

Dissertação de Mestrado

Magnetoestratigrafia da Bacia Bauru (Cretáceo) nos estados de São Paulo e Paraná

Malena Sandim Bispo

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Scardia

Coorientador: Prof. Dr. Alessandro Batezelli

Rio Claro (SP)

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus Rio Claro

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente

MALENA SANDIM BISPO

MAGNETOESTRATIGRAFIA DA BACIA BAURU (CRETÁCEO) NOS ESTADOS DE SÃO PAULO E PARANÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Giancarlo Scardia

Coorientador: Alessandro Batezelli

Rio Claro – SP

2023

B622m Bispo, Malena Sandim
 Magnetoestratigrafia da Bacia Bauru (Cretáceo) nos estados
 de São Paulo e Paraná / Malena Sandim Bispo. -- Rio Claro,
 2023
 93 p. : tabs., fotos, mapas

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
 (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
 Orientador: Giancarlo Scardia
 Coorientador: Alessandro Batezelli

 1. Paleomagnetismo. 2. Estratigrafia. 3. Bacia Bauru. 4.
 Cronoestratigrafia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus Rio Claro

MALENA SANDIM BISPO

MAGNETOESTRATIGRAFIA DA BACIA BAURU (CRETÁCEO) NOS ESTADOS DE SÃO PAULO E PARANÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Giancarlo Scardia (orientador)

IGCE / UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Gelvam André Hartmann

IG / UNICAMP/Campinas (SP)

Profa. Dra. Leidy Alexandra Delgado Blanco

Instituto Colombiano del Petróleo / Piedecuesta – Colômbia

Conceito: Aprovada.

Rio Claro/SP, 30 de abril de 2023

AGRADECIMENTOS

A autora agradece o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de P, D&I da Resolução ANP nº 50/2015.

RESUMO

A magnetoestratigrafia é uma importante ferramenta de correlação estratigráfica e datação por se basear nas alternâncias de polaridade do campo geomagnético que ocorreram globalmente ao longo do tempo geológico. A investigação apresentada nessa dissertação busca refinar a cronoestratigrafia da Bacia Bauru, uma bacia presente na porção sudeste do Brasil e com idade estimada do Cretáceo Superior. Análises paleomagnéticas realizadas através de desmagnetização térmica e por aplicação de campos magnéticos alternados foram conduzidas em 135 amostras de 21 sítios das formações Rio Paraná (Grupo Caiuá), Santo Anastácio (Grupo Caiuá), Araçatuba (Grupo Bauru), Adamantina (Grupo Bauru) e Marília (Grupo Bauru). Também foram realizados estudos da mineralogia magnética que identificaram magnetita e hematita como principais portadores magnéticos nos sedimentos amostrados.

A integração entre a magnetoestratigrafia determinada e os dados já existentes da paleontologia e geocronologia indicam idades do Campaniano Superior (entre 79,8 e 71.4 Ma) para todo o Grupo Bauru na área estudada, sendo documentados os chrons C33n e C32.

Palavras chave: Paleomagnetismo, Estratigrafia, Bacia Bauru, Cronoestratigrafia.

ABSTRACT

Magnetostratigraphy is an important tool for stratigraphic correlation and dating as it is based on polarity alternations of the geomagnetic field that occurred globally over geological time. The investigation presented in this dissertation seeks to refine the chronostratigraphy of the Bauru Basin, a basin that is present in the southeastern portion of Brazil and with an estimated age of the Upper Cretaceous. Paleomagnetic analyzes carried out through thermal demagnetization and by application of alternating magnetic fields were conducted on 135 samples from 21 sites of the Rio Paraná (Caiuá Group), Santo Anastácio (Caiuá Group), Araçatuba (Bauru Group), Adamantina (Bauru Group) and Marília (Bauru Group). Magnetic mineralogy studies were also carried out, which identified magnetite and hematite as the main magnetic phases in the sampled sediments.

The integration between the determined magnetostratigraphy and existing data from paleontology and geochronology indicate Upper Campanian ages (between 79.8 and 71.4 Ma) for the entire Bauru Group in the studied area, within the range of the chrons C33n and C32.

Keywords: Paleomagnetism, Stratigraphy, Bauru Basin, Chronostratigraphy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa com a localização e dispersão dos pontos visitados no oeste do estado de São Paulo e noroeste do estado do Paraná. 2

Figura 2: Representação esquemática do campo geomagnético de um dipolo axial geocêntrico. Durante a polaridade normal, a inclinação é positiva (apontando para baixo) no hemisfério norte e negativa (apontando para cima) no hemisfério sul. Por outro lado, durante a polaridade inversa, a inclinação é negativa no hemisfério norte e positiva no hemisfério sul (Modificado de Langereis *et al.*, 2010). 6

Figura 3. (a) Magnetização, J , versus campo magnetizante, H , para uma substância diamagnética. A suscetibilidade magnética, c , é uma constante negativa. (b) J versus H para uma substância paramagnética. A suscetibilidade magnética, c , é uma constante positiva. (c) J versus H para uma substância ferromagnética. O caminho da magnetização exibe histerese (é irreversível), e a suscetibilidade magnética, c , não é uma constante simples (Butler, 1996). 8

Figura 4. Curva de histerese (indução magnética, B , versus campo aplicado). 12

Figura 5. Exemplos de curvas de histerese para diferentes tipos de minerais: (a) diamagnéticos; (b) paramagnéticos; (c) superparamagnéticos (vidro basáltico submarino); (d) uniaxiais, domínio único; (e) magnetocristalinos, domínio único; (f) pseudodomínio único. Exemplos de curvas de histerese para misturas de vários minerais: (g) magnetita e hematita; (h) magnetita domínio único e magnetita superparamagnética; (i) magnetita domínio único e magnetita superparamagnética. Grãos multidomínio apresentam baixos campos coercitivos e grãos domínio único e pseudodomínio único possuem altos campos coercitivos (Tauxe, 2005). 13

Figura 6. Evolução da escala de tempo de polaridade geomagnética Plioceno-Pleistoceno entre 1963 e 1979. Nesta e em todas as colunas de polaridade ou escalas de tempo subsequentes, intervalos pretos indicam polaridade normal e intervalos brancos indicam polaridade invertida; as referências são dadas à direita de cada escala de tempo; a nomenclatura “evento” e “época” aplicada a esta parte da escala de tempo é dada na parte inferior (McDougall, 1979 apud Butler, 1998). 18

Figura 7. Mapa com localização das seções (traço branco) em relação aos pontos visitados de afloramento (BAU 1-17 e CAIU 7). Branco = Fm. Marília; Azul = Fm. Adamantina; Vermelho = Fm. Araçatuba e Fm. Santo Anastácio. 22

Figura 8. Técnica de amostragem com broca refrigerada a água: a) amostra sendo perfurada, b) tubo com fenda não magnética (material de bronze) com uma

plataforma ajustável ao redor da amostra para medição. Gira-se a ranhura para o topo da amostra para observação do azimute e o mergulho da direção de perfuração (no afloramento) com bússola magnética (Brunton) e inclinômetro. Marca-se, então, a amostra através do slot com um fio de material não magnético. c) Extração da amostra. d) Desenha-se uma seta permanente na lateral da amostra na direção da perfuração e rotulação da amostra em uma caderneta com a devida orientação da seta (Tauxe, 2005).

.....23

Figura 9. Técnica de amostragem manual para sedimentos friáveis: a) cavar até o material fresco, b) raspar uma superfície plana, c) marcar o azimute e mergulho na amostra, d) extrair a amostra e rotulá-la (Tauxe, 2005).24

Figura 10. Tipos de formas de amostra possíveis e convenções de orientação: a) Um cilindro de um núcleo perfurado por broca, apelidada de “paçoquinha”; e b) Um cubo de sedimento lixado de uma amostra manual (Tauxe, 2005).24

Figura 11. Magnetômetro spinner portátil para medições de AF. A amostra é inserida na abertura do copo na parte superior. Ele gira, gerando uma força eletromagnética que é detectada com um fluxo circular (AGICO, 2022).26

Figura 12. Magnetômetro criogênico. A amostra é inserida na abertura das blindagens. Existem três eixos SQUIDS que detectam o momento magnético que é lido nas três caixas eletrônicas (USPMag, 2022).27

Figura 13. Evolução regional ilustrada da Bacia Bauru (Modificado de Fernandes & Ribeiro, 2015).30

Figura 14. Mapa geológico da Bacia Bauru (Batezelli, 2017).35

Figura 15. Carta cronoestratigráfica da sequência cretácea no sul do Brasil (Batezelli, 2017).36

Figura 16. Seção estratigráfica 1 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.46

Figura 17. Seção estratigráfica 2 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.46

Figura 18. Seção estratigráfica 3 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.47

Figura 19. Seção estratigráfica 4 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.47

Figura 20. Histograma com os valores de susceptibilidade magnética das amostras da Fm. Adamantina.51

Figura 21. Histograma com os valores de susceptibilidade magnética das amostras da Fm. Araçatuba.51

Figura 22. Histograma com os valores de susceptibilidade magnética das amostras da Fm. Marília.52

Figura 23. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Marília no estado de São Paulo.53

Figura 24. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Marília no estado de São Paulo.53

Figura 25. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Marília no estado de São Paulo.54

Figura 26. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Adamantina no estado de São Paulo.54

Figura 27. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Adamantina no estado de São Paulo.55

Figura 28. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Adamantina no estado de São Paulo.55

Figura 29. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica (BAU-14B) e aplicação de campos alternados (BAU-8B) plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.56

Figura 30. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.56

Figura 31. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.....57

Figura 32. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.....57

Figura 33. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.....58

Figura 34. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.....58

Figura 35. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná.....59

Figura 36. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas

amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná. Na amostra CAIU-2A e seu vetor secundário das primeiras etapas e vetor primário subsequente, onde no estereograma pode-se observar o círculo de remagnetização.....59

Figura 37. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná.....60

Figura 38. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná.....60

Figura 39. Estereograma com direções de magnetização e as médias por Fisher de cada sítio com correção de mergulho das camadas e correção geográfica. Círculos vazios e cheios indicam inclinações positivas e negativas, respectivamente.61

Figura 40. Gráfico de aquisição linear (LAP), gráfico de aquisição gradiente (GAP) e gráfico de aquisição padronizada (SAP) de duas amostras representativas da (Fm. Araçatuba (BAU-1B) e da Fm. Marília (BAU-7D)).....62

Figura 41. Diagrama (Day *et al.*, 1977) dos parâmetros de histerese Mr/Ms versus Bcr/Bc para as 9 amostras representativas da Bacia Bauru. Os pontos vermelhos indicam as amostras provenientes do Grupo Bauru, enquanto os pontos verdes indicam as amostras provenientes do Grupo Caiuá.64

Figura 42. Magnetoestratigrafia do Grupo Bauru, onde se observa uma única polaridade negativa na Formação Marília.....65

Figura 43. Escala de tempo integrada com dados da presente dissertação. (1) Gobbo-Rodrigues *et al.* (1999a); (2) Dias *et al.* (2021); (3) Castro *et al.* (2018).....68

Figura 44. Relação entre as cotas (m) e o tempo de deposição dos sedimentos em Ma.....70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela com as localidades, altitudes, unidades e número de amostras dos afloramentos (pontos) visitados (Ar = Fm. Araçatuba; Ma = Fm. Marília; Ad = Fm. Adamantina; Caiu = Grupo Caiuá)..... 3

Tabela 2. Análise de susceptibilidade magnética (K) das amostras do Grupo Bauru em ordem crescente. (Ar = Fm. Araçatuba; Ad = Fm. Adamantina; Ma = Fm. Marília).....51

Tabela 3. Contribuições em porcentagem (%), $B_{1/2}$ (força coercitiva de aquisição remanente) e DP (parâmetro de dispersão) de cada amostra analisada.63

Tabela 4. Parâmetros utilizados na confecção do diagrama de SD-MD das 9 amostras representativas da Bacia Bauru. (Mr = saturação remanente; Ms = saturação de magnetização; Bcr = coercividade remanente; Bc = coercividade).64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Área de estudo	2
1.2 Aspectos Fisiográficos	3
1.2.1 Características gerais do relevo	3
1.2.2 Clima e Vegetação	4
1.2 Objetivos e Justificativas	4
2. PALEOMAGNETISMO E MAGNETOESTRATIGRAFIA.....	5
2.1 O Campo Magnético da Terra	5
2.2 Minerais Magnéticos	8
2.3 Ciclo de Histerese	10
2.3.1 Domínios Magnéticos	10
2.3.2 Coercividade.....	10
2.3.3 Histerese	11
2.4 Tipos de Magnetização Remanente em Rochas.....	13
2.4.1 Magnetismo Remanente Natural (NRM)	13
2.4.2 Magnetismo Termorremanente (TRM).....	14
2.4.3 Magnetismo Remanente Químico (CRM).....	15
2.4.4 Magnetismo Remanente Detritico (DRM).....	15
2.4.5 Magnetismo Remanente Viscoso (VRM).....	16
2.4.6 Magnetismo Remanente Isotérmico (IRM)	16
2.5 Estratigrafia de Polaridade Magnética	16
2.5.1 Histórico.....	17
2.5.2 Princípios.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Construção de seções geológicas e definição de sítios de amostragem	21
3.2 Amostragens, Orientação de Amostras e Preparação	22
3.3 Procedimentos de Desmagnetização e Obtenção de Dados	24
3.3.1 Desmagnetizações Térmica e Aplicação de Campo Magnético Alternado..	24
3.3.4 Mineralogia Magnética	27
3.3.5 Métodos Estatísticos	28
4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	29
4.1 Bacia Bauru.....	29
4.1.1 Contexto Tectônico e Evolução da Bacia	29
4.1.2 Contexto Histórico e Evolução dos Conhecimentos Geológicos	31

4.1.3 Litoestratigrafia da Bacia Bauru.....	34
4.2 Grupo Caiuá.....	36
4.3.1 Formação Santo Anastácio	37
4.2 Grupo Bauru.....	38
4.2.1 Formação Araçatuba	38
4.2.2 Formação Adamantina	38
4.2.3 Formação Marília.....	40
5. CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA BAURU.....	41
5.1 Microfósseis	41
5.2 Datações U-Pb em zircões.....	42
5.3 Idade final.....	44
6. RESULTADOS	45
6.1 Seções Estratigráficas	45
6.2 Análise Paleomagnética	47
6.3 Mineralogia Magnética	61
6.4 Magnetoestratigrafia	65
7. DISCUSSÃO	67
8. CONCLUSÃO.....	71
7. BIBLIOGRAFIA.....	72

1. INTRODUÇÃO

O estudo das sequências sedimentares da Bacia Bauru teve início com a descoberta de uma unidade formada por arenitos vermelhos próximo ao município de Bauru, no Estado de São Paulo (Campos, 1905). Esses arenitos mais tarde se tornaram famosos por conter uma das maiores ocorrências fósseis do Cretáceo no Brasil. Apesar do interesse paleontológico, pouco se avançou no entendimento sedimentar desses arenitos até o início da década de 1980, quando após campanhas de mapeamento geológico serval no oeste do estado de São Paulo foi possível estabelecer uma primeira subdivisão estratigráfica formal (Soares et al., 1980), amplamente aceito por sua operacionalidade.

Entre as décadas de 1990 e 2000, diversos estudos aprimoraram o entendimento estratigráfico da Bacia Bauru (Fernandes, 1992, 1998; Batezelli, 1998). Segundo Fernandes (1992), a ocorrência de discordâncias regionais no topo e no fundo documenta uma evolução geológica distinta da Bacia do Paraná e justifica a individualização dos depósitos do Cretáceo Superior em uma unidade geotectônica autônoma, denominada Bauru Bacia. Fernandes & Coimbra (2000) propuseram posteriormente a estratigrafia formal dos grupos Caiuá e Bauru.

A atribuição cronoestratigráfica do Grupo Bauru tem sido baseada principalmente na paleontologia de vertebrados e invertebrados, o que indica sedimentação entre o Santoniano e o Maastrichtiano (Gobbo-Rodrigues et al., 2000a, b, c; Dias-Brito et al., 2001; Bertini & Santucci, 2002). Uma primeira tentativa de aplicação do paleomagnetismo foi feita por Tamrat et al. (2002), que documentou uma idade mais jovem que o Chron C34n (125,8–83,7 Ma) com base em algumas magnetizações reversas encontradas nas formações Uberaba e Marília. Tal determinação foi recentemente confirmada pela datação U-Pb de zircões detríticos, o que sugere que a sedimentação do Grupo Bauru é mais jovem que 82 Ma (Marques et al., 2017, Castro et al., 2018).

Nesta dissertação, é apresentado dados paleomagnéticos que permitem construir a magnetoestratigrafia do Grupo Bauru na área entre Marília e Presidente Prudente no Estado de São Paulo, e propor uma correlação com a escala de tempo de polaridade geomagnética (Gradstein et al., 2012). Isso melhora significativamente a calibração de idade do Grupo Bauru do Cretáceo Superior e fornece novos insights sobre a evolução tectônica da bacia.

1.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) localiza-se na região oeste do estado de São Paulo, nas sub-regiões de Adamantina, Presidente Prudente e Marília, e na região noroeste do estado do Paraná, na sub-região de Maringá.

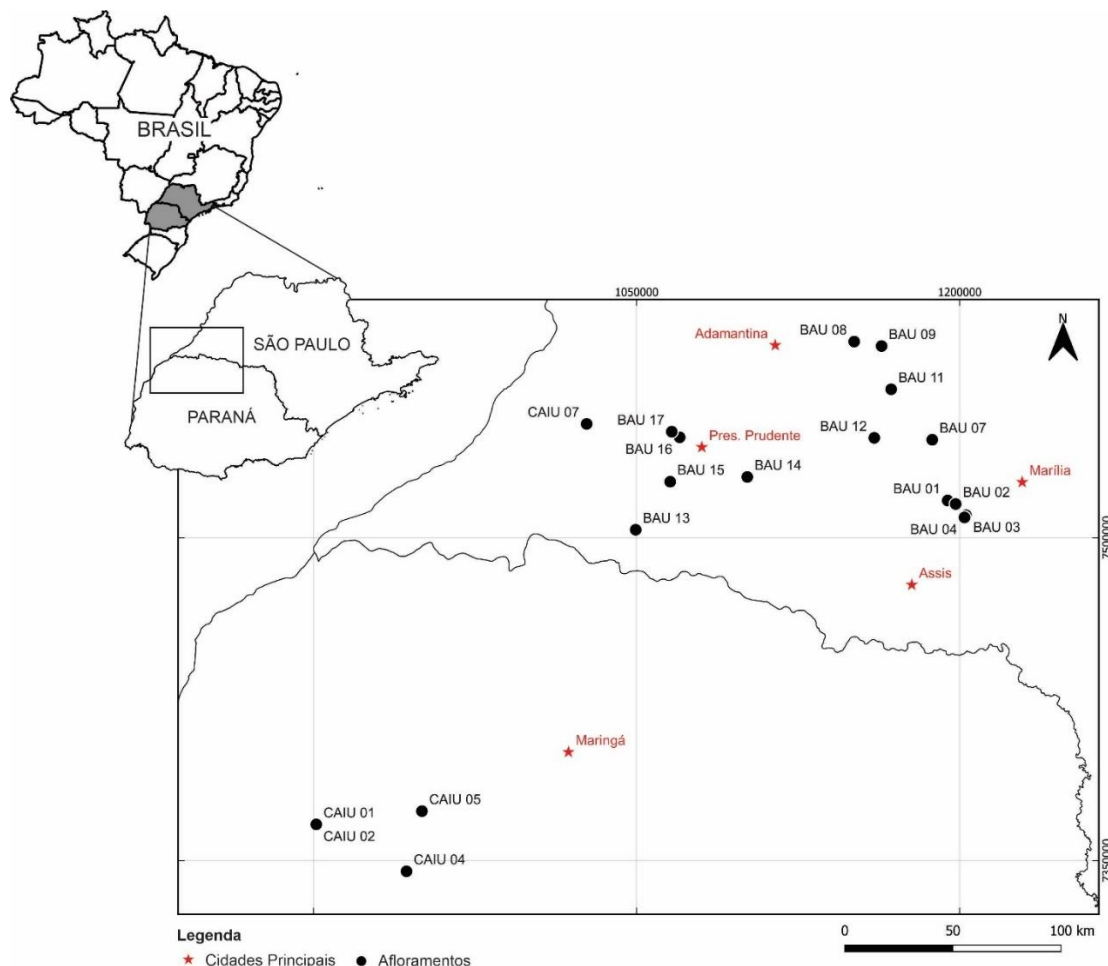


Figura 1. Mapa com a localização e dispersão dos pontos visitados no oeste do estado de São Paulo e noroeste do estado do Paraná.

Os afloramentos os quais originaram as amostras podem ser encontrados ao longo desta região, com diversos acessos de estradas não asfaltadas e rodovias estaduais.

Pontos	Unidade estratigráfica	Altitude (m)	Nº Amostras	Coordenadas UTM (22 K)	
BAU 01	Ar	432,0	4	575274	7532642
BAU 02	Ma	507,0	4	579021	7531180
BAU 03	Ma	510,0	4	583998	7526149

BAU 04	Ma	557,0	3	583337	7525138
BAU 07	Ma	554,0	3	567033	7560380
BAU 08	Ar	383,0	6	529247	7604283
BAU 09	Ar	363,0	5	541968	7602716
BAU 10	Ar	350,0	5	540248	7560209
BAU 11	Ad	448,0	6	547162	7582940
BAU 13	Ar	402,0	6	431747	7513340
BAU 14	Ar	407,0	4	482352	7539817
BAU 15	Ad	476,0	6	446809	7536204
BAU 16	Ad	452,0	7	450379	7556918
BAU 17	Ad	436,0	6	446624	7559352
CAIU 01	Caiu	422,0	3	289579	7370827
CAIU 02	Caiu	417,0	4	289559	7370860
CAIU 04	Caiu	545,0	4	332276	7350880
CAIU 05	Caiu	458,0	4	338244	7379054
CAIU 07	Ar/Caiu	379,0	10	407138	7561409

Tabela 1. Tabela com as localidades, altitudes, unidades e número de amostras dos afloramentos (pontos) visitados (Ar = Fm. Araçatuba; Ma = Fm. Marília; Ad = Fm. Adamantina; Caiu = Grupo Caiuá).

1.2 Aspectos Fisiográficos

1.2.1 Características gerais do relevo

Segundo Ponçano *et al.* (1981), o Planalto Ocidental Paulista é uma província geomorfológica que ocupa grande parte do território do estado de São Paulo e norte do Paraná (onde é definido como Terceiro Planalto Paranaense). Está principalmente coberto pelos sedimentos do Grupo Bauru, predominantemente formado por arenitos cimentados por carbonato de cálcio, caracterizado por um relevo relativamente acidentado.

Este relevo é levemente ondulado, com predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplainados, formados por erosão diferencial, destacando os maciços rochosos com forte cimentação carbonática (Ross & Moroz, 1996).

A drenagem é organizada por rios consequentes, formados dentro dos limites da província, ou ainda, por cursos de água tributários dos três principais cursos fluviais paulistas: Paranapanema, Tietê e Grande. Esta rede de drenagem mostra acentuado paralelismo de eixos, alinhados para Noroeste (Andrade, 2002).

1.2.2 Clima e Vegetação

A precipitação anual da província do Planalto Ocidental Paulista e Terceiro Planalto Paranaense compreende variações locais que vão desde 1150 até 1400 mm/ano. O clima predominante é classificado, segundo Koppen (1978), como sendo do tipo CWA, ou seja, inverno seco e verão quente, com uma temperatura anual média entre 20° e 25° C.

A vegetação original do Planalto Ocidental Paulista está confinada à região do Pontal do Rio Paranapanema e capões restritos. Constitui-se predominantemente por florestas subcaducifólias tropicais e cerrados. São encontradas manchas de cerrados na porção noroeste do estado de São Paulo e norte do Paraná, especialmente associadas aos depósitos coluvionares, juntamente a gramíneas e matas arbustivas. Pastagens e culturas diversas, com destaque a cana-de-açúcar, constituem a vegetação moderna predominante (Andrade, 2002).

1.2 Objetivos e Justificativas

Esta dissertação teve por objetivo investigar e calibrar a escala temporal envolvida na deposição dos sedimentos cretácicos do Grupo Bauru nos estados de São Paulo e Paraná, a partir de amostras coletadas em 21 afloramentos distintos. Para isto, foram adotados métodos de análise paleomagnética que permitiram a confecção de uma magnetoestratigrafia com base em seções estratigráficas e análises biocronológicas presentes na literatura.

Desta forma, espera-se desenvolver uma melhor cronoestratigrafia para a Bacia Bauru e, conseqüentemente, indicar idades mais precisas para a deposição desta bacia intracratônica, que tem potencial para fornecer valiosas informações cronoestratigráficas a seções não-marinhas de diferentes bacias sedimentares brasileiras (interiores e marginais), de interesse para o Setor de Petróleo e Gás.

2. PALEOMAGNETISMO E MAGNETOESTRATIGRAFIA

O paleomagnetismo é a disciplina que estuda a gravação do campo magnético antigo nas rochas e as suas aplicações no âmbito das geociências. A magnetoestratigrafia, ou estratigrafia de polaridade magnética, é parte do paleomagnetismo, e tem sido amplamente utilizada nas ciências da Terra como método de correlação estratigráfica e datação, porque as reversões geomagnéticas são globalmente síncronas e bem determinadas (Opdyke & Channell, 1996; Ogg *et al.*, 2012). Além de fornecer informações cronológicas, os dados paleomagnéticos fornecem informações úteis sobre o dínamo da Terra que gera o campo geomagnético (Liu *et al.*, 2015).

2.1 O Campo Magnético da Terra

O campo magnético da Terra é continuamente gerado no núcleo externo líquido por processos magneto-hidrodinâmicos. Em termos simples, modelagens geofísicas indicam a ocorrência no núcleo da Terra de convecções de ligas de ferro líquido eletricamente condutoras impulsionadas por forças de flutuação composicional e térmica e moldadas em estruturas vórtex-helicoidais pelo efeito Coriolis devido à rotação da Terra. Esta convecção é capaz de gerar campos magnéticos dipolares autossustentáveis de polaridade normal ou inversa, dependendo essencialmente da circulação líquida da corrente elétrica nas colunas helicoidais convectivas do núcleo (Merrill *et al.*, 1996; Glatzmaier *et al.*, 1999; Gubbins, 2008; Tauxe *et al.*, 2020; Muttoni, 2020).

Se as intensidades dos campos geomagnéticos normais e inversos gerados no núcleo, que aproximadamente têm mesma direção, mas versos opostos, fossem iguais, não esperaríamos detectar alguma resultante capaz de se difundir através do manto e atingir a superfície da Terra. Porém, devido as intensidades dos campos opostos flutuarem continuamente em uma espécie de equilíbrio dinâmico, pequenas diferenças surgem continuamente, representando o que um observador na superfície da Terra chama de polaridade geomagnética normal ou inversa. Para este observador, a polaridade magnética normal é convencionalmente caracterizada por linhas de campo apontando para baixo, entrando na Terra, no hemisfério norte, em ângulos positivos subverticais na proximidade do polo geográfico norte e linhas de campo apontando para cima, saindo da Terra, com ângulos negativos subverticais na proximidade do polo sul geográfico. A polaridade magnética inversa seria caracterizada pela configuração geométrica oposta, ou seja, linhas

de campo saindo da Terra com ângulos negativos na proximidade do polo norte geográfico (Muttoni, 2020) (Figura 2).

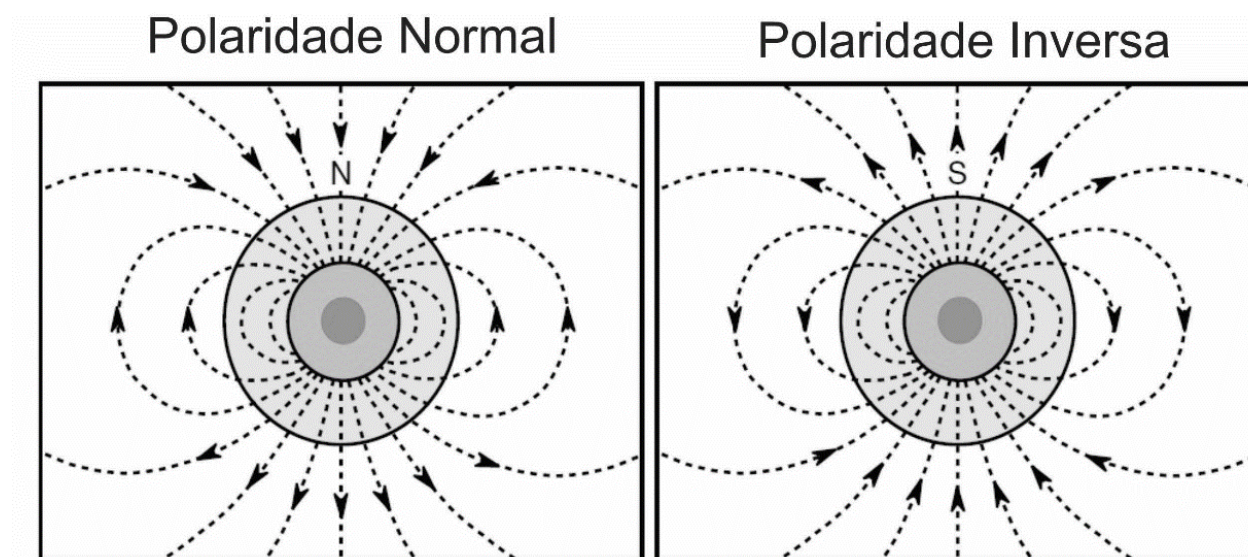


Figura 2: Representação esquemática do campo geomagnético de um dipolo axial geocêntrico. Durante a polaridade normal, a inclinação é positiva (apontando para baixo) no hemisfério norte e negativa (apontando para cima) no hemisfério sul. Por outro lado, durante a polaridade inversa, a inclinação é negativa no hemisfério norte e positiva no hemisfério sul (Modificado de Langereis *et al.*, 2010).

Observações experimentais indicam que o campo dipolar pode “inverter” de um estado de polaridade (normal ou inverso) para outro sem periodicidade prevista, de modo que se diz que o campo geomagnético não tem memória de si mesmo (Lowrie & Kent, 2004). Essa inversão não periódica do campo geomagnético é uma consequência direta da forma complexa e dinâmica pela qual o campo é gerado continuamente no núcleo externo líquido: “instabilidades magneto-hidrodinâmicas estão sempre ocorrendo, mas geralmente desaparecem. Uma vez em muitas tentativas, porém, uma instabilidade continua a crescer enquanto a polaridade do campo original decai e a nova polaridade assume” (Glatzmaier *et al.*, 1999; Tauxe *et al.*, 2020; Muttoni, 2020).

Essa falta de periodicidade é a principal característica que confere valor à magnetoestratigrafia como ferramenta de correlação, aliada à observação experimental de que as inversões de polaridade, de normal para reversa ou vice-versa, ocorrem tipicamente em escalas de tempo curtas (10^2 - 10^3 anos) e, portanto, geram linhas de tempo úteis para correlações distantes (Sagnotti *et al.*, 2014; 2016; Muttoni, 2020; Channell *et al.*, 2020).

Fontes adicionais de variabilidade caracterizam o campo geomagnético: correntes secundárias no núcleo de ferro líquido podem gerar estruturas de campo de segunda ordem que crescem e decaem continuamente em escalas de tempo curtas, produzindo a chamada componente “não-dipolar” do campo geomagnético observado (Muttoni, 2020).

Os polos geomagnéticos norte e sul da componente principal do campo geomagnético estão em movimento contínuo em escalas de tempo curtas ao redor dos polos geográficos da Terra. Devido a este movimento de oscilação secular, os polos geomagnéticos, quando calculados ao longo de alguns milhares de anos de observação, tornam-se estatisticamente indistinguíveis dos polos geográficos. Dessa forma, o eixo do dipolo geocêntrico é instável, quando mediado por um intervalo de tempo suficientemente longo, pode ser considerado alinhado com o eixo de rotação da Terra. Nesta configuração simples, a polaridade magnética normal é definida pela média temporal do polo norte magnético coincidindo com o polo norte geográfico, e a polaridade inversa com a média temporal do polo magnético sul coincidindo com o polo norte geográfico. Este campo de dipolo axial geocêntrico (GAD) é assim caracterizado por uma geometria relativamente simples descrita pela lei fundamental do paleomagnetismo relacionando a inclinação (I) das linhas de campo do GAD com a latitude geográfica (λ) (Butler, 1998; Muttoni, 2020):

$$I = \arctan (2 \tan \lambda)$$

Nas rochas, podem ser registrados através de processos naturais tanto o campo geomagnético instantâneo quanto o campo GAD, dependendo da velocidade em que as rochas se formam. Tipicamente, os sedimentos pelágicos que se depositam a taxas de poucos metros por milhão de anos contêm em um volume de rocha de aproximadamente 10 cm³, que representa o espécime padrão para análises magnetoestratigráficas, um registro de tempo médio do campo geomagnético em que as variações seculares são mediadas, enquanto lavas que resfriam rapidamente ou sedimentos com taxas de acumulação muito altas (por exemplo, sedimentos lacustres ou marinhos) podem preservar as variações seculares do campo geomagnético, cujas direções e intensidades não refletem o campo do GAD (Muttoni, 2020).

2.2 Minerais Magnéticos

Os minerais ferromagnéticos (óxidos, hidróxidos e sulfetos de ferro) são capazes de registrar as características (direção e intensidade) do campo magnético atuante na época de sua deposição ou cristalização, propriedade nomeada de magnetização natural remanente (NRM). As componentes da magnetização desses minerais podem ser divididas em primárias (ou seja, simultâneas a sua formação) e secundárias (ou seja, posteriores a sua formação). Partindo da NRM, é possível calcular a polaridade magnética do campo terrestre da época e a posição de paleopolos magnéticos (Tauxe *et al.*, 2005).

Materiais sólidos podem ser divididos de acordo com seus comportamentos magnéticos; ou seja, o fato de que alguns átomos terem momentos magnéticos atômicos devido aos movimentos orbitais e de spin dos elétrons. Sólidos de elementos de transição (principalmente contendo Fe) são os sólidos comuns com átomos que possuem um momento magnético por causa de orbitais de elétrons 3d não preenchidos. A Figura 3 ilustra os três tipos fundamentais de propriedades magnéticas observadas em um experimento no qual a magnetização, J , adquirida em resposta à aplicação de um campo magnético, H , é monitorada (Butler, 1998).

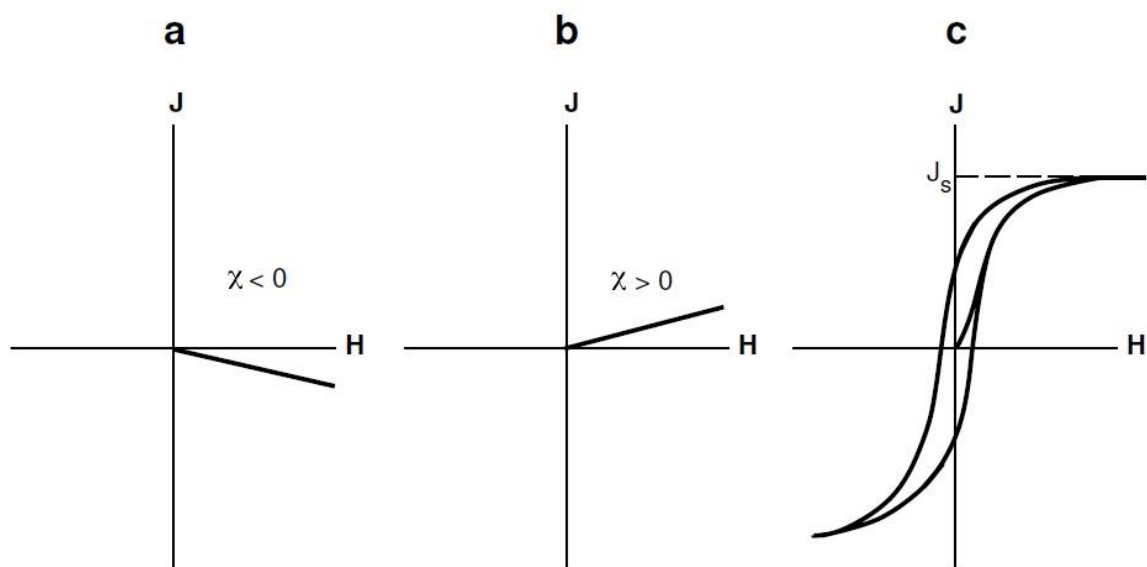


Figura 3. (a) Magnetização, J , versus campo magnetizante, H , para uma substância diamagnética. A suscetibilidade magnética, c , é uma constante negativa. (b) J versus H para uma substância paramagnética. A suscetibilidade magnética, c , é uma constante positiva. (c) J versus H para uma substância ferromagnética. O caminho da magnetização exibe histerese (é irreversível), e a suscetibilidade magnética, c , não é uma constante simples (Butler, 1996).

Um material composto por átomos sem momentos magnéticos atômicos exibe apenas a resposta diamagnética e é classificado como um material diamagnético. A suscetibilidade magnética para um material diamagnético é negativa e independente da temperatura. Um exemplo de mineral diamagnético é o quartzo, SiO_2 (Butler, 1996). Nos sólidos paramagnéticos, os momentos magnéticos atômicos reagem dependentemente aos campos magnéticos aplicados e à energia térmica. Em qualquer temperatura acima do zero absoluto, a energia térmica vibra a rede cristalina, fazendo com que os momentos magnéticos atômicos oscilem aleatoriamente. Na ausência de um campo magnético aplicado, os momentos atômicos são igualmente distribuídos em todas as direções com magnetização resultante $J_i = 0$. A lei de Curie da suscetibilidade paramagnética prevê o valor constante observado da suscetibilidade paramagnética para um determinado material e temperatura (Butler, 1998). Aplicando um campo magnético externo, os momentos magnéticos de um material paramagnético se orientam conseqüentemente, sendo a magnetização uma função linear e reversível.

Já os sólidos ferromagnéticos possuem átomos com momentos magnéticos, mas diferentemente do caso paramagnético, momentos atômicos adjacentes interagem fortemente. O efeito da interação produz magnetizações em sólidos ferromagnéticos que podem ser ordens de grandeza maiores do que para sólidos paramagnéticos no mesmo campo de magnetização. Para um dado material ferromagnético e temperatura, existe uma magnetização máxima denominada magnetização de saturação, j_s ; aumentar H além do nível necessário para atingir j_s não resultará em aumento da magnetização. Por exemplo, o ferro metálico é um sólido ferromagnético com magnetização de saturação à temperatura ambiente $= 1,8 \times 10^6 \text{ A/m}$ (Butler, 1998).

Por causa da histerese, a suscetibilidade magnética de materiais ferromagnéticos não pode ser simplesmente expressa como para sólidos diamagnéticos ou paramagnéticos (Butler, 1998).

A magnetização de sólidos ferromagnéticos até a saturação é mais facilmente alcançada ao longo de certas direções cristalográficas, chamadas de direções magnetocristalinas, e a dependência cristalográfica do ferromagnetismo é chamada anisotropia magnetocristalina. Essa dependência direcional cristalográfica surge porque os orbitais dos elétrons devem girar à medida que os momentos magnéticos atômicos são forçados a girar. Como as distâncias interatômicas dependem da direção cristalográfica, a quantidade de sobreposição orbital (e a energia de troca resultante) também depende da

direção cristalográfica. O resultado é anisotropia magnetocristalina com troca de energia dependendo da direção cristalográfica da magnetização (Butler, 1998).

2.3 Ciclo de Histerese

2.3.1 Domínios Magnéticos

As rochas aqui estudadas são formadas a partir de conjuntos de minerais ferromagnéticos de granulação fina dispersos dentro de uma matriz de minerais diamagnéticos e paramagnéticos. Um princípio básico é que as partículas ferromagnéticas têm várias energias que controlam sua magnetização. Por mais simples ou complexa que se torne a combinação de energias, o grão busca a configuração de magnetização que minimize sua energia total (Butler, 1998).

Dentro deste escopo, introduziu-se o conceito de domínios magnéticos. A formação de domínios magnéticos diminui a energia magnetostática porque a porcentagem da superfície coberta por cargas magnéticas é reduzida e as cargas de sinal oposto são adjacentes em vez de separadas. Com a diminuição do tamanho de grão, o número de domínios magnéticos diminui. Eventualmente, o grão torna-se tão pequeno que a energia necessária para fazer uma parede de domínio é maior do que a diminuição da energia magnetostática resultante da divisão do grão em dois domínios. Neste caso, o domínio magnético é chamado de domínio único (SD, *single domain*). Em contraste, o domínio magnético denominado multidomínio (MD, *multidomain*), é dominado por grãos mais grossos onde a energia magnetostática é variante (Day *et al.*, 1977; Butler, 1998).

Os grãos SD podem ser portadores muito eficientes de magnetização remanente. Para entender o comportamento dos grãos SD, é necessário familiarizar-se com as energias que controlam coletivamente a direção da magnetização em um grão SD. Essas energias são introduzidas individualmente, então os efeitos coletivos são considerados para explicar os parâmetros de histerese (Butler, 1998).

2.3.2 Coercividade

Um parâmetro útil na caracterização da estabilidade de uma partícula unitária ou conjunto de partículas é o campo necessário para conduzir as magnetizações para fora das direções fáceis, sobre uma barreira de energia e em outra direção fácil. Este campo é chamado de campo de inversão, campo coercitivo ou coercividade (B_c ou H_c dependendo das unidades) (Tauxe, 2005). A análise do espectro de coercividade permite a identificação

dos principais minerais ferromagnéticos, para que cada um possa ter uma própria coercividade específica, com valores diferentes para cada mineral (Kruiver *et al.*, 2001).

2.3.3 Histerese

Quando um campo magnético grande o suficiente para superar a energia de anisotropia é aplicado em uma direção oposta ao vetor de magnetização, o momento saltará sobre a barreira de energia e permanecerá na direção oposta quando o campo for desligado. O campo necessário para realizar essa façanha é chamado de campo de inversão (B_r). Assim, quando uma partícula uniaxial de domínio único é submetida a um campo magnético crescente, a magnetização é gradualmente puxada na direção do campo aplicado. Se a condição de inversão não for atendida, a magnetização retornará à direção original quando o campo magnético for removido. Se a condição de inversão for atendida, a magnetização sofre uma mudança irreversível e estará na direção oposta quando o campo magnético for removido (Tauxe, 2005).

A curva de histerese mostra o gráfico da magnetização B em função do campo magnético aplicado H (Figura 5). Quando o campo indutor aumenta gradualmente, a partir de zero, M aumenta de zero seguindo a curva que vai da origem 0 até o ponto P_1 (curva de magnetização). Nas proximidades de P_1 , a curva se torna horizontal, mostrando que a magnetização está próxima da magnetização de saturação (todos os momentos magnéticos alinhados). Quando o campo aplicado H diminui gradualmente a partir do ponto P_1 , não há uma diminuição correspondente da magnetização. A movimentação das fronteiras dos domínios de um material ferromagnético não é completamente reversível, e parte da magnetização permanece no material mesmo quando o campo aplicado H é reduzido à zero. O valor do campo no ponto r , quando H é nulo, é a magnetização residual B_r (ou indução residual – indica quanto de magnetização ficou retida).

Quando a corrente é invertida, o campo aplicado H tem direção oposta à inicial e a magnetização B vai diminuindo até zero no ponto c (campo coercitivo H_c – indicando quanto é difícil desmagnetizar o material). Para chegar ao outro ponto de saturação P_2 , basta aumentar a corrente na direção oposta. O ciclo é completado quando a corrente é diminuída a zero, no ponto P_3 , e em seguida é aumentada até o ponto P_1 . Quando um determinado campo magnético aplicado em um material for retirado bruscamente, passa ocorrer o fenômeno de relaxação magnética. Os momentos magnéticos decrescem rapidamente devido à ausência do campo magnético.

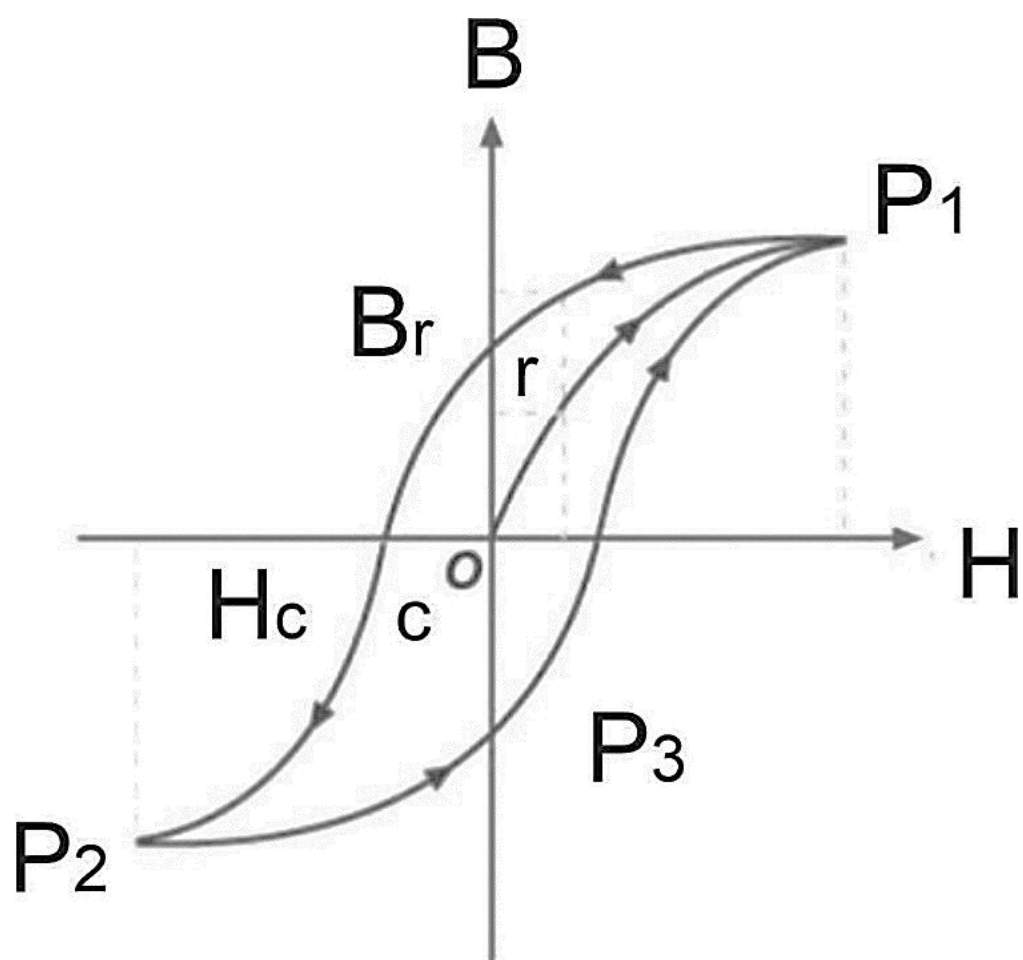


Figura 4. Curva de histerese (indução magnética, B , versus campo aplicado).

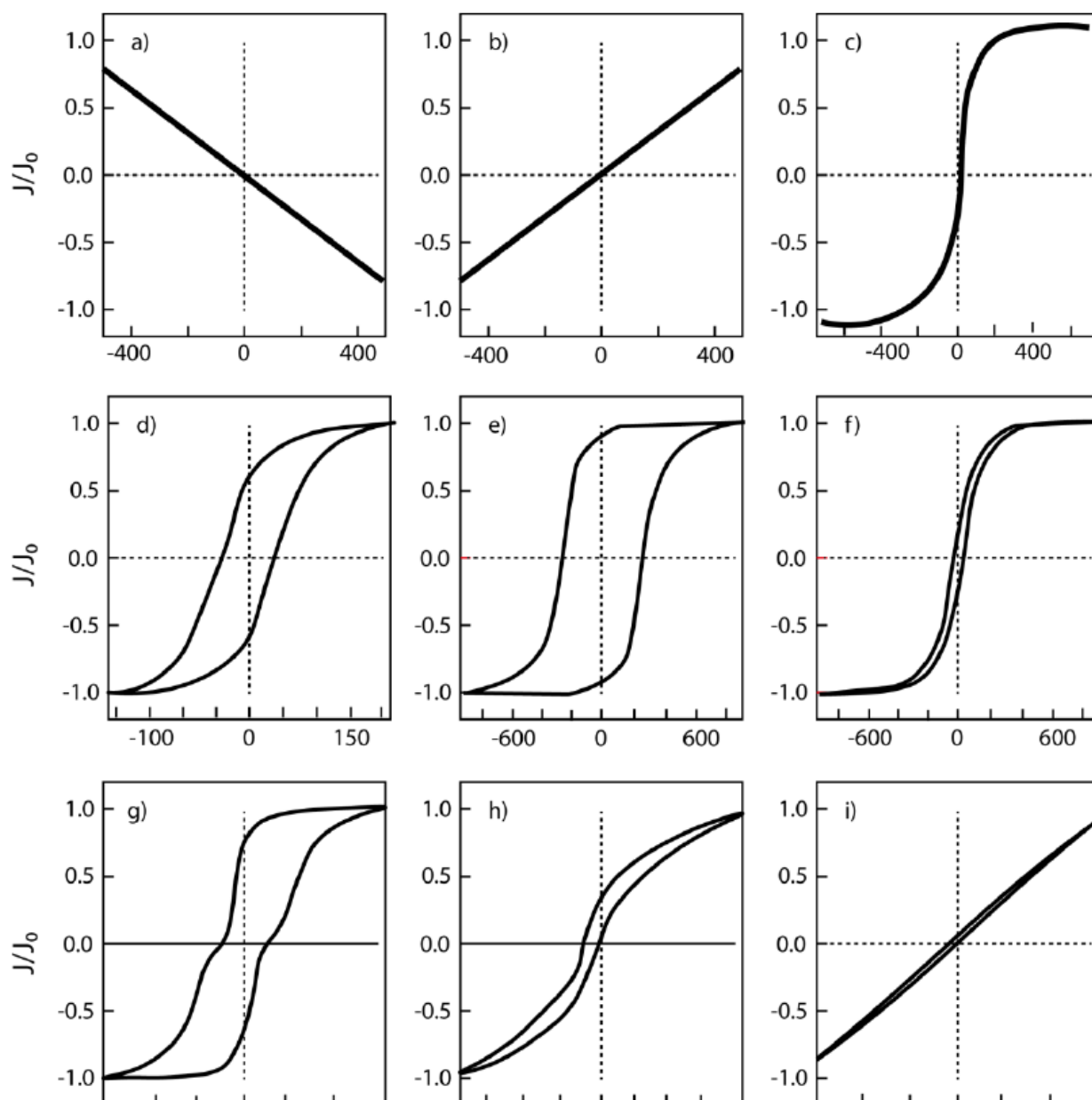


Figura 5. Exemplos de curvas de histerese para diferentes tipos de minerais: (a) diamagnéticos; (b) paramagnéticos; (c) superparamagnéticos (vidro basáltico submarino); (d) uniaxiais, domínio único; (e) magnetocristalinos, domínio único; (f) pseudodomínio único. Exemplos de curvas de histerese para misturas de vários minerais: (g) magnetita e hematita; (h) magnetita domínio único e magnetita superparamagnética; (i) magnetita domínio único e magnetita superparamagnética. Grãos multidomínio apresentam baixos campos coercitivos e grãos domínio único e pseudodomínio único possuem altos campos coercitivos (Tauxe, 2005).

2.4 Tipos de Magnetização Remanente em Rochas

2.4.1 Magnetismo Remanente Natural (NRM)

A magnetização remanente natural (NRM) é a magnetização remanente presente em uma amostra de rocha antes do tratamento laboratorial. A NRM depende do campo

geomagnético e dos processos geológicos durante a formação da rocha e durante a história da rocha. A NRM normalmente é composta por mais de um componente. O componente adquirido durante a formação da rocha é referido como NRM primária e é o componente procurado na maioria das investigações paleomagnéticas. No entanto, os componentes secundários da NRM podem ser adquiridos após a formação da rocha e podem alterar ou obscurecer a NRM primária. Os componentes secundários da NRM são adicionados vetorialmente ao componente primário para produzir a NRM total (Butler, 1998):

$$\text{NRM} = \text{NRM Primária} + \text{NRM Secundária}$$

As três formas básicas de NRM primária são (1) magnetização termorremanente, adquirida durante o resfriamento de alta temperatura; (2) magnetização química remanente, formada pelo crescimento de grãos ferromagnéticos abaixo da temperatura de Curie (temperatura acima da qual um mineral perde todas as suas propriedades magnéticas); e (3) magnetização remanente detrítica, adquirida durante o acúmulo de rochas sedimentares contendo minerais ferromagnéticos detríticos (Butler, 1998; Tauxe, 2005).

A NRM secundária pode resultar de mudanças químicas que afetam minerais ferromagnéticos, exposição a raios próximos ou exposição de longo prazo ao campo geomagnético subsequente à formação da rocha. Os processos de aquisição de NRM secundária devem ser examinados para entender (1) coexistência de NRM primária e secundária na mesma rocha, (2) como vários componentes de NRM podem ser reconhecidos e (3) como procedimentos de desmagnetização parcial podem apagar preferencialmente NRM secundária, permitindo o isolamento da NRM primária (Butler, 1998).

2.4.2 Magnetismo Termorremanente (TRM)

O magnetismo termorremanente (TRM) é a NRM produzida pelo resfriamento de uma rocha abaixo temperatura de Curie (T_c) em presença de um campo magnético externo. TRM é a forma de magnetismo remanente adquirido pelas rochas ígneas. Entende-se que os momentos magnéticos dos grãos ferromagnéticos serão estáveis ao decaimento no tempo quando a temperatura ambiental esteja abaixo das respectivas temperaturas de bloqueio, T_B , que são distribuídas para baixo a partir da temperatura de Curie. À medida que a temperatura diminui através de T_B de um grão SD individual, esse grão experimenta

um aumento no tempo de relaxação e muda o comportamento de superparamagnético para domínio único estável. É a ação do campo magnético na temperatura de bloqueio que produz o TRM (Butler, 1998).

Um aspecto importante do TRM é que um pequeno campo magnético (por exemplo, o campo geomagnético de superfície) pode, em temperaturas elevadas, transmitir uma tendência na distribuição de momentos magnéticos dos grãos ferromagnéticos durante o resfriamento e produzir uma magnetização remanente. Em temperaturas de superfície, essa remanência pode ser estável ao longo do tempo geológico e resistente aos efeitos dos campos magnéticos após o resfriamento original (Butler, 1998).

2.4.3 Magnetismo Remanente Químico (CRM)

Mudanças químicas que formam minerais ferromagnéticos abaixo de suas temperaturas de bloqueio em um campo de magnetização resultam na aquisição de magnetismo remanente químico (CRM). As reações químicas envolvendo minerais ferromagnéticos incluem (a) alteração de um mineral preexistente (possivelmente também ferromagnético) para um mineral ferromagnético ou (b) precipitação de um mineral ferromagnético da solução. Embora existam exceções, o CRM é mais frequentemente encontrado em rochas sedimentares (Butler, 1998).

2.4.4 Magnetismo Remanente Detrítico (DRM)

O magnetismo remanente detrítico (DRM) é adquirido durante a deposição e litificação de rochas sedimentares. Na maioria dos ambientes sedimentares, o mineral ferromagnético detrítico dominante é a magnetita (ou titanomagnetita pobre em Ti). O DRM é complicado porque muitos processos complexos podem estar envolvidos na formação de rochas sedimentares. Existe uma grande variedade de mineralogias iniciais, e os minerais constituintes muitas vezes não estão em equilíbrio químico entre si ou com o ambiente de deposição. Processos físicos pós-deposicionais, como a bioturbação e compactação, podem afetar a magnetização. Os processos químicos também podem alterar ou remover minerais ferromagnéticos detríticos originais e/ou precipitar novos minerais ferromagnéticos (por exemplo hematita ou sulfeto de Fe), com efeitos concomitantes no registro paleomagnético. Devido a essas complexidades, o DRM é menos compreendido do que o TRM, e há mais incertezas sobre a precisão dos registros paleomagnéticos em rochas sedimentares (Butler, 1998).

2.4.5 Magnetismo Remanente Viscoso (VRM)

O magnetismo remanente viscoso (VRM) é uma magnetização remanente que é adquirida gradualmente durante a exposição de uma rocha a campos magnéticos fracos. VRM natural é uma magnetização secundária resultante da ação do campo geomagnético muito tempo após a formação da rocha. Do ponto de vista paleomagnético, o VRM geralmente é um ruído indesejável.

2.4.6 Magnetismo Remanente Isotérmico (IRM)

O magnetismo remanente resultante da exposição de curto prazo a campos de magnetização fortes a temperatura constante é referido como magnetismo remanente isotérmico (IRM). No laboratório, o IRM é transmitido pela exposição (geralmente à temperatura ambiente) a um campo de magnetização gerado por um eletroímã. IRM é a forma de remanência produzida em experimentos de histerese e é adquirida por grãos ferromagnéticos com força coercitiva menor que o campo aplicado.

O IRM natural pode se formar como um componente secundário do IRM pela exposição a campos magnéticos transitórios de relâmpagos. As correntes elétricas de um raio podem exceder 10^4 amperes, e o campo magnético dentro de 1 m de um raio pode ser de 10–100 mT. Pode parecer uma circunstância improvável coletar uma amostra paleomagnética dentro de 1 m do local onde um raio atingiu. No entanto, um breve exame mostra que o IRM induzido por raios pode ser um problema significativo, especialmente em regiões de atividade frequente de tempestades (Butler, 1998).

2.5 Estratigrafia de Polaridade Magnética

A magnetostratigrafia é uma técnica de correlação paleomagnética usada para datar sequências sedimentares e vulcânicas. O método funciona coletando amostras orientadas com referência ao norte geográfico em intervalos regulares ao longo de uma seção estratigráfica. As amostras são analisadas para determinar sua magnetização remanente característica, ou seja, a polaridade do campo magnético da Terra no momento em que um estrato foi depositado. Isto é possível porque os fluxos vulcânicos adquirem uma magnetização remanente durante o resfriamento (TRM), e os sedimentos adquirem uma magnetização remanente deposicional (DRM), os quais refletem a direção do campo magnético da Terra no momento da formação (Butler, 1998). Já que para os últimos 300

milhões de anos cada inversão de polaridade magnética é datada com suficiente precisão, é possível determinar a idade da sequência estudada a partir das inversões magnéticas ali gravadas por comparação com a escala de tempo padrão das polaridades magnéticas (GPTS) (Gradstein *et al.*, 2012).

2.5.1 Histórico

A técnica da estratigrafia de polaridade magnética tem sido aplicada à correlação estratigráfica e calibração geocronológica de sequências de rochas que variam em idade do Pleistoceno ao Paleozoico. A estratigrafia de polaridade magnética (ou magnetoestratigrafia) tornou-se uma importante subdisciplina dentro do paleomagnetismo e reuniu estratígrafos e paleontólogos que trabalham com paleomagnetistas para resolver uma ampla variedade de problemas geocronológicos (Glen, 1982; Butler, 1998).

Para entender os princípios da estratigrafia de polaridade magnética, é necessário entender o desenvolvimento das escalas de tempo de polaridade geomagnética (GPTS). O desenvolvimento moderno da escala de tempo de polaridade geomagnética foi iniciado na década de 1960, após avanços que permitiram a datação precisa de potássio-argônio (K-Ar) de rochas ígneas do Plioceno-Pleistoceno. Em geral, rochas ígneas com a mesma idade, mas de locais de coleta amplamente separados, apresentaram a mesma polaridade. Determinações de idade e polaridade magnética de um número crescente de rochas ígneas foram compiladas e levaram ao desenvolvimento das primeiras escalas de tempo de polaridade geomagnética no intervalo de tempo de 0 a 5 Ma (Butler, 1998).

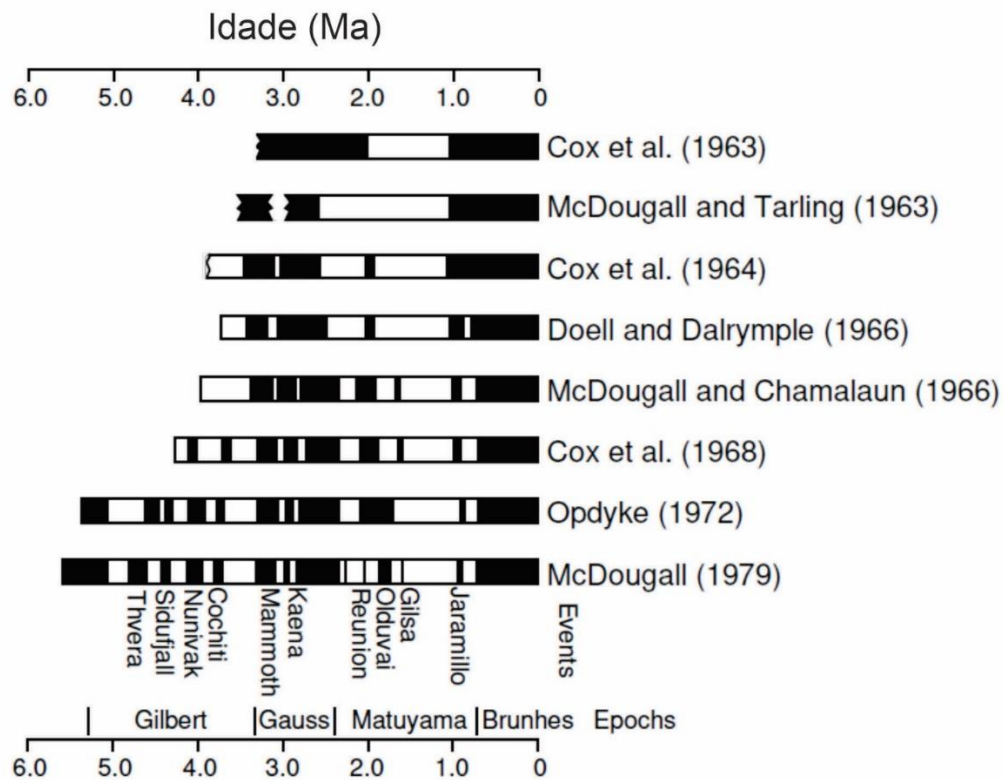


Figura 6. Evolução da escala de tempo de polaridade geomagnética Plioceno-Pleistoceno entre 1963 e 1979. Nesta e em todas as colunas de polaridade ou escalas de tempo subsequentes, intervalos pretos indicam polaridade normal e intervalos brancos indicam polaridade invertida; as referências são dadas à direita de cada escala de tempo; a nomenclatura “evento” e “época” aplicada a esta parte da escala de tempo é dada na parte inferior (McDougall, 1979 apud Butler, 1998).

Quando poucas determinações de idade e polaridade estavam disponíveis, pensava-se que os intervalos de polaridade tinham durações de cerca de 1 Ma. Esses intervalos de polaridade foram chamados de épocas de polaridade e foram nomeados após figuras proeminentes na história do geomagnetismo. Entretanto, logo ficou claro que intervalos mais curtos de polaridade oposta ocorreram. Esses intervalos mais curtos foram chamados de eventos de polaridade e receberam o nome da localidade em que foram amostrados pela primeira vez. Agora entendemos que não existe distinção fundamental entre épocas de polaridade e eventos de polaridade; intervalos de polaridade de um amplo espectro de durações são possíveis (Butler, 1998).

Quando o GPTS de Heirtzler *et al.* (1968) foi desenvolvido, as idades dos chrons de polaridade no Paleógeno foram previstas pela suposta taxa de expansão constante do fundo do mar da Dorsal do Atlântico Sul. Testar as idades previstas desses cronômetros de polaridade foi um dos principais objetivos do Deep Sea Drilling Project (DSDP). O mapeamento adicional de anomalias magnéticas marinhas também resultou em alguns ajustes no próprio padrão de anomalia magnética (Butler, 1998). A partir destes eventos, pôde-se criar escalas para todo planeta e suas respectivas idades geológicas.

2.5.2 Princípios

Na maioria das aplicações da magnetoestratigrafia, o objetivo principal é fornecer uma estimativa de idade para um evento (ou série de eventos) ocorrido dentro de uma sequência de rochas sedimentares. Uma correlação é geralmente necessária entre uma zona de polaridade magnética observada em uma seção estratigráfica e a escala de tempo de polaridade geomagnética. Em essência, o objetivo é determinar uma sucessão de zonas de polaridade que forneça uma “impressão digital” de um determinado intervalo do GPTS. A força da correlação de uma zona de polaridade magnética observada para o GPTS depende de vários fatores, incluindo (1) a qualidade dos dados paleomagnéticos usados para definir a polaridade de cada horizonte estratigráfico amostrado, (2) cobertura estratigráfica de locais usados para definir as zonas de polaridade magnética, e (3) exclusividade de correspondência entre o padrão de zonas de polaridade magnética e a sequência de chrons de polaridade magnética do GPTS (Butler, 1998).

A consistência das determinações de polaridade entre afloramentos estratigraficamente adjacentes geralmente permite a determinação clara da zona de polaridade. Mas se uma grande porcentagem de afloramentos contém magnetizações

complexas, a clareza da zona de polaridade é comprometida. Locais de polaridade normal isolados estratigraficamente devem sempre ser vistos com alguma suspeita; o NRM pode ser dominado por uma sobreimpressão de polaridade normal do campo geomagnético atual não removida (Butler, 1998).

As litologias de granulação fina (argilitos, siltitos finos e lamitos) são geralmente preferidas. Esses sedimentos de granulação fina adquirem DRM de forma mais eficiente do que litologias mais grossas. Além disso, camadas sedimentares de granulação fina geralmente têm baixa permeabilidade e são menos suscetíveis à aquisição de CRM secundário. A coleta de uma variedade de rochas sedimentares (às vezes incluindo litologias não consolidadas) geralmente requer o uso de amostras de blocos orientados (Butler, 1998).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Construção de seções geológicas e definição de sítios de amostragem

A magnetoestratigrafia pode ser aplicada com sucesso em seções estratigráficas contínuas de dezenas a centenas de metros de altura. Entretanto, devido ao clima subtropical e topografia vigentes na região sudeste do território brasileiro, há carência de seções contínuas e completas. Desta forma, nesta dissertação, foi necessário levantar afloramentos com disparidade de cotas entre si para a criação de seções virtuais aparentemente contínuas, porém, com localidades diversas.

Para a confecção destas seções, foi feita uma primeira visita de reconhecimento a campo para definir regiões de interesse e sítios de amostragem (Figura 1). Essa visita de três dias, realizadas nos dias 28, 29 e 30 de outubro de 2020, permitiram a definição de mais de 15 afloramentos de interesse, aos quais tiveram suas localizações anotadas por GPS.

Com as localizações em mãos (Tabela 1, Figura 1), pode-se plotar os sítios em mapas dos estados de São Paulo e Paraná, obtidos no site oficial do IBGE, através dos softwares Google Earth Pro e QGis Desktop 3.24.2. Definiu-se, então, quatro seções (Figuras 26, 27, 28 e 29), cujas localizações podem ser observadas na Figura 8, cujos cortes diagonais foram escolhidos para agregar o maior número de afloramentos possíveis, e, os horizontais, para uma melhor visualização espacial.

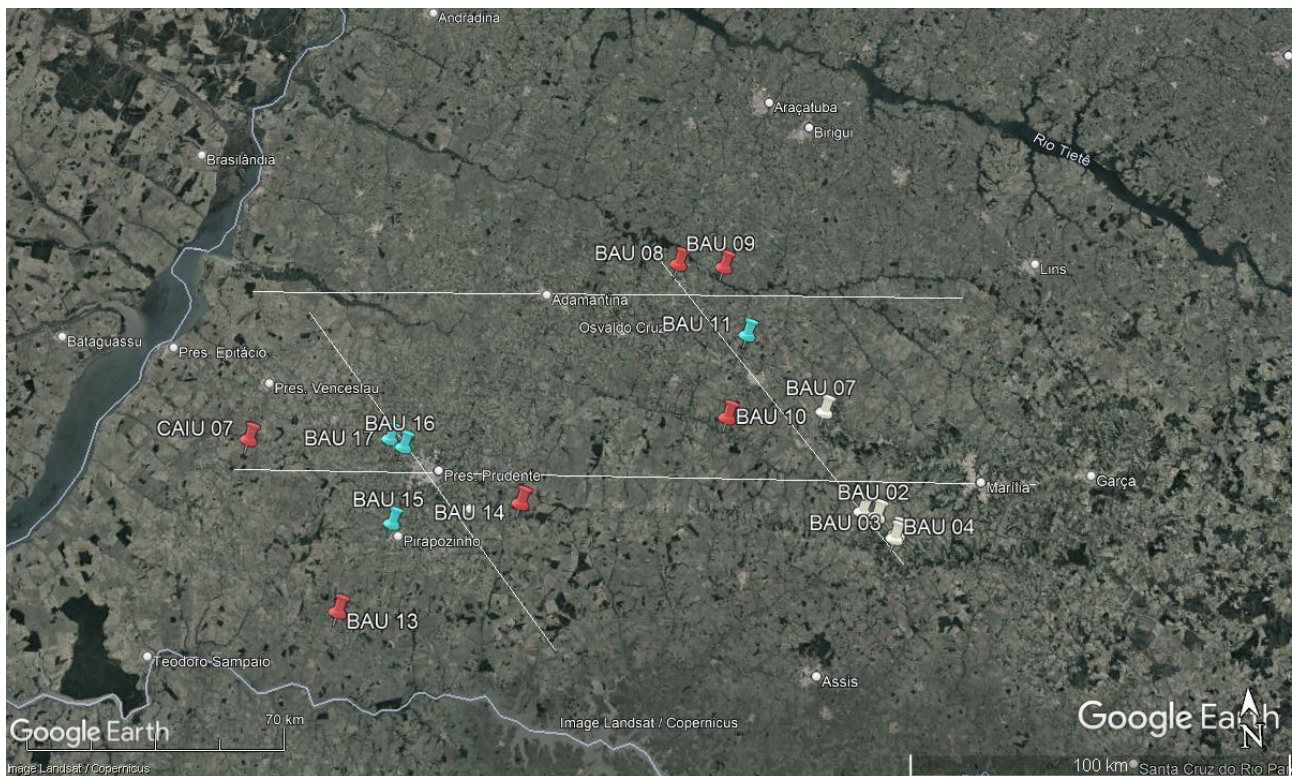


Figura 7. Mapa com localização das seções (traço branco) em relação aos pontos visitados de afloramento (BAU 1-17 e CAIU 7). Branco = Fm. Marília; Azul = Fm. Adamantina; Vermelho = Fm. Araçatuba e Fm. Santo Anastácio.

A ferramenta de visualização do perfil de elevação existente no software Google Earth Pro permitiu a confecção da seção no software CorelDraw 2021. Com as elevações, pode-se plotar os pontos de modo vertical em relação a suas altitudes e localizações por GPS.

3.2 Amostragens, Orientação de Amostras e Preparação

Em campo, foram coletadas amostras individualmente orientadas (Tabela 1, Figura 1) por uma bússola Brunton, geralmente de 4 a 8 amostras por afloramento, utilizando uma furadeira elétrica portátil que produz cilindros de 10 cm³, e anotando o mergulho das camadas conforme a horizontal. O método utilizado neste caso foi a técnica de amostragem com broca refrigerada a água, a qual pode ser observada na Figura 9.

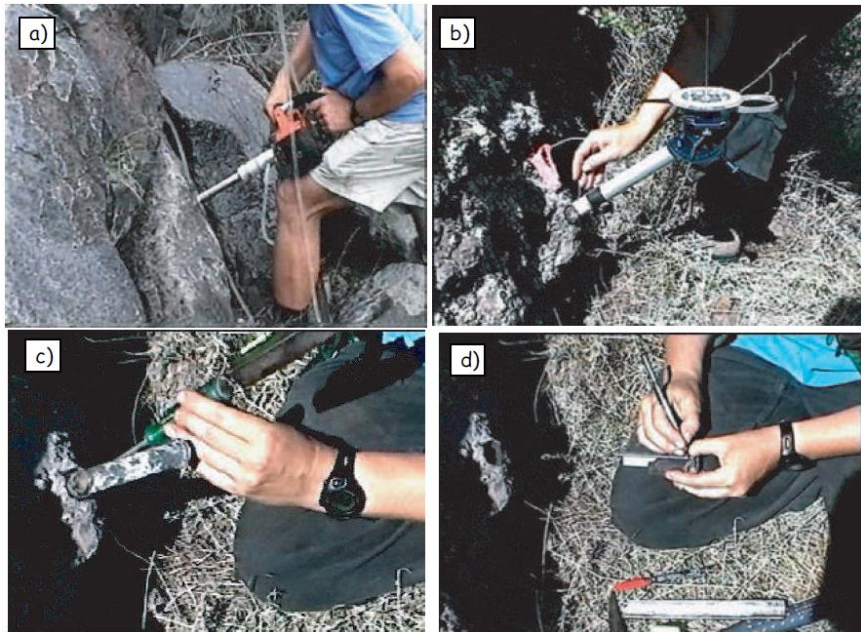


Figura 8. Técnica de amostragem com broca refrigerada a água: a) amostra sendo perfurada, b) tubo com fenda não magnética (material de bronze) com uma plataforma ajustável ao redor da amostra para medição. Gira-se a ranhura para o topo da amostra para observação do azimute e o mergulho da direção de perfuração (no afloramento) com bússola magnética (Brunton) e inclinômetro. Marca-se, então, a amostra através do slot com um fio de material não magnético. c) Extração da amostra. d) Desenha-se uma seta permanente na lateral da amostra na direção da perfuração e rotulação da amostra em uma caderneta com a devida orientação da seta (Tauxe, 2005).

Uma segunda técnica de amostragem um pouco menos utilizada no trabalho de campo, mas ainda assim importante para amostras que não permitiram perfuração por broca, foi a técnica de amostragem manual para sedimentos friáveis. Essa técnica pode ser observada na Figura 10.

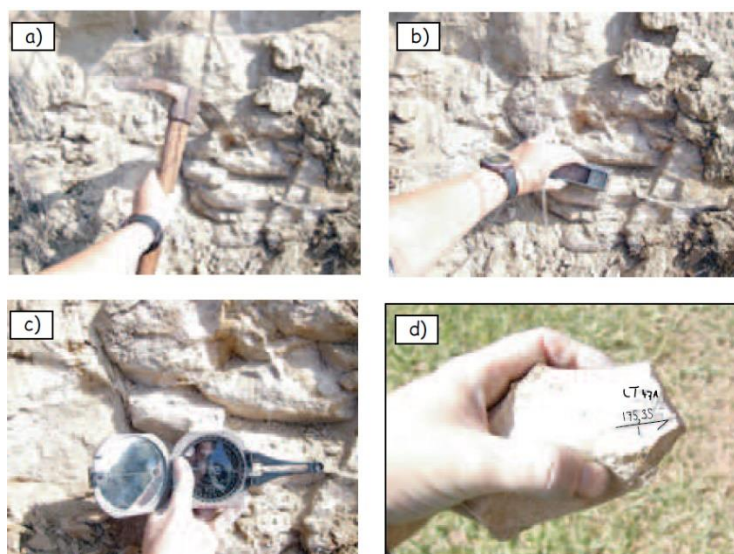


Figura 9. Técnica de amostragem manual para sedimentos friáveis: a) cavar até o material fresco, b) raspar uma superfície plana, c) marcar o azimuth e mergulho na amostra, d) extrair a amostra e rotulá-la (Tauxe, 2005).

Posteriormente, as amostras foram levadas ao laboratório da UNESPMag (Departamento de Geologia da UNESP, *campus* Rio Claro) e cortadas em tamanhos e formas padrão (Figura 11) com serras em material diamagnético de bronze. Essas subamostras são chamadas de espécimes paleomagnéticos. Os dados foram posteriormente transformados em sistema de coordenadas da amostra em coordenadas geográficas. Isso foi feito graficamente com um *stereonet* e posteriormente plotados em programas específicos.

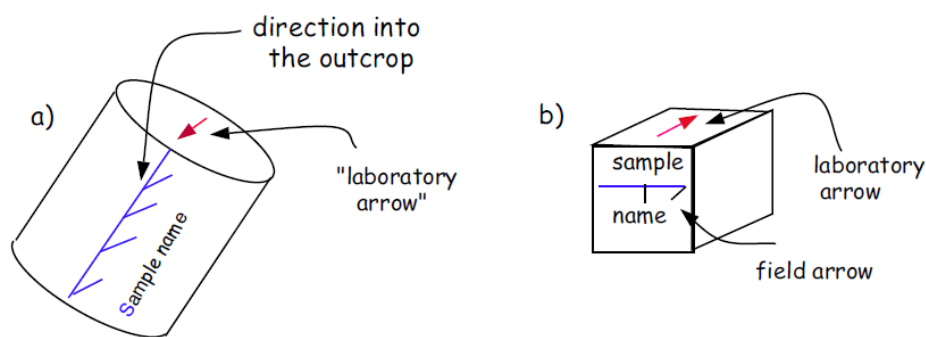


Figura 10. Tipos de formas de amostra possíveis e convenções de orientação: a) Um cilindro de um núcleo perfurado por broca, apelidada de “paçoquinha”; e b) Um cubo de sedimento lixado de uma amostra manual (Tauxe, 2005).

3.3 Procedimentos de Desmagnetização e Obtenção de Dados

3.3.1 Desmagnetizações Térmica e Aplicação de Campo Magnético Alternado

Paleomagnetistas confiam na relação de tempo de relaxação, coercividade e temperatura para remover (desmagnetizar) componentes magnéticas remanentes de baixa estabilidade. O princípio fundamental das técnicas de desmagnetização é que quanto menor o tempo de relaxação, mais provável é que o grão carregue uma magnetização secundária. A base para a desmagnetização de campo magnético alternado (AF) é que componentes com tempos de relaxação curtos também têm baixas coercividades. A base para a desmagnetização térmica é que esses grãos também apresentam baixas temperaturas de bloqueio.

Na desmagnetização AF, um campo oscilante é aplicado a uma amostra paleomagnética em um ambiente de campo magnético nulo. Todos os momentos de grão com coercividades abaixo do pico AF irão rastrear o campo. Esses momentos ficarão presos à medida que o campo de pico decair gradualmente abaixo das coercividades de grãos individuais. Assumindo que exista uma gama de coercividades na amostra, os grãos de baixa estabilidade ficarão presos uma metade ao longo de uma direção do AF e outra metade ao longo da outra direção; a contribuição líquida para a remanência será zero. Na prática, desmagnetizamos amostras sequencialmente ao longo de três eixos ortogonais, ou enquanto é rotacionado a amostra em torno de três eixos durante a desmagnetização (Tauxe, 2005).

A desmagnetização térmica explora a relação entre tempo de relaxação e temperatura. Haverá uma temperatura abaixo da T_c na qual o tempo de relaxamento é de algumas centenas de segundos. Quando aquecidos a esta temperatura, grãos com tempos de relaxação tão curtos estarão em equilíbrio com o campo. Esta é a temperatura de desbloqueio. Se o campo externo for zero, não haverá o desenvolvimento de uma magnetização preferencial nos minerais ferromagnéticos. Reduzir a temperatura de volta à temperatura ambiente fará com que os tempos de relaxamento cresçam exponencialmente até que esses momentos magnéticos aleatórios, cuja magnetização resultante é, portanto, nula, sejam novamente fixados. Desta forma, a contribuição de grãos de menor estabilidade da T de desmagnetização usada é removida.

As análises das amostras foram preparadas no Laboratório de Paleomagnetismo da UNESP (UNESPMag – Campus Rio Claro), que é equipado com um desmagnetizador por AF e um magnetômetro spinner portátil (Figura 12), para as amostras com (titano)-magnetita. Nas amostras com hematita, as análises foram realizadas no Laboratório de Paleomagnetismo da USP (USPMag), no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), através de um forno para desmagnetização térmica (Thermal Demagnetizer TD48SC - ASC Scientific) e a utilização do magnetômetro de rochas (SQUID Long-Core 755R - 2G Enterprises) (Figura 13).

No laboratório UNESPMag, mediu-se o vetor de magnetização das amostras que aparentavam coloração mais acinzentada através do magnetômetro, utilizando o desmagnetizador AF nas etapas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 e 80 mT. Já as amostras com aspecto mais avermelhada (assim, demonstrando haver maior quantidade de hematita) foram analisadas no laboratório USPMag, através da desmagnetização térmica nas etapas

de 0, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 575, 600, 625, 650 e 675°C. Todas as amostras tiveram seu NRM obtido previamente aos passos citados nos respectivos equipamentos.

Também foi possível, em ambos os laboratórios, a realização de medidas da susceptibilidade das amostras a partir de um susceptímetro Bartington MS2 e um susceptímetro multifuncional (MFK1 – Kappabridge) da Agico para acompanhar variações de ordem de grandeza nos valores em função da temperatura. Um aumento de susceptibilidade combinado a um aumento de intensidade magnética ao longo da desmagnetização térmica sugere mudanças de fases mineralógicas.



Figura 11. Magnetômetro spinner portátil para medições de AF. A amostra é inserida na abertura do copo na parte superior. Ele gira, gerando uma força eletromagnética que é detectada com um fluxo circular (AGICO, 2022).



Figura 12. Magnetômetro criogênico. A amostra é inserida na abertura das blindagens. Existem três eixos SQUIDS que detectam o momento magnético que é lido nas três caixas eletrônicas (USPMag, 2022).

3.3.4 Mineralogia Magnética

Para uma melhor compreensão do mecanismo de magnetização da rocha é necessária uma avaliação da mineralogia magnética presente nos sedimentos estudados. Formas de identificação de mineralogia magnética incluíram a aquisição de curvas de histerese e de IRM em magnetômetro vibracional (VSM Micromag 2900) realizadas no Laboratório de Paleomagnetismo da USP (USPMag). Os experimentos foram realizados em 9 amostras, divididas por suas colorações e proveniência para seleção de amostras representativas.

A partir dessas curvas, determinaram-se como parâmetros a saturação remanente, saturação da magnetização, coercividade remanente e índice de coercividade. Além disso, pôde-se obter a mineralogia magnética destas amostras seguindo o método de Kruiver *et al.* (2001).

A análise dos parâmetros de histerese, usadas para caracterizar as regiões dos domínios magnéticos, foi plotada em um diagrama de Day (Day *et al.*, 1977), onde utilizou-se a razão de saturação de remanência para saturação de magnetização (M_r/M_s) em relação à razão de coercividade remanente para coercividade (B_{cr}/B_c), que permitiu medir misturas de SD e membros finais MD. A curva de mistura entre os membros finais de SD e MD foi baseada na curva 3 de Dunlop (2002).

3.3.5 Métodos Estatísticos

Cada análise paleomagnética produz um conjunto de dados vetoriais (declinação, inclinação e intensidade), plotados em projeções ortogonais conhecidas como “Diagramas de Zijderveld” (Zijderveld *et al.*, 1967), que foram analisados estatisticamente para encontrar o vetor médio da magnetização das amostras. Adotou-se 3 tipos de métodos para analisar estatisticamente os dados vetoriais:

- Estatística de Fisher (1953), o método mais simples, onde os vetores são considerados como pontos dispersos sobre uma superfície esférica, obtendo através de cálculos, a direção média dos vetores, não considerando as intensidades;
- Método proposto por Kirschvink (1980), um mais avançado, onde a análise multivariada das componentes principais (PCA) é aplicada, assim utilizando a intensidade de cada vetor de desmagnetização como peso para se calcular a média dos vetores;
- Método dos círculos de remagnetização de McFadden e McElhinny (1988), aplicado em casos mais difíceis, em amostras que adquiriram componentes de magnetização secundária que apagaram a magnetização original, através principalmente do intemperismo.

Através do software Paleomac 6.5 (Cogné, 2003), os resultados foram interpretados e foi calculado o paleopolo magnético de cada unidade estratigráfica estudada da Bacia Bauru. Assim, foi possível a aferição do polo paleomagnético das unidades estudadas. O polo obtido foi comparado às cronozonas de polaridade determinadas por Gradstein *et al.* (2012) para determinação das idades das formações.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

4.1 Bacia Bauru

4.1.1 Contexto Tectônico e Evolução da Bacia

A origem da Província Magmática do Paraná-Etendeka, identificada na Bacia do Paraná como Formação Serra Geral, está ligada a um dos maiores eventos de magmatismo basáltico da história terrestre, e seu principal período de atividade ocorreu entre 137 e 127 Ma (Turner *et al.*, 1994). Este evento magmático foi associado ao rompimento do Gondwana e ao início da evolução do Oceano Atlântico Sul, e marcou o fim da deposição em grandes áreas intracratônicas (como, por exemplo, a Bacia do Paraná).

Neste contexto, após a abertura do Oceano Atlântico, a Plataforma Sul-Americana continuou a sofrer soerguimento até que a acumulação de cerca de 2000 km³ de lavas basálticas provocou a inversão deste comportamento crustal. O peso do basalto resultou na abertura de um novo espaço de acomodação, que possibilitou o surgimento de uma nova sequência de deposição intracratônica na região. A flexão litosférica causada pela sobrecarga basáltica foi o principal mecanismo de subsidência durante a evolução da Bacia Bauru (Figura 14), com influências significativas dos lineamentos Parapanema e Ibitinga-Botucatu (Fernandes & Coimbra, 2000).

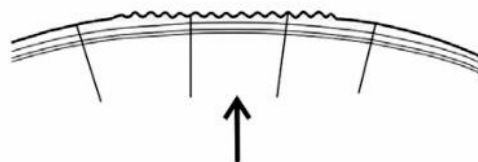
O preenchimento da Bacia Bauru ocorreu simultaneamente com a contínua e lenta subsidência isostática do embasamento, o que também é indicado pela ausência de movimentos tectônicos locais significativos ou estruturas tectônicas frágeis, e pelo fato de as maiores espessuras de sedimentos coincidirem com as áreas de maior acúmulo de lavas basálticas. Durante a subsidência, os principais padrões estruturais do substrato foram mantidos como resultado da herança tectônica (Fernandes & Ribeiro, 2015).

Além do comportamento de soerguimento das margens da bacia, a evolução da bacia foi influenciada pela ação de altos internos, como os associados aos alinhamentos Parapanema (Fulfaro, 1974) e Tietê (Coimbra *et al.*, 1976). A reativação de estruturas marginais e reflexos da orogenia andina promoveram modificações posteriores no Cretáceo Superior e Paleoceno, com caráter predominantemente direcional (Riccomini, 1997b; Zalán, 2004).

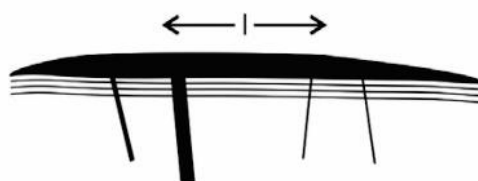
No Maastrichtiano iniciou-se um aporte tectônico, evidenciado pela crescente oferta de sedimentos associados principalmente aos lineamentos Parapanema e Ibitinga-Botucatu e pelo vulcanismo alcalino ao longo do Lineamento Rio Moji-Guaçu. Esse episódio vulcano-sedimentar permanece compatível com a tectônica de extensão sin-deposicional.

A deformação pós-sedimentar é marcada por dois regimes tectônicos de transcorrência sobrepostos, o posterior provavelmente neotectônico (Riccomini, 1997b), como indicado, por exemplo, pelo Alinhamento Rio Paraná (Fernandes & Ribeiro, 2015).

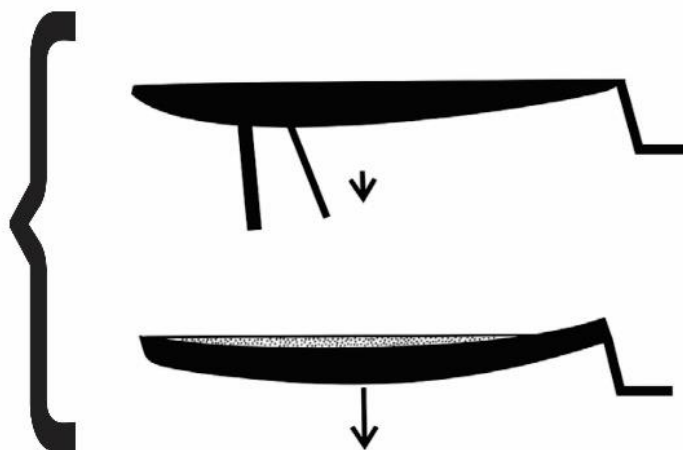
Triássico/Jurássico



Cretáceo Inferior



Cretáceo Superior



Cenozoico

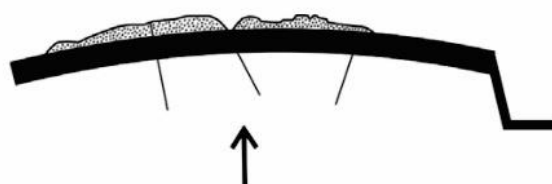


Figura 13. Evolução regional ilustrada da Bacia Bauru (Modificado de Fernandes & Ribeiro, 2015).

O substrato basáltico aparentemente não sofreu alterações tectônicas substanciais que alterassem sua morfologia regional desde o início da sedimentação. As unidades basais da sequência preencheram as áreas inferiores, reduzindo e eliminando as lacunas

originais, possivelmente muito significativas. A topografia atual do substrato mostra um bom ajuste com a distribuição das associações de litofácies, principalmente as anteriores. A área da Formação Araçatuba, por exemplo, coincide com uma área deprimida do embasamento. O limite oeste desta formação é paralelo a Soleira Jales-Andradina, que teria atuado como a borda oeste do ambiente paludal no qual a formação se acumulou. Além disso, a Formação Rio Paraná ocupa uma grande faixa nordeste coincidente com um canal principal controlado pelo relevo do substrato basáltico (Fernandes & Ribeiro, 2015).

4.1.2 Contexto Histórico e Evolução dos Conhecimentos Geológicos

A Bacia Bauru é uma das mais importantes unidades cretácicas continentais brasileiras e, historicamente, foi alvo de inúmeros estudos estratigráficos e paleontológicos. As investigações envolveram área de abrangência, divisões, nomenclatura, hierarquia estratigráfica e, sobretudo, sua concepção de evolução deposicional (Santucci, 2002).

Diversos autores atribuíram-na diversas hierarquias estratigráficas ao longo do tempo, tendo sido a Bacia Bauru considerada como Série (Freitas, 1955 e Almeida & Barbosa, 1953); Formação (Washburne, 1939; Arid, 1967; Suguio & Petri, 1973; Mezzalana, 1974), Grupo (Barbosa *et al.*, 1970; Hasui, 1968 e 1969; Soares *et al.*, 1980; Suguio, 1980 e Almeida *et al.*, 1980) e Bacia (Fernandes, 1992). Muitos desses trabalhos tratam de aspectos regionais, sedimentológicos, geoquímicos e paleontológicos e se restringem, na sua maior parte, ao Estado de São Paulo (Batezelli, 1998).

Esta unidade teve sua primeira notícia por Campos (1905) após ter sido reconhecida e descrita na região oeste do Estado de São Paulo, a serviço da construção da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil. Foi primeiramente denominada como “Grés de Bauru” e, eventualmente, modificada para “Arenito Bauru” por Lisboa (1909). Em 1930, a Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, atual Instituto Geológico, adotou o nome de “Formação Bauru” (Batezelli, 1998). Muitos foram os trabalhos de reconhecimento regional no início do século, principalmente na calha do Rio Tietê (Florence, 1907).

Sua idade cretácica foi inferida por Huene (1927, 1929), com base em paleobiotas correlacionáveis àquelas encontradas em unidades geológicas da Patagônia. A existência de fósseis já era conhecida desde 1911, quando Von Ihering (1911) e Pacheco (1913) descreveram os primeiros fósseis dessa unidade na região de São José do Rio Preto e no vale do Rio Grande. Moraes Rego (1935) apresentou uma síntese dos conhecimentos

geológicos e paleontológicos da então denominada “Formação Bauru”, enriquecendo-a com importantes observações de campo e dados de laboratório (Batezelli, 1998).

Apenas com Almeida & Barbosa (1953) a Unidade Bauru é reconhecida como uma Série, e subdividida em Formações (Inferior ou Itaqueri e Superior ou Marília). Freitas (1955) aplicou uma análise sedimentológica, estratigráfica e tectônica, com objetivo de reconstruir o paleoambiente de sedimentação da “Série” no Estado de São Paulo (Batezelli, 1998). Além disso, trabalhos importantes, como Björnberg *et al.* (1970) e Suguio (1973), apresentaram trabalhos com o mesmo objetivo, incluindo reconstruções paleogeográficas mais refinadas devido às descobertas de novas ocorrências de afloramentos dessa unidade fora do Estado de São Paulo, além da interpretação de dados estruturais e dados de subsuperfície que indicaram processos tectônicos ativos durante a sua sedimentação.

A partir de 1974, os levantamentos geológicos na área de ocorrência do Grupo Bauru no Estado de São Paulo começaram a se intensificar devido aos diversos convênios do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) com a UNESP, USP e o IPT. Estes estudos melhoraram consideravelmente a visão estratigráfica da unidade, já subdividida em unidades menores mapeáveis na escala 1:25.000, ainda com a denominação informal de litofácies e mesmo de fácies (Batezelli, 1998).

A primeira coluna estratigráfica desta unidade foi proposta por Soares *et al.* (1980), a partir da compilação de trabalhos anteriores de mapeamento regional. Nesta contribuição, a unidade Bauru foi elevada à categoria de grupo e subdividida em quatro formações: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília. Entretanto, apesar de aceita pela maioria dos pesquisadores, não houve uma formalização de acordo com o Código de Nomenclatura Estratigráfica Brasileiro.

Fulfaro & Barcelos (1992) entenderam que a Formação Caiuá deveria ser diferenciada do Grupo Bauru. Seguindo as propostas de Fulfaro & Barcelos (1992), Fernandes (1992) dividiu a Unidade Caiuá em formações Goio Erê e Rio Paraná, elevando-a, assim, a categoria de grupo.

Posteriormente, em Fernandes & Coimbra (1994), a Bacia Bauru passou a ser subdividida pelas formações Adamantina, Marília e Uberaba. Estes autores consideraram que a unidade precedeu à deposição da Bacia do Paraná, constituindo um evento tectonossedimentar individualizado, refletindo no interior cratônico, a fase rifte da reativação sul-atlântiana. Fernandes & Coimbra (1996) endossando o que foi proposto por Fernandes

(1992), apresentaram um estudo regional sobre a Bacia Bauru (Grupos Bauru e Caiuá) como entidade geotectônica individualizada.

Fernandes & Coimbra (2000) propuseram uma revisão da estratigrafia da Bacia do Bauru, acompanhada de um mapa geológico da porção leste da bacia em escala de 1:1.000.000. Esses autores dividiram a sequência sedimentar do Cretáceo Superior em dois grupos coevais, Caiuá e Bauru. O primeiro é composto pelas formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio, enquanto o Grupo Bauru foi subdividido em Araçatuba, Vale do Rio do Peixe, Uberaba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília, incluindo também as analcimitos Taiúva. Desde então, a evolução geológica e estratigráfica da Bacia do Bauru se tornou um dos principais temas de discussão na geologia brasileira, com foco em estudos que consideram dados subsuperficiais e paleopedologia. Por exemplo, com a identificação de paleossolos no topo do Grupo Caiuá, Fulfaro *et al.* (1999) interpretaram a Formação Santo Anastácio como um "geossol", indicando uma discordância cronológica entre os grupos Caiuá e Bauru (Langer, 2022).

Em sequência, a partir dos anos 2000, a Bacia Bauru foi estudada segundo a análise de bacias e baseando-se em dados de afloramentos e poços, com destaque para Batezelli (2003), Batezelli *et al.* (2003), Paula e Silva (2003), Paula e Silva *et al.* (2003, 2005), Batezelli *et al.* (2005), Paula e Silva *et al.* (2009), Batezelli (2010), Batezelli (2015) e Batezelli & Ladeira (2016).

Paula e Silva (2003), Paula e Silva *et al.* (2003, 2005, 2009) fizeram uma proposta estratigráfica baseada em dados de subsuperfície, onde utilizaram as mesmas unidades de Soares *et al.* (1980) para a proposta e incluíram duas novas formações encontradas apenas em subsuperfície (Formações Birigui e Pirapozinho). Essa proposta vai contra o Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (Petri *et al.* 1986), uma vez que não leva em consideração informações superficiais essenciais para o mapeamento, dificultando assim a compreensão das relações de contato entre as unidades. Além disso, a falta de critérios essenciais definidos pelo Código e de idades mais precisas para as unidades da Bacia do Bauru resultou em várias propostas estratigráficas com interpretações questionáveis (Langer, 2022).

Batezelli (2003) e Batezelli *et al.* (2003) realizaram subdivisões no Grupo Bauru baseadas em sequências estratigráficas que também seguem, em parte, as proposições de Soares *et al.* (1980), considerando válidas as formações Araçatuba, Adamantina e Marília no estado de São Paulo.

Batezelli (2003, 2010) e Batezelli *et al.* (2003) também reforçaram a separação entre os Grupos Caiuá e Bauru e associaram a sedimentação que originou o último grupo a um evento tectonossedimentar pós-Caiuá. Por outro lado, Milani *et al.* (2007) endossaram a interpretação de Fernandes & Coimbra (1992, 2000), de modo que os grupos Caiuá e Bauru seriam correlatos dentro da Supersequência Bauru.

Batezelli (2015) e Batezelli & Ladeira (2016), integrando informações de afloramentos e poços, elaboraram um modelo de sequências estratigráfica continental para a bacia e redefiniu a estrutura estratigráfica da Bacia Bauru, utilizando fácies, arquitetura deposicional e inconformidades regionais.

4.1.3 Litoestratigrafia da Bacia Bauru

A Bacia Bauru é presente na parte Ocidental do Estado de São Paulo, Noroeste de Minas Gerais e Sul de Goiás (Figura 15). Trata-se de uma unidade pós-basáltica do Cretáceo, assentada sobre a Formação Serra Geral (Fulfaro & Perinotto, 1996). Corresponde a uma área aflorante, no estado de São Paulo, de aproximadamente 117.000 km², cerca de 47% de sua superfície (DAEE, 1990).

A Bacia Bauru desenvolveu-se a partir da superposição de processos tectônicos de abatimento sobre a porção centro-norte da Bacia do Paraná, decorrente dos efeitos da separação Brasil-África (Batezelli, 2003). O depocentro da sucessão cretácica suprabasáltica ocupa geograficamente a mesma posição onde se localiza as maiores espessuras de lava da Formação Serra Geral, motivo pelo qual a subsidência da Bacia Bauru tem sido interpretada como produtos de reajustes flexurais negativos da litosfera, ocorridos após o empilhamento, resfriamento e acomodação mecânica das rochas magmáticas (Milani, 1997; Riccomini, 1995 e 1997b).

Com formato alongado na direção norte/nordeste, essa bacia foi implantada principalmente sobre substrato basáltico, tendo como depocentro a área onde a pilha de basaltos da Formação Serra Geral (Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná) é mais espessa. O conjunto litológico dessa bacia representa um intervalo deposicional continental no interior da Placa Sul-Americana, iniciado com um provável nível de base lacustre, colmatado gradualmente por um sistema aluvial, resultante do soerguimento acentuado de suas bordas a norte, nordeste e leste (Batezelli, 2003).

De acordo com Fernandes & Coimbra (1996), os depósitos da Bacia Bauru aparentemente constituem uma sequência única, formada por rochas siliciclásticas de

origem continental, nos mais diversos tipos de ambientes deposicionais: eólico, lacustre, fluviais e leques aluviais. Para Soares *et al.* (1980), após um rápido ciclo erosivo ao término do vulcanismo basáltico, as condições climáticas favoreceram a continuação de um ambiente desértico (Grupo Caiuá). Com o resfriamento regional, o deserto foi progressivamente sendo substituído por um sistema fluvial, migrando de norte a sul, em canais entrelaçados (Fm. Santo Anastácio). Posteriormente, este sistema foi substituído por um sistema fluvial meandrante, sob clima úmido (Fm. Adamantina) e, ao final do ciclo, com o clima tornando-se novamente árido, as faixas marginais evoluíram para leques aluviais que progradaram sobre o sistema meandrante instalado, com posterior assoreamento da bacia.

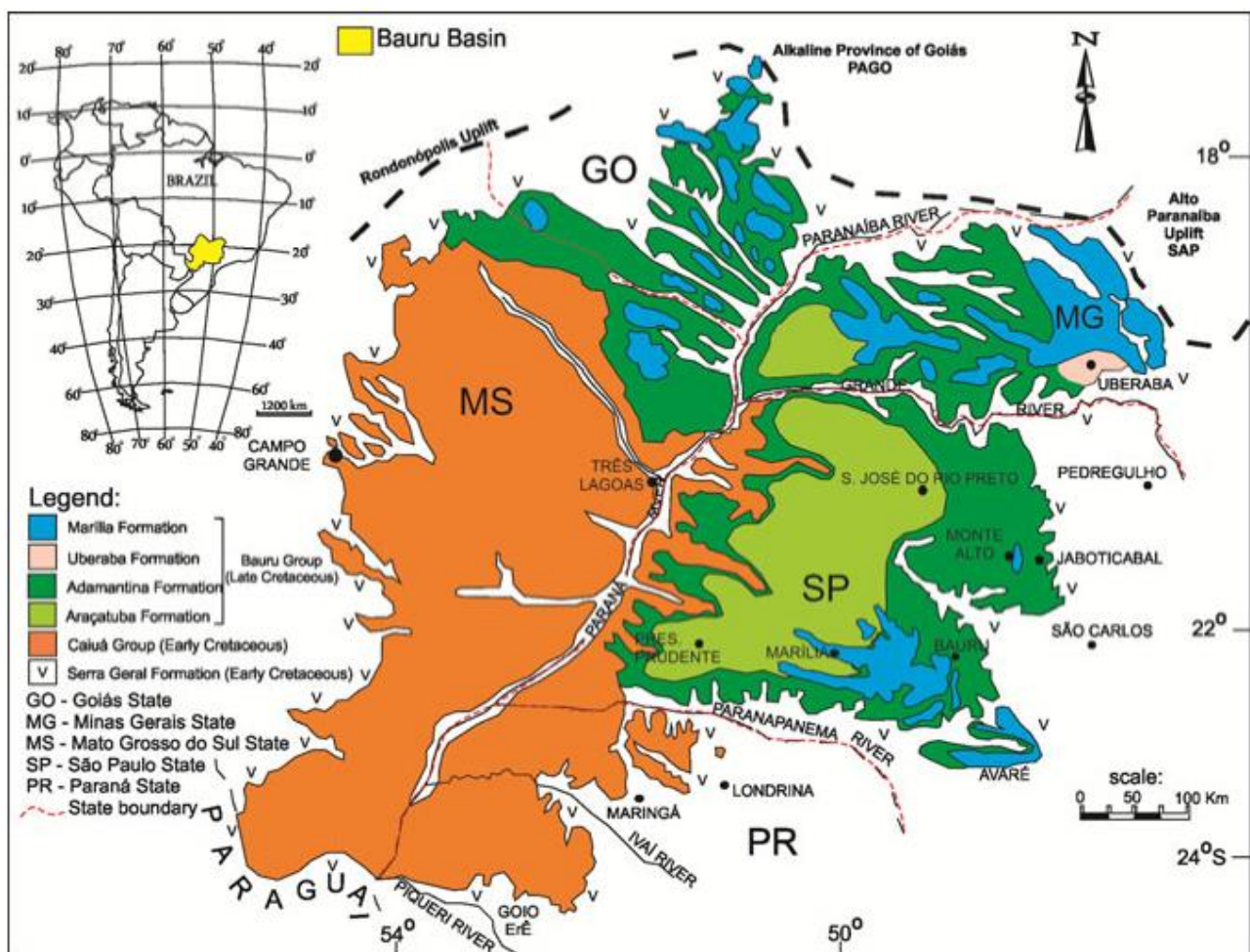


Figura 14. Mapa geológico da Bacia Bauru (Batezelli, 2017).

A divisão litoestratigráfica aqui adotada para a Bacia Bauru nas diferentes áreas de ocorrência, segue em parte as proposições de Soares *et al.* (1980), Suguio (1980), Barcelos

(1984) e Fernandes (1992) (Figura 16), ainda que com a ressalva sobre a sua classificação. Toma-se, neste trabalho, a Bacia Bauru como subdividida em dois grupos distintos: Grupo Caiuá (incluindo Fm. Santo Anastácio) e Grupo Bauru (Fm. Marília, Fm. Adamantina e Fm. Araçatuba) de acordo com Batezelli (2017). Portanto, apenas estas unidades serão discutidas posteriormente.

A escolha pela nomenclatura de Bacia Bauru (Fernandes, 1992), além da adoção de subdivisões estabelecidas por Batezelli (2017), deve-se, em parte, pela simplificação operacional delas e as evidências mais recentes sobre a tectônica envolvida no desenvolvimento da bacia.

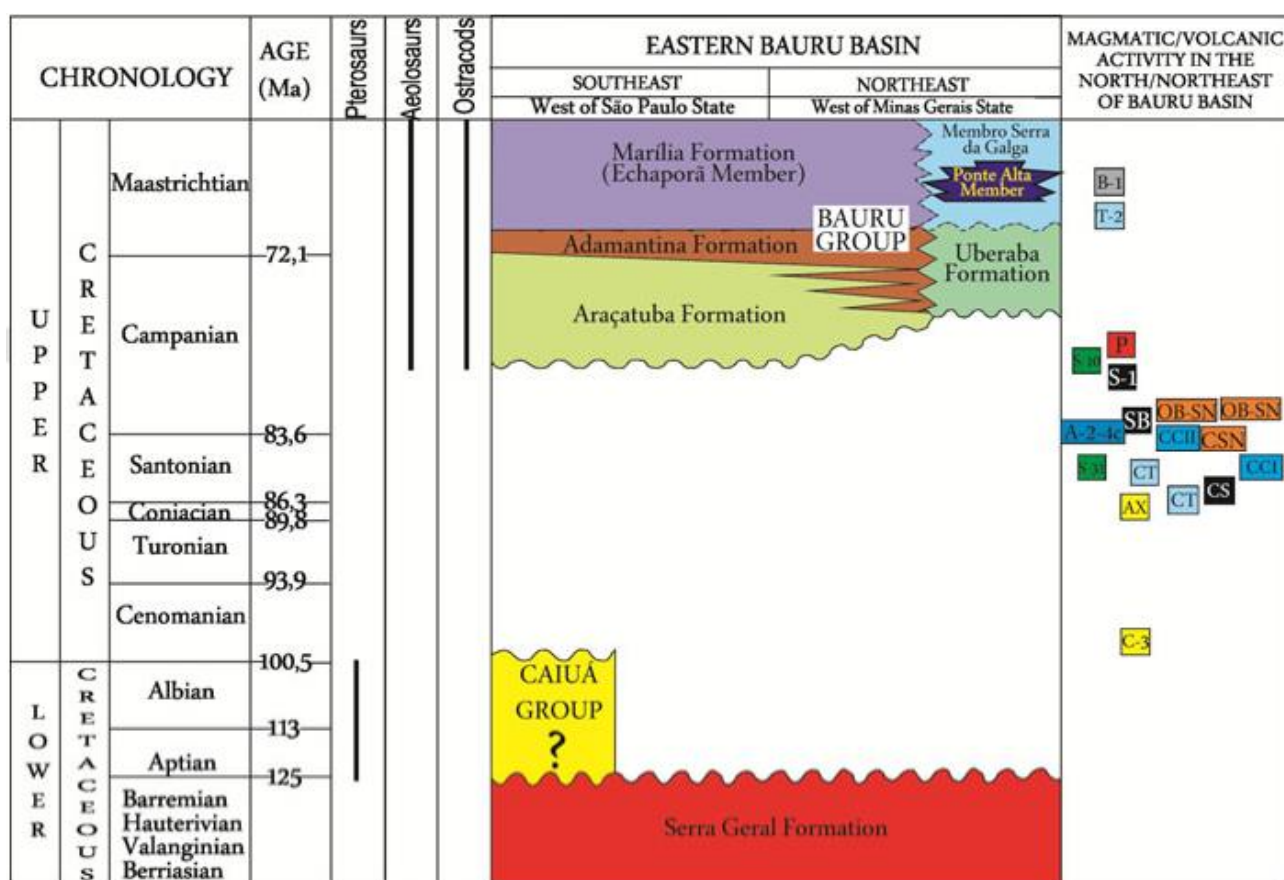


Figura 15. Carta cronoestratigráfica da sequência cretácea no sul do Brasil (Batezelli, 2017).

4.2 Grupo Caiuá

O Grupo Caiuá ocorre nos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Ela foi primeiramente descrita por Washburne (1930) e é composta por arenitos finos a médios, com frações muito finas e grossas subordinadas, e com pouca matriz argilosa. É

caracterizada pela presença marcante de estratificações cruzadas com sets de altura métrica, tabulares e acanaladas, com laminação bem desenvolvida (Fernandes, 1992).

As maiores espessuras encontradas para a unidade situam-se no noroeste do Paraná, com valores máximos entre 250 e 270 metros (Maack, 1941; Freitas, 1955); 150 a 200 metros em São Paulo (Mezzalana *et al.*, 1981; Landim & Soares, 1976; Almeida *et al.*, 1981); e 150 metros no Mato Grosso do Sul (Sousa Jr., 1984). Assenta-se discordantemente sobre as unidades do Grupo São Bento (Fernandes, 1992).

4.3.1 Formação Santo Anastácio

Sua ocorrência principal é nos estados de São Paulo (nos afluentes do Rio Paraná) e Mato Grosso do Sul. Pode ser encontrada de forma restrita nos estados do Paraná e Minas Gerais (Fernandes, 1992).

É caracterizada por arenitos de granulação predominantemente mais fina que as outras unidades do Grupo Caiuá, com estratificações cruzadas de menor porte. Os grãos maiores são arredondados, foscos e encobertos por película de óxido de ferro. Apresenta frequentemente cimentação carbonática e níveis de calcretes, assim como raras intercalações de bancos argilosos (Fernandes, 1992).

Situa-se estratigraficamente abaixo da Formação Adamantina e acima das demais unidades do Grupo Caiuá, sendo, portanto, o limite superior deste grupo. Representa uma litofácies transicional, de caráter misto, que se assemelha a cada uma das unidades de contato; seus contatos tendem a ser transicionais, em geral interdigitados, e contatos bruscos localizados. Em locais onde a Formação Santo Anastácio faz contato com os basaltos da Formação Serra Geral, são descritas brechas basais delgadas, semelhantes às encontradas no Grupo Caiuá (Fernandes, 1992).

O ambiente deposicional da Formação Santo Anastácio é considerado fluvial (Suguio, 1981), meandrante e anastomosado psamítico (Soares *et al.*, 1980) e predominantemente anastomosado (Almeida & Melo, 1981; Suguio & Barcelos, 1983a). As espessuras máximas da unidade observadas em São Paulo (vales dos rios Santo Anastácio e Piraporinha) e Mato Grosso do Sul oscilam entre 80 e 100 metros (Fernandes, 1992).

4.2 Grupo Bauru

4.2.1 Formação Araçatuba

Esta formação foi primeiro descrita como “litofácies Araçatuba” por Suguio *et al.* (1977) e, posteriormente, ressignificada para Formação Araçatuba por Zaine *et al.* (1980). Em Fernandes (1998), houve a redefinição das unidades da Bacia Bauru, onde a Formação Araçatuba prosseguiu com sua classificação como formação.

Esta unidade ocorre principalmente na parte central do oeste do estado de São Paulo, nos vales dos rios Tietê e Aguapeí.

Segundo Batezelli *et al.* (2003), a Formação Araçatuba é uma unidade constituída por arenitos muito finos, siltosos e siltitos arenosos, de coloração cinza esverdeada, geralmente maciços, por vezes apresentando estratificações plano-paralelas e sutis estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte (até 40 cm de comprimento), características de ambiente lacustre. As características litológicas, continuidade lateral, espessura, e relações de contato com as unidades sub e suprajacentes indicam que a Formação Araçatuba é o registro da sedimentação lacustre, coexistindo com planícies fluvio-aluviais (Formações Adamantina e Marília), que configuraria um trato de sistemas onde o lago representaria o nível de base local.

A Formação Araçatuba apresenta contato basal discordante com a Formação Serra Geral e Formação Santo Anastácio (Grupo Caiuá). Possui contato superior e lateral de forma gradual e interdigitado com a Formação Adamantina. A implantação do paleolago Araçatuba deu-se no estágio inicial de formação da Bacia Bauru durante o Cretáceo Superior, através de processos de reestruturação da antiga área norte da Bacia Caiuá, provavelmente condicionada pelos lineamentos de Três Lagoas e Presidente Prudente (Batezelli *et al.*, 2003).

4.2.2 Formação Adamantina

Proposta por Soares *et al.* (1980), a Formação Adamantina faz parte das primeiras quatro formações apresentadas como subdivisões do Grupo Bauru. Esta composição foi novamente observada em Soares (1981), e continua sendo amplamente aceita por autores subsequentes (Almeida & Melo, 1981; Paula e Silva *et al.*, 2005). Todos concordam que a Formação Adamantina está situada estratigraficamente entre as formações Santo Anastácio e Marília.

Historicamente, esta formação passou por subdivisões que são consideradas informais: Fácies São José do Rio Preto (Suguio *et al.*, 1977); Parte Silítica, alocada ao Noroeste do estado de São Paulo (Brandt Neto, 1977); fácies Taciba e Ubirajara, posicionada no sudoeste do estado de São Paulo (Soares *et al.*, 1979).

Fernandes (1998) e Fernandes & Coimbra (2000) sugeriram o abandono do nome Adamantina, e a fragmentação desta unidade geológica nas formações Vale do Rio do Peixe, correspondente à Fácies Ubirajara de Soares *et al.* (1980) e grande parte da Formação Adamantina de Almeida *et al.* (1980); São José do Rio Preto, correspondente à Formação São José do Rio Preto de Suguio (1981); Presidente Prudente, correspondente a parte da Fácies Taciba de Soares *et al.* (1980), e parte da unidade Kav (Formação Adamantina) de Almeida *et al.* (1980). Este trabalho desconsidera estas nomenclaturas e leva a tradicional Formação Adamantina (definida por Soares *et al.*, 1980) como norma devido sua melhor operacionalidade.

A Formação Adamantina ocorre predominantemente no estado de São Paulo, ainda que existam ocorrências em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (Barcelos, 1984). Na área paulista, é observada nas regiões Norte, Norte-Occidental, nos espigões entre os rios Tietê e Aguapeí, Aquapeí e Peixe, e Santo Anastácio e Paranapanema (Soares *et al.*, 1980).

Esta formação é constituída principalmente por arenitos finos, localmente conglomeráticos, e ocorrem, eventualmente, alguns siltitos, argilitos e arenitos com alto teor de argila. Os sedimentos são geralmente avermelhados, róseos, castanho-avermelhados e, mais raramente, cinza-acastanhados. Adicionalmente, apresentam, em geral, estratificações cruzadas acanaladas e plano-paralelas (Soares *et al.*, 1980).

A sedimentação ocorreu em lagos rasos, que recebiam periodicamente influxo clástico de rios entrelaçados efêmeros, sob regime semiárido, com uma acentuada alternância entre períodos seco e chuvoso. Durante as estações chuvosas, os rios vindos do Norte alimentavam os lagos que se espalharam nas planícies aluviais. Em períodos secos, os lagos se contraíam e as condições para flora e fauna tornavam-se difíceis, causando migração e/ou morte de vertebrados, e expondo ossos nas planícies fluviais e nas margens lacustres. No período chuvoso subsequente, córregos retrabalharam sedimentos e ossos, levando-os para os lagos à medida que a vida florescia novamente (Golberg & Garcia, 2017).

A maior parte dos fósseis da Bacia Bauru é encontrada na Formação Adamantina. São encontrados restos de carófitas, moluscos, peixes, testudinos, crocodylomorfos e dinossauros (Bertini, 1993).

4.2.3 Formação Marília

Com ocorrência na parte leste do Planalto Ocidental em São Paulo, Triângulo Mineiro em Minas, Mato Grosso do Sul e Goiás, a Formação Marília foi primeiramente proposta por Almeida & Barbosa (1953) para denominar a parte superior do Grupo Bauru, caracterizada pela presença de nódulos e de alta cimentação carbonática. Posteriormente, foi nomeada como “fácies calco-conglomerática” (Soares & Landim, 1976), “fácies C” (Coimbra, 1976); “litofácies Marília” (Suguio *et al.*, 1977); “membro superior” (Brandt Neto, 1977); “fácies Marília” (Soares *et al.*, 1979b); e “unidade superior” (Stein *et al.*, 1979). Com Soares *et al.* (1980), foi apresentado uma seção-tipo para a unidade, na região de Marília. Barcelos (1984) propôs a divisão da Formação Marília, no Triângulo Mineiro, em três membros: Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã.

Seus contatos com a Formação Adamantina em São Paulo dão-se ora de forma brusca, ora por interdigitação ou com leito de conglomerado basal. Algumas vezes, ocorre diretamente sobre unidades pré-basálticas, com discordância angular (Fernandes, 1992).

De forma geral, esta unidade é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, conglomerados, com grãos angulosos e teor de matriz variável. Os arenitos ocorrem na forma de estratos, com espessura média entre 1 e 2 metros, maciços ou em acamamento incipiente, subparalelo e descontínuo. Subordinadamente, encontram-se níveis de siltito (Batezelli, 2003).

A Formação Marília foi depositada em leques aluviais, com formação de pavimentos detríticos, em embaciamento restrito, sob regime de chuvas torrenciais (Fernandes, 1992). De acordo com Soares *et al.* (1980), a granulometria crescente para cima indica que a sedimentação das litologias da Formação Marília foi realizada cada vez mais próxima das cabeceiras desses leques, sugerindo incremento na taxa de soerguimento dos arcos marginais.

5. CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA BAURU

A datação e a cronoestratigrafia da Bacia Bauru têm sido fonte de pesquisas e debates entre geólogos e paleontólogos há muitos anos. A Bacia Bauru preserva uma diversidade de fósseis que, juntamente com as evidências paleoambientais, permitem elucidar alguns aspectos da vida passada.

Evidências da presença desses animais e plantas em seus ambientes de vida são seus restos mortais, como ossos, placas dérmicas, dentes, conchas, garras, espículas e espinhos. Os restos podem ser compostos de fosfato de cálcio (apatita), celulose, carbonato de cálcio, sílica ou quitina, bem como impressões preservadas em sedimentos.

Esses fósseis geralmente ocorrem em grupos de vertebrados, invertebrados e plantas. Outras evidências que podem elucidar a fisiologia e o comportamento desses organismos mesozoicos são os icnofósseis de vertebrados e invertebrados encontrados na Bacia Bauru. Ovos, conchas e ninhos fossilizados, coprólitos, gastrólitos, pegadas, tubos e tocas demonstram a diversidade desses icnofósseis que ocorrem em diferentes paleoambientes (Fernandes & Ribeiro, 2015).

Entretanto, um dos principais problemas na datação e cronoestratigrafia da Bacia Bauru é a escassez de marcadores bioestratigráficos de vertebrados não endêmicos, dificultando a determinação da idade absoluta das rochas sedimentares da região. Apesar desses problemas, os pesquisadores têm conseguido avanços significativos no entendimento da cronoestratigrafia da Bacia Bauru por meio do uso de técnicas de datação por meio de zircões, bem como do estudo do registro de microfósseis.

5.1 Microfósseis

Os microfósseis são fósseis de organismos microscópicos, como algas, protozoários, foraminíferos, entre outros, que são comuns em rochas sedimentares. Os microfósseis são importantes na datação de rochas sedimentares porque fornecem informações sobre a idade relativa das rochas, a evolução dos seres vivos e as condições climáticas do passado.

Os estudos de microfósseis no Grupo Bauru tiveram início com as contribuições de Petri (1955) e Barbosa (1955). Petri descreveu *Chara barbosai*, enquanto Barbosa mencionou a presença de ostrácodes provavelmente do gênero *Condonia*. Embora a única espécie de carófitas descrita (*Chara barbosai* Petri 1955) seja endêmica e não forneça dados cronológicos, ela pode ser indicadora paleoambiental. Já Cunha & Macedo (1993)

relataram a presença do gênero *Ilyocypris* na Formação Adamantina, abundantes e com tubérculos diversificados. Campanha *et al.* (1993) encontraram ostrácodes em amostras provenientes de uma pedreira (Formação Marília), mas eles estavam recristalizados e não preservavam impressões musculares ou ornamentações detalhadas. Num resumo, Gobbo-Rodrigues *et al.* (1998) mencionaram a presença de ostrácodes das famílias Ilyocyprididae e Limnocytheridae na Formação Araçatuba (Gobbo-Rodrigues, 1999a).

Dias-Brito *et al.* (2001) descreveu sete espécies de ostrácodes e três subespécies de carófitas. As associações de *Chara barbosai-Ilyocypris cf. riograndensis*, localizadas na Formação Adamantina, e *Amblyochara sp.-Neuquenocypris minor mineira nov. subsp.*, encontradas na Formação Marília, representam dois grupos distintos, que são datados como respectivamente Turoniano-Santoniano e Maastrichtiano (possivelmente Maastrichtiano Superior).

Contribuições por Gobbo-Rodrigues (1999a, 1999b) incluíram a coleta e descrição de carapaças de ostrácodes (família *Ilyocypris*, Formação Araçatuba) e suas correlações com depósitos isócronos argentinos. A coleta de fósseis descrita nestes estudos não tem a mesma composição da assembleia da subzona *Ilyocypris riograndensis* da Bacia de Neuquén (Musacchio & Simeoni, 1991), mas apresenta muitas semelhanças. Dessa forma, esta coleta sugere que o nível estratigráfico da Formação Araçatuba, de onde foi obtida, tenha uma idade entre o Campaniano e o Maastrichtiano Inferior, pois apresenta algumas espécies comuns a unidades geológicas da Bacia de Neuquén, contidas na subzona *Ilyocypris riograndensis*, que marca, com precisão, esses períodos do Cretáceo Superior na Argentina.

5.2 Datações U-Pb em zircões

Determinar a idade das rochas sedimentares e dos fósseis na Bacia Bauru é crucial para compreender a história geológica e a evolução da região. O método de datação por isótopos U-Pb provou ser uma ferramenta importante de datação e forneceu restrições de idade cruciais para a região. Este método é baseado no decaimento dos isótopos urânio (U) e chumbo (Pb) em minerais e rochas. Quando um mineral se forma, ele absorve uma determinada proporção de U para Pb, que começa a mudar à medida que U se decompõe em Pb com o tempo. Medindo as proporções de U e Pb em um mineral, os geólogos podem determinar a idade do mineral e, por extensão, a formação de rocha circundante. O método U-Pb tem a vantagem de ser relativamente preciso, com incertezas de idade

frequentemente na ordem de milhões de anos. Além disso, a datação U-Pb pode ser aplicada a uma ampla gama de minerais e rochas, tornando-a uma ferramenta versátil e amplamente utilizada na comunidade geológica.

Em particular, a datação U-Pb em zircões é amplamente utilizada na geologia por causa da sua capacidade de preservar a idade da rocha original mesmo após tectônica, erosão e transporte. Os zircões são minerais resistentes que são comuns em rochas ígneas e metamórficas e possuem propriedades únicas que os tornam ideais para a datação U-Pb. Devido à sua estabilidade térmica e química, os zircões podem ser analisados para determinar a idade da rocha-mãe e fornecer informações valiosas sobre a história geológica da região. Além disso, também pode ser aplicada a rochas sedimentares, incluindo as da Bacia Bauru. Embora os zircões sejam comumente encontrados em rochas ígneas e metamórficas, eles também podem ser encontrados em rochas sedimentares, onde podem ser utilizados para datar a idade relativa dessas rochas a partir o aferimento de quando esses zircões foram formados e estimativas para sua deposição durante a formação.

De acordo com Dias *et al.* (2021), a Plataforma América do Sul experimentou sucessivos acréscimos crustais e eventos extensionais ao longo de sua evolução. O estudo de análises de zircão usando U-Pb e Lu-Hf foi utilizado para identificar os principais eventos tectônicos da plataforma na sequência do Cretáceo Superior da Bacia Bauru. As principais áreas de origem foram encontradas no Neoproterozóico com contribuições menores de outras eras, com o Arco Magmático Brasileiro Goiás e terrenos próximos, sendo a principal fonte para a Bacia Bauru. Os poucos grãos de zircão de idade paleozoica na bacia provavelmente foram transportados da região andina. Os dados FTT dos grãos de zircão da Bacia Bauru registraram a história recente da Plataforma Sul-Americana, incluindo eventos de compressão e extensão, como a exumação do cinturão Brasileiro, orogenia Gondwanica inicial e tardia, rompimento da placa e estágios de subsidência intracratônica. Eventos de denudação mais jovens foram ligados à subsidência térmica regional do Cretáceo Inferior e subsequente magmatismo alcalino do Cretáceo Superior, com a deposição subsequente dos grupos Caiuá (132 ± 2 Ma) e Bauru (82.7 ± 1.8 Ma).

Marques dos Santos *et al.* (2018) realizaram uma análise das idades que permitiu identificar as rochas sedimentares da era paleozoica na borda leste da Bacia do Paraná como as principais fontes de sedimentos para a Formação Marília. Estes zircões têm sua origem na borda sudeste do Gondwana e foram soerguidos pela orogenia paleozoica, erodidos e transportados para a Bacia do Paraná. Além disso, a partir dos resultados, foi

possível identificar a contribuição da Formação Serra Geral como fonte dos zircões para a Formação Marília, devido às idades mínimas U-Pb encontradas (132 e 154 Ma). Essa formação teria sido exposta durante eventos de elevação no Alto Paranaíba, os quais também expuseram as unidades paleozoicas da Bacia do Paraná.

De encontro com os resultados encontrados por Dias *et al.* (2021), as datações realizadas por Castro *et al.* (2018) encontraram idade máxima dos zircões da Formação Adamantina de $87,78 \pm 0,12$ Ma compatíveis com a idade dos corpos vulcânicos do magmatismo alcalino do Cretáceo Superior na borda norte da Bacia Bauru.

5.3 Idade final

A associação de dados de microfósseis e datações de zircões por U-Pb permitem, com certa precisão, colocar a deposição dos sedimentos do Grupo Bauru no intervalo Campaniano-Maastrichtiano. Isso se deve ao fato de os zircões possuírem idade de cristalização de 87-82 Ma, o que sugere que os processos de exumação dos corpos magmáticos, intemperismo, erosão e transporte, tenham ocorrido em idades iguais ou mais jovens que o Campaniano.

Isso vai de acordo com os resultados encontrados por Gobbo-Rodrigues (1999a, 1999b), que estimaram idade da Formação Araçatuba de Campaniano-Maastrichtiano Inferior se comparada aos dados correlatos da Formação de Neuquén (Argentina). Sendo assim, a idade encontrada por Castro *et al.* (2018) para a datação do zircão associado ao fóssil do mamífero tribosfenídeo (*Brasilestes stardusti*) da Formação Adamantina indica intervalo Conaciano Superior a Maastrichtiano Superior.

6. RESULTADOS

Os resultados apresentados neste estudo são referentes a três campanhas de campo que foram realizadas durante o ano de 2020. Durante essas campanhas, foram coletadas um total de 135 amostras de rochas das Formações Marília, Adamantina e Araçatuba (Grupo Bauru) no oeste do estado paulista e Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no noroeste do Paraná, de acordo com as coordenadas UTM apresentadas na Tabela 1.

O objetivo principal deste estudo foi analisar o campo geomagnético original das rochas, sem a interferência de mudanças menores causadas pela variação de inclinação e declinação magnéticas adquiridas após a deposição da rocha. Para isso, o paleomagnetismo foi utilizado como ferramenta de análise.

Para estabelecer a correlação magnetoestratigráfica das rochas coletadas, foram utilizados os registros de inversão de polaridade magnética apresentados no estudo de Gradstein *et al.*, (2012) como padrão de referência.

6.1 Seções Estratigráficas

De acordo com os mapas e os afloramentos estudados nesta dissertação (Figura 5), foram confeccionadas quatro seções geológicas com o intuito de correlacionar estratigraficamente os afloramentos amostrados para o paleomagnetismo e assim realizar uma seção magnetoestratigráfica compósita. Devido à baixa deformação estrutural e ao acamamento sub-horizontal, em primeira aproximação a cota topográfica de cada sítio foi considerada como função direta da sua posição estratigráfica no Grupo Bauru. Nas figuras 17 a 20 são mostradas as seções geológicas com os afloramentos estudados (dentro de uma faixa de 115 a 210 km) projetados.

No total foram amostrados 21 afloramentos e coletados 135 amostras, respectivamente das formações Araçatuba (47 amostras), Adamantina (30 amostras), Marília (27 amostras) e Santo Anastácio (31).

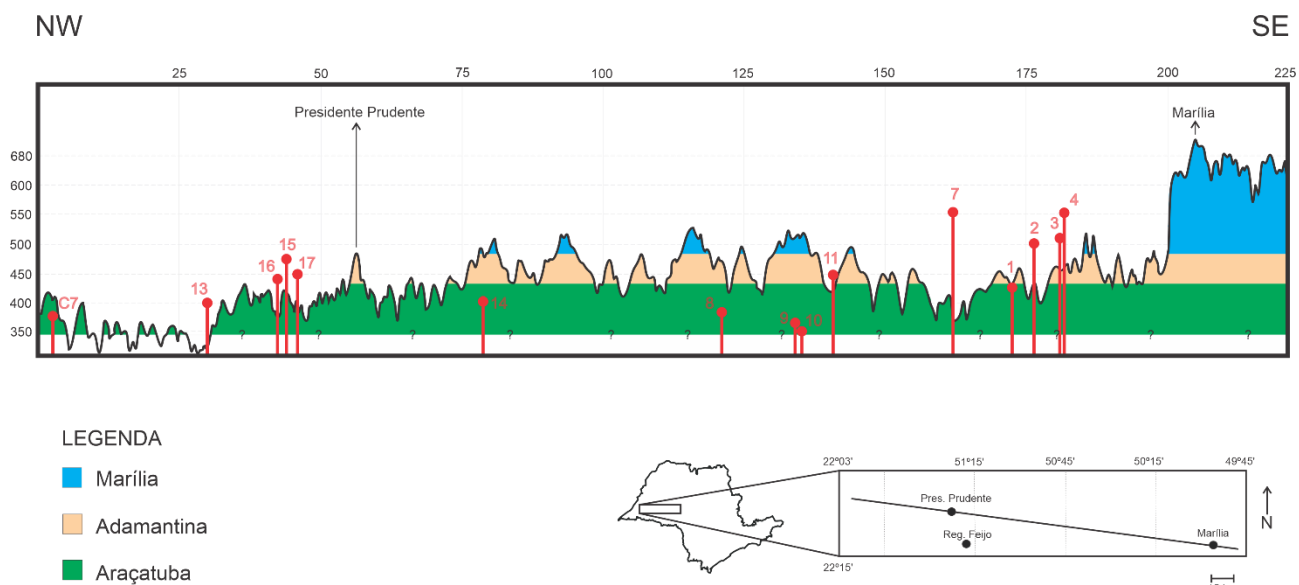


Figura 16. Seção estratigráfica 1 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.

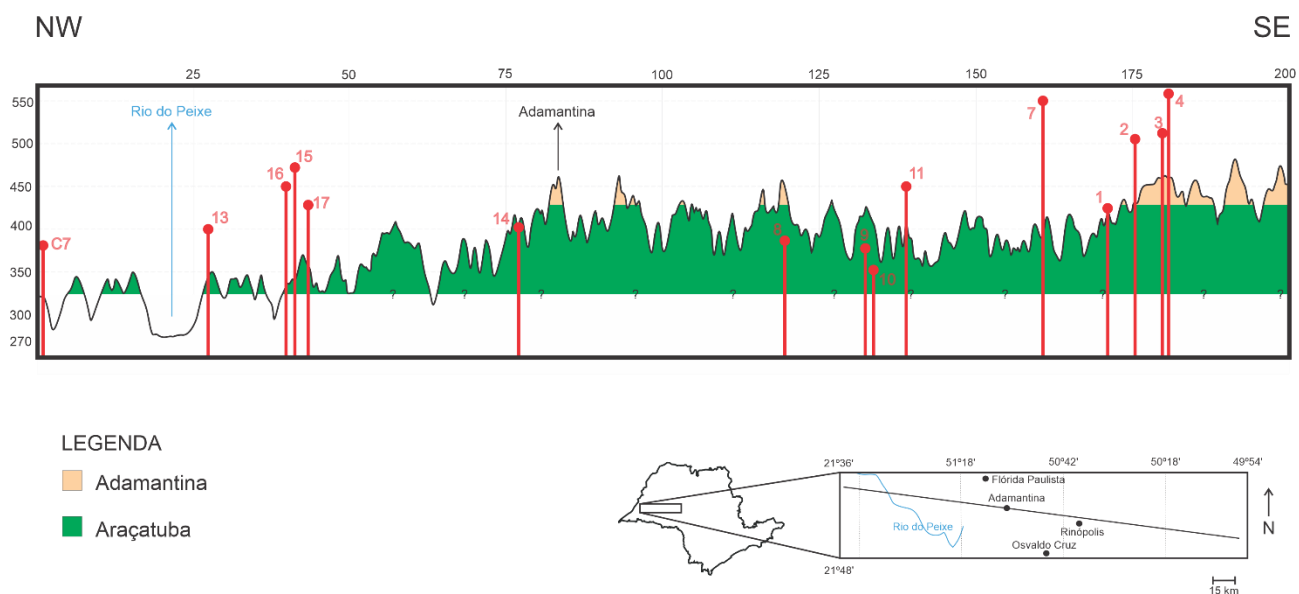


Figura 17. Seção estratigráfica 2 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.

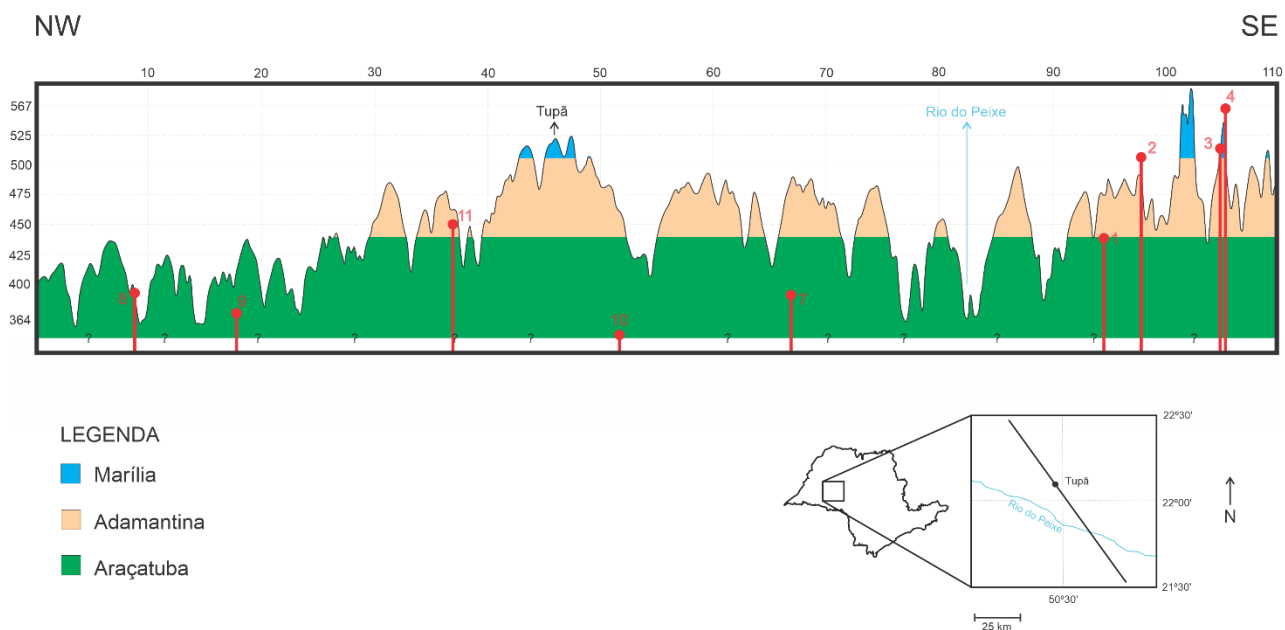


Figura 18. Seção estratigráfica 3 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.

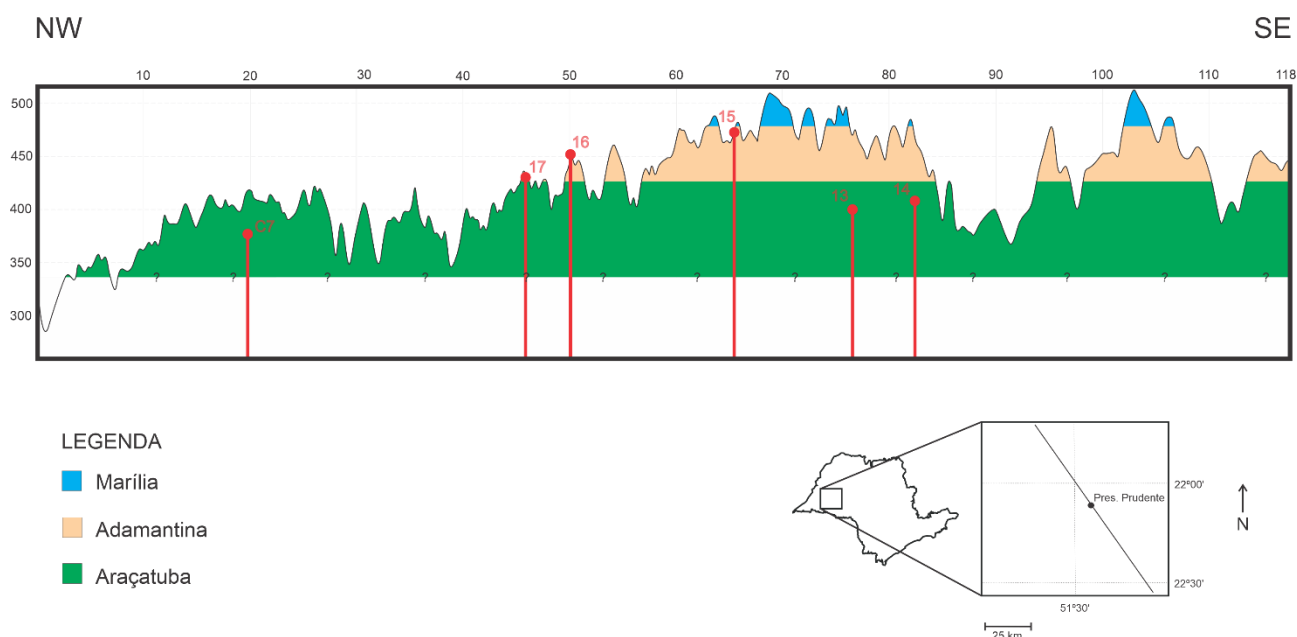


Figura 19. Seção estratigráfica 4 com as localizações dos afloramentos do Grupo Bauru no oeste do estado de São Paulo. Os contatos em subsuperfície foram inferidos.

6.2 Análise Paleomagnética

Inicialmente e durante as análises de NRM das amostras, foram feitas medições de suas respectivas susceptibilidades magnéticas (Tabela 2), onde pôde-se observar certo padrão dentre os resultados encontrados: as amostras originadas da Formação Marília apresentaram índices de susceptibilidade magnética mais fracas, o que condiz com sua

coloração mais acinzentada; a Formação Adamantina gerou amostras com susceptibilidade magnética mediana, enquanto a Formação Araçatuba gerou amostras com susceptibilidade magnética mais altas dentre as três outras unidades do Grupo Bauru. As últimas duas unidades citadas possuem colorações mais avermelhadas em suas amostras.

Amostras	Susceptibilidade Magnética (K)	Formação
BAU-7C	9,161E-05	Ma
BAU-3F	1,028E-04	Ma
BAU-3A	1,382E-04	Ma
BAU-7B	1,518E-04	Ma
BAU-7E	1,723E-04	Ma
BAU-7A	2,850E-04	Ma
BAU-7D	3,177E-04	Ma
BAU-2B	3,436E-04	Ma
BAU-2C	3,591E-04	Ma
BAU-2F	3,770E-04	Ma
BAU-3G	4,355E-04	Ma
BAU-3D	4,441E-04	Ma
BAU-8C	4,453E-04	Ar
BAU-10E	4,464E-04	Ar
BAU-10F	4,586E-04	Ar
BAU-7F	4,686E-04	Ma
BAU-4E	4,771E-04	Ma
BAU-10A	4,789E-04	Ar
BAU-10D	4,834E-04	Ar
BAU-4D	5,039E-04	Ma
BAU-11D	5,171E-04	Ad
BAU-10B	5,198E-04	Ar
BAU-2E	5,387E-04	Ma
BAU-3C	5,477E-04	Ma

BAU-4F	5,498E-04	Ma
BAU-16D	5,506E-04	Ad
BAU-2D	5,776E-04	Ma
BAU-2A	5,888E-04	Ma
BAU 04A	6,091E-04	Ma
BAU 03E	6,120E-04	Ma
BAU 17F	6,170E-04	Ad
BAU 16C	6,560E-04	Ad
BAU 17E	6,850E-04	Ad
BAU 15A	7,031E-04	Ad
CAIU 07J	7,095E-04	Ar
CAIU 07H	7,274E-04	Ar
CAIU 07K	7,393E-04	Ar
BAU 15C	7,430E-04	Ad
BAU 15B	7,809E-04	Ad
BAU 16E	7,856E-04	Ad
BAU 11C	7,859E-04	Ad
BAU 08F	7,876E-04	Ar
BAU 13I	7,886E-04	Ar
BAU 16A	7,947E-04	Ad
BAU 16F	8,171E-04	Ad
BAU 15E	8,304E-04	Ad
BAU 13C	8,926E-04	Ar
BAU 03B	9,202E-04	Ma
BAU 09A	9,384E-04	Ar
CAI 07I	9,970E-04	Ar
BAU 16B	1,004E-03	Ad
BAU 04B	1,009E-03	Ma
BAU 11E	1,017E-03	Ad
BAU 01C	1,027E-03	Ar

BAU 17C	1,041E-03	Ad
BAU 13H	1,073E-03	Ar
BAU 17G	1,074E-03	Ad
BAU 04C	1,078E-03	Ma
BAU 17H	1,079E-03	Ad
BAU 15G	1,103E-03	Ad
BAU 13G	1,121E-03	Ar
BAU 16G	1,127E-03	Ad
BAU 15D	1,134E-03	Ad
BAU 11F	1,165E-03	Ad
BAU 13A	1,234E-03	Ar
BAU 17B	1,261E-03	Ad
BAU 15F	1,266E-03	Ad
BAU 17I	1,364E-03	Ad
BAU 13F	1,384E-03	Ar
BAU 08D	1,392E-03	Ar
BAU 17J	1,397E-03	Ad
BAU 13E	1,413E-03	Ar
BAU 14A	1,422E-03	Ar
BAU 13D	1,484E-03	Ar
BAU 13B	1,487E-03	Ar
BAU 09F	1,688E-03	Ar
BAU 10C	1,785E-03	Ar
BAU 08A	1,787E-03	Ar
BAU 08B	1,898E-03	Ar
BAU 08B	1,965E-03	Ar
BAU 09D	2,050E-03	Ar
BAU 01D	2,050E-03	Ar
BAU 14E	2,354E-03	Ar
BAU 09E	2,562E-03	Ar

BAU 09B	2,596E-03	Ar
BAU 01E	2,812E-03	Ar
BAU 14C	3,016E-03	Ar
BAU 14D	3,954E-03	Ar
BAU 01B	4,037E-03	Ar
BAU 01F	4,099E-03	Ar
BAU 01A	4,466E-03	Ar
BAU 14B	5,054E-03	Ar

Tabela 2. Análise de susceptibilidade magnética (K) das amostras do Grupo Bauru em ordem crescente. (Ar = Fm. Araçatuba; Ad = Fm. Adamantina; Ma = Fm. Marília).

As amostras foram separadas em populações de diferentes proveniências e localidades, representadas por histogramas (Figuras 21 a 23). A maior susceptibilidade está associada aos sedimentos mais avermelhados, onde há maiores teores originais de hematita. Em contrapartida, as amostras associadas a cores mais acinzentadas tiveram valores de susceptibilidade menores.

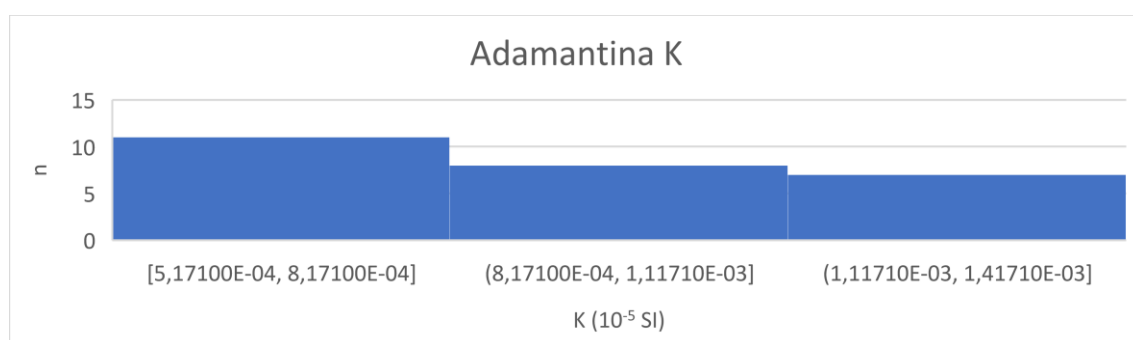


Figura 20. Histograma com os valores de susceptibilidade magnética das amostras da Fm. Adamantina.

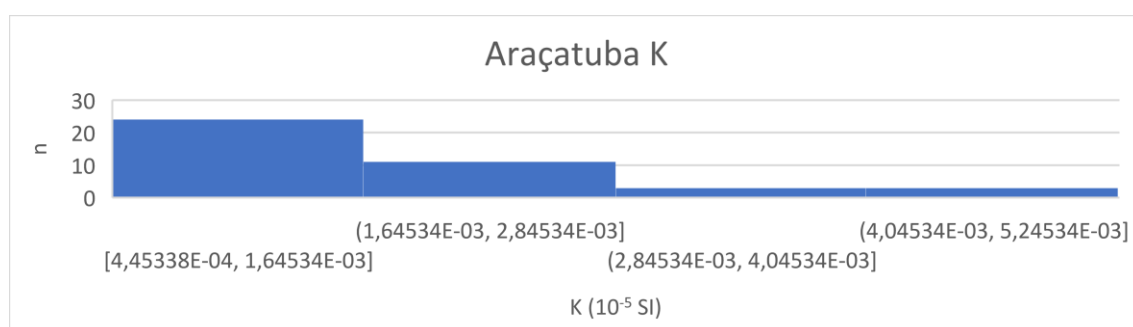


Figura 21. Histograma com os valores de susceptibilidade magnética das amostras da Fm. Araçatuba.

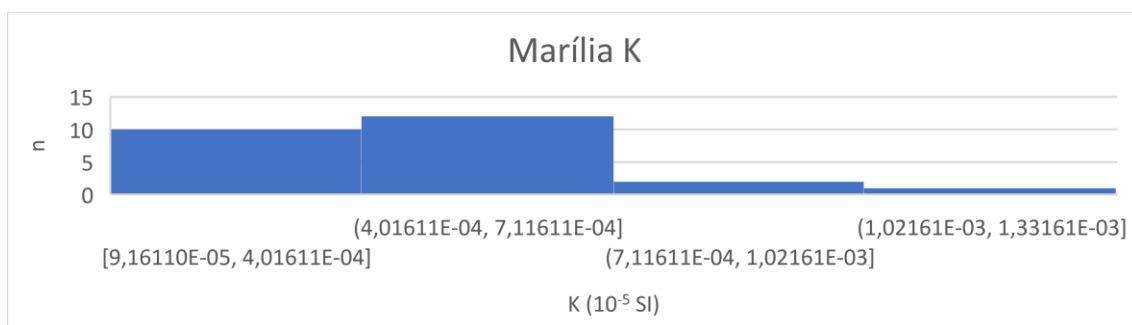


Figura 22. Histograma com os valores de susceptibilidade magnética das amostras da Fm. Marília.

O mineral ferrimagnético hematita é conhecido por ser resistente à desmagnetização por meio de campos alternados (AF). Por isso, a maioria das amostras que continham esse mineral não foram submetidas a esse método de desmagnetização. Em vez disso, optou-se por utilizar a desmagnetização térmica, que consiste em aquecer a amostra a temperaturas cada vez mais elevadas para remover a magnetização remanescente.

No entanto, um pequeno conjunto de amostras ($n = 9$) que apresentava uma coloração mais acinzentada, proveniente da Formação Araçatuba (Grupo Bauru), foram submetidas com sucesso ao método de desmagnetização por AF.

No geral, foi possível isolar a componente primária em quase todas as amostras do do Grupo Bauru e apresentaram apenas componentes primários, enquanto um dos afloramentos pertencentes à Formação Santo Anastácio (Grupo Caiuá) apresentou remagnetização secundária muito desenvolvida (sítio CAIU 2).

BAU-2B

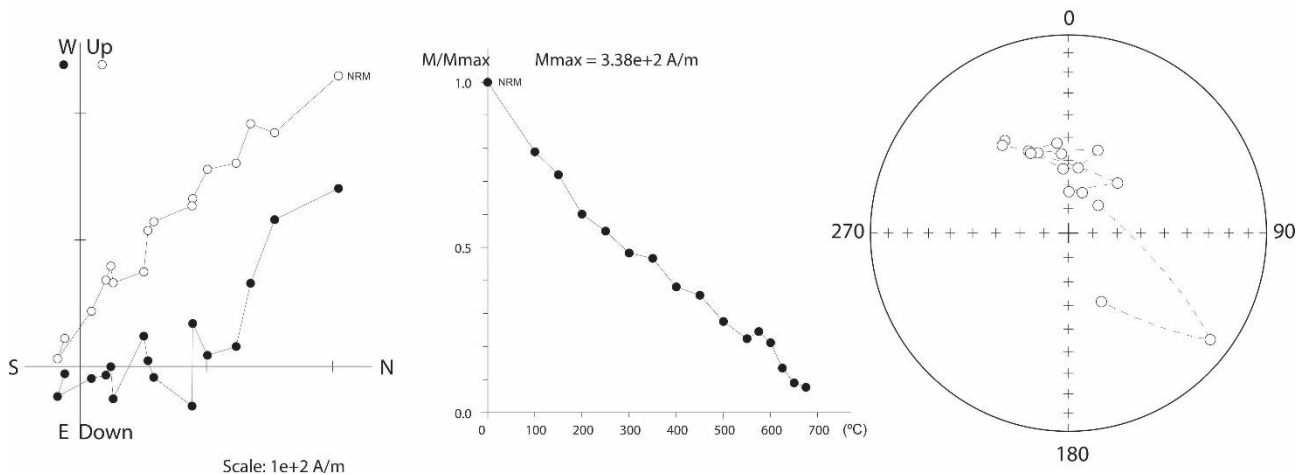


Figura 23. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Marília no estado de São Paulo.

BAU-3B

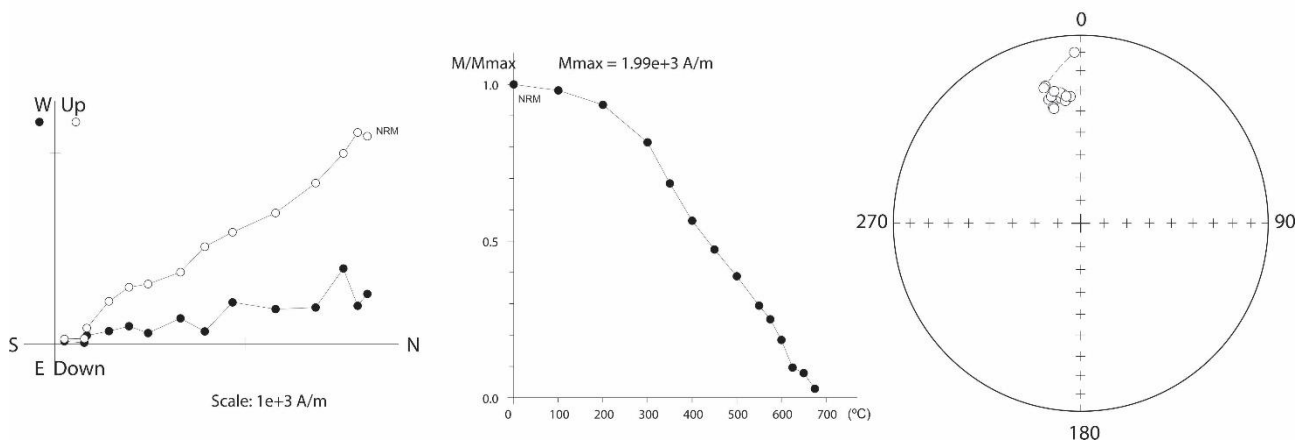


Figura 24. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Marília no estado de São Paulo.

BAU-7A

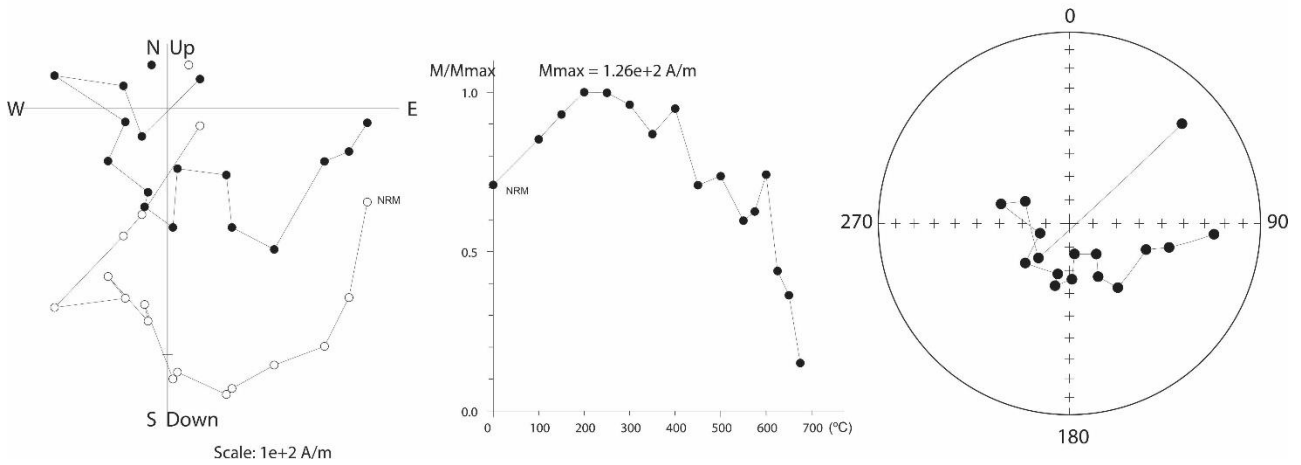


Figura 25. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Marília no estado de São Paulo.

BAU-15A

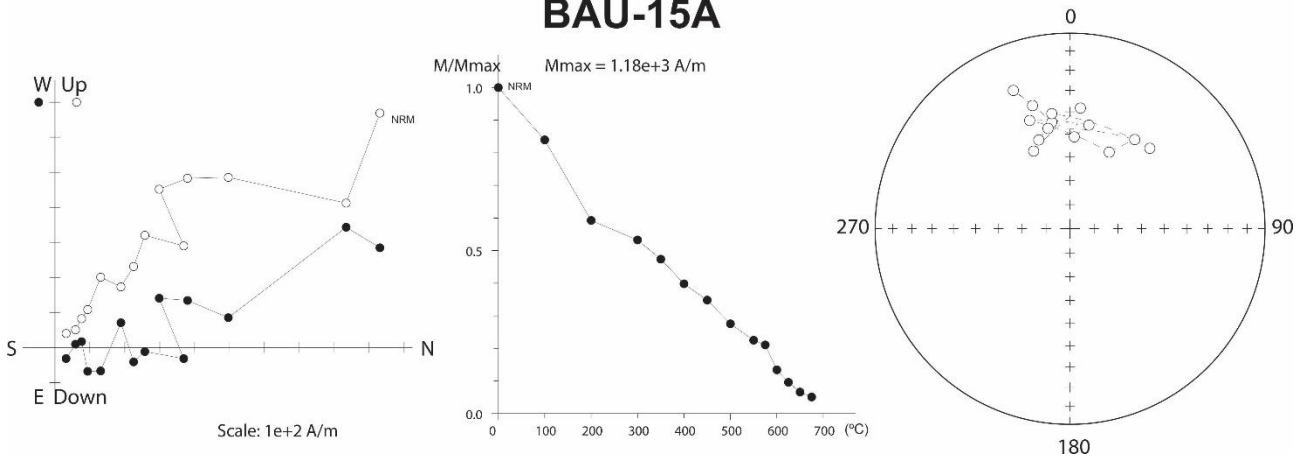


Figura 26. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Adamantina no estado de São Paulo.

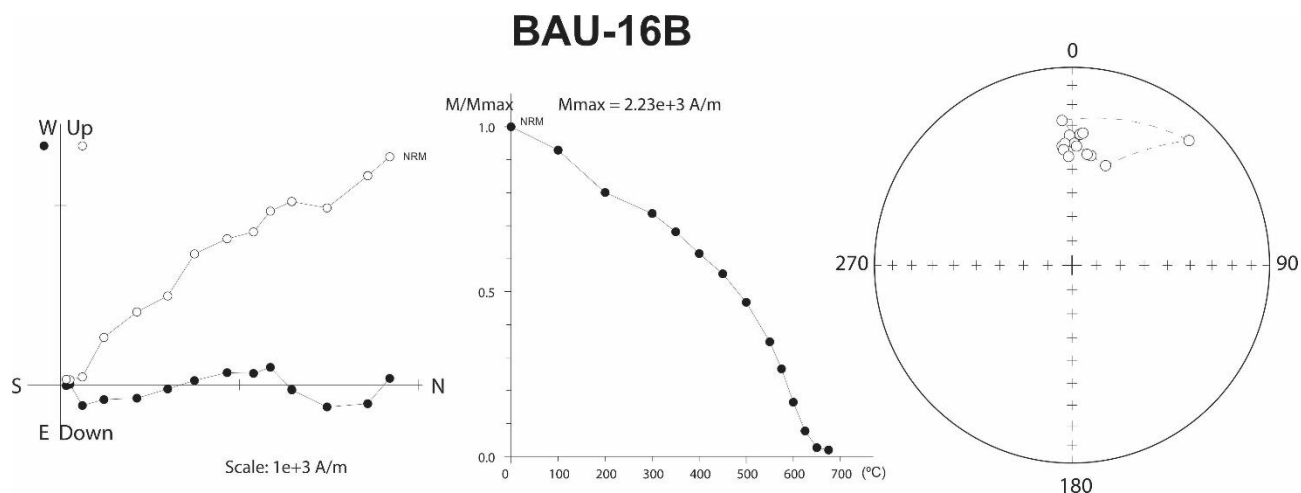


Figura 27. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Adamantina no estado de São Paulo.

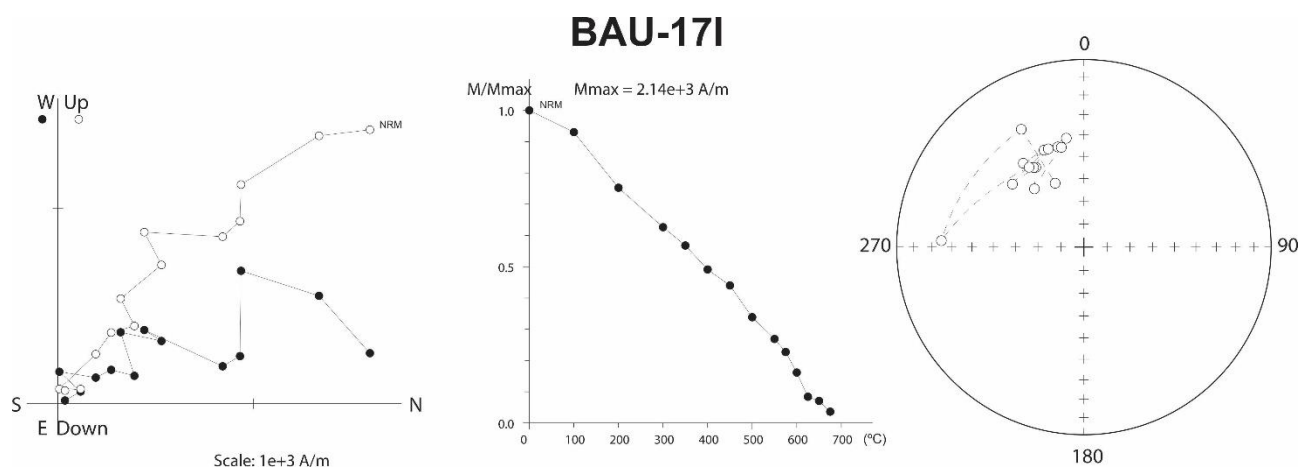


Figura 28. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Adamantina no estado de São Paulo.

BAU-1B

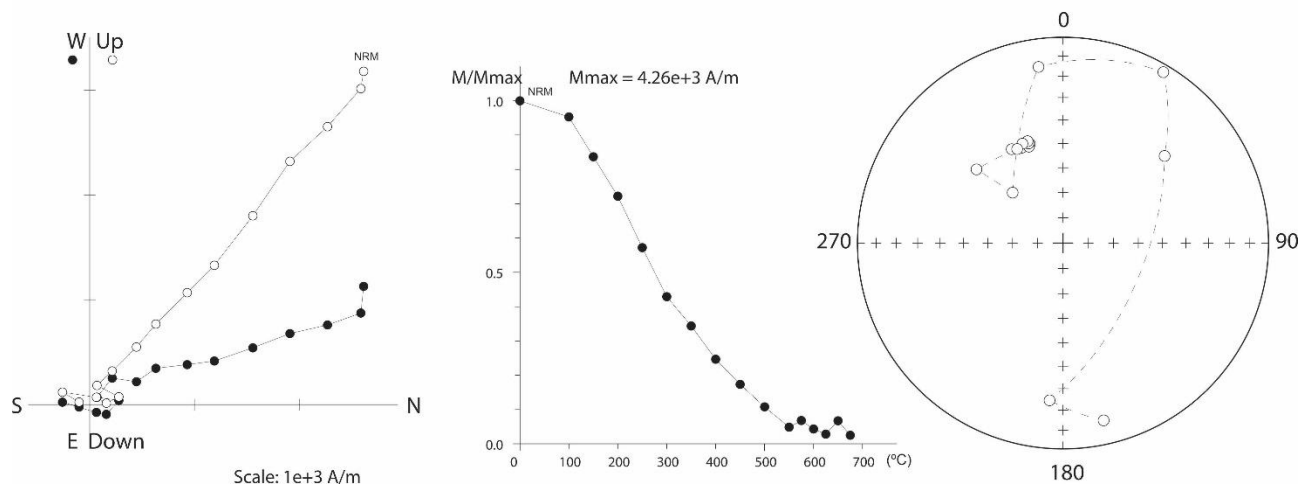


Figura 29. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica (BAU-14B) e aplicação de campos alternados (BAU-8B) plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.

BAU-8B

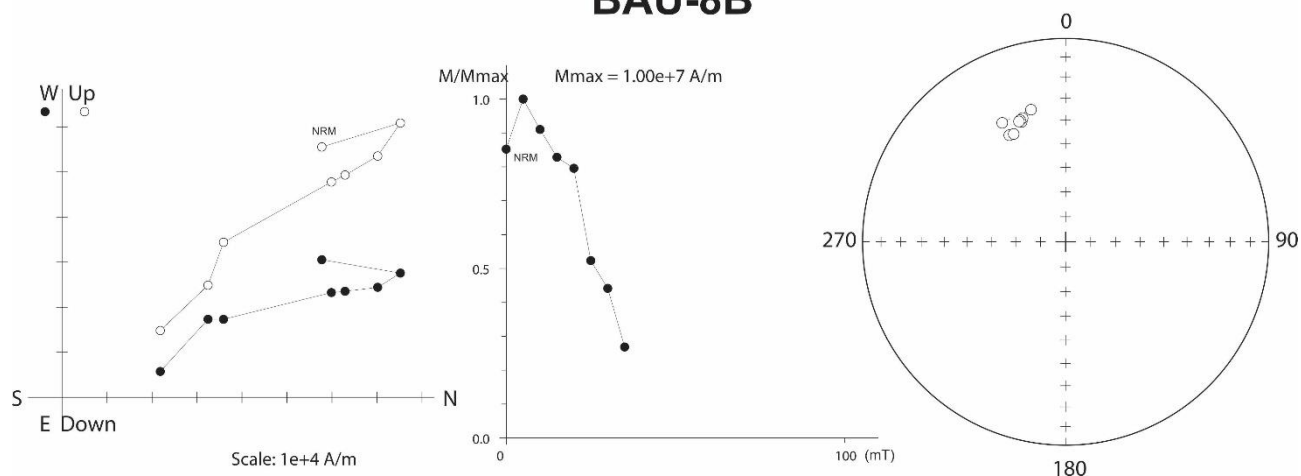


Figura 30. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.

BAU-10A

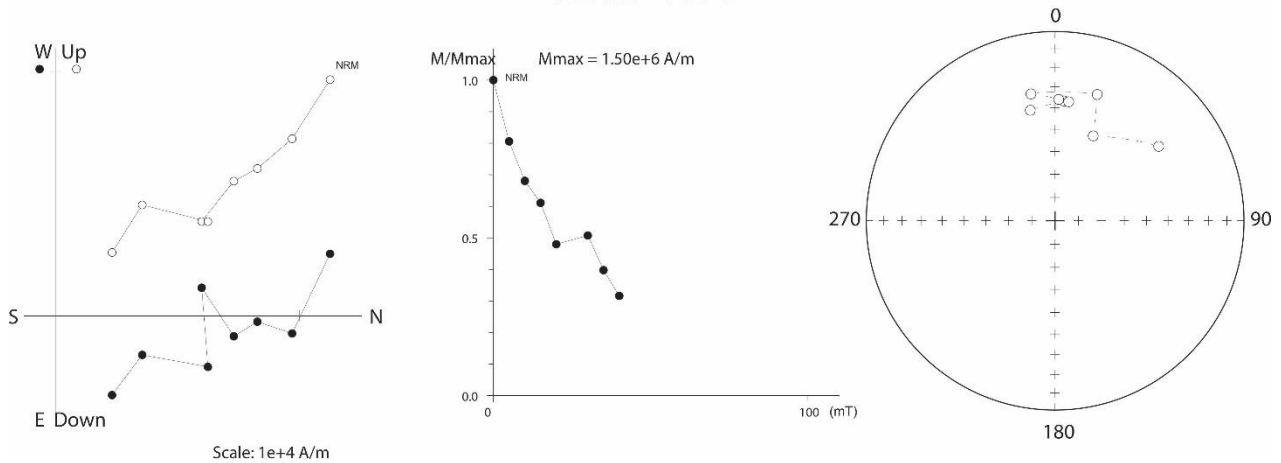


Figura 31. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.

BAU-13C

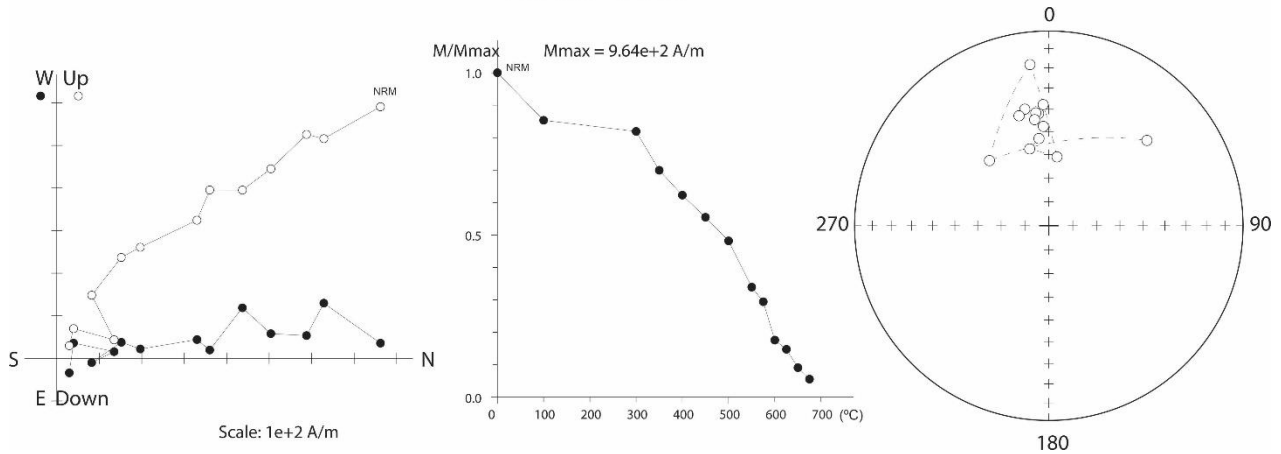


Figura 32. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.

BAU-14B

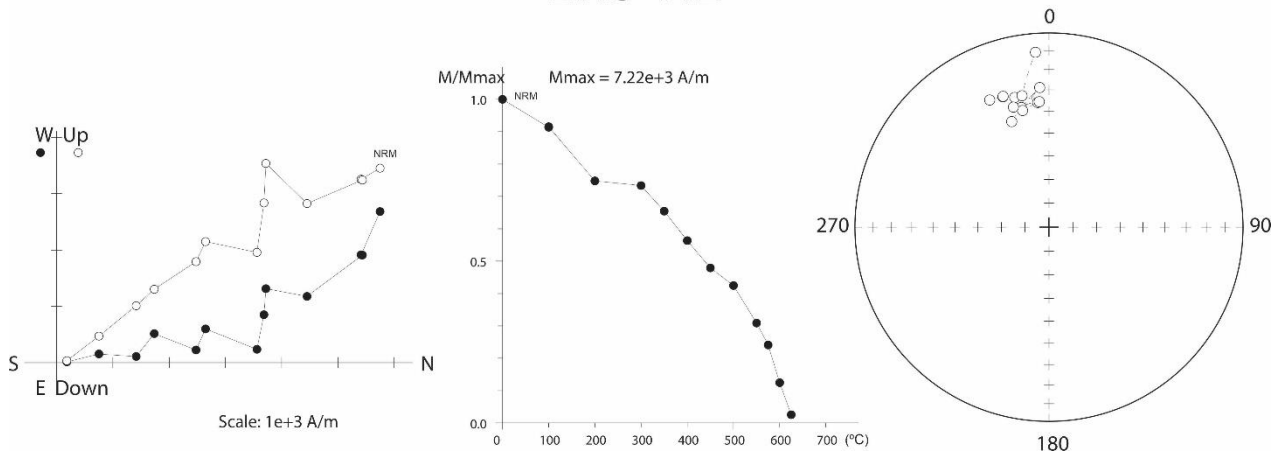


Figura 33. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.

CAIU-7J

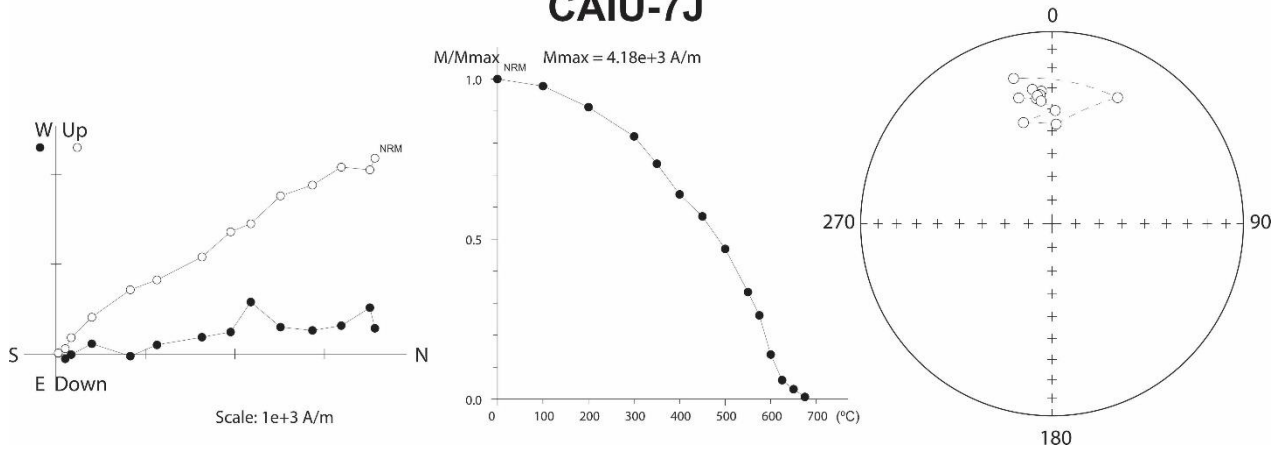


Figura 34. Produtos das análises paleomagnéticas através de aplicação de campos alternados plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Esta amostra foi obtida para a Fm. Araçatuba no estado de São Paulo.

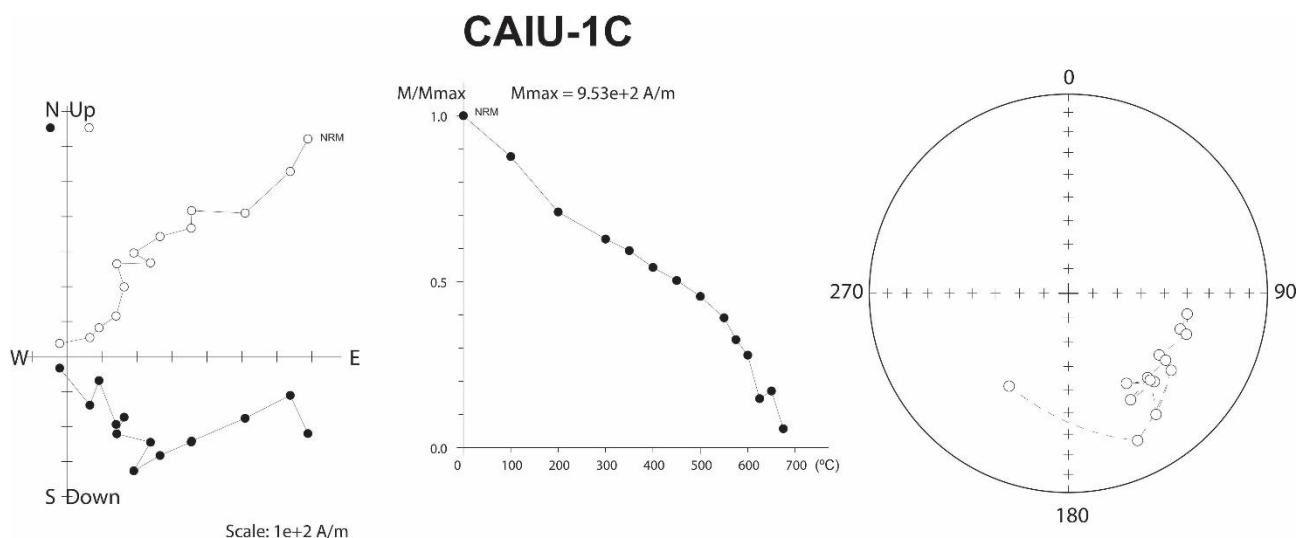


Figura 35. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná.

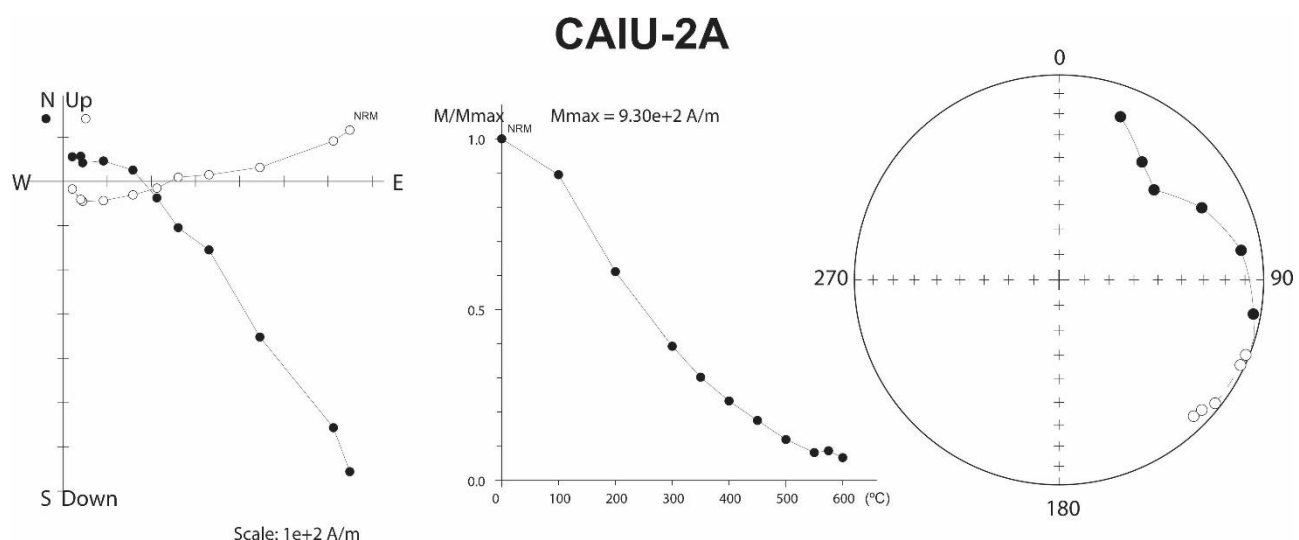


Figura 36. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná. Na amostra CAIU-2A e seu vetor secundário das primeiras etapas e vetor primário subsequente, onde no estereograma pode-se observar o círculo de remagnetização.

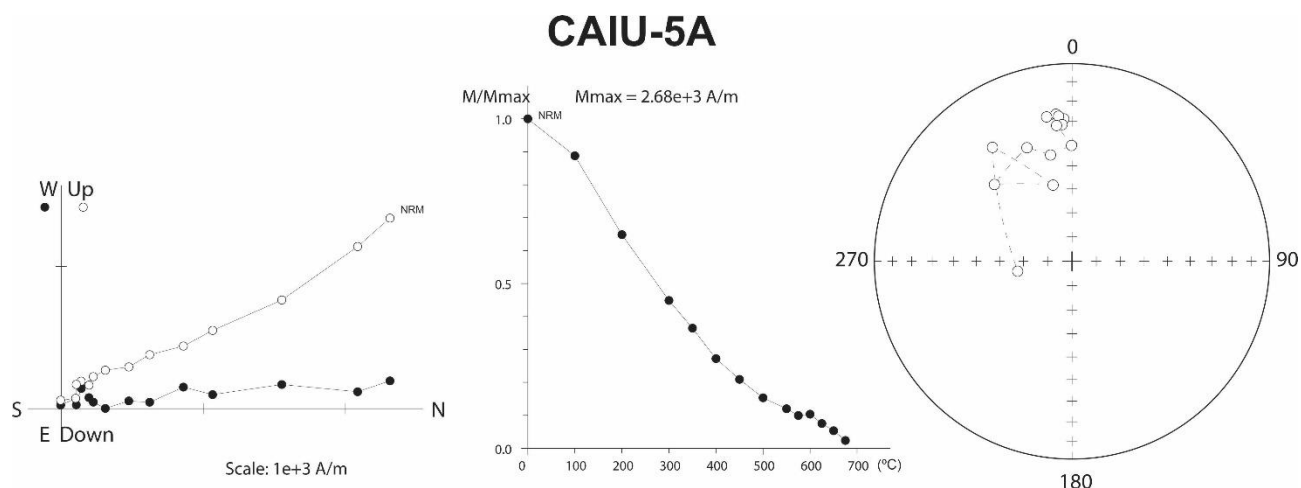


Figura 37. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná.

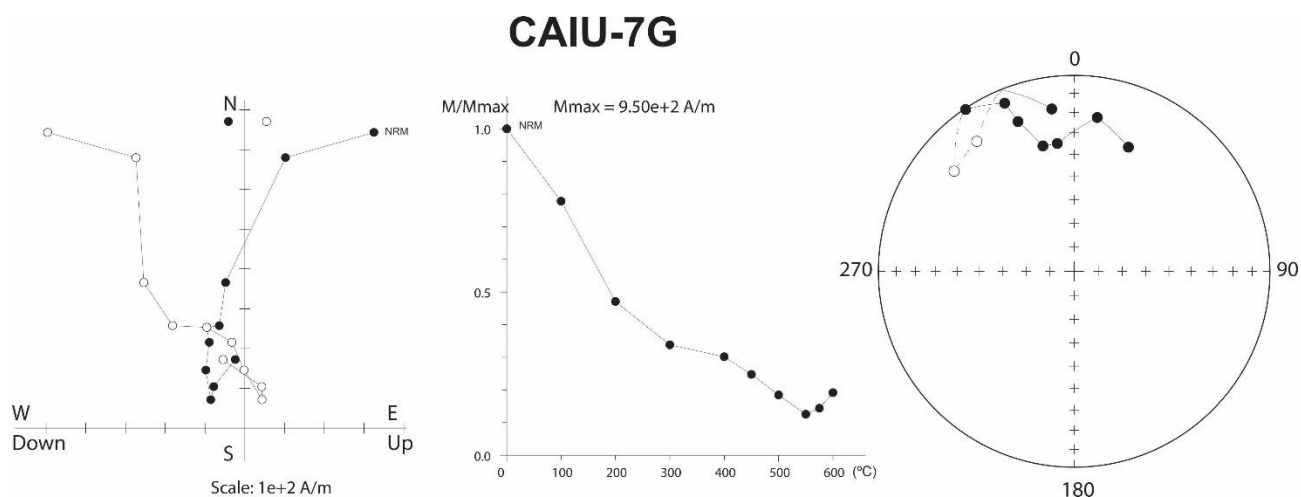


Figura 38. Produtos das análises paleomagnéticas através de desmagnetização térmica plotados com correção no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético através das etapas (direita). Estas amostras são representativas dos resultados obtidos para a Fm. Santo Anastácio (Grupo Caiuá) no estado do Paraná.

Foram então realizadas as médias por afloramento pelo método de Fisher, interpretando seus resultados e dispersões para encontrar aqueles que deveriam ser descartados por estarem muito distantes das outras médias (*outliers*). Estes outliers foram definidos devido à alta variação se comparado a média de outras amostras. A existência destes outliers deve-se possivelmente pelo alto intemperismo pelo qual os sítios da Bacia Bauru foram submetidos.

Na Figura 40, encontram-se os estereogramas com direções de magnetização e as médias de cada sítio com correção de mergulho das camadas e correção geográfica.

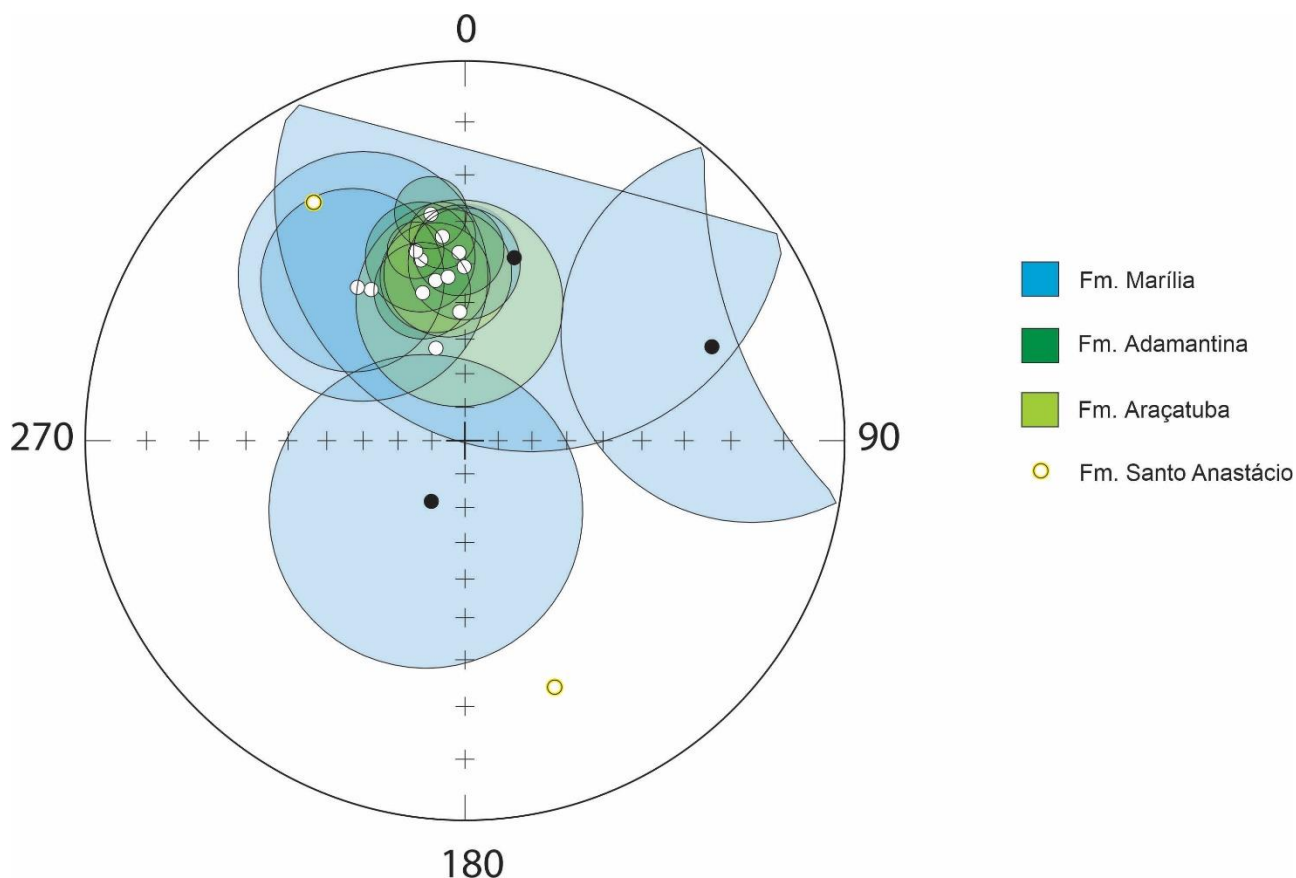


Figura 39. Estereograma com direções de magnetização e as médias por Fisher de cada sítio com correção de mergulho das camadas e correção geográfica. Círculos vazios e cheios indicam inclinações positivas e negativas, respectivamente.

6.3 Mineralogia Magnética

Nove espécimes representativos dos grupos Bauru e Caiuá foram submetidos à aquisição passo a passo de magnetização remanente isotérmica (IRM) usando pulsos magnéticos de até 1 T. O objetivo foi estudar o comportamento da coercividade magnética das fases magnéticas constituintes e, assim, extrair informações sobre os minerais magnéticos correspondentes a elas. A análise das curvas de aquisição de IRM foi realizada seguindo o método de Kruiver *et al.* (2001), onde os dados obtidos pelo IRM são modelados como curvas cumulativas log-gaussianas (CLG), e, posteriormente, decompostas em três tipos de plotagem: gráfico de aquisição linear (LAP), gráfico de aquisição gradiente (GAP) e gráfico de aquisição padronizada (SAP) (Figura 41).

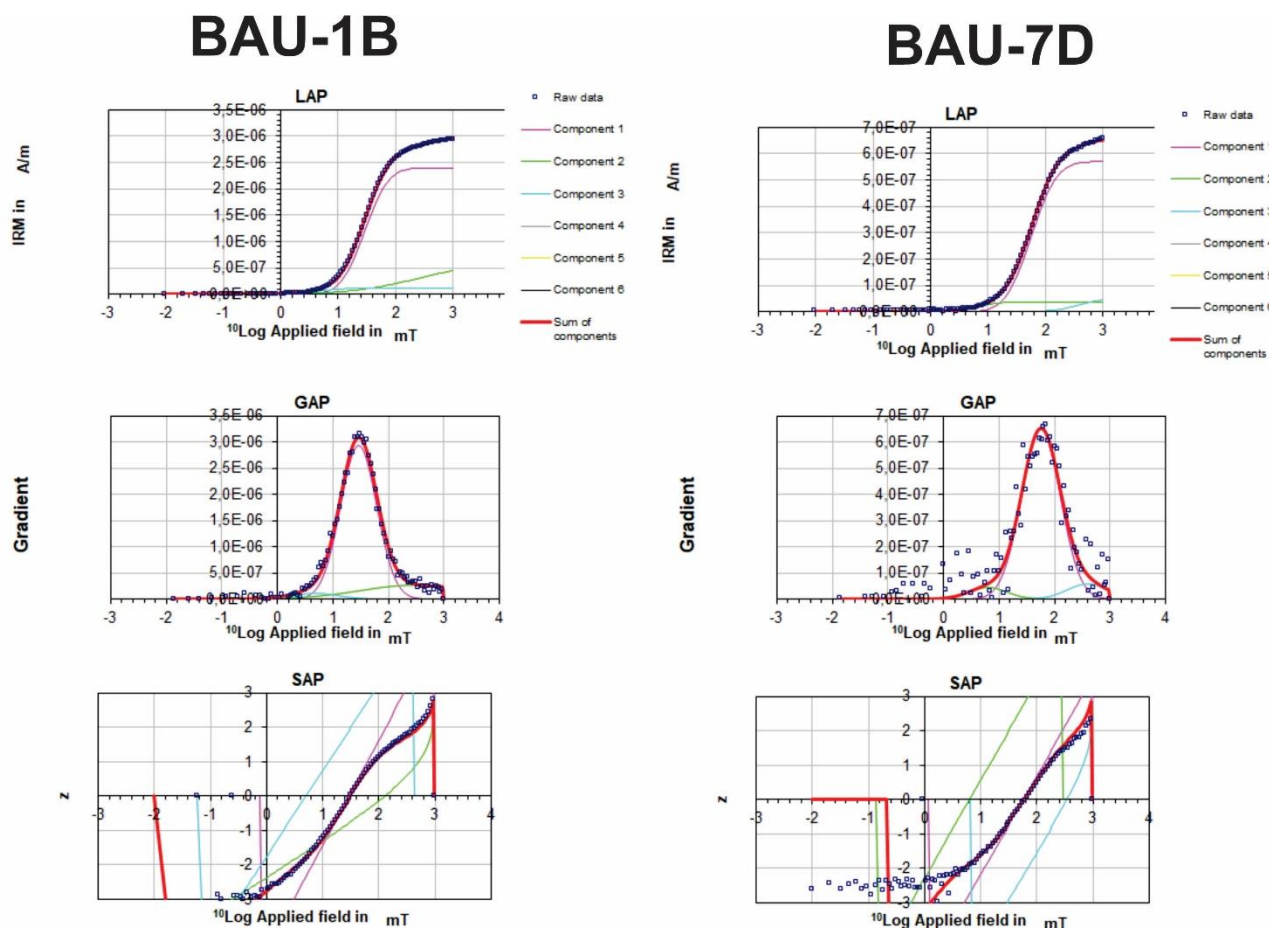


Figura 40. Gráfico de aquisição linear (LAP), gráfico de aquisição gradiente (GAP) e gráfico de aquisição padronizada (SAP) de duas amostras representativas da (Fm. Araçatuba (BAU-1B) e da Fm. Marília (BAU-7D)).

As 9 amostras apresentaram duas componentes principais e uma terceira componente de minerais ferrimagnéticos residuais (>6% de contribuição). A componente com uma força coercitiva de aquisição remanente ($B_{1/2}$) de ~40 mT e um parâmetro de dispersão (DP) de 0,33-0,43 log mT mostra a maior contribuição para o IRM em todas as amostras. Este componente é interpretado como magnetita. A componente com a segunda maior contribuição, de $B_{1/2}$ de ~400 mT, está na faixa da hematita (Tabela 3).

Amostra	Unidade estratigráfica	Contribuição (%)	$B_{1/2}$ (mT)	DP (mT)
BAU-1B	Fm. Araçatuba	75,7	29,5	0,33
		20,5	316,2	1,00
		3,8	5,0	0,40

BAU-2G	Fm. Marília	80,9	46,8	0,43
		16,1	501,2	0,30
		3,0	5,0	0,40
BAU-3A	Fm. Adamantina	82,3	33,9	0,31
		13,0	316,2	0,32
		4,8	5,0	0,30
BAU-4F	Fm. Araçatuba	89,0	52,5	0,37
		6,8	631,0	0,34
		4,2	7,1	0,45
BAU-7D	Fm. Marília	86,3	57,5	0,35
		7,9	398,1	0,37
		5,8	6,3	0,35
BAU-7F	Fm. Marília	81,6	50,1	0,38
		13,6	398,1	0,40
		4,8	5,0	0,35

Tabela 3. Contribuições em porcentagem (%), $B_{1/2}$ (força coercitiva de aquisição remanente) e DP (parâmetro de dispersão) de cada amostra analisada.

A análise dos parâmetros de histerese, usadas para caracterizar os domínios magnéticos, foi plotada em um diagrama de Day (Day *et al.*, 1977) (Figura 46), e pôde-se observar a predominância de minerais MD e de transição superior SD-MD. A curva de mistura entre os membros finais de SD e MD é baseada na curva 3 de Dunlop (2002).

Isto permitiu concluir que todos os minerais magnéticos das amostras da Bacia Bauru estão muito próximos ou são de multidomínio (MD). Isto indica que a força de coercividade das partículas ferromagnéticas dessas amostras é de nível modesto.

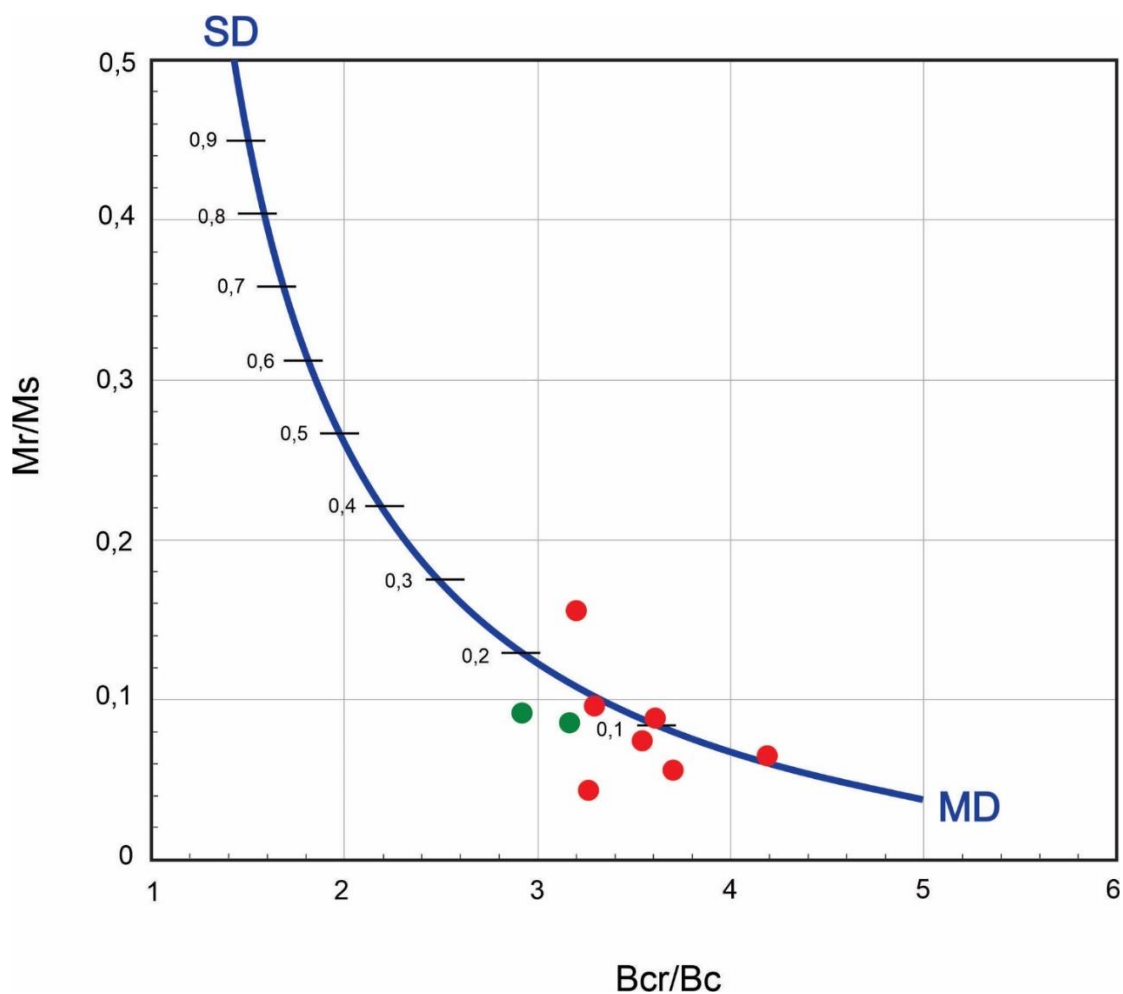


Figura 41. Diagrama (Day *et al.*, 1977) dos parâmetros de histerese Mr/Ms versus Bcr/Bc para as 9 amostras representativas da Bacia Bauru. Os pontos vermelhos indicam as amostras provenientes do Grupo Bauru, enquanto os pontos verdes indicam as amostras provenientes do Grupo Caiuá.

Amostra	Mr (memu)	Ms (memu)	Bcr (Oe)	Bc (Oe)	Mr/Ms	Bcr/Bc
BAU-1B	3,625584E-06	4,082232E-05	2,324064E-02	6,440392E-03	0,08881376659	3,60857537864
BAU-2G	5,574443E-07	8,586718E-06	4,289383E-02	1,023965E-02	0,06491936733	4,18899376444
BAU-3A	2,048036E-06	1,314227E-05	2,872726E-02	8,977534E-03	0,15583578788	3,19990545288
BAU-4F	1,290546E-06	1,342479E-05	3,840466E-02	1,165103E-02	0,09613155960	3,29624591131
BAU-7D	7,340774E-07	9,861209E-06	4,343220E-02	1,226322E-02	0,07444091287	3,54166360874
BAU-7F	6,438429E-07	1,147163E-05	4,143304E-02	1,118928E-02	0,05612479656	3,70292279753
BAU-11C	3,163493E-06	7,280274E-05	2,324064E-02	7,118209E-03	0,0434529387	3,2649561147
CAIU-1A	1,579572E-06	1,722227E-05	3,270184E-02	1,120265E-02	0,0917168294	2,9191164591
CAIU-7I	5,527511E-06	6,454415E-05	2,974392E-02	9,392159E-03	0,0856392252	3,1668884652

Tabela 4. Parâmetros utilizados na confecção do diagrama de SD-MD das 9 amostras representativas da Bacia Bauru. (Mr = saturação remanente; Ms = saturação de magnetização; Bcr = coercividade remanente; Bc = coercividade).

6.4 Magnetoestratigrafia

Devido à extensa cobertura vegetal e de solo, é muito difícil encontrar seções estratigraficamente contínuas e de espessura suficiente para fazer uma magnetoestratigrafia satisfatória. Para contornar esse problema, os afloramentos estudados pelo paleomagnetismo foram correlacionados com base na elevação topográfica, aproveitando do acamamento sub-horizontal e assumindo a ausência de importantes deformações tectônicas. Foi criada, assim, uma seção estratigráfica composta e a sua magnetoestratigrafia associada, representada por meio da latitude do polo geomagnético virtual (VGP) médio de cada sítio.

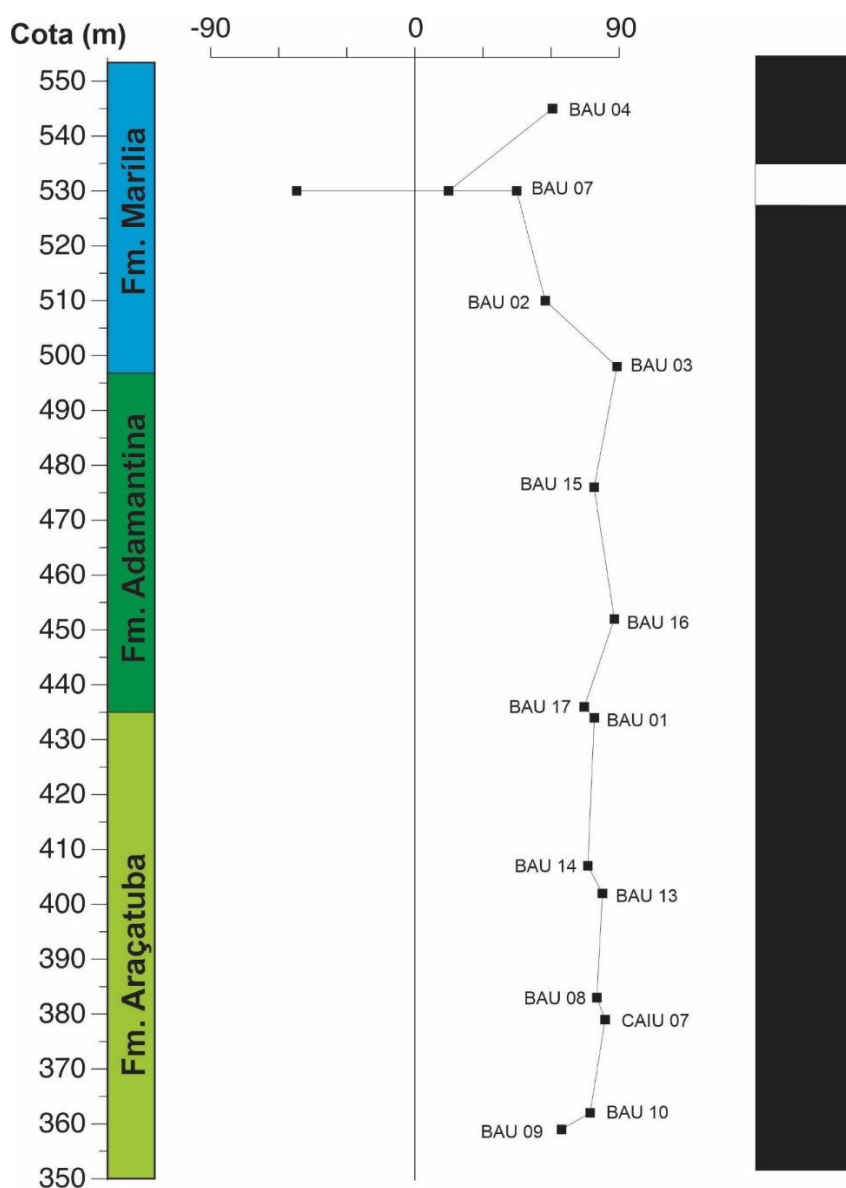


Figura 42. Magnetoestratigrafia do Grupo Bauru, onde se observa uma única polaridade negativa na Formação Marília.

O cálculo da latitude do VGP combina dados de declinação e inclinação magnética gerando uma linha de variação de polaridade. Valores positivos de latitude ($+90^\circ$) são interpretados como polaridades magnéticas normais e valores negativos (-90°) se associam a polaridades negativas (BUTLER, 1998).

Na magnetoestratigrafia apresentada na Fig. 43, observa-se uma dominante polaridade magnética ao longo da seção compósita que integra todas as formações do Grupo Bauru. Pode-se observar apenas uma variação no sítio denominado BAU-07 (Formação Marília), onde interpreta-se a ocorrência de uma polaridade magnética inversa.

7. DISCUSSÃO

A análise paleomagnética das formações Araçatuba, Adamantina e Marília identificou uma magnetização normal dominante com a única exceção de um afloramento da Formação Marília (sítio BAU 07), onde foi interpretada uma polaridade inversa.

Na Formação Araçatuba foi também identificada uma amostra com polaridade inversa, mas esta foi considerada um outlier devido a seus resultados não serem compatíveis com as demais amostras do mesmo afloramento, sendo possivelmente um erro de orientação da amostra. Por outro lado, a Formação Marília apresentou um cluster de resultados médios mais dispersos em uma amostragem menor.

Os vínculos cronológicos para a correlação da magnetoestratigrafia elaborada para o Grupo Bauru e a escala internacional das polaridades geomagnéticas (GPTS; Gradstein *et al.*, 2020) são:

- ostracodes da Formação Araçatuba, onde a ocorrência da Família Ilyocypris é atribuída ao Campaniano-Maastrichtiano Inferior (Gobbo-Rodrigues, 1999a);
- datações por U-Pb de zircões detríticos a 82.7 ± 1.8 Ma e $87,78 \pm 0,12$ Ma (Castro *et al.*, 2018; Dias *et al.*, 2021), que indicam presença na Formação Adamantina de minerais erodidos dos edifícios vulcânicos do magmatismo alcalino do Cretáceo Superior e que constituem idades posteriores para a formação onde foram encontrados.

Com base nesses dados independentes, se propõe a correlação magnetoestratigráfica com os chrons C33n e C32 do Campaniano Superior (Fig. 1). Isso implica que o Grupo Bauru na área de estudada depositou-se entre 79.8 e 71.4 Ma.

O intervalo de polaridade inversa pode ser atribuído em princípio ao intervalo C32r.1r-C32r.2r., entre 74.3 e 73.6 Ma, ou ao sucessivo C32n.1r, entre 71.9 e 71.7 Ma.

Considerando que devido às condições de afloramento não foi possível realizar uma amostragem de alta resolução, é pouco provável que um intervalo de curta duração como o C32n.1r (200.000 anos) possa ter sido encontrado. Por isso, a opção de correlação preferida para o intervalo de magnetização inversa é com o intervalo C32r.1r-C32r.2r (Figura 44).

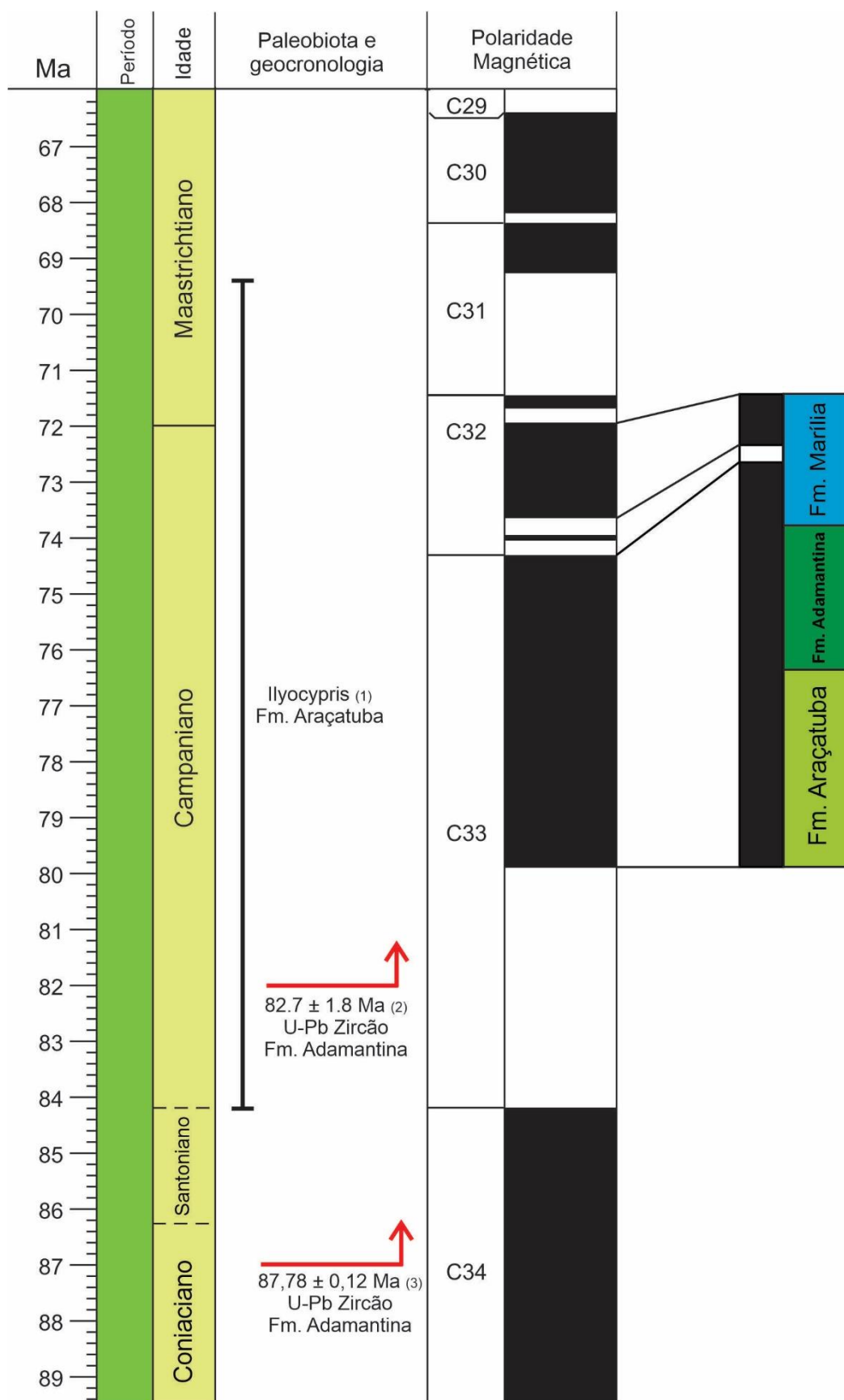


Figura 43. Escala de tempo integrada com dados da presente dissertação. (1) Gobbo-Rodrigues *et al.* (1999a); (2) Dias *et al.* (2021); (3) Castro *et al.* (2018).

O modelo de idade realizado com essa correlação magnetoestratigráfica indica que os 200 m do Grupo Bauru na área estudada se depositaram com uma taxa de sedimentação média de 25 m/Ma (metros por milhão de anos) (Figura 45).

No entanto, dentro dessa tendência de longo prazo, é possível observar duas taxas de sedimentação distintas. Aparentemente, a Formação Marília foi depositada com taxas de sedimentação menores do que aquelas observadas nas formações Adamantina e Araçatuba, com uma razão inferior a 1.

Por outro lado, as formações Adamantina e Araçatuba apresentaram taxas de sedimentação mais elevadas, com uma razão entre 1 e 1,3 (até ~30% acima da média de sedimentação da Formação Marília).

Isso indica que os processos sedimentares que produziram essas formações, sendo eles subsidência e/ou suprimento sedimentar, atuaram de forma mais intensa e sugerem que houve uma mudança tectônica ou climática entre a Formação Adamantina e a Formação Marília, por volta de 74 Ma (Figura 45).

Esses resultados estão de acordo com a proposta de evolução estratigráfica de Batezelli (2015). Baseado na distribuição de fácies e paleossolos, esse autor mostra que a evolução estratigráfica da Bacia Bauru se deu em três ciclos de 3ª ordem, sendo o primeiro representado pela Formação Araçatuba, o segundo pela Formação Adamantina e o terceiro, Formação Marília.

As formações Araçatuba e Adamantina apresentam fácies lacustres rítmicas e fluviais associadas a paleossolos hidromórficos que representam altas taxas de acomodação (*High-accommodation system tracts*) (Batezelli, 2015). O empilhamento de fácies rítmico sugere alta taxa de sedimentação, enquanto os paleossolos pouco evoluídos e hidromórficos indicam processos pedogênicos de curta duração e condições ambientais com maior disponibilidade hídrica.

Para Batezelli (2015), as fácies fluviais e os paleossolos da Formação Marília indicam ambiente fluvial efêmero com baixa taxa de sedimentação (*Low-accommodation System Tract*). Isso fica evidente uma vez que paleossolos são mais desenvolvidos e bem drenados, tipificando pulsos sedimentares esporádicos, com longos períodos de não-sedimentação (pedogênese)

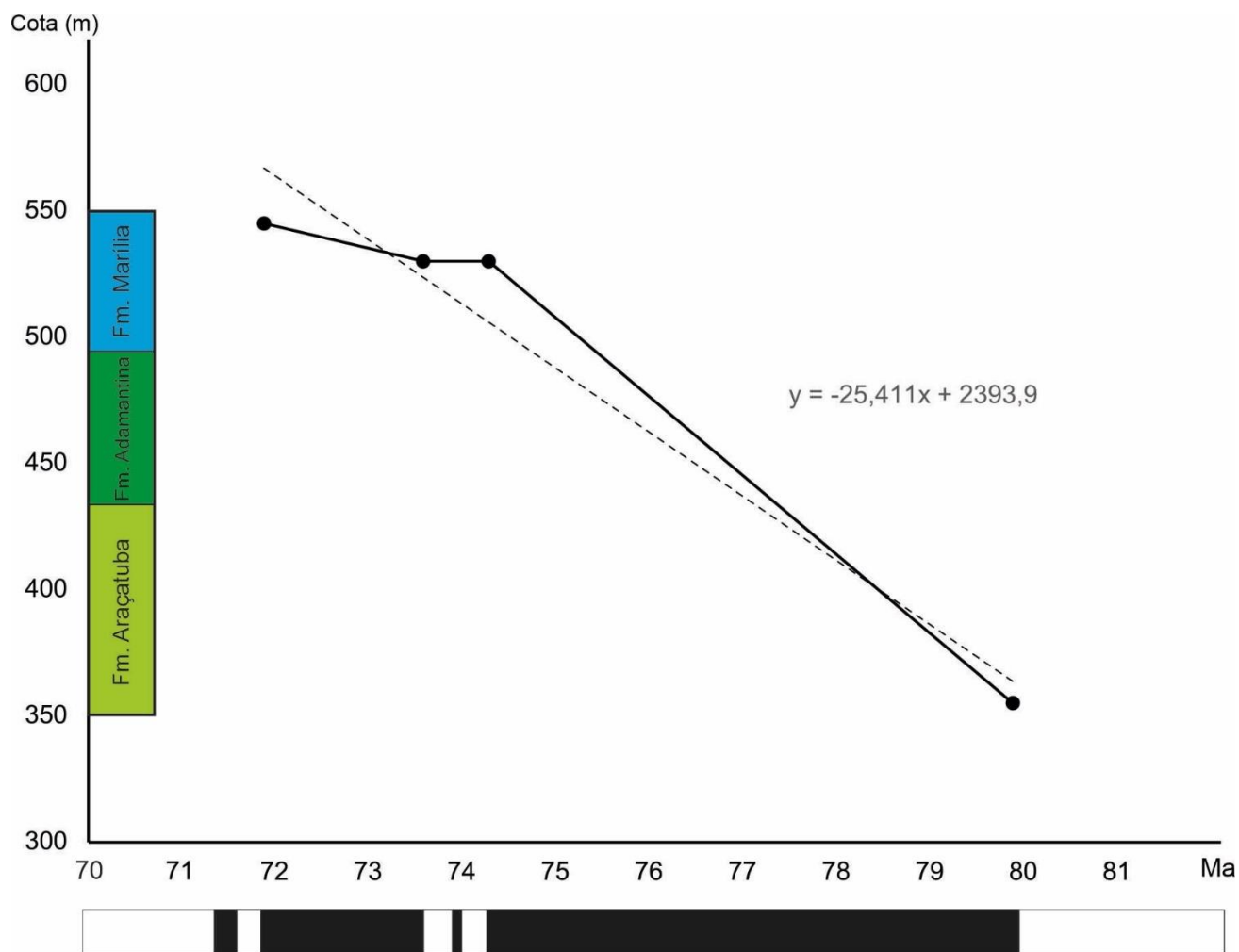


Figura 44. Relação entre as cotas (m) e o tempo de deposição dos sedimentos em Ma.

8. CONCLUSÃO

A análise paleomagnética das formações Araçatuba, Adamantina e Marília identificou uma magnetização normal dominante com um afloramento da Formação Marília, onde foi encontrada uma polaridade inversa. Além disso, foi possível determinar que os minerais magnetita e hematita foram os componentes das principais fases magnéticas nos sedimentos amostrados.

Esse resultado sugere correlação magnetoestratigráfica com os chrons C33n e C32 do Campaniano Superior, indicando que o Grupo Bauru na área de estudada depositou-se entre 79,8 e 71.4 Ma.

Os resultados encontrados nesta dissertação destacam a importância da aplicação de diversas técnicas e métodos de datação para estabelecer com precisão a idade das rochas e dos eventos geológicos, e a relevância do uso de dados de microfósseis e datações de zircões por U-Pb em associação com dados paleomagnéticos para a compreensão da evolução da vida e da Terra.

Encoraja-se a realização de análises paleomagnéticas futuras, especialmente em afloramentos localizados no estado de Minas Gerais. Tais análises poderão fornecer novas informações relevantes para uma calibragem mais precisa das idades obtidas até o momento. Isso pode contribuir significativamente para um melhor entendimento dos processos geológicos que ocorreram na região ao longo do tempo. Portanto, é recomendável que sejam feitos esforços para coletar mais dados paleomagnéticos nessa região, a fim de expandir o conhecimento científico sobre a história geológica do local.

7. BIBLIOGRAFIA

AGICO. **Advanced Geoscience Instruments Company**, 2022. Disponível em: <https://www.agico.com/text/products/mfk1/mfk1.php>. Acesso em: 7 Janeiro 2022.

ALMEIDA, F. F. M. *et al.* Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná, n. 31, 1980. 2799-2812.

ALMEIDA, F. F. M. *et al.* Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico, IPT, 1981. 46-69.

ALMEIDA, F.F.; BARBOSA, O. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Rio de Janeiro, n. 143, 1953. 96.

ANDRADE, L. R. M. Levantamentos litofaciológico e paleobiológico, com interpretações paleoecológicas, em sedimentos da Bacia Bauru - Cretáceo Superior, ao longo da Rodovia SP 294, entre as cidades de Adamantina e Dracena, Rio Claro, 2002. 105.

ARID, F. M. Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo. **Geoc.**, São José do Rio Preto, 1967. 126.

BARBOSA, O. Situação geológica das Charophyta de Machado de Melo, Estado de São Paulo. **Boletim Sociedade Brasileira de Geologia**, Rio Claro, 1955. 73-74.

BARBOSA, O., B. O. P. G. . D. R. C. . C. C. A. B. R. D. Geologia da região do Triângulo Mineiro. **Bol. Div. Fom. Min. DNPM**, Rio de Janeiro, 1970.

BARCELOS, J. Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo. "Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo, Rio Claro, p. 191, 1984.

BATEZELLI, A. Redefinição litoestratigráfica da Unidade Araçatuba e da sua extensão regional na Bacia Bauru no Estado de São Paulo. **Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (Universidade Estadual Paulista)**, Rio Claro, 1998. 110.

BATEZELLI, A. Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes, p. 183, 2003.

BATEZELLI, A. Arcabouço tectonoestratigráfico e evolução das bacias Caiuá e Bauru no sudeste brasileiro. **Brazilian Journal of Geology**, 2010. 265-285.

BATEZELLI, A. Continental systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. **Basin Research**, 2015. 1-25.

BATEZELLI, A.; LADEIRA, F. S. B. Stratigraphic framework and evolution of the Cretaceous continental sequences of the Bauru, Sanfranciscana, and Parecis basins, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 2016. 1-24.

BERTINI, R. J. Paleobiologia do Grupo Bauru, Cretáceo Superior continental da Bacia do Paraná, com ênfase em sua fauna de amniotas, Rio de Janeiro, 1993. 497.

BERTINI, R. J.; SANTUCCI, R. M.; ARRUDA-CAMPOS, A. C. Titanossauros (Sauropoda: Saurischia) no Cretáceo Superior continental (Formação Marília, Membro Echaporã) de Monte Alto, Estado de São Paulo, e correlação com formas associadas do Triângulo Mineiro, 20, n. 1, 2001. 93-103.

BJÖRNBERG, A. J. S.; LANDIM, P. M. B.; BÓRIO, N. J. Observações sobre a deposição do sedimento Bauru na região centro-ocidental do Estado de São Paulo. **Bol. Soc. Bras. Geol.**, São Paulo, 1970. 79-80.

BRANDT NETO, M. Estratigrafia da Formação Bauru na região do baixo Tietê, 1977. 72.

BUTLER, R. F. **Paleomagnetism**: magnetic domains to geologic terranes. Boston: Blackwell Scientific Publications, v. 319, 1998.

CAMPANHA, V.A. *et al.* Novas ocorrências fossilíferas no Grupo Bauru na região do Triângulo Mineiro, MG. **Geociências**, 1993. 353-372.

CAMPOS, L. F. G. Reconhecimento da zona compreendida entre Baurú e Itapura (Estrada de Ferro Noroeste do Brasil), São Paulo, 1905. 40.

CASTRO, M.C. *et al.* A Late Cretaceous mammal from Brazil and the first radioisotopic age for the Bauru Group. **Royal Society Open Science**, 2018. 180-482.

CHANNELL, J. E.; SINGER, B. S.; JICHA, B. R. Timing of Quaternary geomagnetic reversals and excursions in volcanic and sedimentary archives. **Quaternary Science Reviews**, 2020. 106-114.

COGNÉ, J. PaleoMac: A Macintosh (TM) application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems** 4, 2003. 1007.

COIMBRA, A. M. Arenitos da Formação Bauru: estudo de áreas fonte, São Paulo, 2, 1976.

CUNHA, L.S.; MACEDO, A.C.M. Répteis e ostrácodes associados no Cretáceo de Álvares Machado, SP. **Anais Academia Brasileira Ciências**, 1986. 609.

DAEE, Departamento D. Á. E. E. E. Plano Estadual de Recursos Hídricos: Primeiro plano do estado - Síntese, São Paulo, 1990. 43.

DAY, R.; FULLER, M.; SCHMIDT, V. A. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence, 13, n. 4, Janeiro 1977. 260-267.

DIAS, A. N. C. *et al.* Unraveling multiple tectonic events and source areas in the intracratonic Bauru Basin through combined zircon geo and thermochronological studies. **Journal of South American Earth Sciences**. 103061.

DIAS-BRITO, D. *et al.* The Bauru group: A continental Cretaceous unit in Brazil- Concepts based on micropaleontological, oxygen isotope and stratigraphical data, Janeiro 2001. 245-304.

DUNLOP, D. Theory and application of the day plot (mrs/ms versus hcr/hc) 2. application to data for rocks, sediments, and soils. **J. Geophys**, 2002.

FERNANDES, L. A. A cobertura cretácica suprabasáltica em Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá, 1992. 128.

FERNANDES, L. A. Estratigrafia e evolução geológica da parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil), 1998. 216.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional, São Paulo, 3, n. 24, 1994. 164-176.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil), Rio de Janeiro, 2, n. 62, 1996. 196-205.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte Oriental da Bacia Bauru (Neo-Cretáceo), 30, n. 4, 2000. 717-728.

FERNANDES, L. A.; RIBEIRO, C. M. M. Evolution and palaeoenvironment of the Bauru Basin (upper Cretaceous, Brazil), 1, n. 61, Agosto 2015. 71-90.

FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo), 30, n. 4, 2000. 723-734.

FISHER, R. Dispersion on a sphere, 217, n. 1130, 1953. 295–305.

FLORENCE, G. Notas Geológicas sobre o Rio Tietê no trecho estudado pela turma em 1905. **Comissão Geográfica e Geológica. Exploração do Rio Tietê**, 1907. 9-15.

FREITAS, R. O. Sedimentação, estratigrafia e tectônica da Série Bauru, São Paulo, n. 14, 1955. 194.

FULFARO, V. J. Tectônica do alinhamento estrutural do Paranapanema. **Boletim IG**, 1974. 129-38.

FULFARO, V. J.; BARCELOS, J. H. A tectônica pós-deposicional e a reconstrução paleogeográfica: o exemplo no Grupo Bauru, 2, 1992. 132-133.

FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. Geomorfologia do Estado do Mato Grosso do Sul e o Arcabouço Estrutural, Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos, SBG, n. 38, 1994. 197-198.

GLATZMAIER, G. A. *et al.* The role of the Earth's mantle in controlling the frequency of geomagnetic reversals. **Nature**, 1999. 885-890.

GLEN, W. The Road to Jaramillo. **Stanford Univ. Press**, 1982. 459.

GOBBO-RODRIGUES, S. R. *et al.* Alathacythere (?) Roncana Bertels 1968 (L 4766 Grekof, 1960), Ribeirão Preto, 2000a.

GOBBO-RODRIGUES, S. R. *et al.* Note on Ilyocypris Argentinensis Musacchio & Simeoni (1991), Ribeirão Preto, 2000b.

GOBBO-RODRIGUES, S. R. *et al.* Biostratigraphic Correlations Between Bauru, Neuquén and Congo Basins, Using Non-Marine Ostracodes, Ribeirão Preto, 2000c.

GOBBO-RODRIGUES, S. R. Carófitas e ostrácodes do Grupo Bauru, Rio Claro, 802, 2001. 804.

GOBBO-RODRIGUES, S.R.; PETRI, S.; BERTINI, R.J. Ocorrências de ostrácodes na Formação Araçatuba do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, e possibilidades de correlação com depósitos isócronos argentinos - parte I: Família Ilyocyprididae. **Geociências**, 1999. 3-13.

GOBBO-RODRIGUES, S.R.; PETRI, S.; BERTINI, R.J. Ocorrências de ostrácodes na Formação Araçatuba do Grupo Bauru, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, e possibilidades de correlação com depósitos isócronos argentinos - parte II: Família Limnocytheridae. **Geociências**, 1999. 5-11.

GOLBERG, K.; GARCIA, A. J. Palaeobiogeography of the Bauru Group, a dinosaur-bearing Cretaceous unit, Northeastern Paraná Basin, Brazil, 2-3, n. 21, 2017. 241-254.

GRADSTEIN, F.M. *et al.* **The geologic time scale**. [S.l.]: Elsevier, 2012.

HASUI, Y. A Formação Uberaba. **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, Belo Horizonte, 1968. 167-179.

HASUI, Y. O Cretáceo do oeste mineiro. **Bol. da Soc. Bras. e Geol.**, São Paulo, 1969. 39-56.

HUENE, F. Contribución a la Paleogeografía de Sud-América. II - Las relaciones paleogeográficas de Sud-América durante el Cretácico Superior., Córdoba, n. 30, 1927. 256-294.

HUENE, F. V. Los saurisquios y ornitisquios del Cretáceo Argentino. **Ann. Mus. de La Plata**, Buenos Aires, 1929. 1-196.

IHERING, H. V. Fósseis de São José do Rio Preto. **Revista do Museu Paulista**, 1911. 141-146.

KIRSCHVINK, J. L. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data, 62, 1980. 699–718.

KRUIVER, P. P. D. M. J.; HESLOP, D. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation. **Earth and Planetary Science Letters**, 2001. 269–276.

KRUIVER, P. P.; DEKKERS, M. J.; HESLOP, D. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetisation. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 189, p. 269-276, Abril 2001.

LANGER, M.C. *et al.* A Bacia Bauru no Estado de São Paulo e seus tetrápodes. **Derbyana**, 2022.

LANGEREIS, C. G. *et al.* Magnetostratigraphy-concepts, definitions, and applications, 43, n. 3, Abril 2010. 207.

LISBOA, M. A. R. Oeste de São Paulo, Sul de Mato Grosso. Geologia, indústria mineral, clima, vegetação, solo agrícola, indústria pastoril, 1909. 23.

LIU, Q. *et al.* Magnetostratigraphy of Chinese loess–paleosol sequences. **Earth-Science Reviews**, 2015. 139-167.

LOWRIE, W. Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercitivity and unblocking temperature properties, 17, 1990. 159-162.

LOWRIE, W.; KENT, D. V. Geomagnetic polarity timescales and reversal frequency regimes, 2004. 117-129.

MAACK, R. Algumas observações a respeito da existência e da extensão do arenito superior São Bento ou Caiuá no Estado do Paraná, 2, 1941. 107-129.

MARQUES DOS SANTOS, C.A. *et al.* Sedimentary provenance of the Marília Formation (Bauru Basin), Southeast Brazil. **Geological Journal**, 2020. 2834-2850.

MCDUGALL. **The present status of the geomagnetic polarity time scale.** Londres: Academic Press, v. The Earth: Its Origin, Structure and Evolution, 1979.

MCFADDEN, P. L.; MCELHINNY, M. W. The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in palaeomagnetism, 87, n. 1-2, 1988. 161–172.

MERRILL, R. T.; MCELHINNY, M. W.; MCFADDEN, P. L. The Magnetic Field of the Earth. **Academic Press**, 1996.

MEZZALIRA, S. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do arenito Bauru. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, 1974. 1-163.

MILANI, E. J. Comentário sobre origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná, Rio de Janeiro, n. Cap XVI, 1997. 38.

MORAES REGO, L. F. D. Camadas Cretáceas do Sul do Brasil. **Annu. Esc. Politéc.**, São Paulo, 1935. 231-274.

MUTTONI, G. Magnetostratigraphy. **Elsevier**, 2020. 1-9.

OPDYKE, N. D.; CHANNEL, J. E. T. Magnetic Stratigraphy, Nova Iorque, 1996.

PACHECO, J. A. D. A. Notas sobre a geologia do vale do rio Grande a partir da foz do rio Pardo até sua confluência com o rio Paranaíba. **COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA**, São Paulo, 1913. 33-38.

PAULA E SILVA, F. D. Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no estado de São Paulo. **Tese de Doutorado**, 2003. 1-201.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M. R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo, São Paulo, 35, n. 1, 2005. 77-88.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M.R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo., 2005. 77-88.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CHANG-CAETANO, M.R. Sedimentation of the Cretaceous Bauru Group in São Paulo. Paraná Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 2009. 25-39.

PETRI, S. *et al.* Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, 1986. 370-415.

PETRI, S. Charophyta cretácica de São Paulo (Formação Bauru). **Boletim Sociedade Brasileira de Geologia**, 1955. 67-72.

PONÇANO, W. L. *et al.* Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo - texto explicativo, São Paulo, 1981. 94.

RICCOMINI, C. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares, 1995. 100.

RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo, 27, n. 2, 1997b. 153-162.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, 10, 1996. 41-58.

SAGNOTTI, L. Demagnetization Analysis in Excel (DAIE). An open source workbook in Excel for viewing and analyzing demagnetization data from paleomagnetic discrete samples and u-channels. **Annals of Geophysics**, 2006. 456–463.

SANTUCCI, R. M. Revisão dos Titanosauridae (Saurischia, Sauropoda) do Cretáceo Superior continental da Bacia Bauru. **Dissertação Mestrado. Universidade Estadual Paulista (UNESP)**, Rio Claro, p. 179, 2002.

SANTUCCI, R. M.; BERTINI, R. J. Distribuição estratigráfica dos titanossauros do Grupo Bauru, cretáceo Superior continental do Sudeste do Brasil, 2, n. 6, 2002. 401-408.

SOARES, P. C. *et al.* Geologia da região Sudoeste do Estado de São Paulo, Rio Claro, n. 2, 1979. 307-319.

SOARES, P. C. *et al.* Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geologia**, Rio de Janeiro, n. 2, p. 944-957, 1980.

SOARES, P. C. *et al.* Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru, Rio de Janeiro, 2, 1980. 944-957.

SOARES, P. C. Estratigrafia das formações jurássico-cretácicas na Bacia do Paraná, Brasil, Buenos Aires, 1, 1981. 271-304.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in south Brazil, 48, 1976. 313-324.

SOUZA JR., J. J. D. O Grupo Bauru na porção setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná, Rio de Janeiro, 2, 1984. 944-957.

SUGUIO, K. *et al.* Comportamentos estratigráficos e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo, São Paulo, n. 1, 1977. 231-247.

SUGUIO, K. Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica, 552.5, 1980.

SUGUIO, K., & P. S. Stratigraphy of the Iguape-Cananéia lagoonal region sedimentary deposit, São Paulo State, Brazil: part I: field observations and grain size analysis. **Boletim IG**, 1973. 1-20.

TAMRAT, E. *et al.* Magnetoestratigrafia das Formações Uberaba e Marília (Grupo Bauru) no Triângulo Mineiro (MG), n. 6, 2002. 323-327.

TAUXE, L. **Lectures in Paleomagnetism**. 5º. ed. [S.I.]: UC Press, 2005.

TURNER, S. *et al.* Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision 40Ar-39Ar geochronology, 3-4, n. 121, Fevereiro 1994. 333-348.

USPMAG. USPMag. **Laboratório de Paleomagnetismo USP**, 2022. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/paleo/?q=content/desmagnetizador-t%C3%A9mico-thermal-demagnetizer-td48sc-asc-scientific>. Acesso em: 7 Janeiro 2022.

WASHBURN, C. W. Petroleum geology of the State of São Paulo, Brasil, São Paulo, 1939. 228.

ZAINE, J. E. *et al.* Geologia do Bloco 38 e 44: Região de Araçatuba/Tupã e Marília, São Paulo, 2, 1980.

ZALÁN, P. V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, São Paulo, 2004. 595-613.

ZIJDERVELD, J. D. A. AC demagnetization of rocks: Analysis of results, 3, 1967. 254–286.