

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MARIANE CRISTINA TROMBETTA**

**PETROLOGIA E ANÁLISE FACIOLÓGICA DAS ROCHAS SEDIMENTARES DO  
GRUPO GUARITAS NA REGIÃO DO ARROIO TORRINHAS, PINHEIRO  
MACHADO, RS**

**Caçapava do Sul  
2017**

**MARIANE CRIS TINA TROMBETTA**

**PETROLOGIA E ANÁLISE FACIOLÓGICA DAS ROCHAS SEDIMENTARES DO  
GRUPO GUARITAS NA REGIÃO DO ARROIO TORRINHAS, PINHEIRO  
MACHADO, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Geologia da Universidade Federal  
do Pampa, como requisito parcial para obtenção  
do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Guadagnin

**Caçapava do Sul  
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

T849e Trombetta, Mariane Cristina  
PETROLOGIA E ANÁLISE FACIOLÓGICA DAS ROCHAS  
SEDIMENTARES DO GRUPO GUARITAS NA REGIÃO DO ARROIO  
TORRINHAS, PINHEIRO MACHADO, RS / Mariane Cristina Trombetta.  
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa,  
GEOLOGIA, 2017.

"Orientação: Felipe Guadagnin".

1. Grupo Guaritas. 2. Petrologia Sedimentar. 3. Diagênese. 4. Zona de Falha. 5.  
Proveniência Sedimentar. I. Título.

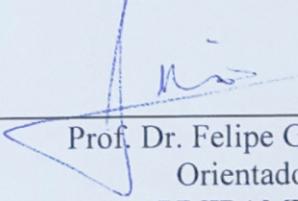
MARIANE CRISTINA TROMBETTA

**PETROLOGIA E ANÁLISE FACIOLÓGICA DAS ROCHAS SEDIMENTARES DO  
GRUPO GUARITAS NA REGIÃO DO ARROIO TORRINHAS, PINHEIRO  
MACHADO, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Geologia da Universidade Federal  
do Pampa, como requisito parcial para obtenção  
do título de Bacharel em Geologia.

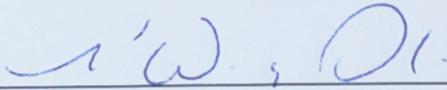
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 8 de dezembro de 2017

Banca Examinadora:



---

Prof. Dr. Felipe Guadagnin  
Orientador  
(UNIPAMPA)



---

Prof. Dr. André Weissheimer de Borba  
(UFSM)



---

Prof. Dr. Vinicius Matté  
(UNIPAMPA)

## AGRADECIMENTOS

Obrigada meus verdadeiros amores, Pai Maninho por ser a pessoa que inspira meu caráter. Terei muito orgulho se um dia a letra da música “e é para que digam quando eu passe, saiu igualzito ao pai” servir para mim. Obrigada Mãe, por este jeito louco de me cuidar, mas amado e eficaz. Dâmaris, Cássio, Camila, Mauricio, Alexandre e Marquiela, obrigada por me ajudarem em tudo que precisei durante minha vida, e em especial nestes cinco anos de graduação. Vocês são partes de mim, e só eu sei o quanto vocês são importantes para mim.

Agradeço ao meu orientador Felipe Guadagnin pela orientação, desorientação, dicas, correções, suporte, ideias, confiança e amizade. Admiro demais sua carreira e me inspiro no grande profissional que é. Serei sempre grata por poder aprender contigo durante estes anos da graduação.

Obrigada Professor Felipe Caron por ser um professor incrível desde o começo da minha graduação, pela amizade, por incentivar minha curiosidade científica, pela ajuda no TCC, pelas ideias, enfim, te admiro muito!

Gratidão ao Professor Tiago Gregory pelas conversas, por me incentivar a acreditar em meus sonhos e buscar realizá-los, por ser a pessoa que mais acredita na capacidade de seus alunos serem bons profissionais, eu prometo fazer o possível para não te decepcionar, mestre.

Agradeço aos Professores André Borba e Vinicius Matté, pelas dicas e correções no TCC.

Obrigada aos funcionários da UNIPAMPA que me ajudaram durante a graduação, e de forma muito especial a Sissa Kumaira, pela ajuda no meu TCC.

Obrigada Professores André Alvarenga e Professoras Andrea Nummer e Joana Ribeiro pelas ótimas aulas, conselhos e oportunidades.

Minha gratidão aos meus colegas e em especial aos meus poucos e bons amigos de coração que me dão forças, conselhos e ajuda nos momentos difíceis. Valeu Renê “Soutinho”, Tatiane, Bia, Dani e Danrlei!

Obrigada Ana, Brusinha, Dany, Lita, Mayra, Nati e Thami, as “rapariguinhas giras e mesmo fixe” da “Casa das Sete Mulheres + t0” por proporcionar um distúrbio no meu padrão de vida este ano... E por me fazer perceber que mesmo amando nossa profissão, sempre seremos muito mais que ela.

Agradeço a Endeeper por fornecer a licença de avaliação para o *software Petroledge*. À UNIPAMPA por disponibilizar a licença acadêmica do *software MVE – MOVE*. À Agisoft, por fornecer a licença de avaliação do *software Photoscan*.

*“El Camino es la meta”*

(Autoria Desconhecida)

## RESUMO

Estruturas geológicas influenciam a formação e evolução das rochas sedimentares. A zona de falha Minas do Camaquã é uma estrutura importante da Bacia do Camaquã pois deforma as unidades sedimentares na sub-bacia central, influenciando a sua evolução geológica. Neste trabalho foi realizada análise faciológica aliada a análise petrográfica das rochas sedimentares em uma parte da zona de falha Minas do Camaquã. O objetivo principal do trabalho é compreender a evolução geológica da região, principalmente buscando estabelecer a relação tectônica–estratigráfica–petrológica entre as unidades deformadas. A análise faciológica foi realizada por meio de ortofotomosaicos de alta resolução e levantamento de fácies em campo. Os dados foram integrados em um perfil vertical de fácies composto, mapa e seção geológicos. Foram confeccionadas lâminas delgadas de arenitos para análise da composição, textura, estrutura e diagênese. Na área de estudo aflora uma falha da zona de falha Minas do Camaquã, que coloca em contato uma unidade inclinada a oeste com uma unidade horizontalizada a leste. Foram definidas sete fácies sedimentares, agrupadas em três associações de fácies. As fácies mostram uma sucessão de ambientes deposicionais influenciados pelo clima. A transição ocorre de um ambiente fluvial (associação de fácies CAF) para um ambiente eólico (associação de fácies AR), sucedido no topo por um ambiente de alta energia caracterizado por corpos cascalhosos e arenosos amalgamados, provavelmente correspondente a um ambiente aluvial (associação de fácies CAL). A associação de fácies CAF possui composição detrítica correspondente a arenitos lito-feldspato-quartzoso e feldspato-quartzoso, e seus principais processos diagenéticos foram: formação de cutículas e substituições de óxidos de ferro, formação de illita, crescimentos de quartzo, substituição de argilominerais por caulinita, e calcita ocorrendo em algumas amostras de forma subordinada. A associação de fácies AR apresenta composição detrítica correspondente a arenitos lito-quartzosos e lito-feldspato-quartzoso e seus principais constituintes diagenéticos são: cutículas de óxido de ferro, illita e caulinita vermicular, crescimentos de quartzo e calcita poiquilotópica. A associação de fácies CAL apresenta composição detrítica correspondente a arenitos lito-feldspato-quartzosos e feldspato-lito-quartzosos e os processos diagenéticos principais foram: cimentação de calcita macrocristalina e poiquilotópica, substituição de grãos detríticos por calcita, formação de illita, substituição de grãos detríticos por óxidos de ferro e formação de pseudomatriz. Apesar da relativa variação composicional, os arenitos analisados são derivados de orógenos reciclados, indicando uma área fonte granítica e composta por rochas supracrustais. O volume de calcita aumenta na

associação de fácies CAL, e não ocorrem crescimentos de quartzo ou foram completamente dissolvidos e/ou substituídos por calcita. As associações de fácies a oeste da falha (CAF e AR) ocorrem amplamente cimentadas por óxidos de ferro cuja fonte foi a dissolução dos minerais pesados, biotitas e litoclastos vulcânicos. Conclui-se que os padrões diagenéticos são semelhantes nas três associações de fácies, o que sugere uma única história de soterramento para ambas as unidades a oeste e a leste da falha. Dessa forma, a falha deve ter atuado como uma barreira para o fluxo hidrológico que proporcionou a precipitação dos carbonatos na porção leste da falha, limitando sua ação na porção oeste.

Palavras-chave: Grupo Guaritas. Petrologia Sedimentar. Diagênese. Zona de Falha. Proveniência Sedimentar.

## ABSTRACT

Geological structures influence the formation and evolution of sedimentary rocks. The Minas do Camaquã fault zone is an important structure of the Camaquã Basin because it deforms the sedimentary units in the central sub-basin, influencing its geological evolution. In this work, a faciologic analysis was carried out together with the petrographic analysis of the sedimentary rocks in a part of the Minas do Camaquã fault zone. The main objective of the work is to understand the geological evolution of the region, mainly seeking to establish the tectonic-stratigraphic-petrological relationship between the deformed units. Faciologic analysis was accomplished using high resolution orthophotomosaics and field facies surveys. The data were integrated into a set of facies vertical profile, map and geological section. Thin sandstone sections were made for analysis of composition, texture, structure and diagenesis. In the studied area exists a fault in the Minas do Camaquã fault zone, which places a unit inclined to the west with a horizontal unit to the east. Seven sedimentary facies were defined, grouped into three facies associations. The facies show a succession of depositional environments influenced by climate. The transition occurs from a fluvial environment (CAF facies association) to a eolian environment (AR facies association), succeeded at the top by a high energy environment characterized by amalgamated gravel and sandy bodies, probably corresponding to an alluvial environment (CAL facies association). The CAF facies association has a detrital composition corresponding to litho-feldspatho-quartzose and quartz-feldspathic sandstones, and its main diagenetic processes were: cuticle formation and iron oxide substitutions, illite formation, quartz overgrowth, substitution of clay minerals by kaolinite, and calcite occurring in some samples in a subordinate manner. The AR facies association presents a detrital composition corresponding to litho-quartzose and litho-feldspatho-quartzose sandstones and its main diagenetic constituents are: cuticles of iron oxide, vermicular illite and kaolinite, quartz overgrowths and poikilotopic calcite. The CAL facies association presents a detrital composition corresponding to litho-feldspatho-quartzose and feldspatho-litho-quartzose sandstones and the main diagenetic processes were: cementation of macrocrystalline and poikilotopic calcite, replacement of detrital grains by calcite, illite formation, grain replacement detrital by iron oxides and pseudomatrix formation. Despite the relative compositional variation, the analyzed sandstones are derived from recycled orogens, indicating a granite source area and composed of supracrustal rocks. The calcite volume increases in the CAL facies association, and there are no quartz overgrowths or have been completely dissolved

and/or replaced by calcite. The western facies associations of the fault (CAF and AR) occur largely cemented by iron oxides whose source was the dissolution of heavy minerals, biotite and volcanic lithoclasts. It is concluded that diagenetic patterns are similar in the three facies associations, suggesting a single burial history for both units at west and east of the fault. Therefore, the fault must have acted as a barrier to the hydrological flow that provided the precipitation of carbonates in the eastern portion of the fault, limiting its action in the western portion.

Keywords: Guaritas Group. Sedimentary Petrology. Diagenesis. Fault Zone. Sedimentary Provenance.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. a) Destaque para o estado do Rio Grande do Sul no mapa do Brasil. b) Localização da região de estudo inserida no estado do Rio Grande do Sul e área do município de Pinheiro Machado. c) Acessos à área de estudo. d) Imagem de satélite (Google Earth) da região próxima ao Arroio Torrinhas, com destaque para a área de estudo em vermelho..... 19
- Figura 2 – Mapa geotectônico do Escudo Sul-Riograndense. Zonas de cisalhamento: 1 – Caçapava do Sul, 2 – Dorsal de Canguçu, 3 – Passo do Marinheiro, 4 – Ibaré, 5 – Arroio Grande. .... 20
- Figura 3 – Carta estratigráfica esquemática do Grupo Guaritas..... 22
- Figura 4 – Mapa e perfil geológico do Grupo Guaritas Segundo a divisão litoestratigráfica utilizada. Área de estudo localizada em vermelho. SRV: Suíte Rodeio Velho..... 23
- Figura 5 – Diagrama de P-T relacionando diagênese com regimes metamórficos e típicos gradientes de P-T na crosta terrestre. A geoterma crustal de 10°C/km é representativa de crátons estáveis, enquanto que o valor de 30°C/km é típico de bacias sedimentares tipo rifte. Condições de baixa pressão e alta temperatura ocorrem apenas em sistemas geotermiais ou na vizinhança de contatos ígneos. .... 25
- Figura 6 – Equipamentos utilizados para a confecção das lâminas delgadas. a) Discoplan–TS, b) CitoVac, c) Labopol–TS e d) equipamento de ultrassom. .... 30
- Figura 7 – Fluxograma ilustrando o método Gazzi–Dickinson, que visa minimizar a dependência da composição da rocha no tamanho de grão. Na figura: Q (Quartzo), K (Feldspato Alcalino), P (Plagioclásio)..... 33
- Figura 8 – Diagramas de classificação petrográfica para areias e arenitos. a) Diagrama triangular. O polo L (litoarenitos) inclui grãos de carbonato e chert, Q (quartzoarenito), F (arenito feldspático), IFQ (lito-feldspato-quartzoso), fLQ (feldspato-lito-quartzoso), lQF (lito-quartzo-feldspático), fQL (feldspato-quartzo-lítico), qLF (quartzo-lito-feldspático), qFL (quartzo-feldspato-lítico). b) Diagrama de classificação petrográfica em espaço logarítmico..... 34
- Figura 9 – Diagrama dos campos de composição dos arenitos correspondentes aos tipos de proveniência tectônica. a) Quartzo total (Qt), feldspatos (F), e fragmentos líticos (L). b) Quartzo monominerálico (Qm), feldspatos (F) e fragmentos líticos (L)..... 34
- Figura 10 – Mapa e seção geológicos da área de estudo. (a) Mapa geológico construído a partir dos dados de campo e com auxílio do ortofotomosaico e do MDE. (b) Seção geológica A-A' com projeção da associação de fácies CAL para cima do relevo. Os números de 1 a 13 correspondem aos perfis estratigráficos medidos em campo (Apêndice A). .... 36
- Figura 11 – Mapa de localização das amostras coletadas sobrepostas ao ortofotomosaico. Amostras em vermelho foram selecionadas para produção de lâminas delgadas. .... 38
- Figura 12 – Características macroscópicas da associação de fácies CAF. a) F3: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação plano-paralela. b) F7: arenito conglomerático com gradação normal. c) F5: arenito médio a grosso de base cascalhosa com estratificação cruzada. d) F4: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação cruzada..... 39

Figura 13 – Aspecto textural dos arenitos da associação CAF. Arenitos grossos com estrutura maciça, os grãos são sub-arredondados, a rocha é moderadamente selecionada e a trama é caótica (Nicóis paralelos: //P).....	40
Figura 14 – Classificação da composição detrítica da associação CAF.....	41
Figura 15 – Principais aspectos de composição detrítica analisada para a associação de fácies CAF. a) Grão de plagioclásio com macla albita (Nicóis cruzados: XP). b) Grãos de quartzo com linhas de deformação e extinção ondulante, indicando que a rocha fonte passou por deformações (XP). c) fragmento de rocha metamórfica de baixo grau (seta amarela) e fragmentos de biotita detrítica (seta vermelha, //P). d) Fragmento de chert (seta amarela) e fragmento de quartzo policristalino em rocha metamórfica de alto grau (seta azul, XP). e) Fragmento de rocha vulcânica oxidado com ripas de plagioclásio preservadas (//P). f) Fragmento de rocha plutônica, com cristais de quartzo inseridos em um cristal maior de microclínio (XP). .....	42
Figura 16 – Composição detrítica acessória encontrada na associação CAF. a) Grão de zircão detrítico (XP). b) Argilominerais infiltrados na borda de um grão de rocha metamórfica (setas amarelas, XP). .....	43
Figura 17 – Principais aspectos diagenéticos dos arenitos analisados na associação de fácies CAF. a) Fragmentos de feldspatos ilitizados e oxidados (XP). b) Agregados de caulinita preenchendo porosidade intergranular (XP). c) Pseudomatriz entre grãos de quartzo e feldspato ilitizado (setas amarelas). Agregado de óxido de titânio (seta azul, XP). d) Ilita vermicular diagenética preenchendo porosidade intergranular (XP). e) Crescimentos externos de quartzo (setas vermelhas, XP). f) Cutículas de argilominerais autigênicos compactada entre os grãos (setas amarelas) e calcita preenchendo porosidade intergranular (seta rosa, XP). .....	45
Figura 18 – Feições diagenéticas identificadas para a associação de fácies CAF. a) Porosidade intergranular (em azul; //P). b) Pseudomatriz formada pela desagregação de litoclasto de arenito (setas vermelhas, //P).....	46
Figura 19 – Feições macroscópicas encontradas a associação de fácies AR. a) e b) Manchas claras formadas por fluxos de fluídos diagenéticos tardio. Em a) o fluído encontra uma barreira que inibe a lixiviação do óxido de ferro, e em b) o fluído percola fratura da rocha e os estratos cruzados. c) F1: arenito fino a médio com estratificação cruzada acanalada de grande porte. d) F2: arenito fino a médio com estratificação plano-paralela, truncando estratos cruzados.....	47
Figura 20 –Aspectos estruturais da associação de fácies AR. a) Famílias de fraturas com espaçamento centimétrico à decimétrico. b) Bandas de deformação com espaçamento centimétrico. c) Estratificação cruzada acanalada de grande porte cortada por uma falha (pontilhado vermelho). Observa-se que nesta falha as manchas claras do arenito foram cortadas pela falha. ....	47
Figura 21 – Composição de duas microfotografias mostrando a variação textural dos arenitos eólicos da associação de fácies AR. A fácies é composta por camadas de arenitos médios intercaladas com arenitos finos. Os grãos possuem orientação subparalela e são sub-arredondados. A rocha é bem selecionada.....	48
Figura 22 – Classificação da composição detrítica da fácies AR.....	49

- Figura 23 – Principais aspectos da composição detrítica dos arenitos da fácies AR. a) Plagioclásio detrítico (seta vermelha) e fragmentos metamórficos (setas azuis, XP). b) Fragmentos líticos, chert (seta amarela), metamórfica de baixo grau (setas vermelha e azul, XP). c) Fragmento de rocha vulcânica (seta vermelha, XP). d) Fragmento lítico indiferenciado (//P). e) Grão de quartzo metamórfico (XP). f) Fragmento de rocha plutônica, com muscovita e biotita (XP). .....50
- Figura 24 – Principais feições diagenéticas nos arenitos analisados na associação de fácies AR. a) Cutícula de argilominerais infiltrada entre os grãos, parcialmente substituídas por óxidos de ferro (setas pretas, //P). b) Cutículas de óxido de ferro autigênico (setas verdes, //P). c) Cutículas de argilomineral autigênico entre grãos (setas brancas), e crescimento de quartzo autigênico (seta laranja, XP). d) Caulinita vermicular autigênica, preenchendo poro intergranular (XP). Em ‘e’ e ‘f’ é mostrada a variação petrográfica entre porções normais da rocha (e) e em áreas claras da amostra (f; //P). .....52
- Figura 25 – Principais feições diagenéticas nos arenitos analisados da associação de fácies AR. a) Crescimentos externos de quartzo marcados pelas cutículas de argilominerais entre os grãos e o crescimento, e também por suas formas geométricas (setas laranjas), e calcita macrocristalina dissolvendo o crescimento e os grãos de quartzo (seta vermelha, XP). b) calcita poiquilótópica (seta rosa) e grão detrítico totalmente substituído por calcita blocosa (seta vermelha). Também são observados crescimentos de quartzo externamente aos grãos (XP). c) Cristais de óxido de titânio (seta azul claro) e substituição de biotita por clorita (seta azul escuro, //P). d) Ilita preenchendo poro intergranular (setas amarelas, XP). .....53
- Figura 26 – Aspectos de campo da associação de fácies CAL. a) Camadas horizontalizadas no topo da associação. b) F4: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação cruzada. c) F3: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação plano-paralela a maciça (F3) e F6: ortoconglomerado polimítico com clastos arredondados e estrutura maciça. ....54
- Figura 27 – Aspectos texturais dos arenitos analisados da fácies CAL. a) Arenito médio com grãos sub-angulosos, moderadamente selecionado, com estrutura maciça e orientação caótica (//P). b) Arenito médio com grãos sub-angulosos, moderadamente selecionado, com laminação irregular formada pela concentração sub-paralela de micas (//P). c) Arenito grosso com grão de quartzo monocristalino anguloso (não é identificado crescimento externo, //P). .....55
- Figura 28 – Classificação da composição detrítica da associação de fácies CAL. ....56
- Figura 29 – Principais aspectos da composição detrítica nos arenitos analisados da associação de fácies CAL. a) Grão de microclínio XP). b) Plagioclásio detrítico em contato longo com feldspato com macla carlsbad (seta amarela; XP). c) Fragmento de rocha sedimentar (//P). d) Fragmentos de rocha vulcânica (setas vermelhas) e de rocha metamórfico com foliação (seta verde; //P). e) Fragmento de quartzo policristalino recristalizado em rocha metamórfica (seta verde) e feldspato ilitizado ao centro (XP). f) Fragmento de rocha metamórfica foliada (seta verde) e grãos de quartzo com vacúolos na direita (XP). .....57
- Figura 30 – Principais feições diagenéticas dos arenitos da formação CAL. A) Substituição de biotita e feldspato por calcita (setas amarelas). B) Substituição de grão policristalino de quartzo por calcita (seta amarela), ilitização de feldspatos (setas vermelhas), e cutículas de argilomineral (setas rosas). C) Substituição completa de grão detrítico por calcita

diagenética. D) Bordas corroídas por calcita (setas amarelas), e substituição de clorita por óxidos de ferro (seta roxa). E) Pseudomatriz oxidada (seta azul). F) Grão de quartzo sendo corroído por óxidos de ferro. .... 59

Figura 31 – Proveniência Sedimentar das rochas analisadas. Qm representa a proporção de quartzo monocristalino contado pelo método Gazzi-Dickinson, Lt a soma dos fragmentos líticos metamórficos, sedimentares (incluindo chert) e vulcânicos e F os feldspatos totais. a) Associação de fácies CAF. b) Associação de fácies AR. c) Associação de fácies CAL. .... 61

Figura 32 – Sequência paragenética proposta para os arenitos com diferentes composições. AF: associação de fácies. CL: classificação dos arenitos. .... 64

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Objetivos	18
1.2	Justificativa	18
<b>2</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>18</b>
2.1	Contexto Geológico	19
2.1.1	Grupo Guaritas	21
<b>3</b>	<b>CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>23</b>
3.1	Composição das rochas siliciclásticas	24
3.2	Diagênese: aspectos gerais	24
3.3	Estágios diagenéticos	26
3.4	Análise de proveniência estática e dinâmica	27
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>27</b>
4.1	Revisão bibliográfica	28
4.2	Aquisição e processamento de fotografias aéreas	28
4.3	Análise faciológica	29
4.4	Coleta de amostras e confecção de lâminas delgadas	29
4.5	Análise petrográfica	31
4.5.1	Petrologia Sedimentar Quantitativa	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>35</b>
5.1	Conglomerados e arenitos fluviais	39
5.1.1	Estruturas, texturas e trama	39
5.1.2	Composição detrítica	40
5.1.3	Diagênese	43
5.2	Arenitos eólicos	46
5.2.1	Estruturas, texturas e trama	48
5.2.2	Composição detrítica	49
5.2.3	Diagênese	50
5.3	Conglomerados de leques aluviais	53
5.3.1	Estruturas, texturas e trama	54
5.3.2	Composição detrítica	55
5.3.3	Diagênese	57

<b>6</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
6.1	Proveniência .....	60
6.2	Processos e padrões diagenéticos.....	62
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a evolução dos sedimentos, os processos sedimentares podem ser separados em pré-deposicionais, deposicionais e pós-deposicionais. Os processos pré-deposicionais estão relacionados principalmente a produção, dispersão e mistura de sedimentos (*e.g.*, JOHNSSON, 1993; McLENNAN *et al.*, 1993); enquanto que os processos deposicionais estão relacionados principalmente ao balanço energético dos sistemas de transporte de sedimentos, nível de base, disponibilidade de espaço e suprimento sedimentar (*e.g.*, CATUNEANU *et al.*, 2011). Todos os processos sedimentares que ocorrem após a deposição estão incluídos nos processos diagenéticos (WORDEN; BURLEY, 2003). Os processos diagenéticos são influenciados por diversos fatores incluindo a textura e composição da rocha sedimentar, os parâmetros físico-químicos dos fluidos associados e a evolução tectônica da bacia sedimentar (PÉREZ; RODRÍGUES, 2010). Estruturas geológicas de origem estratigráfica, como as discordâncias, ou tectônicas, como sistemas de fraturas e estruturas associadas, influenciam os processos diagenéticos (LAUBACH *et al.*, 2010). Nesses casos, os produtos da diagênese podem estar relacionados a evolução estrutural da bacia sedimentar, pois as estruturas podem ser tanto barreiras quanto podem facilitar o fluxo de fluidos. A presença de fluidos, por sua vez, influencia o gradiente térmico, levando a um aumento ou diminuição das reações e do transporte de componentes químicos (LAUBACH *et al.*, 2010).

De acordo com Oliveira *et al.*, (2016), a Bacia do Camaquã contém o registro de três ciclos bacinais desenvolvidos em diferentes ambientes tectônicos no final da Era neoproterozoica. O primeiro e o segundo ciclo estão registrados pelas sequências do Grupo Maricá e Bom Jardim, respectivamente. O último ciclo compreende os grupos Santa Bárbara e Guaritas (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Estas unidades encontram-se deformadas, com direções em torno de NNE-SSW e mergulhos variáveis entre 20° e 50°, localmente sub-verticais (ALMEIDA, 2005).

Ao sul do Rio Camaquã, na região do Arroio Torrinhas, afloram rochas sedimentares do último ciclo bacinal. Nessa região ocorre um conjunto de falhas denominado de Zona de Falha Minas do Camaquã, de cinemática normal com componente transcorrente sinistral (ALMEIDA *et al.*, 2012). Segundo Ramgrab e Wildner (1999), essa zona de falha coloca em contato unidades do Grupo Santa Bárbara, a oeste, e unidades do Grupo Guaritas, a leste. Por outro lado, Almeida *et al.*, (2012) sugere que essa zona de falha coloque em contato as formações Guarda Velha e Pedra Pintada, sub-verticalizadas, com as formações Pedra Pintada e Serra do Apertado, sub-horizontais, do Grupo Guaritas.

Para compreender a evolução geológica dessa região, foram realizadas análise faciológica e petrográfica das unidades que ocorrem a oeste e leste de uma das falhas da Zona de Falha Minas do Camaquã. Foi determinado o arcabouço estratigráfico, os ambientes deposicionais e as variações texturais, composicionais e diagenéticas das rochas que ocorrem na região para buscar evidências que permitam estabelecer quais unidades geológicas foram afetadas pela deformação e qual a influência da deformação na evolução das rochas sedimentares destas unidades.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é buscar evidências estratigráficas e petrográficas (composicionais, texturais e diagenéticas) que permitam identificar e interpretar semelhanças ou diferenças entre as sequências sedimentares separadas pela zona de falha Minas do Camaquã. Entre os objetivos específicos estão:

- Análise de proveniência sedimentar;
- Análise da evolução diagenética;

## 1.2 Justificativa

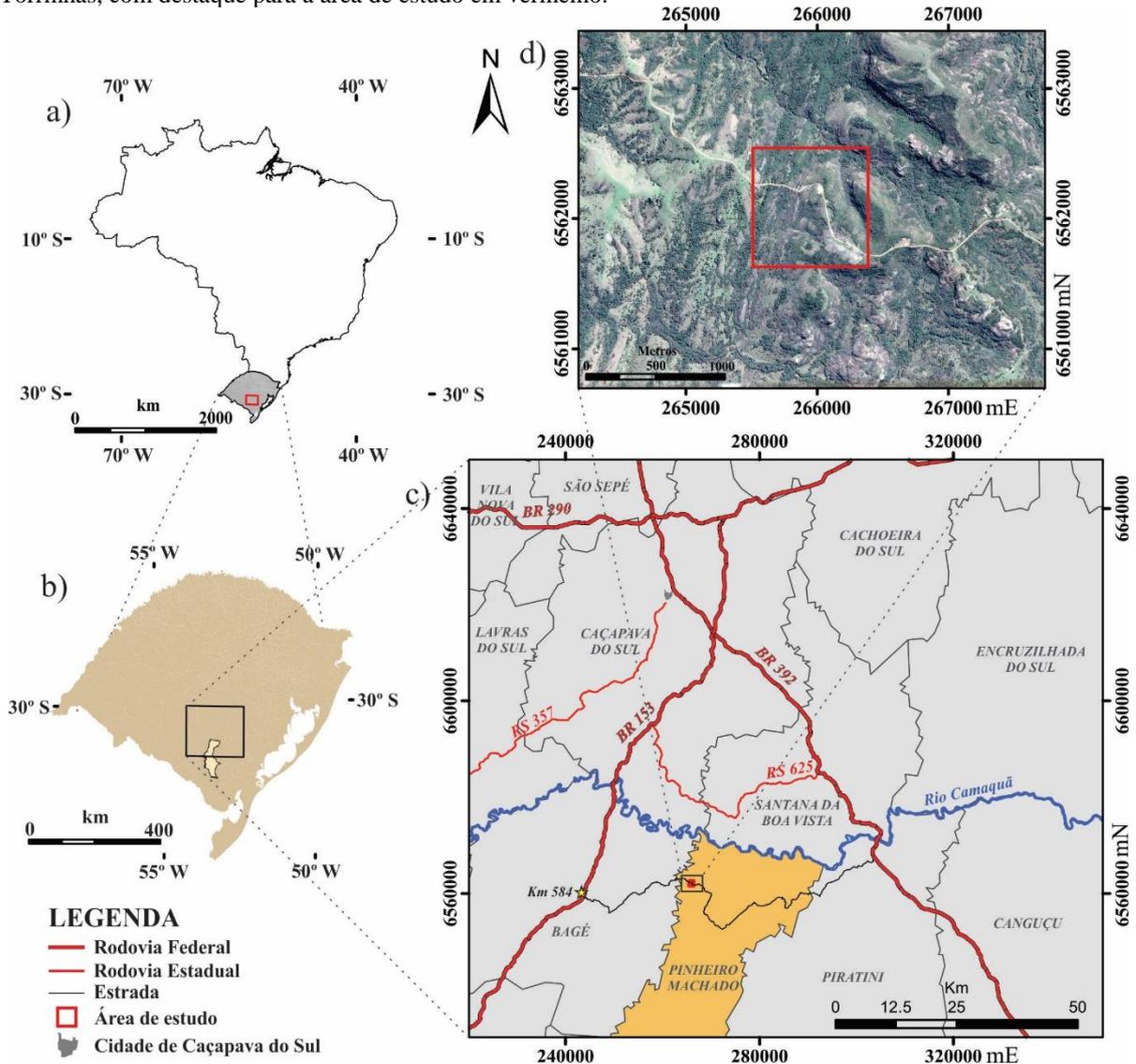
Vários trabalhos descrevem as rochas do Grupo Guaritas (*e.g.*, ALMEIDA *et al.*, 2009; MARASCHIN *et al.*, 2010; GODINHO *et al.*, 2013). Porém, poucos se concentram no detalhamento da composição primária e da diagênese dos arenitos (*e.g.*, DE ROS, MORAD, PAIM, 1994; MARASCHIN *et al.*, 2010) e sua relação com o contexto estrutural. Desta forma, a necessidade de um trabalho de descrição e comparação destes processos se justifica, para melhor compreensão da formação e evolução das últimas unidades do preenchimento da Bacia do Camaquã.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo possui cerca de 1 km<sup>2</sup> e está localizada na porção noroeste do município de Pinheiro Machado (Fig. 1) entre as coordenadas 266.500-265.500 mE e 6.562.600-6.561.600 mS (Projeção Universal Transversa de Mercator zona 22, DATUM SIRGAS 2000). O município de Pinheiro Machado localiza-se na região sul do estado do Rio Grande do Sul. A área de estudo está localizada a aproximadamente 111 km da cidade de Caçapava do Sul e a

350 km de Porto Alegre. O acesso pode ser realizado pelas rodovias BR-153 ou BR-392, seguindo por estradas secundárias não asfaltadas (Fig. 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. a) Destaque para o estado do Rio Grande do Sul no mapa do Brasil. b) Localização da região de estudo inserida no estado do Rio Grande do Sul e área do município de Pinheiro Machado. c) Acessos à área de estudo. d) Imagem de satélite (Google Earth) da região próxima ao Arroio Torrinhas, com destaque para a área de estudo em vermelho.



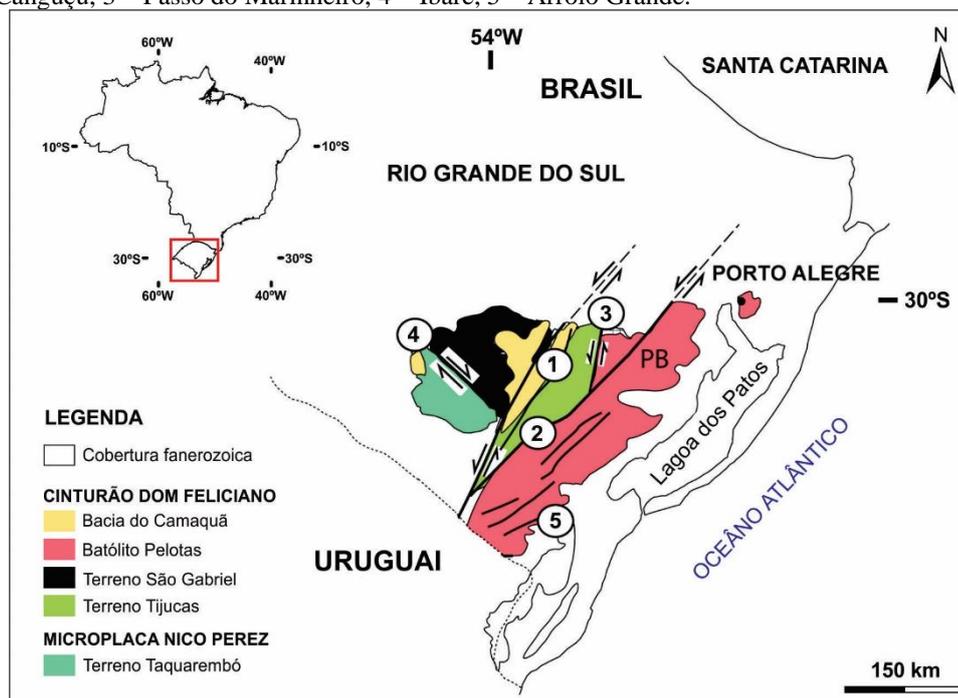
Fonte: (a), (b) e (c) Adaptado da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK & WEBER, 2010; Biblioteca Digital FEPAM, 2005) e (d) Adaptado do Google Earth (2017).

## 2.1 Contexto Geológico

A área de estudo compreende uma porção da Bacia do Camaquã. A Bacia do Camaquã está inserida no contexto geotectônico do Escudo Sul-rio-grandense. O Escudo Sul-rio-grandense é descrito em termos de quatro unidades: Terreno Taquarembó, que está incluso na

Microplaca Nico Perez (PHILIPP; PIMENTEL; CHEMALE JR, 2016); Terreno São Gabriel, Terreno Tijucas e Batólito Pelotas, que formam o Cinturão Dom Feliciano (Fig. 2; HARTMANN; CHEMALE JR; PHILLIP, 2007). Fragmentos paleoproterozoicos estão expostos no Terreno Tijucas, como o Complexo Encantadas; e no Batólito Pelotas, como os complexos Arroio dos Ratos e Várzea do Capivarita (HARTMANN; CHEMALE JR; PHILLIP, 2007).

Figura 2 – Mapa geotectônico do Escudo Sul-Riograndense. Zonas de cisalhamento: 1 – Caçapava do Sul, 2 – Dorsal de Canguçu, 3 – Passo do Marinheiro, 4 – Ibaré, 5 – Arroio Grande.



Fonte: extraído e modificado de Philipp, Pimentel, Chemale Jr (2016).

A Bacia do Camaquã encontra-se dividida em três sub-bacias principais (Camaquã Oriental, Central e Ocidental) de direção preferencial NNE-SSW, separadas pelos altos do embasamento de Caçapava do Sul e da Serra das Encantadas (FAMBRINI, 2003).

No decorrer da evolução do conhecimento sobre as unidades que formam a Bacia do Camaquã, foi publicada uma série de subdivisões. Destes trabalhos, atualmente existe relativo consenso sobre a subdivisão do Supergrupo Camaquã (ou Alosupergrupo Camaquã) em quatro unidades, utilizando tanto os conceitos da Litoestratigrafia quanto da Aloestratigrafia. Essas quatro unidades são nomeadas como grupos (ou alogrupos) Maricá, Bom Jardim, Santa Bárbara e Guaritas (*e.g.*, PAIM, LOPES; CHEMALE JR, 1995; FRAGOSO-CESAR *et al.*, 2003 *apud* FAMBRINI, 2003). Alguns trabalhos mostram pequenas variações como, por exemplo, a inclusão da Formação Acampamento Velho como uma unidade separada (*e.g.*, ALMEIDA *et*

*al.*, 2012). Neste trabalho foi utilizada a subdivisão do Supergrupo Camaquã proposta por Almeida *et al.* (2012), no qual apresenta-se subdividido em Grupo Maricá, Grupo Bom Jardim, Formação Acampamento Velho, Grupo Santa Bárbara e Grupo Guaritas.

### 2.1.1 Grupo Guaritas

O Grupo Guaritas é a unidade de topo do Supergrupo Camaquã, que ocorre na região centro sul do estado do Rio Grande do Sul e depositou-se em uma bacia do tipo rifte transtrativo (*e.g.* FRAGOSO-CESAR, 1991; PAIM; CHEMALE JR; LOPES, 2000). Sua área aflorante apresenta em torno de 50 km de largura e mais de 150 km de comprimento. Suas extremidades são cobertas por depósitos da Bacia do Paraná (ALMEIDA, 2005).

O Grupo Guaritas foi primeiramente definido como Formação Guaritas e Conglomerado Coxilha por Robertson (1966). A unidade é constituída por uma espessa sucessão, com mais de 1500 metros de arenitos conglomeráticos, conglomerados, ritmitos psamo-pelíticos e arenitos finos a médios com estratificação cruzada de grande porte (GODINHO *et al.*, 2013). Interpretase origem continental para todas as unidades do grupo Guaritas. Intercalados na base do Grupo Guaritas encontram-se rochas basálticas alcalinas, denominadas de Membro Rodeio Velho (RIBEIRO *et al.*, 1966).

Paim, Lopes e Chemale Jr (1995) subdividem este grupo em duas aloformações: Pedra Pintada e Varzinha. A Aloformação Pedra Pintada é composta por fácies desérticas e inclui próximo a sua base, rochas vulcânicas de composição intermediária (PAIM; LOPES; CHEMALE JR, 1995). Já a Aloformação Varzinha é caracterizada por fácies aluviais e, secundariamente, fácies eólicas, ambas passando para fácies deltaicas em direção ao topo da sequência (PAIM; LOPES; CHEMALE JR, 1995).

Neste trabalho será utilizada como referência a revisão da subdivisão do Grupo Guaritas proposta por Almeida *et al.* (2009), onde o grupo é subdividido em cinco unidades litoestratigráficas. São elas: Guarda Velha, Varzinha, Pedra Pintada, Pedra das Torrinhas e Serra do Apertado (Fig. 3 e 4).

a) Formação Guarda Velha: marca o início da deposição do Grupo Guaritas. Reúne arenitos de textura grossa e conglomerados. Os depósitos superiores são compostos principalmente por arenitos seixosos. A composição detrítica corresponde principalmente a rochas granitoides e vulcânicas ácidas. Esta formação assenta em discordância angular sobre o Grupo Santa Bárbara.

b) Formação Varzinha: a unidade marca a substituição dos depósitos de carga de leito por depósitos de grão fino correspondente a planícies de inundação. A composição dos clastos é caracterizada por quartzo-milonitos e granito milonítico, com ocorrências locais de filitos e xistos.

c) Formação Pedra Pintada: caracterizada por arenitos finos a médios com estratificação cruzada de grande porte, e com rumo de mergulho médio para NE. A unidade compreende depósitos de campos de dunas formados pelo retrabalhamento eólico dos sedimentos aluviais. A coexistência de campo de dunas com rios efêmeros é indicada pela existência de fácies de interdunas inundadas e pela ocorrência de fácies de canais efêmeros.

d) Formação Pedra das Torrinhas: a unidade é caracterizada por brechas, e intercalações de conglomerados estratificados com arenitos seixosos e pelitos. A passagem lateral para a Formação Varzinha é caracterizada pela diminuição gradual da granulometria e da frequência de seixos proveniente do embasamento.

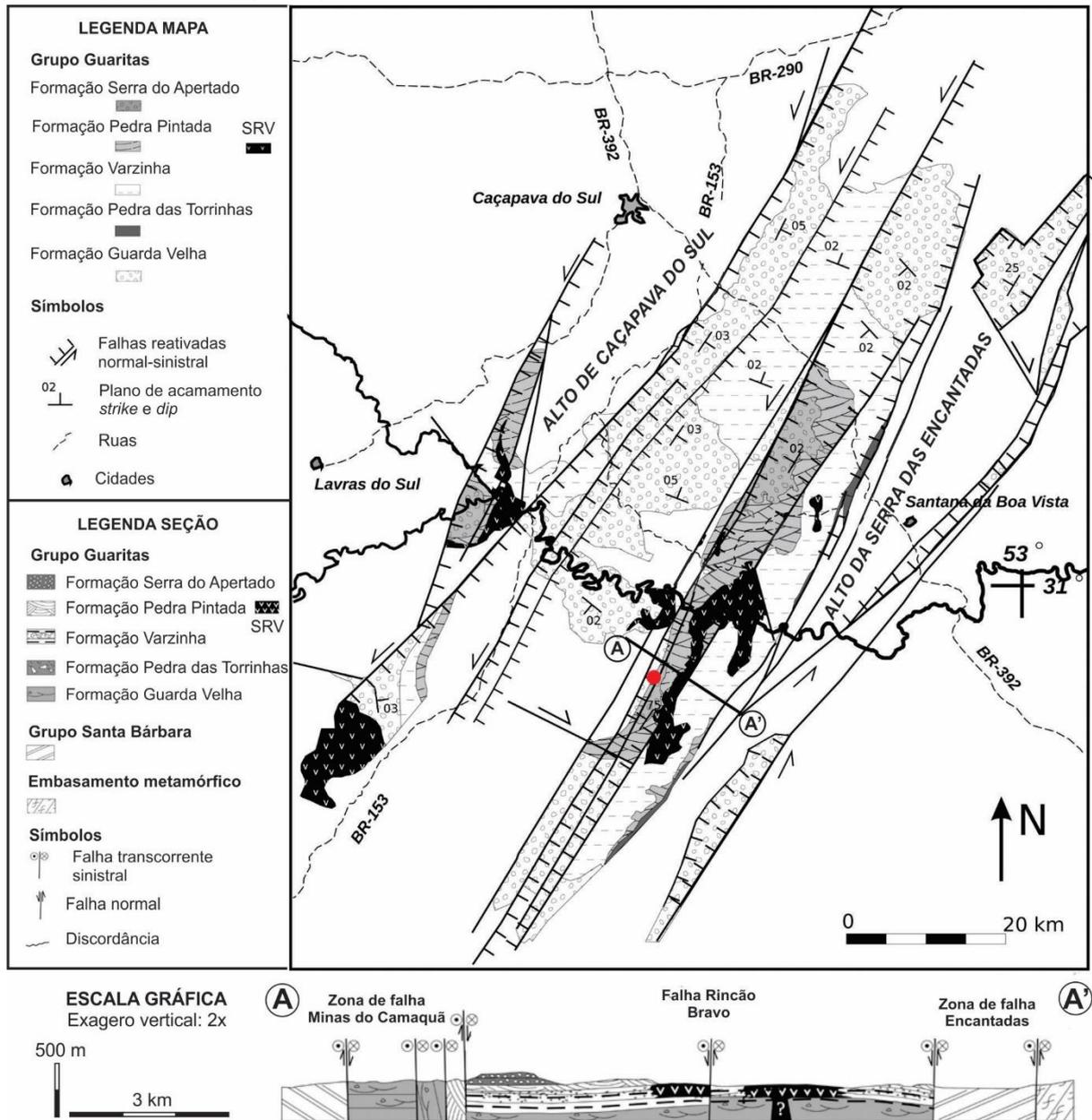
e) Formação Serra do Apertado: a unidade é composta por arenitos conglomeráticos com seixos arredondados e lentes de conglomerados, semelhantes aos da Formação Guarda Velha, porém posicionados acima das sucessões eólicas da Formação Pedra Pintada.

Figura 3 – Carta estratigráfica esquemática do Grupo Guaritas.

Estágios	W	Arquitetura da Bacia	E	Eventos Tectônicos
Pós-rifte inicial	Fm. Serra do Apertado			Subsidência Termal
Rifte-clímax intermediário à tardio	Fm. Pedra das Torrinhas Fm. Varzinha	Fm. Pedra Pintada	Fm. Pedra das Torrinhas Fm. Varzinha	Soerguimento dos depósitos a leste e aumento da subsidência
Rifte-clímax inicial	Fm. Guarda Velha			Desenvolvimento das falhas principais
Início do rifte				Início da subsidência

Fonte: extraído e modificado de Almeida *et al.* (2009)

Figura 4 – Mapa e perfil geológico do Grupo Guaritas Segundo a divisão litoestratigráfica utilizada. Área de estudo localizada em vermelho. SRV: Suíte Rodeio Velho.



### 3 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

A revisão dos conceitos referentes à petrologia sedimentar foi concentrada nos seguintes temas: composição de rochas siliciclásticas, aspectos gerais sobre diagênese, definição de estágios diagenéticos, e sobre a abordagem da análise dinâmica em proveniência sedimentar.

### 3.1 Composição das rochas siliciclásticas

Segundo Johnsson (1993), as rochas sedimentares são as principais fontes de informação a respeito das condições do passado na superfície da Terra. Às vezes, a composição de materiais siliciclásticos é única pista disponível sobre a composição da rocha fonte erodida, tornando uma ferramenta de reconstrução paleogeológica (*e.g.*, JOHNSSON, 1993). As modificações que ocorrem durante o transporte e deposição reduzem as informações sobre a área fonte e ao mesmo tempo, fornece uma riqueza de informações a respeito dos processos que atuaram na formação destes sedimentos. Já as modificações pós-deposicionais fornecem pistas sobre o ambiente diagenético da bacia sedimentar. Dessa forma, a análise das rochas sedimentares inclui o estudo dos componentes detríticos e diagenéticos (JOHNSSON, 1993).

A composição é fortemente correlacionada com o tamanho de grão. Pelitos e arenitos derivados de área fonte e condições idênticas apresentam composições distintas simplesmente porque argilominerais compõem a maior parte dos grãos mais finos, e detritos consistem principalmente de minerais primários, que são encontrados nas frações mais grossas (*e.g.*, BOGGS, 2009; JOHNSSON, 1993).

Seguindo o soterramento, os sedimentos são sujeitos a um conjunto de processos modificadores. Diagênese em profundidade, comumente resulta em destruição de feldspatos e dos grãos líticos, dissolução das fases instáveis, crescimento de fases autigênicas, e cimentação (WORDEN; BURLEY, 2003). Como ocorre no intemperismo químico, a principal mudança na composição dos sedimentos resulta do reequilíbrio das fases originais para seu novo ambiente físico e químico (JOHNSSON, 1993).

### 3.2 Diagênese: aspectos gerais

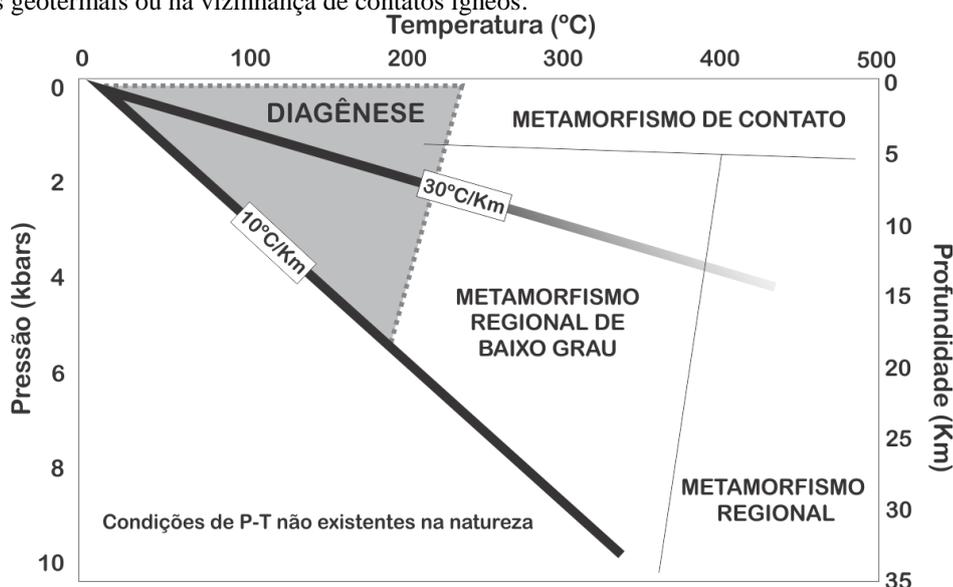
Segundo Worden e Burley (2003), a diagênese compreende vários processos físicos, químicos e biológicos pós-deposicionais, pelo qual a assembleia sedimentar original e os fluidos intersticiais reagem na tentativa de alcançar o equilíbrio geoquímico com o ambiente. Estes processos permanecem ativos à medida que o ambiente evolui em termos de temperatura, pressão e química, durante a história de deposição, soterramento e soerguimento da bacia (BJØRLYKKE, 2014).

Tanto em ambientes áridos como úmidos envolve, nas fases finais, a formação de minerais do grupo da gipsita, esmectita, caulinitas, a partir das reações que ocorrem nos precursores aluminossilicatos (WORDEN; BURLEY, 2003). A diagênese difere do

metamorfismo pela variedade de minerais e história termal; em geral, a transição ocorre entre uma temperatura de 180-250°C (Fig. 5; WORDEN; BURLEY, 2003).

Os mecanismos fundamentais que conduzem as reações diagenéticas são mudanças na química do fluído presente nos poros, temperatura e pressão. É a presença de componentes minerais instáveis e metaestáveis que “carrega” os fluídos dos poros com espécies dissolvidas que definem o sistema diagenético (WORDEN; BURLEY, 2003). Sem a presença de fluídos aquosos nos poros, a diagênese cessa de forma eficaz. A assembleia mineral reage através da interação da rocha com os fluídos nos poros em direção ao equilíbrio geoquímico no ambiente (WORDEN; BURLEY, 2003).

Figura 5 – Diagrama de P-T relacionando diagênese com regimes metamórficos e típicos gradientes de P-T na crosta terrestre. A geoterma crustal de 10°C/km é representativa de crátons estáveis, enquanto que o valor de 30°C/km é típico de bacias sedimentares tipo rifte. Condições de baixa pressão e alta temperatura ocorrem apenas em sistemas geotermiais ou na vizinhança de contatos ígneos.



Fonte: modificado de Worden & Burley (2003).

A evolução dos ambientes diagenéticos, em função da história de deposição, soterramento e soergimento da bacia, fica registrada nas rochas sedimentares, e pode ser analisadas em estudos petrográficos (WORDEN; BURLEY, 2003). Uma variedade de termos, com significados específicos, é utilizada para descrever os processos diagenéticos, alguns destes termos estão resumidos na tabela 1.

Tabela 1 – Termos comuns usados na diagênese.

TERMO	DEFINIÇÃO
<b>Autigênese</b>	Crescimento mineral <i>in situ</i>
<b>Cimentação</b>	Crescimento ou precipitação mineral nos espaços porosos
<b>Compactação</b>	Conjunto de processos resultando no colapso do espaço poroso em arenitos
<b>Descarboxilação</b>	Perda de CO <sub>2</sub> da matéria orgânica em resposta ao aumento da temperatura
<b>Desidratação</b>	Perda de H <sub>2</sub> O da matéria orgânica como resultado do aumento da temperatura
<b>Dissolução</b>	Processo no qual um mineral é destruído pela interação com um fluido, deixando para trás uma cavidade
<b>Litificação</b>	Processo de endurecimento de sedimentos soltos ou friáveis através dos processos de compactação e cimentação
<b>Neomorformação</b>	Novo crescimento mineral durante a diagênese
<b>Neomorfismo</b>	Transformação de um mineral envolvendo mudanças na química do cristal
<b>Seqüência Paragenética</b>	Ordem na qual os processos diagenéticos ocorrem nos sedimentos
<b>Precipitação</b>	Cristalização de um mineral a partir de uma solução
<b>Recristalização</b>	Dissolução seguida por precipitação envolvendo mudanças no tamanho do cristal ou hábito de um mineral específico
<b>Substituição</b>	Crescimento de um mineral autigênico quimicamente diferente dentro do corpo do mineral pré-existente

Fonte: extraído e modificado de Worden e Burley (2003).

Uma seqüência paragenética é interpretada pela ordem em que os processos diagenéticos aconteceram. A seqüência é construída com base em observações sobre a ordem de crescimento mineral. Uma seqüência paragenética inclui todos os processos listados acima bem como compactação, dissolução, recristalização e precipitação. Um volume muito grande de cimento e poros em um arenito cimentado por carbonato, por exemplo, indica que a cimentação ocorreu antes que a compactação, e também antes que acontecesse um soterramento significativo. Uma seqüência paragenética é uma forma simples de relacionar uma série complexa de eventos em um dado tempo (WORDEN; BURLEY, 2003).

### 3.3 Estágios diagenéticos

Segundo Worden e Burley (2003), o conceito de estágio diagenético é um quadro amplo que relaciona processos diagenéticos com a evolução de bacias sedimentares. Três estágios são conceitualmente conhecidos: diagênese precoce (eodiagênese), diagênese de soterramento (mesodiagênese) e diagênese relacionada com soerguimento (telodiagênese). Esta terminologia foi primeiramente proposta por Choquette e Pray (1970), e adaptada por Worden e Burley (2003).

A eodiagênese inclui todos os processos que ocorrem próximos a superfície, onde a química dos fluídos intersticiais é controlada principalmente pelo ambiente deposicional. Em muitos casos, é o regime em que a água meteórica penetra na subsuperfície, embora a dinâmica dos sedimentos costeiros com refluxo de água do mar também seja classificada como

eodiagênese. Dessa forma, ela se estende até maiores profundidades (várias centenas de metros) dependendo da permeabilidade dos sedimentos (WORDEN; BURLEY, 2003).

Mesodiagênese ocorre durante o soterramento e é definida por todos os processos que ocorrem a partir da eodiagênese até os estágios iniciais do metamorfismo de baixo grau. Os principais fatores que influenciam na mesodiagênese incluem a história de tempo e temperatura, a mineralogia primária, a transferência de massa e a geoquímica dos fluídos nos poros (WORDEN; BURLEY, 2003).

A telodiagênese ocorre quando as rochas são soerguidas e exumadas, sendo expostas ao fluxo de água meteórica que não está relacionada com o ambiente deposicional que hospedou os sedimentos (WORDEN; BURLEY, 2003).

### **3.4 Análise de proveniência estática e dinâmica**

Considerar a evolução das áreas fonte no tempo e espaço fornece uma perspectiva importante em análise de proveniência. Segundo Garzanti (2015), a análise de proveniência refere-se a análise das sucessões de passagens das quais os sedimentos sobrevivem. Essas passagens modificam as características recebidas da rocha fonte, antes (viés ambiental) e depois (viés diagenético) da deposição. Uma forma de diminuir a complexidade na análise de proveniência é a comparação das rochas sedimentares com os ambientes de sedimentação modernos (GARZANTI, 2015). Para análise de ambientes modernos não é necessário preocupar-se com os efeitos sobrepostos pela diagênese. Além disso, as informações geológicas e geomorfológicas dos terrenos fonte e sistemas de dispersão de sedimentos estão disponíveis (GARZANTI, 2015).

Dickinson (1985) aconselhou o uso de diagramas ternários como uma ferramenta gráfica para ilustrar a mistura de detritos de diversas fontes na composição final dos sedimentos, ao invés de uma utilização rígida para discriminação tectônica. Uma abordagem flexível permite descrever a mistura de sedimentos no espaço e no tempo (DICKINSON, 1985), e assim, avançar a partir de uma escolha estática de um cenário paleogeográfico (apenas um campo no diagrama), para uma definição das tendências de evolução dinâmica das fontes crustais. (GARZANTI, 2015).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

O método adotado para aquisição e interpretação dos dados geológicos compreendeu as seguintes etapas: revisão bibliográfica, aquisição e processamento de fotografias aéreas, análise faciológica, coleta de amostras e confecção de lâminas delgadas e análise petrográfica.

#### 4.1 Revisão bibliográfica

Compreendeu o levantamento e compilação dos dados, relatórios e publicações sobre a Bacia do Camaquã com o propósito de compreender o enquadramento geológico das rochas analisadas. Também foi realizada uma revisão de conceitos sobre petrologia sedimentar que auxiliou na descrição e interpretação dos afloramentos, amostras de mão e análise microscópica. Os conceitos são relacionados aos processos sedimentares, controles deposicionais sobre a composição primária, diagênese e proveniência de arenitos.

#### 4.2 Aquisição e processamento de fotografias aéreas

Foi realizado levantamento aerofotográfico com o uso de veículo aéreo não-tripulado (VANT). O VANT utilizado foi o modelo *DJI Phantom 4* que possui distância focal de 3,61 mm e tamanho do pixel de 1,56 x 1,56  $\mu\text{m}$ . Com o VANT foram programados 3 voos para a aquisição de 1004 fotografias a uma altura de voo média de 35 metros resultando em uma resolução final de cerca de 1,5 cm (*ground sample distance* ou GSD).

As fotografias foram processadas por fotogrametria no *software Photoscan 1.3.4* para a criação de um modelo tridimensional da superfície da área de estudo e geração de ortofotomosaico. As imagens são carregadas no *software* e são integradas pelo algoritmo *Structure From Motion* (SfM; TAVANI; CORRADETTI; BILLI, 2016) para a geração de nuvem de pontos de amarração (*tie point cloud*). A partir da nuvem de pontos de amarração, as imagens são alinhadas e é criada uma nuvem densa de pontos (*dense point cloud*). A partir da nuvem densa de pontos, é construída uma superfície sólida triangulada (*mesh surface*) que é posteriormente texturizada a partir das fotografias originais. Após estas três etapas são construídos um modelo digital de elevação (MDE) e ortofotomosaico da área de estudo. Os parâmetros finais após o processamento foram: altura de voo de 58,9 metros e GSD de 2,19 cm/pixel.

O ortofotomosaico corresponde ao mosaico de fotografias corrigidas para a distorção. Sendo assim, são projeções planas em planta que refletem a superfície terrestre sem distorção. Esse produto foi impresso na escala 1:500 para auxiliar a análise faciológica.

### 4.3 Análise faciológica

A análise faciológica consistiu na identificação e descrição das fácies e associação de fácies e interpretação dos ambientes sedimentares. A descrição das fácies é baseada na litologia, tamanho de grão, estruturas sedimentares (MAGALHÃES *et al.*, 2015), e paleocorrentes. Foram medidos e empilhados em campo treze perfis estratigráficos ao longo da área de estudo. Esses perfis foram catalogados na escala vertical de 1:100 e as espessuras foram determinadas utilizando trena. Os perfis estratigráficos medidos em campo foram plotados no ortofotomosaico e no modelo digital de elevação (DEM) e posteriormente foram projetados em uma seção geológica de direção NNW–SSE (285°–105°), com uso do *software Move*. As medidas de acamamento sedimentar também foram projetadas para o mesmo perfil. A partir destes dados foi possível calcular as espessuras verdadeiras das seções medidas em campo. Por fim, com as espessuras medidas para cada perfil estratigráfico, as colunas estratigráficas foram integradas em um perfil vertical de fácies composto (Apêndice A).

### 4.4 Coleta de amostras e confecção de lâminas delgadas

Foram coletadas dezesseis amostras de arenitos e arenitos conglomeráticos ao longo da área de estudo. Para cada ponto de coleta foi anotado sua coordenada UTM com utilização do GPS da marca *Garmin* modelo MAP62CSx, descrito e fotografado o afloramento. Além disso, a posição de cada amostra foi plotada no ortofotomosaico. As amostras foram identificadas usando o código MTx-y, em que “x” corresponde ao dia do trabalho de campo, e “y” corresponde ao número da sequência de amostra coletada. Quando possível, foi realizada medidas da atitude do acamamento e/ou estruturas primárias e tectônicas com auxílio de bússola marca *Brunton* modelo *Geopocket*.

Foram confeccionadas um total de 15 lâminas delgadas a partir das amostras coletadas em campo. A confecção foi feita pela autora, no Laboratório de Mineralogia e Petrografia da Universidade Federal do Pampa. Os equipamentos utilizados para a confecção das lâminas consistem no sistema de laminação *STRUERS* e incluem os equipamentos: *Discoplan–TS*, para o corte e desbaste da rocha; *CitoVac* para impregnação a vácuo das amostras com mistura de resina epóxi e endurecedor e colagem da amostra no vidro; *Labopol–TS* para lapidação da amostra. Também foi utilizado equipamento de ultrassom para auxílio a limpeza das peças e desagregação da mistura de glicerina e abrasivos usada na lapidação.

A *Discoplan-TS* compreende um conjunto de duas serras diamantadas, uma delas própria para corte de rochas e a outra própria para desbaste (após a amostra estar colada no vidro) preparando para posterior lapidação final. A *Labopol-TS* compreende um disco de ferro e um braço mecânico para encaixe de até oito amostras com tamanho padrão para realizar a lapidação de forma semiautomática (Fig. 6).

Figura 6 – Equipamentos utilizados para a confecção das lâminas delgadas. a) *Discoplan-TS*, b) *CitoVac*, c) *Labopol-TS* e d) equipamento de ultrassom.



Fonte: autoria própria (2017).

As amostras primeiramente atingem uma dimensão média de 10x20x30 mm. O corte foi realizado sempre de forma perpendicular ao acamamento e na direção paralela à imbricação dos clastos ou outro indicativo de paleocorrente, com o objetivo de obter o maior número de informações composicionais e texturais possível. Todas amostras foram impregnadas com resina epóxi devido a sua alta friabilidade. A impregnação foi realizada à vácuo, com uma proporção de 10 partes de resina epóxi para uma parte de endurecedor. O processo de impregnação dura cerca de 2 horas e são necessárias, no mínimo, 12 horas para secagem da resina. Após a impregnação, as amostras são novamente cortadas para retirar a resina. Depois

do corte, a amostra impregnada é lapidada na face que será colada no vidro. A lapidação é feita com um material abrasivo composto por Carbetto de Silício (SiC) diluído em água e/ou glicerol.

A primeira lapidação é realizada com abrasivo na granulometria de #220 para remover as irregularidades da face de rocha. A segunda lapidação tem o objetivo de remover as irregularidades deixadas pela granulometria do abrasivo de #220, por isso é realizada com SiC de #1000. O vidro também é desbastado para que ele apresente uma face sem curvas e gerar ranhuras para a cola aderir melhor ao vidro.

A colagem da face lapidada com o vidro é feita com uma mistura de resina epóxi e endurecer em uma razão de 7:1, respectivamente. Após a colagem, o conjunto (amostra e vidro) é secado em estufa com temperatura de 40° C. Posteriormente, a amostra foi desbastada na *Discoplan-TS* até uma espessura média de 200 µm. Por fim, a lâmina foi lapidada até atingir espessura final da rocha de 30 µm para análise no microscópio petrográfico. A espessura foi calibrada pelas cores de interferência do quartzo, que é de primeira ordem (tons de cinza).

#### 4.5 Análise petrográfica

A análise petrográfica foi realizada em três escalas de observação: afloramento, amostra de mão e lâmina delgada. Em afloramento e amostras de mão, as rochas foram descritas com o objetivo de detalhar a variação estrutural e textural dos arenitos e conglomerados, além da descrição qualitativa da composição dos clastos dos conglomerados.

As lâminas delgadas foram descritas com o uso de microscópio petrográfico marcas *Nikon Eclipse 50i pol* e *Zeiss Axio Lab.a1*. O software *Petroledge* foi utilizado para o apoio a contagem modal, criação do banco de dados com as informações quantitativas e geração de planilhas. Os dados tabelados foram abertos em *Excel* para a classificação e geração de diagramas. A descrição foi realizada analisando os parâmetros detalhados a seguir, seguindo os critérios propostos por Tucker (2001):

- *Texturas e Estruturas*: determinação do tamanho, forma, arredondamento e seleção dos grãos; trama da rocha incluindo a orientação preferencial dos grãos, suporte e grau de empacotamento; e a natureza dos contatos entre os grãos;
- *Grãos*: quantificação da composição dos grãos conforme detalhado no item 4.5.1;
- *Matriz*: origem detrítica ou formada devido à alteração e compactação de grãos moles (pseudomatriz);

- *Compactação*: contatos côncavo-convexo ou suturado entre os grãos, lamelas de micas ou bioclastos quebrados ou dobrados;
- *Cimentação*: identificação dos cimentos (por exemplo, quartzo, calcita e argilominerais) e seu hábito (por exemplo, crescimentos, preenchimento de poro, revestimento de poro);
- *Substituição/Dissolução de grãos*: por exemplo. feldspatos por argilominerais ou calcita, dissolução parcial ou completa, presença de poros muito grandes devido à dissolução completa de grãos;
- *Porosidade*: origem e tipo (intergranular, intragranular, fratura);
- *Classificação*: análise do conteúdo de matriz (arenito ou *wacke*). Se arenito, classificação quanto ao tipo (quartzo-arenito, arenito feldspático ou litoarenito);
- *Ambiente deposicional*: sugerido a partir da textura e composição, entre outras informações disponíveis, como estruturas e dados de campo;
- *Diagênese*: determinação da natureza e ordem dos eventos diagenéticos, e se ocorreram próximos à superfície (pré-compactação) ou após o soterramento (pós-compactação). Além de sugerir a forma de evolução dos fluídos nos poros, e criação ou destruição da porosidade durante a história de soterramento.

As principais feições texturais e composicionais foram registradas através de fotomicrografias. O procedimento foi realizado no Laboratório de Microscopia da UNIPAMPA, utilizando o *software ToupView*.

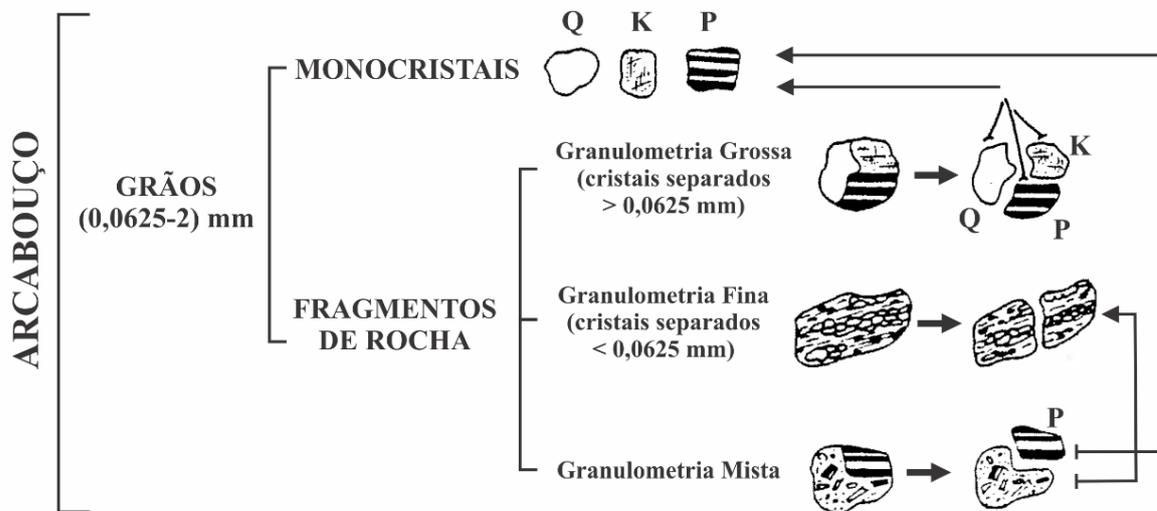
#### 4.5.1 Petrologia Sedimentar Quantitativa

A quantificação da composição dos clastos, para posterior classificação petrográfica foi realizada a partir da contagem de 300 pontos por lâmina (contagem modal), que podem ser grãos, matriz, cimento ou poros. Para a contagem modal foi utilizado microscópio petrográfico com *charriot* acoplado, que permite controlar a distância dos pontos em intervalos regulares. A distância dos pontos deve ser maior do que o maior clasto encontrado na lâmina, evitando que o mesmo grão seja contado duas vezes.

A quantificação dos constituintes primários e diagenéticos foi realizada de acordo com o método Gazzi–Dickinson (ZUFFA, 1985). O método consiste na contagem de grãos maiores que silte ( $> 0,0625$  mm), dentro de um fragmento de rocha como constituintes separados, identificando sua composição. Somente fragmentos líticos de textura fina são contados como

tal (por exemplo rochas vulcânicas afaníticas, chert, rochas metamórficas de baixo grau, pelitos, rochas carbonáticas; Fig. 7). O método Gazzi–Dickinson, no entanto, por assumir que componentes policristalinos desagregarão em seus grãos constituintes ao longo do transporte, fornece um melhor agrupamento dos dados obtidos a partir de arenitos de diversos tamanhos de grãos e coloca uma ênfase em proveniência (JOHNSON, 1993).

Figura 7 – Fluxograma ilustrando o método Gazzi–Dickinson, que visa minimizar a dependência da composição da rocha no tamanho de grão. Na figura: Q (Quartzo), K (Feldspato Alcalino), P (Plagioclásio).



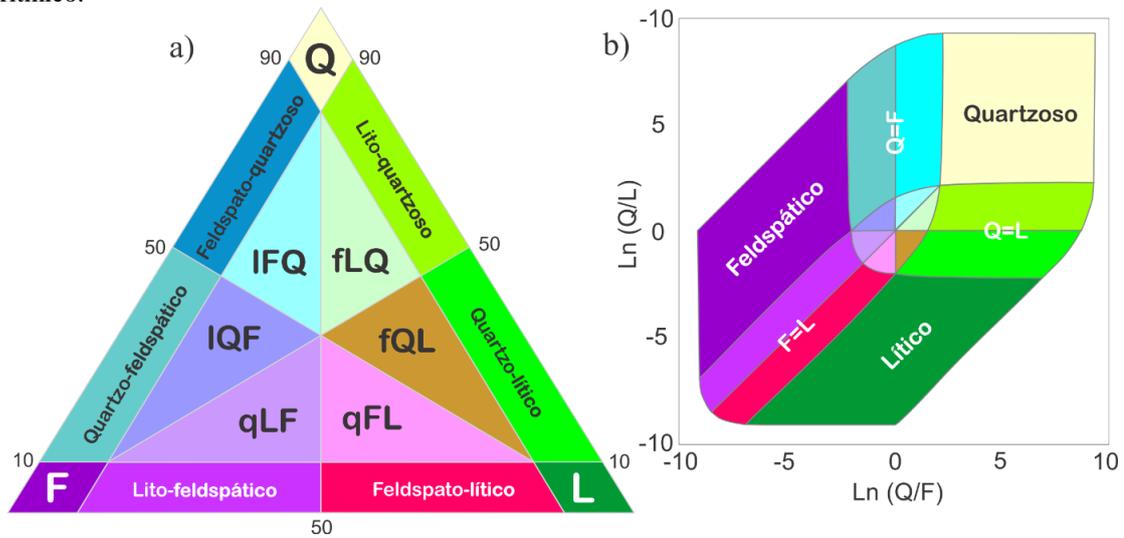
Fonte: modificado de Zuffa (1985).

As amostras são classificadas de acordo com Garzanti (2015), segundo a proporção dos três maiores componentes: quartzo monocristalino, feldspato e fragmentos líticos (incluindo fragmentos quartzosos com granulometria menor que 0,0625 mm, como fragmentos de chert; Fig. 7). Minerais acessórios, como filossilicatos e minerais pesados, geralmente menos abundantes e marcadamente afetados por processos hidráulicos de seleção, por causa de sua forma plana ou alta densidade, são negligenciados para reduzir a complexidade (WELTJE; VON EYNATTEN, 2004). O diagrama é baseado no método de contagem de pontos Gazzi-Dickinson (ZUFFA, 1985), modificado para registrar detalhadamente todos os fragmentos de rochas encontradas, de onde vêm as mais ricas e diretas informações de proveniência (GARZANTI, 2015). Os principais componentes, considerados apenas onde a composição excede 10% de QFL são listadas em ordem de maior abundância (*e.g.*, em quartzo-feldspato-lítico,  $L > F > Q > 10\% \text{ QFL}$ ).

Para visualizar as amostras em um espaço bidimensional é utilizado um diagrama *biplot* (Fig. 8b). O diagrama *biplot* é uma ferramenta estatística/gráfica que contribui não apenas para

discriminar em grupos de amostras, mas também para entender a relação mútua entre as variáveis (GARZANTI, 2015).

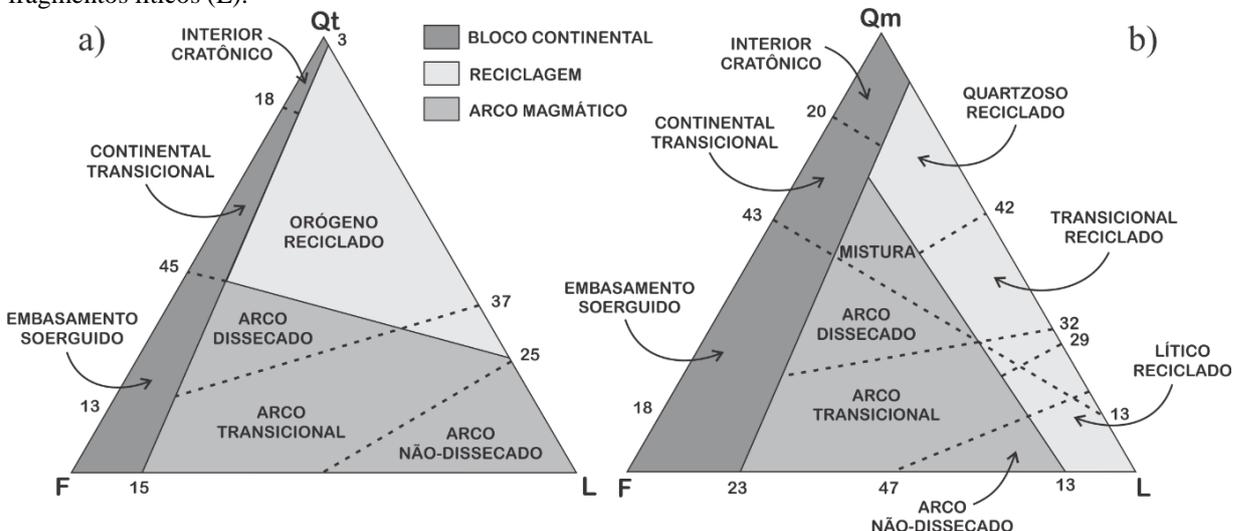
Figura 8 – Diagramas de classificação petrográfica para areias e arenitos. a) Diagrama triangular. O polo L (litoarenitos) inclui grãos de carbonato e chert, Q (quartzoarenito), F (arenito feldspático), IFQ (lito-feldspato-quartzoso), fLQ (feldspato-lito-quartzoso), IQF (lito-quartzo-feldspático), fQL (feldspato-quartzo-lítico), qLF (quartzo-lito-feldspático), qFL (quartzo-feldspato-lítico). b) Diagrama de classificação petrográfica em espaço logarítmico.



Fonte: modificado de Garzanti (2015).

O método Gazzi–Dickinson (ZUFFA, 1985), permite identificar as assinaturas composicionais do ambiente tectônico a partir da classificação no diagrama ternário de Dickinson (1985). As principais categorias de terrenos para proveniência são resumidas na tabela 2, e os campos de proveniência são mostrados na figura 9.

Figura 9 – Diagrama dos campos de composição dos arenitos correspondentes aos tipos de proveniência tectônica. a) Quartzo total (Qt), feldspatos (F) e fragmentos líticos (L). b) Quartzo monominerálico (Qm), feldspatos (F) e fragmentos líticos (L).



Fonte: modificado de Dickinson (1985).

Tabela 2 - Tipos de proveniência tectônica, ambiente geotectônico correspondente, e composição das areias geradas.

TIPO DE PROVENIÊNCIA	AMBIENTE TECTÔNICO	COMPOSIÇÃO DAS AREIAS GERADAS
Cráton estável	Intracontinental ou plataforma passiva	Areias quartzosas com altas razões de Qm/Qp e K/P
Embasamento soerguido	Rift de ruptura transformante	Areias quartzo-feldspáticas (Qm-F) pobres em Lt e Qp, similares a área fonte. Altas razões de Qm/Qp e K/P
Arco magmático	Arco de ilhas ou arco continental	Areias feldspato-líticas (F-L) vulcanoclásticas com altas razões P/K e Lv/Ls, gradando para areias quartzo-feldspáticas derivadas de batólitos
Reciclagem orogênica	Cinturão orogênico ou complexo de subducção	Areias quartzo-líticas (Qt-Lt) pobres em F e Lv, ricas em fragmentos sedimentares e meta-sedimentares, com razões variáveis de Qm/Qp e Qp/L

Fonte: modificado de Dickinson (1985).

## 5 RESULTADOS

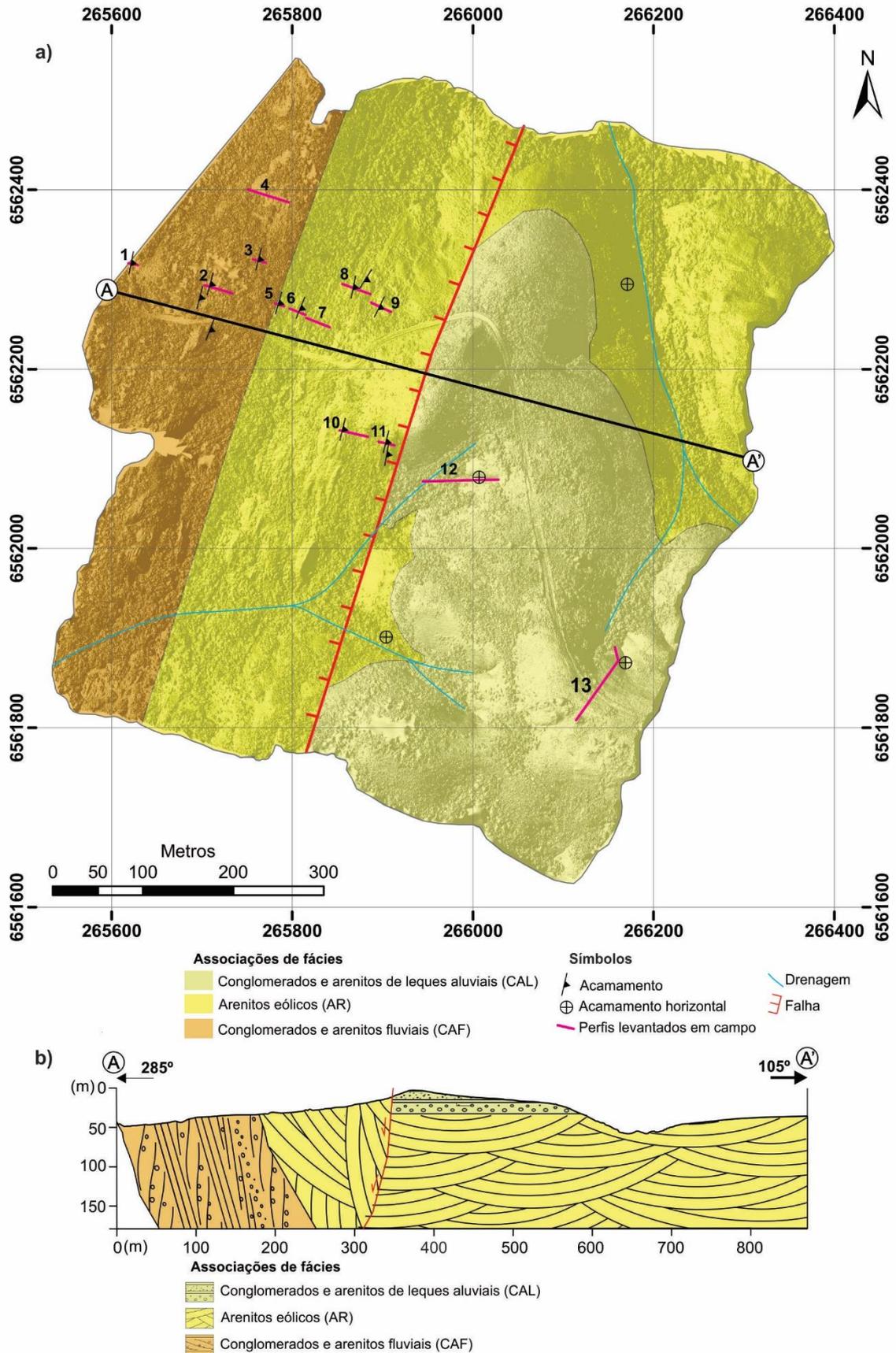
Os resultados da pesquisa compreendem dados estratigráficos e petrográficos da área de estudo. Na porção oeste da área ocorrem rochas sedimentares inclinadas, com mergulho médio de 69° para S75E. Na porção leste da área ocorrem rochas sedimentares horizontais. As duas unidades encontram-se separadas por uma falha com movimento normal aparente, que faz parte da zona de falha Minas do Camaquã (Fig. 10; ALMEIDA *et al.*, 2012).

Em campo foram identificadas sete fácies sedimentares, são elas: arenito fino a médio com estratificação cruzada acanalada de grande porte (F1); arenito fino a médio com estratificação plano-paralela (F2); arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação plano-paralela a maciça (F3); arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação cruzada (F4); arenito médio a grosso de base cascalhosa com estratificação cruzada (F5); ortoconglomerado polimítico com clastos arredondados e estrutura maciça (F6); arenito conglomerático com gradação normal (F7; Apêndice A).

As fácies foram agrupadas em três associações de fácies. As associações de fácies identificadas, da base para o topo, são: conglomerados e arenitos fluviais (CAF), arenitos eólicos (AR) e conglomerados e arenitos de leques aluviais (CAL).

Figura 10 – Mapa e seção geológicos da área de estudo. (a) Mapa geológico construído a partir dos dados de campo e com auxílio do ortofotomosaico e do MDE. (b) Seção geológica A-A' com projeção da associação de fácies CAL

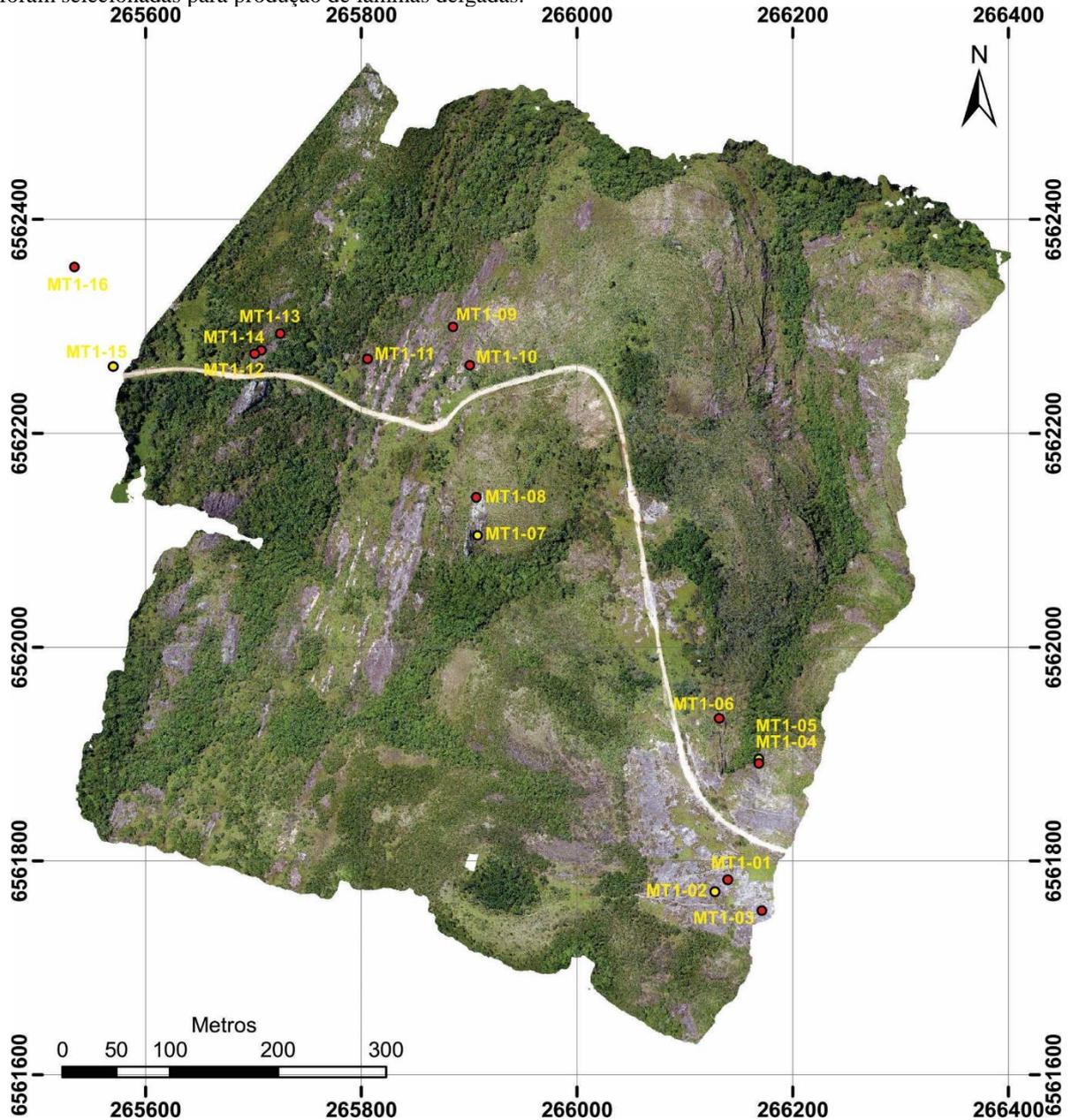
para cima do relevo. Os números de 1 a 13 correspondem aos perfis estratigráficos medidos em campo (Apêndice A).



Fonte: autoria própria (2017).

A localização das amostras coletadas é mostrada na figura 11. As amostras que possuem lâminas delgadas são identificadas no mapa. A seguir, os resultados da análise faciológica e petrográfica são descritos para cada uma das três associações de fácies, incluindo a descrição das estruturas, texturas e trama, da composição detrítica e da diagênese para cada petrofácies.

Figura 11 – Mapa de localização das amostras coletadas sobrepostas ao ortofotomosaico. Amostras em vermelho foram selecionadas para produção de lâminas delgadas.

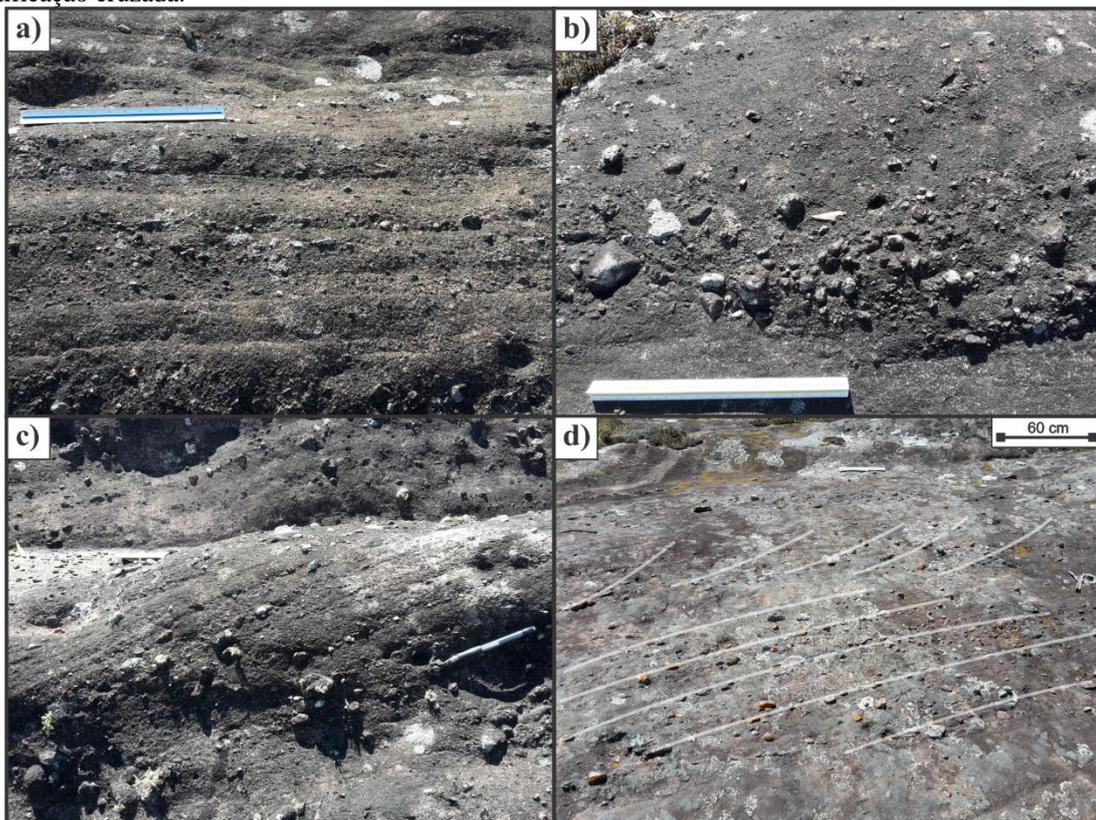


Fonte: autoria própria (2017).

## 5.1 Conglomerados e arenitos fluviais

A associação de fácies CAF é composta pelas seguintes fácies: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação plano-paralela a maciça (F3; Fig. 12a); arenito conglomerático com gradação normal (F7; Fig. 12b); arenito médio a grosso de base cascalhosa com estratificação cruzada (F5; Fig. 12c); arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação cruzada (F4; Fig. 12d); ortoconglomerado polimítico com clastos arredondados e estrutura maciça (F6). Esta associação de fácies na área de estudo abrange 76 metros do perfil vertical de fácies. As lâminas confeccionadas a partir destas amostras representam a matriz dos conglomerados e/ou uma porção dos corpos arenosos entre os pacotes conglomeráticos.

Figura 12 – Características macroscópicas da associação de fácies CAF. a) F3: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação plano-paralela. b) F7: arenito conglomerático com gradação normal. c) F5: arenito médio a grosso de base cascalhosa com estratificação cruzada. d) F4: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação cruzada.



Fonte: autoria própria (2017).

### 5.1.1 Estruturas, texturas e trama

As estruturas identificadas na análise petrográfica desta associação de fácies são: estrutura maciça e estratificação plano-paralela. A estratificação plano-paralela é marcada pela

diferença de granulometria e pela orientação das micas, principalmente biotita e muscovita. Os grãos variam do tamanho de areia muito fina à areia muito grossa, eventualmente grânulos. As classes predominantes são areia grossa e subordinadamente média. A seleção dos grãos varia de moderadamente à mal selecionado. Os grãos são predominantemente sub-arredondados. Os processos que contribuíram para perda da forma dos grãos foram deformações, crescimentos, corrosões, faturamento e substituição mineral. Os grãos apresentam orientação caótica (Fig. 13)

Figura 13 – Aspecto textural dos arenitos da associação CAF. Arenitos grossos com estrutura maciça, os grãos são sub-arredondados, a rocha é moderadamente selecionada e a trama é caótica (Nicóis paralelos: //P).



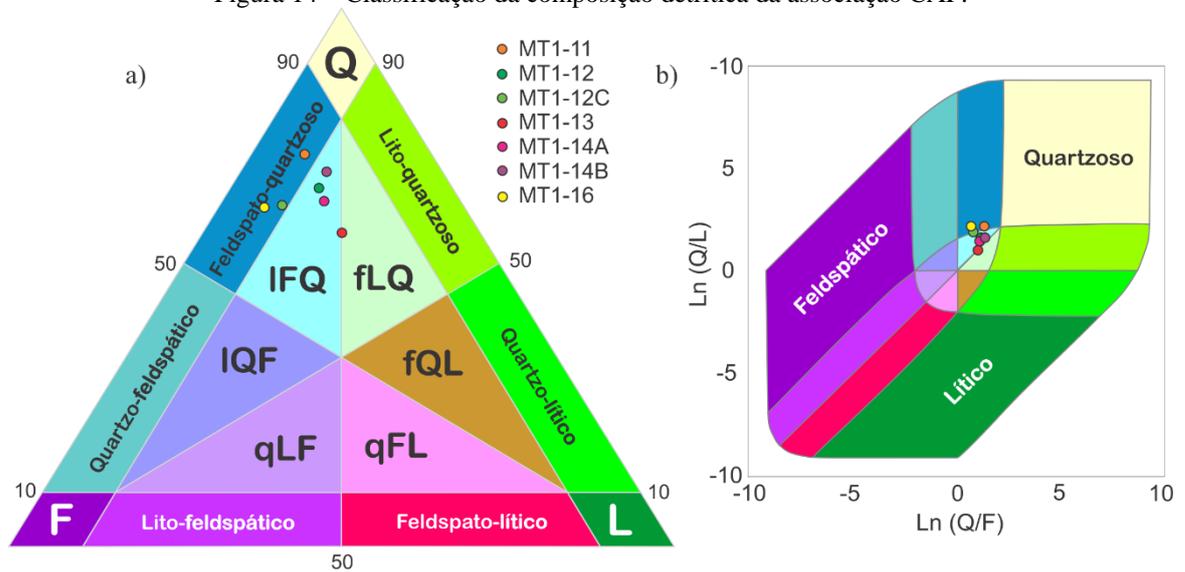
Fonte: autoria própria (2017).

### 5.1.2 Composição detrítica

A composição dos arenitos da associação de fácies CAF não apresenta uma variação considerável, sendo classificados como arenitos lito-feldspato-quartzoso e feldspato-quartzoso *sensu* Garzanti (2015; Fig. 14). Os processos diagenéticos afetaram consideravelmente a composição original, principalmente pela substituição dos feldspatos detríticos por illita. Quartzo monocristalino é a composição detrítica predominante. Alguns grãos de quartzo apresentam extinção fortemente ondulante e outros ocorrem com estrias de deformação. Grande parte dos feldspatos não podem ser classificados devido a sua substituição intensa por argilominerais, mas entre os identificados, a maior parte é representada por plagioclásio e

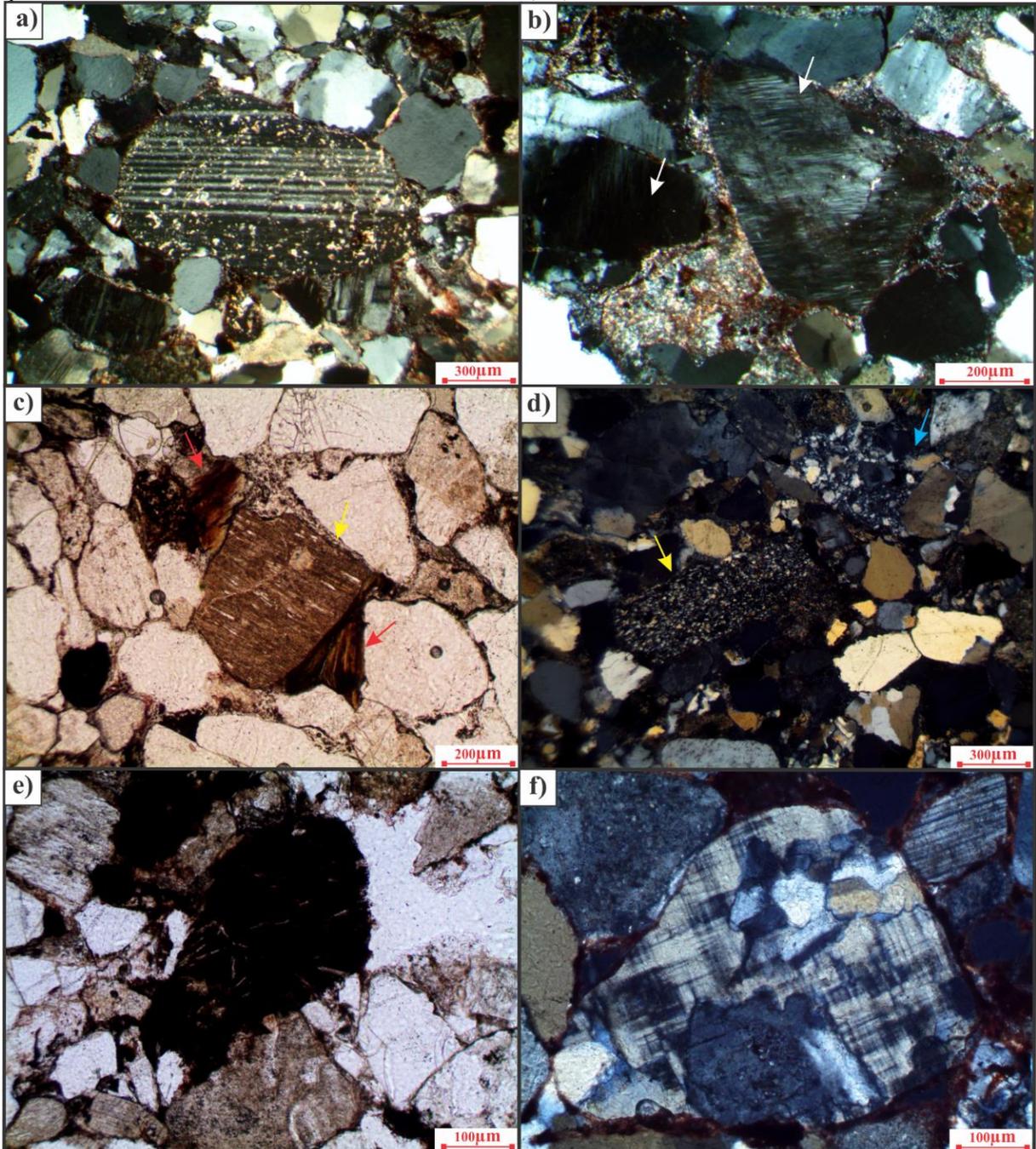
subordinadamente microclínio. Como o processo de ilitização afetou todos os feldspatos, os potássicos devem ter passado por um maior grau de alteração e por isso dificulta sua identificação. Dentre os fragmentos líticos identificados, predominam rochas metamórficas, principalmente fragmentos de quartzo recristalizado, filitos e xistos. São encontrados fragmentos de rochas vulcânicas com cristais de plagioclásio alongados ainda preservadas após intensa oxidação. Os fragmentos de rochas sedimentares que ocorrem nessa associação de fácies são cherts e siltitos. Fragmentos de rochas plutônicas são subordinados (Fig. 15). Entre os minerais pesados foram encontrados minerais opacos e zircão (Fig. 16).

Figura 14 – Classificação da composição detrítica da associação CAF.



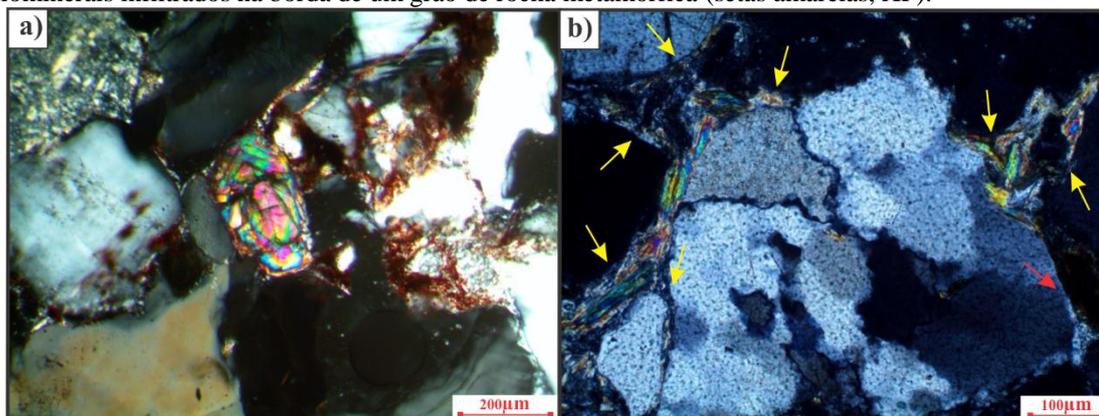
Fonte: autoria própria (2017).

Figura 15 – Principais aspectos de composição detrítica analisada para a associação de fácies CAF. a) Grão de plagioclásio com macla albita (Nicóis cruzados: XP). b) Grãos de quartzo com linhas de deformação e extinção ondulante, indicando que a rocha fonte passou por deformações (XP). c) fragmento de rocha metamófica de baixo grau (seta amarela) e fragmentos de biotita detrítica (seta vermelha, //P). d) Fragmento de chert (seta amarela) e fragmento de quartzo policristalino em rocha metamófica de alto grau (seta azul, XP). e) Fragmento de rocha vulcânica oxidado com ripas de plagioclásio preservadas (//P). f) Fragmento de rocha plutônica, com cristais de quartzo inseridos em um cristal maior de microclínio (XP).



Fonte: autoria própria (2017).

Figura 16 – Composição detrítica acessória encontrada na associação CAF. a) Grão de zircão detrítico (XP). b) Argilominerais infiltrados na borda de um grão de rocha metamórfica (setas amarelas, XP).



Fonte: autoria própria (2017).

### 5.1.3 Diagênese

Os principais produtos da diagênese dos arenitos da associação de fácies CAF são: óxidos de ferro, argilominerais autigênicos, feldspatos ilitizados, calcita e quartzo. O principal processo de perda de porosidade foi a compactação precoce evidenciada pela deformação das micas e de grãos moles (com formação de pseudomatriz), além da mínima quantidade de contatos flutuantes. Abaixo encontra-se descrita a mineralogia autigênica e as principais feições são mostradas na figura 17 e 18.

#### *Óxidos e/ou hidróxidos de ferro*

Os óxidos e/ou hidróxidos de ferro foram identificados em três formas distintas: (1) cutículas de óxido microcristalino ao redor dos grãos detríticos, com formação ao mesmo tempo ou pela oxidação de cutículas de argilominerais; (2) preenchimento de poro em agregados criptocristalinos, principalmente próximo aos grãos de biotita e minerais opacos; (3) substituição de grãos vulcânicos e metamórficos.

#### *Cutículas de argilominerais*

Os argilominerais que recobrem os grãos podem apresentar duas origens: illita autigênica ou formadas devido à infiltração mecânica. Cutículas autigênicas podem preencher fraturas em grãos, geralmente são mais finas e descontínuas. As argilominerais infiltradas são mais espessas e apresentam impurezas, como óxidos, também essas argilominerais podem se deslocar devido a compactação ou serem fragmentadas.

### *Quartzo*

O quartzo ocorre localmente como crescimentos externos aos grãos detríticos e pode ser identificado devido a presença de cutículas de óxidos de ferro. Os crescimentos apresentam a mesma orientação ótica do grão detrítico (syntaxiais).

### *Feldspatos*

Grande parte dos feldspatos encontra-se intensamente substituídos por argilominerais (provavelmente illita ou sericita) autigênicos. A compactação afeta os grãos de feldspatos, deformando-os e gerando a maior parte dos contatos côncavo-convexos encontrados.

### *Calcita*

A calcita foi identificada ocorrendo ao longo de porções estreitas da rocha, na forma alongada, onde resulta em uma coloração clara da rocha na escala macroscópica. É identificada com hábitos macrocristalinos preenchendo a porosidade intergranular nestas regiões. Também ocorre substituindo grãos detríticos.

### *Clorita*

A clorita ocorre substituindo grãos detríticos de biotita, ou como produto da alteração de fragmentos líticos.

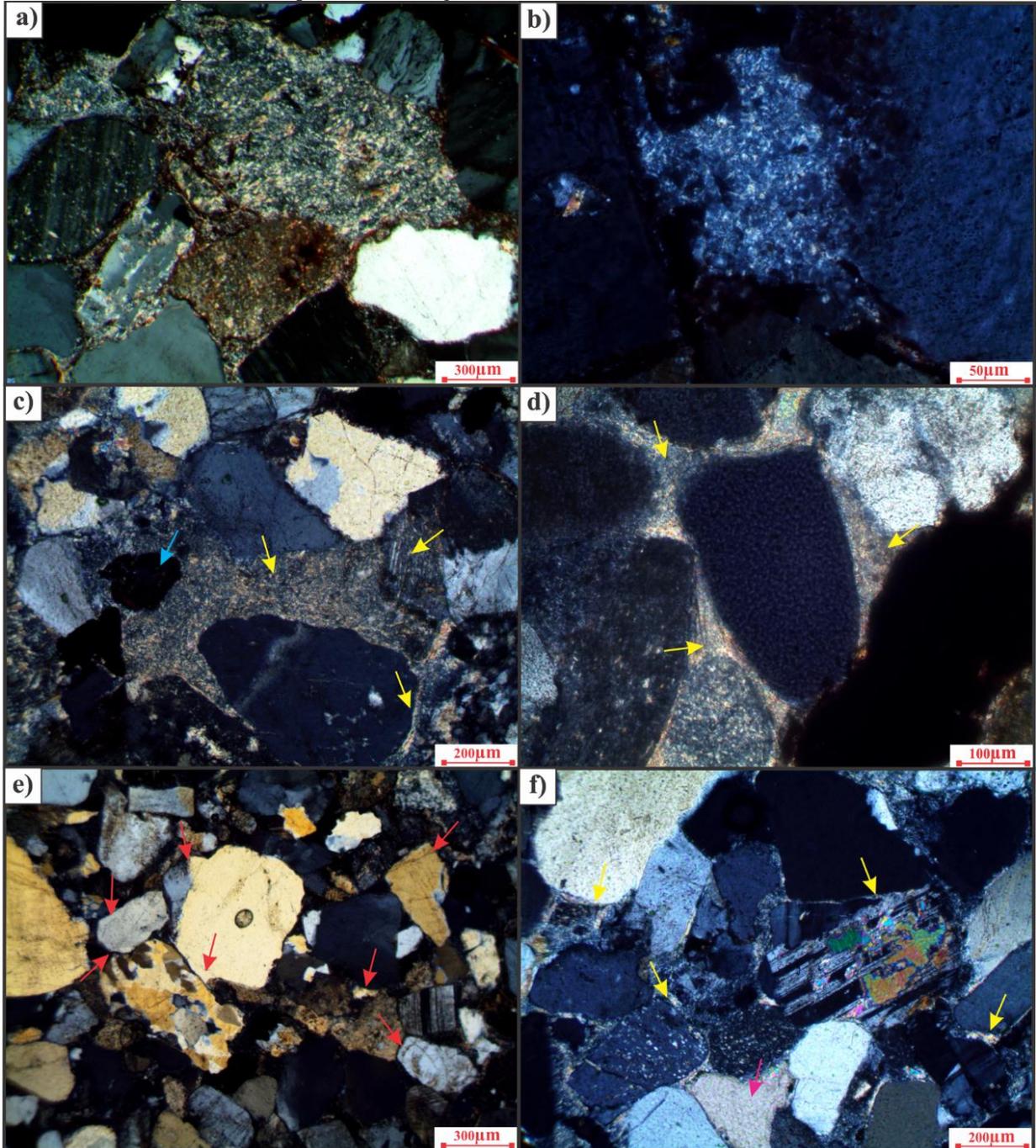
### *Pseudomatriz*

A compactação mecânica dos arenitos gerou a deformação dos grãos moles formando pseudomatriz. Fragmentos líticos de arenitos, siltitos e rochas metamórficas de baixo grau são encontrados deformados. Feldspatos intensamente ilitizados compactados também formam pseudomatriz por ocuparem um grande espaço intergranular e não ser possível a identificação do contorno original dos grãos.

### *Compactação*

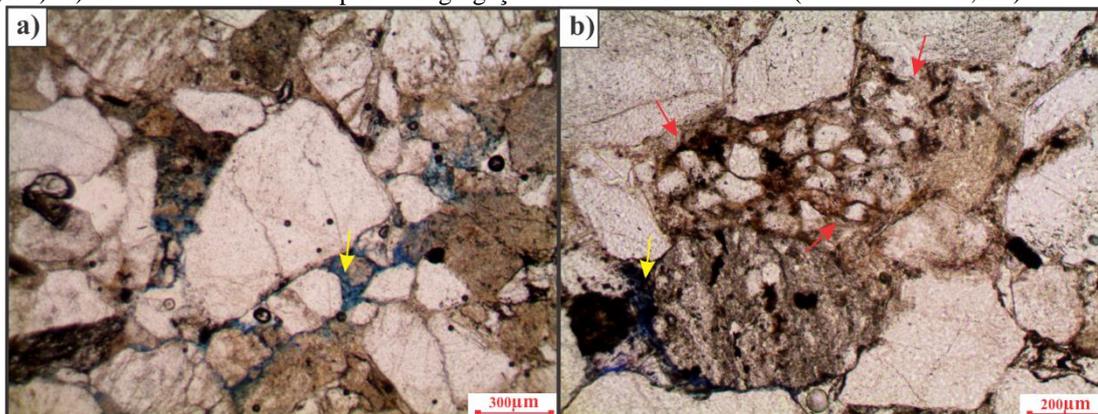
O empacotamento dos arenitos varia entre normal e apertado, com contatos longos e côncavo-convexos abundantes. Algumas amostras apresentam empacotamento heterogêneo devido a presença de crescimentos de quartzo que inibiram a compactação. A compactação mecânica é evidenciada pela deformação das micas e de grãos moles.

Figura 17 – Principais aspectos diagenéticos dos arenitos analisados na associação de fácies CAF. a) Fragmentos de feldspatos ilitizados e oxidados (XP). b) Agregados de caulinita preenchendo porosidade intergranular (XP). c) Pseudomatriz entre grãos de quartzo e feldspato ilitizado (setas amarelas). Agregado de óxido de titânio (seta azul, XP). d) Ilita vermicular diagenética preenchendo porosidade intergranular (XP). e) Crescimentos externos de quartzo (setas vermelhas, XP). f) Cutículas de argilominerais autigênicos compactada entre os grãos (setas amarelas) e calcita preenchendo porosidade intergranular (seta rosa, XP).



Fonte: autoria própria (2017).

Figura 18 – Feições diagenéticas identificadas para a associação de fácies CAF. a) Porosidade intergranular (em azul; //P). b) Pseudomatriz formada pela desagregação de litoclasto de arenito (setas vermelhas, //P).



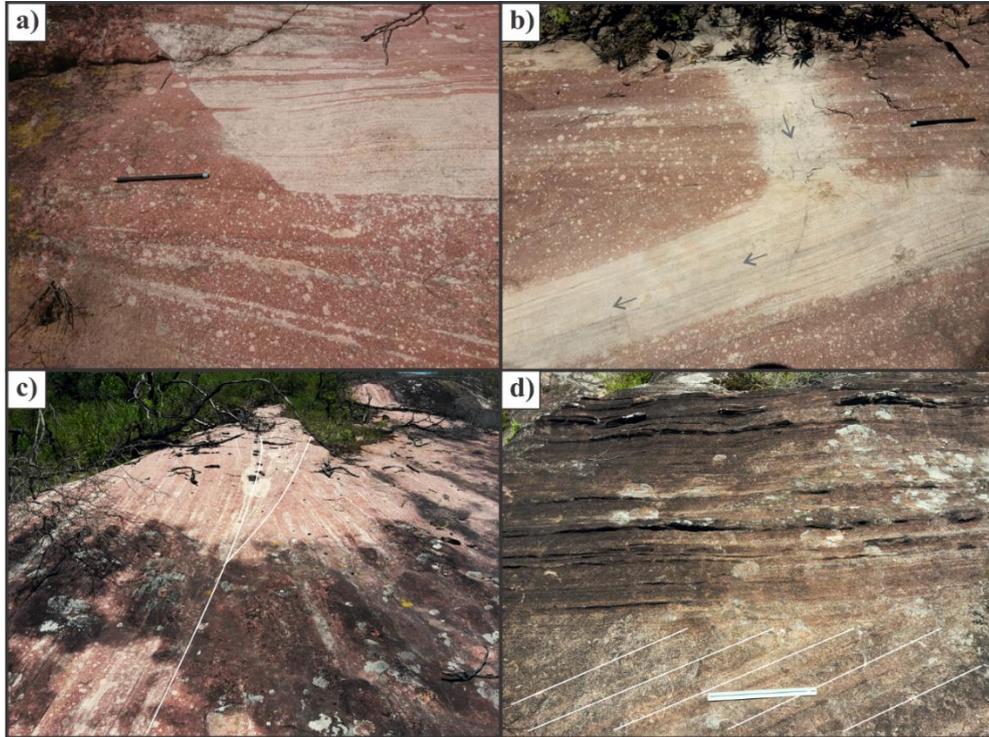
Fonte: autoria própria (2017).

## 5.2 Arenitos eólicos

A associação de fácies AR é composta pelas seguintes fácies: arenito fino a médio com estratificação cruzada acanalada de grande porte (F1) e arenito fino a médio com estratificação plano-paralela (F2; Fig. 19). Esta associação de fácies na área de estudo abrange 145 metros do perfil vertical de fácies.

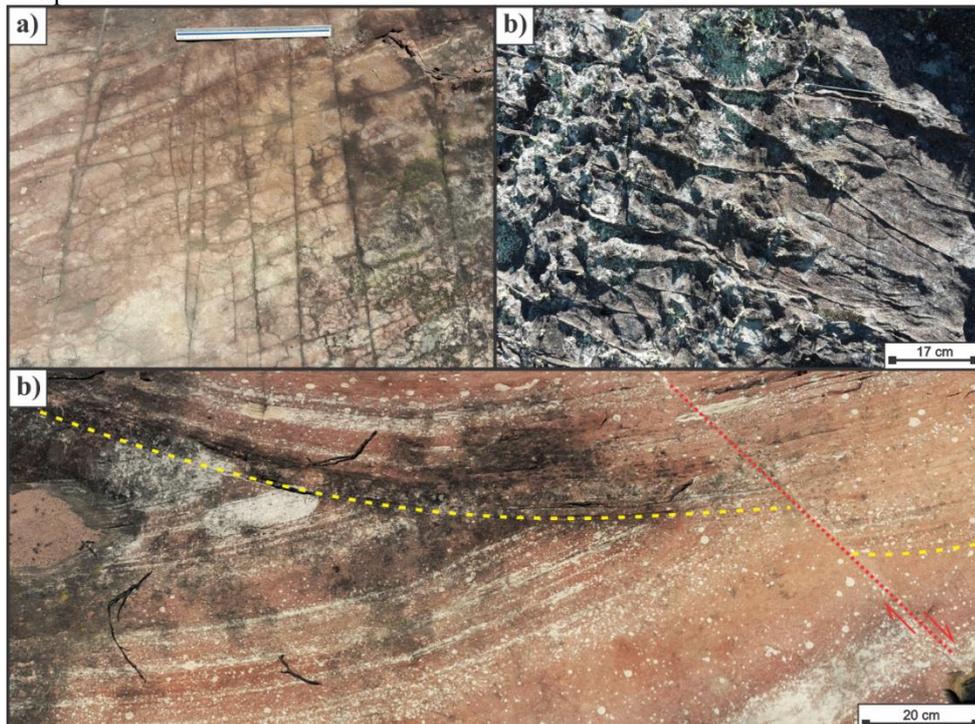
São identificadas famílias de fraturas em toda a associação de fácies, e bandas de deformação no afloramento próximo ao contato com as unidades horizontalizadas (Fig. 20). Nesta unidade é possível identificar falhas deslocando lentes de arenitos médios e/ou deslocando as manchas brancas de redução ou dissolução do óxido de ferro. Por vezes, é verificado que o fluido que gerou estas manchas ocupou as fraturas para migrar (Fig. 19). Esta característica sugere que a formação das manchas brancas ocorreu antes da deformação que gerou os fraturamentos, e continuou após a deformação.

Figura 19 – Feições macroscópicas encontradas a associação de fácies AR. a) e b) Manchas claras formadas por fluxos de fluídos diagenéticos tardio. Em a) o fluído encontra uma barreira que inibe a lixiviação do óxido de ferro, e em b) o fluído percola fratura da rocha e os estratos cruzados. c) F1: arenito fino a médio com estratificação cruzada acanalada de grande porte. d) F2: arenito fino a médio com estratificação plano-paralela, truncando estratos cruzados.



Fonte: autoria própria (2017).

Figura 20 – Aspectos estruturais da associação de fácies AR. a) Famílias de fraturas com espaçamento centimétrico à decimétrico. b) Bandas de deformação com espaçamento centimétrico. c) Estratificação cruzada acanalada de grande porte cortada por uma falha (pontilhado vermelho). Observa-se que nesta falha as manchas claras do arenito foram cortadas pela falha.

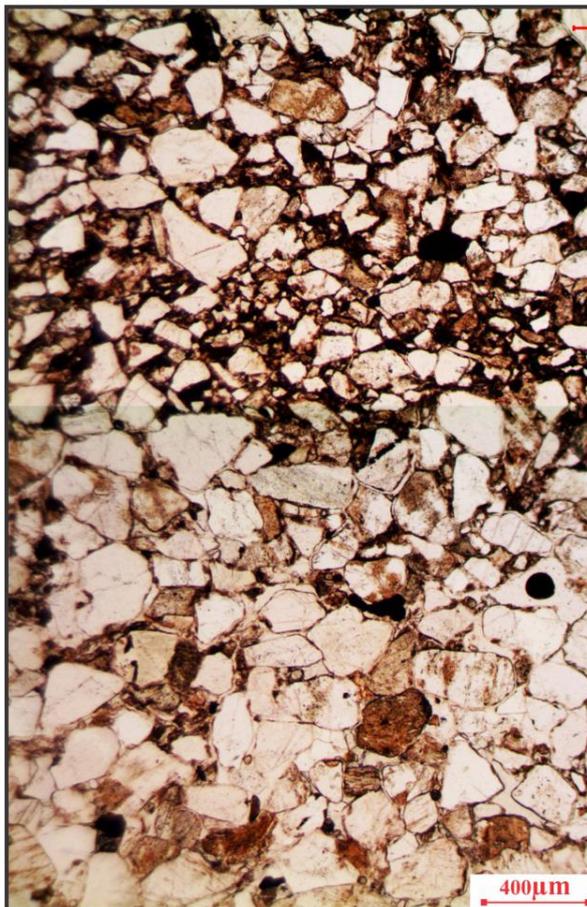


Fonte: autoria própria (2017).

### 5.2.1 Estruturas, texturas e trama

As estruturas identificadas nas lâminas dessa associação de fácies são: maciça, estratificação plano-paralela e por vezes, gradação normal. Os arenitos de estrutura maciça apresentam orientação dos grãos caótica ou sub-paralela. A estratificação plano-paralela é marcada pela diferença de granulometria (Fig. 21). Os arenitos apresentam granulometria variando entre areia muito fina à areia média, com predominância de areia média e subordinadamente areia fina. Todas as amostras desta classe são bem selecionadas. Os grãos variam de sub-angulosos (para os arenitos mais finos) à sub-arredondados. Crescimentos de quartzo, substituição de grãos por calcita, deformação de grãos moles e corrosão são os principais modificadores da forma e composição dos grãos.

Figura 21 – Composição de duas microfotografias mostrando a variação textural dos arenitos eólicos da associação de fácies AR. A fácies é composta por camadas de arenitos médios intercaladas com arenitos finos. Os grãos possuem orientação subparalela e são sub-arredondados. A rocha é bem selecionada.



Fonte: autoria própria (2017).

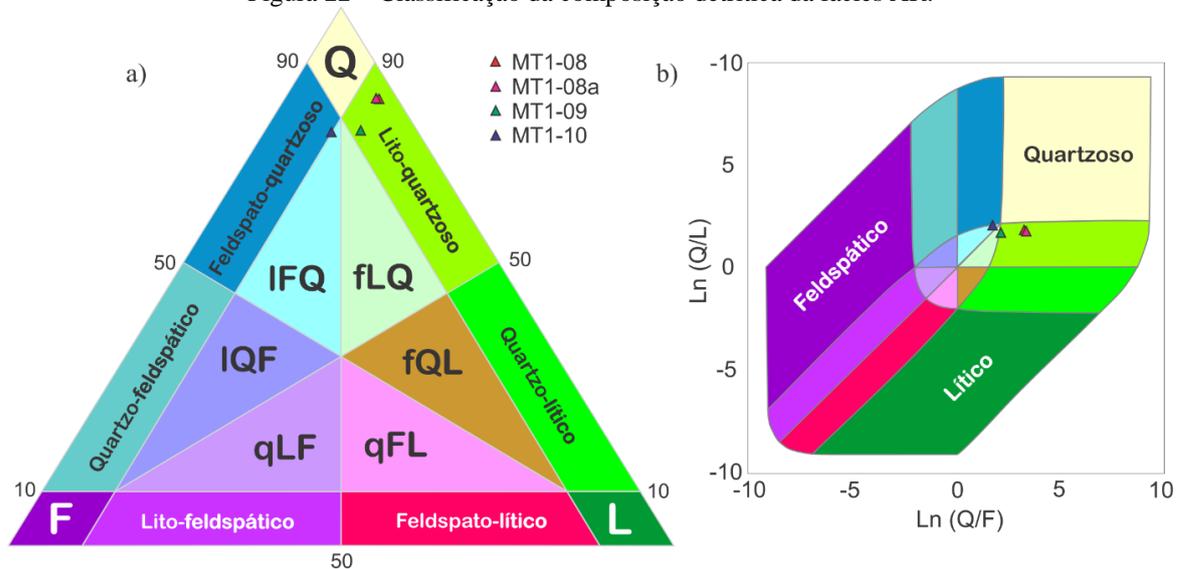
### 5.2.2 Composição detrítica

A composição dos arenitos da associação de fácies AR é praticamente homogênea, sendo classificados predominantemente como arenitos lito-quartzosos e subordinadamente como lito-feldspato-quartzoso *sensu* Garzanti (2015; Fig. 22). A substituição do quartzo por calcita foi o principal processo diagenético que afetou a composição original dessas rochas. Alguns grãos de plagioclásio e fragmentos líticos estão oxidados.

Os grãos de quartzo são predominantemente monocristalinos e predomina plagioclásio sobre os feldspatos alcalinos. Os feldspatos da associação de fácies AR estão menos ilitizados que os feldspatos da associação de fácies CAF.

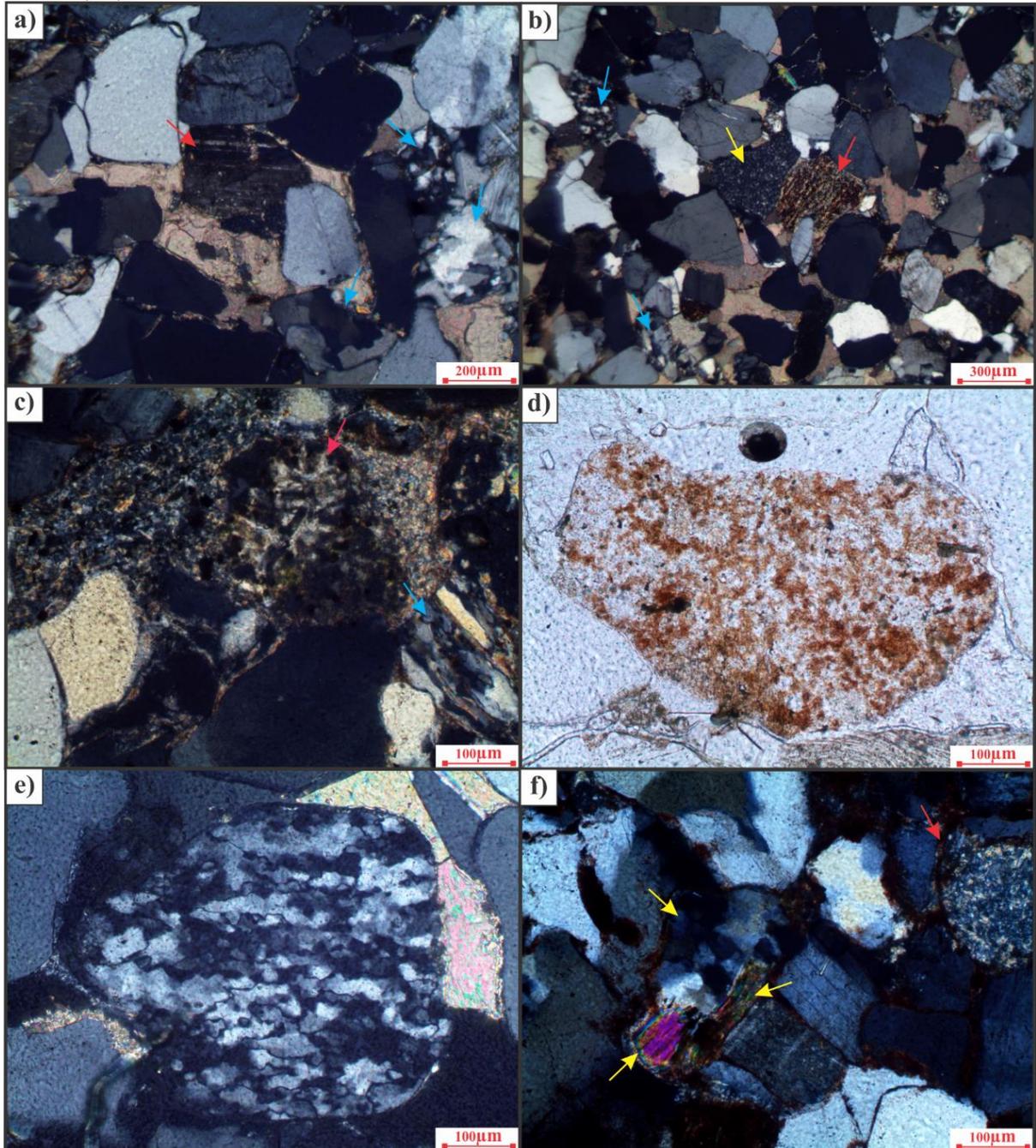
Os principais fragmentos líticos correspondem a rochas metamórficas de baixo grau, constituídas de quartzo policristalino recristalizado. Ocorrem localmente fragmentos de rochas vulcânicas oxidados, e outros fragmentos líticos oxidados de difícil identificação que podem ser vulcânicos ou sedimentares. A ocorrência de fragmentos de rochas plutônicas e metamórficas de alto grau é limitada devido a dependência do tamanho de grão (Fig. 23). Ocorrem poucos minerais acessórios, representados principalmente por minerais opacos.

Figura 22 – Classificação da composição detrítica da fácies AR.



Fonte: autoria própria (2017).

Figura 23 – Principais aspectos da composição detrítica dos arenitos da fácies AR. a) Plagioclásio detrítico (seta vermelha) e fragmentos metamórficos (setas azuis, XP). b) Fragmentos líticos, chert (seta amarela), metamórfica de baixo grau (setas vermelha e azul, XP). c) Fragmento de rocha vulcânica (seta vermelha, XP). d) Fragmento lítico indiferenciado (//P). e) Grão de quartzo metamórfico (XP). f) Fragmento de rocha plutônica, com muscovita e biotita (XP).



Fonte: autoria própria (2017).

### 5.2.3 Diagênese

Os principais produtos da diagênese dos arenitos da associação de fácies AR são: óxidos de ferro, quartzo, calcita e argilominerais autigênicos. Abaixo encontra-se descrita a mineralogia autigênica da fácies, e as principais feições são mostradas nas figuras 24 e 25.

### *Óxidos e/ou hidróxidos de ferro*

Os óxidos ou hidróxidos de ferro são encontrados em abundância em amostras específicas, nas quais não houve crescimentos externos de quartzo significativo. São identificados em duas formas distintas. (1) Cutículas de óxido microcristalino a criptocristalino ao redor dos grãos detríticos, identificados pelo seu crescimento apenas nas bordas dos grãos, onde não há contato com outros grãos, ou seja, sua formação foi posterior à compactação e oxidação das argilominerais infiltrados; (2) Oxidação de minerais em fragmentos líticos como siltitos e rochas vulcânicas, grãos de quartzo e feldspatos.

### *Argilominerais*

Os argilominerais ocorrem como cutículas autigênicas circundando grãos detríticos com espessura geralmente mais fina que os argilominerais infiltrados. Esses minerais são de difícil identificação, sendo possivelmente ilita. Por vezes são os argilominerais que limitam o contato entre o quartzo detrítico e crescimentos externos de quartzo. Os argilominerais autigênicos também ocorrem em fraturas dos grãos. Nas amostras com maior conteúdo de óxidos de ferro, identifica-se também um maior conteúdo de argilominerais infiltrados e amplamente substituídos por óxidos.

A caulinita ocorre como preenchimento de poro intergranular, com hábito vermicular, livrinho ou franjas na borda de grãos.

### *Quartzo*

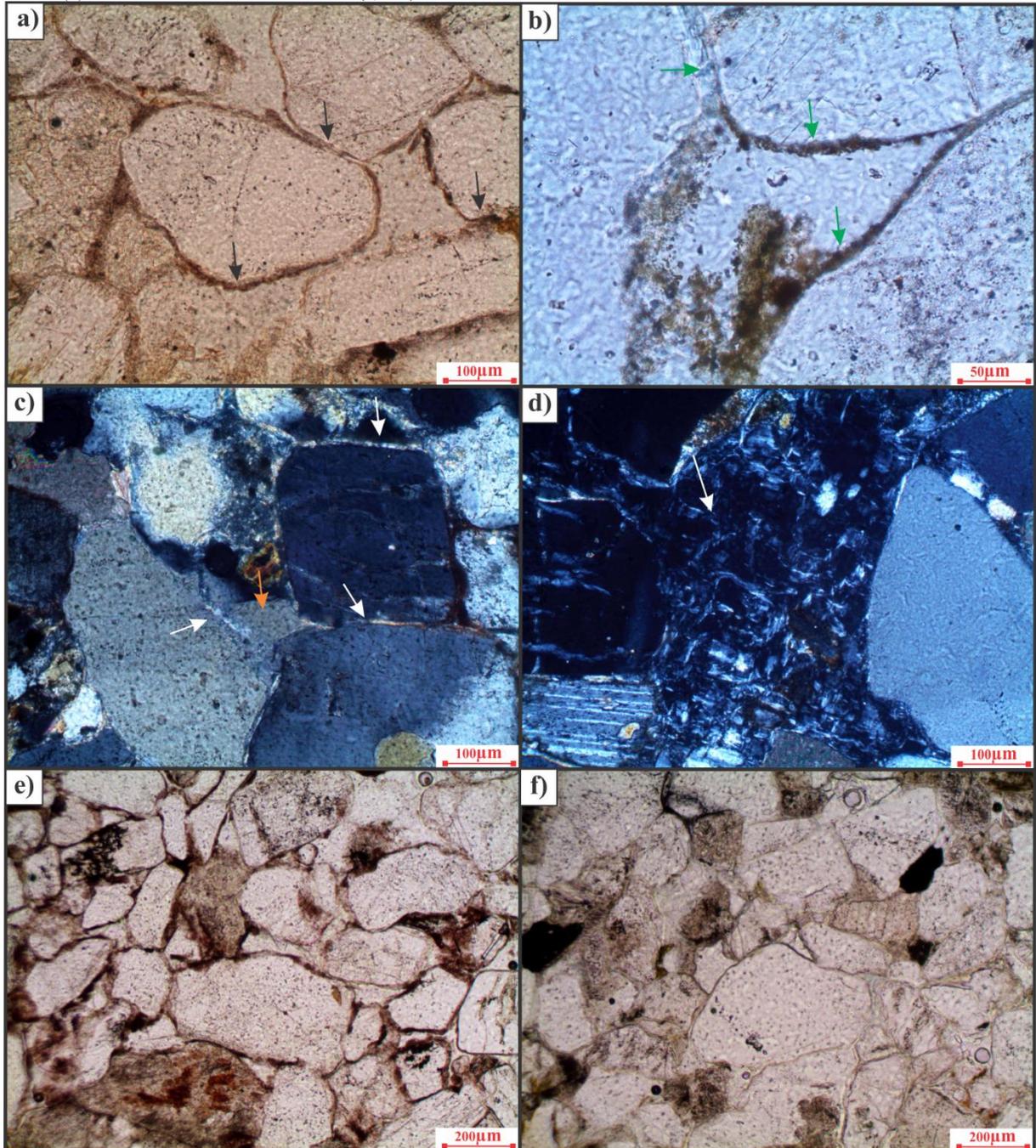
O quartzo ocorre como crescimento externo sobre grãos detríticos de quartzo e preenchendo porosidade intergranular. Os crescimentos apresentam a mesma direção ótica dos grãos do quartzo detrítico, com bordas regulares, resultando geralmente em formas geométricas. Por vezes, o crescimento encontra-se dissolvido e/ou substituído por calcita. Na amostra MT1-08, os crescimentos de quartzo correspondem a até 7% do volume da amostra. Sua identificação é possível devido a presença de formas geométricas nas bordas e uma fina cutícula de óxidos/hidróxidos de ferro entre o crescimento autigênico e o grão detrítico.

### *Calcita*

A calcita é identificada em manchas claras acompanhando o acamamento sedimentar ou como círculos claros na rocha (Figs. 19a e 19b). A calcita ocorre como preenchimento de poro macrocristalino com hábitos de mosaico e poiquilotópica. Vários grãos detríticos

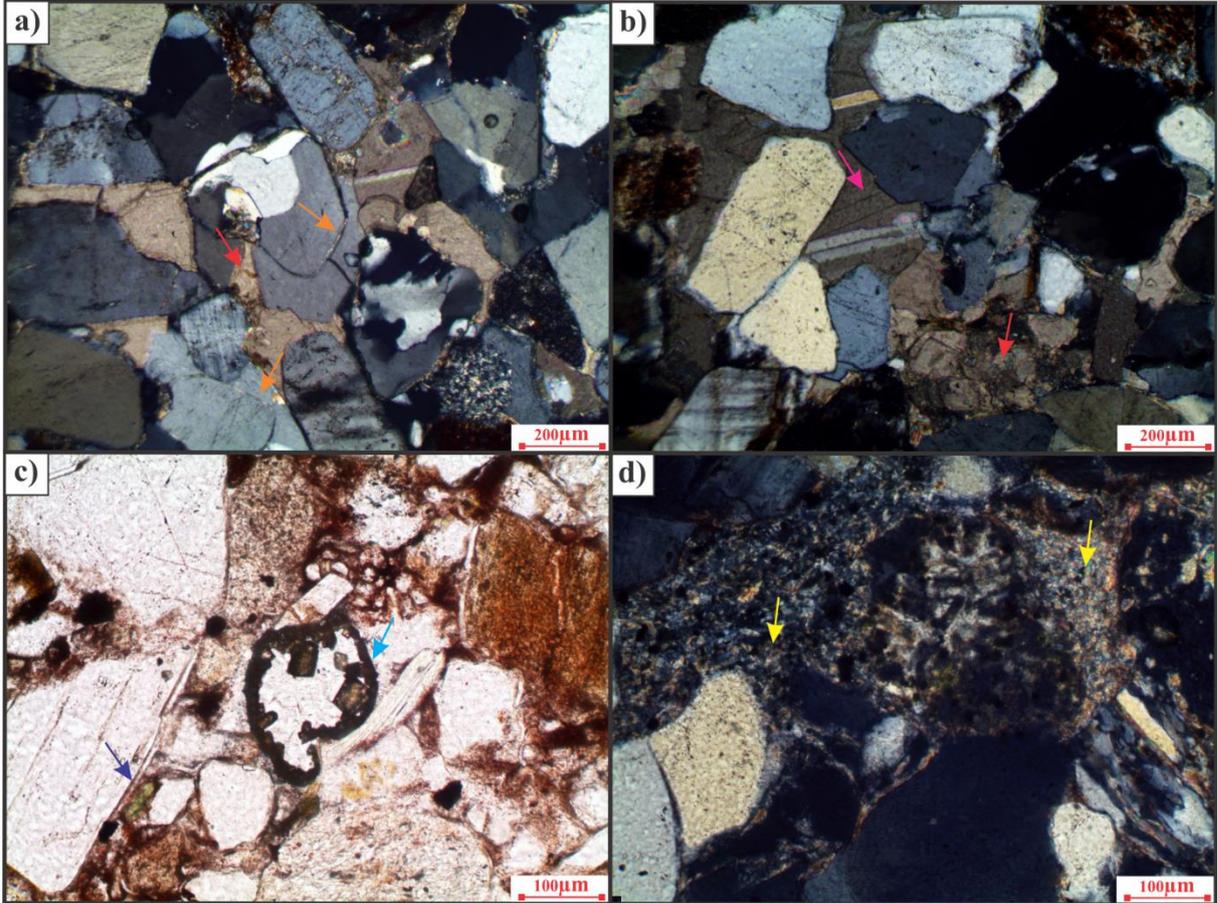
encontram-se parcialmente ou completamente substituídos por calcita. Também é identificada calcita dissolvendo os crescimentos externos de quartzo.

Figura 24 – Principais feições diagenéticas nos arenitos analisados na associação de fácies AR. a) Cutícula de argilominerais infiltrada entre os grãos, parcialmente substituídas por óxidos de ferro (setas pretas, //P). b) Cutículas de óxido de ferro autigênico (setas verdes, //P). c) Cutículas de argilomineral autigênico entre grãos (setas brancas), e crescimento de quartzo autigênico (seta laranja, XP). d) Caulinita vermicular autigênica, preenchendo poro intergranular (XP). Em ‘e’ e ‘f’ é mostrada a variação petrográfica entre porções normais da rocha (e) e em áreas claras da amostra (f; //P).



Fonte: autoria própria (2017).

Figura 25 – Principais feições diagenéticas nos arenitos analisados da associação de fácies AR. a) Crescimentos externos de quartzo marcados pelas cutículas de argilominerais entre os grãos e o crescimento, e também por suas formas geométricas (setas laranjas), e calcita macrocristalina dissolvendo o crescimento e os grãos de quartzo (seta vermelha, XP). b) calcita poiquilótópica (seta rosa) e grão detrítico totalmente substituído por calcita blocosa (seta vermelha). Também são observados crescimentos de quartzo externamente aos grãos (XP). c) Cristais de óxido de titânio (seta azul claro) e substituição de biotita por clorita (seta azul escuro, //P). d) Ilita preenchendo poro intergranular (setas amarelas, XP).



Fonte: autoria própria (2017).

### Compactação

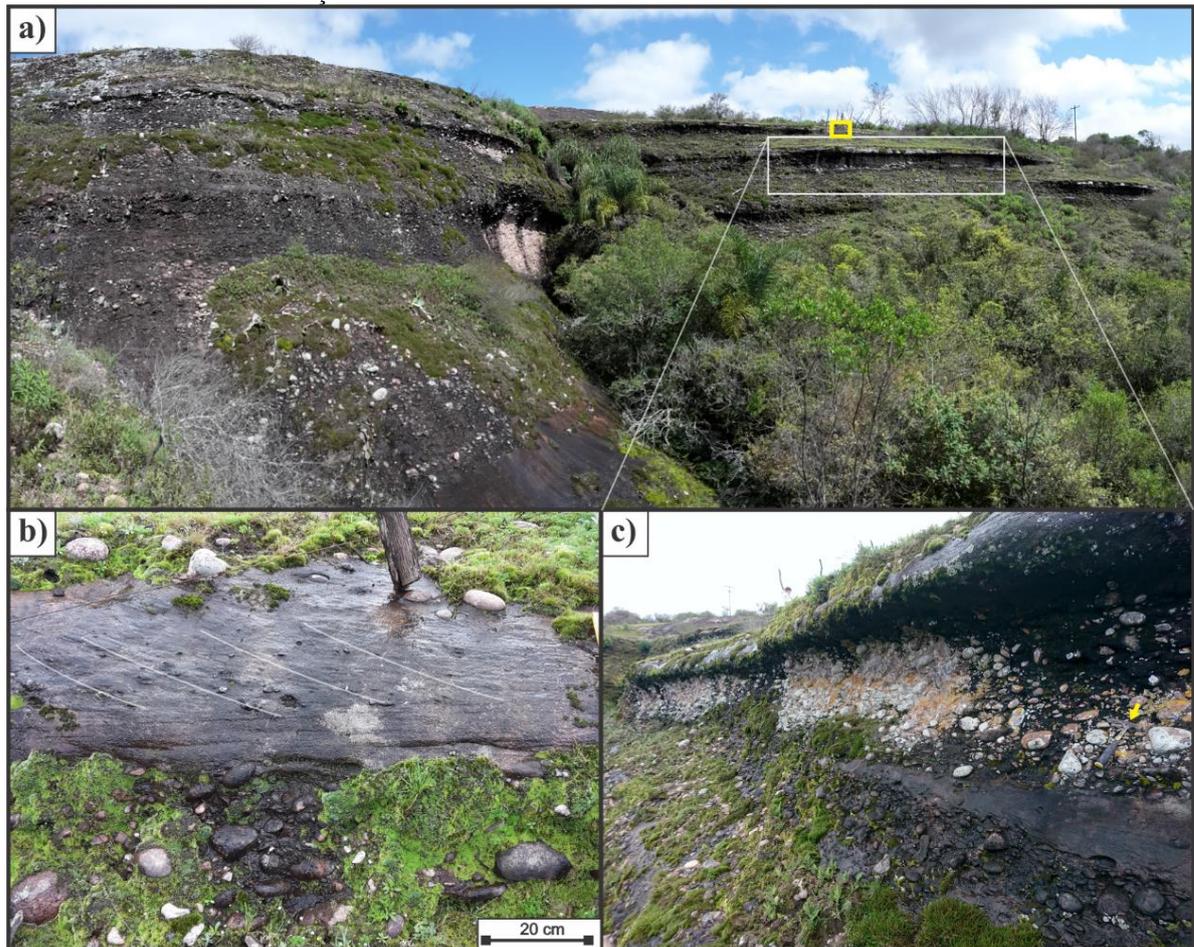
O empacotamento dos arenitos é normal. A compactação mecânica é evidenciada pela abundância de contatos longos e aparenta ter ocorrido em uma fase mais tardia em comparação as rochas da associação de fácies CAF. Nestes arenitos é identificado mais comumente contatos flutuantes, principalmente nas amostras intensamente cimentadas por crescimentos de quartzo (MT1-08). Os contatos côncavo-convexos não são abundantes como na associação de fácies CAF.

### 5.3 Conglomerados de leques aluviais

A associação de fácies CAL é caracterizada pelas seguintes fácies: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação plano-paralela (F3); arenito médio a grosso com

seixos esparsos e estratificação cruzada (F4); e ortoconglomerado polimítico com clastos arredondados e estrutura maciça (F6; Fig. 26). Esta associação de fácies abrange 56 metros do perfil vertical de fácies. De maneira abrangente, é identificado estrato crescência dos pacotes arenosos, e a razão areia/cascalho aumenta para o topo da associação de fácies. Da mesma maneira, os clastos diminuem de tamanho para o topo da sequência.

Figura 26 – Aspectos de campo da associação de fácies CAL. a) Camadas horizontalizadas no topo da associação. b) F4: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação cruzada. c) F3: arenito médio a grosso com seixos esparsos e estratificação plano-paralela a maciça (F3) e F6: ortoconglomerado polimítico com clastos arredondados e estrutura maciça.



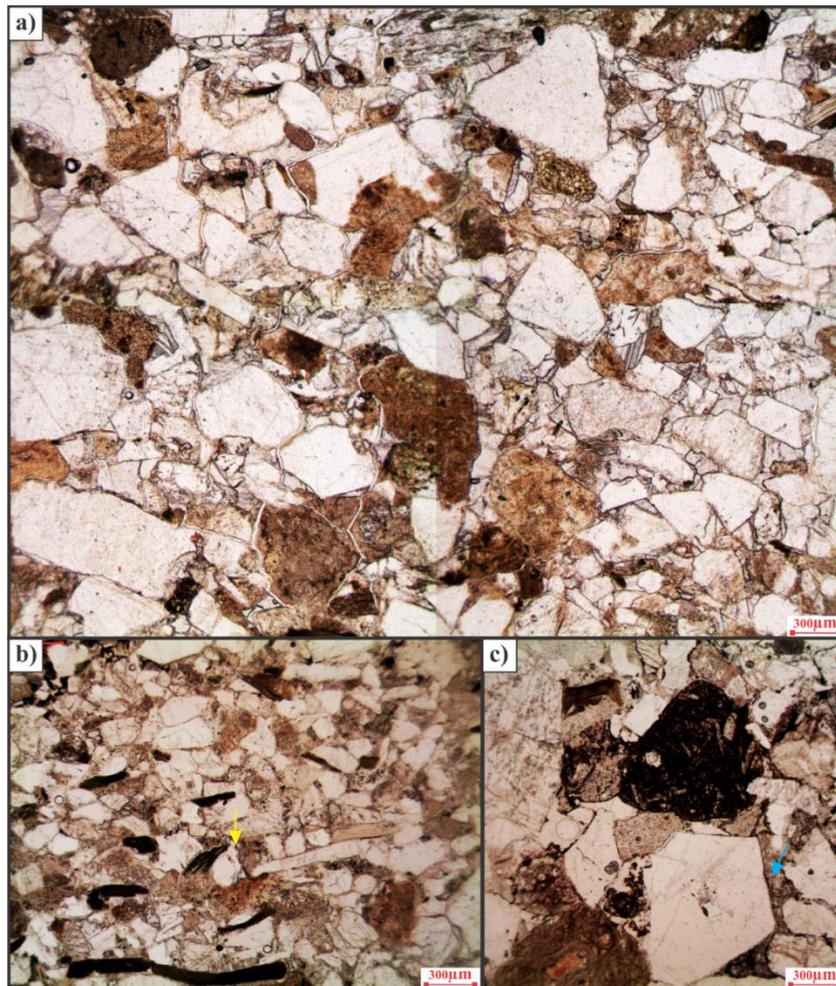
Fonte: autoria própria (2017).

### 5.3.1 Estruturas, texturas e trama

As estruturas identificadas nessa associação de fácies são estrutura maciça, estratificação plano-paralela e gradação normal. Os arenitos de estrutura maciça apresentam orientação caótica ou sub-paralela dos grãos (Fig. 27a). A estratificação plana paralela é marcada pela disposição das micas, principalmente biotita, e demais clastos alongados (Fig. 27b). As rochas possuem granulometria que varia entre silte à grânulo, com predomínio de areia

média e subordinadamente areia grossa. A rocha varia de mal selecionada a moderadamente selecionada. O arredondamento dos grãos é heterogêneo, com grãos angulosos, sub-angulosos e sub-arredondados (Fig. 27c). O processo mais evidente de mudança da forma dos grãos é a deformação de micas e grãos moles.

Figura 27 – Aspectos texturais dos arenitos analisados da fácies CAL. a) Arenito médio com grãos sub-angulosos, moderadamente selecionado, com estrutura maciça e orientação caótica (//P). b) Arenito médio com grãos sub-angulosos, moderadamente selecionado, com laminação irregular formada pela concentração sub-paralela de micas (//P). c) Arenito grosso com grão de quartzo monocristalino anguloso (não é identificado crescimento externo, //P).



Fonte: autoria própria (2017).

### 5.3.2 Composição detrítica

A composição destes arenitos é relativamente homogênea, sendo classificados como arenitos lito-feldspato-quartzosos e feldspato-lito-quartzosos *sensu* Garzanti (2015; Fig. 28), com amostras classificadas na interface entre esses dois campos. A substituição do quartzo e dos feldspatos por calcita e a ilitização dos feldspatos foram os principais processos

diagenéticos que afetaram a composição detrítica original das rochas. Alguns grãos de plagioclásio e líticos encontram-se oxidados.

Os grãos de quartzo são predominantemente monocristalinos, alguns possuem extinção fortemente ondulante e/ou estrias formadas por deformação. Os grãos de feldspatos encontram-se intensamente substituídos por ilita, sendo difícil sua identificação. Os principais fragmentos líticos são de rochas metamórficas de baixo grau. Litoclastos de ocorrência subordinada incluem fragmentos de rochas sedimentares, como chert, siltitos, arenitos e fragmentos de rochas vulcânicas (Fig. 29). Dentre as três associações de fácies estudadas, esta é a que possui maior contribuição de minerais acessórios, sendo principalmente micas e opacos.

Figura 28 – Classificação da composição detrítica da associação de fácies CAL.

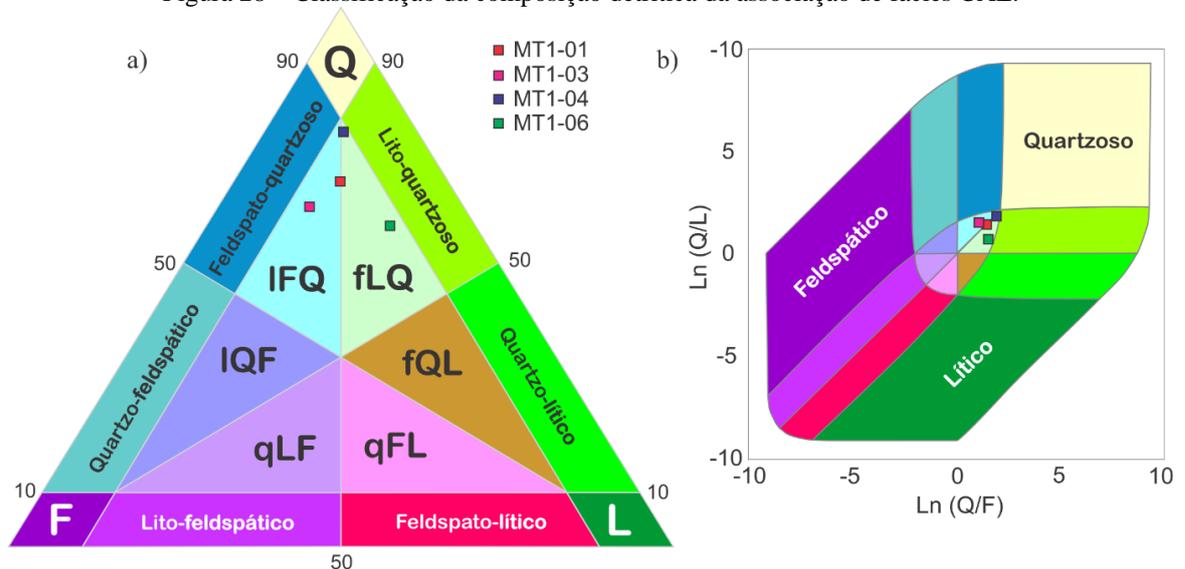
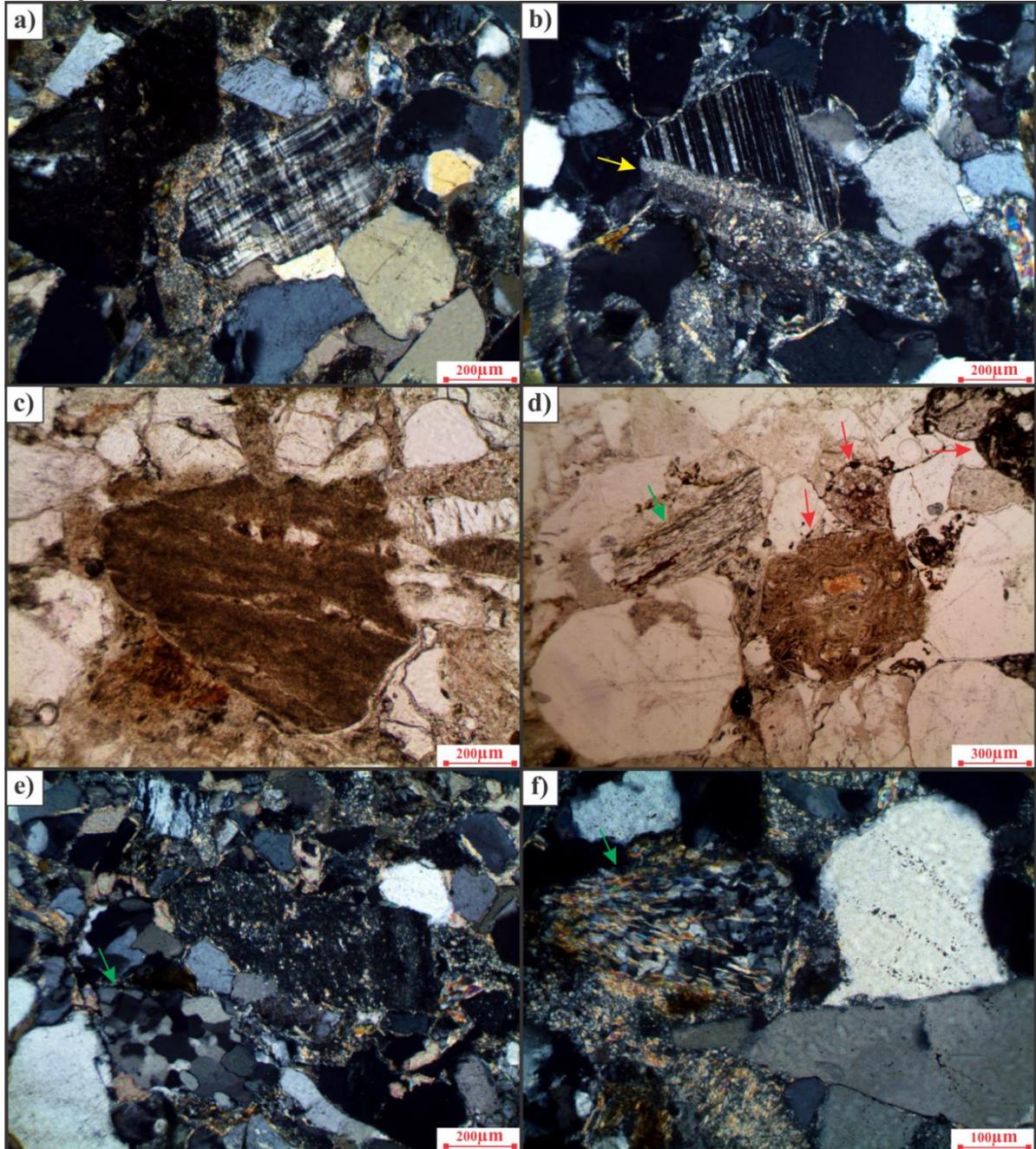


Figura 29 – Principais aspectos da composição detrítica nos arenitos analisados da associação de fácies CAL. a) Grão de microclínio (XP). b) Plagioclásio detrítico em contato longo com feldspato com macla *carlsbad* (seta amarela; XP). c) Fragmento de rocha sedimentar (//P). d) Fragmentos de rocha vulcânica (setas vermelhas) e de rocha metamórfica com foliação (seta verde; //P). e) Fragmento de quartzo policristalino recristalizado em rocha metamórfica (seta verde) e feldspato ilitizado ao centro (XP). f) Fragmento de rocha metamórfica foliada (seta verde) e grãos de quartzo com vacúolos na direita (XP).



Fonte: autoria própria (2017).

### 5.3.3 Diagênese

Os principais produtos da diagênese dos arenitos e da associação de fácies CAL são: argilominerais autigênicos e oxidação de minerais instáveis. A seguir encontra-se descrita a mineralogia autigênica e as principais feições são mostradas na figura 30.

### *Cutículas de argilominerais*

As cutículas de argilominerais autigênicos são um dos principais produtos diagenéticos que ocorrem nestes arenitos. Os argilominerais ocorrem como agregados microcristalinos “esmagados” entre os grãos. As cutículas apresentam espessura variável e são descontínuas, dependentes do espaço intergranular.

### *Óxidos de ferro*

Os óxidos de ferro ocorrem como oxidação de fragmentos líticos (principalmente vulcânicos e sedimentares), feldspatos e micas. Óxidos de ferro substituem componentes intergranulares localmente, principalmente nas redondezas de grãos como biotita e fragmentos vulcânicos.

### *Calcita*

A calcita é o principal cimento dessa associação de fácies, representando até 22 vol% da lamina. Ocorre preenchendo a porosidade intergranular, previamente reduzida pela compactação, com hábitos macrocristalino e poiquilotópico. A calcita substitui grãos detríticos, agregados de illita como preenchimento de poro intergranular, e crescimentos de quartzo. Apresentam uma característica corrosiva, dissolvendo a borda da maior parte dos grãos detríticos, sendo um fator de mudança de forma dos grãos.

### *Feldspatos*

Os feldspatos apresentam-se intensamente ilitizados, por vezes formando pseudomatriz. Os feldspatos potássicos são mais afetados pela substituição de argilominerais em relação ao plagioclásio. Alguns encontram-se substituídos por calcita.

### *Clorita*

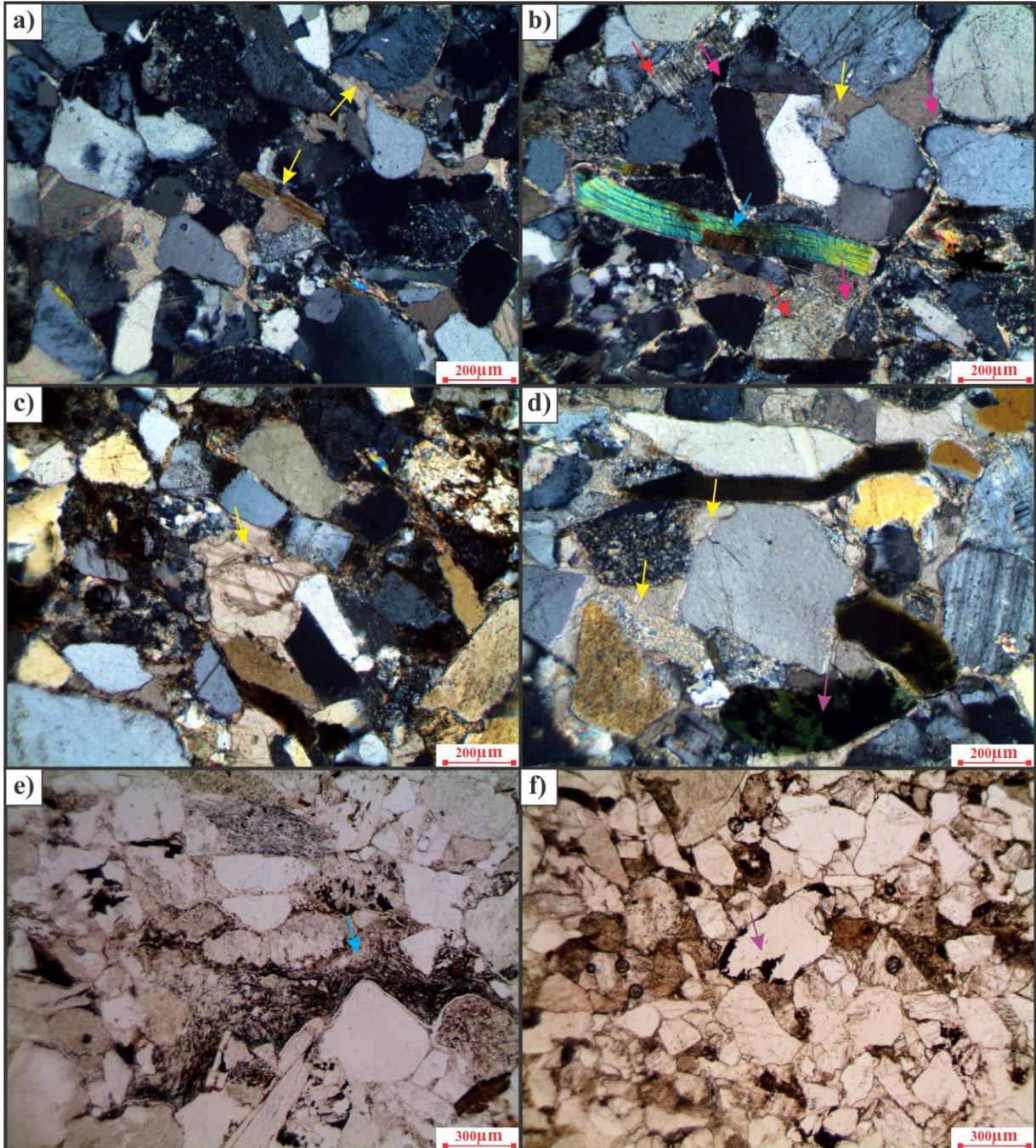
A clorita ocorre como substituição pseudomórfica de lamelas de muscovita e biotita detríticas, como substituição de cutículas de argilominerais infiltradas e como alteração de fragmentos de rochas metamórficas foliadas.

### *Compactação*

O empacotamento destes arenitos é normal. A compactação mecânica é evidenciada pela deformação das micas e de grãos moles. O suporte da rocha é dado pelos grãos. A natureza

dos contatos varia, sendo que comumente ocorrem contatos pontuais, longos e côncavo-convexos. Contatos entre grão e não-grão ocorrem predominantemente na amostra MT1-06.

Figura 30 – Principais feições diagenéticas dos arenitos da formação CAL. A) Substituição de biotita e feldspato por calcita (setas amarelas). B) Substituição de grão policristalino de quartzo por calcita (seta amarela), ilitização de feldspatos (setas vermelhas), e cutículas de argilomineral (setas rosas). C) Substituição completa de grão detrítico por calcita diagenética. D) Bordas corroídas por calcita (setas amarelas), e substituição de clorita por óxidos de ferro (seta roxa). E) Pseudomatrix oxidada (seta azul). F) Grão de quartzo sendo corroído por óxidos de ferro.



Fonte: autoria própria (2017).

## 6 DISCUSSÕES

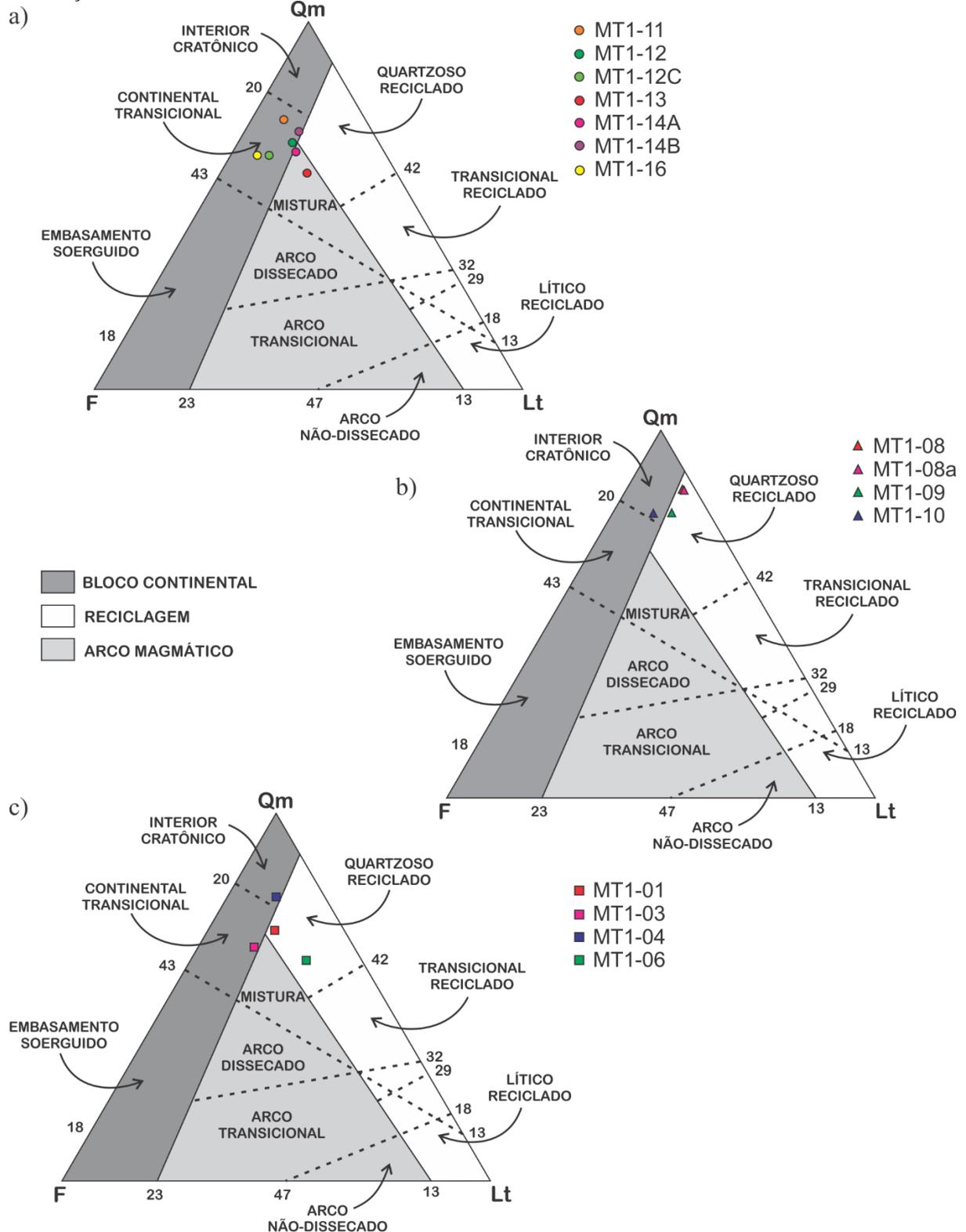
Os dados adquiridos a partir da análise faciológica e da análise petrográfica permitem discutir aspectos de proveniência e diagênese das rochas estudadas.

### 6.1 Proveniência

Os arenitos da associação de fácies CAF apresentam composição quartzo-feldspática indicando uma proveniência continental transicional, com uma tendência para uma zona de mistura de sedimentos provenientes de bloco continental, reciclagem orogênica e arco magmático (Fig. 33a). Os arenitos da associação de fácies AR, devido à natureza do seu ambiente deposicional ser seletivo, tem maior maturidade composicional em comparação as outras associações. Apresentam composição quartzosa indicando uma proveniência de reciclagem orogênica e interior cratônico (Fig. 33b). A associação de fácies CAL apresenta uma composição semelhante aos arenitos da fácies CAF, com maior conteúdo de fragmentos líticos supracrustais, principalmente fragmentos de origem vulcânica. As amostras apresentam uma dispersão maior, indicando areias lito-quartzosas provenientes de reciclagem orogênica (quartzoso reciclado) e composições quartzo-feldspáticas provenientes de bloco continental e interior cratônico. (Fig. 33c).

As amostras analisadas plotaram em campos de proveniência diversos. Porém, as características composicionais e texturais dos arenitos das associações CAF e CAL são semelhantes. A unidade eólica difere, mas a diferença pode ser explicada pela característica do ambiente deposicional, que tipicamente tende a reciclar sedimentos disponíveis para o transporte eólico. A unidade superior, no entanto, apresenta maior proporção de líticos supracrustais na sua composição detrítica e pode indicar fontes crustais mais rasas ou reciclagem.

Figura 31 – Proveniência Sedimentar das rochas analisadas. Qm representa a proporção de quartzo monocristalino contado pelo método Gazzi-Dickinson, Lt a soma dos fragmentos líticos metamórficos, sedimentares (incluindo chert) e vulcânicos e F os feldspatos totais. a) Associação de fácies CAF. b) Associação de fácies AR. c) Associação de fácies CAL.



Fonte: modificado de Dickinson (1985).

## 6.2 Processos e padrões diagenéticos

As formas de ocorrência dos produtos diagenéticos foram identificadas e descritas com a análise petrográfica. Abaixo são discutidos os processos de formação e modificação, a variação dos processos entre as associações de fácies, bem como uma sequência paragenética é proposta (Fig. 32).

O óxido/hidróxido de ferro foi produto da diagênese mais abundante nas amostras da fácies CAF. O trabalho de De Ros, Morad e Paim (1994) identificou a hematita como constituinte diagenético nas rochas do Grupo Guaritas. Esta unidade apresenta maior conteúdo de minerais opacos, em comparação com as outras. Os minerais opacos, biotita e fragmentos vulcânicos, podem ser as fontes de ferro para a precipitação de hematita como cutícula ou preenchendo poro intergranular, além de possíveis fontes externas.

Devido à natureza do ambiente deposicional (fluvial/aluvial/eólico) com espessa zona vadosa, é comum estes sedimentos possuírem cutículas de argilominerais e hematita que retardam ou inibem o crescimento externo de quartzo (BJØRLYKKE, 2014). As cutículas de argila e hematita foram os primeiros constituintes formados da sequência paragenética. Hematita é formada na diagênese próxima à superfície em ambientes fluviais semiáridos continentais, com repetidas variações na coluna de água (DE ROS, MORAD, PAIM, 1994).

Dessa forma, a hematita é o constituinte responsável pela coloração vermelha destas rochas. As manchas claras que ocorrem em meio as zonas vermelhas são geralmente paralelas ao acamamento. Formas de manchas esféricas centimétricas de redução ou lixiviação do ferro são formadas devido a migração de fluídos. Essas características podem indicar redução localizadas durante a diagênese precoce (BENSING *et al.*, 2005), ou alterações durante a telodiagênese. Um controle estratigráfico e estrutural sobre o clareamento é sugerido pela descoloração de camadas mais permeáveis e superfícies delimitadoras e fraturas, que facilitam a migração dos fluidos.

Cutículas de argilominerais infiltrados foram formadas durante a diagênese próxima a superfície. Este processo é comum em sedimentos continentais sob condições climáticas semiáridas durante episódios de inundação (DE ROS, MORAD, PAIM, 1994). Uma grande quantidade de argilominerais pode ser introduzida em um depósito aluvionar limpo por este processo (DE ROS, MORAD, PAIM, 1994).

Embora a análise da porosidade foi dificultada devido à falta de tingimento da resina epóxi durante a impregnação, pode-se evidenciar que a compactação mecânica foi o principal processo físico de redução da porosidade, principalmente pelo rearranjo dos grãos e deformação

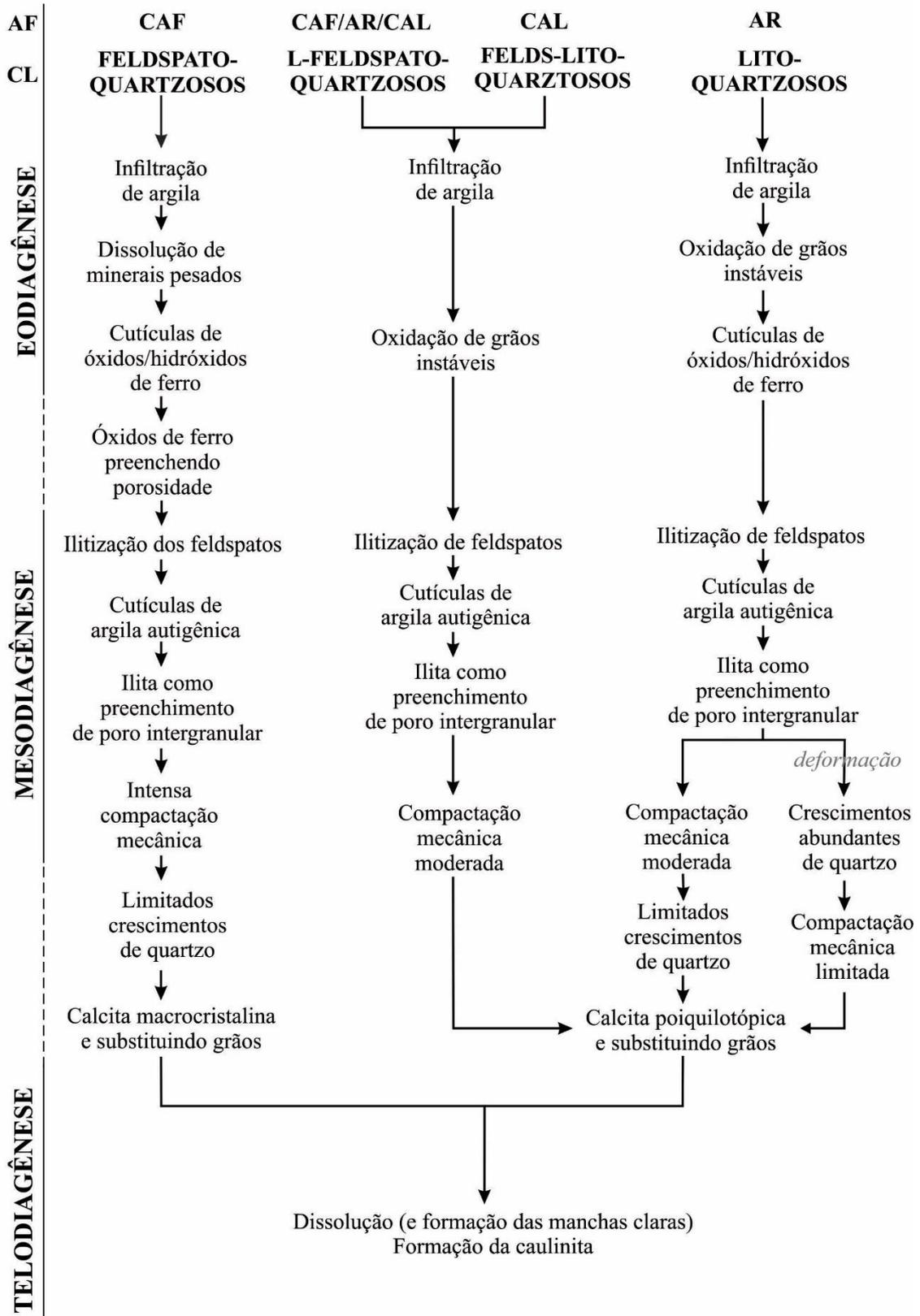
de grãos moles. O rearranjo dos grãos é observado pela abundância de contatos pontuais e longos. A deformação é identificada principalmente pela deformação das micas, e subordinada deformação de feldspatos alterados e líticos moles. A cimentação de crescimentos de quartzo e calcita macrocristalina preenchendo porosidade intergranular também resultam em perda de porosidade intergranular. Estes processos são relacionados a química dos fluídos intersticiais e são discutidos abaixo.

A alteração dos feldspatos para illita em arenitos pode ocorrer em várias condições: durante a exposição subaerial em profundidades inferiores a 1 km, por influência de águas meteóricas e em profundidades maiores (2-4 km), por interação com águas ácidas. A principal questão é identificar se a alteração dos feldspatos ocorreu na área fonte, durante o intemperismo e erosão, ou se foi um processo diagenético. Como grande parte dos feldspatos das três associações de fácies encontram-se ilitizados, pode-se interpretar também como um processo diagenético.

Com o aumento progressivo da profundidade de soterramento a temperatura de diagênese aumenta e a illita e quartzo diagenéticos se tornam estáveis. Na etapa de mesodiagênese ocorreu a cimentação de crescimentos de quartzo e a ilitização dos feldspatos, marcadamente dos feldspatos potássicos. A cimentação de quartzo foi um processo muito importante identificado na amostra MT1-08 (localizada na associação de fácies eólica próximo a falha). Estes crescimentos externos de quartzo devem estar associados com a deformação suportada pelo arenito durante o falhamento, pois no afloramento ocorrem bandas de deformação com espaçamento centimétrico, e é verificado que nestas amostras os grãos são mais angulosos em relação as outras amostras da fácies AR. De acordo com Worden e Burley (2003), a precipitação de quartzo ocorre em temperaturas entre 80° e 100° C. Considerando uma geoterma de bacia sedimentar tipo rifte (que é sugerida para o Grupo Guaritas), este processo deve ter ocorrido em profundidade inferior a 5 km.

Calcita é um cimento abundante nas duas amostras correspondentes ao topo de toda a sequência analisada. A calcita preenche a porosidade intergranular previamente reduzida pela compactação. Apresenta característica corrosiva, dissolvendo a borda de grãos de quartzo e feldspato, eventualmente resultando na dissolução completa de grãos detríticos. A substituição do quartzo por calcita é uma reação comumente observada na diagênese dos arenitos. Devido as diferentes condições de estabilidade em função do pH para o quartzo e para a calcita, sugere-se que os cimentos tenham se formado em dois eventos separados, refletindo dois regimes de líquidos temporário.

Figura 32 – Sequência paragenética proposta para os arenitos com diferentes composições. AF: associação de fácies. CL: classificação dos arenitos.



Fonte: autoria própria (2017)

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A petrografia e análise faciológica de uma porção do Grupo Guaritas ao sul do Rio Camaquã, localizada na região do Arroio Torrinhas mostrou que:

- Os diferentes ambientes deposicionais interpretados para as três associações de fácies podem estar relacionados, e serem dependentes de mudanças climáticas. Em períodos chuvosos os depósitos fluviais e aluviais se formaram, enquanto que em períodos áridos as fácies eólicas foram depositadas.
- A composição detrítica é relativamente homogênea entre as três associações de fácies, podendo indicar proveniência similar para ambas as unidades a leste e oeste da falha.
- A falha não limita grandes variações diagenéticas, o que sugere uma única história de soterramento para ambas as unidades a oeste e a leste da falha, podendo a falha ter atuado como uma barreira para o fluxo hidrológico que proporcionou a precipitação dos carbonatos na porção leste da falha, limitando sua ação na porção oeste
- A mineralogia diagenética evidencia uma evolução de um ambiente siliciclástico de eodiagênese continental meteórica sob clima seco ou úmido evoluindo para um ambiente siliciclástico de diagênese de soterramento profundo (mesodiagênese profunda).
- Os principais processos que afetaram a porosidade foram a compactação e cimentação por quartzo e calcita.
- Sugere-se a realização de novos trabalhos utilizando metodologias similares em outras áreas na zona de falha Minas do Camaquã, que possam contribuir com o conhecimento sobre a relação tectônica–estratigráfica–petrológica entre as unidades deformadas.

## REFERÊNCIAS

AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL. 2017. Disponível em: <  
<http://www.agisoft.com/>>.

ALMEIDA, Renato Paes de. **Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental)**. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ALMEIDA, Renato Paes de; JANIKIAN, Liliane; FRAGOSO-CESAR, Antonio R. S.; MARCONATO, André. Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: The Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brazil. **Sedimentary Geology**. v. 217, p. 30-51, 2009.

ALMEIDA, Renato Paes; SANTOS, Mauricio G. M.; FRAGOSO-CESAR, Antonio R. S.; JANIKIAN, Liliane; FAMBRINI, Gelson. **Recurring extensional and strike-slip tectonics after the Neoproterozoic collisional events in the southern Mantiqueira province**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 84 (2), p. 347–376, 2012.

BENSING, J.P., MOZLEY, P.S., AND DUNBAR, N.W. Importance of clay in iron transport and sediment reddening: evidence from reduction features of the Abo Formation, New Mexico, U.S.A.: **Journal of Sedimentary Research**, v. 75, p. 562–571, 2005.

BJØRLYKKE, Knut. Relationships between depositional environments, burial history and rock properties. Some principal aspects of diagenetic process in sedimentary basins. **Sedimentary Geology**, v. 301, p. 1–14, 2014.

BOGGS, Sam. **Petrology of Sedimentary Rocks**. New York: Cambridge University Press. 2 ed., 2009.

CATUNEANU, Octavian; GALLOWAY, William E.; KENDALL, Christopher G. St. C.; MIALI, Andrew D.; POSAMENTIER, Henry W.; STRASSER, André; TUCKER, Maurice E. Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. **Newsletters on Stratigraphy**, v. 44/3, p. 173–245, 2011.

CHOQUETTE, P.W.; PRAY, L. **Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates**. American Association Petroleum Geologists Bulletin, 54, 1970, 207-250.

DE ROS, L. F.; MORAD, S.; PAIM, P. S. G. The role of detrital composition and climate on the diagenetic evolution of continental molasses: evidences from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil. **Sedimentary Geology**, Amsterdam, v. 92, n. 3-4, p. 197-228, 1994

DICKINSON, William R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: ZUFFA, G. G. (Ed.). **Provenance of Arenites**. D. Reidel Publishing Company, 1985. p. 333-361.

FAMBRINI, Gelson Luís. **O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozoico III) da Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, RS. **Biblioteca Digital**: Arquivos digitais para uso em SIG - base cartográfica digital do RS 1:250.000. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases\\_geo.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp)>. Acesso em: 04-10-2016.

FRAGOSO-CESAR, A.R.S. **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 366 p. 1991.

FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos; FAMBRINI, Gelson L., ALMEIDA, Renato Paes de; PELOSI, Ana Paula de Meireles Reis; JANIKIAN, Liliane. A Bacia do Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de *rifts* do Neoproterozóico III – Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RS: ESTUDO E BACIAS, 2003. **Anais**. p. 139-144.

GARZANTI, Eduardo. From static to dynamic provenance analysis-Sedimentary petrology upgraded. **Sedimentary Geology**. v. 336, p. 3-13, 2015.

GODINHO, Lucas Padoan de Sá; ALMEIDA, Renato Paes de; MARCONATO, André; SANTOS, Mauricio Guerreiro Martinho dos; FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos. **Análise de proveniência dos arenitos conglomeráticos do Grupo Guaritas (RS): implicações para o paleoclima e a paleogeografia da sub-bacia Camaquã Central no Eocambriano**. Geologia USP, Série científica, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 123-144, 2013.

**GOOGLE EARTH PRO**. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/>>

HARTMANN, L. A; CHEMALE JR., F.; PHILIPP, R. P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: **50 anos de Geologia**: Instituto de Geociências. Contribuições

/Editores Roberto Iannuzzi; José Carlos Frantz. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, p. 97-124, 2007.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

JOHSSON, Mark J. The system controlling the composition of clastic sediments. In: Johnsson. M.J., Basu, A. (Eds.), **Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments**. Geological Society of America Special Paper 284, p. 1-19, 1993.

LAUBACH, Stephen Ernest; EICHHUBL, Peter; HILGERS, Christoph; LANDER, Robert H. Structural diagenesis. **Journal of Structural Geology**, v. 32, p. 1866–1872, 2010.

MAGALHÃES, A. J. C.; RAJA GABAGLIA, G. P.; SCHERER C. M. S.; BÁLLICO, M. B.; GUADAGNIN, F.; BENTO FREIRE, E.; SILVA BORN L.R.; CATUNEANU, O. Sequence hierarchy in a Mesoproterozoic interior sag basin: from basin fill to reservoir scale, the Tombador Formation, Chapada Diamantina Basin, Brazil. **Basin Research**. p. 1–40, 2015.

MARASCHIN, Anderson José; MIZUSAKI, Ana Maria; ZWINGMANN, Horst; BORBA, André Weissheimer de; SBRISSA, Gesiane Fraga. Illite authigenesis in sandstones of the Guaritas Allogroup (Early Paleozoic): Implications for the depositional age, stratigraphy and evolution of the Camaquã Basin (Southern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, p. 400–411, 2010.

McLENNAN, S. M.; HEMMING, S.; McDANIEL, D. K.; HANSON, G. N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson. M.J., Basu, A. (Eds.), **Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments**. Geological Society of America Special Paper 284, p. 1-19, 1993.

MOVE™. **Midland Valley Exploration**, 2015.

OLIVEIRA, Christie Helouise Engelmann; JELINEK, Andréa Ritter; CHEMALE JR, Farid; BERNET, Matthias. Evidence of post-Gondwana breakup in Southern Brazilian Shield: Insights from apatite and zircon fission track thermochronology. **Tectonophysics**, v. 666, p. 173–187, 2016.

PAIM, Paulo Sérgio Gomes; LOPES, Ricardo da Cunha; CHEMALE JR, Farid. Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã -

Vendiano Superior/Ordoviciano Inferior do RS. In: 6º SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA/1º ENCONTRO DE GEOLOGIA DO CONE SUL, p. 39–50, 1995.

PAIM, Paulo Sérgio Gomes, Chemale Jr., Farid, Lopes, Ricardo da Cunha. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. CIGO-UFRGS, Porto Alegre, 2000. p. 231–274.

PHILIPP, Ruy Paulo. PIMENTEL, Marcio Martins; CHEMALE JR, Farid. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, 46(Suppl 1): 83-104, 2016.

PÉREZ, Rafaela Marfil; RODRÍGUEZ, Miguel Ángel Caja. Diagénesis de rocas detríticas. In: Alfredo Arche (editor). **Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria**. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid,. p. 1045 – 1103, 2010.

RAMGRAB, Gilberto Emilio; WILDNER, Wilson. **Geologia e recursos minerais da folha Pedro Osório RS, escala 1:250.000**. FOLHA SH.22-Y-C. Porto Alegre: CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil- PLGB, 2000.

RIBEIRO, M.J.; BOCCHI, P.R.; FIGUEIREDO FILHO, P.M.; TESSARI, R. **Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul, RS, Brasil**. Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral, DNPM, n. 127, 1966.

ROBERTSON, Jacques F. Revision of the stratigraphy and nomenclature of rocks units in the Caçapava-Lavras region, state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Notas e estudos**. p. 41-56, 1966.

TAVANI, Stefano; CORRADETTI, Amerigo; BILLI, Andrea. High precision analysis of an embryonic extensional fault-related fold using 3D orthorectified virtual outcrops: The viewpoint importance in structural geology. **Journal of Structural Geology** v. 86, p. 200–210, 2016.

TUCKER, Maurice E. **Sedimentary Petrology**. United Kingdom: Blackwell Science Ltd. 3ed, 2001.

WELTJE, Gert Jan; VON EYNATTEN, Hilmar. Quantitative provenance analysis of sediments: Review and outlook. **Sedimentary Geology**, v. 171, n. 1–4, p. 1–11, 2004.

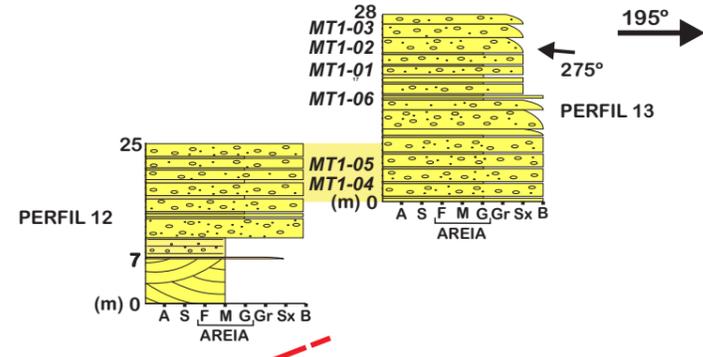
WORDEN, Richard H.; BURLEY, Stuart D. Sandstone Diagenesis: the evolution of sand to stone. In: WORDEN, R. H.; BURLEY, S. D. (Eds.). **Sandstones Diagenesis: Recent and Ancient**. 1. ed. Blackwell Publishing Ltd, p. 3–44, 2003.

ZUFFA, Gian Gaspare. Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. In: ZUFFA, G. G. (Ed.). **Provenance os Arenites**. D. Reidel Publishing Company, p. 165–189, 1985.

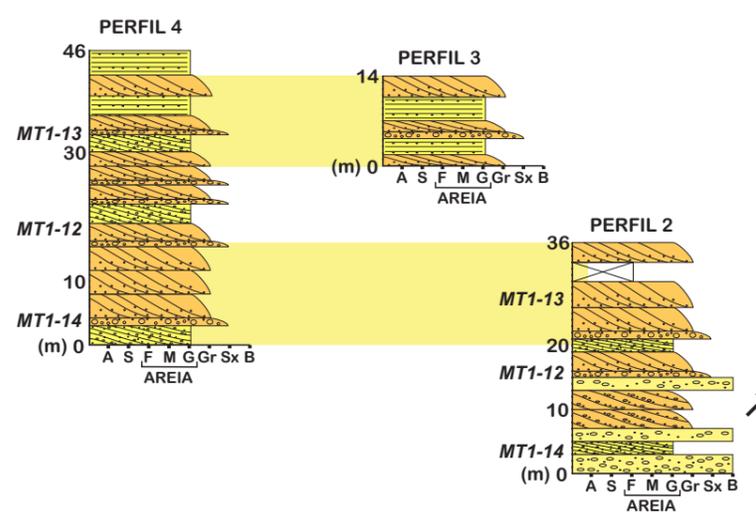
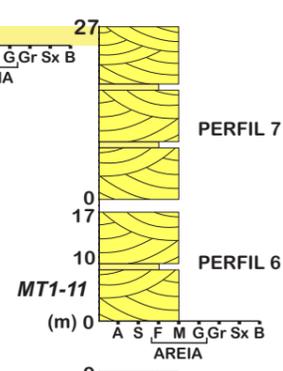
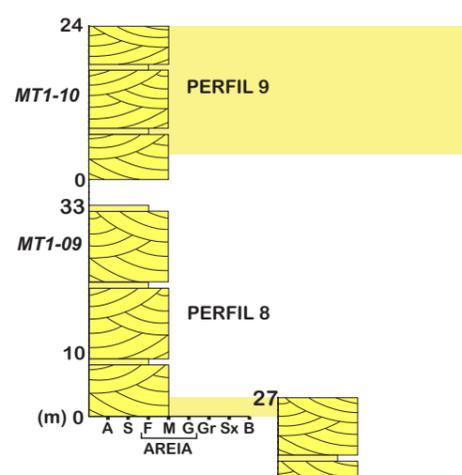
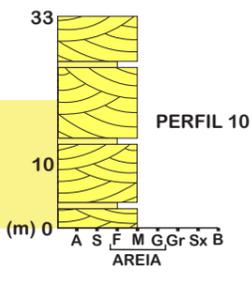
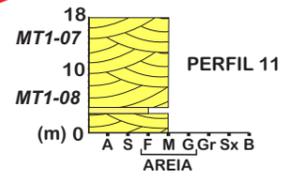
015°

195°

275°



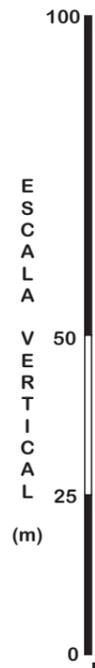
Falha



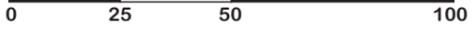
045°

ESCALA VERTICAL

(m)



ESCALA HORIZONTAL (m)



APÊNCIE A

PERFIL VERTICAL DE FÁCIES COMPOSTO

