

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

PALEOMAGNETISMO DE ROCHAS VULCANICAS TERCIÁRIAS DO
NORDESTE DO BRASIL

Tese Apresentada por

ORLANDO TADEU LIMA DE SOUZA

como requisito parcial à obtenção do grau em

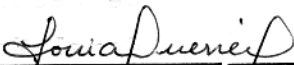
MESTRE EM CIÊNCIAS

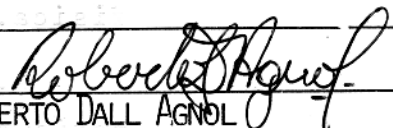
Na área de

GEOFÍSICA

Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências Geofísicas e Geológicas da
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 24/01/86


SONIA DIAS CAVALCANTI GUERREIRO (ORIENTADOR)


ROBERTO DALL AGNOL


AXEL SHULT

Comitê de Tese

T.265 Souza, Orlando Tadeu Lima de

Paleomagnetismo de rochas vulcânicas terciárias do Nordeste do Brasil. Belém, UFPa/Centro de Geociências, 1986.

62p

Tese apresentada ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, para obter grau de Mestre em Ciências na área de Geofísica.

1. Geofísica Global 2. Paleomagnetismo 3. Vulcanismo Terciário Nordeste - BR I. Universidade Federal do Pará/Centro de Geociências II. Título.

A D. Rosália (minha mãe),
Ana Maria (esposa),
Ana Paula, Paulo andré e
Marcos Felipe (filhos).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece às seguintes pessoas e entidades que contribuíram para a realização deste trabalho:

A Dra. Sonia Dias Cavalcanti Guerreiro, orientadora desta tese, por seus ensinamentos, incentivo, interesse e sugestões críticas durante a elaboração da mesma;

Aos Professores Dr. Roberto Dall'Agnol e Dr. Axel Schult pelas sugestões e críticas prestadas ao autor durante a leitura deste trabalho;

Aos Professores Dr. William August Sauck e Mc. Benaia Vieira de Alencar pelas contribuições durante as discussões ocorridas durante a elaboração da tese;

A Diretoria do Centro de Geociências e Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geociências pelo apoio prestado para a conclusão do mesmo;

Ao Geólogo Raul Meireles e Técnico Hamilton Cunha Dama so pela ajuda valiosa nos trabalhos de coleta de amostras no campo na área dos derrames de Macau, Estado do Rio Grande do Norte;

A equipe da biblioteca do Centro de Geociências pelo apoio constante no que se refere ao material bibliográfico;

A Glorinha e Aracilda pela atenção dispensada no decorrer do curso de Pós-Graduação realizado pelo autor;

Aos professores, alunos e funcionários do Centro de Geociências que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Programa Pró-Nuclear, à Financiadora de

Estudos e Projetos (FINEP) e à Fundação do Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (FADESP) pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

S U M Á R I O

	Pag.
DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iv
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. ASPECTOS TEÓRICOS DOS TRABALHOS EM PALEOMAGNETIS <u>MO</u>	7
2.1 Campo Magnético Terrestre e Variação Paleosse <u>cular</u>	7
2.2 Domínio Magnético	8
2.3 Viscosidade Magnética	9
2.4 Magnetização Remanescente	10
2.5 Tratamento de Desmagnetização	13
2.6 Desmagnetização por Campo Magnético Alternado	14
2.7 Análise Estatística	15
2.8 Cálculo do Polo Paleomagnético	18
3. O ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA	22
3.1 Situação Geológica	22
3.1.1 Formação Remédios	22
3.1.2 Formação Quixaba	23
3.1.3 Formação São José	23
3.1.4 Idade das Formações	23
3.2 Medidas Paleomagnéticas e Amostragem de Fer <u>nando de Noronha</u>	25
3.3 Discussão dos Resultados de Fernando de Noro <u>nha</u>	27
4. A FORMAÇÃO MACAU - Rio Grande do Norte	34
4.1 Situação Geológica e Idade dos Derrames	34
4.2 Medidas Paleomagnéticas e Amostragem	36
4.3 Discussão dos Resultados do Rio Grande do Nor <u>te</u>	38
5. CONCLUSÕES	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Pag.

FIGURAS

1	Cálculo do polo paleomagnético a partir das direções de magnetização média	20
2	Mapa esquemático mostrando os locais de amostragem no arquipélago de Fernando de Noronha	24
3	Diagramas de Zijderveld para as amostras '51/5/2 e 68/2/2 do Arquipélago de Fernando de Noronha	29
4	Exemplos de redução do espalhamento dentro do sítio após o tratamento de desmagnetização	30
5	Direções médias do Arquipélago de Fernando de Noronha	31
6	PGU'S médios dos sítios do Arquipélado de Fernando de Noronha	32
7	Esboço geológico da região de Macau mostrando os sítios da Formação Macau	35
8	Exemplo da desmagnetização efetuada na amostra piloto 1/9/1	44
9	Diagrama de Zijderveld que apresentam desmagnetização progressivas por campo magnético alternado	45
10	Exemplo de desmagnetização efetuada nos sítios da Formação Macau	48
11	Direções médias da Formação Macau	52
12	Primeira hipótese que explica o deslocamento do Grupo I em relação ao Grupo II	53
13	Segunda hipótese que explica o deslocamento do Grupo I em relação ao Grupo II	54

TABELAS

1	Polos Paleomagnético para a América do Sul.	28
2	Resultados paleomagnético das rochas vulcânicas do Arquipélago de Fernando de Noronha	33
3	Resultado paleomagnético dos derrames basálticos da Formação Macau	55

RESUMO

Estudos paleomagnéticos foram efetuados em duas formações do período Terciário na região Nordeste do Brasil.

Da primeira área estudada, foram coletadas, por meio de uma perfuração portátil, 100 amostras de 15 sítios das formações Quixaba, Remédios e São José, que constituem a suite vulcânica do Terciário Superior do Arquipélago de Fernando de Noronha, localizado a $3,8^{\circ}\text{S}$ e $32,4^{\circ}\text{W}$.

Verificou-se a magnetização remanescente natural (MRN) de cada espécime utilizando-se um magnetômetro Föerster. Apenas 10 afloramentos puderam ser analisados, em vista da fraca magnetização que os demais apresentaram em relação ao aparelho utilizado.

A desmagnetização das amostras foi efetuada através do processo de variação de campo magnético alternado para eliminar-se as possíveis magnetizações secundárias, utilizando-se para isto um desmagnetizador Schonstedt, que nos levou a determinação da magnetização remanescente característica (MRC) das três formações.

O polo paleomagnético das amostras estudadas foi determinado em 81°N de latitude e 232°E de longitude com $I_N = 10$, $A_{95} = 5^{\circ}$ e $K = 83$.

Os resultados obtidos são compatíveis com os polos obtidos por outros autores para as rochas vulcânicas daquela ilha, como também estão próximos a outros polos de mesmo período determinados para a América do Sul.

A segunda área estudada, localiza-se na bacia Potiguar, ao sul da cidade de Macau, no estado do Rio Grande do Norte, a $5,2^{\circ}\text{S}$ e $36,6^{\circ}\text{W}$, sendo constituída por derrames basálticos gerados no Terciário Médio e pertencentes à formação Macau.

Dessa área foram coletadas, por meio de uma perfuradora portátil, 106 amostras num total de 9 sítios. Em seguida verificou-se a magnetização remanescente natural (MRN) de cada espécime utilizando-se um magnetômetro Digico.

O processo de desmagnetização das amostras foi feito através da variação de campo magnético alternado.

Após o processo de lavagem das amostras foram definidos dois grupos de sítios distintos em função dos resultados apresentados quanto à direção de magnetização.

O primeiro grupo (Grupo I), constituído de 6 sítios, apresentou direções de magnetização normais e altas inclinações. O segundo grupo (Grupo II), caracterizou-se por apresentar direções de magnetização reversas e baixas inclinações.

A análise destes resultados sugere a hipótese de um possível deslocamento tectônico entre os sítios pertencentes ao Grupo I em relação aos sítios do Grupo II. Entretanto os estudos geológicos nessa área, sob o aspecto estrutural, não são ainda suficientes para confirmarmos concretamente o deslocamento ocorrido entre os sítios da formação Macau.

ABSTRACT

Paleomagnetic studies were made in two Tertiary formations in the northeast of Brasil. The first area sampled was an Upper Tertiary volcanic suite on the archipelago of Fernando de Noronha at $3,8^{\circ}\text{S}$ and $32,4^{\circ}\text{W}$. From this area, 15 sites in the Quixaba, Remédios and São José formations were sampled with a portable drill, resulting in 100 samples.

The natural remanent magnetization (NRM) of each specimen was measured with a Foerster magnetometer. Because of the weak magnetization, only 10 sites could be analyzed with this magnetometer. The desmagnetization was done by the alternating field (AF) method to remove possible secondary magnetization. A Schonstedt desmagnetizer was used for this process, which resulted in the determination of the characteristic remanent magnetization (CRM) of three formations.

The paleomagnetic pole of these samples was determined as 81°N latitude and 232°E longitude, with $N=10$, $A_{95}=5^{\circ}$ and $K=83$. These results are compatible with the poles obtained by other investigators for the volcanic rocks of these islands, and are also near the poles of the same period determined for South America.

The second area studied is localized in the Potiguar Basin, south of the city of Macau, state of Rio Grande do Norte, at $5,2^{\circ}\text{S}$ and $36,6^{\circ}\text{W}$. The area consists of basalt flows extruded in Mid-Tertiary and which belong to the Macau Formation. 106 samples were collected from 9 sites of this area. The NRM of each specimen was determined by a Digico magnetometer. AF demagnetization was also applied to all these specimens. After cleaning, the samples fell into two distinct groups having different directions of magnetization.

The Group I, represented by 6 sites showed normal magnetizations with high inclination. Group II showed reversed magnetization with low inclination.

Analysis of these results suggests the hypotheses of a possible tectonic rotation of the Group II sites relative to the Group I sites. However, because of overburden and lack of geologic control, it is not yet possible to confirm this hypothesis.

1 INTRODUÇÃO

O estudo do paleomagnetismo constitui um ramo do geo magnetismo da Terra. Tem contribuído substancialmente para o en tendimento da história e desenvolvimento da crosta terrestre.

O estudo do paleomagnetismo têm, também, contribuído para a evolução da teoria da tectônica de placas e por consequin te, da deriva dos continentes, assim como para determinação do período em que se deu a separação dos continentes e, consequen temente, a formação dos oceanos.

Através dos dados paleomagnéticos tem-se determinado movimentos tectônicos, associados a evidências geológicas, de diversas rochas que constituem as cadeias de montanhas na parte oeste e leste dos Estados Unidos. Há também alguns trabalhos nes te sentido, já realizados na América do Sul, como por exemplo no Nordeste da Venezuela, nas montanhas do Caribe, onde Skerlec e Hargraves (1980) utilizaram dados paleomagnéticos para expli car problemas de geologia estrutural em rochas do período Cretá ceo e Terciário.

Numa escala mais local, técnicas paleomagnéticas têm sido empregadas para definir o arranjo e disposição dos grãos minerais, o modo de formação e a subsequente história tectônica da rocha. Estes estudos geralmente são feito partindo-se de medi das de anisotropia magnética de um espécime de rocha, utilizan do-se instrumentos paleomagnéticos que tenham sensibilidade em torno de 10^{-8} Gauss/Oersted (Tarling, 1971).

O presente trabalho teve como objetivo estudar, sob o aspecto do paleomagnetismo, duas estruturas geológicas do pe ríodo Terciário da região Nordeste do Brasil.

Na primeira área foram estudadas as rochas vulcâni cas do Arquipélago de Fernando de Noronha, cuja suite terciária é dividida em três formações: Quixaba, Remédios e São José (Almeida, 1958). Estas rochas foram datadas por Cordani (1970), que utilizando métodos radiométricos, localizou-as no período Terciá

rio Superior.

Na segunda área foram estudados os derrames basálticos da formação Macau, localizada na bacia Potiguar, no estado do Rio Grande do Norte. Esta formação foi datada por Tomás Filho (citado em Sial, 1976) que utilizando métodos radiométricos localizou-as no período Terciário Médio.

Para o continente da América do Sul, apenas quatro polos foram determinados para o Terciário, o que torna impraticável a determinação da curva de deriva polar aparente para este período. Com a determinação de um polo paleomagnético estaremos contribuindo para a construção da curva de deriva polar aparente para o Terciário da América do Sul.

2 ASPECTOS TEÓRICOS DOS TRABALHOS EM PALEOMAGNETISMO

2.1 Campo Magnético Terrestre e Variação Paleossecular

Vários estudos têm mostrado que os minerais ao serem formados adquirem, na sua estrutura, uma magnetização cuja direção é a mesma do campo magnético da Terra.

No entanto, o campo magnético terrestre sofre modificações no decorrer do tempo, assim, desde a sua origem até a época atual, a rocha sofre o efeito dessas mudanças, podendo, por conseguinte, adquirir magnetizações posteriores à sua formação. Estas magnetizações são ditas secundárias. O estudo do magnetismo fóssil preservado nas rochas é denominado de paleomagnetismo, enquanto que se reserva a denominação de arqueomagnetismo para o estudo feito em cerâmicas e em barro cozido de sítios arqueológicos.

O campo magnético terrestre atual é bem representado pelo campo magnético de um dipolo, inclinado de cerca de $11,5^\circ$ em relação ao eixo de rotação da Terra. No entanto, nos estudos paleomagnéticos admite-se, para o campo magnético da Terra, um modelo em que o eixo do dipolo, em média, a intervalos de tempo da ordem de 10^4 a 10^6 anos é coincidente com o eixo geográfico, ou seja, a latitude geomagnética coincide com a latitude geográfica. Este modelo é aceito em virtude de ser confirmado pelos dados de diversos locais, para os últimos milhões de anos, quando se toma a média num intervalo de milhares de anos.

Dentro deste conceito há no entanto que se considerar os registros de observatórios magnéticos nos últimos séculos. Resultados de pesquisas arqueo e paleomagnéticas, têm demonstrado que o campo geomagnético dipolar apresenta variações em escala de tempo indo desde frações de segundos até milhões de anos, causadas por:

- a) circulação de correntes na ionosfera e fenômenos eletromagnéticos no espaço que envolve a Terra, dando ori

gem às variações de curto intervalo de tempo;

- b) mudanças atribuídas ao movimento do fluido condutor supostamente existente no núcleo da Terra, dando origem às variações de longos intervalos de tempo. Esta variação é denominada variação secular do campo geomagnético e só pode ser estudada por dados paleomagnéticos uma vez que as informações registradas pelos observatórios não cobrem tais períodos.

Quatro dos modelos propostos para a variação secular (modelos A, B, C e D) estão discutidos no trabalho de Brock (1971). O modelo A, proposto por Irving e Ward (1964) considera o campo de um dipolo geocêntrico axial de momento dipolar constante, sendo que a variação secular tem componente de intensidade fixa e direção aleatória, sendo esta, responsável pela perturbação do campo dipolar. Neste modelo, a variação secular é função da latitude.

O modelo B, proposto por Creer et al (1959) e Creer (1962), expressa a variação secular em termos da intensidade da precessão do campo dipolar, não levando em consideração as componentes não dipolares. No modelo B, a variação secular é função do desvio padrão angular de direções e da latitude.

Em 1962, Cox propôs o modelo C (Cox, 1962) e apresentou uma versão mais aperfeiçoada em 1970 (Cox, 1970) conhecida como modelo D, que combina a precessão do dipolo com componentes não dipolares.

O modelo E, proposto por Baag e Helsley (1974) fundamentalmente coloca a variação secular como função do desvio padrão angular da precessão do dipolo e da dispersão angular do campo não dipolar.

2.2 Domínio Magnético

Quando a magnetização de um corpo, colocado num espaço não magnético, dá origem a um campo magnético externo, ou seja há magnetização remanescente, o corpo apresenta energia mag

netostática ou de auto desmagnetização, que é função da forma do corpo uma vez que há direções que aceitam mais facilmente a magnetização do que outras.

A magnetização observada é resultado da soma ve torial das magnetizações apresentadas por pequenas porções do corpo, que se encontram espontaneamente magnetizadas no estado de saturação. Essas porções são conhecidas por domínios magnéticos e estes, experimentalmente observáveis, podem conter um número muito grande de átomos (da ordem de 10^{15}).

De modo a reduzir a energia magnetostática a um mínimo, uma partícula magnética, muitas vezes, é subdividida em domínios opostamente magnetizados. Neste caso há a formação de um limite entre essas regiões denominado parede do domínio. O processo de subdivisão continua até que a energia necessária para a formação de uma nova parede seja maior do que a consequente redução da energia magnetostática. O diâmetro crítico para a transição entre o estado de um único domínio (monodomínio) para um estado de dois domínios é calculado em função da magnetização de saturação do material e da energia da parede do domínio. Assim encontramos para um grão esférico um diâmetro crítico de $0,03\mu\text{m}$ para a magnetita e de $0,15\text{ cm}$ para a hematita.

2.3 Viscosidade Magnética

Para a apresentação dos conceitos fundamentais da teoria da magnetização remanescente, Néel (1955) considerou uma partícula elementar de monodomínio com simetria uniaxial.

Na ausência de um campo aplicado, o momento magnético do grão de monodomínio pode tomar uma das duas possíveis orientações ao longo do eixo de modo que a energia seja mínima. Essas duas orientações são separadas por uma "barreira de potencial" E_r . A orientação do momento dos grãos, não se altera enquanto E_r é maior do que a energia térmica (kT) do corpo (onde, k é a constante de Boltzmann e T a temperatura absoluta) sendo instável quando E_r é menor do que a energia térmica.

Tomando-se uma população de grãos de monodomínios de um mesmo mineral e submetendo-se o conjunto a uma determinada temperatura T , haverá sempre alguns grãos de volume v para os quais a flutuação térmica é suficientemente grande para fazer com que o momento magnético mude espontaneamente de uma posição para outra. Assim se M_0 for o momento inicial do conjunto, após decorrido um tempo t , ele decairá exponencialmente de forma tal que o valor do momento remanescente M_r é dado por $M_r = M_0 \exp(-t/\delta_0)$, onde, δ_0 é chamado de tempo de relaxação dos grãos.

A teoria de magnetização de uma assembléia de partículas de monodomínio foi desenvolvida por Néel (1955) mas também pode ser estendida a partículas de grãos de multidomínio. Esta teoria é de vital importância para os trabalhos em paleomagnetismo uma vez que é a base para se chegar à magnetização termoremanescente de uma rocha.

Quando um corpo, constituído por grãos de dimensões tais que permitam a divisão do grão em vários domínios, é submetido a um campo magnético, verifica-se que os domínios de momento magnético com componente paralela ao campo aplicado crescem às expensas de outros cuja direção da magnetização é oposta. Se o campo for bastante fraco o processo é reversível e os domínios voltam à configuração inicial quando o campo deixa de atuar. Quando o campo aplicado é maior, os deslocamentos das paredes dos domínios tornam-se irreversíveis e passam a surgir domínios de maior volume e em menor número. Ao se retirar o campo o corpo apresenta uma magnetização remanescente. No caso extremo do estado de saturação (quando o campo é muito intenso) desaparecem as paredes restantes e a amostra apresenta-se totalmente magnetizada na direção do campo aplicado.

2.4 Magnetização Remanescente

A magnetização apresentada por uma rocha que não sofreu qualquer tratamento em laboratório é chamada de magnetização remanescente natural (MRN). Esta magnetização pode ser adquirida no início da formação de uma rocha, sendo denominada de magnetização remanescente inicial ou posteriormente à sua formação,

denominada magnetização remanescente secundária.

As magnetizações remanescentes das rochas podem acontecer de várias maneiras distintas:

a) Magnetização Termoremanescente (MTR)

O processo de aquisição da magnetização termoremanescente por uma rocha ígnea se inicia a temperaturas imediatamente abaixo da temperatura de Curie dos minerais magnéticos da rocha. A partir desta temperatura a energia magnetostática de ordenação nos grãos magnéticos supera a energia térmica de desordem e a rocha começa a apresentar uma magnetização que é paralela à direção do campo magnético da Terra, daquela época, obedecendo o mecanismo de aquisição de magnetização já descritos no item Viscosidade Magnética.

Um fator básico no estudo do paleomagnetismo é que a magnetização termoremanescente é essencialmente estável na escala do tempo geológico (Mc Elhinny, 1973).

A magnetização inicial adquirida pelas rochas ígneas é a magnetização termoremanescente. Ela é paulatinamente impressa nas rochas, a intervalos sucessivos de temperatura, à medida que ocorre o resfriamento. As frações de magnetização relativas a cada intervalo de temperatura, são chamadas magnetizações termoremanescente parciais (MTRP) sendo também paralelas ao campo magnético da Terra durante cada um destes intervalos. As MTRP adquiridas em intervalos de temperatura distintos são independentes entre si. A soma dessas magnetizações parciais constitui a magnetização termoremanescente total.

b) Magnetização Remanescente Química (MRQ)

Quando numa determinada rocha ocorre a formação de minerais magnéticos por uma ação química e esta estiver em presença do campo magnético terrestre, a rocha adquire magnetização remanescente química (MRQ). Frequentemente este processo está relacionado à oxidação de minerais magnéticos, podendo esta oxidação ocorrer tanto a baixas temperaturas (abaixo de cerca

de 300°C) quanto a altas temperaturas (aproximadamente superior a 500°C) Petersen (1976).

Este tipo de magnetização pode ocorrer, por exemplo, em rochas vulcânicas, quando durante o resfriamento das mesmas e a temperaturas abaixo do ponto de Curie, ocorre mudanças químicas nos seus minerais magmáticos.

c) Magnetização Remanescente Detrítica (MRD)

A magnetização remanescente detrítica é aquela adquirida por uma rocha sedimentar, durante a deposição de partículas magnéticas que se alinham de acordo com o campo magnético da Terra.

d) Magnetização Remanescente Isotérmica (MRI)

A magnetização remanescente isotérmica é a magnetização adquirida por uma rocha devido a presença de um campo magnético a uma determinada temperatura e dentro de um certo intervalo de tempo.

Normalmente os campos magnéticos nesses casos são muito intensos de modo a comunicar energia suficiente para que haja rotação dos momentos magnéticos e ocorra movimentos das paredes dos domínios dos grãos magnéticos. Exemplos dessa situação são verificados quando descargas elétricas provenientes de relâmpagos atingem o solo. Nesses casos frequentemente ocorre que a rocha adquiere uma MRI.

e) Magnetização Remanescente Viscosa (MRV)

No processo de aquisição de MRV por uma rocha a exposição ao campo magnético se dá por um período mais longo e os campos magnéticos são menos intensos. As flutuações térmicas que ocorrem ao acaso contribuem de modo a haver um pequeno movimento das paredes dos domínios, favorecendo aqueles cujos momentos magnéticos são paralelos ao campo magnético atuante. Há, então, uma tendência de os domínios se reorganizarem e apresen

tarem uma magnetização maior na direção do campo aplicado.

As magnetizações do tipo Viscosa e Isotérmica são exemplos de magnetizações secundárias que uma rocha pode adquirir. Estas nem sempre estáveis, estão mais relacionadas com variações magnéticas de baixas barreiras de energia e têm, frequentemente, tempo de relaxação curto.

2.5 Tratamento de Desmagnetização

Como já foi dito anteriormente, a amostra de uma rocha traz em si informações magnéticas, tanto relativas à época de sua gênese quanto em relação a eventos ocorridos ao longo do tempo geológico, que podem ser em parte elucidados a partir do estudo do paleomagnetismo.

O objetivo principal do tratamento de desmagnetização em paleomagnetismo é reconhecer e eliminar as magnetizações secundárias da amostra, de modo a recuperar a direção original da magnetização associada à época de formação da rocha. Assim é que algumas técnicas de desmagnetização foram desenvolvidas.

São três os processos comumente usados:

- a) desmagnetização por campo magnético alternado
- b) desmagnetização por aumento de temperatura
- c) desmagnetização química

É necessário que no processo de desmagnetização, as magnetizações secundárias sejam removidas progressivamente e que nenhuma magnetização espúria seja acrescentada à amostra.

Pelo tratamento de desmagnetização é possível se identificar numa coleção de amostras as várias magnetizações de diferentes direções. A determinação das magnetizações distintas geralmente é feita por tentativas e se obtém, então, a magnetização procurada, que entretanto não se pode garantir ser definitiva. Assim é preferível se evitar denominações genéricas (por exemplo o uso do termo "primária") e se falar na magnetização

característica (MRC) do grupo.

A escolha de uma ou mais técnicas de desmagnetização, é feita, fundamentalmente, com base nas condições de formação da rocha, e na sua constituição mineralógica, sobretudo em termos dos minerais responsáveis pelo magnetismo.

Em geral, nas rochas que contém titanomagnetita (ca so da maioria dos basaltos é empregada a técnica de desmagnetização por campo magnético alternado, devido à relativamente bai xa força coercitiva que apresenta este mineral, possibilitando o processo de lavagem através de aparelhos especialmente desenvolvidos para tal fim.

As rochas sedimentares são preferencialmente desmagnetizadas por aumento de temperatura, uma vez que neste tipo de rocha o mineral magnético característico é a hematita, que, para desmagnetizar-se através de campo magnético alternado, ne cessita de uma intensidade de campo bastante elevada em virtude de possuir alta coercitividade. Isto implica em uso de equipamentos que produzem campo magnético alternado muito elevado, o que é tecnicamente mais complicado.

A desmagnetização química é empregada principalmen te em "red beds". Esta técnica utiliza solução de ácido clorídri co concentrado (10N) para eliminar as camadas de óxido de ferro, e demonstrar as componentes de magnetização associadas a diferen tes materiais ou diferentes tamanho de grãos de um mesmo mate rial. Entretanto, esta técnica tem limitações, pois é tanto mais conveniente quanto maior a porosidade de forma que a penetração do ácido seja mais efetiva e facilite o tratamento de desmagnetização da amostra.

2.6 Desmagnetização por Campo Magnético Alternado

Thellier e Rimbart (1954, 1955) foram os introdutores do uso da desmagnetização por campo magnético alternado nos trabalhos de paleomagnetismo. Este processo de lavagem magnética consiste na aplicação de campos magnéticos alternados suces

sivos em materiais magnéticos, em ciclos de histerese de amplitude decrescente. Após a determinação da MRN do espécime, este é colocado em uma região de campo magnético zero e submetido a um campo magnético alternado de intensidade de pico H_p , que paulatinamente é reduzida a zero.

Os momentos magnéticos dos domínios, cujas forças coercitivas são menores que H_p , alinham-se segundo a direção do campo aplicado de modo tal que o total de domínios magnetizados numa determinada direção seja substancialmente igual ao número de domínio com magnetização reversa. A cada intervalo de variação do campo aplicado, a magnetização é então medida novamente e o processo repetido, aplicando-se, a cada vez, um valor mais alto para H_p . Assim as componentes de magnetização secundária de coercitividade mais baixas são removidas enquanto que as componentes da magnetização inicial com coercitividade mais alta são preservadas.

É necessário que o campo magnético ambiente seja nulo e que as variações de campo magnético alternado sejam simétricas para evitar o aparecimento de uma magnetização remanescente espúria denominada anisterética (MRA).

2.7 Análise Estatística

O método estatístico frequentemente utilizado nos trabalhos em paleomagnetismo foi desenvolvido por Fisher (1953). Este método analisa direções de vetores, dando peso unitário a cada vetor e portanto não favorecendo os vetores de maiores intensidades.

Se temos uma determinada população de vetores dispersos em relação a um ponto de referência, a melhor estimativa da direção média em relação a este ponto de referência é a direção do vetor soma dos vetores unitários das várias direções. No caso do paleomagnetismo, a direção de magnetização é definida por dois ângulos; declinação e inclinação. Declinação é o ângulo entre o norte geográfico e a componente horizontal do campo magnético no local da área estudada, com direção positiva no sen

tido horária. Inclinação é o ângulo entre o campo magnético local e o plano horizontal, com direção positiva indicada para baixo. Dessa forma a direção da i -ésima amostra (D_i e I_i) corresponde a três cossenos diretores é dada por:

$$\text{componente norte:} \quad l_i = \cos I_i \cos D_i$$

$$\text{componente este:} \quad m_i = \cos I_i \sin D_i$$

$$\text{componente vertical:} \quad n_i = \sin I_i$$

A intensidade do vetor resultante R é dada por:

$$R = \{(\sum l_i)^2 + (\sum m_i)^2 + (\sum n_i)^2\}^{1/2}$$

A direção média é obtida por:

$$D = \arctg \frac{\sum m_i}{\sum l_i}$$

$$I = \arctg \frac{\sum n_i}{\{(\sum l_i)^2 + (\sum m_i)^2\}^{1/2}}$$

De acordo com a distribuição de Fisher a densidade dos vetores da população estudada decresce com o aumento do ângulo sólido com centro na direção média. A densidade de probabilidade dos vetores estudados está relacionada com o parâmetro de precisão K da seguinte forma:

$$P = \frac{K}{4\pi \sinh K} \exp(K \cos \theta)$$

Para valores altos de K os vetores estão mais agrupados. Se obtivermos o caso limite em que $K = 0$, teremos uma população de vetores distribuídos uniformemente por toda a superfície da esfera de raio unitário. O produto $P \delta a$ determina a proporção de pontos que se espera numa área δa da esfera, a uma distância angular θ da direção média.

Para estimarmos o parâmetro K , utilizamos a seguinte equação

$$K \approx k = \frac{N-1}{N-R} \quad \text{para } K \geq 3$$

onde N é o número total de direções e R o módulo da soma dos vetores unitários analisados. A direção média verdadeira de uma população de N vetores, segundo Fisher (1953), se encontra dentro de um cone circular, cujo eixo é formado pelo vetor R (resultante da soma dos N vetores unitários) e cuja abertura é expressa pelo semi ângulo sólido α .

O semi-ângulo α ao nível de probabilidade $(1-P)$ é dado por:

$$\cos \alpha(1-P) = 1 - \frac{N-R}{R} \left\{ \left[\left(\frac{1}{P} \right) \right]^{(1/N)-1} - 1 \right\}$$

Nos estudos paleomagnéticos, P é em geral tomado como 0,05 o que significa que há 95% de possibilidade de a direção média verdadeira da população estar dentro do cone de confiança, especificado pela direção de R e pelo ângulo α_{95} . O círculo determinado por α_{95} na superfície da esfera é chamado de círculo de 95% de confiança. Os parâmetros K e α_{95} , de Fisher indicam a precisão dos resultados encontrados para a direção que representa a média de um dado número de vetores estudados. Dessa forma quanto maior o valor de k e menor o valor de α_{95} menor o espalhamento dos pontos e mais precisos são os resultados. Sabemos que os dados estatísticos são mais confiáveis quanto maior for a amostragem. Para os estudos em paleomagnetismo o número total de direções utilizadas no cálculo de uma direção média deve ser maior do que 5 segundo Irving (1963), ou maior ou igual a 7 de acordo com McElhinny (1973).

Muitas vezes é necessário comparar direções médias de duas populações de vetores. Quando os cones de confiança dessas direções não se interceptam, as direções médias das populações são diferentes. Entretanto, se os cones de confiança se interceptam, isto tanto pode ter ocorrido por acaso, sendo realmente distintas as populações, quanto pode indicar que os dados são referentes a direções idênticas. Para verificarmos esta si

tuação, utilizamos o teste de comparação de direções médias.

Este teste define que, dadas duas populações com N_1 e N_2 amostras e cujas intensidades dos vetores resultantes são R_1 e R_2 respectivamente, podemos determinar, pela equação abaixo, um valor estatístico de F para 2 e 2 (N-2) graus de liberdade, tal que

$$F = (N-2) \frac{(R_1 + R_2 - R)}{(N - R_1 - R_2)}$$

onde R é o módulo do vetor resultante da soma dos vetores R_1 e R_2 e $N = N_1 + N_2$.

O valor de F determinado pela equação acima pode ser comparado ao valor crítico relativo aos N dados usados. Esses valores críticos estão relacionados nas tabelas de razão F encontradas na literatura.

Se o valor de F é muito grande (maior do que o valor crítico), a hipótese de as duas direções médias dos sítios serem idênticas é falsa uma vez que a soma algébrica de $R_1 + R_2$ é muito maior que a soma vetorial de R. Este teste está baseado na hipótese de os parâmetros de precisão de duas populações serem os mesmos.

Para verificarmos a validade do teste F utilizamos o teste de comparação de precisão, efetuando a razão entre k_1 e k_2 das amostras de populações N_1 e N_2 da seguinte maneira:

$$F = \frac{k_1}{k_2} = \frac{\text{variância com } 2(N_2 - 1) \text{ graus de liberdade}}{\text{variância com } 2(N_1 - 1) \text{ graus de liberdade}}$$

Esta razão apresenta também uma distribuição F. Valores de F acima do valor crítico indicam que as precisões são distintas e o teste não pode ser aplicado.

2.8 Cálculo do Polo Paleomagnético

A posição do polo paleomagnético é calculada a par

tir da direção de magnetização da formação estudada. O modelo utilizado para as equações que determinam o polo paleomagnético tem por base o campo magnético de um dipolo centrado no centro da Terra e direcionado ao longo do eixo de rotação. Assim a latitude geomagnética é igual à latitude geográfica. Portanto, por definição:

$$D = 0^{\circ}$$

e a colatitude P_s do ponto de coordenadas geográficas λ_s, ϕ_s está relacionada à inclinação I do campo geomagnético pela expressão:

$$\operatorname{tg} I = 2 \cotg P_s \quad (0^{\circ} \leq P_s \leq 180^{\circ})$$

O eixo do dipolo magnético, no entanto, pode estar inclinado em relação ao atual eixo de rotação da Terra, assim conhecidas a declinação média e inclinação média (D_m, I_m) de determinado local S , o polo paleomagnético (interseção da superfície da Terra com o eixo do dipolo geomagnético) é expresso pelas coordenadas de latitude e longitude λ_p, ϕ_p onde:

$$\operatorname{sen} \lambda_p = \operatorname{sen} \lambda_s \cos P_s + \cos \lambda_s \operatorname{sen} P_s \cos D_m \quad (-90^{\circ} < \lambda_p < 90^{\circ})$$

$$\phi_p = \phi_s + \beta \quad (\text{para, } \cos P_s \geq \operatorname{sen} \lambda_s \operatorname{sen} \lambda_p)$$

$$\phi_p = \phi_s - \beta + 180 \quad (\text{para, } \cos P_s < \operatorname{sen} \lambda_s \operatorname{sen} \lambda_p)$$

$$\operatorname{sen} \beta = \operatorname{sen} P_s \operatorname{sen} D_m / \cos \lambda_p \quad (\text{para, } -90^{\circ} < \beta < 90^{\circ})$$

sendo D_m a declinação (figura 1).

Pode-se determinar as coordenadas do polo paleomagnético de duas maneiras distintas:

- a) determina-se a direção média do campo magnético para um determinado sítio, obtendo-se pelas equações precedentes o polo geomagnético virtual (PGV). O PGV de

um sítio representa um instante na escala do tempo geológico. Em seguida determina-se o polo paleomagnético através da média dos polos geomagnéticos virtuais para cada sítio;

b) determina-se a direção de campo magnético da formação estudada (que é dada pela média das direções médias dos sítios) e em seguida, a partir destes dados, calcula-se o polo paleomagnético médio.

Figura 1 - Cálculo do polo paleomagnético a partir da direção de magnetização média (D_m , I_m). As amostras do sítio S têm latitude e longitude (λ_s , ϕ_s) e o polo p tem coordenadas (λ_p , ϕ_p).

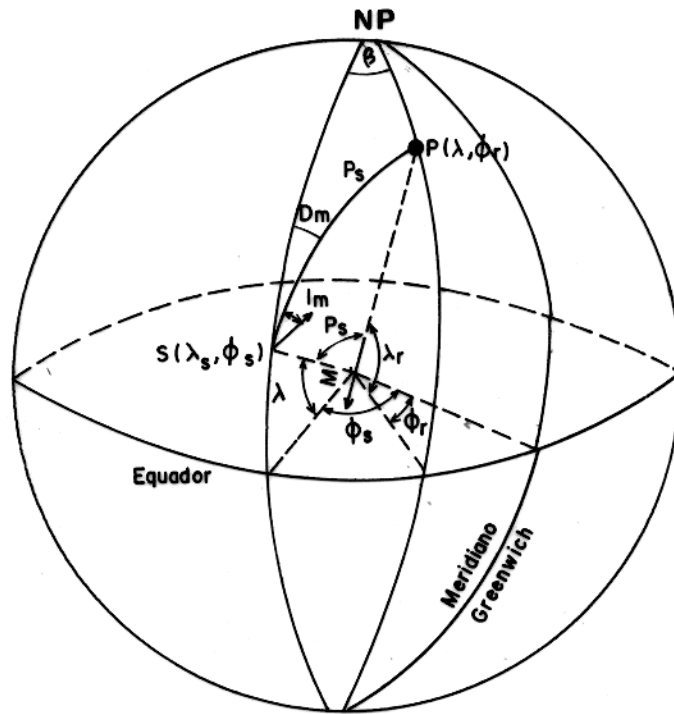


Fig. 1 - Cálculo do polo paleomagnético a partir da direção de magnetização média (D_m , I_m). As amostras do sítio S têm latitude e longitude (λ_s , ϕ_s) e o polo P tem coordenadas (λ_s , ϕ_s).

A posição do polo é aproximadamente a mesma para quaisquer dos dois métodos utilizados. Os erros diferem em detalhes, mas não em grandeza (Irving e Ward, 1964).

3 O ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA

O Arquipélago de Fernando de Noronha está localizado no Oceano Atlântico Equatorial, a $3^{\circ}50'S$ de latitude e $32^{\circ}26'W$ de longitude, a 345 km da costa nordeste do Brasil, possuindo uma área de $18,4\text{km}^2$ aproximadamente. Constitui-se de um grande edifício vulcânico não erodido, do qual apenas uma pequena porção acha-se emersa. A isóbata de 4000 m na base da montanha é grosseiramente circular apresentando um diâmetro de 60 km.

3.1 Situação Geológica

A geologia do Arquipélago de Fernando de Noronha foi estudada detalhadamente por Almeida (1958). As ilhas são de natureza essencialmente vulcânica tendo, o autor, destacado três formações: Remédios, Quixaba e São José (figura 2). Além da ocorrência vulcânica as ilhas do arquipélago apresentam areias carbonáticas, terraços marinhos elevados, campos de dunas recentes, praias atuais de areia e cascalho e recifes de algas que circundam grande parte da ilha. Estas ocorrências sedimentares detêm apenas 7,5% da área total do Arquipélago (figura 2).

3.1.1 A Formação Remédios

Os fenômenos vulcânicos iniciais que ocorreram na ilha foram do tipo fonolito-traquítico, com intrusivas básicas, segundo Almeida (1958) e constituem a Formação Remédios. As rochas desta formação são responsáveis pelas maiores elevações da área central da ilha principal do arquipélago. São rochas eruptivas e intrusivas em depósitos piroclásticos. As espessuras expostas na costa da enseada da Caieira ultrapassam 100 metros (Almeida, 1958).

Os domos fonolíticos representam uma das feições mais marcantes dessa unidade como também são as mais espessas do arquipélago. O morro do Pico, com 321 metros de altura (a estrutura mais elevada do arquipélago) é possivelmente o maior corpo fonolítico da área, atingindo diâmetro máximo exposto de 950 metros além da parte oculta no mar (Almeida, 1958).

As ocorrências de álcali-traquito, apesar de menos abundantes que os fonolitos, são também comuns nesta unidade. O hábito geológico mais frequente nos traquitos de Fernando de Noronha é o de espessos diques verticais (Almeida, 1958).

3.1.2 A Formação Quixaba

Posteriormente ao vulcanismo da Formação Remédios ocorreu uma ampla erosão que destruiu os centros vulcânicos primitivos. Depósitos piroclásticos (de cuja constituição participaram unicamente componentes da própria lava) e rochas eruptivas (essencialmente derrames de ankaratritos) depositaram-se na superfície erodida da Formação Remédios dando origem à formação Quixaba. Esse conjunto de rochas vulcânicas, chegando em alguns pontos a mais de 200 metros de espessura, contrasta fortemente com a formação subjacente pela sua simplicidade, uniformidade e caráter extrusivo (Almeida, 1958).

3.1.3 A Formação São José

Próximo à ilha principal, em três pequenas ilhotas, de São José, Cuzcuz e de Fora, predominam derrames de nefelina basanita que constituem a formação São José, com espessura de pelo menos 25m em alguns pontos.

Estas rochas englobam numerosos xenólitos de olivinitos mais abundantes na parte interior do que no topo do derrame e provavelmente são o resultado de um processo de acumulação gradativa (Almeida, 1958).

3.1.4 Idade das Formações Vulcânicas de Fernando de Noronha

No que concerne ao estudo cronológico do vulcanismo de Fernando de Noronha, Almeida (1958) distinguiu como mais antigo o vulcanismo referente à formação Remédios, tendo, posteriormente, ocorrido a erupção magmática responsável pelo aparecimento da formação Quixaba. Segundo Almeida (1958) a formação São José é posterior à formação Quixaba. Considerações sobre a idade do vulcanismo no Oceano Atlântico Sul levaram o autor a

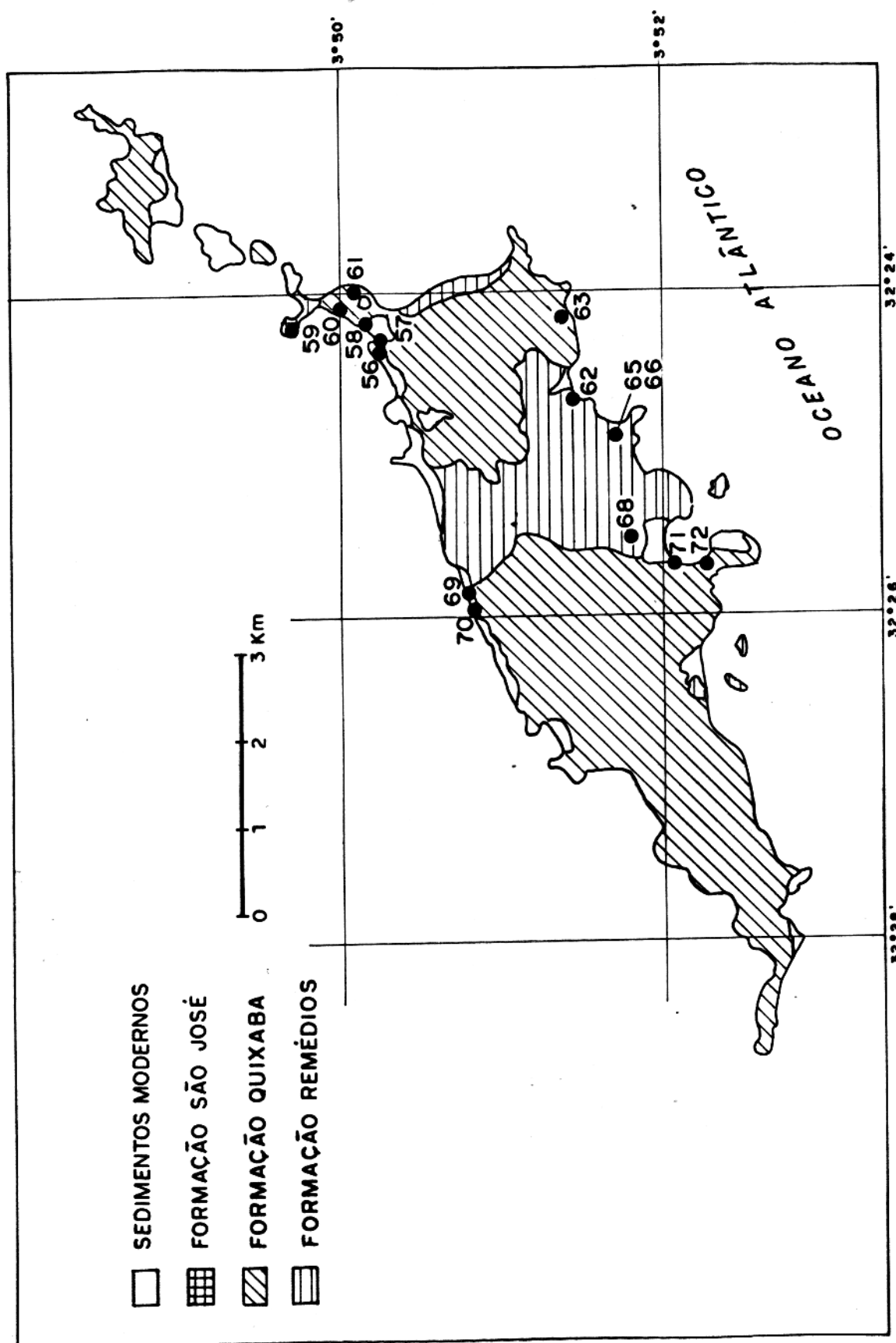


FIG.2 - MAPA ESQUEMÁTICO MOSTRANDO OS LOCAIS DE AMOSTRAGEM NO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA.

indicar uma idade para as ocorrências vulcânicas do arquipélago mais jovem do que o Senoniano.

Por sua vez Cordani (1970) efetuou 28 análises potássio-argônio em 23 amostras do Arquipélago de Fernando de Noronha. Da formação Remédios foram estudadas 16 amostras sendo que 14 delas (6 amostras de rochas fonolíticas, três de essexitos pórfiros e cinco outras pertencentes a rochas intrusivas incluídas na formação) indicaram idades variando em torno de 8,02 a 12,32 m.a. A média dos resultados, próxima a 9,4 m.a., pode representar a época da formação da rocha (Cordani, 1970). Duas das amostras de corpos intrusivos apresentaram resultados díspares (2,62 e 4,30 m.a.) (Cordani, 1970).

Para Cordani (1970) os derrames ankaratriticos da formação Quixaba possuem idades variáveis entre 6,3 e 1,7 m.a. (resultados de 6 amostras), existindo alguma evidência de maior atividade vulcânica ao redor de 3 m.a. atrás.

Para a formação São José, Cordani atribuiu a ela idade contemporânea ao ciclo vulcânico da formação Remédios, com a atividade vulcânica girando em torno de 9 m.a. e apenas apresentando uma amostra (das 4 analisadas para esta formação) com 21,9 m.a. O autor justificou o fato pela presença de excesso de argônio nesta amostra o que evidencia a presença de material contaminante na mesma.

Apesar da discordância entre a localização da idade da formação São José, os dois autores (Almeida, 1958 e Cordani, 1970) concordam que o vulcanismo do Arquipélago de Fernando de Noronha data do período Terciário Superior.

3.2 Medidas Paleomagnéticas

Foram coletadas por meio de uma perfuradora portátil, 100 amostras com 2,5 centímetros de diametro e aproximadamente 5 centímetros de altura de um total de 15 sítios envolvendo as 3 formações vulcânicas do Arquipélago de Fernando de Noronha (figura 2).

As amostras foram orientadas no campo por meio de bússula magnética e um clinômetro. No laboratório foram subdivididas em cilindros de cerca de 2,5 centímetros de altura. Mediuse a magnetização remanescente natural (MRN) de cada espécime, utilizando-se um magnetômetro Foerster, que permite a medida de magnetizações até um valor mínimo da ordem de 10^{-4} Gauss.

Não foi possível a utilização dos espécimes de todos os sítios amostrados, uma vez que, os sítios 60, 69 e 72 da formação Quixaba e os sítios 56 e 66 da formação Remédios apresentaram amostras com fraca intensidade magnética em relação ao magnetômetro usado, impossibilitando, nesses sítios, a medida das magnetizações remanescentes após o tratamento de desmagnetização.

Espécimes pilotos foram submetidos a desmagnetizações parciais por tratamento de campo magnético alternado, em que valores de picos foram sucessivamente aumentados de 50 a 100 Oersted, até a intensidade de 700 oersted, como podemos observar na figura 3, que representa um exemplo deste procedimento. O diagrama da amostra 61/2/2 indica a presença de uma magnetização viscosa lavada a 100 Oersted, tendo o mesmo ocorrido também em algumas outras amostras.

Posteriormente, todas as demais amostras foram lavadas por campo magnético alternado, de acordo com os respectivos pilotos, para eliminar as possíveis magnetizações secundárias. A escolha do campo magnético ótimo para a lavagem foi feita com base no trabalho de Zijderveld (1967). No processo de desmagnetização foi utilizado o desmagnetizador Schonstedt modelo GSD-1.

A determinação da magnetização remanescente característica (MRC) de cada sítio foi realizada de acordo com o trabalho de Fisher (1953) dando-se peso unitário a cada amostra. Da mesma forma a magnetização remanescente característica da formação foi determinada dando-se peso unitário a cada sítio. A média de todos os sítios estudados forneceu a direção (declinação e inclinação) do campo magnético da Terra na época em que as rochas estudadas se formaram (3-12 m.a.). Os resultados apresenta

ram a declinação do campo magnético em 350° e a inclinação em -9° .

Não houve necessidade de se fazer correções tectônicas uma vez que a área não apresenta evidência de tectonismo expressivo após a formação das rochas estudadas. Os sítios próximos entre si foram analisados estatisticamente através do teste F (discutido no item Análise Estatística), para se verificar se os mesmos eram distintos uns dos outros ou se deveriam ser considerados como um único sítio. Os resultados indicaram que os sítios podem ser considerados, dentro de uma probabilidade de 95%, como sendo sítios distintos, uma vez que os valores encontrados para os testes se mantiveram acima do valor crítico indicado nas tabelas estatísticas, neste nível de 95% de confiança.

3.3 Discussão dos Resultados

Observando-se os resultados obtidos para as duas formações, verifica-se que a lavagem magnética reduziu o espalhamento dentro do sítio tanto para a formação Quixaba quanto Remédios (figura 4).

Por outro lado o espalhamento entre sítios apresentou, de acordo com os dados, uma redução maior na formação Quixaba do que na formação Remédios (figura 5). Este resultado é coerente com os trabalhos de Richardson e Watkins (1967) e Mazoures et al (1971) para a ilha.

As declinações da magnetização remanescente característica (MRC) estão próximas à direção do campo magnético atual (figura 5). Por sua vez as inclinações da MRC apresentam sinal negativo enquanto que a inclinação do campo atual é positiva. Levando-se em conta este ponto e com base no fato de o tratamento de desmagnetização ter eliminado as possíveis magnetizações secundárias que pudessem influir nos resultados obtidos para as direções do campo magnético, concluímos que o campo magnético da época que as rochas em estudo se formaram é substancialmente diferente do atual.

Os dados, quando avaliados conjuntamente para as

formações possibilitam a determinação de um polo paleomagnético médio de idade terciária para o Arquipélago de Fernando de Noronha, 81°N , 232°E (com $A_{95}=5^{\circ}$ e $K=83$) (Tabela 2).

O polo paleomagnético obtido para as rochas vulcânicas do Arquipélago de Fernando de Noronha se localiza próximo ao polo encontrado por Richardson e Watkins (1967) e Mazoires et al (1971) para o mesmo local. Suas coordenadas são ainda semelhantes às do polo terciário calculado para a formação Boqueirão no Peru e do polo de Cerro del Fraile na Argentina, também do período Terciário determinados, respectivamente, por Creer (1962) e Creer e Valencio (1969) (Tabela 1).

O desvio padrão angular ($s = 81 K^{0,5}$), foi calculado em $11,5^{\circ}$. Esse valor está um pouco abaixo das variações sugeridas para a paleolatitudo da área pelos modelos A, B, e D, respectivamente de Irving e Ward (1964), Creer et al (1959) e Cox (1970) que estudaram a dispersão angular das direções médias de magnetização associadas a polos paleomagnéticos. É possível, de acordo com os modelos, que tenham sido amostrados sítios que praticamente correspondam a um mesmo instante na escala de tempo geológico. Entretanto o fato de havermos encontrado direções de magnetização normais e reversas e de os testes estatísticos indicarem, com possibilidade de 95% de confiança, que foram estudados sítios distintos, sugere que a amostragem cobriu um tempo suficientemente longo. Daí pode-se concluir, com boa aproximação, que o polo obtido é verdadeiramente um polo paleomagnético.

Tabela 1-Polos Paleomagnéticos para a América do Sul.

Nº	FORMAÇÃO	POLO		A_{95}	REFERÊNCIAS
		$N(^{\circ})$	$E(^{\circ})$		
1	Fernando de Noronha-Brasil	87,7	126,5	10,4	Richard e Watkins(1967)
2	Formação Remédios-Brasil*	82,6	207,8	-	Mazoires et al (1971)
3	Abrolhos-Brasil	86,1	152,4	6,4	Pacca et al (1972)
4	Mendoza e Neuquen-Argentina	86	194	10	Creer e Valencio(1970)
5	Boqueirão-Peru	75	106	-	Cree (1962)

* Formação pertencente ao Arquipélago de F. de Noronha.

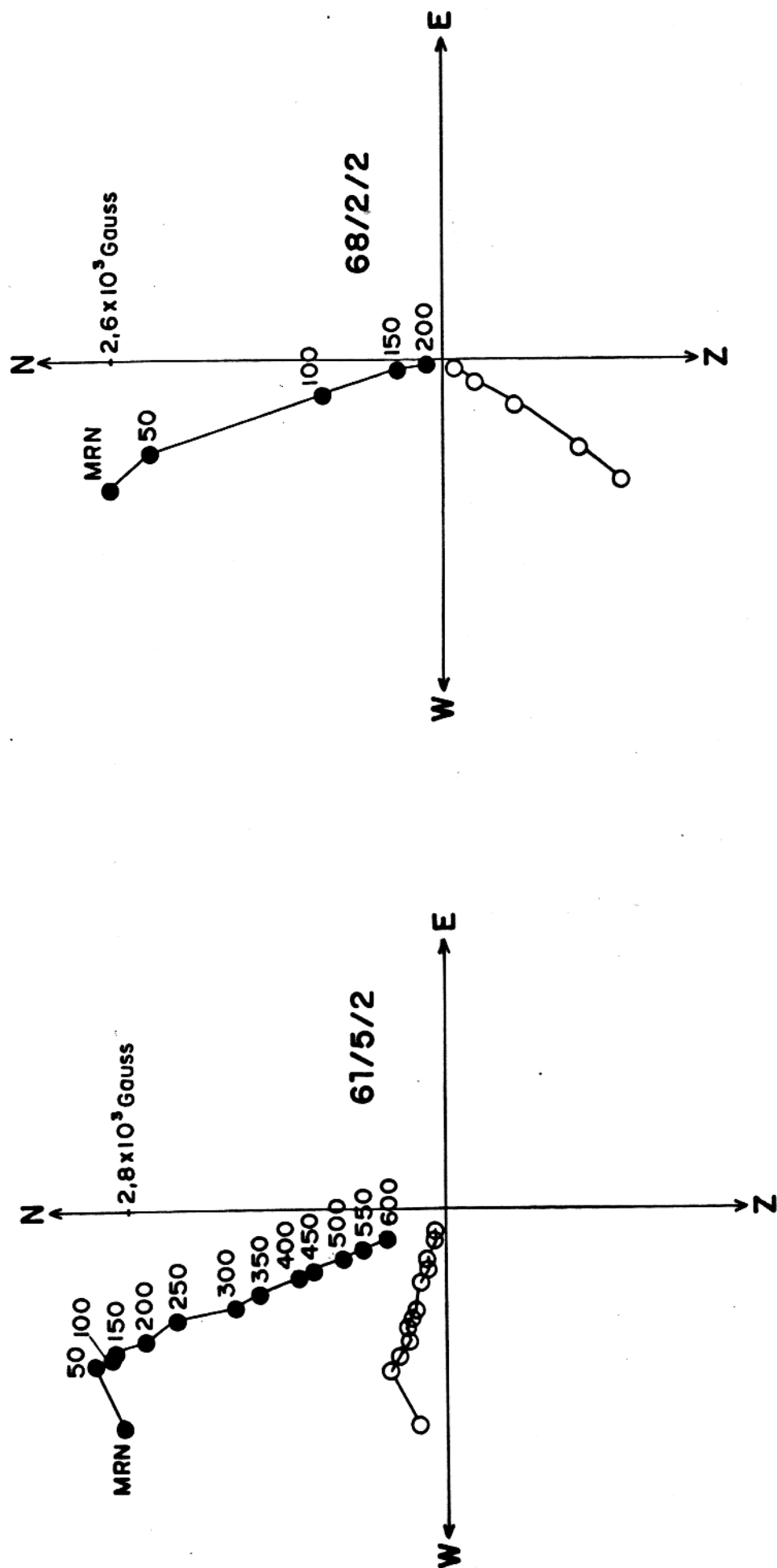


FIG. 3 - DIAGRAMAS DE ZIJDERVELD PARA AS AMOSTRAS 61/5/2 (Quixaba) E 68/2/2 (Remédios) DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA. SIMBOLOS ESCUROS E CLAROS INDICAM, RESPECTIVAMENTE, COMPONENTES NO PLANO HORIZONTAL E VERTICAL (EW).

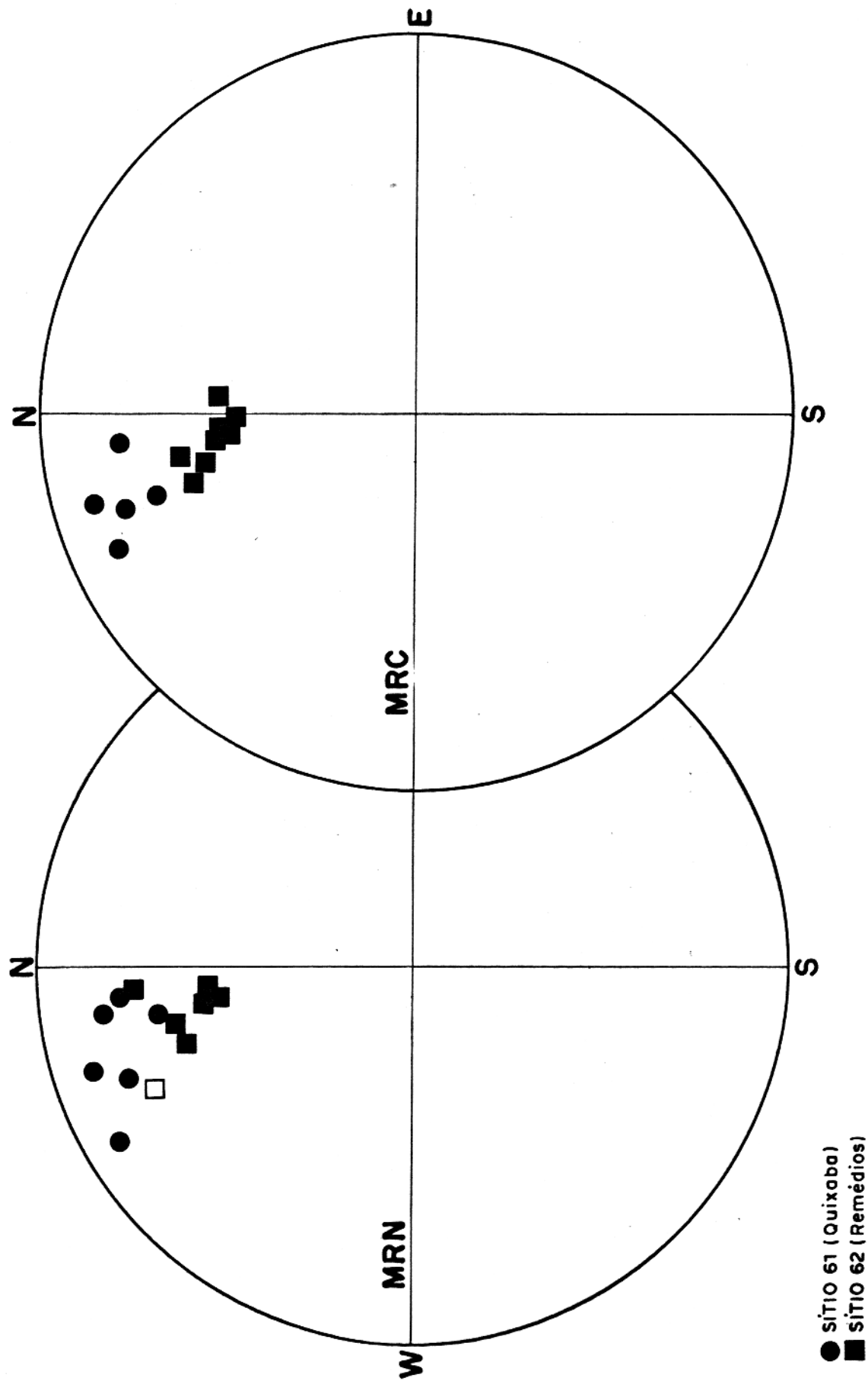


FIG. 4 - EXEMPLOS DE REDUÇÃO DO ESPALHAMENTO DENTRO DO SÍTIO APÓS O TRATAMENTO DE DESMAGNETIZAÇÃO. SÍMBOLOS ESCUROS INDICAM INCLINAÇÃO NEGATIVA, SÍMBOLOS CLAROS, INCLINAÇÃO POSITIVA.

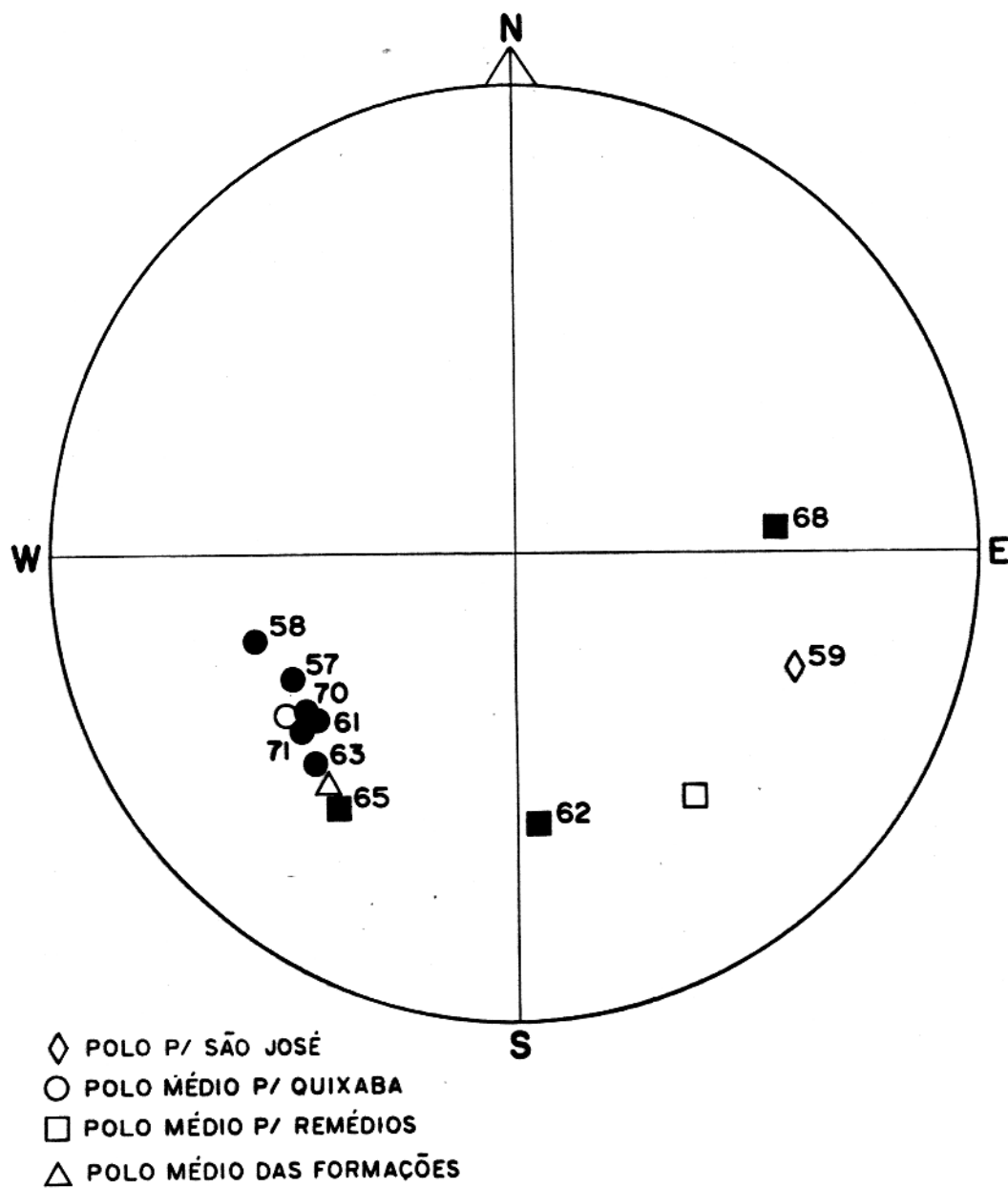


FIG.6 - PGV's MEDIOS DOS SÍTIOS DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA.

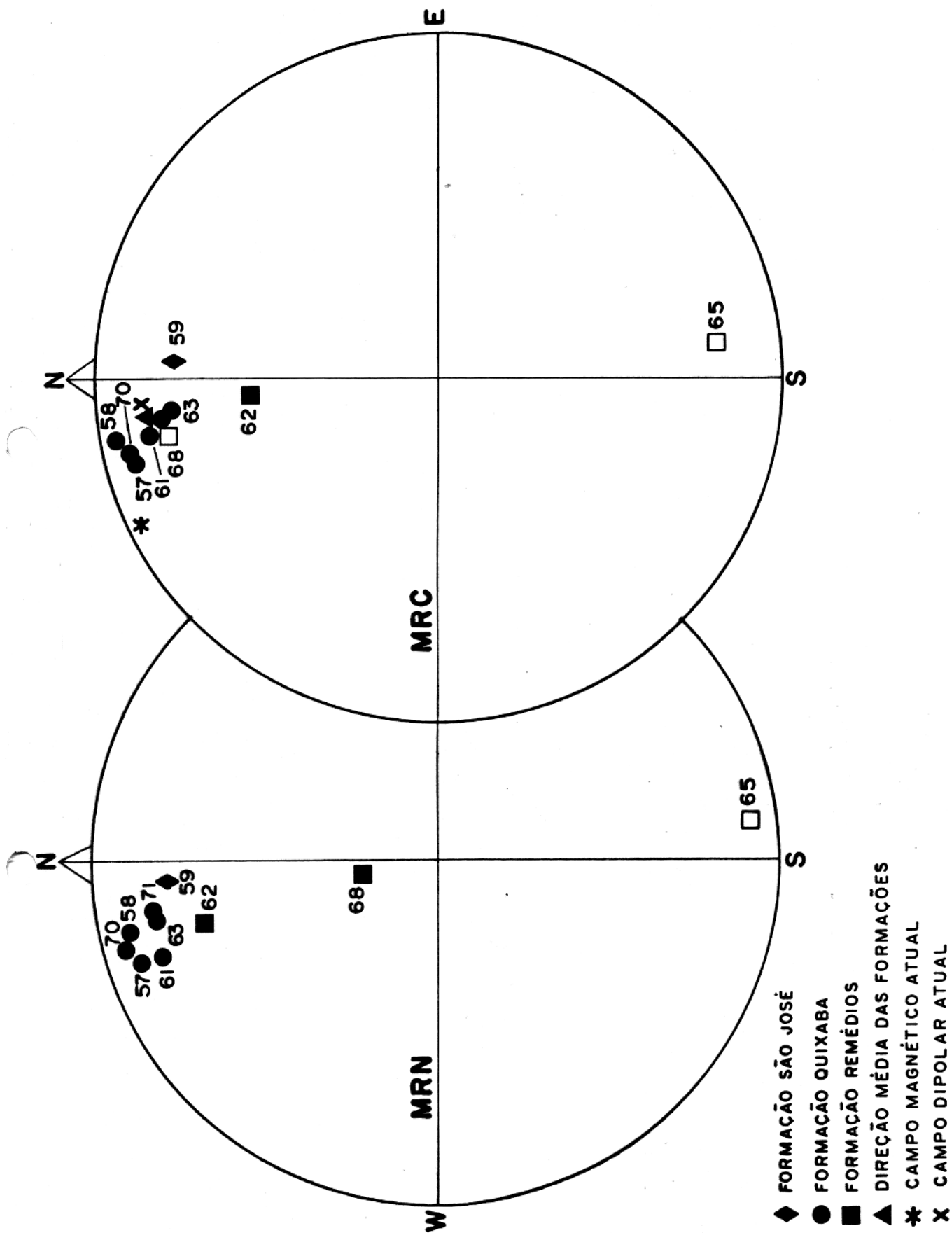


FIG. 5 - DIREÇÕES MÉDIAS DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA. SÍMBOLOS ESCUROS E CLAROS INDICAM, RESPECTIVAMENTE, INCLINAÇÃO NEGATIVA E POSITIVA.

TABELA 2 - RESULTADOS PALEOMAGNÉTICOS DAS ROCHAS VULCÂNICAS DO ARQUIPÉLAGO
DE FERNANDO DE NORONHA

S	M R N		M R C						PGV				
	N	D(°)	I(°)	$\alpha_{95}(^{\circ})$	k	CAMPO DE LAVAGEM	N	D(°)	I(°)	$\alpha_{95}(^{\circ})$	k	°N	°E
FORMAÇÃO QUIXABA													
57	8	343	-4	4,7	137,7	100 Oe	8	342	-5	4,1	180,7	72	241
58	4	349	-5	2,8	1113,0	150 Oe	4	348	-2	6,3	212,3	78	252
60	3	Não permitiu medidas											
61	5	342	-9	10,5	53,9	150 Oe	5	345	-10	7,6	101,8	75	232
63	7	350	-10	6,9	78,2	100 Oe	6	353	-12	6,3	113,0	82	221
69	4	Não permitiu medidas											
70	5	346	-3	6,0	162,1	150 Oe	5	346	-4	5,3	209,7	76	245
71	10	351	-10	4,4	136,5	100 Oe	9	350	-10	4,1	158,0	80	231
72	5	Não permitiu medidas											
MÉDIA PARA A FORMAÇÃO QUIXABA													
							6	347	-7	4,6	212,5	77	238
A ₉₅ = 3,5° K = 366,0													
FORMAÇÃO REMÉDIOS													
56	11	Não permitiu medidas											
62	11	347	-18	10,9	187,0	150 Oe	8	352	-31	5,4	103,9	76	176
65	3	174	-4	39,3	10,9	50 Oe	3	176	11	21,7	33,2	85	219
66	3	Não permitiu medidas											
68	11	354	-64	66,2	1,5	50 Oe	4	347	6	30,1	10,3	75	265
MÉDIA PARA A FORMAÇÃO REMÉDIOS													
							3	351	-12	29,7	18,3	81	222
A ₉₅ = 16,2° K = 59													
FORMAÇÃO SÃO JOSÉ													
59	10	358	-13	4,1	141,8	50 Oe	9	8	-14	3,9	157,9	81	80
MÉDIA DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA													
							10	350	-9	6,8	51,2	81	232
A ₉₅ = 5° K = 83													

4. A FORMAÇÃO MACAU

A bacia Potiguar é classificada como bacia costeira estável ou tipo V ou "pull apart" (Klemme, 1971). É o resultado de um processo contínuo de distensão crustal que, segundo Falkenhein et al (1977), pode ser dividido em 4 estágios principais: um inicial "rift", um de quiescência tectônica, um miogeossinclinal e finalmente um miogeoclinal.

A fase inicial (do estágio "rift") envolveu deposição sintectônica em "grabens" formados por falhamentos. Na fase final os principais falhamentos existentes foram reativados. Este estágio se estende do Cretáceo Inferior ou Superior (Falkenhein et al, 1977).

O estágio de "quiescência tectônica" não apresentou atividade considerável. Este período está registrado na atual parte submersa pela presença de um calcilutito lacustre que corresponde aos evaporitos das bacias da costa leste brasileira (Falkenhein et al, 1977).

Os estágio miogeossinclinal é caracterizado por fraca atividade tectônica e basculamento antitético (Araújo et al, 1978). Este estágio teve seu início no Cretáceo Superior e encerrou-se no Terciário Médio. Marca o início da incursão marinha atlântica na bacia. Os calcários cretáceos da Formação Jandaíra pertencem a este estágio. Por fim Falkenhein et al (1977) destaca o estágio miogeoclinal que se iniciou ainda no período Terciário Médio indo até o Quaternário e corresponde ao entulhamento final da bacia. A atividade tectônica foi mínima e ocorreu algum basculamento bacial para N-NE. Neste período ocorreram episódios de vulcanismo subaquático que resultou a formação Macau (Falkenhein et al, 1977).

4.1. Situações Geológica e Idade

Rochas ígneas de natureza basáltica ocorrem em diversas áreas do Estado do Rio Grande do Norte. A área estudada localiza-se ao Sul da cidade de Macau (5°6'S de latitude e 36°37' W

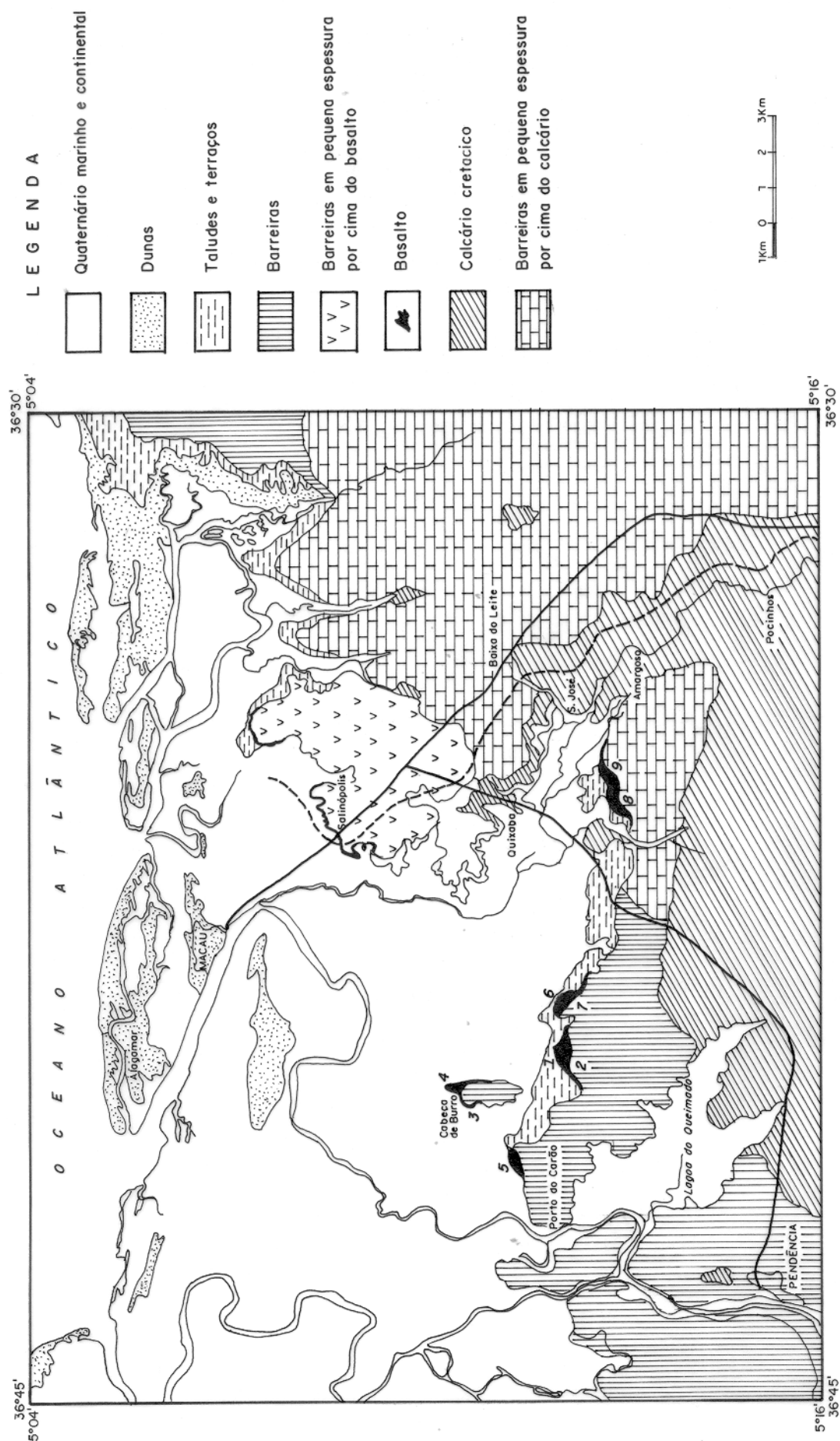


Fig. 7 - Esboço geológico da região de Macau (Kegel, 1957), mostrando os sítios de amostragem da Formação Macau estudados.

de longitude).

A sul e SW da cidade de Macau, observam-se várias exposições dos derrames basálticos da Formação Macau ao longo da estrada que liga Macau à cidade de Pendência, entre os lugares de Amargoso e Porto Carão. Há uma ocorrência bastante intemperizada desta unidade no lugarejo denominado Salinópolis. Observa-se ainda nesta formação no local denominado Cabeço do Burro a NE de Porto Carão. Kegel (1957) observou dois derrames superpostos, donde concluiu que o conjunto pode ser constituído de vários pequenos derrames.

Quanto à estratigrafia e idade da Formação Macau, Kegel (1957) descreve que esta formação é posterior ao calcáreo da formação Jandaíra (pertencente ao período Cretáceo) e está sobreposta por arenitos terciários da bacia Potiguar, concluindo que o vulcanismo ocorreu no Terciário Inferior ou Médio.

Na sequência litoestratigráfica é apresentada no trabalho de Falkenhein et al (1977), estes autores colocam a formação Macau no Terciário Médio abrangendo as épocas do Mioceno e Oligoceno.

A coluna estratigráfica apresentada por Araújo et al (1978) coloca a formação Macau sobreposta à formação Ubarana (que cobre o período desde o Cretáceo Superior ao Terciário Inferior) e abaixo da formação Timbaú (que se estende desde o Terciário Superior até o Quaternário). Portanto estes autores localizam a formação Macau como pertencente ao Terciário Médio.

Utilizando métodos radiométricos Tomás Filho (1975) (in Sial, 1976) datou a formação Macau com idade de 42 ± 3 m.a., concordando com as afirmativas de Kegel (1957), Falkenhein et al (1977) e Araújo et al (1978) de que os derrames basálticos de Macau são do período Terciário Médio.

4.2. Medidas Paleomagnéticas e Amostragem

Dos derrames basálticos do Rio Grande do Norte loca-

zados ao sul da cidade de Macau, foram extraídas, por meio de uma perfuradora portátil, 106 amostras de 2,5 centímetros de diâmetro com aproximadamente 4 centímetros de altura, perfazendo um total de 9 sítios.

A orientação durante a coleta foi feita por meio de uma bússola magnética e clinômetro. Com excessão dos derrames de Salinópolis que se apresentaram bastante intemperizados, todos os demais sítios permitiram a coleta de amostras (fig.07).

Para o trabalho de laboratório as amostras foram cortadas em cilindros com cerca de 2 centímetros de altura. Verificou-se, então, a magnetização remanescente natural (MRN) de cada espécime, utilizando-se um magnetômetro rotativo tipo "flux gate" acoplado a um minicomputador. O equipamento é da marca Digico e tem sensibilidade da ordem de 10^{-7} Gauss para amostras de 2,5 centímetros de diâmetros e 2,5 centímetros de comprimento.

Durante as medidas de magnetização remanescente natural, verificou-se que as amostras poderiam ser distribuídas em dois grupos: O Grupo I (sítios de números 1 a 6) apresentou direção normal de magnetização e inclinação muito alta, enquanto que o Grupo II (sítios de número 7,8 e 9) apresentou direção reversa de magnetização e inclinação baixa (tabela 2).

Aceitando que as amostras são de idade terciária, conforme a análise estratigráfica e os resultados das datações radiométricas discutidos nas páginas anteriores, a diferença entre essas direções da magnetização remanescente natural implicou numa análise paleomagnética mais detalhada do que a prevista no plano inicial do trabalho. Dessa forma um número maior de espécimes pilotos para cada sítio foi submetido ao tratamento de lavagem magnética com o objetivo de se identificar possíveis magnetizações secundárias. Desamagnetizações parciais por tratamento de campo magnético alternado, até a intensidade de 1000 Oe, foram aplicadas aos pilotos e alguns dos resultados podem ser observados nas figuras 8,9 que representam um exemplo desta etapa.

Posteriormente, o restante das amostras foi lavado segundo o campo magnético alternado indicado pelos pilotos dos respectivos sítios. Neste processo foi utilizado um desmagnetizador por campo magnético alternado, Schonstedt, modelo GSD-1. O processo de lavagem dos espécimes pilotos foi acompanhado por diagramas vetoriais baseados no trabalho de Zijderveld (1967) (figura 9a, b, c) de modo a escolher o campo ótimo para a lavagem dos demais espécimes. Observa-se pela figura 10a, b, c, d, a redução do espalhamento dentro do sítio após o tratamento de lavagem magnética.

A intensidade da MRN ($0,2$ a 3×10^{-3} Gauss) foi reduzida de 40% a 60%, dependendo da intensidade do campo magnetizador aplicado às amostras.

A média das magnetizações remanescentes características de cada sítio foi determinada de acordo com a estatística de Fisher (1953) dando-se peso unitário a cada amostra. Em seguida calculadas as médias das direções da magnetização do Grupo I ($D = 54^\circ$; $I = -67^\circ$ com raio do círculo de 95% de confiança $\alpha_{95} = 5^\circ$; parâmetro de precisão $K = 180,9$; número de sítios $N = 6$) e para o Grupo II ($D = 211^\circ$; $I = 15^\circ$; com raio do círculo de 95% de confiança $\alpha_{95} = 6,5^\circ$; parâmetro de precisão $K = 366,2$; número de sítios $N = 3$).

A tabela 3 mostra os resultados das medidas paleomagnéticas. A figura 11 apresenta a magnetização remanescente natural (MRN) e a magnetização remanescente característica (MRC) para as direções médias de cada um dos grupos considerados neste trabalho.

4.3. Discussão dos Resultados

Observando-se os resultados obtidos para as amostras dos derrames terciários do Rio Grande do Norte, coletados ao Sul da cidade de Macau, verifica-se que a lavagem magnética reduziu o espalhamento das direções de magnetização dentro dos sítios (fig. 10), bem como o espalhamento entre-sítios (fig. 11).

Os sítios de localização próxima entre si, tiveram suas direções de magnetização analisadas estatisticamente através do teste F, já discutido no item Análise Estatística, para se verificar se os mesmos podiam ser considerados sítios distintos uns dos outros, ou se deveriam ser admitidos como um único sítio. Os resultados obtidos indicaram que os sítios podem ser considerados como isolados entre si.

Dos sítios estudados, seis apresentaram alta inclinação (grupo I) e três apresentaram baixa inclinação (Grupo II).

Com relação aos resultados do Grupo I, temos a dizer que inclinações paleomagnéticas altas implicam em paleolatitudes altas. Ou seja, a área de Macau estaria localizada, durante o Terciário, em regiões mais temperadas, o que não é compatível com a história geológica do continente sul americano. Os resultados obtidos para o Grupo II são mais coerentes com os dados paleoclimáticos para esse período.

As altas inclinações não foram atribuídas a ocorrência de magnetização secundária nas amostras dos sítios estudados. Observando-se os diagramas de Zijderveld (Figura 9) não há indicação de magnetização espúria presente nas amostras após o processo de desmagnetização. A lavagem mostrou a eliminação de magnetizações secundárias fracas, havendo a redução da dispersão e do espalhamento dentro dos sítios como mostra a figura 10. Além do que, os dados estão bastante consistentes, e os grupos bem definidos como mostra a figura 11.

Nota-se, pelas figuras 10a, b, c, d que a magnetização remanescente apresenta espalhamento maior nos sítios do Grupo I do que no Grupo II. Esta constatação aliada aos fatos de a intensidade média da magnetização ser diferente nos dois grupos e as direções serem opostas a possibilidade de se tratar de derames diferentes, o que é compatível com a observação feita por Kegel (1957).

O fato de havermos encontrado inclinações muito dife

rentes de magnetização remanescente característica para os dois grupos, após cuidadoso tratamento de lavagem magnética efetuado no laboratório, levou-nos a várias hipóteses das quais destacamos três:

1. A idade das amostras dos sítios do Grupo I é acentuadamente mais antiga do que a idade das amostras dos sítios do Grupo II;

2. Corpos intrusivos localizados na área estudada são responsáveis por um campo magnético que afetou a MRC das amostras;

3. Houve ocorrência de movimento tectônico na área estudada após a formação das rochas dos derrames basálticos de Macau.

I- Considerações a respeito das idades das amostras dos sítios do Grupo I e do Grupo II.

A determinação da idade da formação Macau foi feita por Tomás Filho (1975; in Sial, 1976) que utilizando método radiométrico obteve para essas rochas a idade de 42 ± 3 m.a. Este resultado concorda com os dados geológicos estratigráficos apresentados nos trabalhos de Kegel (1957), Falkenhein et al (1977) e Araujo et al (1978) tendo estes autores definido a ocorrência basáltica do Sul de Macau como sendo do Terciário Médio. Mesmo levando-se em consideração a hipótese de Kegel (1957) de que a formação Macau é constituída de vários derrames é improvável que se possa atribuir a esses derrames idades muito distintas como exigiria a diferença acentuada entre as direções dos sítios dos dois grupos.

Neste contexto só se justificaria tal diferença, se o Grupo I apresentasse idade bastante antiga, no mínimo da era Paleozóica, o que é muito improvável. Portanto fica praticamente descartada a tentativa de se justificar esta diferença de inclinação das direções paleomagnéticas através de uma grande dife

rença de idades entre os sítios da formação Macau.

II- Considerações a respeito de corpos intrusivos localizados na área.

Não há indicações, na literatura da geologia da área, de ocorrência de corpos intrusivos de dimensões tais que sejam capazes de produzir um campo magnético cuja intensidade seja suficientemente forte para imprimir, nas rochas dos diversos sítios, a direção de magnetização observada para o Grupo I. Admitindo-se, no entanto, a presença de tais corpos é difícil justificar porque o mesmo não afetou as rochas do Grupo II.

III- Considerações sobre a ocorrência de movimento tectônico na área estudada.

A suposição de ocorrência de um deslocamento, que provocou uma inclinação dos sítios do Grupo I em relação aos do Grupo II deve-se ao bom resultado paleomagnético apresentado pelos dois grupos em termos de redução do espalhamento das direções após a lavagem magnética. Os resultados são muito consistentes, inclusive de sítio para sítio (figura 11), descartando a hipótese de erros de orientação por ocasião da coleta das amostras uma vez que a metodologia usada (parágrafo 4.2) só favorece a ocorrência de erros aleatórios. A coerência dos resultados (tabela 3, figura 11) aponta para uma causa comum que influenciou nos sítios do mesmo modo, fazendo com que seis deles apresentassem resultado diferente dos três restantes.

Uma possível explicação seria atribuir as altas inclinações verificadas nos sítios do Grupo I, a movimentos tectônicos ocorridos nas áreas destes sítios, de forma tal que tenham sido basculados conjuntamente em relação aos sítios do Grupo II.

O trabalho de Gomes e Motta (1982) mostra que a bacia Portuguesa corresponde a uma zona de intensos falhamentos e nos mapas de anomalias gravimétricas por eles apresentados se observam dois falhamentos existentes na área da formação estudada. Registramos ainda que geofísicos e geólogos da Petrobrás, que efe

tuaram estudos na Bacia Potiguar confirmaram, através de comuni
cação verbal, que esta área foi afetada por movimentos tectôni
cos ocorridos na região, que originaram muitos falhamentos e es
truturas do tipo graben.

Entretanto, tanto no trabalho de Gomes e Motta (1982) quanto nas informações recebidas por comunicação oral, não há indicações a respeito das fraturas. Dentro destas considerações' podem ser destacadas duas situações. **Primeira:** o movimento tectô nico ocorreu após o posicionamento dos derrames estudados. **Segun da:** o basculamento ocorreu após o posicionamento do derrame mais antigo e antes do mais novo. A hipótese de movimentos tectônicos anteriores à ocorrência dos derrames não pode ser usada para ex
plicar a diferença entre as direções de magnetização.

No caso de estar correta a hipótese de ter havido movi mentos tectônicos posteriores à formação dos derrames, a diferen ça entre as direções médias de magnetização do Grupo I e o Grupo II serviria para determinar quantitativamente o movimento tectô nico relativo ocorrido entre os dois blocos. Admitido que todas as amostras são de mesma idade, calculamos que a região onde estão situados os sítios de 1 a 6 sofreu, em relação à área dos sítios 7, 8 e 9, uma rotação no plano horizontal de cerca de 31° para este e no plano vertical de cerca de 82° . Este resultado foi ob tido ao se fazer coincidir as direções médias de magnetização ' dos dois grupos (figura 12).

Entretanto o fato havermos encontrado direções de mag netização praticamente com 180° de oposição (figura 11) pode in diciar que esses derrames de Macau cobrem um período mais longo do tempo, o suficiente para abranger uma mudança de polaridade. Assim, o Grupo I seria associado a direções verdadeiramente nor mais de magnetização enquanto que o Grupo II, a direções rever sas de magnetização. Neste caso o movimento relativo do Grupo I com relação ao Grupo II seria de 31° , aproximadamente no sentido horário no plano horizontal e de 52° aproximadamente no plano vertical (figura 13).

Pela segunda hipótese teríamos que, após o posiciona

mento das rochas do Grupo I, ocorreu, na área, um basculamento tal que tornou acentuadamente inclinada a direção de magnetização, explicando-se, dessa forma, as altas inclinações dos sítios' do Grupo I. No período seguinte de quiescência tectônica foram posicionadas as rochas do Grupo II. Admitindo-se o indicativo de direções reversas como correto, o movimento do Grupo I em relação ao Grupo II seria quantificado em 31° no plano horizontal e 52° no plano vertical da mesma forma como calculado acima.

Resumindo, temos que a possibilidade de associarmos os resultados paleomagnéticos a movimentos tectônicos ocorridos na área estudada das evidências de atividades tectônicas descritas em trabalhos geológicos já citados anteriormente. Entretanto a confirmação da hipótese de deslocamento ocorrido entre os sítios está dependente da seguinte-gestão básica: a falta de estudos mais detalhados sobre a geologia estrutural da área que possam determinar a época de ocorrência desses movimentos em relação ao posicionamento dos derrames de Macau.

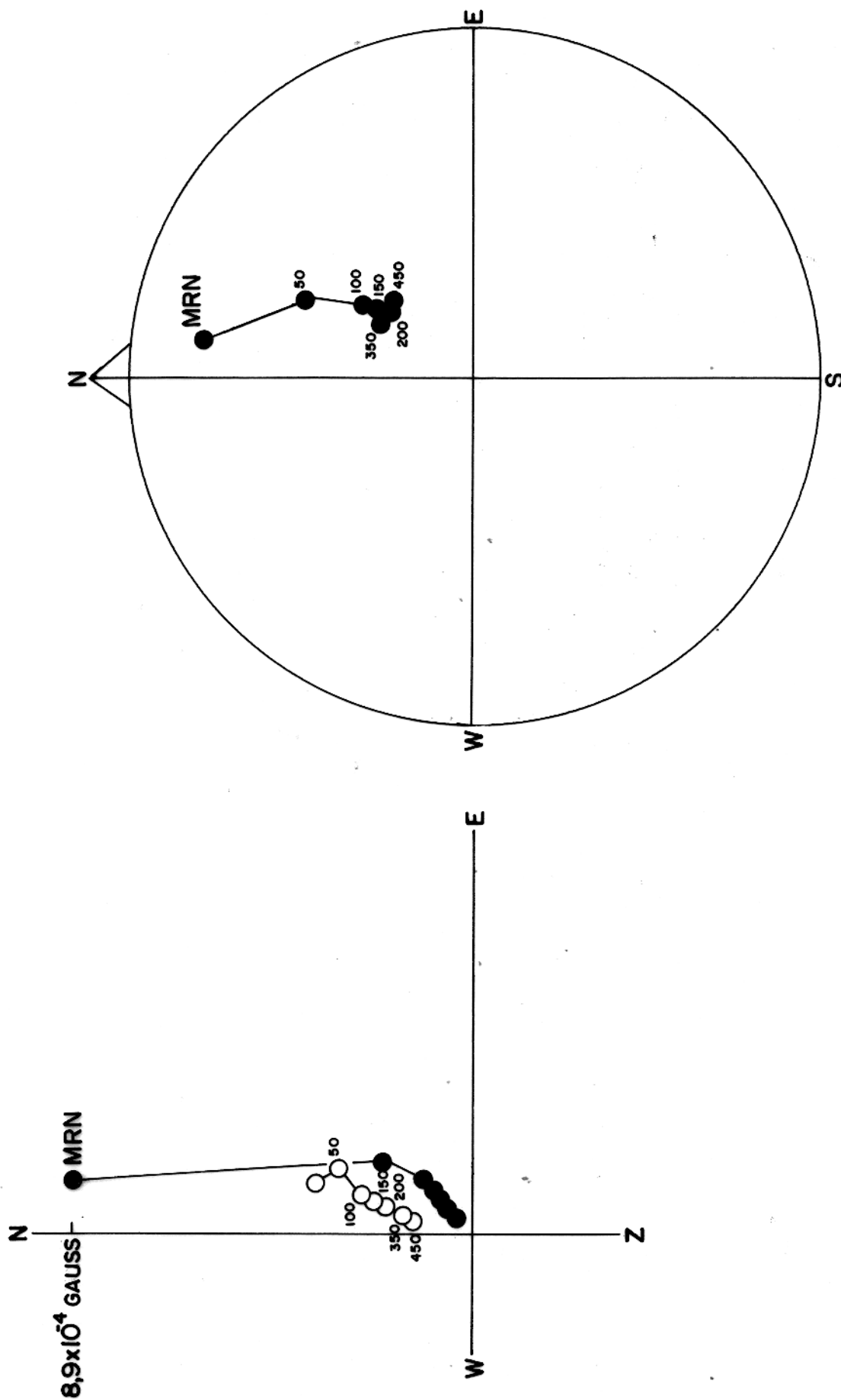


Fig. 8 - Exemplo da desmagnetização efetuada na amostra piloto 1/9/1. À esquerda a variação da magnetização remanescente durante a desmagnetização progressiva por campo magnético alterado e apresentada num diagrama de Zijderveld. Símbolos escuros e claros indicam, respectivamente, componentes no plano horizontal e vertical (EW). À direita a mesma desmagnetização é mostrada em uma rede estereográfica de Wulff, (a inclinação é negativa).

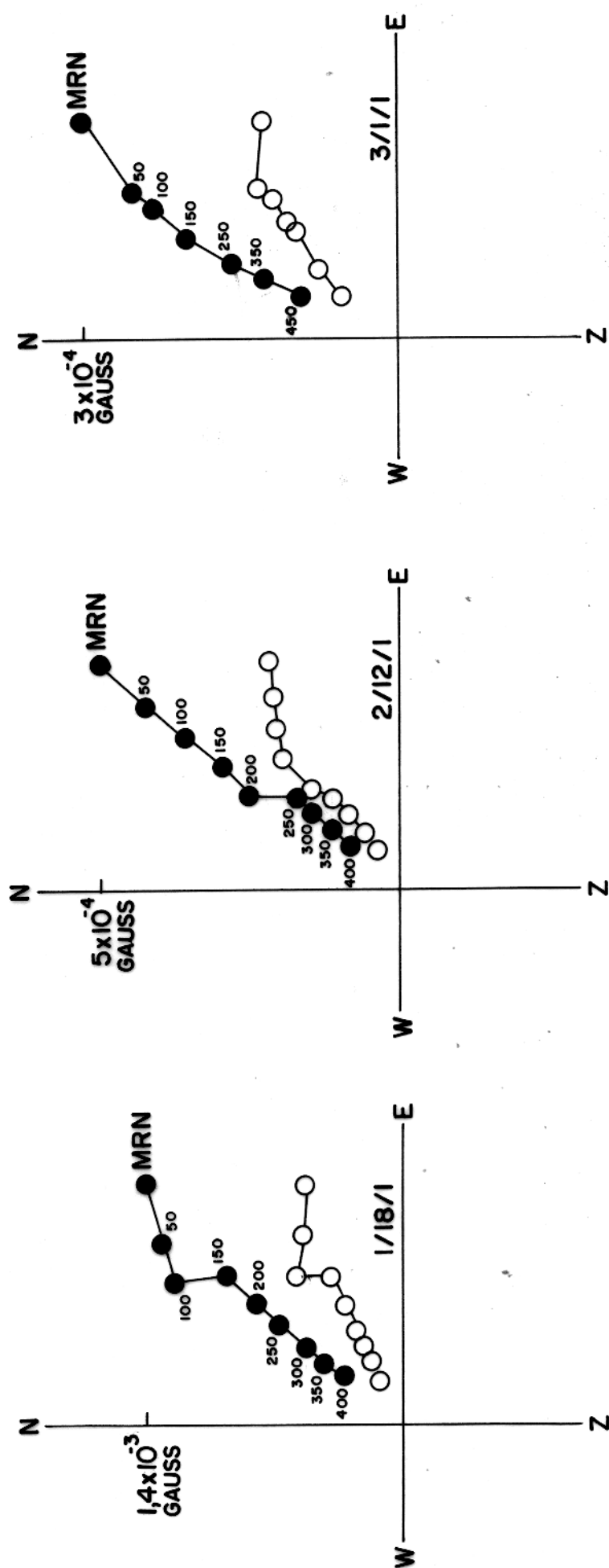


Fig. 9a - Diagramas de Zijderveld que apresentam desmagnetizações progressivas por campo magnético alterado. Símbolos escuros e claros indicam, respectivamente, componentes no plano vertical e horizontal (EW) para a Formação Macau (grupo I).

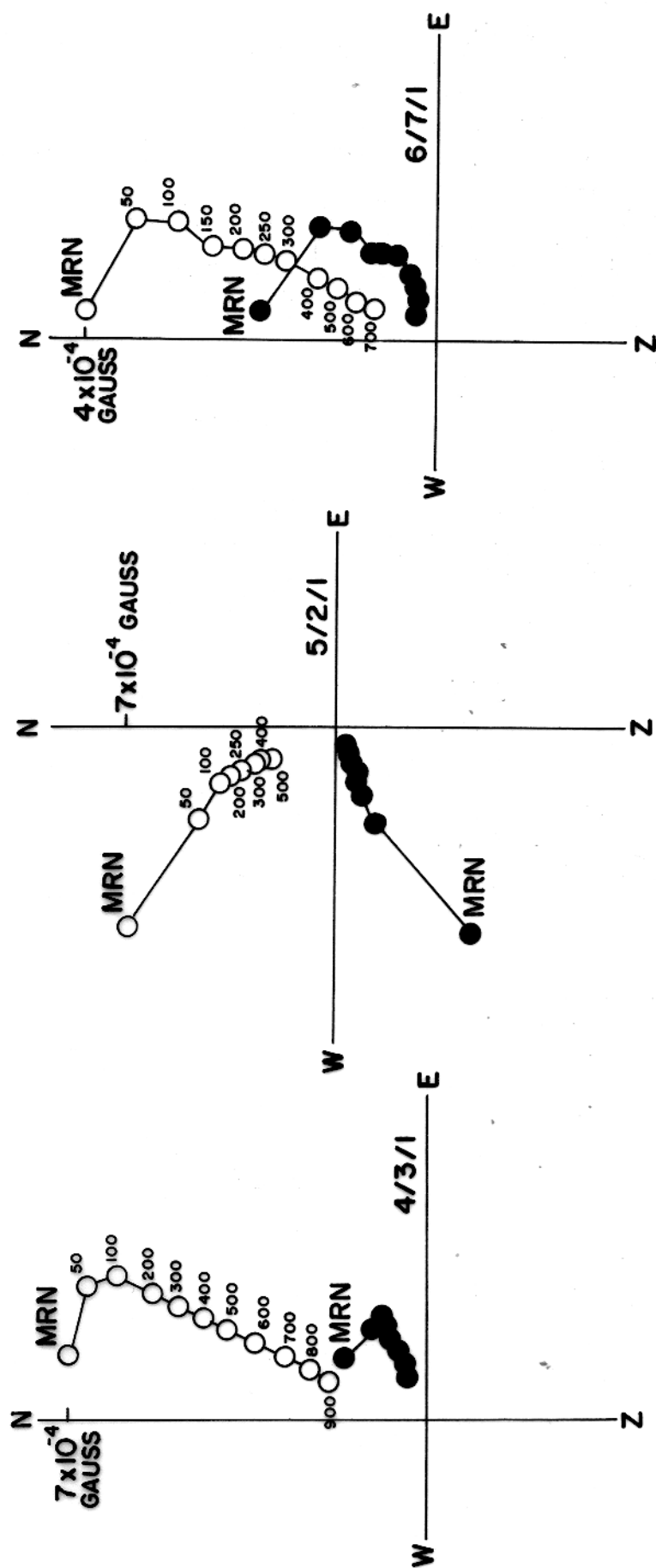


Fig. 9b - Diagramas de Zijderveld que apresentam desmagnetizações progressivas por campo magnético alterado. Símbolos escuros e claros indicam, respectivamente, componente no plano horizontal e vertical, para a Formação Macau (grupo I).

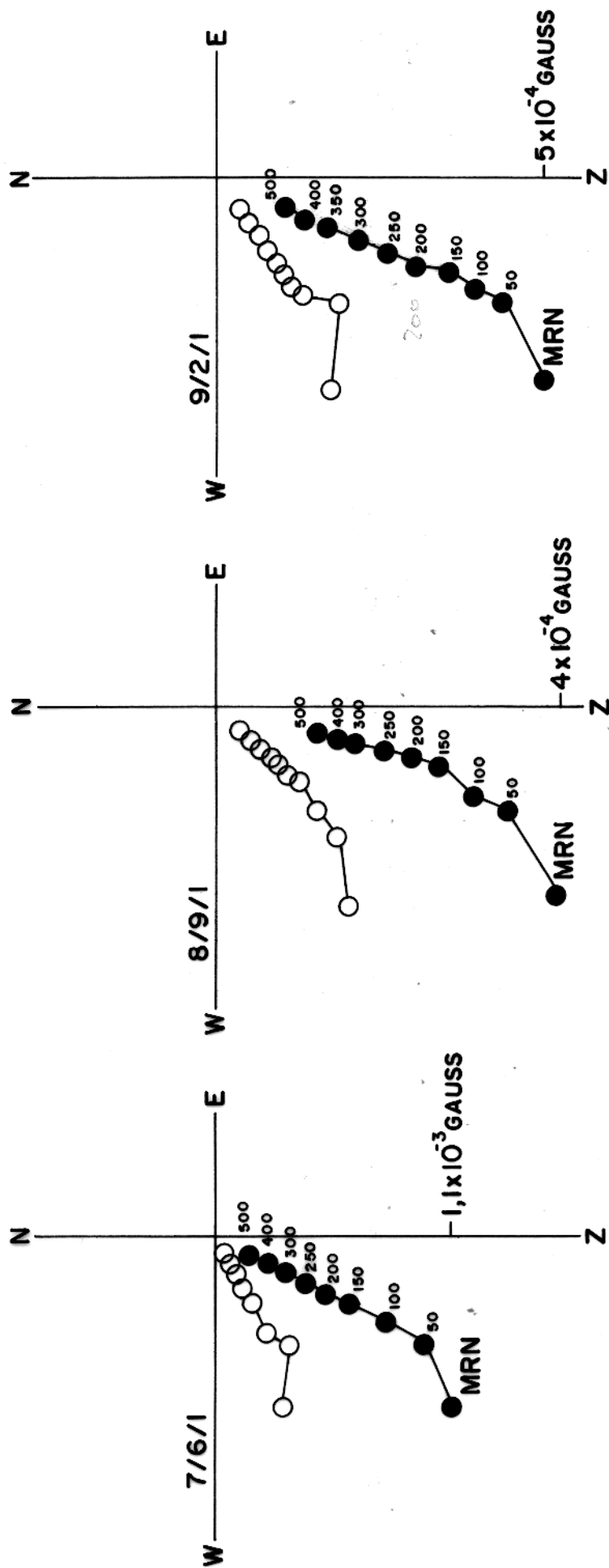


Fig. 9c - Diagramas de Zjideveld que apresentam desmagnetizações progressivas por campo magnético alterado. Símbolos escuros e claros indicam, respectivamente, componentes no plano horizontal e vertical para a formação Macau (grupo II).

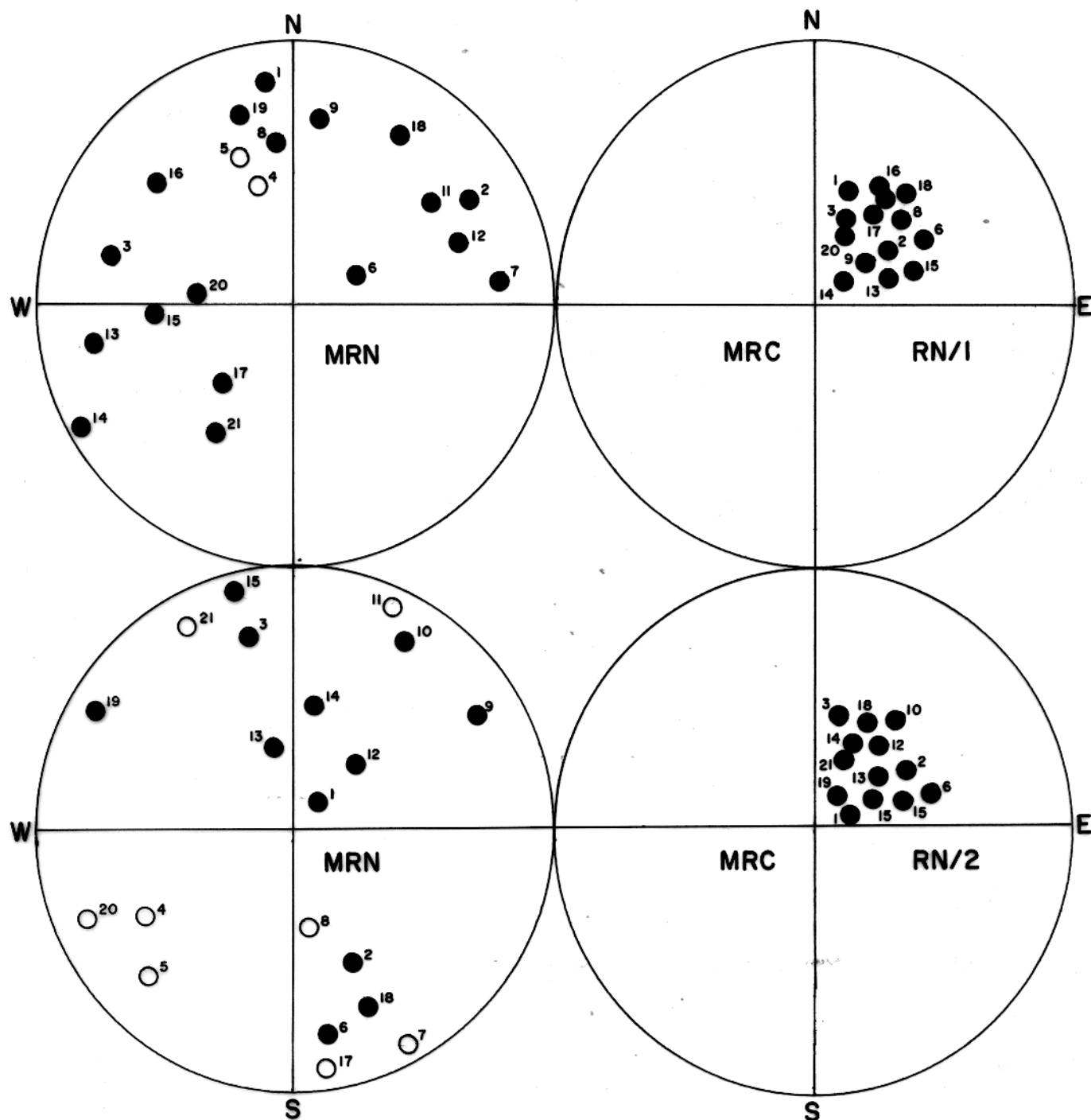


Fig. 10a - Exemplo de desmagnetização efetuada nos sítios 1 e 2 (grupo II), onde observamos a redução do espalhamento nos sítios através da rede estereográfica de Wulff. Símbolos escuros e claros indicam respectivamente, inclinação negativa e positiva.

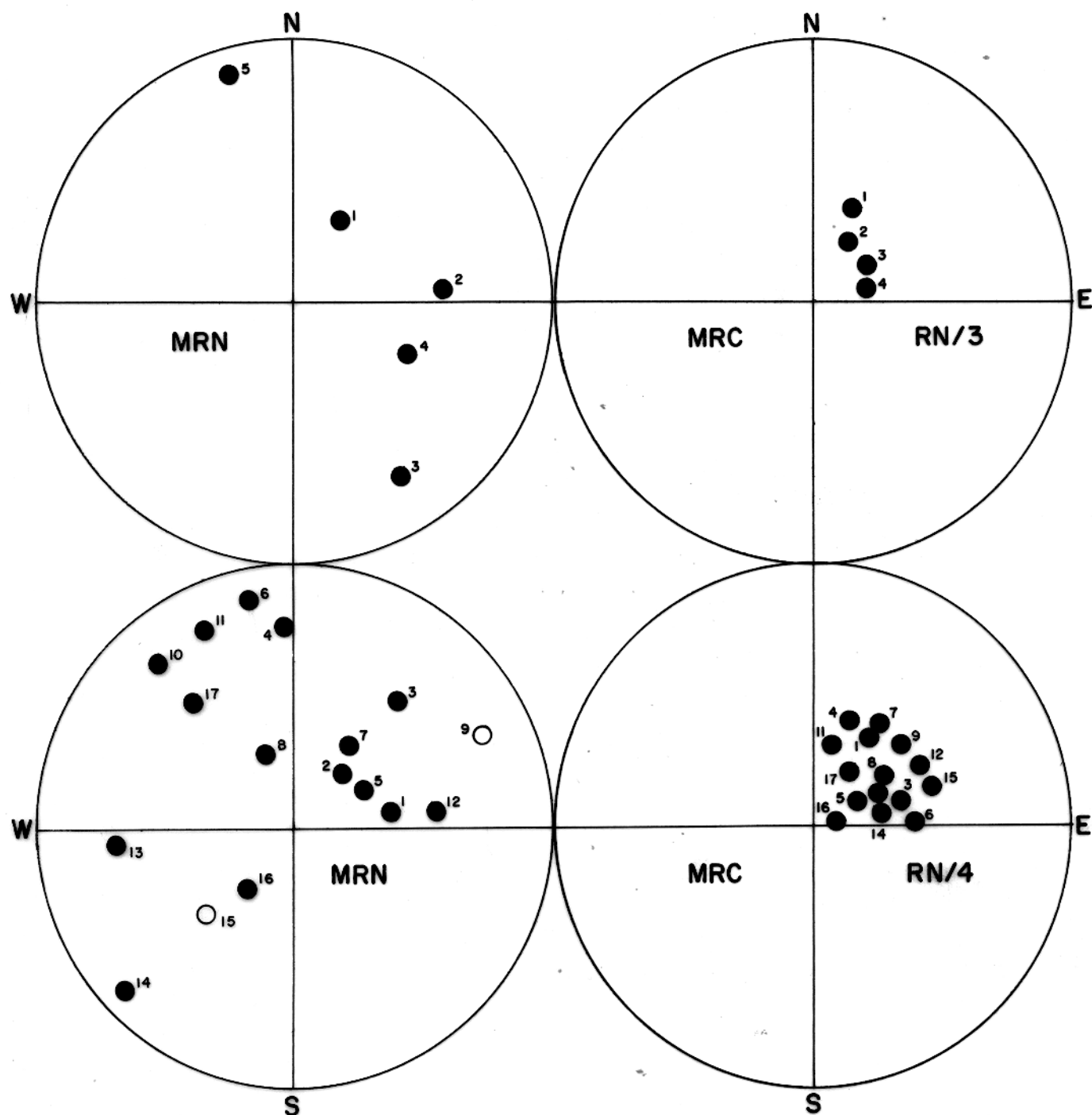


Fig. 10b- Exemplo da desmagnetização efetuada nos sítios 3 e 4 (grupo I) onde observamos a redução do espalhamento nos sítios através da rede estereográfica de Wulff. Símbolos escuros e claros indicam respectivamente, inclinação negativa e positiva.

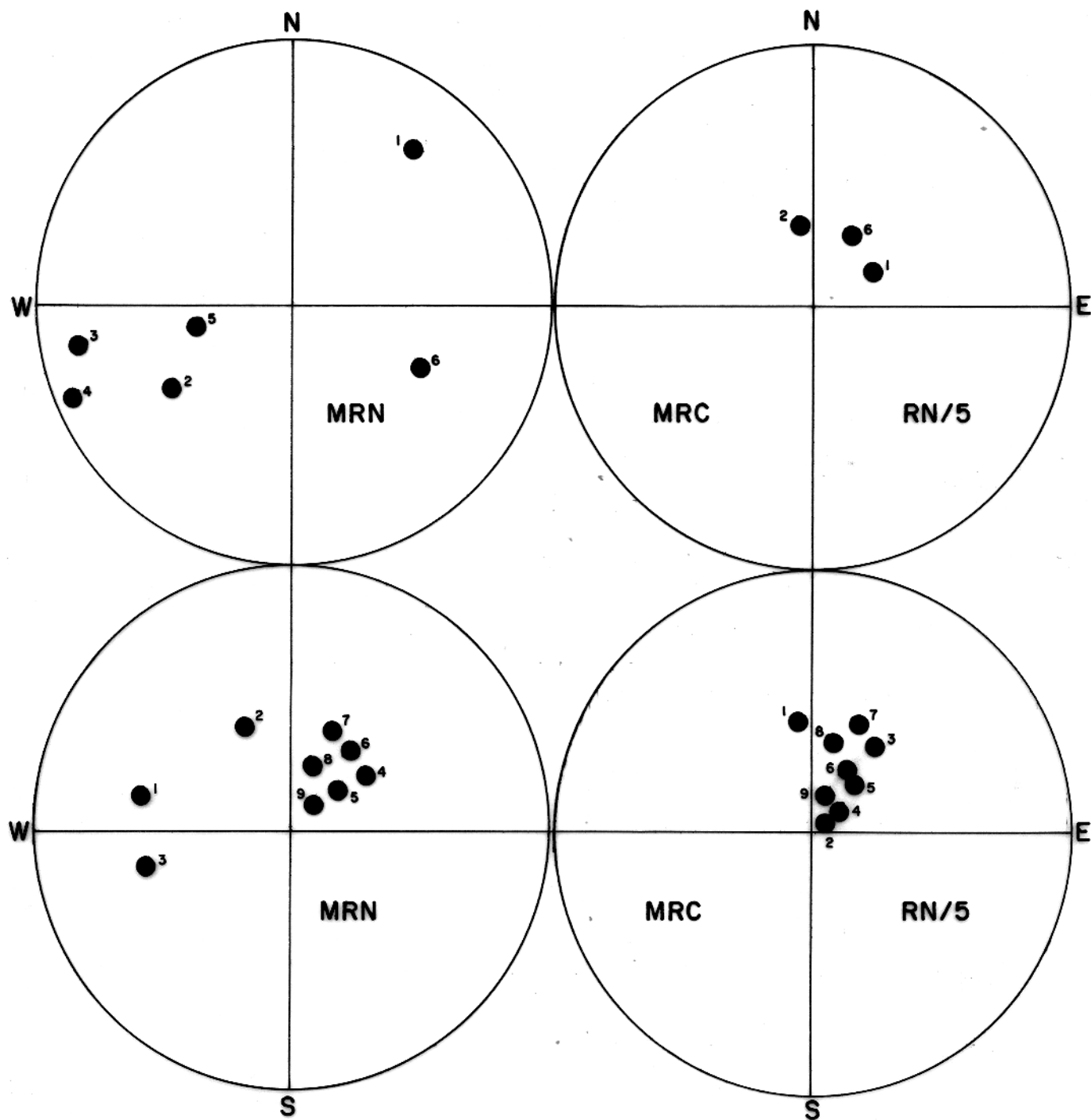


Fig. 10c - Exemplo da desmagnetização efetuada nos sítios 5 e 6 (grupo I), onde observamos a redução do espalhamento nos sítios através da rede estereográfica de Wulff. Símbolos escuros indicam inclinações negativas.

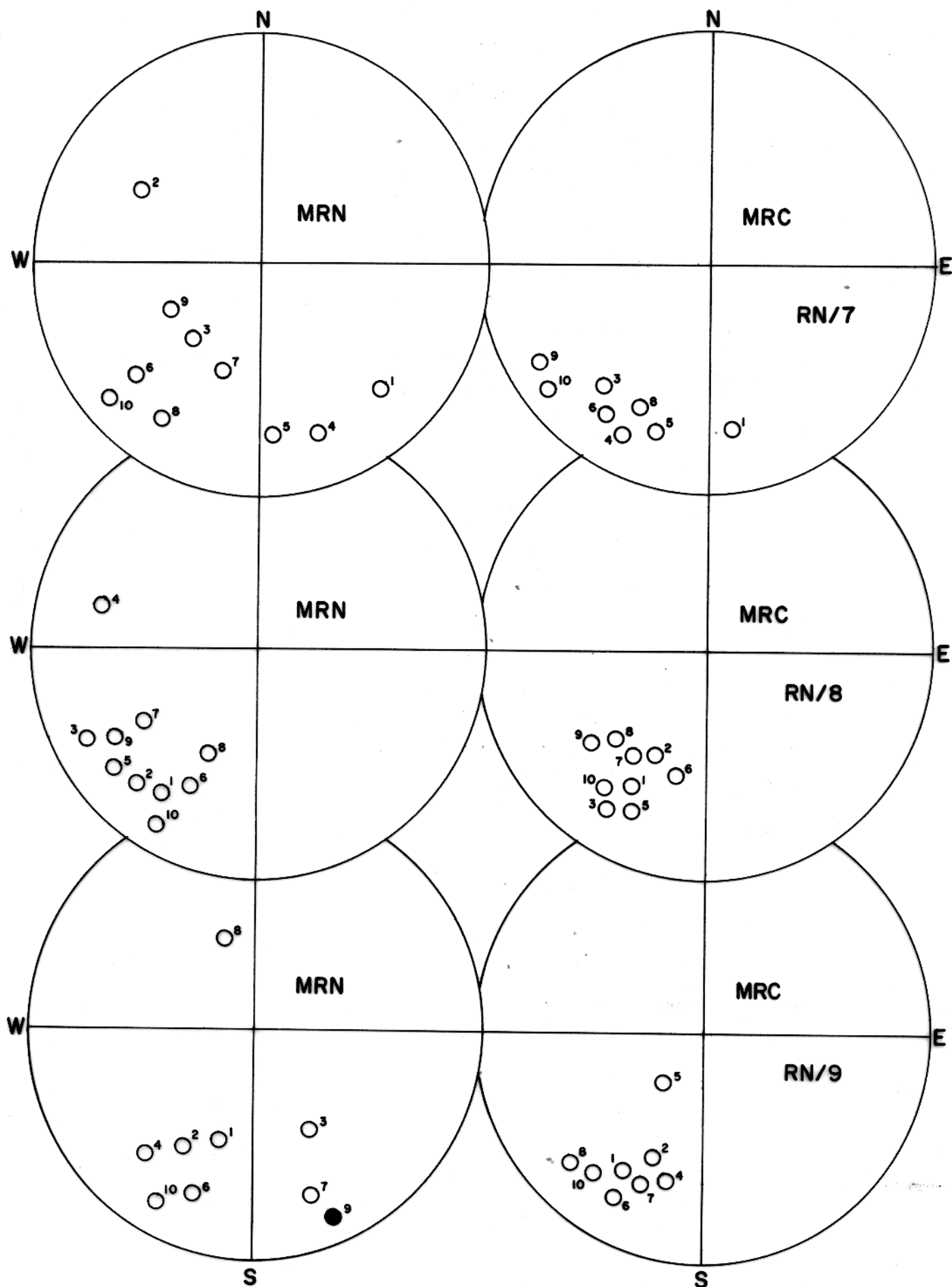
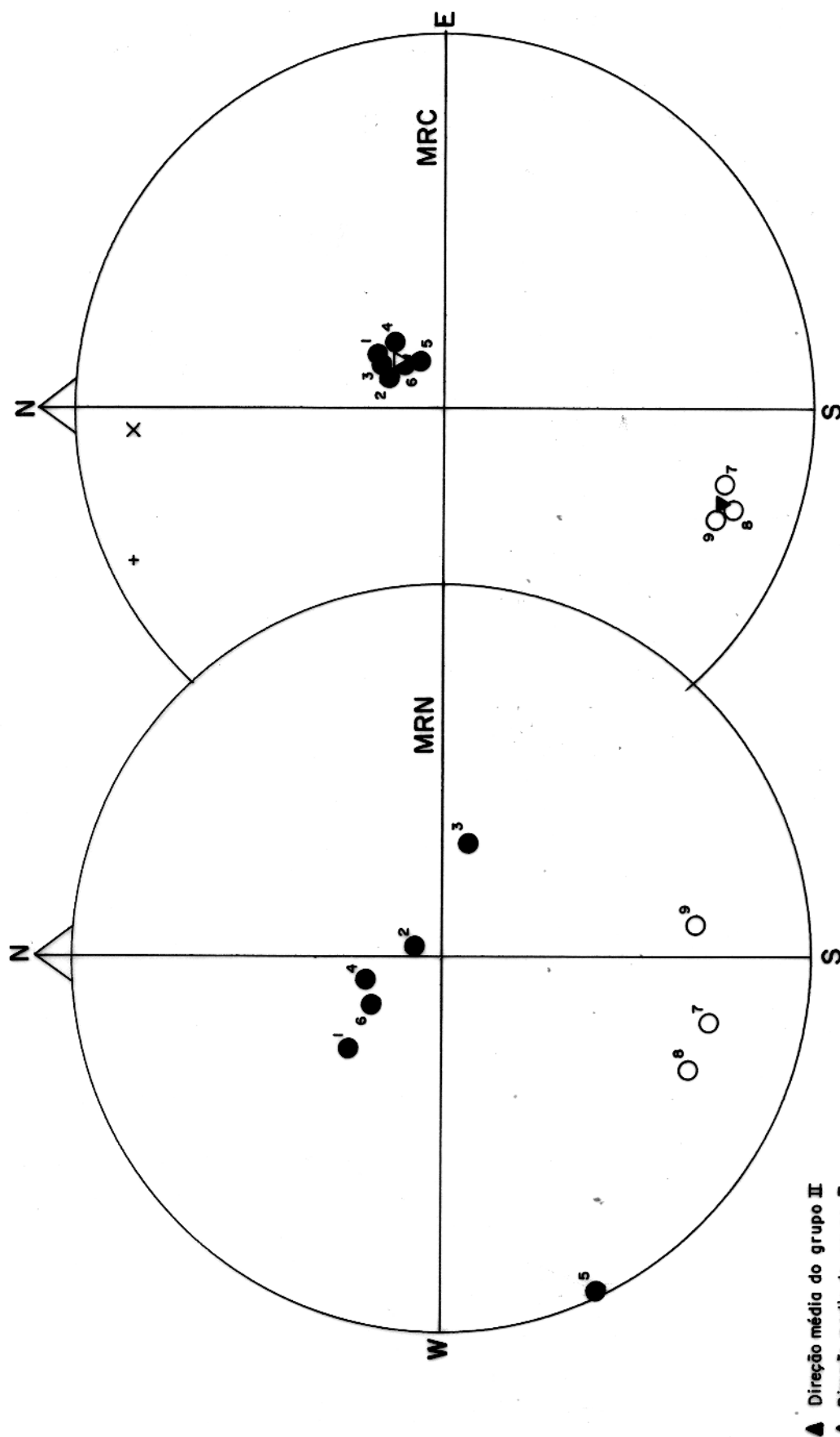


Fig. 10d - Exemplo da desmagnetização efetuada nos sítios 7, 8, 9 (grupo II), onde observamos a redução do espalhamento no sítio através da rede estereográfica de Wulff. Símbolos escuros e claros indicam respectivamente, inclinações negativas e positivas.



- ▲ Direção média do grupo II
- △ Direção média do grupo I
- + Campo magnético atual
- x Campo dipolar atual

Fig. 11 - Direções médias da Formação Macau. Símbolos claros e escuros indicam, respectivamente, inclinação positiva e negativa. A figura ainda apresenta as direções do campo magnético e dipolar atual, com inclinação positiva.

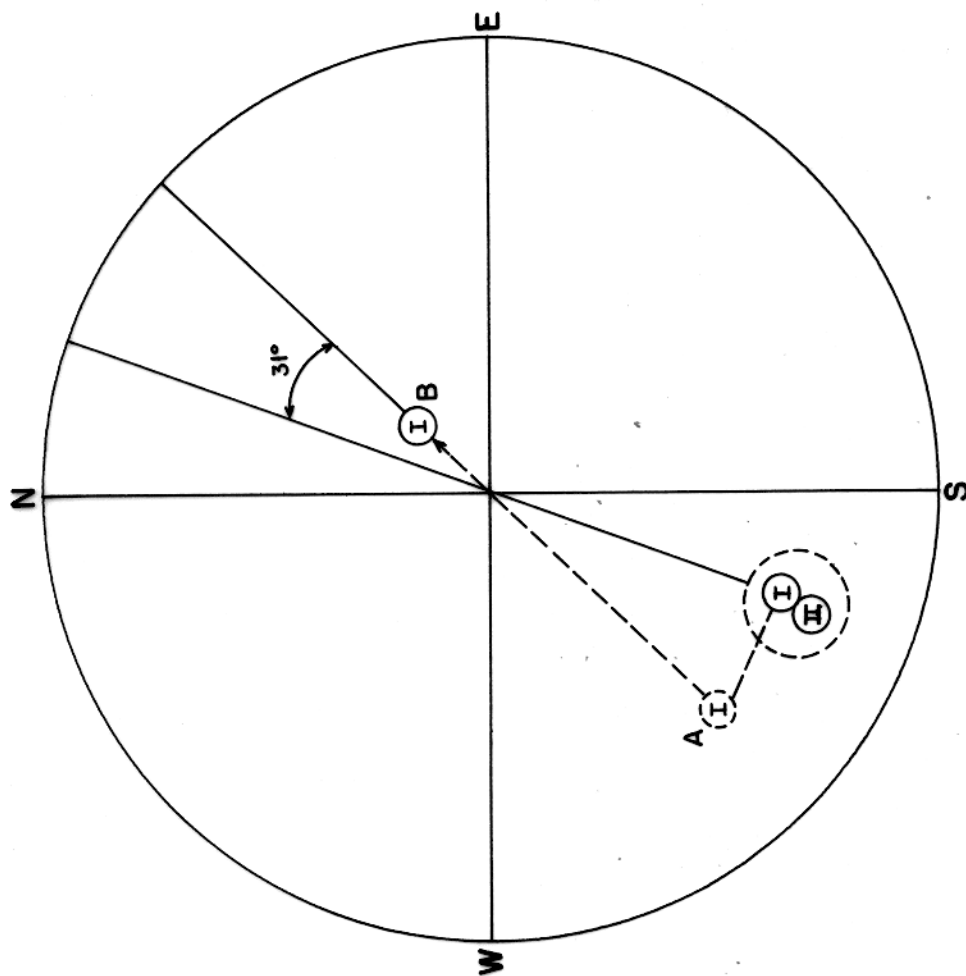


Fig. 12 - Primeira hipótese que explica o deslocamento do grupo I em relação ao grupo II. Inicialmente os dois grupos apresentavam magnetização reversa. Após a atividade tectônica os sítios do grupo I sofreram uma rotação de 31° (posição A) e deslocamento vertical de 82° , ficando atualmente na posição B.

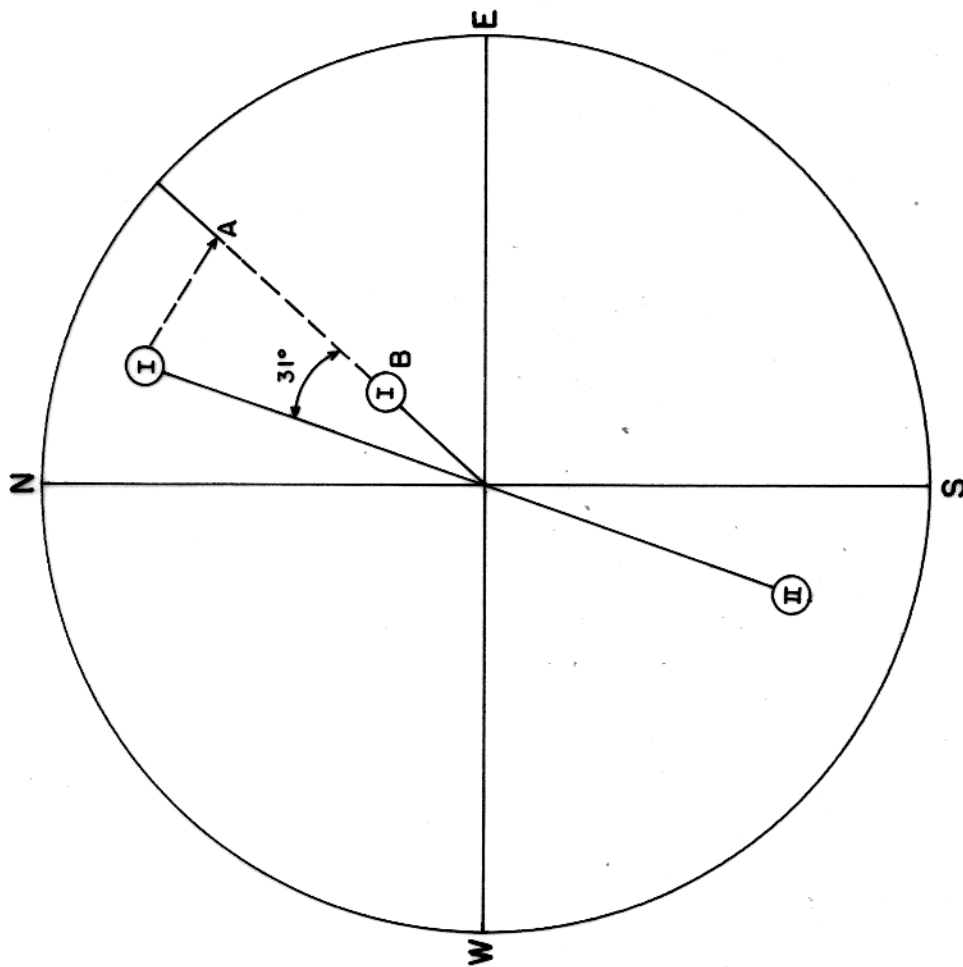


Fig. 13 - Segunda hipótese que explica o deslocamento do grupo I em relação ao grupo II. Inicialmente os grupos se apresentavam com direção de magnetização normal (grupo II) e reversa (grupo I). Após a atividade tectônica, o grupo II, sofreu uma rotação de 31° (posição A) e deslocamento vertical de 52° , ficando na posição B.

TABELA 3- Resultado paleomagnético dos derrames basálticos da Formação Macau
no Rio Grande do Norte.

S M R N			M R C				P G V						
N	D(°)	I(°)	$\alpha_{95}(^{\circ})$	K	CAMPO DE LAVAGEM	N	D(°)	I(°)	$\alpha_{95}(^{\circ})$	K	θ_N	θ_E	
GRUPO I													
1	20	323	-47	40,3	1,6	150 0e	14	49	-63	5,2	60,4	32	104
2	19	26	-81	64,0	1,3	250 0e	13	47	-65	6,6	40,3	32	107
3	5	98	-51	71,6	2,1	250 0e	4	63	-64	14,5	41,3	22	101
4	17	1	-63	35,2	2,0	200 0e	15	56	-68	4,1	90,3	25	108
5	6	256	-1	32,2	4,4	200 0e	3	75	-73	23,0	29,7	12	112
6	9	336	-61	25,4	5,1	400 0e	9	38	-69	6,5	64,0	33	117
DIREÇÃO MÉDIA DE MAGNETIZAÇÃO PARA O GRUPO I													
							6	54	-67	5,0	180,9	26	108
GRUPO II													
Ag5=8 K=71,1													
7	10	205	19	25,0	4,7	150 0e	8	207	17	6,8	67,1	63	62
8	10	216	18	18,2	8,0	200 0e	10	214	13	6,8	52,1	56	57
9	10	184	24	41,5	3,1	200 0e	8	211	15	6,4	75,9	59	60
DIREÇÃO MÉDIA DE MAGNETIZAÇÃO PARA O GRUPO II													
							3	211	15	6,5	366,2	59	59

Ag5=5,7 K=469,8

S= sítios, N=número de amostras, D=declinação, I=inclinação, α_{95} =círculo de 95% de confiança, K= parâmetro de precisão.
Ag5=5,7 K=469,8

5. CONCLUSÕES

O trabalho que apresentamos foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira foram efetuados estudos paleomagnéticos no Arquipélago de Fernando de Noronha em rochas vulcânicas do Terciário Superior. Foram 100 amostras de um total de 15 sítios.

O objetivo foi determinar um polo paleomagnético e o resultado obtido, (latitude= 81° N, longitude= 232° E, com $A_{95}=5^{\circ}$ e $K=83$) concorda com outros dados encontrados na literatura para rochas desta área.

O tratamento de desmagnetização efetuado nas amostras mostrou que após a lavagem magnética restou apenas uma componente de magnetização.

As direções normais e reservas, em posições aproximadamente antiparalelas, atestam a eficácia do tratamento de lavagem magnética dessas amostras reforçam o conceito de estabilidade da magnetização encontrada (Irving, 1964 e McElhinny, 1973).

A idade das amostras coletadas abrange um tempo suficientemente longo, pois encontramos direções de magnetização normais e reversas para esta formação. Dessa forma a variação secular está, provavelmente, eliminada e o polo médio paleomagnético para as rochas do Arquipélago de Fernando de Noronha é verdadeiramente um polo paleomagnético.

Na segunda parte do trabalho foram efetuados estudos paleomagnéticos nos derrames basálticos, do período Terciário, na região de Macau, estado do Rio Grande do Norte, onde foram coletadas 106 amostras de 9 sítios desses derrames.

Nos resultados obtivemos que amostras de mesma idade apresentaram duas direções de magnetização estáveis e bastante distintas determinado dois grupos bem definidos. Assim seis dos sítios estudados, que denominamos de Grupo I, apresentaram direção de magnetização normal e com alta inclinação enquanto que os outros três sítios (Grupo II) apresentaram direção reversa e baixa inclinação.

Como os resultados apresentaram essa discrepância entre as direções dos dois sítios, levantou-se a hipótese de um possível movimento tectônico relativo entre o bloco que abrange os sítios do Grupo I de mesma direção paleomagnética e o outro que compreende os sítios do Grupo II. Nesse caso a diferença entre as direções paleomagnéticas médias dos dois grupos corresponderia ao valor do deslocamento tectônico relativo que sofreram as regiões dos respectivos grupos.

Duas hipóteses podem ser feitas quanto ao possível deslocamento sofrido pelo Grupo I em relação ao Grupo II. A primeira hipótese é que, no período de formação das rochas que compõem o derrame, estas obtiveram a mesma direção de magnetização reversa. Devido a atividade tectônica, os sítios do Grupo I rotacionaram-se, em relação ao Grupo II, no sentido horário de 31° e concomitantemente sofreram deslocamento vertical com 82° de inclinação.

A segunda hipótese é que o processo de formação das rochas do derrame basáltico da formação Macau levou um tempo mais longo, de forma tal que os sítios pertencentes ao Grupo I adquiriram direção de magnetização normal e os sítios do Grupo II adquiriram direção de magnetização reversa. Com a atividade tectônica ocorrida no local, os sítios pertencentes ao Grupo I sofreram rotação horizontal em relação ao Grupo II de 31° no sentido horário e o deslocamento vertical de 52° .

Da mesma forma anunciou-se a hipótese de as idades das amostras serem suficientemente distintas, de modo a permitir que, após o posicionamento das rochas do Grupo I, tenha ocorrido um basculamento tal que seja o responsável por estas rochas apresentarem alta inclinação. As amostras do Grupo II foram posicionadas no período de estabilidade que se seguiu. O fato de haver um indicativo de polaridades reversas torna razoável se pensar que as idades dos dois grupos não são idênticos. Os dados não estão suficientemente bem definidos de modo a permitir um modelo mais definitivo que explique as discordâncias paleomagnéticas. É necessário portanto que estudos geológicos mais detalhados, sob o aspecto estrutural, sejam efetuados na área para que a hipóte

se de um provável deslocamento ocorrido, entre os sítios da for
mação Macau, possam ser confirmados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.-1958- Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. Rio de Janeiro, Div. Geol. Min. do DNPM. Monografia XIII.
- ARAUJO, M.B.de; GOMES, J.B.; SOUZA, S.M.de-1978- Bacia Potiguar- Aspectos gerais e perspectivas petrolíferas. Rio de Janeiro, Offshore Brasil-Petrobrás. 11p.
- BAAG, C.; HELSEY, C.E.-1974- Geomagnetic secular variation model E. Jour. Geophys. Res. 79:4918-4922.
- BROCK, A.-1971- An experimental study of palaeosecular variation. Geophys. J. R. astron. Soc. 24:303-317.
- CORDANI, V.G.-1970- Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul. Boletim IGA. 1:33-39.
- COX, A.-1962- Analysis of present geomagnetic field for comparison with paleomagnetic results. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity. 13:101-112.
- COX, A.-1969- Confidence limits for the precision parameter K.J. Geophys. Res. 17: 545-549.
- COX, A.-1970- Latitude dependence of the angular dispersion of the geomagnetic field. In: Brock, A. - An experimental study of palaeosecular variation. Geophys. J. R. astron. Soc. 24:303-317.
- CREER, K.M. -1962- An analysis of the geomagnetic field using palaeomagnetic methods. Journal of geomagnetism and Geoelectricity. 13: 113-119.
- CREER, K.M. -1970- A palaeomagnetism survey of South American rocks formations. Phil. Trans. R. Soc. 267:457-558.
- CREER, K.M.; IRVING, E.; and NAIRN, A.E.M. -1959- Palaeomagnetism of the great whin sill. In: Brock, A. - An experimental study

of palaeosecular variation. Geophys. J. R. astron Soc. 24:303-317.

CREER, K. M.; VALENCIO, D. A. - 1969 - Palaeomagnetic and rock magnetic studies on the Cenozoic basalts from Western Argentina Geophys. J. R. astron. Soc. 19:113-146.

EBERT, H.; BROCHINI, M. F. - 1968 - Estudo estratigráfico e geocronológico no escudo cristalino brasileiro. Ciência e Cultura 20:624-625.

FALKENHEIN, F.U.H.; ARAUJO, M.B.de; SOUZA, S.M.de; GOMES, J. B. SOUZA, M.M. de; -1977- Relatório Geológico de Progresso da bacia Potiguar. Rio de Janeiro, Petrobrás. p.12.

FISHER, R.A. - 1953 - Dispersion on a sphere. Proc. R. Soc. A. 217:295-305.

GOMES, R.A.A.D.; MOTTA, A.C. - 1982 - Compartimentação tectônica da Bacia Potiguar interpretada a partir de mapa Bouguer. In: Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. 4: 1644-1651.

IRVING, E. - 1963 - Paleomagnetism and its applications to geological and geophysical problems. New York, John Wiley and Sons, 300p.

IRVING, E; WARD, M.A. - 1964 - A statistical model of the geomagnetic field. In: Brock, A. - 1971 - an experimental study of palaeosecular variation. Geophys. J. R. astron. Soc. 24:303-317.

KEGEL, W. - 1957 - Contribuição ao estudo da bacia costeira do Rio Grande do Norte. Boletim do DNPM, Rio de Janeiro Divisão de Geologia e Mineralogia. 170, 52p.

KLEMME, H.D. - 1971 - The Giant and Supergiant - part 2 - to find a Giant find the Right Basin - Oil Gas Journal. 8:103-110.

- MAZOIRES, J.; ALBUQUERQUE, E.M.; ROCHE, A.; SAUCIER, H. - 1971 - Etude peléomagnétique de laves de l'île Fernando de Noronha. C. R. Acad. Sc. Paris. 273:551-554.
- McELHINNY, M.W. - 1973 - Paleomagnetism and plate tectonics. Grã Bretanha, Cambridge University Press. 358p.
- NÉEL, L. - 1955 - Some theoretical aspects of rocks magnetism. Phil. Mag. Supp. Adv. Phys. 4:191-243.
- PACCA, I.G.; VALENCIO, D.A.-1972- Paleomagnetism aspects of rocks. Nature phys. Sci. 320:163-240.
- PETERSEN, N. - 1978 - Notes on the variations of magnetization within basalt lava flow and dikes. Pure and applied Geophysics. 144:177-194.
- RICHARDSON, A.; WATKINS, N.D.-1967-Palaeomagnetism of Atlantic Island: Fernando de Noronha. Nature phys. Sci. 215:1470-1473.
- SIAL, A. - 1976 - The Rio Grande do Norte alkali-olivine basalt association, northeast Brazil. Revista Brasileira de Geociências. 6: 1-14.
- SKERLEC, G.M.; HARGRAVES, R.B.-1980-Tectonic Significance of paleomagnetic data from Northern Venezuela - Jour. Geophys. Res. 85: 5303-5315.
- TARLING, D.H. - 1971 - Principles and applications of paleomagnetism. London, Chapman and Hall. 165p.
- THELLIER, E.-1966- Method and apparatus for alternating current and thermal desmagnetization. In: Runcorn, S.K. Ed. Method in paleomagnetism. London, Interscience. 2:205-247.
- THELLIER, E.; RIMBERT, F.;-1954- Sur l'analyse d'aimantations fossiles para action de camps magnétiques alternatifs. C. R. Acad. Sc. Paris. 239: 1399-1401.
- THELLIER, E.; RIMBERT, F. - 1955 - Sur l'utilisation en

paleomagnetisme de la désaimantation par camps alternatif. C. R.
Acad. Sc. Paris. 240: 1404-1406

ZJIDERVELD, J.D.A. -1967- A.C. desmagnetization of rocks; analysis
of results. In: Colinson, D.W; Creer, K.M; Runcorn, S.K. Ed. Me-
thods in paleomagnetism. Amsterdam, Elsevier. p. 254-286.