.G., 1986. Controls on the precipitation of early diagenetic calcite, dolomite and siderite concretions in complex depositional sequences. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, 2321–2334.

Da Luz, A. B.; Damasceno, E. C., 1993. *Caulim um Mineral Industrial Importante*. CETM/CNPq, Série Tecnologia Mineral No. 65, Rio de Janeiro, RJ. 29p.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1998. *An introduction the Rock-Forming Minerals*. Longman, London, 528p.

DMPN. Departamento Nacional de Produção Nacional. 2001. *Balanço mineral brasileiro*. CAULIM. Responsável: Silva, S.P.

Ehrenberg, S.N., Aagaard, P., Wilson, M.J., Fraser, A.R., Duthie, D.M.L., 1993. Depth-dependent transformation of kaolinite to dickite in sandstones of the Norwegian continental shelf. *Clay Mineral*, 28: 325–352.

Emery, D., Myers, R.J., Young, R., 1990. Ancient subaerial exposure and freshwater leaching in sandstones. *Geology*, 18: 1178–1181.

Faccini, U.F., 1989. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: Uma Análise Sobre o Ponto de Vista das Sequências Depositionais*. Porto Alegre, 130p. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ferreira, M. L., 2015. *Análise tectônica dos relictos da Bacia do Paraná sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense*. Porto Alegre, 97p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Glass, H. D., 1958. Clay mineralogy of Pennsylvanian sediments in southern Illinois, in Swineford, A., ed., *Clays and clay minerals: Nat. Research Council*, 566: 227-241.

Glass, H. D., Potter, P. E., Siever, R., 1956. Clay mineralogy of some basal Pennsylvanian sandstones, clays and shales: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull*, 40: 750-754

Grim, R. E. 1968. *Clay mineralogy*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 596p.

Guggenheim, S., Martin, R.T., 1995. Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clay and Clay Minerals*. 43 (2): 255-256.

Hallam, A., Grose, J.A., Ruffell, A.H., 1991. Paleoclimatic significance of changes in clay mineralogy across the Jurassic-Cretaceous boundary in England and France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 81: 173-187.

Horn, B. L. D., Schultz, C. L. Figueiredo, A. E. Q., Motta, F. A., 2015. Recognition of the Hyperodapedon assemblage zone (Late Triassic) in a relictual occurrence over the Sul-Rio-Grandense shield. *Revista Brasileira de Paleontologia*. Sociedade Brasileira de Paleontologia, 6: 91-96.

Jackson, M.L., 1969. Weathering of primary and secondary minerals in soils. *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci.*, 4: 281-292.

Keller, W.D., 1970. Environmental aspects of clay minerals. *Sediment. Petrol.*, 40: 788-813.

Ketzer, J.M.M., 1997. *Cronoestratigrafia das Unidades Gonduânicas Preservadas sobre Escudo Sul-Rio-Grandense (Formação Caneleiras)*. Porto Alegre, 215p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ketzer, J.M., Morad, S., Nystuen, J.P., De Ros, L.F., 2003. The role of the Cimmerian Unconformity (Early Cretaceous) in the kaolinitization and related reservoir-quality evolution in Triassic sandstones of the Snorre Field, North Sea. *Clay Mineral Cements in Sandstones, International Association of Sedimentologists Special Publication*. (Ed. by R.H. Worden and S. Morad), Blackwell Publishing, Oxford, 34: 361–382.

Kisch, H.J., 1983. Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) and incipient metamorphism in clastic rocks. *Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks* (G. Larsen and G.V. Chilingareds). Elsevier, New York. 289-493.

Krumbein, W.C., 1934. Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4: 65–77

Lanson B., Beaufort D., Berger G., Petit S., Lacharpagne J.C., 1995. Evolution de la structure cristallographique des minéraux argileux dans le réservoir gréseux Rotliegend des Pays-Bas. *Bulletin de Centre Recherche Exploration-Production*, 19: 24 -265.

Lanson B., Beaufort D., Berger G., Bauer A., Cassagnabe A., Meunier A., 2002. Authigenic kaolin and illitic minerals during burial diagenesis of sandstones: a review. *Clay Miner*, 37: 1–22.

Lavina, E.L., 1982. *Paleontologia, Estratigrafia e Bioestratigrafia da Formação Sanga do Cabral (Triássico Inferior do Grupo Rosário do Sul) na Folha de Catuaba, RS*. Porto

Alegre, 230p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lazar, O.R., Bohacs, K.M., Macquaker, J.H.S., Schieber, J., Demko, T.M., 2015. Capturing key attributes of fine-grained sedimentary rocks in outcrops, cores, and thin sections: Nomenclature and description guidelines: *Journal of Sedimentary Research*, 85: 230-246.

Lima, L. G., 2014. *Análise de Fácies e Modelos Depositionais de Unidades Triássicas da Bacia do Paraná Sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense na Região do Gráben Arroio Moirão, RS: Em Busca de Marcadores Estratigráficos*. Porto Alegre, 93p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Maack, R., 1952. Die Entwicklung der Gondwana Schichten Suedbrasilien und ihre Beziehungen zur Karroo Formation Suedafrikas. In: INTERNATONAL GEOLOGICAL CONGRESS OF ALGIERS, 19. Algiers, Proceedings... IUGS, Algiers, 19: 339-372.

Machado, J. P., 2014. *Estruturação do Gráben Arroio Moirão, Santana da Boa Vista, RS: Tectônica e geocronologia*. Porto Alegre, 75p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Meunier, A., 2005. *Clays*. Springer Berlin Heidelberg New York, 472p.

Menegat, R., Scherer, C.M.S., 1993. Formação Caneleiras (RS): Devoniana ou Permotriássica?; Critérios para o enquadramento estratigráfico de sequências isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., Rio Claro(SP). Resumos expandidos IG/UNESP. P. 90-93.

Menegat, R., Scherer, C.M.S., Ketzer, J.M.M., Caravaca, G., 1995. Discordância entre a Formação Rio Bonito e a Sequência Rio do Rastro/ Sanga do Cabral da Bacia do Paraná na região de Encruzilhada do Sul, RS: Implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 2., Porto Alegre. Boletim de Resumos CIGO/UFRGS. p. 42-44.

Milani, E. J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Porto Alegre, 225p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Milani, E.J., Melo, J.H.G.; Souza, P.A., Fernandes, L.A., França, A.B., 2007. *Bacia do Paraná*. (Boletim de Geociências da Petrobras) 15(2): 265-287.

Milani, E. J., 2000. Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a Evolução Geológica da Bacia do Paraná. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. p. 275-302

Milliken, K.L., 2014. A compositional classification for grain assemblages in fine-grained sediments and sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*, 84: 1185-1199.

Mizusaki, A. M. P., 1986. A utilização do microscópio eletrônico de varredura no estudo de rochas reservatório de hidrocarbonetos. SEMINÁRIO DE GEOLOGIA, Rio de Janeiro, Petrobrás/Depex, 1: 322-331.

Morad, S., Ben Ismail, H., Al-Aasm, I.S., De Ros, L.F., 1994. Diagenesis and formation-water chemistry of Triassic reservoir sandstones from southern Tunisia. *Sedimentology*, 41: 1253–1272.

Murray, H. H., 2007. *Applied clay mineralogy: occurrences, processing and applications of kaolins, bentonites, palygorskite, sepiolite, and common clays*. London: Elsevier, 180p.

O’brain, N.R., Slatt, R.M., 1990. *Argillaceous rock atlas*: Springer-Verlag, 141 p.

Pellenard, P., Deconinck, J.F., 2006. Mineralogical variability of Callovoe-Oxfordian clays from the Paris Basin and the Subalpine Basin. *Comptes Rendus Geoscience* 338, 854-866.

Pe-Piper, G., Dolansky, L., Piper, D.J.W., 2005. Sedimentary environment and diagenesis of the Lower Cretaceous Chaswood Formation, southeastern Canada: The origin of kaolin-rich mudstones. *Sedimentary Geology*, 178: 75-97.

Pierini, C., Mizusaki, A.M.P., Scherer, C., Alves, D., 2002. Integrated stratigraphic and geochemical study of the Santa Maria and Caturrita Formations (Triassic of the Paraná Basin), southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15: 669-681.

Piper, D.J.W., Hundert, T., Pe-Piper, G., Okwese, A.C., 2009. The roles of pedogenesis and diagenesis in clay mineral assemblages: Lower Cretaceous fluvial mudrocks, Nova Scotia, Canada. *Sedimentary Geology*, 213: 51-63.

Potter, P.E., Maynard, J.B., Depetris, P.J., 2005. *Mudstone & mudstones: Introduction and overview*: Springer, 297p.

Ramos, V. A.; Jordan, T. E.; Allmendinger, R. W.; Mpodozis, C.; Kay, J. M.; Cortés, J. M.; Palma, M., 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine- Chilean Andes. *Tectonics*, Washington, 5 (6): 855-880.

Raucsik, B., Varga, A., 2008. Climato-environmental controls on clay minerals of the Hettangian-Bajocian succession of the Mecsek Mountains (Hungary): An evidence for extreme continental weathering during the early Toarcian oceanic anoxic event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 265: 1-13.

Righi, D., Meunier, A., 1995. Origin of clays by rock weathering and soil formation. In: Velde, B. (Ed.), *Origin and mineralogy of clays. Clays and the environment*. Springer, Berlin Heidelberg/ New York, 43-461.

Rodrigues, Y. C., 2015. Caracterização de arenitos de depósitos de efêmeros de unidades triássicas na região do Gráben Arroio Moirão, RS: potenciais análogos de reservatórios. Porto Alegre 75p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ross, C. S., Kerr, P. F., 1930. The kaolin minerals: U. S. *Geol. Survey Prof. Paper*, 165: 151-176

Ruffell, A., Mckinley, J.M., Worden, R.H., 2002. Europe Comparison of clay mineral stratigraphy to other proxy palaeoclimate indicators in the Mesozoic of NW Europe. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 360: 675- 693.

Ruiz Cruz, M. D., 1994. Diagenetic Development of Clay and Related Minerals in Deep Water Sandstones (S. Spain): Evidence of Lithological Control. *Clay Minerals*, 29, 93-104

Ruiz Cruz, M. D., 2007. Genesis and evolution of the kaolin-group minerals during the diagenesis and the beginning of metamorphism. In: Fernando Nieto and Juan Jiménez-Millán, eds. "Diagenesis and Low-Temperature Metamorphism. Theory, Methods and Regional Aspects" Seminarios SEM, 3: 41-52.

Ruiz Cruz, M.D., Andreo, B., 1996. Genesis and Transformation of Dickite in Permo-Triassic Sediments (Betic Cordilleras, Spain). *Clay Minerals*, 31: 133-152.

Santana, R.G., 1992. Tetrápodes fósseis da formação Sanga do Cabral (Eotriássico do RS). Porto Alegre, 95p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Schnyder, J., Ruffell, A., Deconinck, J.F., Baudin, F., 2006. Conjunctive use of spectral gamma-ray logs and clay mineralogy in defining late Jurassic early Cretaceous palaeoclimate change (Dorset, U.K.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 229: 303-320.

Schultz, C.L., 1995. Subdivisão do Triássico do Rio Grande do Sul com base em microfósseis: problemas e perspectivas. *Com. Mus. Cien. Tec*, 1: 25– 32.

Shelton, J. W., 1964. Authigenic kaolinite in sandstone. *Journal of sedimentary petrology*, 34 (1) 102-111.

Silva, S.D., 1999. Biostratigraphy of the Permian–Triassic boundary in southern Brazil. *Ameghiniana*, 36 (4): 10.

Singer, A., 1980. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in soils and weathering profiles. *Earth-Sci. Rev.*, 15: 303-326.

Singer, A., 1984. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments – a review. *Earth-Sci. Ver.*, 21: 251 – 293.

Urban, C., 2014. *Sistemas Depositionais Efêmeros em Bacias Extensionais*. Porto Alegre, 60p. Monografia de Qualificação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Stokes, G.G., 1851. *On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums*: Cambridge Philosophical Society, *Transactions*, 9 (8): 287p.

Tucker, M. E., 2001, *Sedimentary Petrology*, 3rd ed.: Oxford, UK, Blackwell Science, 262p.

Vail, P.R., Mitchum, R.M. Jr., Thompson, S., Iii, 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part four: global cycles of relative changes of sea level. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 26: 83–98.

Waldmann, S., Gaupp, R., 2016. Grain-rimming kaolinite in Permian Rotliegend reservoir rocks. *Sedimentary Geology*, 335: 17-33.

Weaver, C.E. 1989. *Clays, Muds, and Shales*. Amsterdam: Elsevier, 819 p.

Wentworth, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377–392.

Worden, R.H., Morad, S., 2003. Clay minerals in sandstones: a review of the detrital and diagenetic sources and evolution during burial. In: Worden, R.H., Morad, S. (Eds.), *Clay Mineral Cement in Sandstones. International Association of Sedimentologists Special Publication*, 34: 3–41.

Zalán, P.V., Wolff, S., Conceição, J.C.J., Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, V.T., Zanotto, O.A., 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3. Curitiba, PR. Anais... Curitiba, SBG- Núcleo PR, 1987. 1: 441-477.

Zalán, P.V., Wolff, S., Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Conceição, J.C.J., Appi, V.T., Neto, E.V.S, Cerqueira, J.R., Marques, A., 1990. The Paraná Basin, Brazil. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 5(1): 681-707.

Zavala, C., Arcuri, M., Di Meglio, M., Gamero Diaz, H., Contreras, C., 2011. A genetic facies tract for the analysis of sustained hyperpycnal flow deposits. In: R. M. Slatt and C. Zavala. (eds.). 2011. *Sediment transfer from shelf to deep water - Revisiting the delivery system: AAPG Studies in Geology*, 61: 31–51.

Zerfass, H., 2003. *História tectônica e sedimentar do Triássico da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina)*. Porto Alegre, 191p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Zerfass, H.; Chemale Jr, F.; Schultz, C.L.; Lavina, E. L., 2004. Tectonics and sedimentation in Southern South America during Triassic. *Sedimentary Geology*, 166 (3): 265-292.

9. CARTA DE SUBMISSÃO

[Geociencias] Agradecimento pela Submissão



Prof. Dr. Norberto Morales <revigeoc@rc.unesp.br>

Hoje, 20:45

Você ▾

Sr. Isaque Conceição Rodrigues da Silva,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "CAULINITA EM DEPÓSITOS TRIÁSSICOS: UM EXEMPLO NO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO (SUL DO BRASIL, RS)" para Geosciences = Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/author/submission/12149>

Login: isaque

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Prof. Dr. Norberto Morales
Geosciences = Geociências

Geosciences = Geociências

<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias>

10. ARTIGO

CAULINITA EM DEPÓSITOS TRIÁSSICOS: UM EXEMPLO NO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO (SUL DO BRASIL, RS)

KAOLINITE IN TRIASSIC DEPOSITS: AN EXAMPLE AT ARROIO MOIRÃO GRABEN (SOUTHERN BRAZIL, RS)

*Isaque Conceição Rodrigues da SILVA¹, Ana Maria Pimentel MIZUSAKI¹, Lais Gabrielli LIMA,¹

(1) UFRGS, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, 91509-900 – Porto Alegre (RS). Endereços eletrônicos: isaquerodrigues.29@gmail.com, ana.mizusaki@ufrgs.br, lais.gabrielli@gmail.com;

*Autor de correspondência

Introdução
A caulinita
Contexto Regional
Localização
Materiais, Métodos e Técnicas
Resultados
Discussões
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO –O Gráben Arroio Moirão (RS) relicto de idade triássica, correlato a Formação Santa Maria da Bacia do Paraná está inserido sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. Neste gráben afloram arenitos, siltitos e lamitos avermelhados com variado grau de seleção, porém com predominância de fração fina. A partir dos perfis levantados nos diversos setores do gráben, foram realizadas análises laboratoriais que indicaram a presença do argilomineral caulinita desde a base até o topo da seção, bem como em todas as amostras. O argilomineral apresenta porcentagens semiquantitativas que variam de 7 a 25% e apresenta diferentes estágios de formação. A caulinita está inserida em um contexto de grãos detríticos que possuem predominantemente contatos pontuais que refletem uma compactação leve para o arcabouço das rochas do gráben, estas características indicam processos de soterramento não muito profundo enquadrado em fase de eodiagênese. Portanto, estes pacotes após sofrerem o processo eodiagenético foram soerguidos pela telodiagênese, expondo as rochas a alteração superficial, tal como a ação do clima, principalmente pela infiltração de água meteórica que permeia no sistema poroso das rochas, bem como se apropria de falhas e fraturas. Estes subsídios propiciaram aos depósitos do gráben um processo de caulinitização generalizada, iniciada provavelmente após o período Triássico.

Palavras-chave: Caulinita, Triássico, Gráben Arroio Moirão

ABSTRACT- Arroio Moirão Graben (RS), a relic of triassic age, correlated to the Santa Maria Formation from Paraná Basin, is inserted on the Sul-Rio-Grandense Shield. In this graben, outcrops redish sandstones, siltstones and claystones showing a varied degree of selection, however fine grains predominance is evident. From the profile development at various portions of the graben, laboratory analyzes were performed, and the results indicated the kaolinite presence kaolinite from the bottom to the top, all over the section, as well as in all the samples. Kaolinite is present in percentages that vary from 7 to 25% (semiquantitative) and it has different stages of formation: Kaolinite is inserted in the context of detrital grains that have predominantly point contacts reflecting a slight packing to the framework of the graben rocks, these characteristics indicate a not so deep burial inside eodiagenesis process. Therefore, these deposits after going through eodiagenetic process were uplifted by the telodiagenesis, exposing the rocks to superficial alteration, such as climate action, specially infiltration of rainwater that permeates the porous system of the rocks, as well as faults and joints existent. These subsidies generate to the graben deposits a widespread kaolinization process, probably started after the Triassic period.

Keywords: Kaolinite, Triassic, Gráben Arroio Moirão

INTRODUÇÃO

O estudo sobre o argilomineral caulinita em ambientes siliciclásticos tem mostrado que sua formação pode ser causada por diferentes fatores. De forma sucinta a caulinita pode ser enquadrada como autigênica ou atrelada a processos diagenéticos, inserida nas fases de eodiagênese ou telodiagênese (Hancock & Taylor, 1978; Lanson *et al.*, 2002; Worden & Morad, 2003; Bauluz *et al.*, 2014; Waldmann & Gaupp, 2016). De qualquer forma, é consenso que a formação da caulinita é inerente a processos superficiais continentais na crosta terrestre e demanda percolação de água meteórica ou de água em subsuperfície (Chamley, 1989; Blatt *et al.*, 1980; Ruiz Cruz & Andreo, 1996; Ruiz Cruz, 2007).

O argilomineral caulinita já havia sido identificado e caracterizado nos depósitos da Formação Santa Maria (sequência correlata aos depósitos do Gráben Arroio Moirão) na Bacia do Paraná (Pierini *et al.*, 2002). No Gráben Arroio Moirão, este argilomineral apenas tem sido referido de forma sucinta por alguns autores (Rodrigues, 2015; Borsa, 2015; Lima, 2014, 2016). As características, disposição e abrangência da distribuição da caulinita mostram-se praticamente nulas no registro bibliográfico.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo a caracterização, disposição e abrangência vertical e lateral da caulinita nos depósitos sedimentares do Gráben Arroio Moirão, bem como propor as possíveis condições para sua formação nestes depósitos triássicos.

A CAULINITA

A caulinita compreende um argilomineral que compartilha sua fórmula química $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$ com os polimorfos dickita e nacrita. Este argilomineral pode ser formado por alteração de rochas em contato com águas meteóricas e intemperismo concomitante próximo a superfície terrestre gerando assim a caulinita autigênica (Kantorowicz, 1984; Lanson *et al.*, 2002). Ocorre também por deposição e soterramento leve na eodiagênese ou ainda por inversão estrutural na telodiagênese (Chamley, 1989; Emery *et al.*, 1990; Worden & Morad 2003).

O argilomineral é formado sob clima semi-árido a úmido, atrelado a constante interação com água meteórica ou de subsuperfície, sendo gerado a partir da alteração de minerais aluminosos como plagiocásio, k-feldspato, mica, além de fragmentos de rochas e clastos de argila. A sua formação ocorre por substituição de grãos detríticos a partir de intemperismo ou advindo da precipitação de íons presentes na água dos poros (Emery *et al.*, 1990; Worden & Morad, 2003).

A quantidade de caulinita presente é determinada principalmente pelo volume de minerais aluminosos instáveis, pelo influxo de água meteórica em contato com os grãos da rocha, pela fluidez no corpo rochoso e a própria química da água (Jackson, 1969; Ehrenberg, 1991; Molenaar *et al.*, 2015)

CONTEXTO REGIONAL

O Gráben Arroio Moirão apesar de não pertencer geograficamente a Bacia do Paraná tem sido remetido ao contexto da mesma. A Bacia do Paraná, situada na região centro-sul do Brasil, compreende uma área de aproximadamente 1,5 milhões de km² e 7.000 m de espessura de rochas sedimentares magmáticas. Além do território brasileiro a bacia também abrange o norte do Uruguai, o nordeste da Argentina e o leste do Paraguai (Zalán *et al.* 1987, 1990) (Fig. 1).

Inserir Figura 1

O Gráben Arroio Moirão por estar próximo do contexto da Bacia do Paraná é então correlacionado com a mesma por diversos autores (Ketzer, 1997; CPRM, 2006; Machado, 2014; Borsa, 2015; Lima, 2016).

A Bacia do Paraná apresenta uma evolução estratigráfica demarcada por seis supersequências (Vail *et al.*, 1977) de abrangência inter-regional denominadas por Milani (1997) de: Rio Ivaí, Paraná; Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru.

A área estudada tem sido correlacionada mais especificamente com os depósitos da Supersequência Gondwana II, no qual se encaixa a Formação Santa Maria, portanto, será dado maior enfoque a esta porção da litoestratigrafia (Fig. 2).

Inserir Figura 2

A área estudada está inserida no conjunto de seis unidades isoladas ao sul da Bacia do Paraná denominadas de “unidades gondwânicas” ou “relictos” (Fig. 3). Estes termos possuem caráter genérico referindo-se a qualquer depósito pertencente ao período de estabilidade do continente Gondwana (Milani, 1997).

Estas unidades estão alocadas sobre o de Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), uma região geográfica do Rio Grande do Sul no qual, ocorrem rochas do embasamento (CPRM, 2006). O Gráben Arroio Moirão sendo um dos “relictos” é interpretado como de idade triássica (Jost, 1981; Faccini, 1989, 2000; Menegat & Scherer, 1993; Horn *et al.*, 2015) e parte residual da bacia, mas, que atualmente estão desconectados geograficamente (Menegat *et al.*, 1995; CPRM, 2006; Lima, 2014, 2016; Machado, 2014; Ferreira, 2015).

Ketzer (1997) ao estudar o Gráben Arroio Moirão atribuiu uma idade triássica para os depósitos e os correlacionou com as formações Santa Maria e Sanga do Cabral corroborando com a ideia de ligação entre os depósitos (Milani *et al.*, 2007).

Horn (2015) enquadrou estratigraficamente os depósitos do gráben Arroio Moirão como pertencentes a Supersequência Santa Maria quando definiu a Biozona *Hyperodapedon*, a partir do fóssil índice Rincossauro encontrado na porção mais ao norte do Gráben.

Urban (2014) corrobora que o referido Gráben registra unidades triássicas sedimentares características de depósitos efêmeros de ambiente tectônico extensional.

Em termos paleoambientais após constantes mudanças de interpretação, trabalhos recentes como os de Lima (2014, 2016), Borsa (2015) e Rodrigues (2015) apontaram várias características de fácies, associações e sucessões de fácies, que dão suporte a modelos de depósitos de inunditos para a região do Gráben Arroio Moirão.

Inserir Figura 3

LOCALIZAÇÃO

O Gráben Arroio Moirão está situado entre as cidades de Canguçu e Santana da Boa Vista no estado do Rio Grande do Sul e mostra-se circundado pelas unidades gondwânicas Boa Vista, Cerro Partido, Delfino, Amaral Ferrador, e Tabuleiro (Fig. 4). O Gráben possui uma morfologia semelhante a uma bigorna e é expresso por uma depressão em que a porção noroeste é alongada com eixo de 95 km seguindo a direção N30E e uma outra porção mais direcionada a sudeste.

As orientações das estruturas na região do Gráben Arroio Moirão seguem o mesmo sistema de falhas NE-SW e NW-SE encontradas na Bacia do Paraná (Milani, 1997). A leste desta unidade ocorre a Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Zona de Falha Dom Feliciano) e a oeste ocorre a Zona de Falha Açoteia – Piriqui (Fernandes *et al.*, 1995).

Inserir Figura 4

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

A fim de obter uma boa representatividade da unidade em análise, foram coletadas amostras litológicas nas porções norte, sudoeste e sudeste do Gráben Arroio Moirão. A maioria das amostras coletadas compreendem rochas de granulometria fina classificadas como siltitos e argilitos e, em menor proporção, arenitos (Tabela 1). As técnicas de trabalho de campo seguiram Lisle *et al.* (2014) e Tucker (2014). Desta forma foram confeccionados três perfis colunares afim de representar de forma sucinta a estratigrafia em porções diferentes do gráben. Estes perfis foram embasados a partir de uma amostragem que foi efetuada na porção basal, intermediária e superior acompanhada dos

registros fotográficos e coleta de amostras de rochas em todos os pontos. As amostras foram descritas macroscopicamente enfatizando parâmetros texturais, estruturas sedimentares, cor e mineralogia. A mineralogia específica das amostras coletadas foi definida a partir da análise por difração de raios X (DRX) tanto em amostra de rocha total (RT) como amostra da fração fina (FF < 2 µm), no Laboratório de Difractometria de Raios X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IGEO/UFRGS).

A mineralogia e a textura mais detalhada das amostras foi caracterizada a partir de lâminas petrográficas analisadas por técnicas de microscopia óptica.

Também foi utilizado a análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com intuito de caracterizar a disposição e morfologia dos minerais presentes nas amostras. Associado ao MEV foi utilizado o EDS (espectrômetro de energia dispersiva) que permite obter uma caracterização química semiquantitativa da fase em análise. Análises por MEV e EDS foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrônica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Objetivando uma porcentagem confiável da fração argila nas amostras analisadas foram efetuadas análises granulométricas no Laboratório de Análise de Sedimentos do Centro de Estudos Costeiros (IGEO/UFRGS). A técnica aplicada para a quantificação das frações grossas segue o modelo de Wentworth (1922) e Krumbein (1934) de escalas. O método para os finos segue a lei de decantação de Stokes (1851).

RESULTADOS

Foram confeccionados três perfis colunares na região do Gráben Arroio Moirão abrangendo as porções norte, sudeste e sudoeste conforme figura 5, que permitiram a amostragem controlada de 32 amostras de rocha (Tabela 1). As amostras coletadas abrangem arenitos, siltitos e lamitos, com predomínio destes últimos. Apresentam coloração avermelhada e variam de mal selecionadas a bem selecionadas.

A região estudada é definida como dentro do modelo deposicional sedimentar do tipo inundito. Ou seja, um sistema composto por fluxos prográdantes de baixa densidade, subaquosos, que geram litologias mal selecionadas e com grãos angulosos a subangulosos (Lima, 2016).

Inserir Figura 5

Inserir Tabela 1

Neste contexto estratigráfico, as amostras de arenitos, siltitos e lamitos coletadas possuem características texturais distintas. Os grãos são sempre subangulosos/angulosos raramente subarredondados e os contatos são, no máximo, pontuais a lineares (localizados). A caulinita visível na microscopia ótica é bem formada. A estrutura em *booklets* destaca-se em tamanho quando comparadas com as demais caulinitas menores. A caulinita substitui o feldspato, clastos argilosos e preenche interstícios entre as lamelas de mica.

Assim, foram reconhecidos três grupos de rochas: siltitos, lamitos e arenitos. Os siltitos, em geral, são maciços raramente com laminações. A matriz é argilosa com grãos quartzosos dispersos na fração silte. Os grãos de quartzo são subangulosos a angulosos e grãos de feldspato são raros. Localmente observam-se algumas lamelas de mica branca e agregados de caulinita (*booklets*) possivelmente substituindo clastos argilosos. A pigmentação por óxidos de ferro é comum. Em alguns pontos observa-se o aumento do teor de matriz argilosa e então podem ser caracterizados como lamitos.

Nos arenitos, em função da granulometria, podem ser reconhecidos arenitos denominados de tipo I e arenitos de tipo II. Nos arenitos de tipo I, a granulometria varia de muito fina a média, são maciços mas eventualmente pode ocorrer intercalações de lâminas de granulometria areia grossa. São rochas mal selecionadas, com grãos subangulosos a angulosos, contatos disruptos a pontuais. A matriz é argilosa e ocorre em teores variáveis (até mais ou menos 40%) sendo pigmentada por óxidos de ferro. A mineralogia inclui: quartzo monocristalino, feldspatos sericitizados, lamelas de mica branca e quartzo policristalino. Nos minerais acessórios identificam-se: apatita, turmalina e

zircão. Em termos de alteração é possível identificar a caulinita substituindo grãos de feldspato e eventualmente preenchendo poros.

Os arenitos tipo II, tem granulometria variando de média a conglomerática, são quartzo-feldspáticos, maciços, mal selecionados e com matriz argilosa oxidada. Os grãos subangulosos a angulosos são sustentados pela matriz. A mineralogia compreende: quartzo monocristalino, quartzo policristalino, feldspato, lamelas de mica (muscovita) e minerais opacos. Os minerais acessórios são: turmalina, zircão e esfero. A caulinita é o argilomineral predominante pois os feldspatos foram substituídos sob forma de perfeitos agregados do tipo "*booklet*".

Os resultados semiquantitativos obtidos pelas análises de difratometria de raios X, indicam a presença predominante de quartzo e caulinita em todas as amostras. Em menor proporção ocorrem K-feldspato, hematita e ilita. A caulinita que é foco deste estudo apresenta valores entre 7 e 25% em análise de DRX, obtidos a partir da aplicação do software presente no equipamento capaz de apresentar valores semiquantitativos (Tabela 1). A figura 6 demonstra, em detalhe, um exemplo da litologia encontrada em afloramento, o resultado da análise por DRX e a respectiva lâmina petrográfica.

Inserir Figura 6

A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura permite a identificação de três estágios de formação da caulinita. No primeiro estágio, os grãos detríticos são substituídos por caulinita, caracterizada por lamelas incipientes, finas, anédricas e onde ainda é possível observar a morfologia do grão pré-existente (Fig. 7A, B). No segundo estágio as lamelas da caulinita estão mais espessas e são observadas arestas configurando uma caulinita subédrica (Fig.7 C). Caulinita com lamelas mais espessas e definidas, pseudo-hexagonal e euédrica eventualmente com estrutura em *booklets* caracteriza o terceiro estágio (Fig. 7D, E, F).

Inserir Figura 7

Foi ainda realizado análise granulométrica que demonstrou porcentagens entre 7 e 25% agora para a fração argila nas amostras. A Tabela 1 resume os valores encontrados na análise

semiquantitativa em DRX e a porcentagem de fração argila obtida a partir da análise granulométrica.

DISCUSSÕES

O Gráben Arroio Moirão (relicto da Bacia do Paraná) têm sido alvo de algumas discussões na bibliografia em relação a similaridades com os depósitos da Formação Santa Maria e este tipo de correlação têm sido utilizada já a algum tempo (Menegat *et al.*, 1995; Ketzer, 1997; CPRM, 2006; Milani *et al.*, 2007; Machado, 2014; Borsa, 2015; Lima, 2016).

Citam-se por exemplo, em relação aos relictos da Bacia do Paraná:

- a idade triássica para os depósitos do Gráben Arroio Moirão, proposta por Ketzer (1997) e confirmada recentemente por Horn *et al.* (2015);

- a identificação de semelhanças propondo para os depósitos do gráben ambiente de canais entrelaçados e de planície de inundação, similares também a Formação Santa Maria (Faccini, 1989).

- consenso de que o Gráben Arroio Moirão é um relicto da Bacia do Paraná (Ketzer, 1997; Milani *et al.*, 2007; Machado, 2014)

No entanto, a presença abundante e recorrente da caulinita nos sedimentos do Gráben Arroio Moirão entra em conflito com os argilominerais presentes nos depósitos da Formação Santa Maria. Pierini *et al.* (2002) caracterizam para os sedimentos da Formação Santa Maria, predomínio do interestratificado ilita/esmectita e raramente identificação de caulinita.

As análises realizadas no Gráben do Arroio Moirão constataram a presença do mineral caulinita nos perfis litológicos desde a base até o topo e também nas porções norte, sudeste ou sudoeste, definindo uma abundância vertical e lateral do argilomineral.

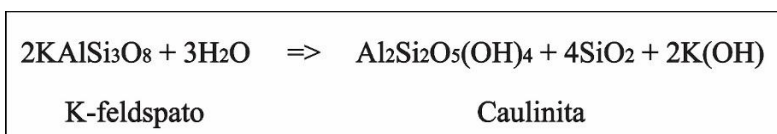
Assim, ao se comparar a Formação Santa Maria que tem um predomínio do interestratificado ilita/esmectita e os sedimentos do gráben com abundância de caulinita pode-se supor que provavelmente o isolamento deste relicto no Triássico propiciou a exposição dos depósitos e a ação do clima e conseqüentemente a ação da água meteórica. Somado a esta situação, o resultado deste

isolamento não permitiu que extensas camadas de rochas fossem sobrepostas aos depósitos do gráben, os deixando expostos e sujeitos à ação intempérica do clima atuante naquele momento, ou seja, condições propícias para a formação da caulinita nos depósitos estudados. Esta afirmação é corroborada pela presença de apenas contatos pontais de grãos na microscopia óptica, que foi interpretado como indicio de um soterramento não muito profundo gerando compactação leve. Assim, os depósitos do Gráben Arroio Moirão apresentam características muito semelhantes aos processos decorrentes da eodiagênese.

A eodiagênese inclui todos os processos que ocorrem na superfície ou próximo a ela, no qual, a geoquímica da água que ocorre nos interstícios dos poros é controlada principalmente pelo ambiente deposicional e/ou pela circulação de água advinda da superfície (marinha ou meteórica). Dentro dos processos da eodiagênese a temperatura não ultrapassa 70°C, temperatura equivalente a 2 km de profundidade (Morad *et al.*, 2000; Tucker, 2001)

A ausência da caulinita inclusa em outros minerais indica que a mesma foi formada posterior a deposição dos grãos detríticos. Desta forma, a caulinita ocorre substituindo grãos pré-existentes como feldspatos, micas e fragmentos argilosos e por vezes preenchendo poros, indicando que o processo de caulinização é posterior a deposição.

A reação do K-feldspato para caulinita ocorre conforme a seguinte fórmula (Morad *et al.*, 2000):



A ausência da dickita leva a supor que a rocha não alcançou a mesodiagênese, único processo capaz de gerar condições para a formação deste argilomineral (Meunier, 2005).

A telodiagênese ocorre a partir do soerguimento de pacotes rochosos que estiveram soterrados em condições superficiais. Este processo é acompanhado pela erosão das rochas a medida que as mesmas são expostas, neste meio tempo ocorre infiltração de águas subterrâneas e também meteóricas (Tucker, 1991; 2001).

Logo, a partir destas conjecturas é possível inferir que esta caulinita foi formada em processo telodiagenético e a ação intempérica posterior a eodiagênese, provavelmente pela ação de água meteórica, que infiltra-se a partir de sistemas de fraturas e falhas e pelo sistema permo-poroso da rocha. O período de alteração, portanto, ocorreu posteriormente à deposição, ou seja, ao Triássico. Levando em consideração as constatações de Machado (2014), o Gráben Arroio Moirão sofreu seus últimos estágios de estruturação e reativação entre 145-110 Ma, possivelmente as alterações telodiagenéticas atuaram posterior a este período. Ainda verifica-se que a nível mundial, o Triássico é marcado pela abrangência de sedimentação continental submetida a um clima árido ou semi-árido (Tucker & Benton, 1982; Golonka & Ford, 2000; Zerfass, 2003; Borrueal-Abadía *et al.*, 2015).

Lima (2016) ao identificar a caulinita no gráben a interpretou com marco-estratigráfico nos lamitos, onde o clima quente e a ação da lixiviação eram propícios para o então, proposto modelo de depósitos de inunditos.

Os resultados da análise granulométrica indicam uma taxa de 7 a 25% de fração argila para as rochas do gráben. Dentro desta porcentagem ocorre uma variação entre 7 e 25% de caulinita nas rochas analisadas.

A presença de três estágios de formação de caulinita pressupõe variados ciclos de exposição e clima compatível. No entanto, sugere-se que ainda são necessárias análises mais aprofundadas para uma melhor caracterização destes diferentes estágios.

CONCLUSÕES

Identificou-se um processo de formação de caulinita generalizado e expressivo nos sedimentos do Gráben Arroio Moirão. Esta caulinita ocorre como resultado de alteração de minerais já existentes como feldspatos, micas e também de clastos argilosos. A caulinita mostra-se presente em porcentagens variando de 7 a 25% e apresenta três estágios: anédrica, subédrica e euédrica, interpretados como associados a sucessivos eventos de exposição. Os grãos do arcabouço dos sedimentos do gráben apresentam predomínio de contatos pontuais indicando pouca compactação consequentemente soterramento não muito profundo. A presença abundante de caulinita nos

sedimentos do gráben e ausência na Formação Santa Maria pressupõe que o isolamento deste relicto propiciou a formação do mineral. Os contatos predominantemente pontuais indicam compactação leve, eximindo a possível presença de extensos pacotes sobrepostos aos depósitos do gráben. A caulinita forma-se a partir de minerais pré-existentes sugerindo que a mesma foi formada posteriormente a compactação e litificação dos minerais detríticos. Como a compactação sobre os grãos detríticos ocorre de forma incipiente, e não ocorre nenhuma alteração característica de processos de maior temperatura e pressão, sugere-se que o arcabouço detrítico está dentro da fase eodiagenética. Já o argilomineral caulinita por não estar incluso em nenhum mineral e por mostrar-se substituindo fases pré-existentes foi definido como produto de telodiagênese, onde a ação de água meteórica em contato com os interstícios das rochas controlou a alteração dos minerais detríticos, quando os mesmos foram colocados em superfície ou próximo dela. Análises de traço de fissão de apatita realizados por Machado (2014), sugerem que o Gráben Arroio Moirão sofreu seus últimos estágios de estruturação entre 145-110 Ma. Provavelmente os processos telodiagenéticos presentes nos pacotes ocorreram posteriormente a este período. Embora, sugere-se novas análises que confirmem estes processos.

Inserir Figura 8

AGRADECIMENTOS

Este artigo é parte integrante da dissertação de mestrado do autor principal. Os agradecimentos são direcionados a CAPES, pelo suporte financeiro do presente trabalho e aos colegas Fernando Rios, Camile Urban e Patrícia Zacca pelas sugestões, comentários e conselhos que ajudaram no aperfeiçoamento do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAULUZ, B.; YUSTE, A.; MAYAYO, M. J.; CANUDO, J. I. Early kaolinization of detrital Weald facies in the Galve Sub-basin (Central Iberian Chain, north-east Spain) and its relationship to palaeoclimate. *Cretaceous Research*, v. 50, p. 214-217, 2014.
- BLATT, H.; MIDDLETON, G.; MURRAY, R. *Origin of Sedimentary Rocks: Second Edition*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Ill., 782 p., 1980.
- BORRUEL-ABADÍA, V.; LÓPEZ-GÓMEZ, J.; DE LA HORRA, R.; GALÁN-ABELLÁN, B.; BARRENECHEA, J.F.; ARCHE, A.; RONCHI, A.; GREYTER, N.; MARZO, M. Climate changes during the Early–Middle Triassic transition in the E. Iberian plate and their palaeogeographic significance in the western Tethys continental domain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 440, p. 671-689, 2015.
- BORSA, G.N.O. *Novas Chaves de Correlação para as Unidades Triássicas do Gráben Arroio Moirão: Caracterização de Sismitos e Aplicação na Estratigrafia*. Porto Alegre: Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 90p., 2015.
- CHAMLEY, H. *Clay sedimentology*. Springer, Berlin-Heidelberg, 623 p, 1989.
- CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:750.000. 2006.
- EHRENBERG, S.N. Kaolinized, potassium-leached zones at the contacts of the Garn Formation, Haltenbanken, mid-Norwegian continental shelf. *Marine and Petroleum Geology*, v. 8, p. 250-269, 1991.
- EMERY, D.; Myers, R.J.; Young, R. Ancient subaerial exposure and freshwater leaching in sandstones. *Geology*, v. 18, p. 1178-1181, 1990.
- FACCINI, U.F. *O Permo-Triássico do Rio Grande do Sul: Uma Análise Sobre o Ponto de Vista das Sequências Depositionais*. Porto Alegre, 1989. 130 p. Tese (Dissertação de Mestrado) -Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FACCINI, U.F. Estratigrafia do permo-triássico do Rio Grande do Sul: estilos deposicionais versus espaço de acomodação. Porto Alegre, 2000. 300p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FERNANDES, L.A.D.; MENEGAT, R.; COSTA, A.F.U. Evolução Tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte I – Uma contribuição a partir do registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, n. 4, p. 351-374, 1995.

FERREIRA, M. L. Análise tectônica dos relictos da Bacia do Paraná sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. Porto Alegre: Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 95p, 2015.

GOLONKA, J.; FORD, D. Pangean (Late Carboniferous – Middle Jurassic) paleoenvironment and lithofacies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 161, p. 1-34, 2000.

HANCOCK, N.J. & TAYLOR, A.M. Clay mineral diagenesis and oil migration in the Middle Jurassic Brent Sand Formation. *Journal of the Geological Society of London*, v. 135, p. 69 - 72, 1978.

HORN, B. L. D.; SCHULTZ, C. L.; FIGUEIREDO, A. E. Q.; MOTTA, F. A. Recognition of the Hyperodapedon assemblage zone (Late Triassic) in a relictual occurrence over the Sul-Rio-Grandense shield. *Revista Brasileira de Paleontologia. Sociedade Brasileira de Paleontologia*. v. 18, n. 6, p. 91-96, 2015.

JACKSON, M.L. Weathering of primary and secondary minerals in soils. *Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci.*, v.4, p. 281-292, 1969.

JOST, H. Geology and metallogeny of the Santana da Boa Vista Region, Southern Brazil. Georgia, 1981. 208 p. Tese (Doutorado) –The University of Athens.

KANTOROWICZ, J. The nature, origin and distribution of authigenic clay minerals from middle jurassicravenscar and Brent group sandstone. *Clay Minerals*, v. 19, p. 359-375, 1984.

KETZER, J.M.M. Cronoestratigrafia das Unidades Gonduânicas Preservadas sobre Escudo Sul-Rio-Grandense (Formação Caneleiras). Porto Alegre, 1997. 215p. Tese (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KRUMBEIN, W.C. Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 4, p. 65–77, 1934.

LANSON, B.; BEAUFORT, D.; BERGER, G.; BAUER, A.; CASSAGNABERE, A.; MEUNIER, A. Authigenic kaolin and illitic minerals during burial diagenesis of sandstones: a review. *Clay Minerals*, v. 7, p. 1-22, 2002.

LIMA, L. G. Análise de Fácies e Modelos Depositionais de Unidades Triássicas da Bacia do Paraná Sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense na Região do Gráben Arroio Moirão, RS: Em Busca de Marcadores Estratigráficos. Porto Alegre: Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 93p., 2014.

LIMA, L. G., 2016. Inunditos como um modelo sedimentar – identificação na área do Gráben Arroio Moirão (RS). Porto Alegre, 74p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LISLE, R.J.; BRABHAM, P.; BARNES, J. Mapeamento Geológico; Guia de campo. Porto Alegre, Bookman, 231 p., 2014.

MACHADO, J. P. S. L. Estruturação do Gráben Arroio Moirão, Santana da Boa Vista, RS: Tectônica e geocronologia. Porto Alegre: Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 75p., 2014.

MENEGAT, R.; SCHERER, C.M.S.; KETZER, J.M.M.; CARAVACA, G. Discordância entre a Formação Rio Bonito e a Sequência Rio do Rastro/ Sanga do Cabral da Bacia do Paraná na região de Encruzilhada do Sul, RS: Implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ. Porto Alegre. Boletim de Resumos CIGO/UFRGS, v. 2, p. 42-44, 1995.

MENEGAT, R.& SCHERER, C.M.S. Formação Caneleiras (RS): Devoniana ou Permian?; Critérios para o enquadramento estratigráfico de sequências isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1. Resumo expandido IG/UNESP. p. 90-93, 1993, Rio Claro (SP).

MEUNIER, A. Clays. Springer Berlin Heidelberg New York, 472p., 2005.

MILANI, E.J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO NETO, V., BARTORELLE, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO-NEVES, B.B. (Eds.), Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca: p. 265-279, 2004.

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Porto Alegre, 1997. 225p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MOLENAAR, N.; FELDER, M.; BÄR, K.; GÖTZ, A. What classic greywacke (litharenite) can reveal about feldspar diagenesis: an example from Permian Rotliegend sandstone in Hessen, Germany. Sedimentary Geology, v. 326, p. 79-83, 2015.

MORAD, S.; KETZER, J.M.; DE ROS, L.F. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basins. Sedimentology, v. 47 (Millenium Reviews), p. 95-120, 2000.

PIERINI, C.; MIZUSAKI, A.M.P.; SCHERER, C.; ALVES, D. Integrated stratigraphic and geochemical study of the Santa Maria and Caturrita Formations (Triassic of the Paraná Basin), southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 15, p. 669-681, 2002.

RAUCSIK, B.; VARGA, A. Climato-environmental controls on clay mineralogy of the Hettangian–Bajocian successions of the Mecsek Mountains, Hungary: An evidence for extreme continental

weathering during the early Toarcian oceanic anoxic event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 265, p. 1-13, 2008.

RODRIGUES, Y. C. Caracterização de arenitos de depósitos de efêmeros de unidades triássicas na região do Gráben Arroio Moirão, RS: potenciais análogos de reservatórios. Porto Alegre: Monografia (Graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 76p., 2015.

RUIZ CRUZ, M.D. & ANDREO, B. Genesis and Transformation of Dickite in Permo-Triassic Sediments (Betic Cordilleras, Spain). *Clay Minerals*, v. 31, p. 133-152, 1996.

RUIZ CRUZ, M. D. Genesis and evolution of the kaolin-group minerals during the diagenesis and the beginning of metamorphism. In: Fernando Nieto and Juan Jiménez-Millán, eds. "Diagenesis and Low-Temperature Metamorphism. Theory, Methods and Regional Aspects" *Seminarios SEM*, v. 3, p. 41-52, 2007

STOKES, G.G. On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums. *Cambridge Philosophical Society, Transactions*, v. 9, n. 8, p. 287, 1851.

TUCKER, M. E. & BENTON, M. J. Triassic environments, climates and reptile evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 40, p. 361-379, 1982.

TUCKER, M.E. Rochas Sedimentares; Guia Geológico de Campo. Porto Alegre, Bookman, 4ed. 294 p., 2014.

TUCKER, M. E. *Sedimentary Petrology*, 2 ed. Oxford, UK, Blackwell Science. 260 p., 1991.

TUCKER, M. E. *Sedimentary Petrology*, 3 ed. Oxford, UK, Blackwell Science. 262 p., 2001.

URBAN, C. Sistemas Depositionais Efêmeros em Bacias Extensionais. Porto Alegre. Monografia: Qualificação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 60p, 2014.

VAIL, P.R.; MITCHUM, R.M. Jr.; THOMPSON, S., III. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part four: global cycles of relative changes of sea level. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, v. 26, p. 83–98, 1977.

WALDMANN, S. & GAUPP, R. Grain-rimming kaolinite in Permian Rotliegend reservoir rocks. *Sedimentary Geology*, v. 335, p. 17-33, 2016.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, p. 377–392, 1922.

WORDEN, R.H. & MORAD, S. Clay minerals in sandstones: control on formation, distribution and evolution. In: Worden, R.H., Morad, S. (Eds.), *Clay Mineral Cements in Sandstones*. Special Publication of the International Association of Sedimentologists, p.3-42, 2003.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; SANTOS NETO, E. V.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: LEIGHTON, M. W.; KOLATA, D. R.; OLTZ, D. F.; EIDEL, J. J. (Ed.). *Interior cratonic basins*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, (AAPG. Memoir) v. 51, p. 681-708, 1990.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3. Curitiba, PR. Anais... Curitiba, SBG- Núcleo PR, v. 1, p. 441-477, 1987.

ZERFASS, H. História tectônica e sedimentar do triássico da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina). Porto Alegre, 2003. 203p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

| Amostras | Litologia | Qtz | Kfs | Kao | Hem | Ili | % argila |
|-----------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| TR09A | Arenito Grosso | 83 | 6 | 10 | 1 | - | 10,42 |
| TR09B | Arenito Grosso | 71 | 11,5 | 15 | 2,5 | - | - |
| TR09C | Argilito | 77 | - | 20 | 3 | - | - |
| TR09D | Arenito Fino | 81 | - | 18 | 1 | - | - |
| TR09E | Arenito Grosso | 83 | - | 15 | 2 | - | - |
| TR09F | Arenito Fino | 86 | - | 12 | 2 | - | 12,53 |
| TR35 | Siltito Arenoso | 87 | - | 13 | - | - | - |
| TR34B | Siltito | 80 | - | 20 | - | - | 10,98 |
| TR34E | Siltito | 88 | - | 12 | - | - | - |
| TR34A | Siltito | 82 | - | 18 | - | - | - |
| TR34D | Siltito | 81 | - | 19 | - | - | - |
| TR03 | Siltito | 85,5 | - | 14,5 | - | - | - |
| TR59 | Siltito arenoso | 85 | - | 15 | - | - | - |
| TR63 | Siltito | 74 | 19 | 7 | - | - | 8,13 |
| TR36 | Siltito Arenoso | 83,5 | - | 16,5 | - | - | - |
| TR34F | Siltito | 89 | - | 11 | - | - | 7,36 |
| TR34C | Argilito | 80 | - | 20 | - | - | - |
| TR96A | Arenito Grosso | 56,5 | 22 | 14,5 | - | 7 | - |
| TR96B | Arenito fino | 65 | 11 | 16 | 2 | 6 | - |
| TR121 | Siltito arenoso | 62 | 15,5 | 18 | - | 4,5 | - |
| TR122 | Siltito | 63 | 28 | 9 | - | - | 12,98 |
| PGMCA1 | Siltito | 83 | - | 15 | 2 | - | 25,81 |
| PGMCA7 | Siltito | 73 | - | 25 | 2 | - | - |
| PGMCB1 | Siltito | 79 | - | 19 | 2 | - | - |
| PGMCB2 | Siltito | 81 | - | 17,5 | 1,5 | - | - |
| PGMCB3 | Siltito | 80 | - | 18 | 2 | - | - |
| PGMCB4 | Siltito | 75 | - | 23,5 | 1,5 | - | 24,00 |
| PGMCB5 | Siltito | 77 | - | 22 | 1 | - | - |
| PGMCB6 | Siltito | 74 | - | 24 | 2 | - | - |
| PGMCB9 | Siltito | 76,5 | - | 22 | 1,5 | - | - |
| PGMCC1 | Siltito | 77 | - | 21 | 2 | - | - |
| PGMCC7 | Siltito | 81 | - | 18 | 1 | - | - |

Tabela 1: Litologia, composição mineral, porcentagem semiquantitativa (difração de raios-X), e porcentagem da fração argila - % argila- (análise granulométrica) a partir das amostras coletadas. Qtz: Quartzo. Kfs: K-feldspato. Kao: Caulinita. Hem: Hematita. Ili: Ilita.

FIGURAS

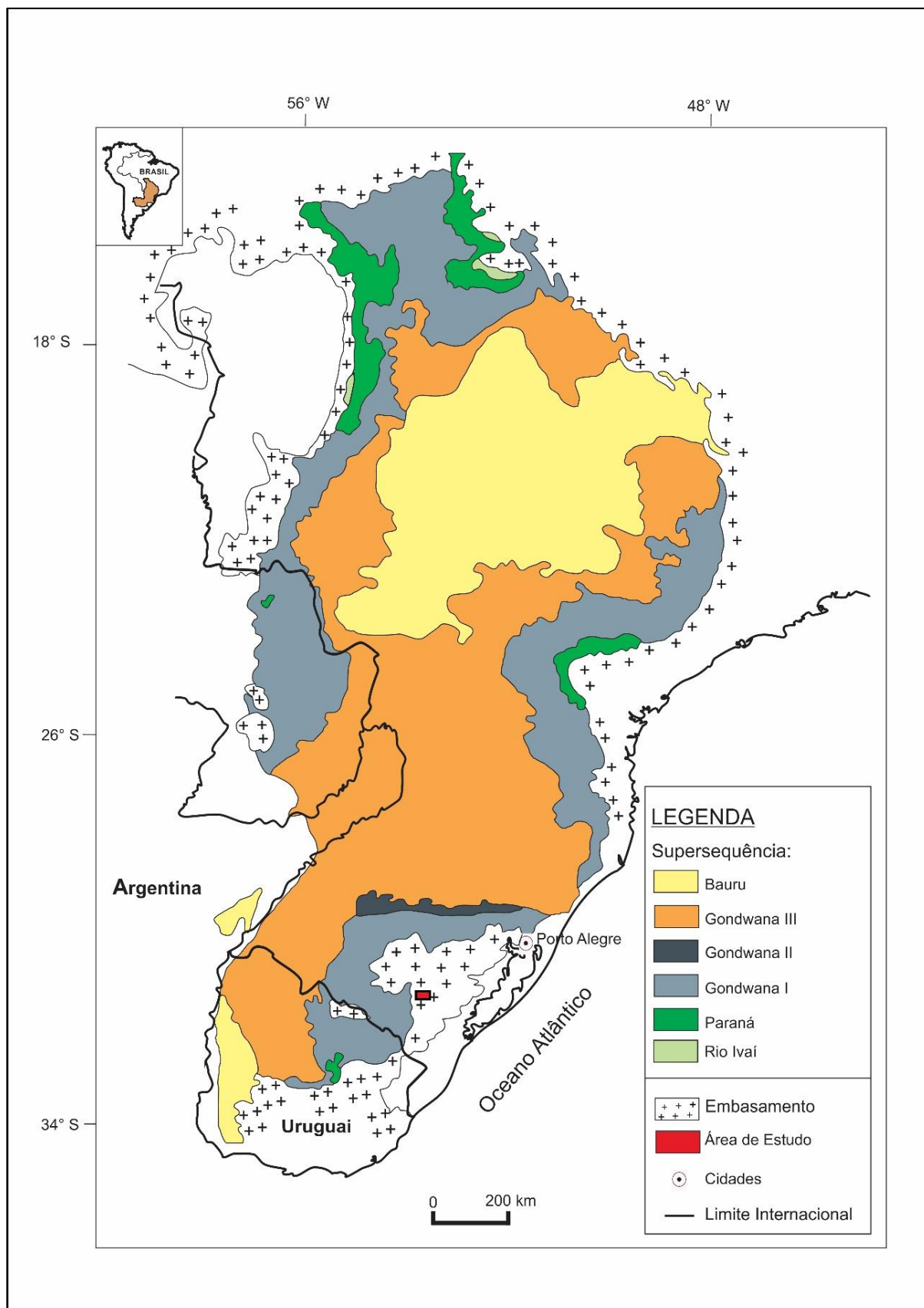


Figura 1: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (modificado de Milani, 2004).

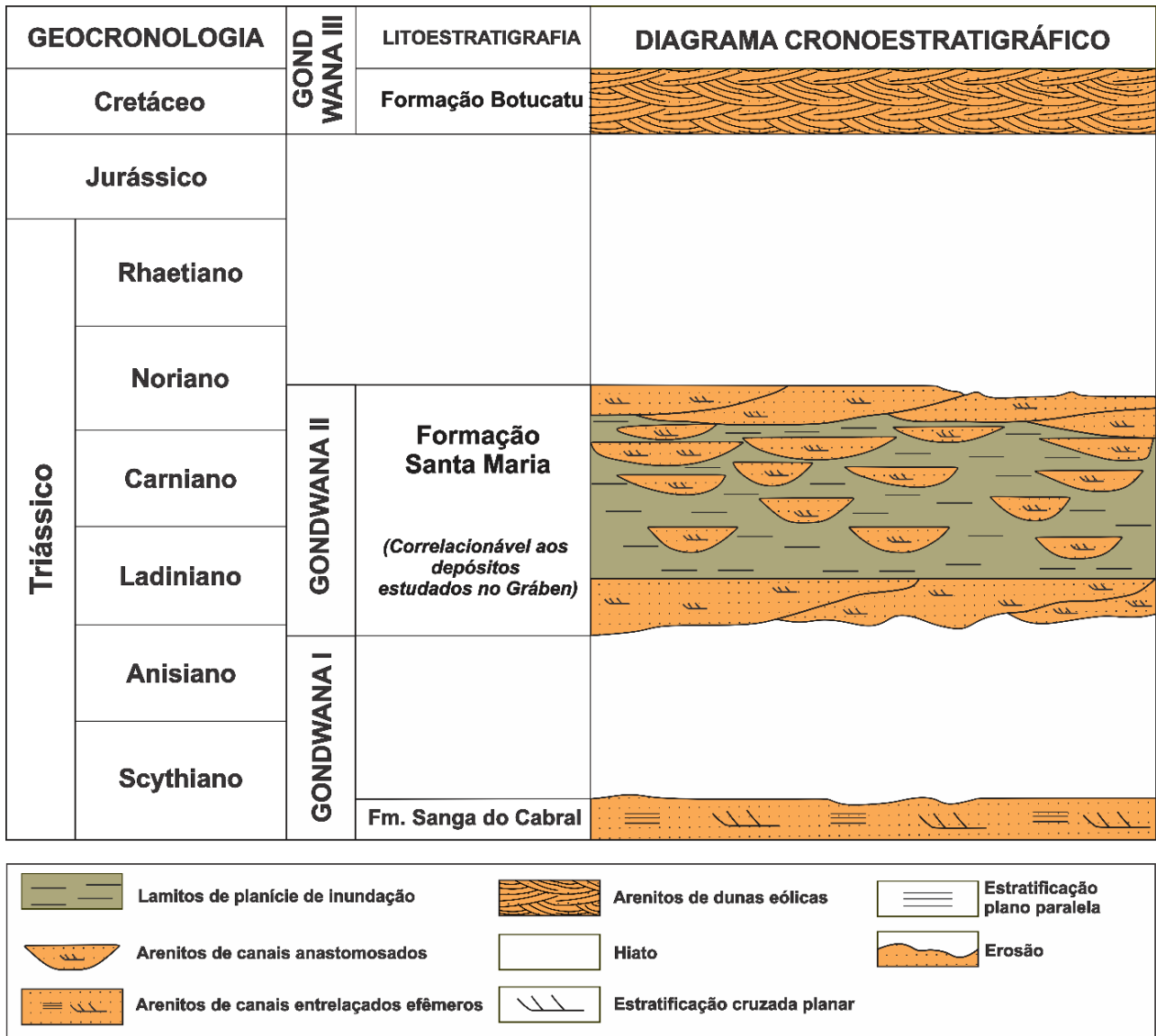


Figura 2: Coluna litoestratigráfica e cronoestratigráfica da sucessão triássica da Supersequência II da Bacia do Paraná (modificado de Faccini, 1989; Pierini *et al.*, 2002).

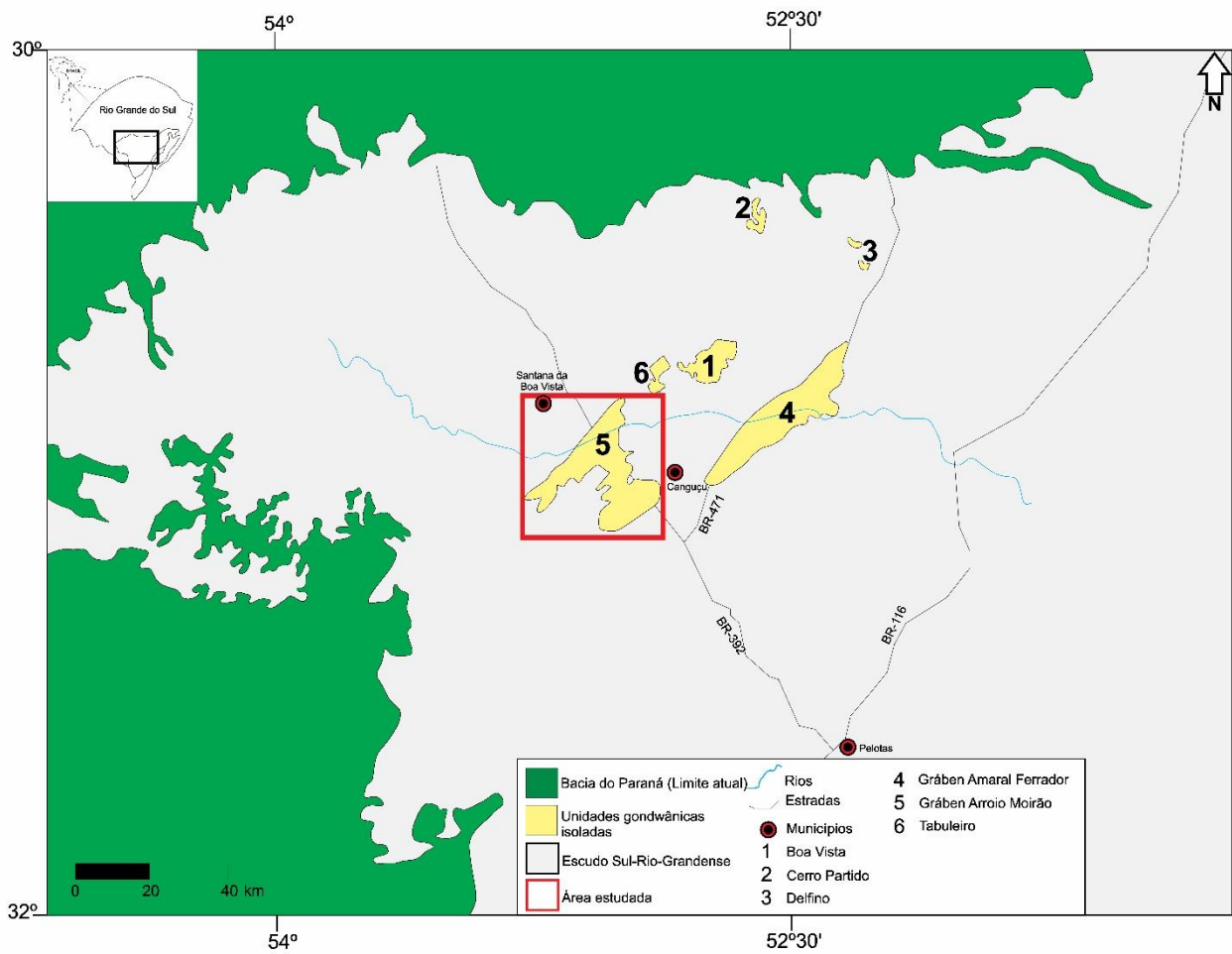


Figura 3: Mapa de localização do Gráben Arroio Moirão no Escudo Sul-Rio-Grandense (modificado de Ketzer, 1997).

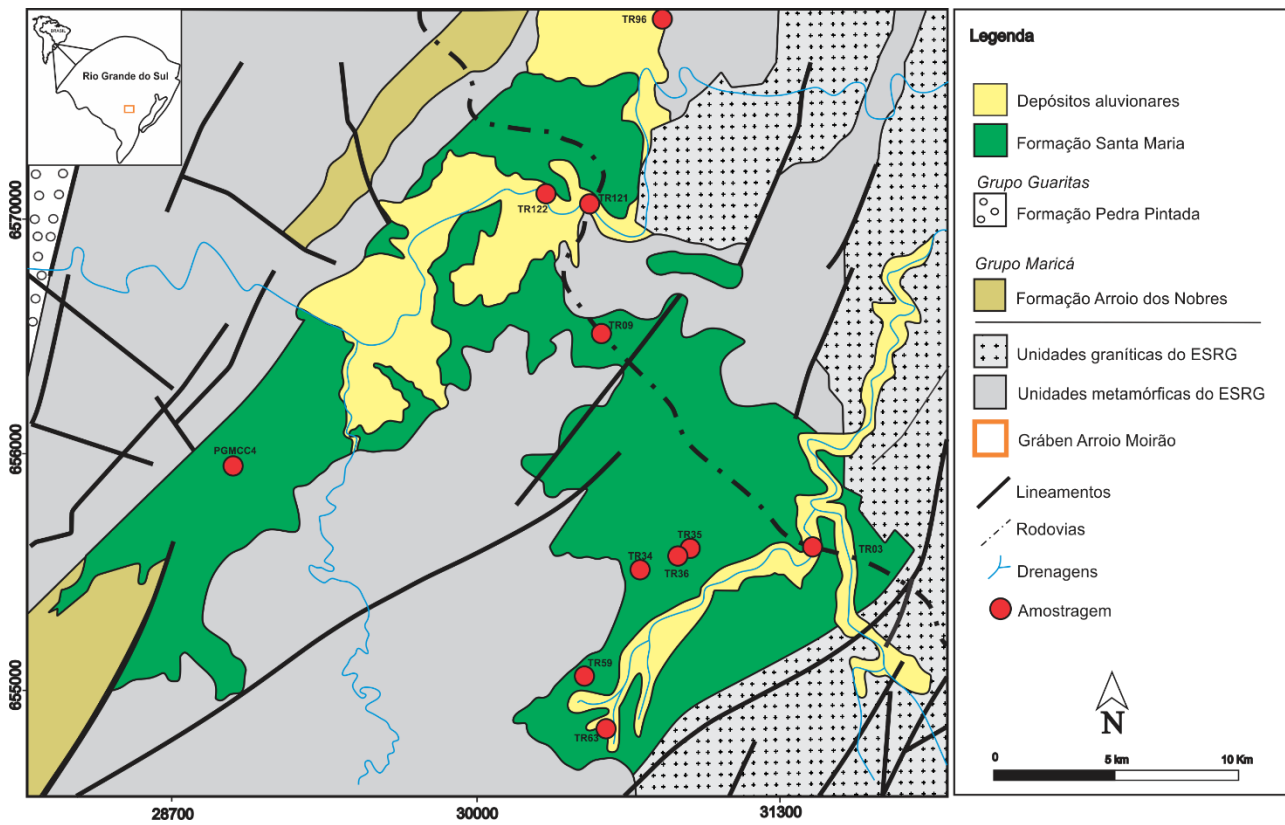


Figura 4: Mapa geológico do Gráben Arroio Moirão e pontos de amostragem (modificado de CPRM, 2005).

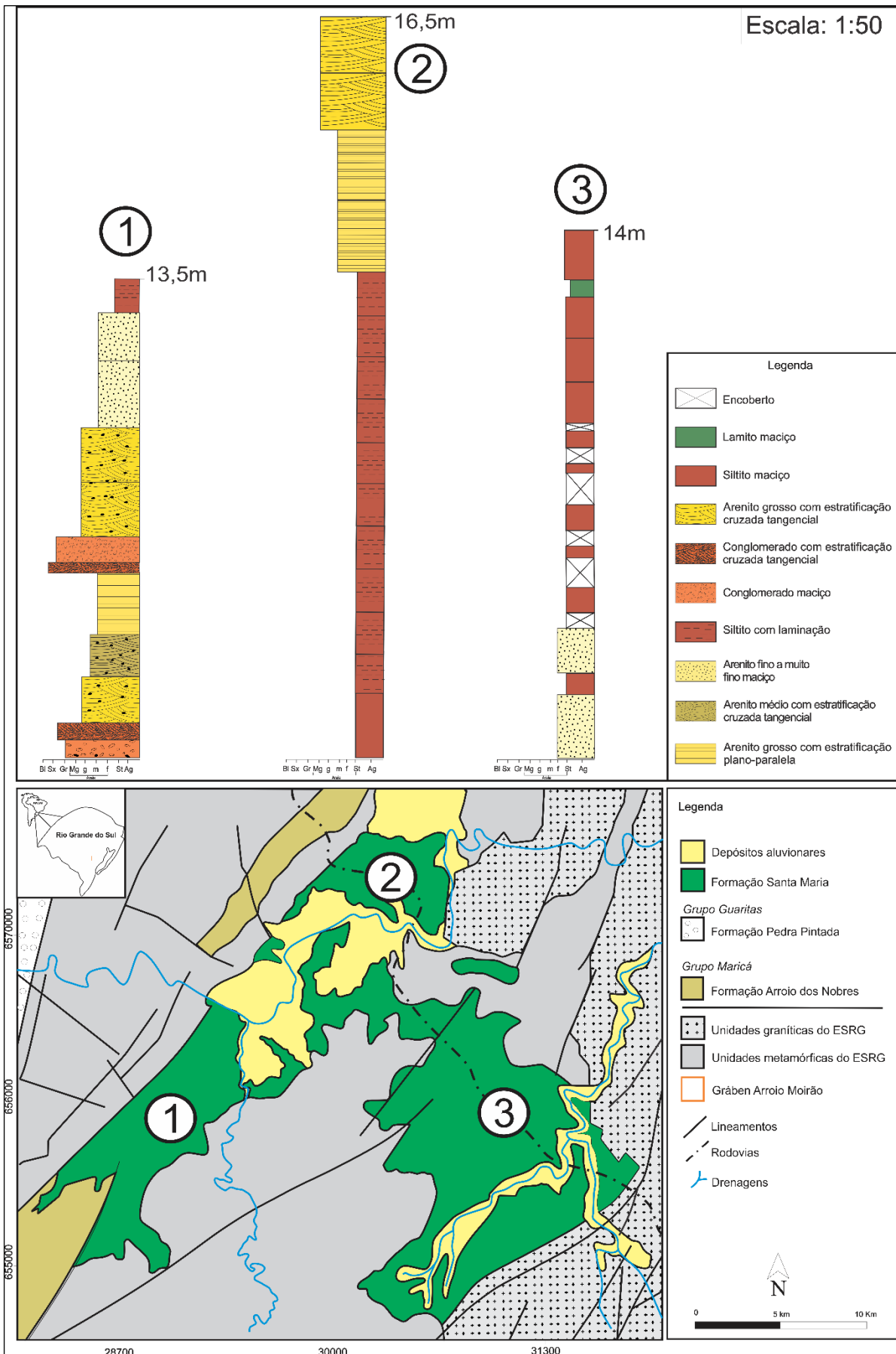


Figura 5: Perfis litológicos plotados no mapa do Gráben Arroio Moirão (modificado de CPRM, 2005).

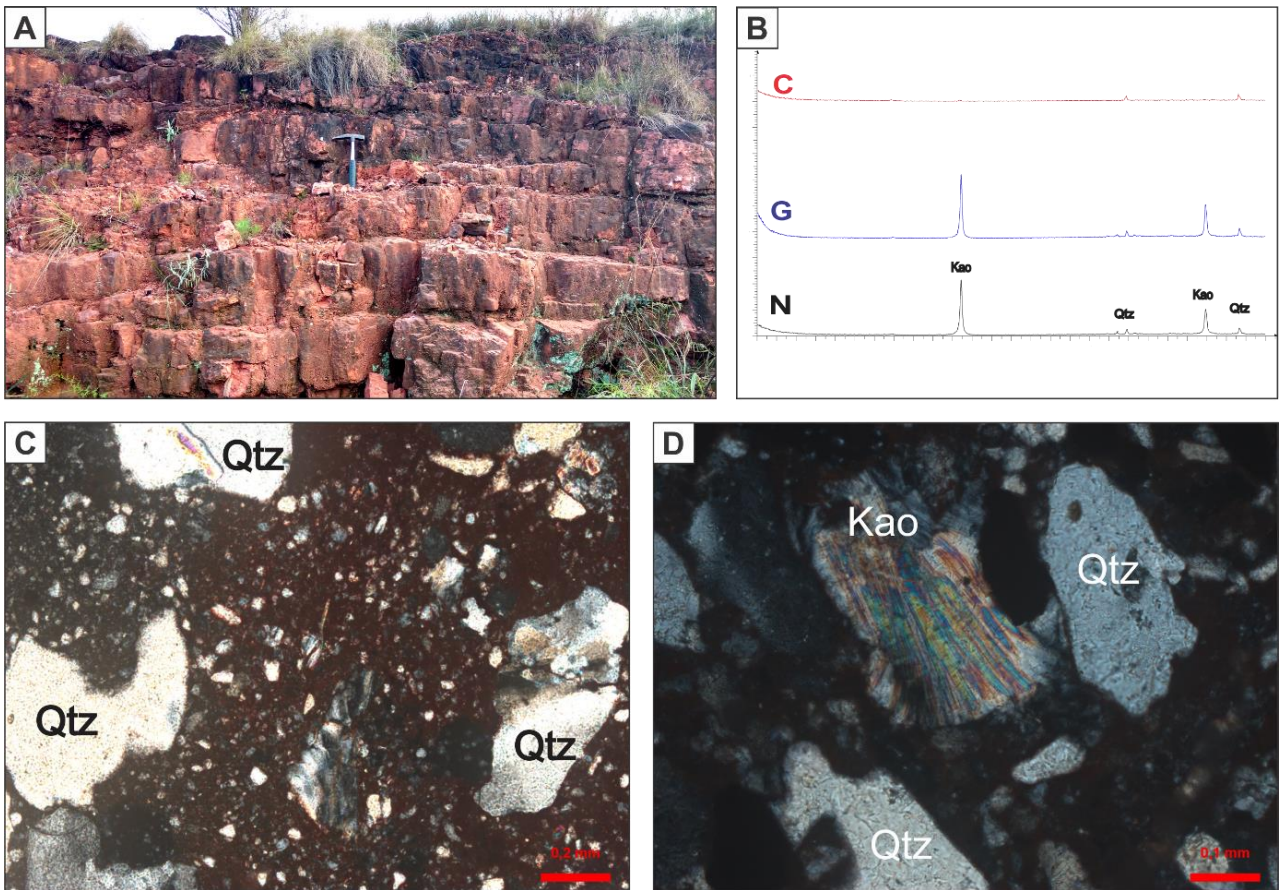


Figura 6: A) Afloramento de arenitos; B) Difratoograma identificando a caulinita (Kao); C) Lâmina petrográfica do arenito em A, expondo grãos subangulosos/angulosos e com contatos pontuais disruptos; D) Caulinita substituindo grão detrítico (mica) e apresentando estrutura em *booklets*.

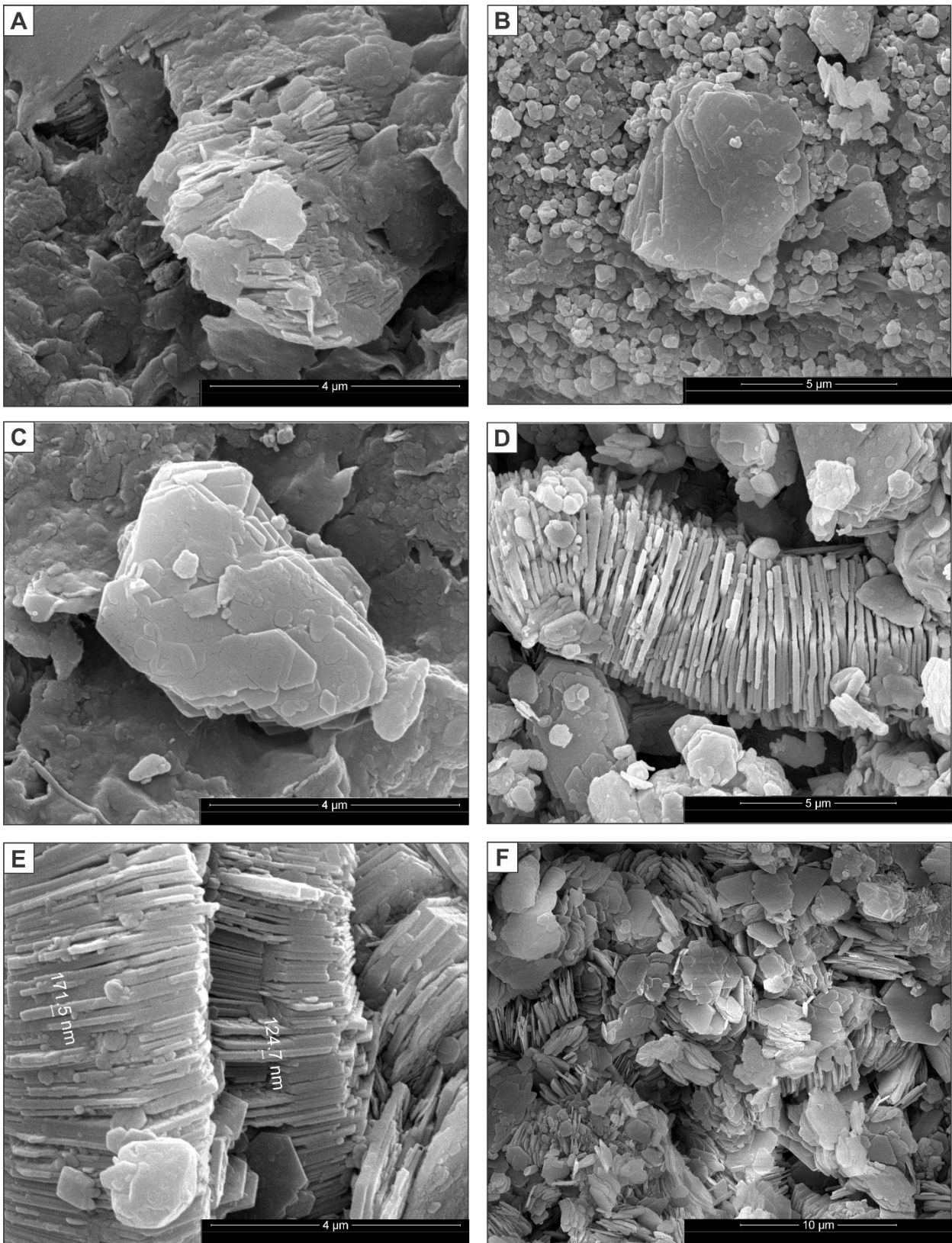


Figura 7: Detalhe em microscopia eletrônica de varredura. A, B) Caulinita anédrica com lamelas ainda em estágio inicial de formação, no qual ainda é possível observar a morfologia do grão detrítico; C) Caulinita subédrica, com lamelas iniciando a formação de arestas; D) Caulinita euédrica apresentando lamelas mais espessas, definidas e com hábito vermicular; E) Detalhe das lamelas da caulinita euédrica com respectivas indicações de espessura; F) Caulinita euédrica expondo hábito pseudo-hexagonal bem formado.

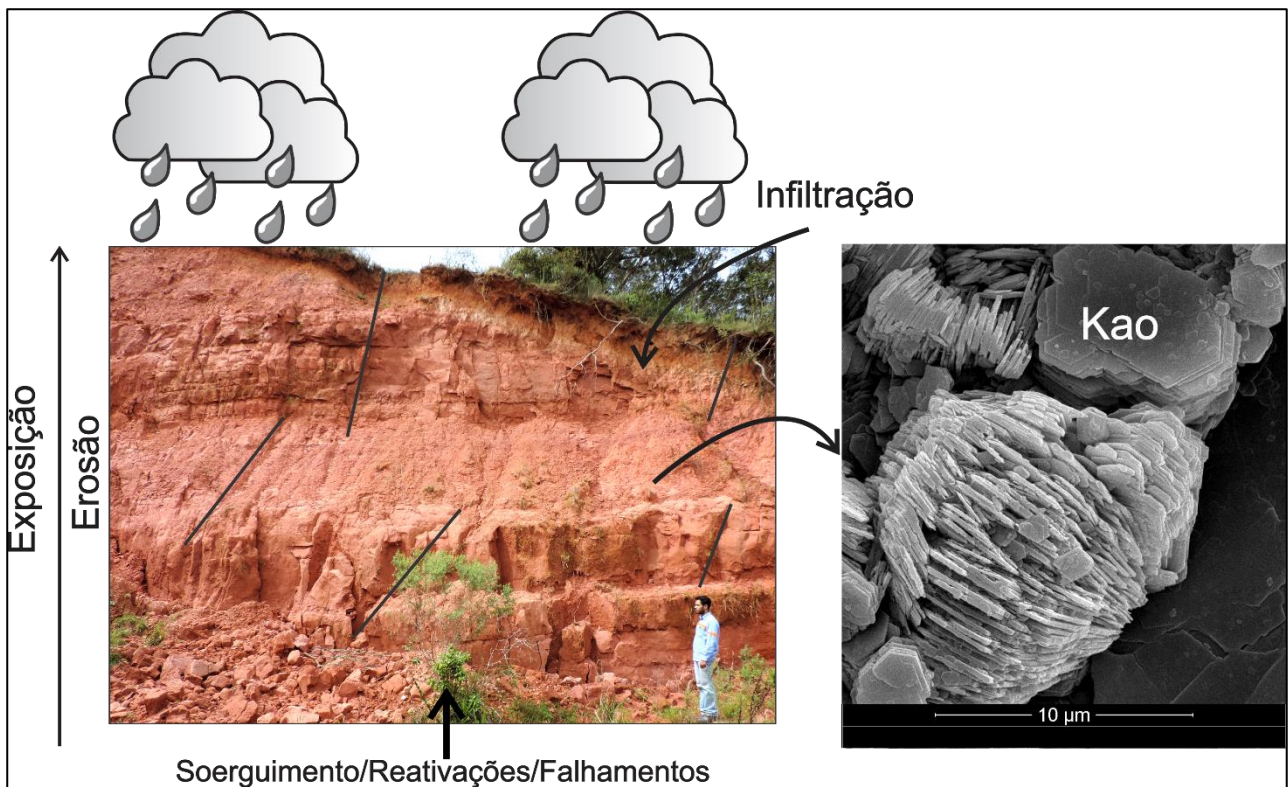


Figura 8: Esquema apresentando a formação da caulinita para os depósitos do Gráben Arroio Moirão. Esforços estruturais soerguem os pacotes de rochas que são expostos a ação intempérica, principalmente de águas meteóricas que infiltram-se por meio do sistema permo-poroso da rocha e também por falhas e fraturas, alterando desta forma os grãos detríticos formando o argilomineral caulinita (Kao).