

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**ANDREAS PAULI DE CASTRO**

**EVOLUÇÃO DA BACIA DE CAMPO ALEGRE COM BASE NA ANÁLISE DE  
PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR**

**CURITIBA**

2019

**ANDREAS PAULI DE CASTRO**

**EVOLUÇÃO DA BACIA DE CAMPO ALEGRE COM BASE NA ANÁLISE DE  
PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Conforti Ferreira Guedes.

**CURITIBA**

2019

*PARA AS PESSOAS MAIS IMPORTANTES DA MINHA VIDA!*

*VATER und MUTTER*

## AGRADECIMENTOS

Sou grato a **todos** que contribuíram para que este trabalho fosse realizado, pois esse trabalho não é somente meu, mas resultado da reunião de diversos pedaços de um imenso quebra-cabeça, onde cada indivíduo que me apoiou, ensinou e me incentivou tem seu lugar de grande importância no qual permitiu sua conclusão.

Agradeço principalmente minha Família **José Olinto da Silva de Castro, Isamar I. Pauli de Castro e Jürgen Pauli de Castro**, que fizeram eu me tornar a pessoa que sou hoje, por me incentivar nos meus sonhos, compreenderem minha ausência e permitirem a minha dedicação ao estudo de geologia, à conclusão deste trabalho e a me tornar um geólogo.

Agradeço a **Júlia Oliveira** que me apoiou, alegrou nos momentos difíceis e sempre estava disposta a estar ao meu lado, tornando os dias de trabalho melhores e o curso de geologia especial, além das boas discussões geológicas e apoio durante elaboração da monografia.

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. **Carlos Conforti Ferreira Guedes** por sempre estar disposto a me “mostrar o caminho das pedras” e confiar no meu trabalho. Agradeço a Prof. Dr. **Barbara Trzaskos** por me introduzir ao estudo da Bacia de Campo Alegre e me estimular a prosseguir com os estudos.

Agradeço **aos demais**, amigos, professores, estudantes de graduação e pós-graduação em geologia e a instituição UFPR, pelo conhecimento que adquiri com o convívio, durante estes 5 anos de graduação em geociências.

## RESUMO

A Bacia vulcano-sedimentar de Campo Alegre se situa na porção nordeste do estado de Santa Catarina sobre os terrenos paleoproterozóicos a arqueanos do Terreno Luís Alves. A bacia é de idade neoproterozoica e sua formação está associada à tectônica pós-colisional do ciclo Brasileiro-Panafricano, cujos mecanismos de evolução ainda são incertos. Seu empilhamento estratigráfico é composto pela sequência sedimentar inferior (Formação Bateias), sobrepostos por dois eventos vulcânicos. Assim, o trabalho tem como objetivo contribuir para a compreensão da evolução da bacia através do uso integrado de diversos métodos de análise de proveniência na Formação Bateias, de forma a reconhecer as variações de áreas fonte, a reconstituição da paleogeografia e a evolução tectonosedimentar da Bacia de Campo Alegre. Os métodos utilizados foram: Análise de fácies e associação de fácies sedimentares, contagem de clastos em conglomerados, análise de paleocorrentes, petrografia e análise de proveniência em arenitos através de contagem modal pelo método Gazzi-Dickinson. Dados composicionais, posição geográfica e estratigráfica foram integrados por meio da estatística multivariada, com uso da análise de agrupamento e análise de componentes principais. No total foram reconhecidas 14 classes litológicas de natureza plutônica, vulcânica e metamórfica de médio a alto grau compondo o arcabouço de conglomerados, estas discriminadas estratigraficamente e espacialmente; foram descritas 9 fácies sedimentares constituintes de três associações de fácies, estas interpretadas como um sistema de leques dominados por processos gravitacionais, dominados por fluxos confinados e desconfinados e por um corpo de água distal. As paleocorrentes permitiram reconhecer como principal direção do fluxo para leste-sudeste e subordinadamente para nordeste; em arenitos foram identificados o predomínio da baixa maturidade composicional e textural. Na análise de *clusters* foram identificados dois principais grupos segmentados geograficamente, oeste e norte-nordeste, já na análise de componentes principais as duas componentes principais representam 72,2% da variância total das amostras, PC1 é interpretada como a variação temporal do preenchimento e a PC2 como variação espacial. O trabalho permitiu o detalhamento do ambiente de sedimentação associado a um sistema de leques e um corpo de água, das condições tectônicas durante a sedimentação, com a configuração de redes de drenagens independentes na faixa oeste e norte, e com a evolução progressiva de área fonte de restrita para diversas áreas fontes. Essa evolução ocorreu com sedimentação diacrônica em fronteiras distintas da bacia, contou com o Terreno Luís Alves, Ortognaisses Pomerode, Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên e Magmatismo Brasileiro como principais áreas fonte. Também foi elaborado o modelo de evolução para o preenchimento sedimentar da Bacia de Campo Alegre em fase restrita, fase transicional e fase abrangente.

**Palavras-chave:** Proveniência sedimentar, estatística multivariada, Formação Bateias, Leques Aluvionares.

## ABSTRACT

A sedimentary volcano of the Campo Alegre Basin is located in the northeast of Santa Catarina state on the paleoproterozoic and Archean terrain of Luís Alves, a neoproterozoic-aged basin and its formation is associated with post-collisional tectonics of the Brazilian-African cycle, evolutionary processes are still uncertain. Its stratigraphy is subdivided into the lower sedimentary sequence (Formation Bateias), superimposed by two volcanic events. Thus, the work aims to contribute to the understanding of the evolution of the basin through the integrated use of several provenance analysis methods in the Bateias Formation, in order to recognize the variations of source areas, the reconstitution of paleogeography and the tectonosedimentary evolution of the Campo Alegre Basin. The methods used were: Sedimentary facies analysis, facies association and physiological stacking, cluster clast counting, paleocurrent analysis, petrography and provenance analysis in sandstones by Gazzi-Dickinson modal counting. Compositional data, geographical position and stratigraphic data were integrated using multivariate statistics, using cluster analysis and principal component analysis. A total of 14 medium to high grade plutonic, volcanic and metamorphic lithological classes were recognized, stratigraphically and spatially discriminated; described from 9 sedimentary facies constituting three facies associations, these interpreted as a system of fans dominated by gravitational processes, dominated by confined and deconstructed flows and a distal water body, the paleocurrents allowed to recognize as the main direction of the eastward flow. southeast and subordinate to the northeast; in sandstones the predominance of low compositional and textural maturity was identified. The cluster analysis identified two main geographically distinct segmented groups, west and north-northeast, while the principal component analysis revealed two principal components representing 72.2% of the total variance of the samples, PC1 revealing mainly the temporal variation of the cluster. fill and PC2 the spatial variation. The work allowed the detailing of the sedimentation environment associated with a fan system and a body of water, the tectonic conditions during sedimentation, the configuration of independent drainage networks in the west and north, and the progressive evolution of the source area. restricted to several source areas. This evolution occurred with diachronic sedimentation in distinct borders of the basin, with Terraín Luís Alves, Pomerode Ortognaisses, Rio Piên Suite and Brasileiro Magmatism as the main source areas. It was also elaborated the evolution model for the sedimentary filling of the Campo Alegre Basin in restricted phase, transitional phase and comprehensive phase.

*Keywords:* Sedimentary Provenance, multivariate statistics, Bateias Formation, Alluvial fans.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 - Mapa geológico esquemático situando a Bacia de Campo Alegre (2) com as principais unidades geológicas e as adjacências. A figura contém as principais zonas de cisalhamento que delimitam os terrenos Curitiba, Luís Alves e Paranaguá e as unidades geológicas mais representativas na região nordeste do estado de Santa Catarina e sudeste do estado do Paraná. (Modificado de Basei *et al.* 1990, Basei *et al.* 1992, Siga Jr. 1995, Basei *et al.* 2000, Cury 2009 e Barão *et al.* 2017). .....9
- Figura 02 – A) Mapa geológico da Bacia de Campo Alegre e respectivas unidades - litofácies Iglesias *et al.* (2011). B) Empilhamento estratigráfico e unidades formais sugerido por Citroni *et al.* 2001. Modificado de (Iglesias *et al.* 2011 e Citroni *et al.* 2001). .....20
- Figura 03 – Divisão dos processos de aglomeração na análise de agrupamento, com destaque para métodos hierárquicos. (Modificada de Malhotra 2006). .....28
- Figura 04 – Principais fácies sedimentares presentes na Formação Bateias, A) Fácies Brecha conglomerática (Bmm). B) Fácies Paraconglomerado maciço (Gmm). C) Fácies Ortoconglomerado maciço (Gcm) e Arenito com deformação penecontemporânea (Sd). D) Fácies Ortoconglomerado estratificado (Gh). E) Fácies Arenito maciço (Sm). F) Fácies Arenito estratificado. G) Fácies Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo e H) Fácies Siltito, siltito arenoso e siltito argiloso (FI).....37
- Figura 05 – Principais pontos de medidas de paleocorrentes na Formação Bateias, marcando o predomínio do fluxo para leste, com termos nordeste a sudeste. Mapa modificado de Iglesias *et al.* 2011. ....40
- Figura 06 – Modelo de empilhamento fáciesológico nos membros Papanduvinha, São Bento do Sul e Rio do Bugre, da base para o topo respectivamente e suas espessuras mínimas. Também apresenta a localização estratigráfica dos sítios de contagem em áreas dos constituintes do arcabouço dos conglomerados da faixa norte-nordeste. ....42
- Figura 07 - Modelo de empilhamento fáciesológico no Membro São Bento do Sul e a localização estratigráfica dos sítios de contagem em áreas dos constituintes do arcabouço dos conglomerados da faixa oeste. ....43
- Figura 08 – Fragmentos comuns presentes no arcabouço dos conglomerados da Formação Bateias, A) Diorito médio maciço. B) Gnaiss com bandas de quartzo e feldspato alcalino. C) Granodiorito milonitizado. D) Monzogranito equigranular médio. E) Clasto de riolito e F) Vulcânica básica-intermediária com presença de amígdalas. .44
- Figura 09 – A) Baixa maturidade mineralógica em arenito situado na faixa oeste da bacia. B) Baixa maturidade textural em arenitos da fácies Sh, com presença de fragmentos angulosos de areia muito fina a grossa. C) Fragmento de actinolita fibrorradial e zircão (destacado em vermelho). D) Fragmento com muscovita deformada, quartzo e feldspato. E) Biotita e clorita dobrada junto a opacos e F) Lepidolita junto a quartzo e feldspatos. ....46
- Figura 10 - A) Laminação evidenciada pelo acúmulo de minerais opacos. B) Fragmento de milonito com porfiroclasto rotacionado. C) Fragmentos líticos com feições de recristalização dinâmica. D) Fragmentos líticos bandados e com mineralogia orientada. E) Fragmento vulcânico básico-intermediário e fragmento de granito constituído de

quartzo e microclinio e F) Fragmento granítico constituído por feldspatos, quartzo e moscovita. ....	47
Figura 11 - A e B) Quatzo policristalino com feições de recristalização dinâmica. C) Feldspato alcalino com bordas alteradas para sericita e carbonato. D) Feldspato alcalino parcialmente alterado para carbonato. ....	48
Figura 12 - Gráfico ternário composicional com divisão geotectônica proposta por Dickinson (1985), representando a disposição das amostras da Formação Bateias, onde (Q) representa quartzo, (F) feldspatos, (L) fragmentos líticos, a seta em (azul) aponta da base para o topo do empilhamento estratigráfico, com o aumento gradativo de quartzo em relação de fragmentos líticos da base para o topo do empilhamento. O aumento relativo de fragmentos vulcânicos, de feldspatos potássicos, cristais de quartzo monocristalino e fragmentos líticos plutônicos em relação a plagioclásio, cristais de quartzo policristalinos e fragmentos líticos metamórficos também acompanham a seta azul. ....	50
Figura 13 – Dendograma de agrupamentos, no qual foi utilizado o critério de dissimilaridade, portanto quanto menor a distância mais similares são os grupos, pode se notar que as estações de análise situados na faixa norte-nordeste e oeste são agrupados separadamente, e em cada extremidade as estações foram agrupadas entre os basais e os situados em estratos mais jovens.....	51
Figura 14 - A) <i>Biplot</i> da relação de PC1 e PC2, onde as estações de análise situados no Membro Papanduvinha estão representados por pontos amarelos e os situados no Mb São Bento do Sul são de cor vermelha, também foi possível representar dois grupos o circulado de verde representando a faixa oeste e de azul representando as estações situadas na faixa norte-nordeste da bacia. B) Gráfico de comportamento da primeira e segunda componentes principais em relação aos dados composicionais. Os granitos foram agrupados em granitos característicos da série cálcio-alcalina e da série alcalina para facilitar a visualização e determinar padrões. ....	53
Figura 15 – <i>Biplot</i> entre a primeira e a segunda componente principal com os vetores representando a importância de cada representante litológico. ....	56
Figura 16 - Mapa geológico com a Bacia de Campo Alegre, unidades geológicas adjacentes e área ocupada pelas bacias de drenagem situada oeste e norte da bacia, os quais englobam unidades neoproterozoicas a arqueanas como área fonte. Modificado de (Modificado de Basei <i>et al.</i> 1990, Basei <i>et al.</i> 1992, Siga Jr. 1995, Basei <i>et al.</i> 2000, Barão <i>et al.</i> 2017 e Iglesias <i>et al.</i> 2011.....	57
Figura 17 – A) Principal direção de paleocorrente de direção S-ESE. B) Segunda direção preferencial de direção de paleocorrente com <i>trend</i> para NE- ENE. ....	59
Figura 18 – Ilustração dos três padrões no qual se sucedeu o preenchimento basal da Bacia de Campo Alegre. A) Primeira fase de preenchimento da bacia, com rede de drenagem tributários limitada e sedimentação inicial restrita na faixa norte. B) Início da sedimentação na faixa oeste com bacia de alimentação restrita, concomitante faixa norte conta com ampliação da bacia de captação. C) Sobreposição das redes tributarias entre as faixas oeste e norte, ampliação do sistema de leques, início da contribuição autóctone com o início do evento de vulcanismo o qual cerceará a sedimentação terrígena basal. ....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Principais corpos graníticos relacionados ao Magmatismo Granítico Serra do Mar e adjacências, região de abrangência, área ocupada e suas geometrias. Os corpos que se encontram próximos das bordas da Bacia de Campo Alegre estão destacados. Modificado de Kaul (1997). .....	15
Tabela 02 - Resumo de propostas de modelo de evolução tectônica para a Bacia de Campo Alegre e seus respectivos autores. ....	18
Tabela 03 - Resumo com as siglas, litologias, estruturas sedimentares e processos responsáveis pela formação das fácies sedimentares presentes na Formação Bateias. ....	34
Tabela 04 - Associação de fácies presentes na Formação Bateias com suas respectivas fácies constituintes e unidade geológica no qual ocorre. ....	38
Tabela 05 - Posição espacial, posição estratigráfica da coleta das amostras e representação da porcentagem modal de cada classe por lâmina delgada. (L) representando fragmentos líticos, (Q) quartzo e (K) feldspatos. ....	49
Tabela 06 - Dados composicionais utilizados na PCA e suas respectivas variâncias na PC1 e PC2.....	52

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	6
1. INTRODUÇÃO .....	8
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO .....	8
1.2 JUSTIFICATIVA.....	9
1.3 OBJETIVOS .....	10
2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	11
2.1 TERRENO LUÍS ALVES .....	11
2.2 DOMÍNIO CURITIBA.....	12
2.3 SUÍTE GRANÍTICA CALCIO-ALCALINA RIO-PIÊN .....	12
2.4 SUITE MÁFICA-ULTRAMÁFICA BARRA VELHA E ORTOGNAISSES POMERODE .....	13
2.5 GRANITÓIDES BRASILIANO.....	14
2.5.1 Maciço Granítico Agudos do Sul .....	16
2.5.2 Granito Morro Redondo.....	16
2.5.3 Granito Corupá.....	16
2.5.4 Granito Serra Alta.....	17
2.5.5 Granitos Dona Francisca e Piraí.....	17
2.6 BACIA DE CAMPO ALEGRE.....	17
2.6.1 Formação Bateias .....	20
2.6.2 Membro Papanduvinha ou litofácies conglomerado .....	21
2.6.3 Membro São Bento do Sul ou litofácies conglomerado .....	21
2.6.4 Membro Rio do Bugre ou litofácies arenito e siltito.....	21
2.6.5 Grupo Campo Alegre.....	22
2.6.6 Formação Rio Negrinho ou litofácies basalto-andesito e siltito laminados ....	22
2.6.7 Formação Avenca Grande ou litofácies ignimbrito .....	22
2.6.8 Formação São Miguel ou litofácies traquito e quartzo traquito .....	23
2.7.9 Formação Fazenda Uirapuru ou litofácies brecha vulcanoclástica.....	23
2.6.10 Formações Rio Turvo e Arroio Água Fria ou litofácies pelito, tufo e ignimbrito e litofácies riolito e ignimbrito respectivamente. ....	23
3. FUNDAMENTAÇÃO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	23

3.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS COMPOSICIONAIS.....	25
3.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO ( <i>CLUSTER ANALYSIS</i> ) .....	26
3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS ( <i>PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS</i> ) .....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	30
4.2 ANÁLISE DE FÁCIES SEDIMENTARES E ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES .....	30
4.3 ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA EM CONGLOMERADOS .....	31
4.4 ANÁLISE DE PALEOCORRENTES.....	31
4.5 PETROGRAFIA SEDIMENTAR.....	32
4.6 ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA EM ARENITOS .....	32
4.7 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS COMPOSICIONAIS .....	33
5. RESULTADOS .....	34
5.1 FÁCIES SEDIMENTARES E ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES.....	34
5.2 ANÁLISE DE PALEOCORRENTES.....	40
5.3 ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA EM CONGLOMERADOS .....	41
5.4 PETROGRAFIA .....	45
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DE DADOS COMPOSICIONAIS PARA DADOS MACROSCÓPICOS .....	50
5. DISCUSSÃO .....	54
5.1 AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO .....	54
5.2 NATUREZA TECTÔNICA DAS ÁREAS FONTE .....	55
5.2.1 A possibilidade de um Arco Magmático como área fonte.....	58
5.2.2 A possibilidade do vulcanismo intrabacinal como área fonte .....	60
5.3 CONTEXTO TECTÔNICO E SEDIMENTAÇÃO .....	62
6. MODELO DE EVOLUÇÃO PARA O PREENCHIMENTO SEDIMENTAR DA BACIA DE CAMPO ALEGRE .....	64
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS .....	68

# 1. INTRODUÇÃO

A análise de proveniência sedimentar é uma ferramenta que se apoia na reconstrução da relação do depósito sedimentar e suas respectivas áreas fonte, de modo que permita a reconstituição da paleogeografia e do contexto tectônico de bacias sedimentares. Estudos de proveniência sedimentar envolvem a identificação da composição dos fragmentos que compõem a rocha, a determinação da composição das áreas fonte de sedimento, sua localização geográfica, inferências sobre o ambiente de sedimentação, aspectos climáticos e fisiográficos, as principais rotas de distribuição, processos modificadores durante o intemperismo, transporte e diagênese (Dickinson 1980, Pettijohn *et al.* 1987, Miall 1990, Remus 2008).

Devemos ter em mente que o registro sedimentar fornece apenas uma imagem distorcida da real geologia dos terrenos de origem, e deixar de lado a ilusão de que a composição do sedimento é controlada estritamente pelo ambiente tectônico. Isso porque os sedimentos clásticos passam por uma história complexa, em que foram modificados e alterados por diversos processos desde sua origem até o local de deposição, dependentes da distância e do tempo de residência do sedimento na planície aluvial ou na plataforma (Remus 2008, Garzanti 2016). Reconhecer esses processos permite avaliar o grau de modificação, identificar as alterações impostas à rocha e reconhecer a composição mais fidedigna da rocha mãe.

O estudo de proveniência também permite o reconhecimento de variações de áreas fonte ao longo da história de preenchimento de uma bacia sedimentar, em um determinado intervalo estratigráfico (Garzanti 2016). Tais estudos têm grande importância na determinação do arranjo de altos topográficos adjacentes a bacia, bem como a identificação de eventos tectônicos modificadores da dinâmica de transporte (Marconato 2010).

## 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO

A Bacia de Campo Alegre possui aproximadamente 500 Km<sup>2</sup> (Citroni 1998), e fica situada na porção nordeste do estado de Santa Catarina, região conhecida como Planalto Nordeste do estado. A área da Bacia abrange as cidades de Campo Alegre e São Bento do Sul, que se conectam através da rodovia estadual SC-418 a qual é via principal para atingir a bacia. A Bacia se encontra sobre a porção norte dos terrenos paleoproterozoicos e arqueanos do Luís Alves (Basei *et al.* 1992), limitada a sul pela

sub-bacia de Corupá (Citroni *et al.* 2001), a leste os corpos graníticos Dona Francisca e Piraí do ciclo Brasileiro (Siga Jr. 1995) e a norte pela Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên (Machiavelli 1993), (Figura 01).

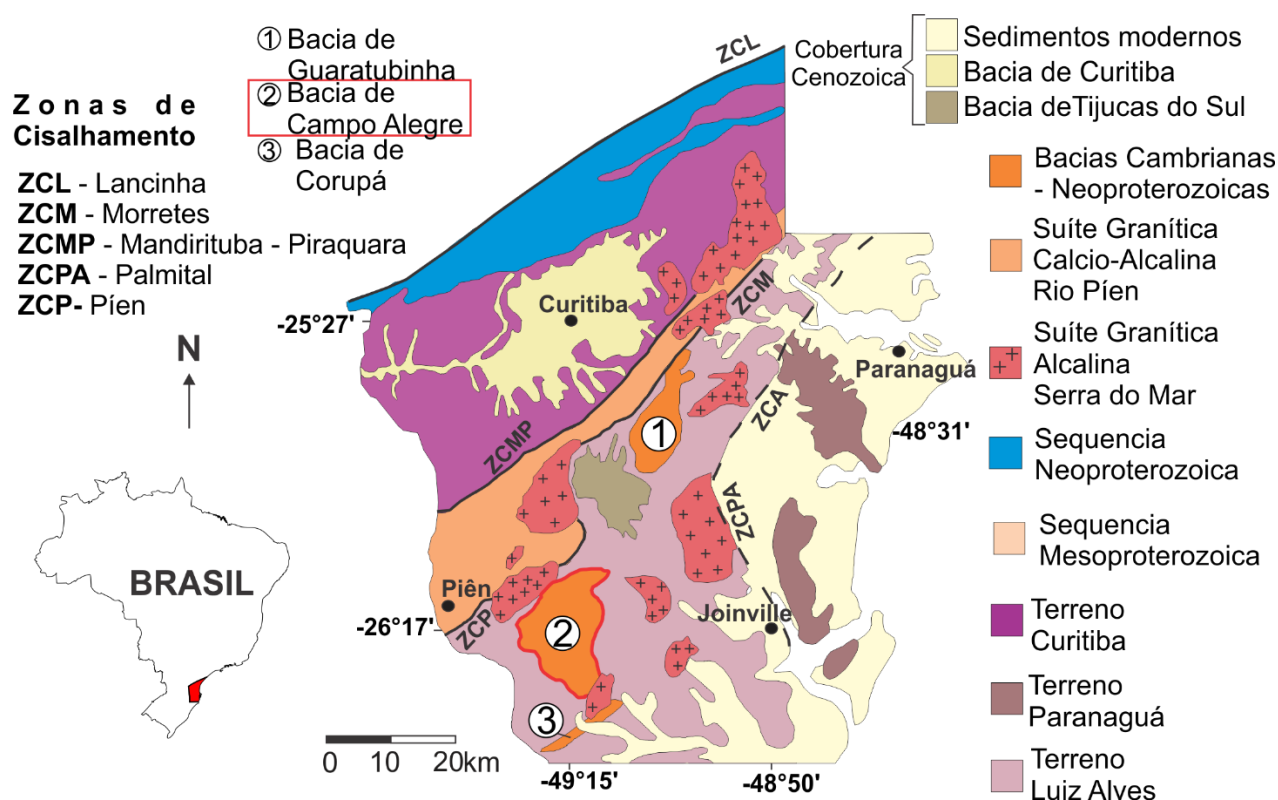


Figura 01 - Mapa geológico esquemático situando a Bacia de Campo Alegre (2) com as principais unidades geológicas as adjacências. A figura contém as principais zonas de cisalhamento que delimitam os terrenos Curitiba, Luís Alves e Paranaguá e as unidades geológicas mais representativas na região nordeste do estado de Santa Catarina e sudeste do estado do Paraná. (Modificado de Basei *et al.* 1990, Basei *et al.* 1992, Siga Jr. 1995, Basei *et al.* 2000, Cury 2009 e Barão *et al.* 2017).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A Bacia de Campo Alegre vem sendo estudada desde 1949, em trabalho pioneiro por Almeida. Posteriormente diversos autores se dedicaram ao melhor entendimento da bacia, através de diversos trabalhos como as de Trein *et al.* (1969), Albuquerque *et al.* (1971), Ebert & Brochini (1971), Ebert (1971), Valiati (1974), Daitx (1979), Daitx & Carvalho (1980), Kaul *et al.* (1982), Campanha *et al.* (1994), Citroni (1998), Citroni *et al.* (2001), Iglesias *et al.* (2011), Toniolo *et al.* (2015) e Queiroz Valle *et al.* (2019). Estes trabalhos e outros foram de grande importância para o desenvolvimento do conhecimento científico da Bacia de Campo Alegre. Entretanto, não há consenso para a evolução da bacia, há autores que relacionam sua formação

unicamente por falhas normais Kaul *et al.* (1982) em um padrão de grabens, outros com essencialmente com uma tectônica transcorrente Campanha *et al.* (1994), caracterizando uma bacia de *pull-apart*, e tem os que hipotetizam que ambos processos foram importantes para a geração da bacia Citroni *et al.* (2001). Mas pouco se sabe em relação a evolução do preenchimento sedimentar da bacia.

Durante o programa de iniciação científica, no período de Ago/2017 a Ago/2018 foi realizado trabalho que consistiu na obtenção e organização de dados em campo, utilizando-se de métodos de análise de proveniência macroscópica em área e análise de proveniência microscópica através da contagem modal de fragmentos. Os resultados levaram a um melhor entendimento da evolução, tectônica e sedimentação da Bacia. Porém os dados ainda não haviam sido tratados e analisados de forma integrada, deixando incertezas sobre o ambiente de sedimentação, variação espacial e temporal na proveniência sedimentar e da sua evolução tectono-estratigráfica.

Assim, neste trabalho, pretende-se analisar os resultados obtidos de forma integrada, com base em métodos estatísticos multivariados como sugerido pelos mais recentes estudos de proveniência sedimentar (Vermeesch & Garzanti 2015, Garzanti 2016, Verhaegen *et al.* 2018). De forma a obter melhor detalhamento sobre o preenchimento inicial da bacia, que assim possa esclarecer dúvidas existentes e reduzir divergências sobre a evolução da Bacia de Campo Alegre

### 1.3 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como principal objetivo combinar um conjunto diversificado de métodos analíticos indicadores de proveniência sedimentar, em uma abordagem integrada, para conseguir inferências sobre a evolução tectono sedimentar da bacia.

Para atingir o objetivo principal foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a. Apresentar propostas para as principais áreas fonte e suas respectivas importâncias relativas no preenchimento da Bacia de Campo Alegre, verificando-se possíveis variações temporais e espaciais;
- b. Identificar os principais trajetos de percurso dos sedimentos que preencheram a bacia e a ocorrência de eventos tectônicos modificadores;

- c. Reconstruir o ambiente de sedimentação para auxiliar na interpretação de proveniência e evolução da bacia;
- d. Identificar uma possível contribuição sedimentar autóctone, sedimentos provindos da erosão de corpos pertencentes a bacia;
- e. Reconhecer os altos topográficos adjacentes à bacia para auxiliar na identificação das possíveis áreas fontes de sedimento.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Província Mantiqueira constitui um sistema orogênico formado por cinturão de dobramentos gerados na amalgamação do supercontinente Gondwana Ocidental, durante a orogenia Neoproterozoica Brasileiro-Pan Africana, entre 900 Ma a 480 Ma (Silva *et al.* 2005) e estende-se do sul da Bahia até a fronteira com o Uruguai, ao longo da costa atlântica (Almeida *et al.* 1977, 1981). A província é formada por terrenos de alto grau metamórfico paleoproterozoicos e arqueanos, e unidades metassedimentares mesoproterozoicas, todos afetados pela deformação neoproterozóica.

A província foi subdivida em três segmentos geográficos: O segmento Setentrional formado pelo Orógeno Araçuaí. O segmento central que corresponde ao Orógeno Ribeira e a zona de interferência entre os Orógenos Brasília e Ribeira e os terrenos Apiaí, São Roque e Embu. E o Segmento meridional, que engloba os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel (Almeida *et al.* 2010).

No segmento meridional se encontra os crátons Rio de La Plata e Luís Alves, limitados pelas faixas móveis metassedimentares Dom Feliciano e Faixa Ribeira, zonas de cisalhamento do tipo *strike-slip* com orientações NE e NNE afetaram esses terrenos como seus corpos graníticos e bacias vulcano sedimentares (Almeida *et al.* 2010).

### 2.1 TERRENO LUÍS ALVES

Domínio Luís Alves (Siga Jr. 1995) ou Terreno Luís Alves (Basei *et al.* 1992) ou Complexo Granulítico Santa Catarina (Hartmann *et al.* 1979), é constituída por rochas metamórficas de alto grau, das fácies anfífolito e principalmente granulito com idades arqueanas, transamazônicas e brasileiras, forma o segmento setentrional do escudo catarinense. Tem como seus litotipos principais ortogranulitos, derivados de uma suíte ígnea básica-intermediária-ácida, de composição tonalito-granodiorítica (Figueiredo *et*

al. 1991), subordinadamente ocorrem paragránulos e migmatitos. As rochas gnáissicas apresentam granulação fina a média, são leuco/mesocráticas, foliadas a bandadas caracterizadas pela alternância de níveis de quartzo feldspato e máficas (anfíbólios, piroxênios e biotitas). Podem ocorrer migmatitos com bandas de leucossoma quartzo feldspáticas e melanossoma composto por biotita, anfibólio e mais raramente biotita e granada.

Ocorrem subordinadamente rochas quartzíticas, formações ferríferas, gnaisses calcissilicáticas e gnaisses kinzigíticos, além de ocorrências de corpos ultrabásicos, metagabro-noritos, anfibolitos e xistos. Zonas de cisalhamento de direção NE-SW são comuns neste domínio, desenvolvendo gnaisses cataclásticos ou miloníticos de granulação fina (Siga Jr. 1995).

## 2.2 DOMÍNIO CURITIBA

O Domínio Curitiba constitui uma faixa alongada com direção NE-SW, limita-se a nordeste pelas sequências metassedimentares dos Grupos Açungui, Setuva e batólitos graníticos da Suíte Três Córregos, a sudeste pelos gnaisses granulíticos do Terreno Luís Alves, corpos graníticos deformados associados com rochas máficas e ultramáficas da Suíte Rio Piên, a nordeste e leste é limitado pelo Batólito Paranaguá através de falhas transcorrentes (Siga Jr. 1995).

Na porção norte ocorre corpos de rochas gnáissico-granulíticas de granulação média com predomínio de textura granoblásticas, miloníticas havendo proporção variável de plagioclásio, microclínio, quartzo, hornblenda, diopsídio e granada (Siga Jr. 1995). A porção meridional é constituída por gnaisses bandados, migmatitos com mesossoma de biotita anfibólio gnaisses e leucossoma de composição tonalito-granodiorítica a granítica-granodiorítica. Os gnaisses são leucocráticos com termos mesocráticos, granulação média, com texturas granolepidoblásticas, granonematoblásticas e granoblásticas. Também ocorrem intercalações de corpos anfibolíticos, granatíferos como xistos magnesianos (Siga Jr. 1995).

## 2.3 SUÍTE GRANÍTICA CALCIO-ALCALINA RIO-PIÊN

No limite entre os Terrenos Luís Alves e Curitiba ocorre a Zona de Cisalhamento Piên (ZCP) com *trend* em torno de N45E, que compartimenta a Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên, constituído por granitóides alcalinos, milonitizados de idade

neoproterozoica (Machiavelli 1993). A Sul se encontra os corpos Anfibolito-Granulíticos de idade paleoproterozoica, corpos lentiformes de uma suíte de rochas máficas ultramáficas além do corpo granítico Agudos do Sul.

A Suíte Granito-Milonítica Rio Piên constitui dois conjuntos de corpos graníticos de composição variando de granodioritos a quartzo-monzodioritos e subordinadamente monzogranitos a quartzo monzonitos, possui coloração cinza médio a clara-rosada, leucocrática, com matriz de granulação média a grossa com fenocristais centimétricos de feldspato-K, Biotita e hornblenda. Apresenta foliação milonítica, de protomilonito a ultramilonito caracterizada pela orientação preferencial de quartzo, biotita, anfibólio e estiramento de porfiroclastos de feldspatos, também ocorrem biotita-ultramilonitos em uma faixa próxima a ZCP (Machiavelli 1993, Harara 1996, Harara 2001). Em variação modal os corpos graníticos a noroeste possuem 30-60% albita, 20-40% feldspato-K, 15-30% quartzo, 3-10% hornblenda e 5-10% biotita. Os corpos a sudeste 40-60% albita, 25-35% feldspato-K, 8-25% quartzo, 2-7% hornblenda e 2-5% biotita (Machiavelli 1993).

Na Suíte Máfica-Ultramáfica Rio Piên é comum haver rochas metamáficas e metaultramáficas de cores cinza-escuras-esverdeadas, de granulação fina a média de composição (olivina-websteritos, lherzolitos ou harzburgitos e dunitos). Além de ocorrência de serpentinitos e paragêneses de retrometamorfismo associados, talco, serpentina, flogopita e clorita (Siga Jr. 1995).

Girardi (1974 e 1976) e Girardi & Ulbrich (1980) propõem a correlação entre as sequências metabásicas e ultramáficas. Machiavelli (1991) as subdivide em três grupos: a) Pequenos corpos predominantemente máficos de serpentinitos, metapiroxenitos, metagabronoritos, anfibolitos e xisto manganésíferos associados a gnaisses granulíticos; b) Lentas métricas a decamétricas de talco-xistos, tremolita-xistos, metagabros, meta-olivina-gabronoritos, anfibolitos, meta-anortositos e serpentinitos associados aos corpos ofiolíticos; c) Corpo alongado em contato com granitóides deformados do complexo granulítico de Santa Catarina, constituídos por serpentinitos e talco-xistos associados a corpos ofiolíticos.

#### 2.4 SUITE MÁFICA-ULTRAMÁFICA BARRA VELHA E ORTOGNAISSES POMERODE

A Suíte Máfica-Ultramáfica Barra Velha ocorre disposta como corpos irregulares compostos por piroxenitos, noritos, gabronoritos, gabros e magnetitos subordinados de

dimensão decamétrica a quilométrica sobre o Terreno Luís Alves, de idade arqueana (Iglesias *et al.* 2011). Segundo Soares (1975) a unidade possui limites difusos entre as variedades litológicas devido alto grau de intemperismo e escassez de afloramentos, a autora também aponta para a geometria preferencial alongada de direção NNW para os corpos de rochas metamáficas e metaultramáficas e a existência de dioritos, quartzo-dioritos além de gnaisses associados. Esses corpos podem ser registrados a sul da Bacia de Corupá, a nordeste e noroeste da Bacia de Campo Alegre, porém os corpos de maior dimensão estão presentes próximo a faixa norte da Bacia de Itajaí. Os corpos situados nas bordas NE e NW da Bacia de Campo Alegre, estão muito próximos, em um intervalo de distância dentre (1 a 10 km), formam corpos delgados com formas sinuosas de direção predominante NW.

Os Ortognaisses Pomerode são de idade paleoproterozoica e são constituídos por gnaisses tonalíticos a granodioríticos foliados a bandados, localmente porfiríticos com enclaves de metagabros e hornblenditos, estes corpos estão localizados a oeste e sudoeste da Bacia de Campo Alegre, são de dimensão decaquilométricos e se encontram parcialmente encobertos pela Bacia do Paraná (Iglesias *et al.* 2011).

## 2.5 GRANITÓIDES BRASILIANO

Consistem em corpos graníticos neoproterozóicos, de caráter alcalino a peralcalino exceto o Granito Agudos do Sul, no qual foi originado em evento tardio relacionado à orogenia Brasileira-Pan-Africana (Kaul *et al.* 1982, Kaul 1997). Os principais corpos estão sintetizados na Tabela 01, os que se encontram próximos às adjacências da Bacia de Campo Alegre serão detalhados neste tópico, os quais constituem mais prováveis áreas fontes de sedimento.

Para Basei *et al.* (2009) estes corpos são contemporâneos com o vulcanismo de natureza bimodal, das bacias de Campo Alegre, Guaratubinha e Corupá. A suíte tem em torno de 580-600 Ma são preferencialmente isótopos, anorogênicos do tipo A, de natureza predominantemente alcalina-peralcalina, constituem corpos intrusivos posicionados em níveis crustais rasos (Siga Jr. 1995, Siga Jr. *et al.* 1999 e Harara 2001).

Tabela 01 - Principais corpos graníticos relacionados ao Magmatismo Granítico Serra do Mar e adjacências, região de abrangência, área ocupada e suas geometrias. Os corpos que se encontram próximos das bordas da Bacia de Campo Alegre estão destacados. Modificado de Kaul (1997).

CORPO GRÂNITICO	LOCALIZAÇÃO	AREA APROX. (Km <sup>2</sup> )	GEOMETRIA
<b>Agudos do Sul</b>	Tijucas do Sul (PR) Agudos do Sul (PR) Mandirituba (PR)	300	Alongada NE-SW
<b>Morro Redondo</b>	Tijucas do Sul (PR) Guaratuba (PR) Garuva (SC) Campo Alegre (SC)	250	Retangular
Anhangava	Quatro Barras (PR) Piraquara (PR)	55	Ovóide
Graciosa	Campina Grande do Sul (PR) Antonina (PR) Morretes (PR) Quatro Barras (PR) Bocaiúva do Sul (PR)	220	Bumerangue
Marumbi	Tijucas do Sul (PR) Agudos do Sul (PR) Mandirituba (PR)	70	Triangular
Mandira	Cananéia (SP)	35	Retangular
Guaraú	Jacupiranga (SP)	100	Alongada NE-SW
<b>Corupá</b>	Jaraguá do Sul (SC) Corupá (SC)	50	Bumerangue
Alto Turvo	Barra do Turvo (SP) Guaraqueçaba (PR)	120	Alongada NE-SW
<b>Dona Francisca</b>	Joinville (SC)	70	Circular
<b>Pirai</b>	Joinville (SC)	45	Alongada NE-SW
<b>Serra Alta</b>	São Bento do Sul (SC)	5	Ovóide (?)
Serra da Igreja	Morretes (PR) Guaratuba (PR)	6	Alongada NE-SW

### 2.5.1 Maciço Granítico Agudos do Sul

Reconhecido e cartografado primeiramente pela Comissão da Carta Geológica do Paraná por Trein *et al.* (1969a e b) e Marini *et al.* (1970), os corpos estão situados a norte da Bacia de Campo Alegre em contato entre os domínios Curitiba e Luís Alves nos limites entre Paraná e Santa Catarina. Os granitos são de composição sienogranítica e alcalifeldspato-granítica, subordinadamente granodiorítica a monzogranítica, havendo, além de corpos gabro-dioríticos e enclaves de serpentinitos e gnaisses. Em sua maioria os granitos são de coloração cinza, cinza-rosada a róseas, leucocráticas, equigranular a inequigranular de granulação média a grossa com textura hipidiomórfica granular, localmente cataclástica. A sua constituição modal contém 5-60% de feldspato-K, 0-60% plagioclásio, 10-35% quartzo, 0-15% biotita e 0-015% hornblenda, e como acessórios titanita, zircão, apatita, fluorita, muscovita, clorita, epidoto e carbonato (Siga Jr. 1995, Kaul 1997).

### 2.5.2 Granito Morro Redondo

Foi primeiramente reconhecido por Maack (1961 *apud* Siga Jr. 1995), posteriormente cartografado e descrito por Trein *et al.* (1969b e Muratori *et al.* 1969a) e por Albuquerque *et al.* (1971) em trabalhos de mapeamento da CPRM. Situado a leste da Bacia de Campo Alegre, nos limites entre os estados de Santa Catarina e Paraná sobre o terreno Luís Alves. Vilalva *et al.* (2014), o denomina de Complexo Morro Redondo, o qualifica como dois corpos distintos, O Granito Papanduva e o Granito Quiriri de composição o alcalifeldspato-granito e monzogranito respectivamente.

Estes corpos são de composição alcalifeldspato-granito a sieno-granitos, leucocráticas de coloração cinza clara, inequigranular de granulação média a grossa, sendo a média predominante, raramente porfirítico, sua composição modal contém 20-60% feldspato-K, 5-30% quartzo, 5-30% plagioclásio, 0-10% biotita, 0-10% hornblenda e subordinadamente anfibólios sódicos, piroxênios cálcio-sódicos e olivina. Como acessório titânita, zircão, apatita, rutilo e fluorita são comuns e como produto de alteração há clorita, epidoto e muscovita (Siga Jr. 1995, Kaul 1997, Iglesias *et al.* 2011).

### 2.5.3 Granito Corupá

Situado a sul da Bacia de Campo Alegre sobre o domínio Luís Alves, o corpo granítico é de composição alcalifeldspato-granito, quartzo sienito e sienito, de cor

castanho avermelhado a cinza esverdeada, leucocrática, equigranular de granulação fina, média a grossa, podendo ser porfirítica, constituída por 2-15% quartzo, 30-65% feldspato-K, plagioclásio 10-70%, hornblenda 0-10%, biotita 0-10%, além de anfibólios sódicos e piroxênios sódico-cálcicos, os acessórios comuns são titanita, apatita, fluorita e zircão e clorita, epidoto e carbonato como alteração (Siga Jr. 1995, Kaul 1997, Iglesias *et al.* 2011).

#### 2.5.4 Granito Serra Alta

Pequeno corpo situado a Oeste da Bacia de Campo Alegre associado a rochas vulcânicas ácidas, o corpo tem forma ovóide, possui caráter fortemente alcalina, tem composição quartzo-sienítica e sienito leucocrática de cor avermelhada a cinza rosado, com textura cataclástica, milonítica, protomilonítica e augen-milonítica, apresenta feições de resfriamento rápido, como esferulitos e cristais esqueléticos, composta por: 20-40% de quartzo, 25-30% feldspato-K, 2-15% microclínio, 20-30% plagioclásio e até 5% de biotita/muscovita (Siga Jr. 1995, Kaul 1997). Sua colocação está associada a rochas vulcânicas félsicas (Daitx & Carvalho 1980).

#### 2.5.5 Granitos Dona Francisca e Piraí

Se trata de um conjunto de corpos graníticos a leste da Bacia de Campo Alegre, sobre o terreno Luís Alves, constituem sienogranitos a sienitos de coloração vermelho acastanhado, o corpo granítico Dona Francisca é leucocrático, inequigranular variando de granulação fina a grossa, apresenta como mineralogia feldspato-k, quartzo, plagioclásio, poucos máficos. O Granito Piraí é leucocrático, inequigranular de granulação média a grossa, constituído por feldspato-K, quartzo e plagioclásio, com poucos máficos (biotita), possui fluorita azul e verde disseminada e em cavidades miarolíticas (Siga Jr. 1995, Kaul 1997, Iglesias *et al.* 2011).

### 2.6 BACIA DE CAMPO ALEGRE

A Bacia vulcano-sedimentar de Campo Alegre se situa na porção nordeste do estado de Santa Catarina sobre os terrenos paleoproterozóicos a arqueanos do Terreno Luís Alves, foi datada em  $536 \pm 65$  Ma (Basei & Teixeira 1987 *apud* Vasconcellos *et al.* 1999),  $570 \pm 30$  Ma (Citroni 1998),  $604 \pm 5$  Ma (Basei *et al.* 1998),  $595 \pm 16$  (Cordani *et al.* 1999 *apud* Waichel *et al.* 2000), todos com método U-Pb em zircão de rochas vulcânicas intrabacia. A formação da bacia está relacionada com a

tectônica pós-colisional do ciclo brasileiro-panafricano, que é responsável por gerar estruturas deformacionais rúpteis, transcorrentes com direção N45E e N30E relacionadas com a interação dos Terrenos Luís Alves, Curitiba e Paranaguá, que condicionaram a formação e a estruturação das bacias vulcano-sedimentares como a colocação dos granitóides neoproterozóicos. (Citroni 1998).

Não há um consenso sobre a sua evolução, se foi formada unicamente por falhas normais em um padrão de grabens e hemi-grabens, se está relacionada unicamente com uma tectônica transcorrente, caracterizando uma bacia de *pull-apart* ou se ambos processos foram importantes para a geração da bacia. Segue-se abaixo algumas propostas para a formação da bacia e respectivos esforços envolvidos, resumidas na tabela 02.

Tabela 02 - Resumo de propostas de modelo de evolução tectônica para a Bacia de Campo alegre e seus respectivos autores.

SISTEMA DE ESFORÇOS	MODELO TECTÔNICO	TRABALHOS
Sistema de cisalhamento transcorrente	Tardi-tectônica do tipo <i>Pull-apart</i>	Campanha <i>et al.</i> (1994)
Unicamente por falhas de distensão	Tipo <i>Rift</i>	Kaul <i>et al.</i> (1982)
Predominância de distensão, associado a contexto transcorrente secundário	Tardi-orogênica associado a regime misto	Basei <i>et al.</i> (1992), Citroni (1998), Citroni <i>et al.</i> (2001) e Valle Queiroz <i>et al.</i> 2019
Unicamente Distensão	Rift intracontinental anorogênico, após fim do regime compressional	Waichel (1998) Siga Jr. <i>et al.</i> (1999) e Waichel <i>et al.</i> (2000)
Não definido	Molassa tardia	Daitx (1979)

A estratigrafia da bacia foi subdividida em sequência sedimentar inferior constituída por duas fácies, uma conglomerática e outra arenítica com passagens gradacionais rápidas e com raras ocorrências de siltito no topo (Daitx 1979, Daitx & Carvalho 1981 *apud* Citroni 1998). A sequência vulcânica inferior marca a base da Formação Campo Alegre composta por rochas ígneas de composição básico-intermediária, com tipos basálticos e andesíticos com raros dacitos e riodacitos, além de quartzo-traquitos (Daitx 1979, Daitx & Carvalho 1980, Waichel 1999).

A sequência sedimentar intermediária é constituída por sedimentos piroclásticos com participação de sedimentos epiclásticos finos a arenosos associados a vulcanitos básicos (Daitx & Carvalho 1980, Citroni *et al.* 1998).

A sequência vulcânica superior é representada por vulcanismo ácido explosivo inicial que evolui para derrames de composição traquítica e riolítica. Os traquitos predominam no norte e nordeste da bacia, já o riolito é visivelmente predominante ao sul. Intercaladas aos derrames são encontradas rochas piroclásticas variadas (Daitx & Carvalho 1980, Citroni 1998).

A sequência sedimentar superior possui contato transicional com rochas da unidade subjacente. Ela é separada por duas fácies, na base formada predominantemente por tufos finos, e no topo por sedimentos epiclásticos compostos por siltitos, argilitos e tufos (Citroni 1998).

Citroni *et al.* (2001) faz uma proposta estratigráfica na qual denominam a sequência sedimentar inferior de Formação Bateias, subdividido em Membro Papanduvinha, Membro São Bento do Sul e Membro Rio do Bugre e a Formação Corupá pertencente a sub-bacia de Corupá. A sequência vulcânica inferior, sedimentar intermediária e vulcânica superior de Grupo Campo Alegre, formado respectivamente pelas formações Rio Negrinho subdividida em Fácies pelíticas e basálticas, Avenca Grande constituído por ignimbritos, Serra de São Miguel por Traquitos e quartzo Traquitos e Fazenda Uirapuru por brechas vulcanoclásticas. E a sequência sedimentar superior foi subdividido em Formação Rio Turvo para os ignimbritos, tufos e pelitos, e de Formação Arroio Água Fria para os ignimbritos e riolitos (Figura 02A).

Já Iglesias *et al.* (2011) e Toniolo *et al.* (2015) em trabalhos do Projeto BANEL (Metalogenia das Bacias Neoproterozoico-Eopaleozoicas do sul do Brasil) subdividiram a Bacia de Campo Alegre em litofácies (Figura 02B), nos quais estão correlacionadas as unidades definidas Citroni *et al.* (2001) nos próximos tópicos.

## BACIA DE CAMPO ALEGRE

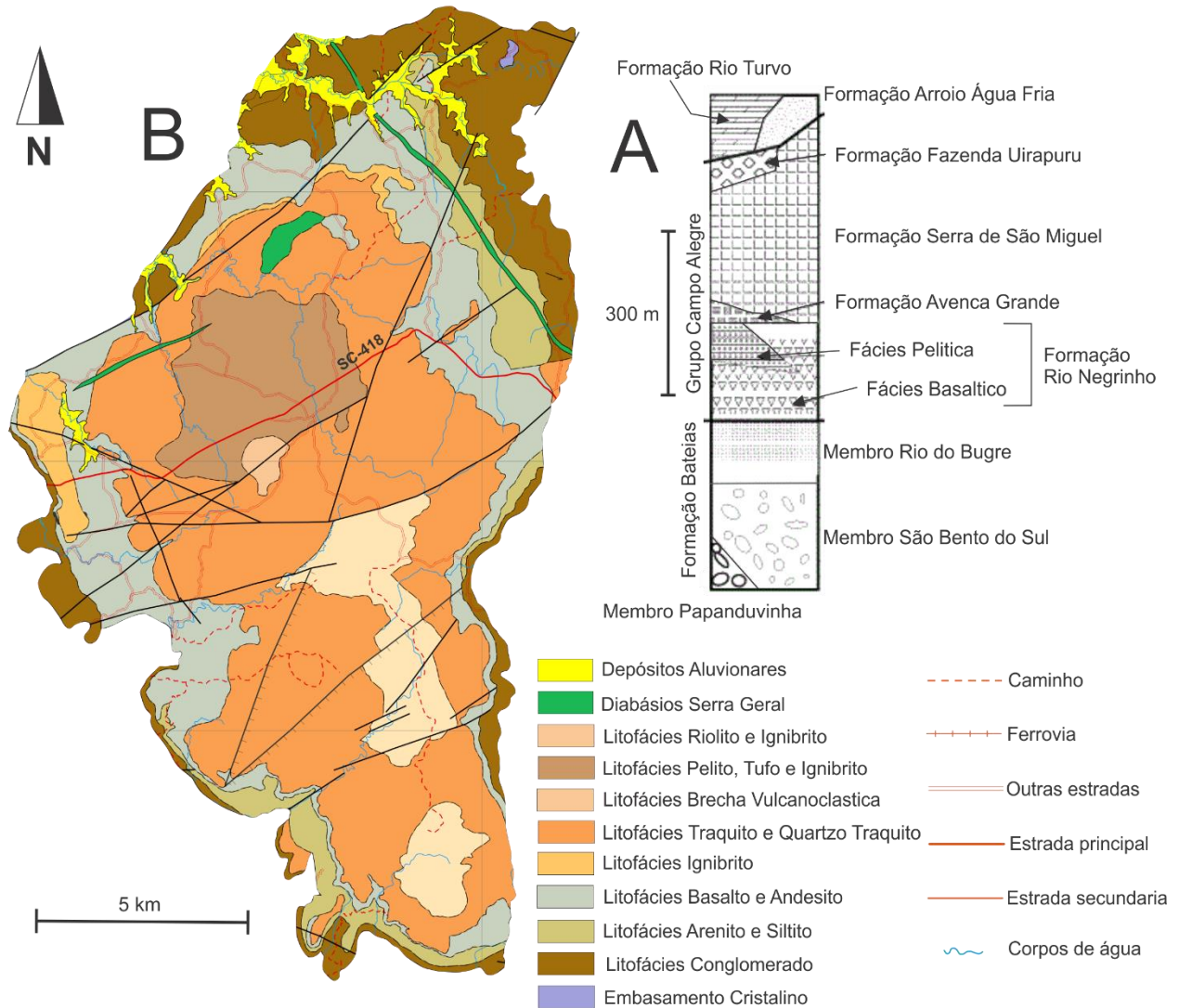


Figura 02 – A) Mapa geológico da Bacia de Campo Alegre e respectivas unidades - litofácies Iglesias *et al.* (2011). B) Empilhamento estratigráfico e unidades formais sugerido por Citroni *et al.* 2001. Modificado de (Iglesias *et al.* 2011 e Citroni *et al.* 2001).

### 2.6.1 Formação Bateias

Ebert (1971) propôs denominar a sedimentação terrígena inicial de Formação Bateias. Citroni (1998) sugeriu que fosse denominada de Grupo Bateias pela sua escala de representação, no qual o autor englobou a Formação Corupá, conservando seu nome inicial de Bateias, que é nome da localidade situada no Município de Campo Alegre onde afloram rochas do grupo. Citroni *et al.* (2001), propôs reduzir um nível na hierarquia estratigráfica formal, retornando para Formação Bateias como definido por Ebert (1971), porém subdividindo em três membros. Na base da Formação Bateias ocorrem ortoconglomerados polimíticos, podendo ser subdividido em duas fácies

principais com certa facilidade constituindo por três membros independentes, Membro Papanduvinha, Membro São Bento do Sul e Membro Rio do Bugre (Citroni *et al.* 2001). Trabalhos de mapeamento realizados pela (Toniolo *et al.* 2015) subdividem a Formação Bateias em litofácies conglomerado englobando os Membros Papanduvinha e São Bento do Sul e litofácies arenito e siltito que abrange o Membro Rio do Bugre. Segundo Valle Queiroz *et al.* (2019) a idade máxima de sedimentação da Formação Bateias é restrita ao intervalo de 590-606 Ma, idade obtida através da datação de U-Pb em zircão detrítico.

#### 2.6.2 Membro Papanduvinha ou litofácies conglomerado

Unidade constituída por ortoconglomerados de seixos a matações e raras brechas. As dimensões do arcabouço variam de 5 a 60 cm, com seleção baixa a muito baixa, os clastos possuem contatos pontuais a lineares, podendo ocorrer porções matriz-sustentadas, a matriz é arenosa, arcoseana, rica em anfibólios, com cimento argiloso a ferruginoso (Citroni *et al.* 2001, Iglesias *et al.* 2011 e Toniolo *et al.* 2015). Os afloramentos ocorrem na borda nordeste da Bacia de Campo Alegre, as características dessas rochas indicam transporte em massa, com deposição interpretada como de leques aluvionares (Citroni 1998, Citroni *et al.* 2001).

#### 2.6.3 Membro São Bento do Sul ou litofácies conglomerado

É a unidade conglomerática mais comum e mais bem distribuída pela bacia, é formada por conglomerados polimíticos clasto-sustentados, com arcabouço predominando seixos, subangulosos a arredondados de matriz arenosa de composição arcoseana. Apresenta acamadamento mal definido, imbricação de seixos é comum, apresentam intercalações de arenitos ocorrendo como níveis descontínuos, cunhas e lentes, de forma esporádica pode ocorrer camadas de pelitos subordinados (Citroni *et al.* 2001, Iglesias *et al.* 2011 e Toniolo *et al.* 2015). Os conglomerados e arenitos subordinados foram interpretados como depósitos de sistema fluviais, associados a clima semi-árido (Citroni *et al.* 2001).

#### 2.6.4 Membro Rio do Bugre ou litofácies arenito e siltito

Segundo (Citroni *et al.* 2001) a passagem da unidade com o Membro São Bento do Sul (Inferior) é gradacional, com os níveis arenosos arcoseanos se tornando gradativamente mais importante que os níveis conglomeráticos. À medida que avança

porções superiores da unidade ocorrem, geralmente, níveis restritos de siltitos arenosos e siltitos argilosos intercalados com arenitos, ocorrendo também raros níveis de siltitos mais espessos, na base das camadas pode ocorrer lentes de conglomerados e estratificações cruzadas de pequeno porte são comuns (Citroni 1998, Toniolo *et al.* 2015). Esses sedimentos apresentam poucas estruturas diagnósticas, ocorrendo eventualmente estratificação cruzada tangencial e tabular, predominando camadas maciças que podem significar diversos ambientes deposicionais transicionais como, fluviais, lacustres ou marinhos, com energia progressivamente reduzida (Citroni *et al.* 2001).

#### 2.6.5 Grupo Campo Alegre

Corresponde ao primeiro estágio vulcânico com natureza bimodal e uma gama de rochas piroclásticas, foi dividido em duas fases, separadas por eventos de vulcanismos explosivos. A primeira caracterizada por vulcanismo máfico, a segunda por um ignimbrito associado com vulcanismo ácido, seguido pelo segundo evento explosivo (Citroni 1998 e Citroni *et al.* 2001).

#### 2.6.6 Formação Rio Negrinho ou litofácies basalto-andesito e silito laminados

Constituí a fase inicial do magmatismo basáltico, constituído por derrames basálticos, andesíticos com raros dacitos, riodacitos e rochas vulcânicas ácidas, associados a intercalações pelíticas semelhantes aos encontrados na Formação Rio do Bugre, refletindo provável ambiente parcialmente submerso. As lavas básicas apresentam dois tipos principais, as com vesículas e amígdalas, ou as lavas subvulcânicas maciças com fenocristais milimétricos de plagioclásio (Citroni 1998, Citroni *et al.* 2001 Iglesias *et al.* 2011 e Toniolo *et al.* 2015).

#### 2.6.7 Formação Avenca Grande ou litofácies ignimbrito

Se caracteriza por um evento explosivo com magmatismo de composição félsica com espessura de apenas algumas dezenas de centímetros até espessuras superiores a 20 m, ocorre com formação de depósitos ignibríticos, piroclásticos com estruturas de fluxo, sua forma e espessura caracteriza a paleogeografia (Citroni 1998 e Citroni *et al.* 2001).

#### 2.6.8 Formação São Miguel ou litofácies traquito e quartzo traquito

Representa a segunda fase de vulcanismo da bacia sendo a unidade com maior distribuição e espessura, com mínimo de 240 m, constituída por rochas piroclásticas de composição félsica, como traquitos, quartzo traquitos, riolitos e traquiandesíticos subordinados, as estruturas mais comuns são bandamento por fluxo com dobras e boudinage, descontinuidades sub-horizontais em lavas maciças (possível acamadamento vulcânico) e lavas maciças com ocorrências de fenocristais (Citroni *et al.* 2001, Iglesias *et al.* 2011 e Toniolo *et al.* 2015). A unidade está presente na porção centro-sul da bacia gerando o denominado planalto de Campo Alegre, na porção norte forma cuevas, além de ocorrer como cristas isoladas em vários pontos nas bordas da bacia (Citroni 1998).

#### 2.7.9 Formação Fazenda Uirapuru ou litofácies brecha vulcanoclástica

A área de exposição da unidade se limita a da cidade de Campo Alegre, predominantemente na porção sul, e se trata de brechas oligomíticas grossas provenientes de um conduto vulcânico (Ebert 1971, Daitx & Carvalho 1981 *apud* Citroni 1998). Segundo Citroni *et al.* (2001) as brechas foram formadas em um evento de brechação explosiva de um domo vítreo. Segundo Toniolo *et al.* (2015) os fragmentos de brecha piroclástica constituem blocos angulosos de obsidiana em matriz verde, fina e vítrea, aflorantes em uma extensão máxima de 2 km<sup>2</sup>.

#### 2.6.10 Formações Rio Turvo e Arroio Água Fria ou litofácies pelito, tufo e ignimbrito e litofácies riolito e ignimbrito respectivamente.

As unidades consistem a fase final do vulcanismo da bacia e é marcado por um evento explosivo que resulta em uma caldeira, na qual foi submetido ao soergimento, colapso e deposição de grande volume de rochas piroclásticas e detríticas, gerando dois ambientes distintos uma intra-caldeira (Formação Rio Turvo) constituída por piroclastos, e sedimento terrígeno em ambiente lacustre e outra extra-caldeira (Formação Arroio Água Fria) havendo principalmente rochas vulcânicas ácidas (Citroni 1998).

### 3. FUNDAMENTAÇÃO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Rao (1999) qualifica a Estatística como uma ciência que tem o objetivo de obter o levantamento de dados com máxima qualidade de informação possível para um dado

custo. Segundo o autor, a análise estatística é o processamento de dados para a quantificação das incertezas existentes na resposta para um determinado problema, auxiliando a tomada de decisão sob condições de incerteza, com menor risco possível. Souza Sampaio *et al.* (2013) complementa que, de fato, a estatística tem sido utilizada na pesquisa científica para a otimização de recursos, para o aumento de qualidade e produtividade, na otimização em análises de decisões, em diversas áreas da ciência.

Métodos estatísticos são abordados de duas maneiras distintas, uma de forma isolada conhecida como a estatística univariada, e outra mais complexa que os dados são tratados de forma conjunta, a estatística multivariada. Para a tomada de decisão de qual abordagem estatísticas será utilizada, deve-se levar em conta que, sempre quando é aplicado um tratamento estatístico sobre um conjunto de dados, há perda de informação, assim deve-se primeiramente verificar qual abordagem resultará na menor perda de informação.

Quando um grupo de dados depende de muitas variáveis a análise estatística univariada não se mostra a mais adequada, diante disso não basta compreender informações estatísticas de forma isolada, mas sim como esse conjunto de variáveis se inter-relacionam e se comporta como um todo, atribuindo maior facilidade na interpretação dos dados. Deste modo, quando se trata de um grande conjunto de dados com variáveis que se inter-relacionam, a estatística multivariada é a que deve ser utilizada.

Segundo Neto (2004) a análise multivariada compreende uma gama de métodos e técnicas que se utilizam simultaneamente, todas as variáveis na interpretação de um conjunto de dados adquiridos. Dentre esses métodos as finalidades são distintas, portanto deve-se compreender qual o significado de cada método a ser utilizado, suas limitações, que tipo de conhecimento se pretende gerar e o objetivo do trabalho (Magnussoon 2003, Vicini 2005). Reis (2001) enfatiza que o êxito na estatística multivariada está em escolher o(s) método(s) mais apropriado(s) ao tipo de dados que se aplicará, usá-lo corretamente, bem como saber interpretar os dados.

Quando se tem o objetivo de compreender como as amostras se relacionam, quão semelhantes e dissemelhantes estas são segundo as variáveis fornecidas, dois métodos são utilizados com maior frequência, a análise de agrupamento (*clustering*

*analysis*) e análise de componentes principais (*Principal Component Analysis*), representado pelas siglas (PCA) (Vicini 2005).

### 3.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS COMPOSICIONAIS

Para se tornar possível a aplicação da análise multivariada de dados de proveniência, é necessário contornar a propriedade da soma constante que é inerente dos dados composicionais. Com aplicação de um pré-tratamento, em que possibilita as variáveis que são dependentes, se tornem independentes entre si, atendendo a obrigatoriedade da soma dos diferentes elementos se restringirem, permite que o aumento de importância de um determinado componente não implica necessariamente na redução dos demais (Chayes 1960, Aitchison 1986, Davis 2002, Marconato 2010). De acordo com Pearson (1896) e Messias (2016) o tratamento se torna necessário decorrente da falta de linearidade na relação entre as variáveis.

Para aplicar a análise de componentes principais (PCA), há necessidade de contornar o problema gerado pela soma constante e tornar a soma das variáveis restrita. Diversos métodos foram criados com essa finalidade, como: A análise tradicional (TRAD), Exclusão de uma variável (EXC), Variável de referência (REF), transformação log (LOG), aditivo log-ratio (ALR), center log-ratio (CLR) e a transformação esférica (ESF).

Dentre os métodos citados acima, a transformação logarítmica centrada (CLR), se mostrou a mais adequada a análise multivariada de um grande conjunto de dados composicionais segundo Pawlowsky-Glahn & Egozcue (2006) e Messias (2016). Ao aplicar a transformação logarítmica sobre os dados, os problemas gerados pela interdependência são eliminados, se tornando independentes de vetores, assim aplicados à análise multivariada.

A transformação logarítmica centralizada tem também como objetivo de gerar maior simetria para o conjunto de dados, permitir que a relação entre os dados fique mais clara, reduzir o efeito do viés, suavizar a diferença entre os valores extremos não representativos, para os padrões dos dados, assim facilitando a visualização dos dados e sua posterior interpretação (Feng *et al.* 2014 e Messias 2016).

Para aplicar a razão logarítmica central (CLR) (Equação 01) utiliza-se a média geométrica em vez da variável de referência, onde cada elemento é calculado

subtraindo a média dos logaritmos de todos os valores de sua linha, nesse caso diferentes percentagens composicionais, em relação ao logaritmo do valor inicial desse elemento (Aitchison 1986 e Aitchison *et al.* 2002).

$$lr(x_{ij}) = \ln(x_{ij}) - \frac{1}{D} \sum_{k=1}^D \text{Equação 01}$$

Antes da transformação logarítmica todos valores zero no conjunto devem ser substituídos por um valor que compreende um valor abaixo do limite de detecção do método, de modo que não interfira no resultado, pois não é possível retirar o valor logarítmico de zero (Aitchison 1986, Verhaegen *et al.* 2018).

### 3.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO (*CLUSTER ANALYSIS*)

A análise de agrupamento (*clustering analysis*) é um método numérico multivariado, no qual busca a classificação e discriminação de um grupo de objetos ou variáveis baseados em dados amostrais ou experimentais, segundo algum critério de homogeneidade (Regazzi 2001). De acordo com Vicini (2005), o método engloba uma variedade de técnicas e algoritmos com o objetivo de agrupar e separar os objetos em grupos similares, de forma que não faz distinção entre variáveis dependentes e independentes, ou seja, variáveis do tipo causa e efeito.

Pode se entender que a análise de agrupamento engloba diversos métodos que tem como objetivo em comum de transformar um conjunto heterogêneo de dados não classificados, em grupos que os indivíduos que sejam similares entre si, de acordo com as variáveis de importância fornecidas.

Segundo Ferreira (2000) a aplicação do método de análise de agrupamento, de modo geral, passa por cinco passos:

- 1° Seleção da amostra de indivíduos a agrupar;
- 2° Definição de variáveis para permitir o agrupamento dos indivíduos;
- 3° Definição de uma medida de semelhança ou de distância;
- 4° Escolha de um critério de agregação/aglomeração ou desagregação,
- 5° Validação dos resultados encontrados.

Deve-se entender que essas etapas não são independentes, eventualmente há necessidade de retornar às etapas anteriores para aprimorar os próximos passos. Para Vicini (2005) as etapas descritas acima são procedimentos metodológicos fundamentais para o êxito do procedimento estatístico, o autor também destaca a importância da escolha das variáveis o qual se baseará o processo de aglomeração, na qual a inclusão de uma variável sem importância poderá distorcer o resultado final da análise.

É de grande importância a decisão da escolha de um critério que meça a distância entre dois objetos ou que quantifique a similaridade/dissimilaridade entre eles. Quando se trata da medida de semelhança, envolve sempre uma componente de subjetividade sobre as características das variáveis e das escalas usadas para medição, mas geralmente os componentes são agrupados pela distância entre as variáveis (Ferreira 2000). No processo de agrupamento Ferreira (2000) salienta a necessidade de estimar as distâncias entre os grupos já formados e outros grupos ou indivíduos, não havendo o melhor método de desagregação, mas sim o método mais adequado com o objetivo desejado pelo investigador.

Quando se mede a similaridade, quanto maiores os valores observados, mais parecidos serão os objetos, já quando se mede a dissimilaridade quanto maiores os valores, menos parecidos serão os objetos, a utilização da distância euclidiana se emprega da medição da dissimilaridade entre os objetos. Ou seja, quanto diferentes eles são entre si.

Dentre os métodos que se apoiam na medição da dissimilaridade o critério de Ward foi adotado, por ter se mostrado com resultados mais confiáveis para dados composicionais (Pawlowsky-Glahn & Buccianti 2002, Weltje & Brommer 2011) e se revelado um dos melhores e mais usados métodos hierárquicos de aglomeração segundo (Malhotra 2006) e (Kubrusly 2001). O critério baseia-se na comparação entre a aplicação da medida da soma dos quadrados dos desvios das observações em relação à média dos grupos (Ferreira 2000). Primeiro se calcula a média das variáveis de cada grupo, em seguida é calculado o quadrado da distância euclidiana entre as médias e os valores das variáveis para cada indivíduo depois, para todos os indivíduos, soma-se a distância e se utiliza da variância mínima dentro de cada grupo (Hair *et al.* 2005). Esse método resulta em agrupamentos de tamanhos aproximadamente iguais devido a sua minimização de variação interna (Seidel 2008).

Escolhida uma medida de distância, ou semelhança, define-se o método de agrupamento, que se diferem na forma e definir a proximidade entre os indivíduos em um grupo e entre grupos de indivíduos, os métodos podem ser divididos em hierárquicos e não hierárquicos (Malhotra 2006), o método hierárquico pode ser dividido em aglomerativos e divisivos (Ferreira 2000). Segundo Malhotra (2006) se tratando nos métodos de aglomeração, o critério de Ward citado acima, pode ser classificado como um método hierárquico aglomerativo (Figura 03).

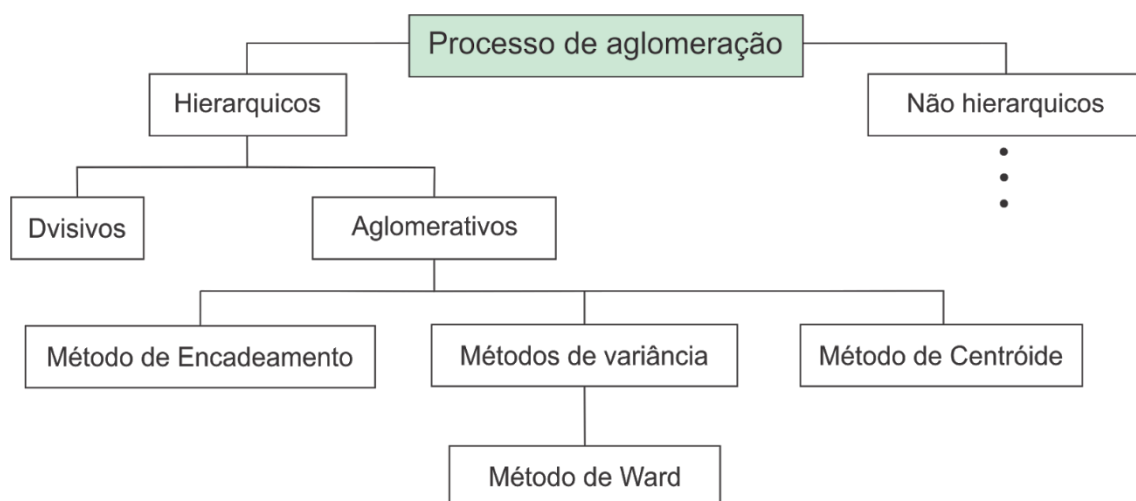


Figura 03 – Divisão dos processos de aglomeração na análise de agrupamento, com destaque para métodos hierárquicos. (Modificada de Malhotra 2006).

O resultado será um dendograma, conhecido como gráfico em árvore, em que representa uma síntese gráfica do trabalho. O dendograma pode ser apresentado como agrupamento aglomerativo, que tem início em grupos separados, reunindo-se em grupos cada vez maiores até que todos elementos sejam membros de um único grupo. Ou apresentado como agrupamento divisivo, onde todos os elementos partem de um único grupo e são subdivididos em grupos menores de forma que exista a máxima semelhança entre os objetos de um mesmo subgrupo e máxima dissimilaridade em elementos de subgrupos distintos.

Em ambos os casos, sempre acompanhando por uma pequena perda de informação inerente a síntese, o dendograma pode ser apresentado de duas formas: Horizontal e vertical, ambas representam mesma proposta, apenas com a distinção visual.

### 3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (*PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS*)

Foi criada por Pearson (1901 *apud* Duarte 1998) e aprimorado por Hotelling (1933). Anderson (2003) define a técnica como combinações lineares de variáveis aleatórias nos quais possuem prioridades especiais em relação a variância. O autor também designa PCA como vetores da matriz de covariância, já que são definidas a partir dos autovalores daquela matriz.

O método tem como objetivo sumarizar os dados de contém muitas variáveis, por um conjunto menor de variáveis compostas derivadas de um conjunto inicial. Com a redução de tamanho e representação mais simplificada sempre haverá perda de informação. Philipeau (1986) propõe três objetivos principais para a PCA: O reconhecimento dos fatores que ilustra cada variável resposta, a identificação das variáveis de maior importância em um grande número de variáveis existentes e o agrupamento de elementos por meio da medição de suas similaridades/dissimilaridades, de acordo com as duas ou três componentes principais.

Vicini (2005) descreve a análise de componentes principais como uma técnica matemática de análise multivariada que possibilita investigações em um grande banco de dados, a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados sem perdas significativas de informações e transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto de componentes principais de dimensões equivalentes, junto permite a eliminação de variáveis iniciais que possuam pouca informação. Além de viabilizar a identificação das variáveis de maior influência na informação de cada componente e possibilita agrupar elementos similares através de exames visuais em gráficos bi ou tridimensionais de fácil interpretação.

Na análise de componentes principais os elementos são representados como uma nuvem de  $n$  pontos em um espaço bi ou tri-dimensional, com um eixo representando cada um dos  $p$  variáveis, o centróide dos pontos é definido pela média de cada variável e a variância de cada variável é a média dos quadrados da diferença dos  $n$  pontos com a média de cada variável (Equação 02).

$$V_i = \frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^n \text{Equação02}$$

Na PCA os componentes principais substituem um conjunto de variáveis correlacionadas por um conjunto de novas variáveis não correlacionadas. Essas novas variáveis são chamadas de componentes principais e representam combinações lineares das variáveis iniciais e são dispostas de ordem decrescente por suas variâncias (Duarte 1998). Ou seja, a PCA ordena de forma que a componente principal tem maior variância, assim a primeira componente representa a máxima variância ocorrida nos dados. O segundo eixo (segunda componente) tem a segunda maior variância e caso seja tridimensional o terceiro eixo tem a menor variância.

Para obter uma boa interpretação da PCA, Philippeau (1986) sugere seguir um roteiro, no qual inicialmente deve-se observar as estatísticas básicas o qual o autor denomina de estatísticas elementares, que compreende a média, variância, desvios padrões, covariâncias e correlações, em seguida se estuda os autovalores das percentagens das variações explicadas por cada componente principal, o qual permitirá reconhecer o número de componentes principais e dos gráficos importantes de serem mais profundamente estudados. Após o reconhecimento dos dois ou três componentes principais de importância, observa-se a estrutura das variáveis e a distribuição dos indivíduos.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

A estratégia empregada para o diagnóstico de proveniência sedimentar foi combinar um conjunto diversificado de métodos analíticos e rastreadores de proveniência, com uma abordagem integrada, segundo Najman (2006) e Garzanti, (2016, 2019) é a melhor abordagem para estudo de proveniência sedimentar.

##### **4.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

O trabalho contou com levantamento bibliográfico e o apoio de mapas geológicos da escalada 1:250.000, 1:100.000, para reconhecer as características texturais, mineralógicas e idade das unidades litológicas adjacentes a bacia, os quais foram correlacionados a possíveis áreas fontes dos litotipos que compõem os conglomerados do Formação Bateias.

##### **4.2 ANÁLISE DE FÁCIES SEDIMENTARES E ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES**

O método foi aplicado em afloramentos distribuídos na Formação Bateias e se apoiou na descrição em campo da associação litológica, estruturas sedimentares,

granulometria, maturidade textural, cimentação, direção de paleocorrentes, geometria do corpo e composição mineral conforme sugerido por Selley (1978) e Miall (2000). Posteriormente classificados em fácies de acordo a classificação de Miall (1996). As associações de fácies identificadas foram comparadas com informações disponíveis em outros trabalhos de forma a melhor compreender os sistemas deposicionais e, assim, interpretar a proveniência sedimentar.

#### 4.3 ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA EM CONGLOMERADOS

Foi realizada em oito sítios a contagem de 300 clastos de dimensão grânulo ou superior, em área delimitada de aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, o método contou no total com uma população de 2400 amostras, os quais foram agrupados em 14 classes. A restrição em área objetiva reduzir a possibilidade de interferência das variações laterais no perímetro analisado. Nestes casos o método é aplicado novamente para cada uma das áreas com características distintas.

Os clastos foram classificados petrograficamente, tiveram seu eixo maior e menor medidos para o cálculo da área de cada clasto, segundo proposta de Marconato (2009) para minimizar o efeito da dependência do tamanho do clasto. A classificação dos litotipos constituintes do arcabouço, para as rochas ígneas, foi realizada com o diagrama de QAPF (Streckeisen 1967), e para as rochas metamórficas a classificação foi baseada na estrutura, textura, paragênese e assembleia mineralógica.

#### 4.4 ANÁLISE DE PALEOCORRENTES

O trabalho contou com a identificação de paleocorrentes medidas em planos de estratificação cruzada em arenitos das associações de fácies B e C e imbricação de clastos em conglomerados das associações de fácies A e B, com o auxílio da bússola digital Geocompass (IOS). No total foram obtidas 352 medidas de paleocorrentes distribuído em nove afloramentos, com o mínimo de 27 medidas por ponto de coleta, identificadas nos membros Papanduvinha e Rio do Bugre, especialmente compreendidas na faixa leste-norte e oeste da bacia. Com a utilização do *Software* GeoRose 0.5.0 foram construídos os estereogramas de roseta, estes utilizados para compreender a variação da direção do fluxo no preenchimento da bacia, e auxiliar compreender o posicionamento das principais áreas fontes e a evolução da proveniência sedimentar.

#### 4.5 PETROGRAFIA SEDIMENTAR

A petrografia foi realizada por meio das descrições de oito lâminas delgadas de arenitos e arenitos conglomeráticos em rochas pertencentes aos Membros São Bento do Sul e Rio do Bugre.

O objetivo da petrografia foi a determinação de características que auxiliassem a análise de proveniência em arenitos e sua interpretação, as principais feições estudadas são: Grau de arredondamento, esfericidade, relação arcabouço e matriz, maturidade textural, porosidade, alterações mineralógicas, compactação, fases de cimentação e suas respectivas composições e morfologias, faixa granulométrica, presença de estruturas sedimentares, composição dos componentes líticos e mineralógicos no arcabouço.

Também foi descrito a presença de estruturas deformacionais e metamórficas nos grãos de minerais e fragmentos líticos, similar como sugerido por Vernon (2004) e Bernet *et al.* (2007), em busca de reconhecer a natureza do terreno de origem do fragmento, se constitui um terreno metamórfico, ígneo plutônico/vulcânico ou derivado de rochas sedimentares.

#### 4.6 ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA EM ARENITOS

A análise de proveniência foi aplicada através do reconhecimento composicional e pela contagem modal de 300 grãos em lâmina petrografia, seguindo o método de Gazzi-Dickinson (Gazzi 1996 & Dickinson 1970) que permite reconstruir em detalhe a rocha, onde se encontram as informações precisas e diretas sobre a proveniência sedimentar (Garzanti *et al.* 2003). Cerca de 300 grãos com dimensão superior a silte (0,0625 mm) são contados com sua mineralogia individualmente, apenas fragmentos de rocha com textura muito fina (rochas vulcânicas, metamórficas, *cherts*, ultramamáficas e carbonatos) serão englobados em fragmentos líticos, o método tem a finalidade de obter a composição mineralógica e litológica das rochas fontes, de modo que não seja afetado pela granulometria (Dickinson 1985, Zuffa 2013, Garzanti 2016).

A classificação modal distingui os grãos em três grupos: Fragmentos líticos (vulcânicas e metamórficas), grãos de quartzo e de feldspatos (microclínio, feldspato alcalino e plagioclásio). Estes posteriormente apresentados em gráfico ternário para auxiliar na discussão das diferentes configurações tectônicas dos terrenos de

proveniência (Dickinson & Suczek 1979, Dickinson *et al.* 1983, Dickinson 1985, Garzanti 2016).

#### 4.7 ANÁLISE MULTIVARIADA DE DADOS COMPOSICIONAIS

Análise multivariada de dados se sucedeu em três etapas, primeiro os dados passaram pela transformação logarítmica centralizada (CLR), em seguida foi aplicada a análise de cluster e por fim análise por componentes principais, conforme sugerido por Verhaegen *et al.* (2018).

Para aplicar a razão logarítmica central (CLR) (equação 03), utiliza-se a média geométrica em vez da variável de referência, onde cada elemento é calculado subtraindo a média dos logaritmos de todos os valores de sua linha, nesse caso, diferentes percentagens composicionais em relação ao valor inicial desse elemento (Aitchison 1986 e Aitchison & Greenacre 2002). Antes da transformação logarítmica todos valores zero no conjunto foram substituídos por (0,1 cm<sup>2</sup>) que compreende um valor abaixo do limite de detecção do método, pois não é possível retirar log. de zero (Aitchison 1986, Verhaegen *et al.* 2018).

$$lr(x_{ij}) = \ln(x_{ij}) - \frac{1}{D} \sum_{k=1}^D \text{Equação03}$$

Após a transformação CLR os dados passaram pela *Cluster analysis*, utilizando o software Past 3.0. Os parâmetros fornecidos foram dados composicionais, área ocupada por cada classe, região de ocorrência e posição estratigráfica. O agrupamento é definido baseado em todos os parâmetros fornecidos, no qual os dados foram agrupados de acordo com seu grau de semelhança, sendo apresentados em um dendograma.

Dentre os diversos métodos de clustering, o método de Ward foi adotado, por ter se mostrado com resultados mais confiáveis para dados composicionais (Pawlowsky-Glahn & Buccianti 2002, Weltje & Brommer 2011).

Por fim foi realizada a análise por componentes principais (PCA) em todo o conjunto de dados macroscópicos com o objetivo de se observar a importância relativa de cada variável e analisar o conjunto de dados, apresentados em um gráfico *biplot* e de barras.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 FÁCIES SEDIMENTARES E ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES

Para compreender a dinâmica do ambiente deposicional da Bacia de Campo Alegre, e assim auxiliar na análise de proveniência, foi realizada a classificação sistemática das fácies e associações de fácies que resultou no reconhecimento de nove fácies sedimentares (Tabela 03 e Figura 04) e três associações de fácies (Tabela 04).

Tabela 03 - Resumo com as siglas, litologias, estruturas sedimentares e processos responsáveis pela formação das fácies sedimentares presentes na Formação Bateias.

SIGLA	LITOTIPO	ESTRUTURAS	PROCESSOS
<b>Bmm</b>	Brecha polimítica	Aspecto caótico com mega clastos atingindo 2 m, matriz areno-argilosa	Fluxo de Detritos Coesivo
<b>Gmm</b>	Paraconglomerado	Maciço a levemente gradacional, gradação normal	Fluxo de Detritos Coesivo
<b>Gcm</b>	Ortoconglomerado	Maciço ou localizadamente gradacional, gradação inversa	Fluxo de Detritos não coesivo
<b>Gh</b>	Ortoconglomerado	Estratificado com gradação normal, imbricação de clastos comum	Fluxo fluidificado, depósitos em lençóis e correntes trativas
<b>Sd</b>	Arenito conglomerático e Arenito	Com gradação normal e laminação convoluta, mal selecionado e granulação areia fina a grossa com seixos dispersos	Dissipação do fluxo seguido de fluidificação por sobrecarga
<b>Sm</b>	Arenito conglomerático	Maciço a levemente laminado, mal selecionado, predominando granulação areia fina a granulo	Correntes de fluxo superior em depósitos de encurradas ou em leito arenoso
<b>Sh</b>	Arenito	Laminação plano-paralela, moderadamente selecionado de granulação fina a grossa	Correntes geradas pela dissipação de fluxo em regime de fluxo superior
<b>Sl</b>	Arenito	Estratificação cruzada de baixo ângulo, mal selecionado de granulação areia média a muito grossa	Fluxos hidrodinâmicos em episódios de alta energia e antidunas
<b>Fl</b>	Siltito arenoso, siltito e siltito argiloso	laminação plano paralela ou maciço	Decantação da carga em suspensão

**Bmm** - (Brecha polimítica) Matriz sustentada, com matriz argilo-arenosa com grânulos dispersos, o arcabouço é constituído por fragmentos líticos de natureza ígnea e metamórfica, angulosos em sua maioria, com baixo grau de esfericidade e

granulação variando de seixo a blocos, com ocorrência de diâmetros superiores a 1,5 metro. A fácies tem aspecto caótica com presença esporádica de lentes marcada por brechas de granulação mais grossa. As lentes presentes possuem mergulho superior a 30° atingindo 6 metros de dimensão, seu contato é abrupto com o restante do corpo, (Figura 04A).

**Gmm** – (Paraconglomerado maciço) Matriz com predomínio de areia média a muito grossa, o arcabouço é constituído por clastos subangulosos em sua maioria, há clastos subarredondados subordinadamente. A granulometria do arcabouço varia de 0,3-60 cm, predominando fragmentos de dimensão entre bloco e matacão, com ocorrências atingindo 70 cm. As fácies possuem aspecto maciço, localmente levemente gradacional (Figura 04B).

**Gcm** – (Ortoconglomerado maciço) Há o predomínio de areia média a grossa na matriz, o arcabouço é constituído por clastos subangulosos a subarredondados, com baixo grau de esfericidade. A granulometria varia de 0,3-45 cm, e predominam clastos de dimensão entre seixo e bloco. Possui aspecto maciço com sutil gradação inversa pontualmente, imbricação de clastos pouco comum e presença de lentes da fácies Sd, (Figura 04C).

**Gh** – (Ortoconglomerado estratificado) Clasto sustentado, matriz formada por areia fina a grossa, o arcabouço polimítico constituído por clastos líticos, subarredondados a arredondados, com grau baixo de esfericidade e com granulometria variando de 0,2-25 cm, predomina a granulação seixo. É caracterizado por camadas tabulares ou em forma de cunha de 50 cm a 2 metros de espessura. As camadas apresentam sutil estratificação interna com gradação normal, também ocorrem camadas onde o conglomerado se encontra muito compactado. Imbricação de clastos e presença de lentes e finas camadas de arenito das Fácies Sh, Sm e Sl são muito comuns (Figura 04D).

**Sd-** (Arenito com deformação penecontemporânea) Ocorre em forma de lentes e camadas delgadas de arenito conglomerático com aproximadamente 1 m de dimensão e poucos centímetros de espessura. Tem presença de grânulos e seixos dispersos, se individualiza das demais fácies areníticas pela presença de estratificação planar e deformação penecontemporânea como laminações convolutas na base, evidenciadas pelas lâminas ricas em finos (Figura 04C).

**Sm** - (Arenito maciço) O arcabouço é predominante mal selecionado variando de areia média a muito grossa com grânulos e seixos dispersos, de composição quartzo-feldspática, ocorre como corpos homogêneos, em camadas tabular ou em lentes. Ocorre junto às fácies Gh e Sh (Figura 04E).

**Sh** - (Arenito estratificado) O arcabouço compreende areia fina a grossa, se caracterizada pelo acamamento horizontal, apresenta estratificação plano paralela e uma sutil laminação internamente as camadas, evidenciada pela granodecrescência ascendente. Podem ocorrer camadas ou lentes milimétricas de fração silte e argila no topo das camadas (Figura 04F).

**SI** - (Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo) O arcabouço é mal selecionado, predominando areia média a areia muito grossa de composição arcoseana, com clastos de grânulos dispersos. Ocorre como corpos lenticulares ou em camadas delgadas de (0,5-4 m) de diâmetro e entorno de 20 cm de espessura. Os corpos têm seus contatos abruptos, por vezes transicional no topo. Possui laminação plano-paralela e cruzada de baixo ângulo muito frequente (Figura 04G).

**FI** - (Siltito, siltito arenoso e siltito argiloso) Formada por siltitos, ocorrem como corpos de geometria tabular intercalado com camadas de arenito siltoso da fácies Sm ou como camadas mais espessas silte. É constituído por laminação plano-paralela de espessura milimétrica a 2 cm, com porções com aspecto maciço, principalmente nos siltitos arenosos (Figura 04H).

Com base nas fácies identificadas no Formação Bateias foi possível estabelecer três associações de fácies (Tabela 4), representados pelas associações A, B e C e foram correlacionadas a formações litoestratigráficas já definidas por Citroni (2001).

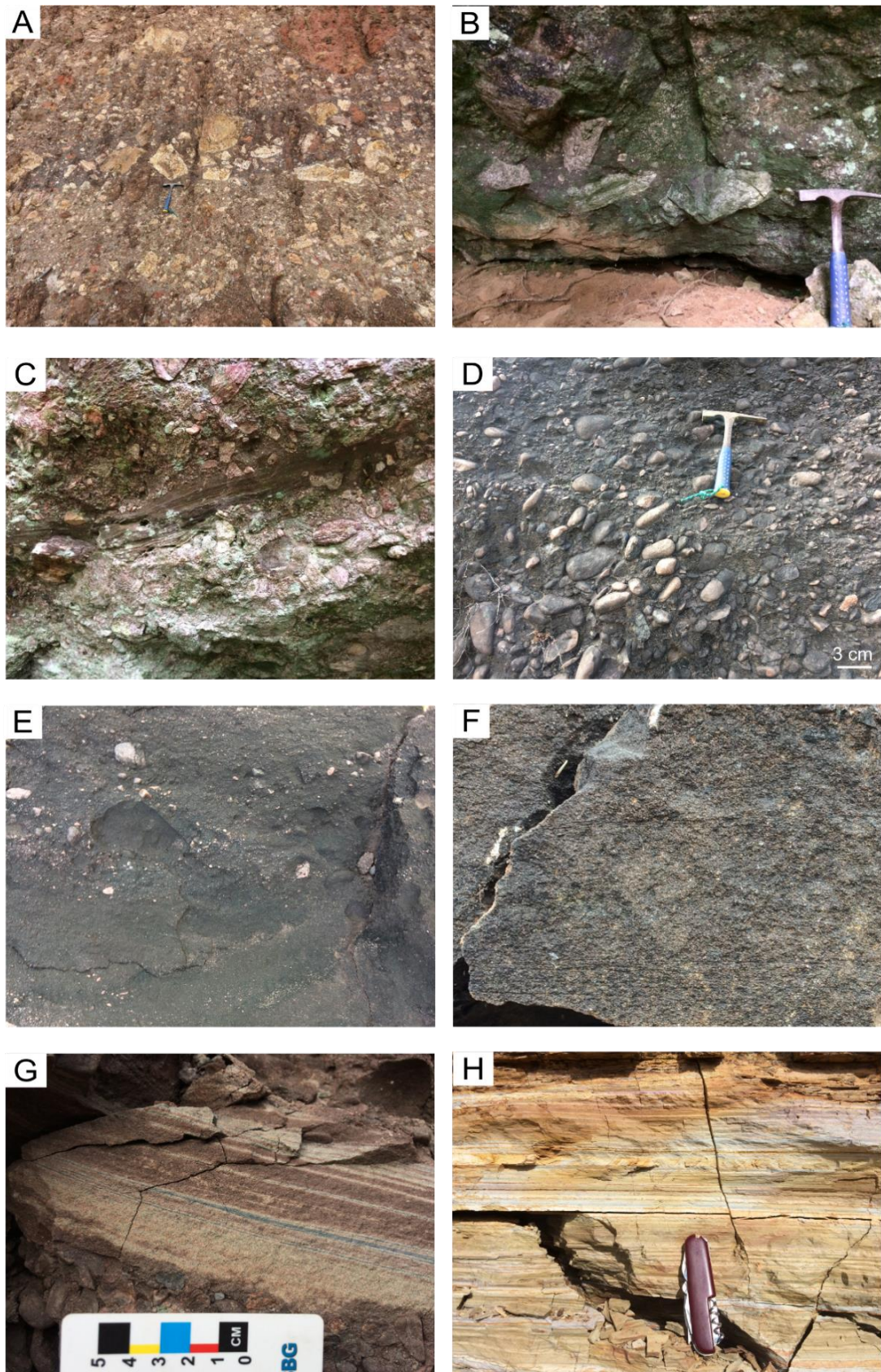


Figura 04 – Principais fácies sedimentares presentes na Formação Bateias, A) Fácies Brecha conglomerática (Bmm). B) Fácies Paraconglomerado maciço (Gmm). C) Fácies Ortoconglomerado maciço (Gcm) e Arenito com deformação penecontemporânea (Sd). D) Fácies Ortoconglomerado estratificado (Gh). E) Fácies Arenito maciço (Sm). F) Fácies Arenito estratificado. G) Fácies Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo e H) Fácies Siltito, siltito arenoso e siltito argiloso (Fl).

Tabela 04 - Associação de fácies presentes na Formação Bateias com suas respectivas fácies constituintes e unidade geológica no qual ocorre.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	FÁCIES SEDIMENTARES	UNIDADE GEOLÓGICA
Associação de Fácies C	Fl, Sm, Sh	Membro Rio do Bugre
Associação de Fácies B	Gh, Sh, Sl, Sm	Membro São Bento do Sul
Associação de Fácies A	Bmm, Gmm, Gcm, Sd, Sm	Membro Papanduvinha

**Associação de fácies A** – A associação possui aproximadamente 100 m de espessura, sua ocorrência se restringe a porção norte da bacia e a base da sequência sedimentar. É reconhecida pelas fácies mais imaturas e grossas da sequência estratigráfica, no qual se tem a substituição progressiva das fácies brecha/conglomeráticas (Bmm e Gmm) pela conglomerática (Gcm), junto à redução da granulometria do arcabouço e o predomínio do arcabouço em relação a matriz. As fácies areníticas (Sd e Sm) se encontram em lentes nos corpos conglomeráticos de espessura métrica a decamétrica, se configuraram por contatos abruptos, ocasionalmente ocorrendo dobras convolutas na base das fácies (Sd). Em direção ao topo empilhamento há ocorrência de lentes areníticas se torna mais comuns.

Associação compreende o registro sedimentar de regiões proximais/superior (apical) do sistema de leques aluvionares dominados por fluxo de gravidade, condicionado por gradiente elevado relacionado às falhas de borda da bacia, assim como a tectônica ativa durante o preenchimento sedimentar. Os principais processos responsáveis pela sedimentação da associação de fácies foram fluxos de detritos coesivos e não coesivos, momentos com a formação de correntes de fluxo superior gerados pela dissipação de fluxo, posteriormente deformados por movimentos gravitacionais penecontemporâneos, principalmente por escorregamentos.

**Associação de fácies B** - Aflora na porção norte, nordeste e principalmente na região oeste da bacia, sua espessura atinge até 200m e se encontra sobre a associação de fácies A do empilhamento. A transição entre a associação de fácies A e B ocorre de forma gradacional e não caracteriza um contato definido. A associação é predominantemente conglomerática (Gh), com corpos de geometria tabular ou em cunha de espessura métrica, nos quais estão presentes as fácies areníticas (Sh, Sl e Sm) em forma de lentes ou camadas delgadas de 10 a 40 cm de espessura. Na porção

superior da associação as lentes areníticas se tornam mais comuns e de maiores dimensões, já a fácies Gh tem seu arcabouço gradativamente substituído por clastos menores, até que ocorra o predomínio de arenitos, que caracterizam o surgimento da associação de fácies C.

A associação B compreende um sistema onde ocorre a substituição gradativa de processos gravitacionais por cursos de água periódicos, confinados e não confinados, em região mediana a distais de leques aluvionares, concedendo a geometria tabular, em cunha e lenticular para os corpos. A formação de depósitos de cascalheiras ou areia como resposta da redução da capacidade de transporte, que é consequência da redução do gradiente topográfico e do desconfinamento do fluxo, que acarreta redução da energia da corrente. O registro dos fluxos confinados em canais entrelaçados são comuns na associação B, em regiões correspondentes a porções finais do leque, os fluxos desconfinados ocorrem em fluxos hidrodinâmicos episódicos de elevada energia, por exemplo fluxos em lençóis durante enxurradas. Os principais processos atuantes são fluxo fluidificado e fluxos hidrodinâmicos de tração em regime de fluxo superior, responsável pela formação das fácies Gh; as correntes formadas pela dissipação de fluxo possibilitaram a formação das fácies areníticas ocorrendo associados fácies Gh como lentes ou presentes nos topos dos *sets* como camadas delgadas.

**Associação de fácies C** - Formada exclusivamente por fácies areníticas (Sm, Sh) e pelíticas (Fl), ocorrem na faixa leste e sul da bacia, e constituem o preenchimento final da Formação Bateias. Na base da associação se encontram as fácies Sh e Sm formando camadas tabulares ou grandes corpos maciços. Em direção ao topo do empilhamento sedimentar surge a fácies Fl, inicialmente intercalado com a fácies Sh, até atingir o predomínio da fácies Fl sobre as areníticas. Na região sul e sudeste a associação de fácies atinge termos exclusivamente pelíticos representados pela fácies Fl.

Nos sistemas deposicionais aluvionares, em momentos episódicos de intensa precipitação, há a formação de correntes de água que possibilitam a sedimentação na base dos leques, normalmente em forma de inundações. Nessa região ocorre interação com outros sistemas deposicionais, corpos de água são comuns nesses tratos de sistema deposicionais, principalmente em consequência das inundações periódicas, formando depósitos por decantação, relacionados a finos carregados em suspensão nas partes distais do leque. A associação de fácies presentes ao sul e sudeste da bacia

indica presença de um extenso corpo de água formando depósitos de silte, silte arenoso e argiloso.

## 5.2 ANÁLISE DE PALEOCORRENTES

Os resultados obtidos indicam fluxo principal para leste em toda a bacia (Figura 05). Essa direção principal pode ser subdividida em duas direções, a mais comum com direção preferencial para SE-ESE (Figura 05) o qual ocorre desde estratos conglomeráticos mais basais do Membro Papanduvinha até estratos mais jovens do Membro São Bento do Sul, e as de direção ENE-E são menos frequentes e mais comuns nos estratos mais jovens da Formação Bateias.

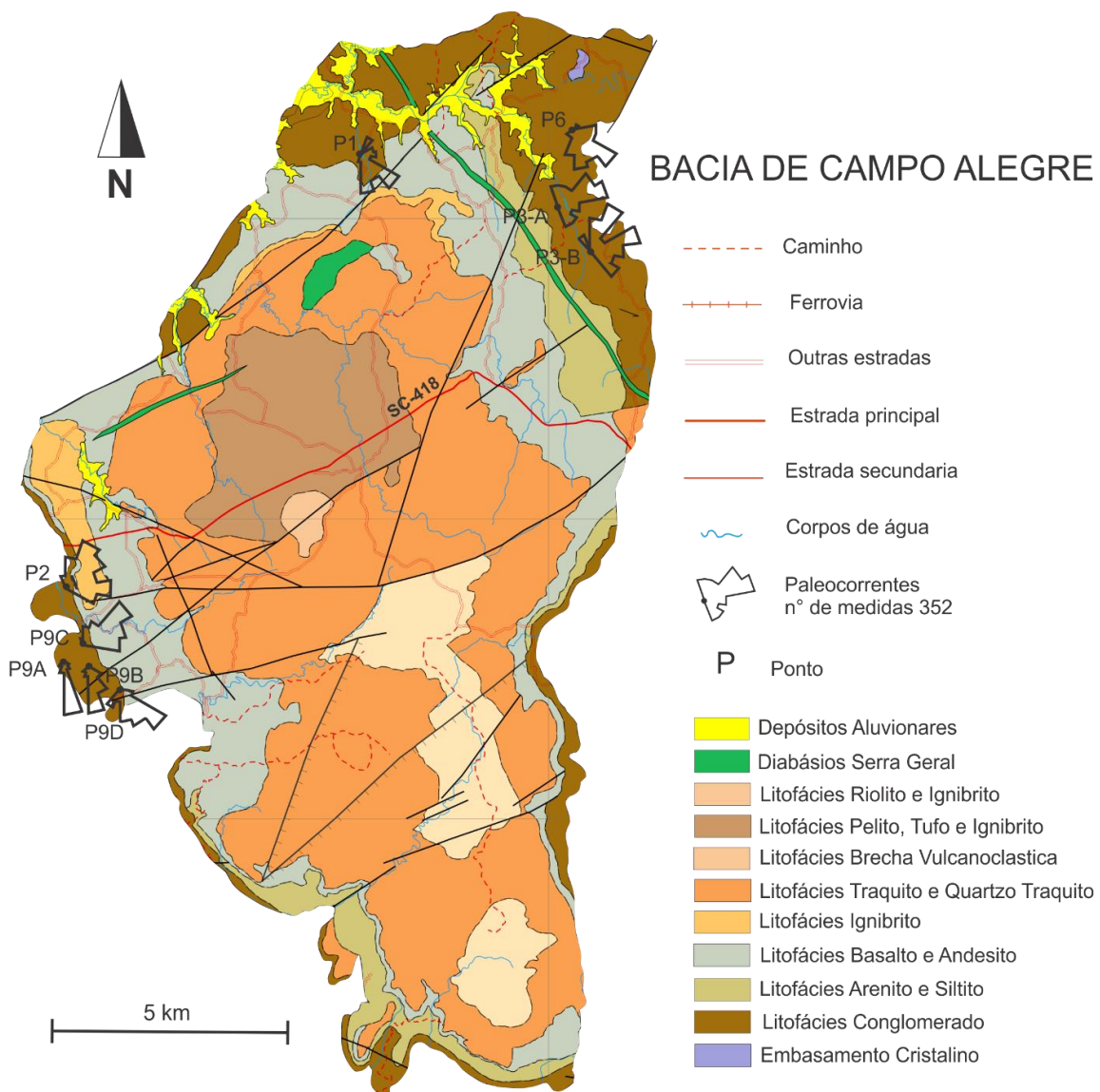


Figura 05 – Principais pontos de medidas de paleocorrentes na Formação Bateias, marcando o predomínio do fluxo para leste, com termos nordeste a sudeste. Mapa modificado de Iglesias *et al.* 2011.

### 5.3 ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA EM CONGLOMERADOS

Os principais litotipos identificados nos conglomerados presentes no **norte a nordeste** da Bacia de Campo Alegre são de rochas graníticas comuns da série cálcio-alcalina, representadas por granodioritos, quartzo monzonitos, quartzo monzodioritos, sienogranitos e vulcânicas básicas-intermediárias. Além de ocorrer, em menor abundância, riolitos, traquitos, anfibolitos, gnaisses, calcissilicáticas e ultramáficas subordinadas. Nos estratos basais compreendidos no Membro Papanduvinha há predominância dos fragmentos de dioritos, granodioritos e vulcânicas básicas-intermediárias, em medida que avança sobre os estratos mais jovens do Membro São Bento do Sul os demais litotipos se tornam mais expressivos (Figura 06 e Figura 08).

Além do aumento da variabilidade litológica nos estratos mais jovens da Formação Bateias, também ocorre a redução dos representantes vulcânicos básicos-intermediários e o aumento de fragmentos vulcânicos e sub-vulcânicos de riolito e traquitos. Junto à diversificação de clastos de granitóides comuns da série cálcio-alcalinas como: granodioritos, quartzo monzonitos, quartzo monzodioritos, sienogranitos e raros granitos.

Na região **Oeste** da Bacia os litotipos metamórficos e milonitos se tornam mais importantes comparados ao norte da bacia, representados principalmente por granodioritos, dioritos e ultramáficas, foliadas e milonitizadas, além de gnaisses e anfibolitos. Subordinadamente há presença de rochas vulcânicas félsicas a básicas-intermediárias, granitos representados principalmente por sienogranitos, monzogranitos, quartzo sienitos e álcali feldspato granitos, além da rara ocorrência de xistos. A faixa oeste se configura pelo incremento, nos estratos superiores, de fragmentos graníticos, rochas vulcânicas félsicas, e o surgimento de granitos alcalinos, nos quais ocorrem restritos nesta região. Concomitantemente há a redução de importância de dioritos-granodioritos e gnaisses compondo o arcabouço de estratos mais jovens (Figura 07 e Figura 08).

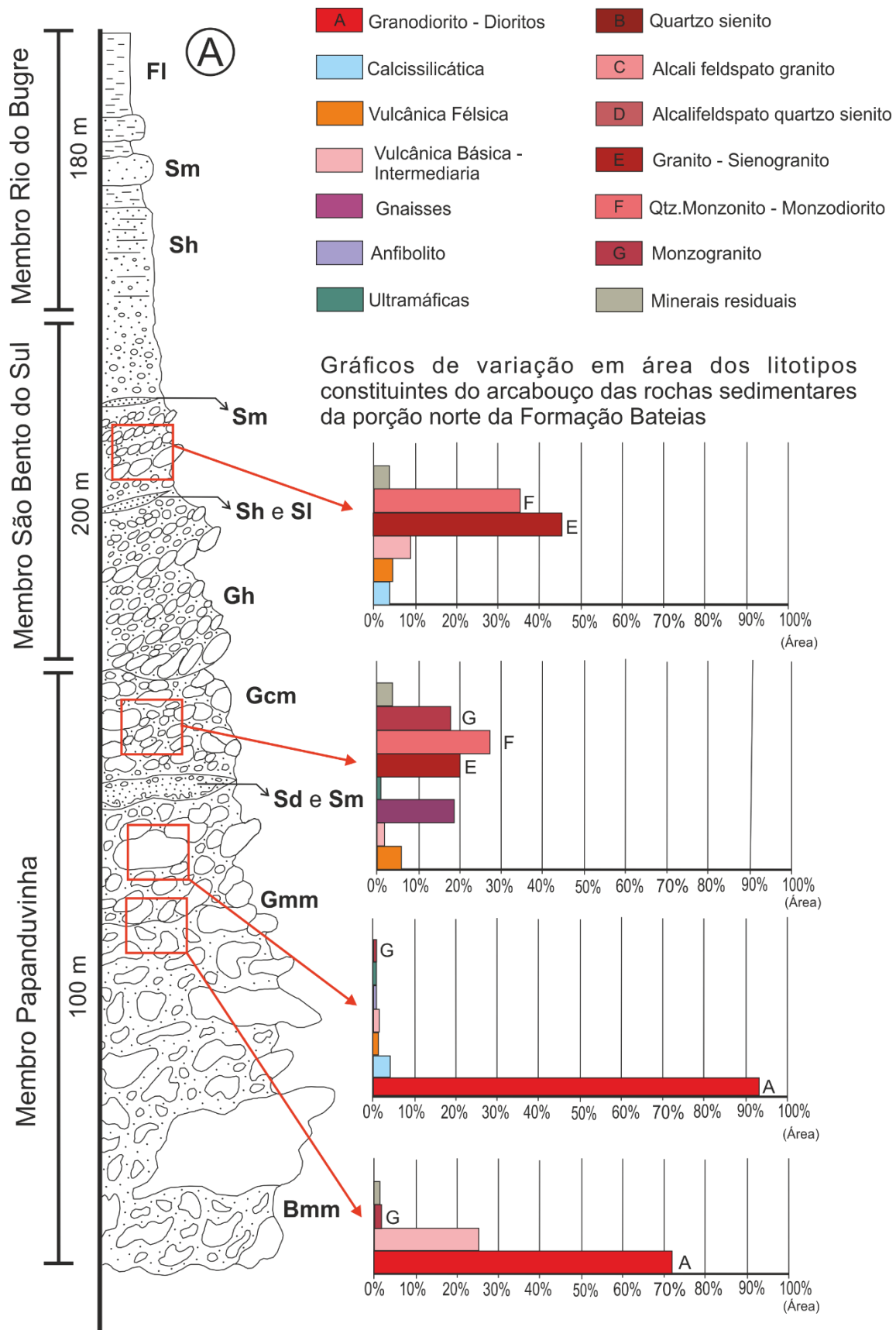


Figura 06 – Modelo de empilhamento fácies nos membros Papanduvinha, São Bento do Sul e Rio do Bugre, da base para o topo respectivamente e suas espessuras mínimas. Também apresenta a localização estratigráfica dos sítios de contagem em áreas dos constituintes do arcabouço dos conglomerados da faixa norte-nordeste.

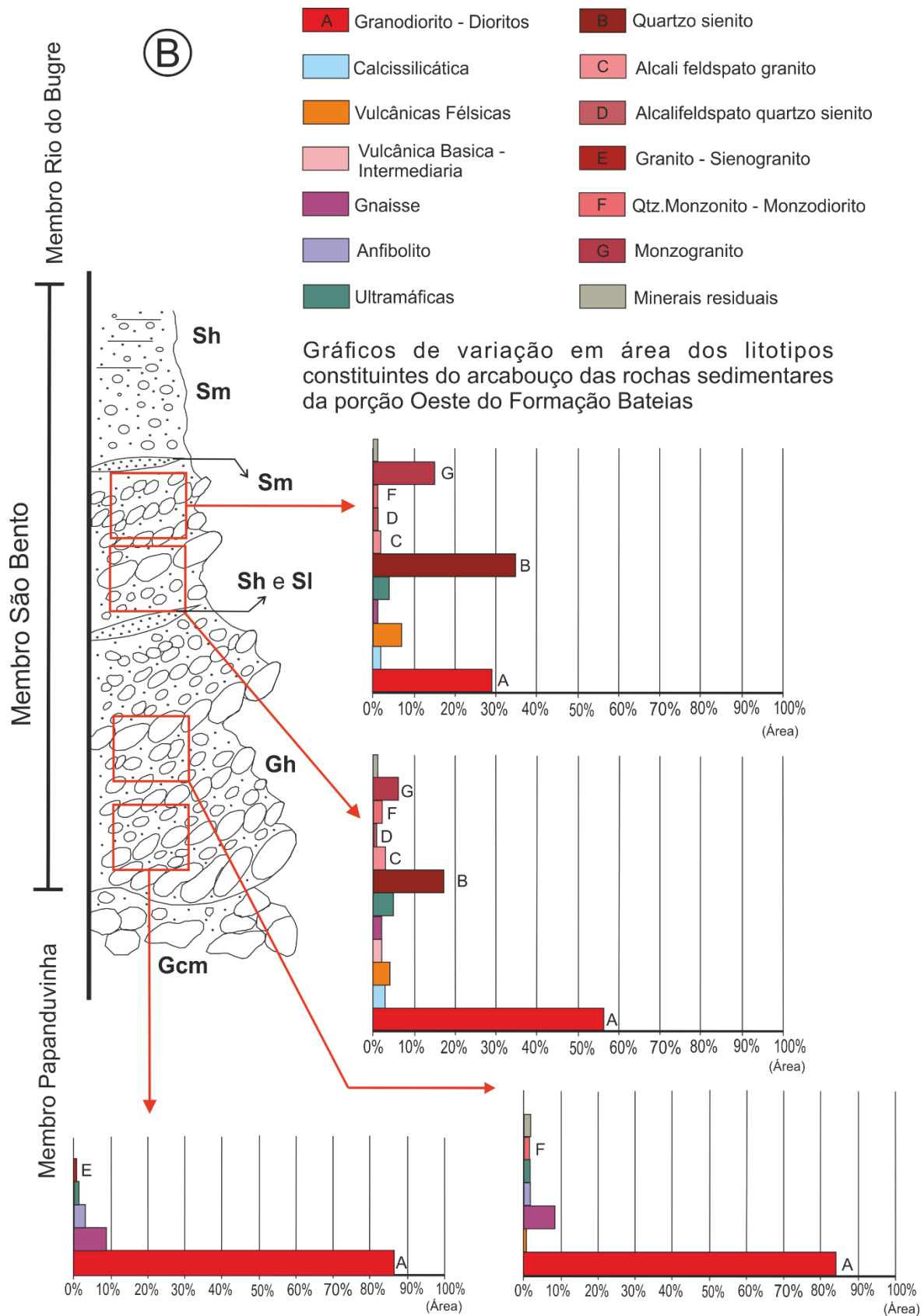


Figura 07 - Modelo de empilhamento fácio-lógico no Membro São Bento do Sul e a localização estratigráfica dos sítios de contagem em áreas dos constituintes do arcabouço dos conglomerados da faixa oeste.

Os fragmentos de dioritos e granodioritos que ocorrem na faixa norte da Formação Bateias, constituindo o Membro Papanduvinha, são de granulação média com textura maciça. Os que ocorrem na base do empilhamento aflorante na faixa oeste, constituindo o Membro São Bento do Sul são de granulação fina a grossa, predominando fina, estas últimas frequentemente milonitizadas e foliadas.

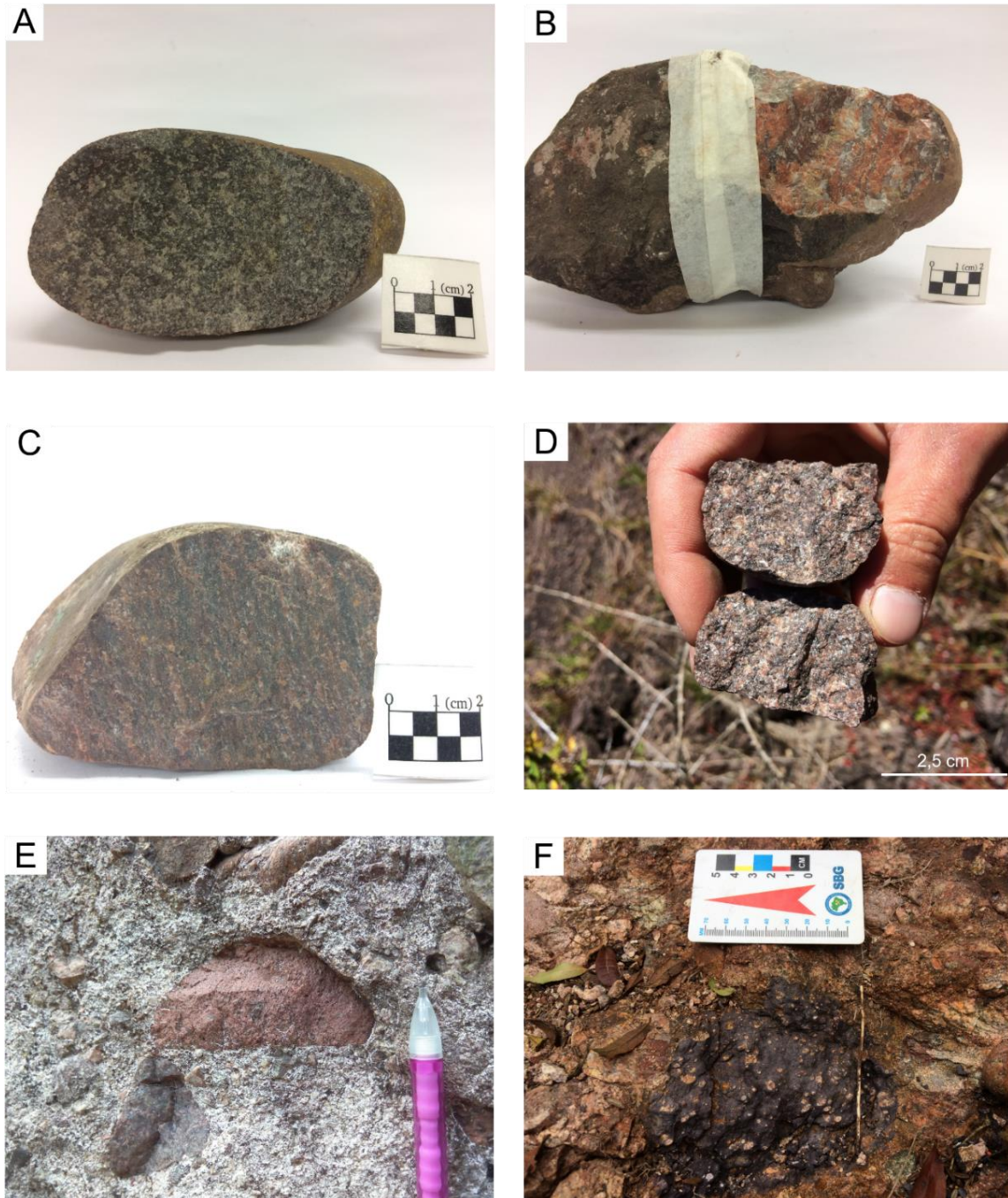


Figura 08 – Fragmentos comuns presentes no arcabouço dos conglomerados da Formação Bateias, A) Diorito médio maciço. B) Gnaisse com bandas de quartzo e feldspato alcalino. C) Granodiorito milonitizado. D) Monzogranito equigranular médio. E) Clasto de riolito e F) Vulcânica básica-intermediária com presença de amígdalas.

## 5.4 PETROGRAFIA

Na Formação Bateias predominam arenitos finos a muito grossos e arenitos conglomeráticos de baixa maturidade textural e mineralógica, com grau de compactação variável (Figura 09A e B). As rochas situadas na faixa oeste, constituintes do Membro São Bento do Sul, possuem empacotamento mais fechado que as rochas presentes nas bordas norte e leste da Formação Bateias, normalmente com a presença de fragmentos de filossilicatos deformados intergrãos, principalmente de muscovita e clorita. De modo geral há o predomínio da baixa porosidade, e contatos planares. A mineralogia do arcabouço é composta por quartzo, feldspatos (plagioclásio e microclínio), muscovita, biotita, clorita, opacos, ortopiroxênio, epidoto, actinolita, zircão, lepidolita e fragmentos líticos de origem metamórfica, ígnea plutônica e vulcânica, (Figura 09C a 09F).

Os arenitos que ocorrem nas fácies (Sl, Sh e Sd) são em sua maioria pobremente selecionados variando de areia fina a muito grossa, possuem fragmentos variando de sub-angulosos a muito angulosos, predominando grãos angulosos, com baixa esfericidade e predomínio de grãos alongados. Os contatos se dão principalmente de forma planar e pontual, havendo porções sustentadas pela matriz também. A trama é marcada por uma laminação formada pela variação granulométrica, muitas vezes formando superfícies com acúmulo de minerais opacos (Figura 10A) nas fácies (Sl e Sh).

Os arenitos da fácies (Sm) são moderadamente selecionados com representantes pontuais bem selecionados, prevalecendo areia média a grossa, com grãos subarredondados eventualmente angulosos, predominando a baixa esfericidade com grãos ovalados. Os grãos se arranjam com contatos planares e pontual, ocorre uma sutil variação granulométrica não visível em amostra macroscópica.

Frequentemente os fragmentos líticos presente no arcabouço dos arenitos estão deformados, foliados e milonitizados em graus distintos, com a presença de minerais orientados, filossilicatos em geral, eventualmente quartzo. É comum a presença de extinção ondulante, subgrãos, e mais raramente novos grãos, eventualmente a presença de porfiroclastos. Os contatos entre os cristais dos fragmentos são serrilhados a denteados, mais raramente lobados (Figura 10B, C e D). As deformações nos fragmentos líticos são registradas principalmente na faixa oeste da bacia. Os

fragmentos vulcânicos são de composição intermediária e félsicas e não registra deformação, também ocorre a presença de fragmentos graníticos não deformados (Figura 10E e F).

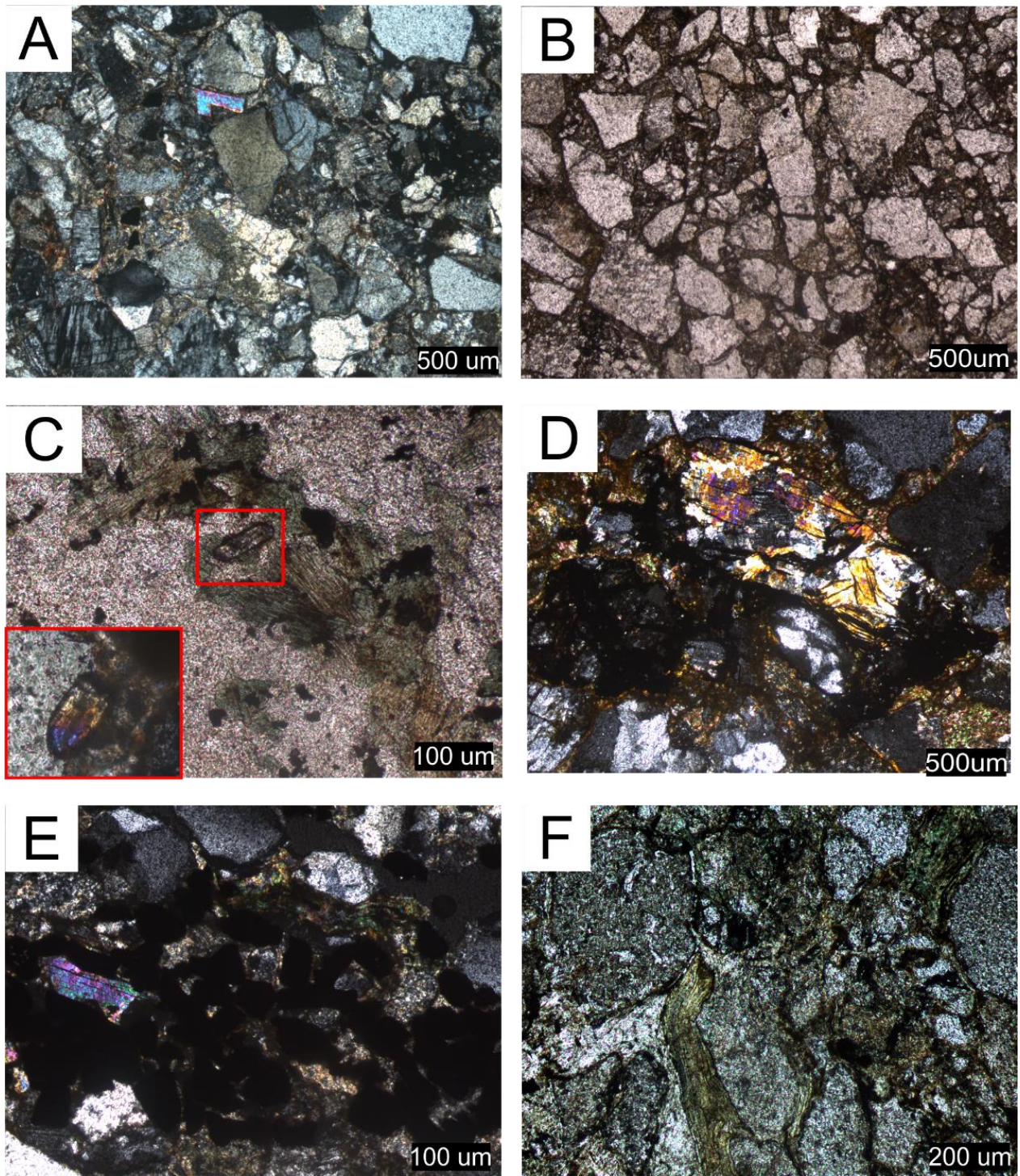


Figura 09 – A) Baixa maturidade mineralógica em arenito situado na faixa oeste da bacia. B) Baixa maturidade textural em arenitos da fácies Sh, com presença de fragmentos angulosos de areia muito fina a grossa. C) Fragmento de actinolita fibrorradial e zircão (destacado em vermelho). D) Fragmento com

muscovita deformada, quartzo e feldspato. E) Biotita e clorita dobrada junto a opacos e F) Lepidolita junto a quartzo e feldspatos.

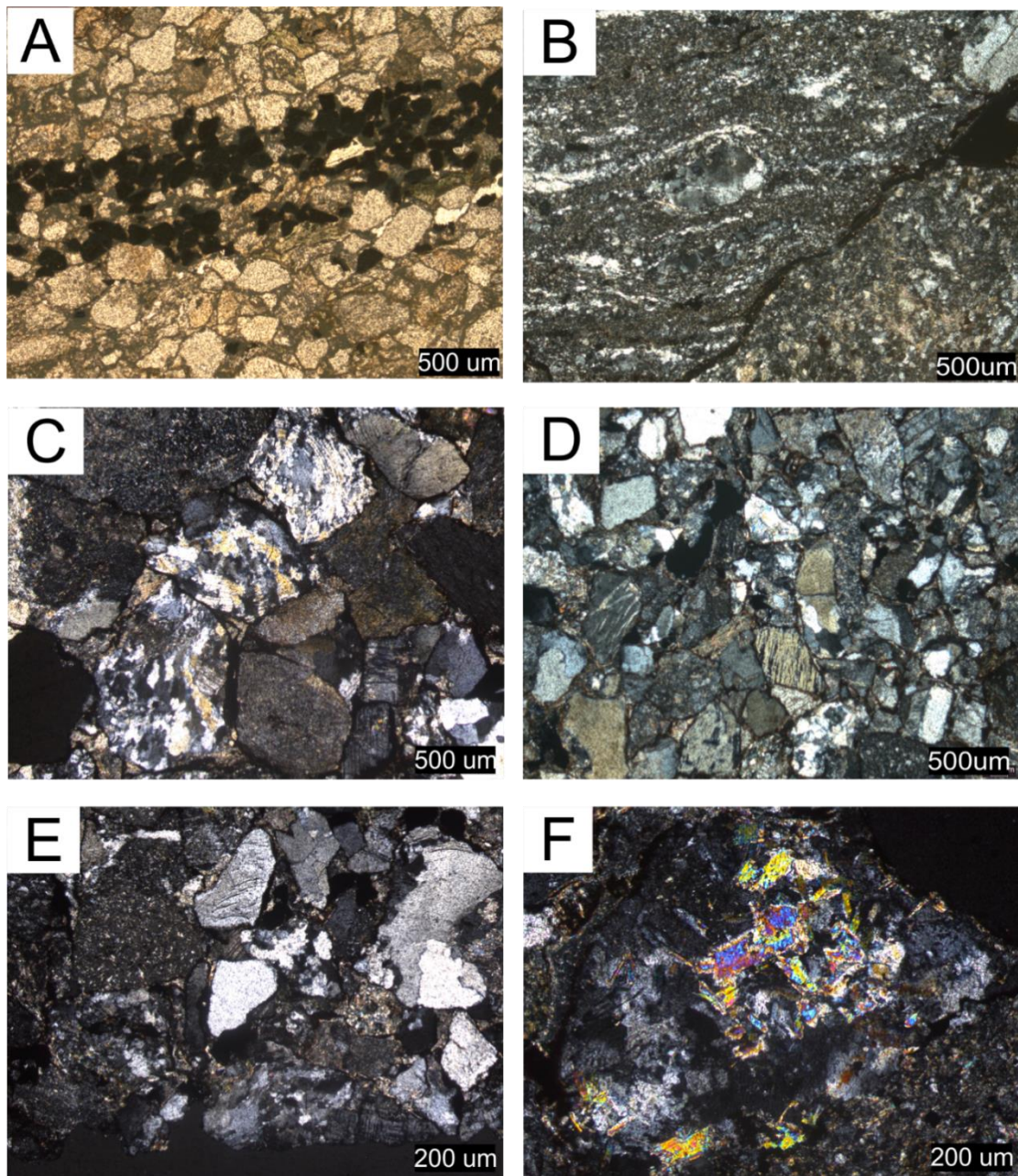


Figura 10 - A) Laminação evidenciada pelo acúmulo de minerais opacos. B) Fragmento de milonito com porfiroclasto rotacionado. C) Fragmentos líticos com feições de recristalização dinâmica. D) Fragmentos líticos bandados e com mineralogia orientada. E) Fragmento vulcânico básico-intermediário e fragmento de granito constituído de quartzo e microclínio e F) Fragmento granítico constituído por feldspatos, quartzo e moscovita.

Os grãos de quartzo constituem-se por cristais monocristalinos e policristalinos, não sendo registrado zoneamento nos fragmentos. Os cristais monocristalinos normalmente constituem cristais maiores, com pouca ou sem deformação, os

policristalinos comumente estão deformados com feições de recristalização dinâmica, com domínio de contatos denteados e serrilhados, similares aos fragmentos líticos deformados (Figura 11A e B). Os fragmentos de feldspatos são constituídos por plagioclásios com ângulo de extinção variado de 15° a 42° (oligoclasio a bytonita), predominando os termos com aproximadamente 20° (andesina), e feldspato alcalino ou microclínio, ambos comumente parcialmente ou completamente alterados para carbonato e sericita (Figura 11C e D).

Ocorrem três fases de cimentação, a primeira de composição ferruginosa que envolve os grãos com uma película e preenche fraturas, uma secundária carbonática ocorrendo de forma dispersa, normalmente preenchendo os vazios onde não ocorre a cimentação ferruginosa e argílica preenchendo pontualmente os interstícios intergranular. As amostras da faixa norte apresentam cimentação ferruginosa e argilosa subordinada, e a região oeste apresenta três fases de cimentação, a carbonática de maior importância, a ferruginosa e argilosa subordinada.

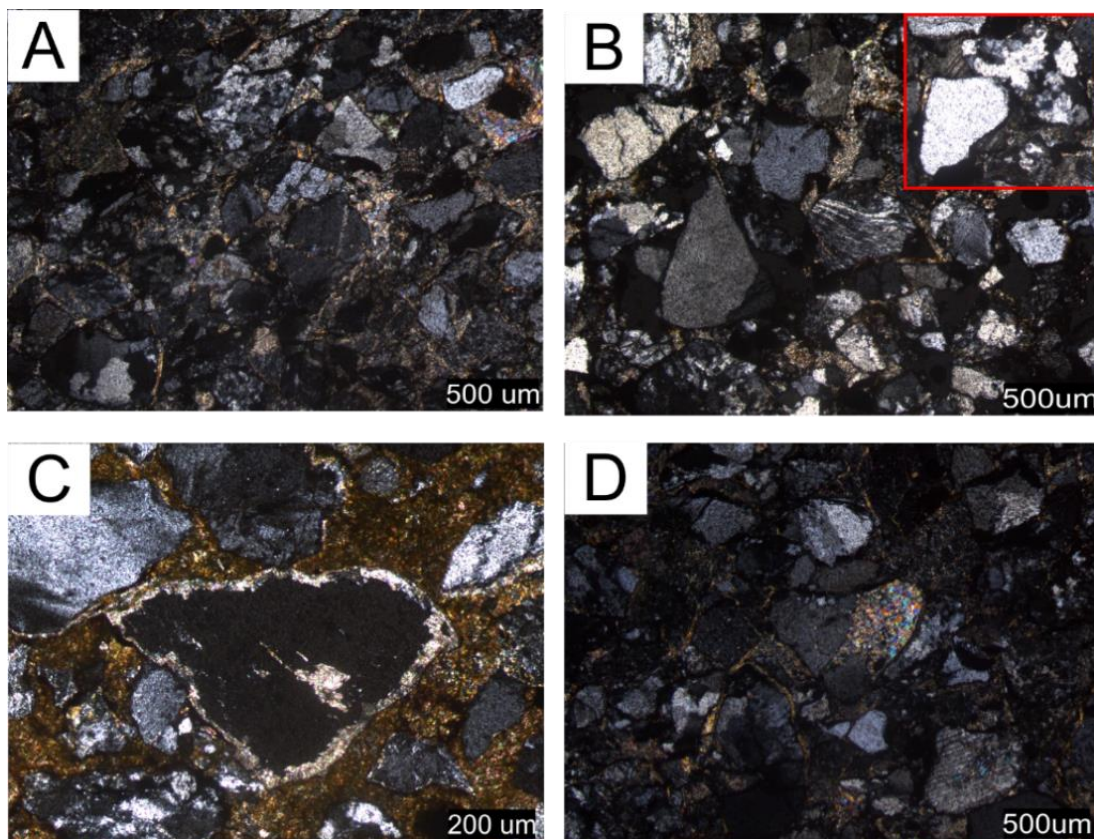


Figura 11 - A e B) Quatzo policristalino com feições de recristalização dinâmica. C) Feldspato alcalino com bordas alteradas para sericita e carbonato. D) Feldspato alcalino parcialmente alterado para carbonato.

Os fragmentos líticos principalmente de rochas vulcânicas e ultramáficas, feldspatos e micas, se encontram, comumente, moderadamente a fortemente alterados e fragmentados, com presença de fraturas preenchidas por cimento carbonático. A alteração hidrotermal é nitidamente pervasiva onde a cimentação é mais expressiva. Os principais minerais de alteração encontrados são carbonato, sericita, argilominerais, óxidos de ferro e clorita, comumente são os mesmo que formam o cimento.

Pela contagem modal de componentes detríticos em lâminas delgadas, as amostras pertencentes a região mais basal do empilhamento estratigráfico é caracterizada por ser mais rica em fragmentos líticos. Em camadas superiores do empilhamento ocorre maior proporção de quartzo sobre os fragmentos líticos, já a proporção relativa de feldspatos se mantém sem alterações significativas, (Tabela 05 e Figura 12).

Tabela 05 - Posição espacial, posição estratigráfica da coleta das amostras e representação da porcentagem modal de cada classe por lâmina delgada. (L) representando fragmentos líticos, (Q) quartzo e (K) feldspatos.

Amostra	Unidade (posição estratigráfica)	Região de coleta	Componente Detrítico		
			Q (%)	F (%)	FL (%)
P1	Mb. São Bento do Sul (Topo)	Norte	50	21	29
P1 (II)	Mb. São Bento do Sul (Topo)	Norte	49	24	27
P2	Mb. São Bento do Sul (Base)	Oeste	25	24	54
P8	Mb. Rio do Bugre (intermediária)	Leste	56	30	14
P9B	Mb. São Bento do Sul (intermediária)	Oeste	28	27	45
P9C	Mb. São Bento do Sul (intermediária)	Oeste	39	24	37
P9C (II)	Mb. São Bento do Sul (intermediária)	Oeste	37	27	36
P9D	Mb. São Bento do Sul (Topo)	Oeste	38	28	34

Como já dito anteriormente os feldspatos se mantêm sem grandes variações em relação aos fragmentos líticos e quartzo, porém ocorre substituição na composição dos feldspatos. A presença dos feldspatos alcalino se tornam mais abundante do que os plagioclásios em estratos mais jovens, podendo indicar alteração da paragênese das áreas fonte. A substituição também ocorre com os fragmentos líticos, a importância em área dos fragmentos vulcânicos intermediários e granitóides se tornam predominante na fase final do preenchimento, se distinguindo dos estratos mais jovens na qual há a predominância de litotipos metamórficos e ultramáficos representando os fragmentos líticos (Figura 12).

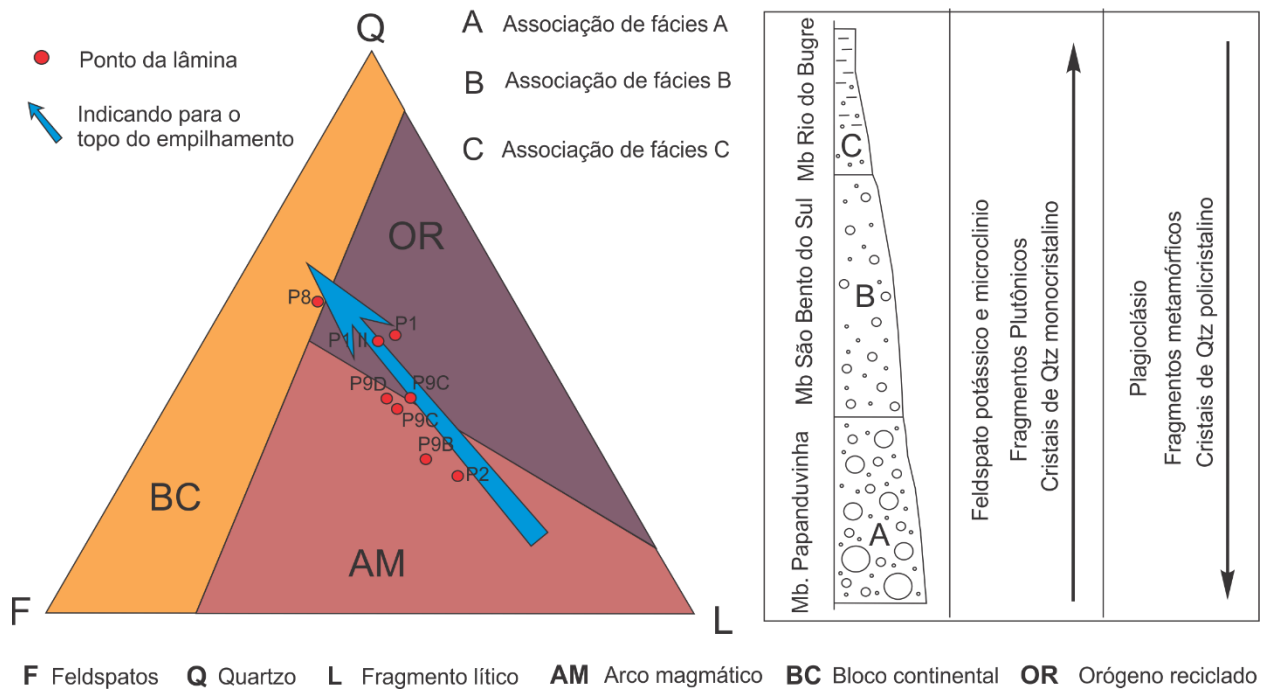


Figura 12 - Gráfico ternário composicional com divisão geotectônica proposta por Dickinson (1985), representando a disposição das amostras da Formação Bateias, onde (Q) representa quartzo, (F) feldspatos, (L) fragmentos líticos, a seta em (azul) aponta da base para o topo do empilhamento estratigráfico, com o aumento gradativo de quartzo em relação de fragmentos líticos da base para o topo do empilhamento. O aumento relativo de fragmentos vulcânicos, de feldspatos potássicos, cristais de quartzo monocristalino e fragmentos líticos plutônicos em relação a plagioclásio, cristais de quartzo policristalinos e fragmentos líticos metamórficos também acompanham a seta azul.

## 5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA DE DADOS COMPOSICIONAIS PARA DADOS MACROSCÓPICOS

O agrupamento pelo método de *Ward*, que salienta a dissimilaridade da composição, resultou na separação de dois grandes grupos, o primeiro integra sítios de contagem situados na borda norte-nordeste da bacia, e outro engloba sítios da faixa oeste. O *cluster* gerou subgrupos onde estratos mais basais e estratos mais jovens estão situados em conjuntos distintos (Figura 13).

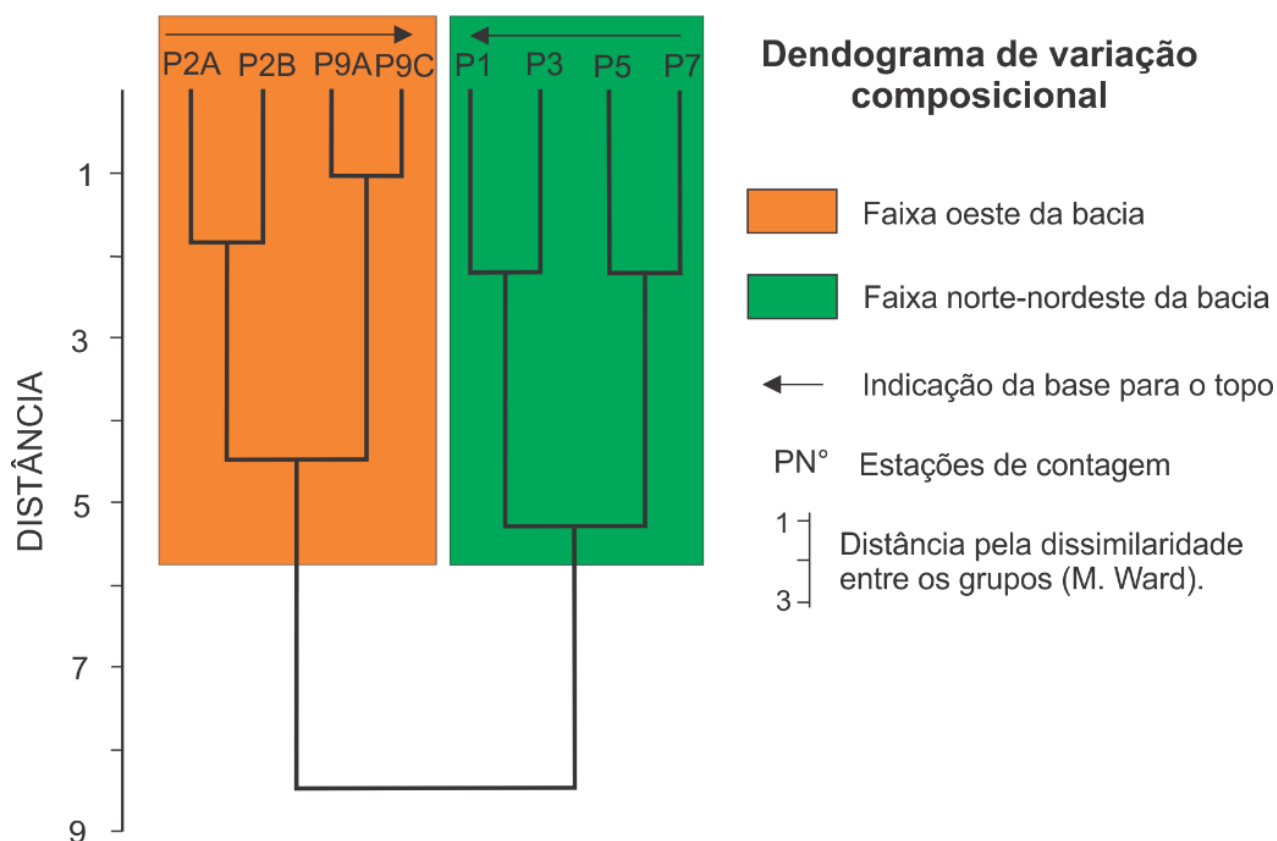


Figura 13 – Dendrograma de agrupamentos, no qual foi utilizado o critério de dissimilaridade, portanto quanto menor a distância mais similares são os grupos, pode se notar que as estações de análise situados na faixa norte-nordeste e oeste são agrupados separadamente, e em cada extremidade as estações foram agrupadas entre os basais e os situados em estratos mais jovens.

Para clarificar a variação e o comportamento da proveniência sedimentar, foi utilizada a análise de componentes principais, o qual permite verificar quais variáveis melhor representam os dados de proveniência macroscópica. Os dados composicionais foram preteritamente agrupados de acordo com a natureza geológica e comportamento no preenchimento da bacia, para que não seja tendencioso na aplicação do método, e para que forneça resultados de fácil leitura, os dados composicionais fornecidos estão exemplificados na tabela (Tabela 06). As componentes principais PC1, PC2 e PC3 correspondem respectivamente a 39,2%, 33% e 15,9% da variância total. Assim a PC1 e a PC2 representam 72,2% da variância total das amostras

Tabela 06 - Dados composicionais utilizados na PCA e suas respectivas variâncias na PC1 e PC2.

Composição	PC1 (S <sup>2</sup> )	PC2 (S <sup>2</sup> )
Diorito-granodiorito fino a grosso deformado	0.290	0,663
Diorito-granodiorito médio não deformado	(-) 0.645	0.166
Calcissilicáticas	0.0883	(-) 0.202
Vulcânicas félsicas	0.277	(-) 0.185
Vulcânica básica-intermediária	(-) 0.200	(-) 0.347
Gnaisses	0.237	0.262
Granitos alcalinos	0.391	0.280
Granitos cálcio-alcalinos	0.307	(-) 0.350
Minerais residuais (quartzo e feldspato)	0.260	(-) 0,288
Anfibólitos	(-) 0.055	0.233
Ultramáficas	0.224	0.155

PC1 é representado por apenas três litotipos no campo negativo (granodiorito médio, anfibolito e vulcânica básica intermediária), granodiorito havendo maior peso na variância total. No campo positivo a PC1 é representado pelos demais litotipos, na Figura 14A e B e é visível o comportamento de aumento de diversidade litológica do campo negativo para o positivo. Também pode se perceber que as estações de contagem P7 e 05, situadas nos estratos basais, principalmente no Membro Papanduvinha estão no campo negativo para PC1, e estações P1, P2A, P2B, P9C e P9A situadas no Membro São Bento do Sul estão situados predominantemente nos quadrantes positivos (Figura 14A). Pela variação na diversidade litológica no campo negativo/positivo (Figura 14B) e o comportamento das estações em relação a primeira componente principal (Figura 14A), pode se dizer que PC1 representa principalmente a dimensão da rede de drenagens e a variação temporal das áreas fonte de sedimento.

A PC2 tem seus representantes litológicos divididos em frações similares no campo positivo e negativo (Figura 14B), PC2 representa as estações da faixa norte (P7, P5, P3 e P1) em quadrantes negativos no *bipplot*, e a faixa oeste (P2A, P2B, P9A e P9C) nos quadrantes positivos para PC2, também se observa a predominância das estações do Membro São Bento do Sul no campo positivo para PC2, exceto para estação P1 situado na faixa norte da Bacia (Figura 14A). Outras características marcantes para segunda componente é o peso dado para dioritos e granodioritos deformados no campo positivo, a relação inversa entre granitos alcalinos e cálcio alcalinos e a relação direta entre vulcânicas félsicas e básicas-intermediárias (Figura

14B). O padrão da segunda componente principal está ligado diretamente a rede de drenagem independente entre as bordas norte e oeste da bacia.

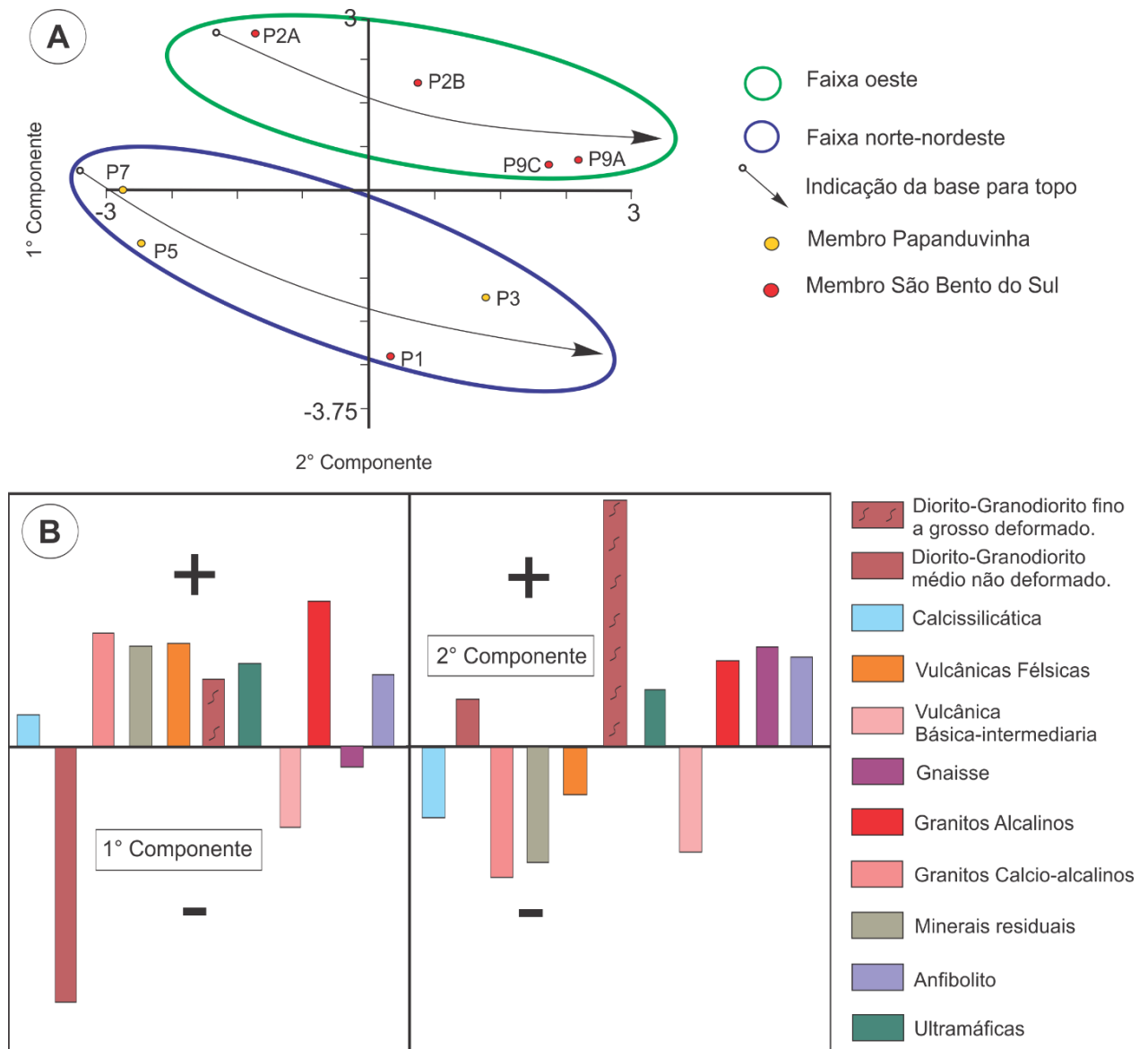


Figura 14 - A) *Biplot* da relação de PC1 e PC2, onde as estações de análise situados no Membro Papanduvinha estão representados por pontos amarelos e os situados no Mb São Bento do Sul são de cor vermelha, também foi possível representar dois grupos o circulado de verde representando a faixa oeste e de azul representando as estações situadas na faixa norte-nordeste da bacia. B) Gráfico de comportamento da primeira e segunda componentes principais em relação aos dados composicionais. Os granitos foram agrupados em granitos característicos da série cálcio-alcalina e da série alcalina para facilitar a visualização e determinar padrões.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 AMBIENTE DE SEDIMENTAÇÃO

A Formação Bateias é constituída pelas associações de fácies A, B e C da base para o topo no empilhamento sedimentar. O registro das associações de fácies A e B refletem um sistema de leques aluvionares e de C um corpo de água distal, similar ao proposto por Citroni (1998) para a sedimentação basal da Bacia de Campo Alegre.

A associação de fácies A é restrita a faixa norte-nordeste da bacia, compreende porções superiores de um sistema de leques aluvionares, região dominada pelo fluxo gravitacional (Lowe 1979, Riccomini et al. 2009), condicionado pelo elevado gradiente, frequentemente gerado por escarpas e falhas (Riccomini *et al.* 2009). Para Citroni *et al.* (2001) a formação dos leques está associada a falhas de borda na faixa noroeste da Bacia. Os principais processos gravitacionais foram fluxos de detritos (coesivos e não coesivos) e escorregamentos gerando deformações penecontemporâneas, comuns para estes ambientes (Stainstreet & McCarthy 1993, Riccomini *et al.* 2009, Blair & McPherson 2009). Estes episódios de fluxo gravitacional ocorriam não canalizados, e muito próximos as áreas fonte devido à dimensão dos blocos transportados e a baixa maturidade textural, provavelmente cada pacote litológico representa um evento gravitacional. Subordinadamente havia a formação de corpos arenosos descontínuos formados por correntes geradas pela dissipação do fluxo, muitas vezes confundidos com inundações torrenciais (Nemec & Steel 1984), ou mesmo pela perda de capacidade de transporte.

A ausência da associação de fácies A no restante da bacia, pode estar associada a dimensão da bacia tributária (Cristofolletti 1981, Blair & McPherson 2009), no qual possivelmente não permitiu alimentação contínua de detritos até o tributário principal, assim perdendo sua competência, não transportando o material até o cone aluvionar. Posteriormente, somente fluxos de elevada energia alcançariam a região do piemonte e permitiram a sedimentação no sistema de leques do Membro São Bento do Sul na faixa oeste da bacia.

Na associação de fácies B os fluxos hidrodinâmicos episódicos, de elevada energia, tomam lugar dos processos gravitacionais. Esta substituição ocorre a medida que avança para regiões distais de um sistema de leque (Blair & McPherson 1994a e b, Harvey 2005, Blair & McPherson 2009). Estes cursos ocorrem confinados em canais

entrelaçados formaram depósitos de barras, caracterizados pela imbricação generalizada dos clastos, vaga estratificação e leito pouco definido, muito comuns em leques fluviais entrelaçados (Stainstreet & McCarthy 1993, Nemec & Steel 1984). E desconfinados nos quais geram depósitos de areia, a partir de fluxos em lençóis e torrentes, para Guerra e Guerra (1997) as torrentes são cursos periódicos produzidos por enxurradas (*stream flow*) de elevada energia em consequência de episódicas precipitações torrenciais. Segundo Nemec & Steel (1984) os fluxos confinados e desconfinados geralmente ocorrem associados, para Blair & McPherson (2009) constituem os principais processos secundários de um leque aluvionar.

A associação de fácies C é interpretada como a região de interação de porções distais do sistema de leques e um corpo de água, com substituição gradativa dos leques pelo corpo de água situado na região sul a sudeste da bacia. Esses corpos de água são frequentemente registrados na literatura associados a sistema de leques aluvionares, são formados como consequência de inundações efêmeras que possibilitam que o sedimento chega às regiões mais baixas da bacia e seja depositada por decantação (Assine 2008).

No ambiente de sedimentação da Formação Bateias havia condições ditas como favoráveis por Suguio (2003) e Blair & McPherson (2009) para a formação de leques aluvionares, com o cenário topográfico onde uma bacia hidrográfica drena para um vale (abertura inicial do *rift*), situado no sopé de regiões montanhosas, principalmente a norte da bacia, com produção suficiente de sedimento para construir o leque, pela erosão dos terrenos soerguidos durante a colagem dos terrenos Luís Alves, Curitiba e Paranaguá durante o brasiliano (Basei *et al.* 1992), além do terreno de elevado declive, condicionado por falhas de borda (Citroni *et al.* 2001). Segundo Blair & McPherson (2009) essas condições que favorecem a formação de leques aluvionares prevalecem em terrenos tectonicamente ativos, como sugerido para a formação da Bacia de Campo Alegre (Basei *et al.* 1992, Campanha *et al.* 1994, Citroni *et al.* 2001).

## 5.2 NATUREZA TECTÔNICA DAS ÁREAS FONTE

Conforme evidenciado pela análise de agrupamento, as amostras da faixa norte são similares composicionalmente e dissimilares comparadas às da faixa oeste (Figura 13). Quando inseridos sob olhar da análise de componentes principais esse comportamento é similar, pode se notar a discrepância entre as extremidades da bacia

em relação a PC2 (Figura 15), o que parece indicar bacias de drenagens independentes. Para os dioritos e granodioritos, mesmo havendo composição mineralógica similar, se comportam de modo distintos em ambas bordas, devido a variação dos representantes deformados e não deformados dos clastos (Figura 14B e 15).

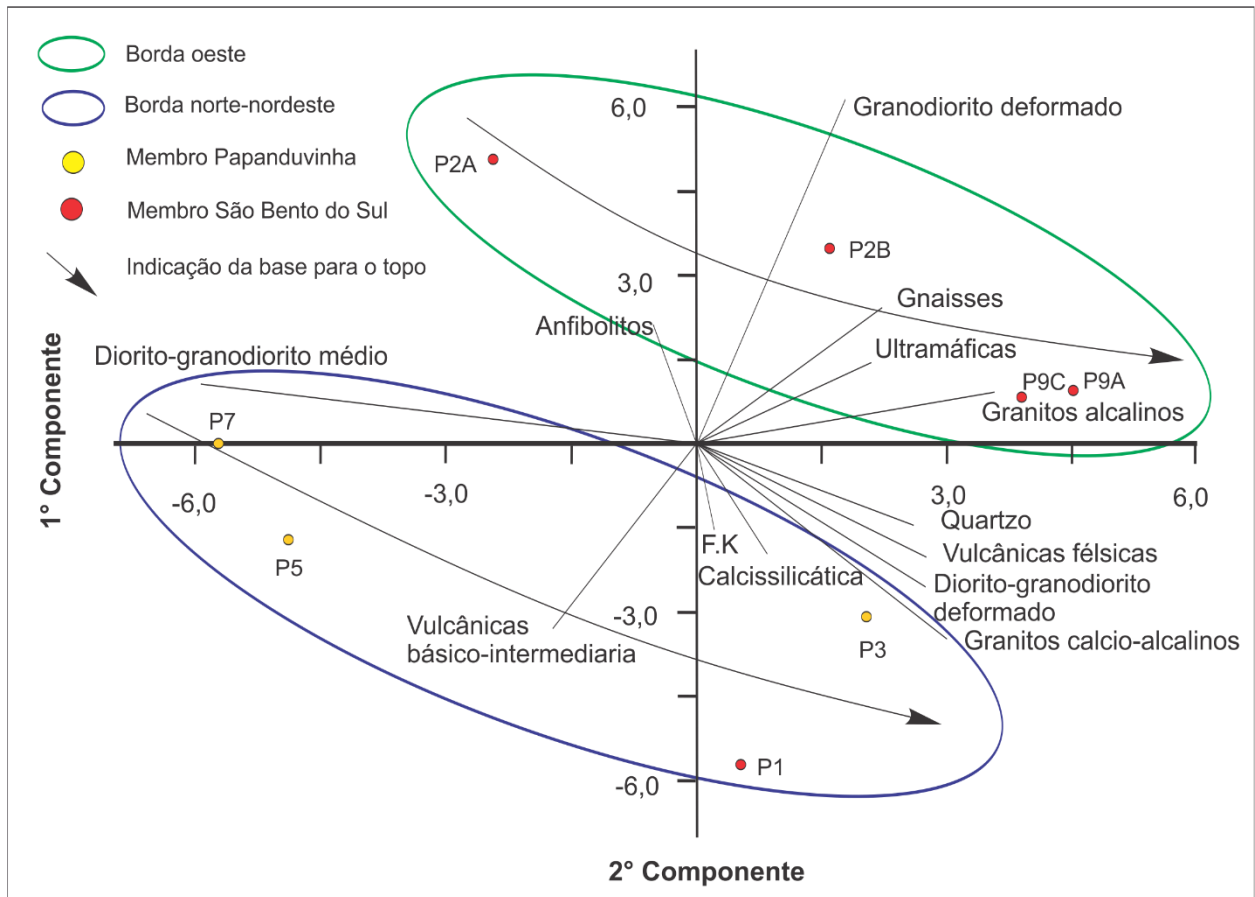


Figura 15 – Biplot entre a primeira e a segunda componente principal com os vetores representando a importância de cada representante litológico.

Os clastos da área oeste são frequentemente milonitizados e foliados, com predomínio da granulação fina, em lâmina delgada feições de recristalização dinâmica são comuns em fragmentos líticos. Queiroz Valle (2016) também relatou feições deformacionais em grãos de quartzo nesta região. Em contrapartida os registrados na borda norte predominam granulação média de textura granoblástica, com poucos clastos milonitizados e ausência de clastos foliados. A variação textural e estrutural dos fragmentos sugere que as áreas fontes registraram eventos deformacionais distintos ou

pelo menos de intensidade distinta, no que permite inferir áreas fontes distintas para as bordas oeste e norte desde o início da sedimentação da bacia. Possivelmente os fragmentos dioríticos-granodioríticos existentes da faixa norte são provenientes o Terreno Luís Alves e Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên, e os da faixa oeste do Terreno Luís Alves e Ortognaisses Pomerode (Figura 16).

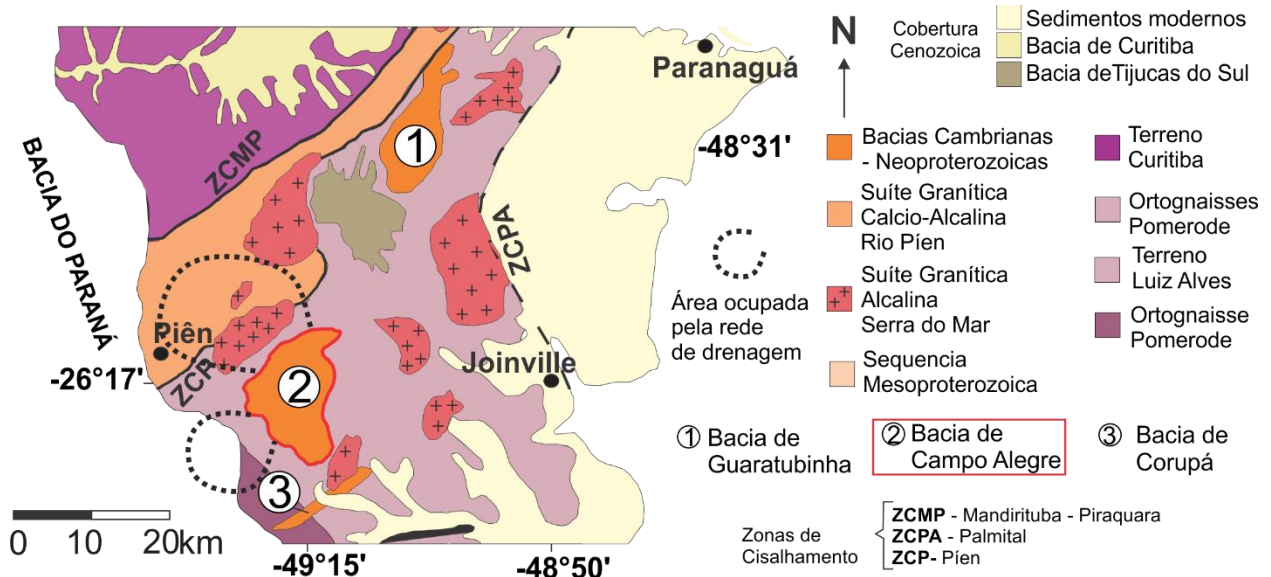


Figura 16 - Mapa geológico com a Bacia de Campo Alegre, unidades geológicas adjacentes e área ocupada pelas bacias de drenagem situada oeste e norte da bacia, os quais englobam unidades neoproterozoicas a arqueanas como área fonte. Modificado de (Modificado de Basei *et al.* 1990, Basei *et al.* 1992, Siga Jr. 1995, Basei *et al.* 2000, Barão *et al.* 2017 e Iglesias *et al.* 2011).

Em lâmina delgada os grãos de quartzo monocristalinos são mais comuns na faixa norte, constituem os cristais de quartzo de maior dimensão, em sua maioria não apresentam deformação, similares aos encontrados em rochas ígneas plutônicas (Vernon 2004, Wenick 2004), em que sugere que a rocha mãe não passou por severos eventos tectônicos, possivelmente associado a corpos ígneos plutônicos. Em contra partida, os grãos de quartzo da faixa oeste frequentemente preservam estruturas deformacionais em abundância, comuns para rochas metamórficas (Passchier & Trouw 2005). Para Bernet *et al.* (2007) esse tipo de cristal registra feições de deformação e metamorfismo nas quais a área fonte foi imposta, permitindo resgatar a natureza da área fonte, portanto as feições registradas realmente sinalizam terrenos de natureza distinta como fonte de sedimento para a faixa oeste e norte da Bacia de Campo Alegre. Não são registrados cristais de quartzo com zoneamento, que indica fonte primária para a bacia, não havendo reciclagem pretérita (Bernet *et al.* 2007).

Além dos clastos de dioritos, granodioritos, na base também ocorrem gnaisses, anfibolitos, rochas ultramáficas e calcissilicáticas, os quais são rochas comuns no Terreno Luís Alves, embasamento da Bacia de Campo Alegre, possivelmente área fonte inicial da bacia. Citroni (1998) levanta a possibilidade desses fragmentos sejam derivados do embasamento regional dos terrenos Curitiba e Luís Alves, o autor também levanta a hipótese da procedência exclusiva do norte, ou seja do Terreno Curitiba e da Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên, por não identificar litotipos com composição orto-piroxenica. Em contrapartida Queiroz Valle *et al.* (2019) afirma que o Terreno Luís Alves foi área fonte da bacia, embasado em dados geocronológicos de zircão detrítico, apontando pico paleoproterozóico compatível com as rochas do terreno. A variação estratigráfica destes litotipos (Figura 15 e 14B), junto aos dados composicionais, leva a crer que as rochas do Terreno Luís Alves, Suíte Máfica-ultramáfica Rio Piên, Ortognaisses Pomerode e Barra Velha são boas sugestões para área fonte durante todo o preenchimento da Formação Bateias.

#### 5.2.1 A possibilidade de um Arco Magmático como área fonte

Nas fases iniciais, litotipos vulcânicos e sub-vulcânicos básicos-intermediários ocorrem quase que restritos na faixa norte, e constituem, de forma predominante o Membro Papanduvinha, com raras ocorrências na base da faixa oeste, situados em estratos basais do Membro São Bento do Sul. Esses fragmentos possivelmente provêm de corpos vulcânicos existentes a noroeste da Bacia de Campo Alegre, baseado nas paleocorrentes com direção predominante para SE (Figura 17A), muito provável que sejam correspondentes vulcânicos e subvulcânicos dos atuais corpos plutônicos da Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên (Machiavelli *et al.* 1993, Harara 1996). Para Citroni (1998) e Daitx e Carvalho (1980 e 1981 *apud* Citroni 1998) os seixos de basalto são semelhantes aos do vulcanismo inicial da bacia de Campo Alegre, em unidades estratigraficamente superiores, esse foi o argumento utilizado por Daitx e Carvalho 1980 para propor vulcanismo intrabacia como área fonte. Citroni (1998) acredita que estes fragmentos são derivados de vulcões associados à Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên, por não ter encontrado derrames anteriores aos depósitos conglomeráticos e por serem restritos ao Membro Papanduvinha. Mesmo esses fragmentos não sendo restritos no Membro Papanduvinha como Citroni (1998) havia esperado, é notável sua redução para níveis superiores da Formação Bateias, observar PC1 (Figura 14B) e a posição das estações P5, P7 e P2A no *biplot* (Figura 15).

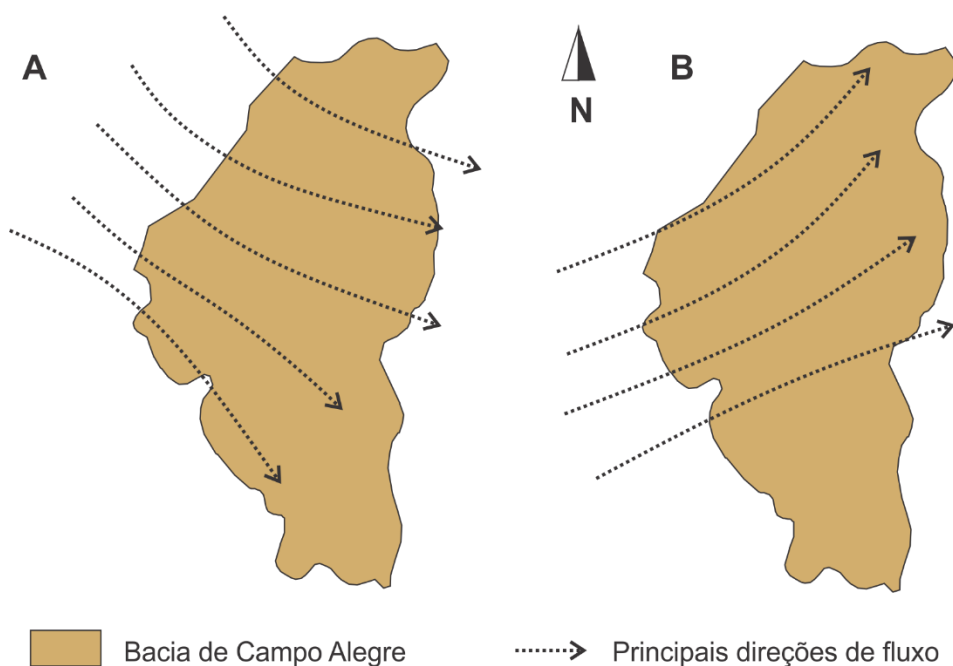


Figura 17 – A) Principal direção de paleocorrente de direção S-ESE. B) Segunda direção preferencial de direção de paleocorrente com *trend* para NE- ENE.

Queiroz-Valle (2016) levantou a suposição de que nas amostras do Membro Papanduvinha há maior abundância de fragmentos vulcânicos por serem mais próximos a área fonte, e assim sendo menos retrabalhados, a autora também registra maior abundância de fragmentos líticos vulcânicos na matriz dos conglomerados do Membro São Bento do Sul e o conclui como resultado do maior retrabalhamento os tornando mais abundantes nas frações menores. Queiroz-Valle *et al.* (2019) registrou a maior concentração de picos neoproterozoico, (U-Pb) em grãos de zircão nesta região, justificada pela proximidade da área fonte. As hipóteses se mostraram válidas quando se trata de fragmentos vulcânicos de composição básica-intermediária (Figura 15).

O surgimento de fragmentos plutônicos em estratos mais jovens do Membro São Bento do Sul, de composição cálcio-alcálica similares em mineralogia e textura aos descritos por Machiavelli *et al.* (1993) e Harara (1996) para os corpos da Suíte Granítica Cálcio-Alcalina Rio-Piên, somados com o *trend* de paleocorrentes com predomínio para SE (Figura 17A) e redução simultânea dos fragmentos vulcânicos de composição básica-intermediária para estratos mais jovens (Figura 15), comparados com dados de zircão detrítico adquirido por Queiroz-Valle *et al.* (2019) apontando pico de idade neoproterozóica ( $615 \pm 5.6$  Ma), em conformidade com a idade sugerida para a Suíte Granítica Cálcio-Alcalina Rio-Piên de  $615 \pm 29$  Ma (Siga Jr. 1995) e  $609 \pm 36$  Ma

(Machiavelli 1991), fortalece a suspeita da Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên como rocha fonte, onde inicialmente forneceu seus representantes vulcânicos e sub-vulcânicos, estes expostos à erosão e aos agentes intempéricos, expuseram seus correlatos plutônicos, que se tornaram posteriormente sedimento para o preenchimento da bacia

Para Igersoll & Eastmond (2007) e Garzanti *et al.* (2018c) as províncias basálticas-andesíticas e arcos vulcânicos não dissecados são responsáveis pelo fornecimento de plagioclásio nos componentes detríticos. Estes ambientes quando dissecados normalmente produzem o incremento de quartzo e feldspatos em relação aos fragmentos líticos e plagioclásios. Os autores também afirmam que feldspatos alcalinos e quartzos podem estar relacionados a vulcanismo félsico quando são registrados nas proximidades. A substituição gradativa de plagioclásios por feldspatos alcalinos, suportando uma taxa aproximadamente constante, junto ao incremento de quartzo monocristalino (Figura 12), aponta para dissecação de um arco magmático, provavelmente a Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên. Também há a possibilidade de parcela dos feldspatos (feldspato alcalino e microclinio) e quartzos sejam associados ao vulcanismo félsico, como proposto no modelo de Garzanti (2019) de alteração de área fonte, visto que seu comportamento é similar aos dos fragmentos de riolito e traquito no arcabouço dos conglomerados, possivelmente do vulcanismo relacionado a bacia, este discutido no cap. 5.2.2.

#### 5.2.2 A possibilidade do vulcanismo intrabacinal como área fonte

O que se espera quando a rocha-mãe é constituída por rochas vulcânicas, é que com o passar do tempo, caso haja a erosão suficiente e a exposição de correlatos plutônicos, resulte na substituição de fragmentos vulcânicos por plutônicos no preenchimento a bacia, o que foi sugerido para as vulcânicas básicas-intermediárias e granitos cálcio-alcalinos no tópico anterior. Porém, quando se trata de fragmentos vulcânicos félsicos como riolitos e traquitos, estes estão raramente presentes nos estratos basais do Membro Papanduvinha, mas se tornam mais abundantes em direção a estratos mais jovens em toda a bacia, ocorrendo principalmente no arcabouço dos conglomerados e em arenitos no final da sedimentação do Membro São Bento do Sul e no Membro Rio do Bugre, verificar com o comportamento vulcânicas félsicas em (Figura 14B e 15), e posicionamento das estações P2B, P9 e P9C em relação PC2 (Figura 15).

Essa característica pode estar relacionada a não exposição dos correlatos plutônicos das áreas fontes, porém quando se observa a geologia nas adjacências da bacia, não ocorre vulcanismo félsico preservado, além daquele associado com o preenchimento da bacia, o que indica que o vulcanismo associado com a abertura da bacia seja um bom candidato para fonte de sedimento, no que contraria a hipótese de Citroni (1998) e Citroni *et al.* (2001), em que associa todos os fragmentos vulcânicos presentes derivados dos edifícios vulcânicos associados aos granitos da Suíte Granítica Calcio-Alcalina Rio-Piên.

Quando se insere dados de paleocorrentes de noroeste para sul-sudeste (Figura 17A) e oeste para nordeste (Figura 17B) surge a possibilidade do próprio vulcanismo da bacia seja uma das áreas-fonte para os fragmentos vulcânicos félsicos presentes na bacia, e possivelmente parcela seja proveniente das manifestações magmáticas Serra do Mar e arredores (Kaul 1997), entretanto os fragmentos presentes na faixa oeste da bacia devem estar relacionados às rochas vulcânicas nas adjacências da borda oeste da bacia, estes corpos associados ao evento magmático da Bacia de Campo Alegre. Com a existência de pequenos corpos graníticos a oeste da Bacia de Campo Alegre, como o Granito Serra Alta (Kaul 1997), Granito Saltinho e Bruaca (Iglesias *et al.* 2011) de forte carácter alcalino, saturados em potássio, e a existência de fragmentos de granitos com mineralogia típica da série alcalina saturados em potássio junto às vulcânicas na borda oeste da bacia, (Figura 15 e 14B), surge a possibilidade de uma parcela dos fragmentos vulcânicos félsicos possam ter vindo de correlatos vulcânicos exumados desses corpos.

Dentre os fragmentos líticos presentes os de origem vulcânica são de maior complexibilidade (Garzanti 2017a), dos quais é difícil distinguir a real origem do fragmento, se está realmente associado ao vulcanismo intrabacia, ou a corpos vulcânicos adjacentes existentes anteriores a formação da bacia. No entanto, o predomínio de fragmentos vulcânicos básicos-intermediários compondo os arenitos do Mb São Bento Sul, como já relatado por Queiroz-Valle (2016), juntamente a rara ocorrência de fragmentos vulcânicos félsicos nos arenitos nos estratos jovens, e a abundância crescente no arcação dos conglomerados em direção ao topo da unidade, como já discutido anteriormente, somados a inexistência de clastos de riolito ou traquito nos estratos basais da Formação Bateias, indicam pouco retrabalhamento do sedimento, pouco transporte e fonte de sedimento em fases finais da sedimentação.

Estas particularidades, junto a eventuais picos neoproterozóicos de zircão detrítico em estratos mais jovens obtidos por Queiroz-Valle *et al.* (2019) aventam a possibilidade do vulcanismo associado com a gênese da bacia seja área fonte secundária, e assim viabilizando a hipótese de vulcanismo intrabacia concomitante a sedimentação da bacia.

Quando se observa a alteração hidrotermal presente nos conglomerados e arenitos, junto a cimentação diferenciada e a presença de veios de calcita no Mb São Bento do Sul reforçam a hipótese da influência vulcânica durante a sedimentação e diagênese da Formação Bateias

### 5.3 CONTEXTO TECTÔNICO E SEDIMENTAÇÃO

O transporte de sedimento associado a leques aluvionares consiste, normalmente, o primeiro ciclo de sedimentação após a erosão da área fonte, sem mudanças significativas impostas pelo retrabalhamento do sedimento (Blair & McPherson 2009). O principal controle da composição dos sedimentos é a composição da rocha mãe, e quando inseridas em climas áridos (aplicado a bacia de idade pré-vegetação) com relevo acidentado, a composição dos sedimentos corresponde diretamente a área fonte (Johnsson 1993). Portanto, sob essas condições a composição do fragmento lítico será considerada igual ou similar da sua respectiva rocha fonte, como sugerido por Potter *et al.* (2001) e Garzanti *et al.* (2003).

O preenchimento da bacia de Campo Alegre apresenta uma complexa variação na proveniência sedimentar, com as principais faixas de acesso do sedimento localizadas nas bordas norte e oeste da bacia, como indicado pela direção de paleocorrentes, preferencialmente para leste-sudeste e o padrão gradacional do registro sedimentar para sul e sudeste da bacia.

Citroni (1998) e Citroni *et al.* (2001) haviam sugerido a região situada a norte da bacia como topograficamente mais alta, designando como ombreira da bacia, e relata a presença de falhas nesta região. Ao relacionar o preenchimento da bacia com as falhas de borda, os quais permitiram a formação dos leques aluvionares, junto a dissecação da cadeia montanhosa situada a norte da Bacia de Campo Alegre, o modelo proposto por Blair & Bilodeau (1988) parece adequado para a bacia. Onde o autor descreve aumento instantâneo da taxa de subsidência durante eventos de atividade tectônica, com um incremento tardio do aporte sedimentar devido a denudação dos terrenos

soerguidos. Marconato (2010) em estudo na Bacia Camaquã, sugere que as cunhas clásticas destas bacias devem ser interpretadas como consequência tardia da atividade tectônica.

Em ambas bordas da bacia ocorrem o aumento de variabilidade litológica que compõe o arcabouço nos estratos mais jovens. Na base do empilhamento há o predomínio de três litotipos com ocorrência subordinada dos demais, ou mesmo a inexistência, ascendendo na estratigrafia percebe-se o surgimento progressivo de novas litologias compondo as rochas sedimentares, simultaneamente com a perda do domínio de dioritos e granodioritos no preenchimento da bacia. O modelo é evidente quando se observa o padrão de PC1 (Figura 14B), e a disposição das estações em relação a PC1 no *biplot* (Figura 15).

O comportamento inicial de área fonte restrita, no qual se tornou extenso, de forma gradativa, sugere expansão da bacia de captação, onde a rede de drenagens alcança maiores dimensões e novos domínios geológicos como áreas fonte de sedimento, no que sugere aumento da área de subsidência da bacia de Campo Alegre. Nesse contexto é gerado um cenário topográfico com a formação de um vale, este mantido tectonicamente, e a simultânea dissecação generalizada dos terrenos soerguidos a norte e oeste da bacia, modelo similar ao proposto por Webb *et al.* (1987) e Florsheim (2004) para *Colorado basin* - Arizona e *Navarro basin* – California respectivamente.

O comportamento dos arenitos da Formação Bateias conta com o aumento de maturidade textural, mineralógica em direção ao topo da estratigrafia e de norte/oeste para leste/sudeste, similar ao proposto por Queiroz-Valle *et al.* (2019). A maturidade textural e mineralógica também aumentou na medida em que as amostras foram obtidas em fácies proximais para distais, o conjunto dessas informações, somados às paleocorrentes (Figura 17A e B) e aos dados composicionais (Figura 15) sugerem o incremento de retrabalhamento e afastamento em relação a área fonte de noroeste, oeste para leste, sudeste e o para o topo da estratigrafia.

A inexistência do Membro Papanduvinha na faixa oeste, representante mais basal da Formação Bateias, deve estar ligada a sedimentação inicial restrita na fronteira norte da bacia, hipótese já levantada por Citroni *et al.* (2001). Ou a possibilidade de o registro sedimentar ter sido apagado por processos erosivos como

proposto por Vasconcellos *et al.* (1999), onde pressupõem exposição cerca de 260-300Ma até o início do Permiano, quando foi recoberta pelo mar, que proporcionou o início da sedimentação do Grupo Itararé. Segundo a autora é muito difícil avaliar quais as modificações intempéricas e a erosão que foram impostas às rochas da Bacia de Campo Alegre nesse período e também propõe a exumação recente de poucos Ma para as rochas da bacia que as condicionou a conformação da superfície atual. O caráter similar de proveniência sedimentar restrita dos estratos basais do Mb. São Bento do Sul situados na faixa oeste e do Mb Papanduvinha, ver relação das estações com a componente PC1 (Figura 14A), sugere que o preenchimento das unidades ocorreram em fases distintas e que não tenha havido sedimentação anterior a Formação do Membro São Bento Sul na faixa oeste, em conformidade com a proposta sedimentação restrita na fronteira norte de Citroni *et al.* (2001).

Também é marcante a dissimilaridade da abundância composicional de estratos basais do Membro São Bento do Sul entre a fronteira norte-nordeste e oeste da bacia, onde a faixa norte conta com grande diversidade litológica em todo o membro, concomitante a baixa variabilidade litológica constituindo corpos basais da faixa oeste, este último obtendo maior variabilidade litológica apenas em estratos mais jovens (Figura 14A). Tal comportamento na variação de proveniência sedimentar manifesta a favor da sedimentação tardia na faixa oeste em relação ao norte da bacia, provavelmente associado com bacias de drenagens com dimensões distintas entre a borda oeste e norte-nordeste, este último com bacia de alimentação contando com ampla áreas fonte desde o início da sedimentação do Mb São Bento do Sul, e a extremidade oeste apenas posteriormente.

## **6. MODELO DE EVOLUÇÃO PARA O PREENCHIMENTO SEDIMENTAR DA BACIA DE CAMPO ALEGRE**

Com base nas questões levantadas nas discussões acima e dados apresentados em resultados foi possível levantar uma proposta para evolução do preenchimento sedimentar da Bacia de Campo Alegre em pelo menos 3 fases, denominada fase restrita, fase abertura e fase ampla.

*Fase bacia restrita* - Subsidência inicial associada à tectônica tardi-colisional dos Terrenos Luís Alves e Curitiba, no qual viabilizou o preenchimento tardio, devido à dissecação dos terrenos soerguidos situados a norte da Bacia de Campo Alegre. A

sedimentação foi restrita a faixa norte, compreendido restritamente à sedimentação do Membro Papanduvinha. Esta primeira fase contou com uma bacia de drenagem restrita associada à instalação inicial de leques aluvionares com o predomínio de processos gravitacionais, estes depósitos contavam com pouca variedade de áreas fontes, limitados ao próprio embasamento paleoproterozóico a arqueano e ao arco magmático Rio Piên (Figura 18A).

*Fase transicional* – Se caracteriza pelo início da sedimentação tardia na faixa oeste, originando o Membro São Bento do Sul, contando com reduzida faixa fonte de sedimento, concomitantemente a fronteira norte assume comportamento de uma bacia extensa, contando com uma abrangente variabilidade litológica preenchendo o Membro São Bento na região. Essa fase conta com dissecação do arco vulcânico a norte da bacia, e seus correlatos plutônicos começam a constituir os componentes detríticos. Nesse período o sistema de leque aluvionar preenche ambas fronteiras da bacia, porém com rede de drenagem de dimensões distintas, onde processos fluviais começam a ganhar importância, associado a processos gravitacionais (Figura 18B).

*Fase bacia abrangente* - Se configura pela ampliação da rede de drenagens, e ampliação do sistema de leques aluvionares, onde o sistema de alimentação da bacia se sobrepõem, nesse momento ocorre a sedimentação dos membros São Bento do Sul e Rio do Bugre, e ocorre o início da contribuição de sedimento de composição félsica associado ao magmatismo da bacia, possivelmente com contribuição intrabacia, e início do vulcanismo inicial intrabacia, que encerra a sedimentação terrígena da bacia (Figura 18C).

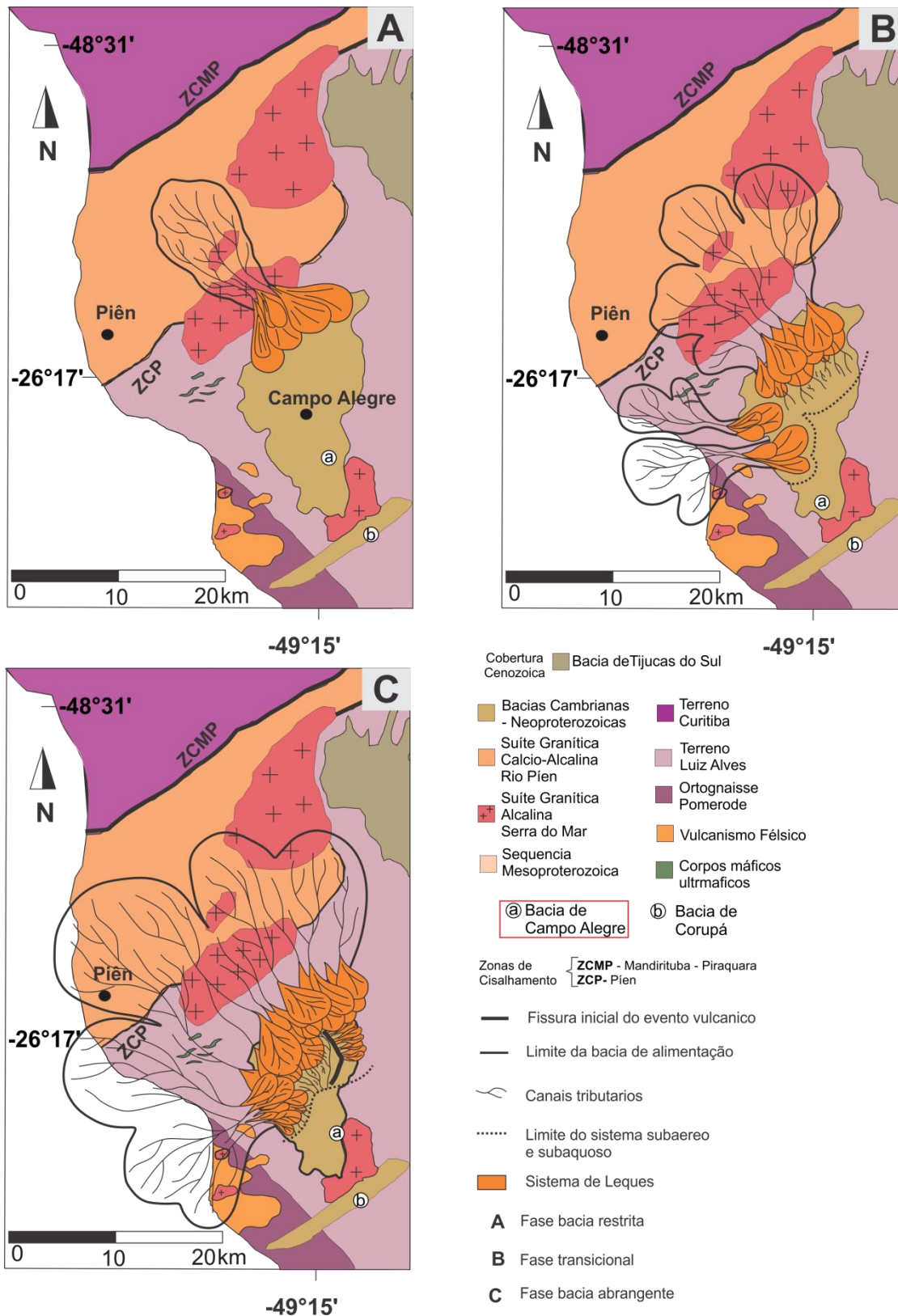


Figura 18 – Ilustração dos três padrões no qual se sucedeu o preenchimento basal da Bacia de Campo Alegre. A) Primeira fase de preenchimento da bacia, com rede de drenagem tributários limitada e sedimentação inicial restrita na faixa norte. B) Início da sedimentação na faixa oeste com bacia de alimentação restrita, concomitante faixa norte conta com ampliação da bacia de captação. C) Sobreposição das redes tributarias entre as faixas oeste e norte, ampliação do sistema de leques, início da contribuição autóctone com o início do evento de vulcanismo o qual cercará a sedimentação terrígena basal.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de diversos métodos de análise de proveniências se mostrou muito eficaz e de grande importância para a determinação das hipóteses para a evolução da sedimentação basal da bacia, estes aplicados de forma integrada ajudou a clarificar as variações de proveniência durante a história de preenchimento da bacia. Estes métodos usados de modo isolado não permitiriam a mesma compreensão sobre a evolução do preenchimento. Em resumo o uso da análise de proveniência integrada permitiu compreender a variação temporal e espacial do preenchimento, identificar as principais unidades fonte de sedimento, o comportamento do preenchimento, o ambiente de sedimentação, as principais rotas de acesso, compreender a dimensão relativa das bacias de drenagens, identificar os principais altos topográficos adjacentes a bacia, além de inferências sobre a relação temporal entre o vulcanismo e o preenchimento sedimentar e a paleogeografia.

A utilização da estatística multivariada também se mostrou notável, pois sua utilização para a integração de dados de diversas naturezas se mostrou competente, capaz de clarificar as relações entre os elementos com o mínimo de perda de informação. A estatística também permitiu se desvincular o uso excessivo de subjetividade na organização e classificação dos dados, que é muito comum no uso das geociências. Deixando a subjetividade restrito apenas na determinação dos componentes que serão introduzidos no método previamente determinado e na interpretação final após o tratamento estatístico.

Como uso da estatística multivariada para integração dos dados obteve êxito, indica-se a sua utilização para outras vertentes dentro do ramo das geociências, muitas vezes negligenciado sua importância apenas pela falta de conhecimento do seu real crédito no uso de tratamento de dados com excelência.

## REFERÊNCIAS

- Aitchison J. 1986. *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Chapman and Hall, London 696p.
- Aitchison J. & Greenacre M. 2002. Biplots of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society*, **51**: 375-392.
- Albuquerque L.F.F., Arioli E.E., Dias A.D.A, Kirchner C.A. 1971. Geologia das quadrículas de Blumenau e Joinville, SC. Porto Alegre DNPM/CPRM, 101p.
- Almeida R.P., Janikian L., Fragoso-Cesar A.R.S., & Fambrini G.L. 2010. The Ediacaran to Cambrian rift system of Southeastern South America: tectonic implications. *The journal of Geology*, **118**: 145-161
- Almeida F.F.M., Hasui Y., de Brito Neves B.B., & Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, **17**: 1-29.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **7**: 349-364.
- Anderson T.W. 2003. *An introduction to multivariate statistical analysis*. Wiley, New York, 6 ed. 374p.
- Assine M.L. 2008. Ambientes de leques aluviais. In: *Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil*. Paulo: Beca, 52-72p.
- Barão L.M., Trzaskos B., Vesely F.F., Castro L.G., Ferreira F.J.F., Vasconcellos E.M.G., Barbosa T.C. 2017. The role of post-collisional strike-slip tectonics in the geological evolution of the late Neoproterozoic volcano-sedimentary Guaratubinha Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **80**: 29-46 <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.09.014>
- Basei M.A.S., Siga Jr O., Reis Neto J.M. 1990. O Batólito Paranaguá. Proposição, idade, considerações petrogenéticas e implicações tectônicas. In: Cong. Bras. Geol., 36. Natal. *Anais*, SBG, Natal, **4**: 1684-1699.

Basei M.A., Siga Jr. O., Machiavelli A., & Mancini F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Revista Brasileira de Geociências*, **22**: 216-221.

Basei M.A.S., Siga Jr, O., Masquelin H., Harara O. M., Reis Neto J. M., & Preciozzi F. 2000. The Dom Feliciano Belt of Brazil and Uruguay and its Foreland Domain the Rio de la Plata Craton: framework, tectonic evolution and correlation with similar provinces of Southwestern Africa. *Tectonic Evolution of South America*, **1**: 311-334.

Basei M.A., Nutman A., Júnior O.S., Passarelli C.R., & Drukas C.O. 2009. The Evolution and Tectonic Setting of the Luís Alves Microplate of Southeastern Brazil: An Exotic Terrane during the Assembly of Western Gondwana. *Developments in Precambrian Geology*, **16**: 273-291.

Bernet M., Kapoutsos D., & Bassett K. 2007. Diagenesis and provenance of Silurian quartz arenites in south-eastern New York State. *Sedimentary Geology*, **201**: 43-55.

Blair T. & Bilodeau W. 1988. Development of tectonic cyclothems in rift, pull-apart and forland basins; sedimentary response to episodic tectonism. *Geology*, **16**: 517-520.

Blair T.C., McPherson J.G. 1994a. Alluvial fan processes and forms. In: Abrahams A. D. Pearsons A. (Eds). *Geomorphology of desert environments*. Chapman Hall, London, 354-402p.

Blair T.C., McPherson J.G. 1994b. Alluvial fans and their natural distinction from rives based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies. *Journal of Sedimentary Research* **64**: 451-490.

Blair T.C., & McPherson J.G. 2009. Processes and forms of alluvial fans. In: *Geomorphology of desert environments*. Springer, Dordrecht. 413-467p.

Campanha G.A.C., Gimenes Filho A. Sadowski G.R. 1994. Tectônica da Faixa Ribeira. In Congr. Bras. Geol., 38, Camboriú. *Bol. De Resumos Expandidos*, SBG, Camboriú, **1**: 271-272.

Citroni S.B., Basei M.A., Siga Jr. O., & Reis Neto, J.M. 2001. Volcanism and stratigraphy of the Neoproterozoic Campo Alegre basin, SC, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **73**: 581-597.

- Citroni S.B. 1998. Bacia de Campo Alegre (SC) – Aspectos petrológicos, estratigráficos e caracterização geotectônica. Tese de Doutorado, *Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo*, 185p.
- Chayes F. 1960. On correlation between variables of constant sum. *Journal of Geophysical Research*, **65**: 4185-4193.
- Christofoletti A. 1981. *Geomorfologia fluvial*. EdgarBlücher. São Paulo, 313p
- Cury L.F. 2009. Geologia do Terreno Paranaguá. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo, 186p.
- Daitx, E.C. 1979. Contribuição ao conhecimento geológico dos depósitos molássicos relacionados à Região de Dobramentos Sudeste: 1 – Bacia de Campo Alegre, SC. In *atas 2 Simpósio Regional de Geol, Rio Claro. SBG, Rio Claro*, **1**:131-146.
- Daitx E.C. e Carvalho, M.A.S. 1980. Projeto geoquímico na área de Guaratubinha-Piên. Conv. DNPM-CPRM, 184p. Relatório final.
- Davis J.C. 2002. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons, New Jersey, 3rd Edition, 656p.
- Dickinson W.R. 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose": *Journal of Sedimentary Petrology*, **40**: 695–707.
- Dickinson W.R. 1980. Plate tectonics and petrologic associations. In: strangwaw, d.w (ed.). The Continental Crust and its mineral deposits. *Geological Association of Canada Special Paper*, **20**: 341-360.
- Dickinson W.R., Suczek C.A. 1979. Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **63**: 2164-2172
- Dickinson W.R., Beard L.S., Brakenridge G.R., Erjavec J.L., Ferguson R.C., Inman K.F., & Ryberg P. T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, **94**: 222-235.
- Dickinson W.R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: *Provenance of arenites*, Springer Netherlands, 333-361p.

Duarte, J.B. 1998. Introdução à Análise de Componentes Principais. Com aplicação do SAS - Statistical Analysis System. Universidade Federal de Goiás, 1-23p. Apostila didática.

Ebert H. 1971. O Grupo Guaratubinha no norte do estado de Santa Catarina. In: Congr. Bras., Geol., 25, São Paulo. *Anais*, SBG, **25**:147-165.

Ebert H & Brochini M.F. 1971. A Formação Campo Alegre, Santa Catarina. In: Congr. Bras. Geol., 25, São Paulo. *Bol. De Resumos*, SBG, **25**:181-182.

Feng C., Wang H., Lu N., Chen T., He H., Lu Y., and Tu X. M. 2014. Log-Transformation and Its Implications for Data Analysis. *Shanghai Archives of Psychiatry*, **26**, 105–109.

Ferreira P.L. 2000. Estatística multivariada aplicada. Dissertação de pós-graduação, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Portugal, 113p.

Figueiredo M.C.H., Basei M.A.S., Mantovani M.S.M e Fryer, B.J. 1991. O Complexo Granulítico de Santa Catarina: um arco insular arqueano?. *Boletim IG-USP*, Publicação Especial, **9**: 35-40.

Florsheim J.L. 2004. Side-valley tributary fans in high-energy river floodplain environments: sediment sources and depositional processes, Navarro River basin, California. *Geological Society of American Bulletin* **116**: 923-937.

Garzanti E., Andò S., Vezzoli G., & Dell'era D. 2003. From rifted margins to foreland basins: investigating provenance and sediment dispersal across desert Arabia (Oman, UAE). *Journal of Sedimentary Research*, **73**: 572-588.

Garzanti E. 2016. From static to dynamic provenance analysis – sedimentary petrology upgraded. *Sedimentary Geology*, **336**: 3-13.

Garzanti E., Radeff G., & Malusà M.G. 2017a. Slab breakoff: A critical appraisal of a geological theory as applied in space and time. *Earth-Science Reviews*, **177**: 303-319.

Garzanti E., Limonta M., Vezzoli G., An W., Wang J., & Hu X. 2018c. Petrology and multimineral fingerprinting of modern sand generated from a dissected magmatic arc

(Lhasa River, Tibet). In: Ingersoll R.V., Lawton T.F., Graham S.A. *Tectonics, Sedimentary Basins, and Provenance: A Celebration of William R. Dickinson's Career*, Geological Society of America Paper, 197-221p.

Garzanti E. 2019. Petrographic classification of sand and sandstone. *Earth-science reviews*, **192**: 545-563.

Gazzi P. 1966. "Le Arenarie del Flysch Sopracretaceo dell'Appennino Modenese: Correlazioni con il Flysch di Monghidoro". *Mineralogica e Petrografica Acta* **12**: 69-97.

Guerra A.T., & Guerra A.J.T. 1997. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 642p.

Girardi V.A.V. 1974. Petrologia do Complexo Básico-Ultrabásico de Piên - PR. Tese de Livre Docência apresentada ao instituto de Geociências -USP, 146p. Inédito.

Girardi, V.A.V. 1976. Geologia e petrologia do Complexo Básico-Ultrabásico de Piên - Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **6**: 109-124.

Girardi V.A.V. e Ulbrich H.H.G.J. 1980. Origin and evolution of the Piên Mafic-Ultramafic Complex, southern Brazil. *Journal Of Geology*, **88**: 251-269.

Hair J.R. 2005 *Análise multivariada de dados*. Trad. Adonai S. Sant'Anna e Anselmo C. Neto. 5 ed. Bookman, Porto Alegre, 687p.

Harara O.M. 1996. Análise estrutural, metrológica e geocronológica dos litotipos da região de Piên (PR) e adjacências. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 196p.

Harara O. M. M. 2001. *Mapeamento e Investigação Petrológica e Geocronológica dos Litotipos da Região do Alto Rio Negro (PR-SC): um exemplo de sucessivas e distintas atividades magmáticas durante o Neoproterozóico III*. Dissertação de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 244p.

Hartmann L.A., Silva L.C e Orlandi Filho V. 1979. O Complexo Granulítico de Santa Catarina, Descrição e implicações genéticas. *Acta Geológica Leopoldensia*, **3**: 93-112.

Harvey A.M. 2005. Differential effects of base-level, tectonic setting and climatic change on Quaternary alluvial fans in the northern Great Basin, Nevada, USA. In: Harvey A., Mather A.E., Stokes M. *Alluvial fans: Geomorphology, sedimentology, dynamics*. Geological Society, Special Publication, 117-131p.

Hotelling H.1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of educational psychology*, **24**: 417.

Ingersoll R.V., & Eastmond D.J. 2007. Composition of modern sand from the Sierra Nevada, California, USA: implications for actualistic petrofacies of continental-margin magmatic arcs. *Journal of Sedimentary Research*, **77**: 784-796.

Iglesias C.M.D.F., Zeffass H., Silva M.A.S.D., & Klein C. 2011. Geologia e recursos minerais da folha Joinville - SG.22-Z-B: estado de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM, 106 p. 1 mapa, color. Escala 1:250.000.

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

Kaul P.F.T. 1997. *O magmatismo na Serra do mar e Adjacências (Sul do Brasil) no final do Proterozoico e seus condicionantes tectônicos*. Tese de doutorado. Pós-Graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, 292p.

Kaul P.F.T. & Teixeira W. 1982. Archean and Early Proterozoic complexes of Santa Catarina, Paraná and São Paulo states, southeastern Brazil: an outline of their geological evolution. In International Symposium on Archean and Early Proterozoic geological evolution and metalogeneses - ISAP. *Anais, Revista Brasileira de Geociências*. **14**:172-182.

Kubrusly L.S. 2001. Um procedimento para calcular índices a partir de uma base de dados multivariados. *Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, **21**: 107-117.

Lowe D.R. 1979. Sediment gravity flows: their classification and some problems of application to natural flows and deposits. *Geology of Continental Slopes*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Special Publication, **27**: 75-82.

Machiavelli A. 1991. Os granitoides deformados da região de Piên (PR): um provável arco magmático do proterozóico superior. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 89p.

Machiavelli A, Basei M.A.S. & Siga Jr. O. 1993. Suíte granítica Rio Piên (PR): um provável arco magmático do Proterozóico Superior da Microplaca Curitiba. *Geochimica Brasiliensis*, **7**: 113-129.

Magnusson W.E., Mourão G. 2003. *Estatística sem matemática*. Editora Londrina Planta, Londrina PR, 137p.

Malhotra N. 2006. *Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada*. Trad. Laura Bocco. 4 ed. Porto Alegre: Bookman. 720p.

Marconato A., Almeida R.P., Santos M.G.M., Nóbrega J.E.S. & Souza R.B. 2009. Alluvial-eolian interaction in a Cambrian rift margin: the Pedra das Torrinhas and Pedra Pintada formations (Guaritas Group, RS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **81**: 819-836.

Marconato A. 2010. *A influência da evolução de altos estruturais em sucessões aluviais: exemplos do Ediacarano e do Cambriano da Bacia Camaquã (RS)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 72p.

Marini O.J. 1970. Geologia da Folha de Rio Branco do Sul (PR). *Rio Claro*, 190p.

Messias R.M. 2016. *Transformações em dados composicionais para a aplicação da análise de componentes principais*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 133p.

Miall A.D. 1990. *Principles of sedimentary basin analysis*. Springer-Verlag, New York 2nd, 668p.

Miall A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer-Verlag, Berlim, 582 p.

Miall A.D. 2000. *Principles of sedimentary and basin analysis*. Springer-Verlag, New York, 3rd, 609p.

Muratori A., Trein E., Fuck R.A. 1969a. Folha geológica Pedra Branca de Araraquara. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná, escala 1:70.000.

Najman Y. 2006. The denritial record of orogenesis: a review of approaches and techniques used in the Himalayan sedimentar basins. *Earth-Science Reviews*, **74**: 1-72.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.04.004>

Nemec W., & Steel R. 1984. Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits. In: E. H. Koster and R.J. Steal (Editors), *Sedimentology of Gravels and Conglomerates*, Mem. Canadian Society of Petroleum Geologists, 1-31p.

Neto M.M.J. 2004. Estatística multivariada. *Revista de Filosofia e Ensino*. 9 maio 2004. Disponível em: [http://www.criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://www.criticanarede.com/cien_estatistica.html). Acesso em: 19 junho 2019.

Passchier C. W., & Trouw R. A. 2005. *Microtectonics*. Springer Science & Business Media, 366p.

Pawlowsky-Glahn V. & Buccianti A. 2002. Visualization and modeling of sub-populations of compositional data: statistical methods illustrated by means of geochemical data from fumarolic fluids. *International Journal of Earth Sciences*, **91**:357–68.

Pawlowsky-Glahn V., & Egozcue J.J. 2006. Compositional data and their analysis: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, **264**: 1-10.

Pearson K. 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution. - on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Procedings of the Royal Society of London*, **60**: 489-498.

Pettijohn F.J., Potter P.E., Silver R. 1987. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York 2nd, 553p.

Philippeau G. & Philippeau G. 1986. *Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales?*. Paris, Institut technique des céréales et des fourrages ITCF. 63p.

Potter P.E., Huh Y. Edmond J.M. 2001. Deep-freeze petrology of Lena River sand, Siberia. *Geology*, **29**: 999-1002.

Queiroz-Valle F.R. 2016. Estudos petrográficos e geocronológicos aplicados à proveniência: Formação Bateias – Bacia de Campo Alegre -SC. Monografia de Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 51p.

Queiroz-Valle F.R., Basei M.A.S., Lino L.M. 2019. Petrography and detrital zircon U-Pb geochronology of sedimentary rocks of the Campo Alegre Basin, Southern Brazil: implications for Gondwana assembly. *Brazilian Journal of Geology*, **1**:49.

Rao C.R. 1999. *Statistics: A technology for the millennium Internal. J. Math. & Statist. Sci*, Vol. 8, 187p.

Regazzi A.J. 2001. Análise multivariada. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa. 166 p. Apostila de disciplina

Reis E. 2001. *Estatística Multivariada Aplicada*. 2ª edição. Edições Sílabo. Lisboa, 344p.

Remus M.V.D., Souza R.S., Cupertino J.A., De Ros L.F., Dani N., & Vignol-Lelarge M.L. 2008. Proveniência sedimentar: métodos e técnicas analíticas aplicadas. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**:166-185.

Ricomini C., Almeida R.P.D., Giannini P.C.F., & Mancini F. 2009. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In *decifrando A Terra*. 2.ed. São Paulo. Companhia Editora Nacional, 306-333 p.

Seidel E.J., Júnior F.D.J.M., Ansuji A.P., & Noal M.R.C.N.C. 2008. Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. *Ciência e Natura*, **30**: 07-15.

Selley R.C. 1978. *Ancient Sedimentary Environments*. Chapman and Hall, London, 287p.

Siga Jr. O. 1995. Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e Evolução Crustal. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências-USP, 212p. Inédito.

Siga Jr. O., Basei M.A.S., Sato K., Citroni S.B., Reis Neto J.M.D., Weber W., & Sproesser W.M. 1999. Post-orogenic magmatism and sedimentation in neoproterozoic extensional regimes in the Brazilian southern region. In: South American Symposium on Isotope Geology., 2, Cordoba, *Actas*, Secretaria de Minería de la Nación, Cordoba, **2**:367-370.

Silva L.C., McNaughton N.J., Armstrong R., Hartmann L.A., & Fletcher I.R. 2005. The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, **136**: 203-240.

Soares R.M.C 1975. Petrologia do complexo máfico-ultramáfico de Barra Velha, SC. Tese de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências-USP, 75p.

Souza Sampaio, N.A., & de Moraes Danelon, M.C.T. 2013. Aplicações da Estatística nas Ciências. Disponível em: <https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/64.pdf>. Acesso em: 19.10.2019.

Stainstreet I.G., McCarthy T.S. 1993. The Okavango Fan and the classification of subaerial fan systems. *Sediment Geology*, **85**:115–133

Streckeisen A. 1967. "To each plutonic rock its proper name." *Earth-science reviews*, **12**: 1-33.

Suguio K. 2003. *Geologia sedimentar*. Edgard Blücher, São Paulo, 400p.

Toniolo J.A., Souza M.B.G. Metalogenia das bacias neoproterozoico-eopaleozoicas do sul do Brasil: estado de Santa Catarina: Bacias de Itajaí, de Campo Alegre e Corupá. Porto Alegre: CPRM, 2015. Informe de Recursos Minerais, Série Metais: informes gerais, 3.

Trein E., Muratori A., Basumallick S., Fuck R.A., Marini O.J., Dairiki J., Dairiki M. 1969b. Folha geológica de Piên. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná, escala 1:70.000.

Trein E., Fuck R.A., Muratori A. 1969b. Folha geológica de Tijucas do Sul. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná, escala 1:70.0000.

Valiati D. 1974. Projeto Sondagem Campo Alegre/74: relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2 v.

Vasconcellos E.M.G., Biondi J.C., & Vanzela G.A. 1999. Geoquímica das rochas vulcânicas associadas às minas de caulim da Bacia de Campo Alegre (SC). *Geochimica Brasiliensis*, **13**: 183-197.

Verhaegen J., Weltje G.J., & Munsterman, D. 2018. Workflow for analysis of compositional data in sedimentary petrology: provenance changes in sedimentary basins from spatio-temporal variation in heavy-mineral assemblages. *Geological Magazine*, **156**: 1111-1130.

Vernon R. H. 2004. *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge university press. 594p.

Vermeesch P., & Garzanti E. 2015. Making geological sense of 'Big Data' in sedimentary provenance analysis. *Chemical Geology*, **409**: 20-27.

Vicini L. 2005. *Análise multivariada da teoria à prática*. Monografia de especialização. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM-Santa Maria, 215p.

Vilalva F. C., & Vlach S. R. 2014. Geology, petrography and geochemistry of the A-type granites from the Morro Redondo Complex (PR-SC), southern Brazil, Graciosa Province. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **86**: 85-116.

Waichel B.L. 1998. Caracterização Geoquímica das Rochas Vulcânicas da Bacia de Campo Alegre, SC. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 114p.

Waichel B.L., de Lima E.F., & Sommer C.A. 2000. The alkaline post-collisional volcanism of the Campo Alegre Basin, southern Brazil: petrogenetic aspects. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**: 393-396

Webb R.H. Pringle P.T Rink G.R. 1987. Debris flows from tributaries of Colorado River, Grand Canyon National Park, Arizona. U.S. Geological Survey Open-File Report **1492**: 87-118. <https://doi.org/10.3133/pp1492>

Weltje G.J. & Brommer M.B. 2011. Sediment-budget modelling of multi-sourced basin fills: application to recent deposits of the western Adriatic mud wedge (Italy). *Basin Research*, **23**:291–308.

Wernick, E. 2004. *Rochas magmáticas conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica*. Editora UNESP, 655p.

Zuffa G.G. (Ed.). 2013. *Provenance of arenites*. Springer Science & Business Media, 140p.