

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente à minha família por todo o amor, dedicação e incentivo ao longo de todos os anos da minha vida.

A Bárbara Viera Neto pelo amor, carinho, paciência e companheirismo nesses mais de cinco anos de namoro.

Ao orientador deste projeto Profº Dr. Claudio Riccomini pelas discussões, ideias e ensinamentos durante a realização deste trabalho de formatura. A todos os professores que passaram pela minha vida escolar desde o primário até a faculdade. Vocês despertaram minha curiosidade e fascínio pelo conhecimento.

A todo o pessoal do LCT – Laboratório de Caracterização Tecnológica (POLI/USP) por mais de três anos de aprendizado e amizade. Em especial à Carina, Juliana, Liz, Sheila, Daniel, Gustav, Nery, Profº Dr. Henrique Khan e Manuela.

Ao meu amigo e irmão Pedro Lui por todos os anos de amizade e por ter apresentado minha segunda família (Vildete e Carol).

Aos ilustres moradores da melhor república da USP: Fernando Caramelo, Vitor Gago Miolaro e Sergio Caetano Filho.

Aos “flatulentos” por todos estes anos de futebol arte. Ao pessoal do xadrez, Stefano, Clóvis e Marcos, e ao pessoal do basquete.

E não poderia deixar de agradecer aos amigos que fizeram desses cinco anos de graduação inesquecíveis: Guilherme Bento Garcia, Sergio Caetano Filho, Renato Bezner Martinez, Marcelo Kawata, Caio Melo, Daílson Bertassoli, Guilherme Fernandez, Clóvis Camargo e Caio Christofolletti.

## Resumo

O arquipélago das Falkland–Malvinas é a parte emersa de uma microplaca originalmente situada a sudeste do continente Africano na reconstrução paleogeográfica do Gondwana. Evidências sugerem que esta microplaca rotacionou cerca de 180º durante o processo de separação entre o continente Africano e Sulamericano. No presente trabalho foram analisados dados de altitudes de diques que compõem enxames no arquipélago das Ilhas Falkland–Malvinas e na porção sudeste da Bacia do Karoo, para seu tratamento estatístico e a obtenção de suas direções preferenciais.

Esses dados estruturais, combinados com novas datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de diques das Ilhas Falkland–Malvinas, ao redor de 180 Ma, forneceram novas informações sobre as paleotensões vigentes durante os processos de rotação e fragmentação gondwânica envolvendo o arquipélago das ilhas Falkland–Malvinas.

A comparação dos dados das direções dos diques das Ilhas Falkland–Malvinas possibilitou uma nova proposta de agrupamento em dois enxames. O primeiro possui um par ortogonal de direção preferencial WNW-ESE/NNE-SSW, variando para NW-SE/NE-SW, e está relacionado à ruptura do godwana no Jurássico; já o segundo possui direção N-S e está associado a um novo regime de esforços distensionais, com direção E-W, que por sua vez é associado ao rifteamento da North Falkland Basin, no Cretáceo.

## Abstract

The Falkland-Malvinas archipelago is a part of a microplate originally located at the southeast of Africa in a paleoreconstruction of Gondwana. This microplate has rotated about 180° during the breakdown of Africa and South America. Considering that dykes are oriented orthogonally to the direction of the main minimum stress,  $\sigma_3$ , they are useful in determining paleotensions during their emplacement, and consequently they are important to understand the processes of breakdown and rotation involving the Falkland-Malvinas archipelago. In this sense, we analyzed the directions of Mesozoic dyke swarms of the Falkland-Malvinas archipelago and that from the southeast part of Karoo Basin aiming to determine their preferential directions.

The structural data, combined with new  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages of dykes of the Falkland-Malvinas (around 180 Ma), provided new informations concerning the paleostress field during the rotation of the microplate and the Gondwana break-up.

The dykes of Falkland–Malvinas may be grouped into two swarms. The first one has an orthogonal pair of WNW-ESE-oriented dykes and is probably related to Gondwana break-up in the Jurassic. The second one is N-S-oriented and probably related to a younger E-W-direction of extension associated with the Cretaceous rifting of North Falkland Basin.

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Localização .....</b>	<b>2</b>
<b>4. Fundamentação Bibliográfica .....</b>	<b>3</b>
4.1 Estratigrafia.....	3
4.2 Os diques das ilhas Falkland – Malvinas.....	4
4.2.1 As classificações dos enxames de diques das ilhas Falkland-Malvinas..	4
4.2.2 As idades dos enxames .....	5
4.3 As ilhas Falkland – Malvinas e o Gondwana .....	6
4.4 Enxames de diques da Bacia do Karoo.....	10
4.5 Diques como indicadores de paleotensões .....	12
4.6 Datação $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ .....	13
<b>5. Materiais e métodos .....</b>	<b>14</b>
5.1 Aquisição e tratamento estatísticos das direções dos diques .....	14
5.2 Datação $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ em diques de diabásio .....	15
<b>6. Resultados .....</b>	<b>17</b>
6.1 Dados dos diques da região da Ilha West Falkland.....	17
6.2 Dados dos diques da região Cape Orford .....	17
6.3 Dados dos diques da região da Ilha East Falkland.....	18
6.4 Dados dos diques da porção sudeste da Bacia do Karoo .....	19
6.5 Comparação entre os diques das ilhas Falkland-Malvinas e a porção sudeste da Bacia do Karoo. .....	19
6.6 Datações $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ em diques das ilhas Falkland-Malvinas .....	21
<b>7. Discussão dos resultados.....</b>	<b>23</b>
<b>8. Conclusões .....</b>	<b>24</b>
<b>8. Referências bibliográficas.....</b>	<b>25</b>

**Anexo I** – Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

## 1. Introdução

O arquipélago das Falkland – Malvinas é a parte emersa de uma microplaca originalmente situada a sudeste do continente Africano na reconstrução paleogeográfica do Gondwana. Com base na compilação de dados estruturais, estratigráficos, paleontológicos e tectônicos, Adie (1952) postulou que as ilhas teriam rotacionado cerca de 180° durante o processo de separação entre o continente Africano e Sulamericano na ruptura do Oeste Gondwana. A hipótese de Adie (1952) foi negada por alguns autores (v.g. Rabinowitz & LaBrecque, 1979; Martin *et al.*, 1981) que defendiam que o platô das Falkland – Malvinas era apenas uma extensão da plataforma sulamericana.

Entretanto, os trabalhos de paleomagnetismo em diques de diabásio de Mitchell *et al.* (1986) e Taylor & Shaw (1989) demonstraram que uma significante rotação (por volta de 100°) ocorreu no arquipélago das Falkland – Malvinas anteriormente à abertura cretácea do Oceano Atlântico Sul. Assim, a proposta inicial de Adie (1952) foi retomada e novos modelos de fragmentação gondwânica e rotação da microplaca contendo o platô das ilhas Falkland – Malvinas foram propostos (v.g. Marshall, 1994).

Além dos trabalhos envolvendo paleomagnetismo, os enxames de diques presentes nas Falkland – Malvinas começaram a ganhar destaque para auxiliar na comprovação dos modelos de rotação e associação das ilhas com a porção sudeste da Bacia do Karoo (África do Sul). Datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de Musset & Taylor (1994) comprovaram a contemporaneidade entre a colocação dos enxames de diques das ilhas Falkland – Malvinas e o magmatismo regional Karoo – Ferrar (Bacia do Karoo) no Eojurássico, corroborando com o modelo de rotação de Adie (1952).

## 2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo estudar as relações tectônicas dos enxames de diques das ilhas Falkland – Malvinas e compará-los com enxames de diques correlatos da porção sudeste da Bacia do Karoo. Com isso, definir as direções de esforço mínimo  $\sigma_3$  durante os eventos de fragmentação gondwânica e rotação da microplaca correspondente ao platô Falkland-Malvinas.

## 3. Localização

O arquipélago das ilhas Falkland – Malvinas está situado no Oceano Atlântico Sul a menos de 650 km da costa do continente sulamericano, entre as latitudes 51° e 53° sul e longitude 57° e 62° oeste (Figura 1), sendo composto por duas ilhas principais, Leste e Oeste Falkland, e 778 ilhas menores ([Falkland.gov.fk](http://Falkland.gov.fk)).

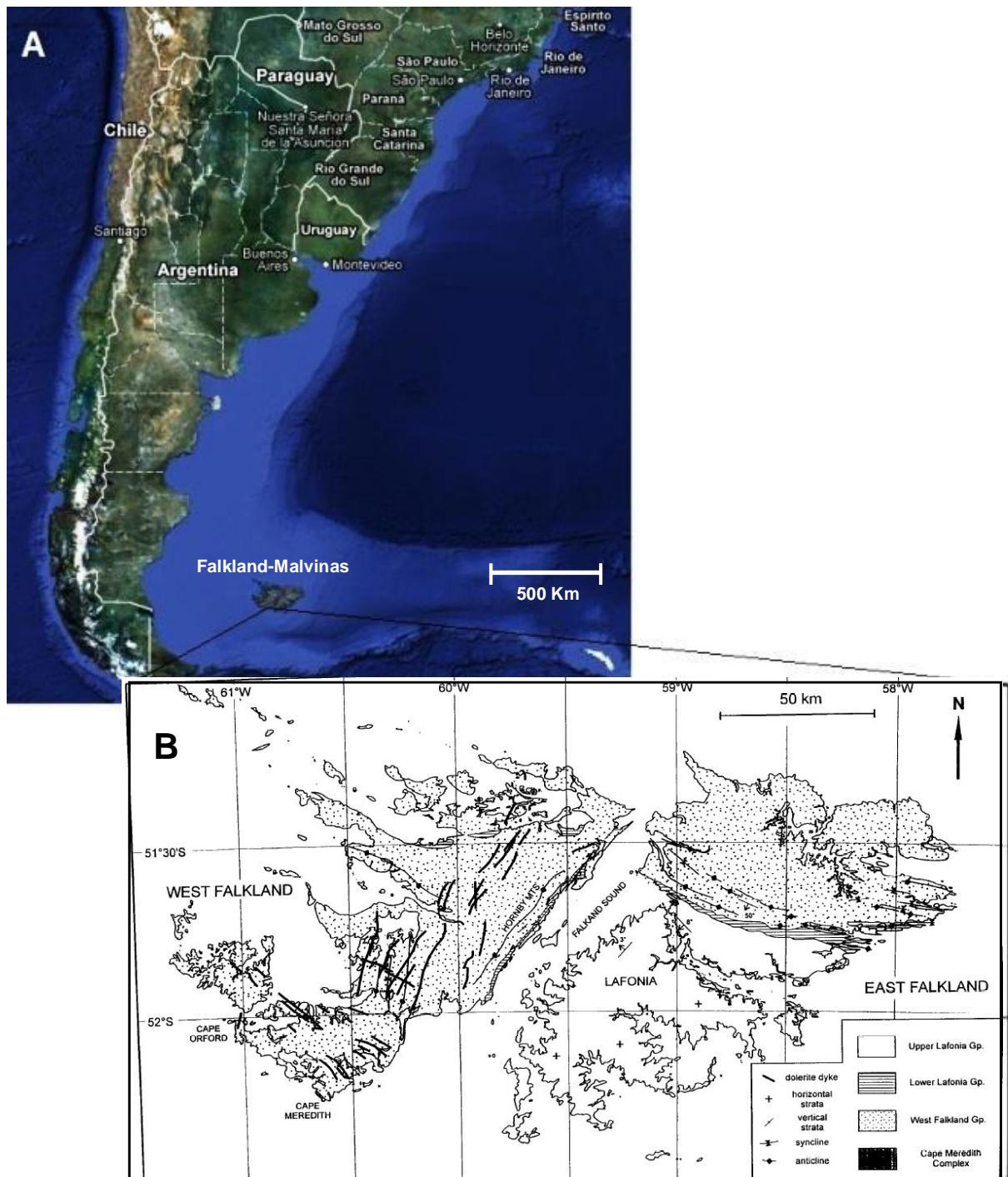


Figura 1: (A) Imagem de satélite do sul da América do Sul, extraída do *Google Earth*. (B) mapa geológico simplificado das ilhas Falkland – Malvinas (extraído e modificado de Storey et al., 1999)

## 4. Fundamentação Bibliográfica

### 4.1 Estratigrafia

A geologia das ilhas Oeste e Leste Falkland é estratigraficamente dividida entre o complexo Cape Meredith, Grupo Oeste Falkland e o Grupo Lafonia (Aldiss & Edwards, 1998).

O Complexo Cape Meredith é o embasamento das sequências sedimentares. É composto por metassedimentos, gnaisses, granitóides e diques básicos mesoproterozóicos que afloram ao sul da ilha Oeste Falkland (Thomas *et al.*, 1997; Aldiss & Edwards, 1998).

O Grupo Oeste Falkland possui quatro formações de idades silurodevonianas: Port Stephens, Fox Bay, Port Philomel e Port Stanley. Este grupo aflora por quase toda a ilha Oeste e cerca de um terço da ilha Leste Falkland a norte (Borrello, 1963; Marshall, 1994; Aldiss & Edwards, 1998).

O Grupo Lafonia é subdividido em duas porções com contatos discordantes entre si. A porção inferior é composta por três unidades estratigráficas permocarboníferas: Bluff Cove, Fitzroy Tillite e a formação Port Sussex; já a superior, compreende uma espessa sequência (aproximadamente 3 km) de sedimentos clásticos permianos representada pelas formações Brenton Loch e Bay of Harbours (Aldiss & Edwards, 1998).

## **4.2 Os diques das ilhas Falkland – Malvinas**

### **4.2.1 As classificações dos enxames de diques das ilhas Falkland-Malvinas**

As rochas sedimentares silurodevonianas a permianas das ilhas Falkland – Malvinas são cortadas por mais de 400 diques de diabásio (Aldiss & Edwards, 1998). A primeira proposta de agrupamento dos diques em enxames com famílias de direções preferenciais foi realizada por Baker (1924). O autor os classificou em um único enxame com duas direções preferencias: NNE-SSW e WNW-ESE.

Greenway (1972), com base em dados de fotointerpretação, negou a proposta de Baker (1924) e separou os diques das ilhas Falkland-Malvinas em três enxames distintos que se intersectavam: enxame NNE-SSW, com diques que ocorrem comumente a norte e no centro das ilhas; enxame WNW-ESE, com diques que estão a sul e sudeste das ilhas mais distantes; e o enxame de diques da região de Cape Orford.

Trabalhos posteriores seguiram a classificação de Greenway (1972) com uma pequena mudança na nomenclatura dos enxames NNE-SSW e WNW-ESE. O primeiro passou a ser denominado de enxame norte-sul enquanto o segundo tornou-se o enxame leste-oeste (Taylor & Shaw, 1989; Musset & Taylor, 1994).

Stone *et al.* (2008), com base em dados aeromagnéticos, propuseram uma nova classificação, separando os diques das ilhas Falkland-Malvinas em:

- (1) enxame radial, que compreende diques de diversas orientações presentes na porção sudoeste da ilha West Falkland. Isto inclui os diques de direções WNW-

ESE, ou enxame leste – oeste, conforme Taylor & Shaw (1989), e os diques do enxame Cape Orford;

- (2) enxame NE-SW, que compreende diques de orientação preferencial NE-SW presentes em ambas as ilhas, East e West Falkland, ou enxame norte - sul, conforme Taylor & Shaw (1989);
- (3) enxame N-S, que compreende diques de orientação preferencial N-S, presentes em ambas as ilhas, East e West Falkland, e na porção offshore do platô das Falkland– Malvinas.

#### **4.2.2 As idades dos enxames**

As primeiras datações de diques das ilhas Falkland-Malvinas são da região de Cape Meridith, onde foram datados três diques pelo método K-Ar. Suas idades são  $192\pm10$  Ma (Cingolani & Varela, 1976),  $176\pm7$  Ma e  $162\pm6$  Ma (Thistlewood *et al.*, 1997).

Musset & Taylor (1994) obtiveram três novas datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de diques representantes da região de Cape Orford, do enxame leste-oeste ou enxame radial de Stone *et al.* (2008), e do enxame norte-sul ou enxame NE-SW de Stone *et al.* (2008). Suas idades foram  $190\pm4$  Ma,  $188\pm2$  Ma e  $193\pm4$  Ma (idade máxima para colocação dos diques), respectivamente. Assim, as intrusões dos enxames de diques ocorreram no Jurássico, por volta de 190 Ma (Stone *et al.*, 2009).

Uma recente datação  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  em dique da ilha Leste Falkland, realizada por Stone *et al.* (2008), pertencente ao enxame NE-SW do mesmo autor, mostrou uma idade de  $178\pm4,9$  Ma. Esta idade é regionalmente correlacionável com o pico do magmatismo da província Karoo-Ferrar (178-183 Ma) na África do Sul e na Antártica (v.g. Duncan *et al.*, 1997; Jourdan *et al.*, 2005), que marca o início da fragmentação gondwânica. Portanto, há uma correlação temporal entre a colocação dos enxames de diques da Bacia do Karoo e os das Falkland – Malvinas.

O novo enxame norte-sul, definido por Stone *et al.* (2008), possui uma única datação com idade de  $121\pm1,2$  Ma. A Tabela 1 sumariza as datações dos enxames de diques das ilhas Falkland-Malvinas.

**Tabela 1: Sumário com as datações dos diques das ilhas Falkland-Malvinas.**

Região	Enxame, segundo a classificação de:		Idade	Método	Referência
	Taylor & Shaw, 1989	Stone <i>et al.</i> (2008)			
Cape Meridith	leste-oeste	Radial	192±10 Ma	K-Ar	Cingolani & Varela (1976)
Cape Meridith	leste-oeste	Radial	176±7 Ma	K-Ar	Thistlewood <i>et al.</i> (1997)
Cape Meridith	leste-oeste	Radial	162±6 Ma	K-Ar	Thistlewood <i>et al.</i> (1997)
Cape Orford	Cape Orford	Radial	190±4 Ma	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Musset & Taylor (1994)
Oeste Falkland	leste-oeste	Radial	188±2 Ma	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Musset & Taylor (1994)
Oeste Falkland	norte-sul	NE-SW	193±4 Ma	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Musset & Taylor (1994)
Leste Falkland	norte-sul	NE-SW	178±4,9 Ma	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Stone <i>et al.</i> (2008)
Leste Falkland	norte-sul	N-S	121±1,2 Ma	$^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$	Stone <i>et al.</i> (2008)

#### **4.3 As ilhas Falkland – Malvinas e o Gondwana**

Até o início do século passado, vários autores correlacionavam estratigráficamente as sucessões sedimentares das ilhas Falkland-Malvinas com a atual região da Patagônia. Desde então, vários trabalhos começaram a observar que, embora as ilhas estivessem geograficamente próximas ao continente sulamericano, sua geologia possuía grandes afinidades com o sul da África (ver retrospectiva em Storey *et al.*, 1999).

Adie (1952) foi pioneiro no posicionamento das ilhas Falkland-Malvinas a sudeste do continente Africano na reconstrução paleogeográfica do Gondwana – Figura 2. Com base na compilação de dados estruturais, estratigráficos, paleontológicos e tectônicos, demonstrou que as ilhas sofreram uma rotação de 180° durante o processo de separação entre o continente Africano e Sulamericano. Trabalhos posteriores com enfoque no paleomagnetismo dos diques máficos (Mithcell *et al.*, 1986), estrutural (Curtis & Hyam, 1998) e sedimentológico (Thisstlewood & Randal, 1998; Marshall, 1994) corroboraram com sua hipótese.

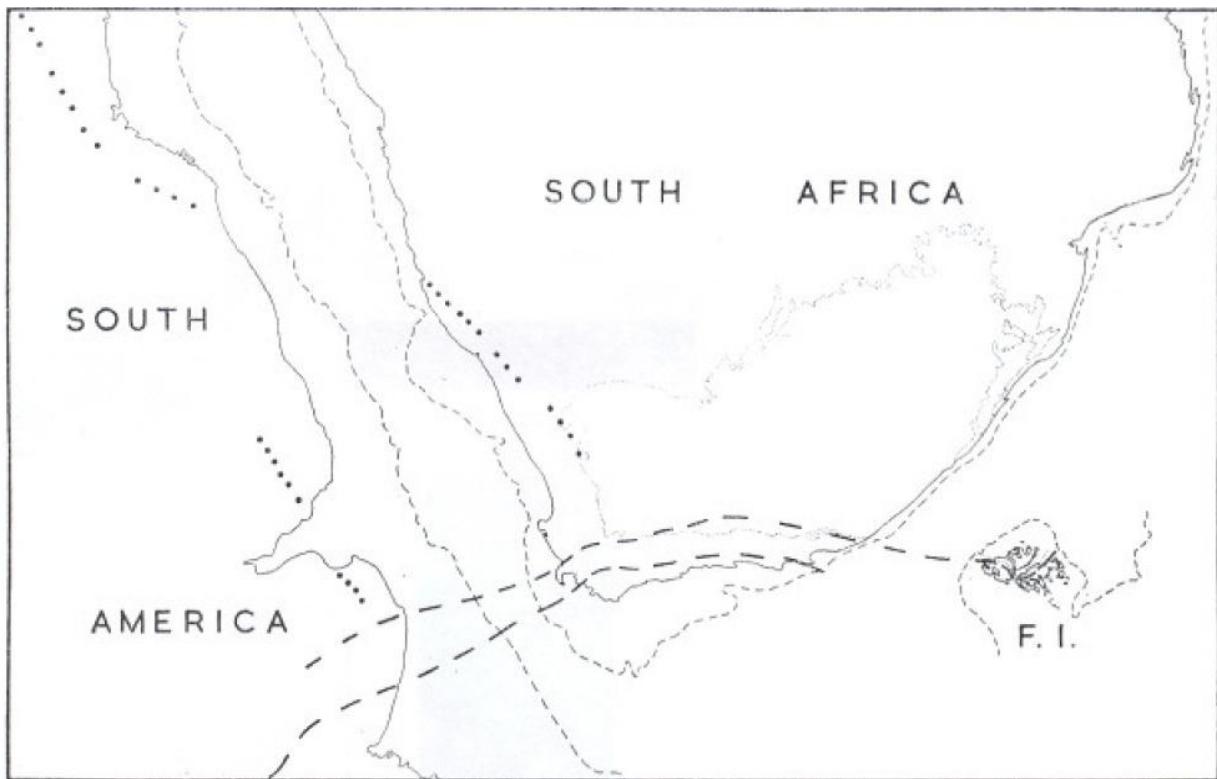


Figura 2: reconstrução paleogeográfica das ilhas Falkland (F.I.) – Malvinas no Gondwana (extraído de Adie 1952).

Seguindo as ideias iniciadas por Adie (1952), Marshal (1994) propôs um novo modelo da fragmentação e rotação da microplaca contendo o platô das ilhas Falkland – Malvinas. O autor compilou dados dos trabalhos de Martin & Hartnady (1986), Grunow *et al.* (1991), Dalziel & Grunow (1992) e Rapela & Pankhurst (1992) e realizou a reconstituição paleogeográfica pré-fragmentação da porção oeste do Gondwana como mostra a Figura 3.

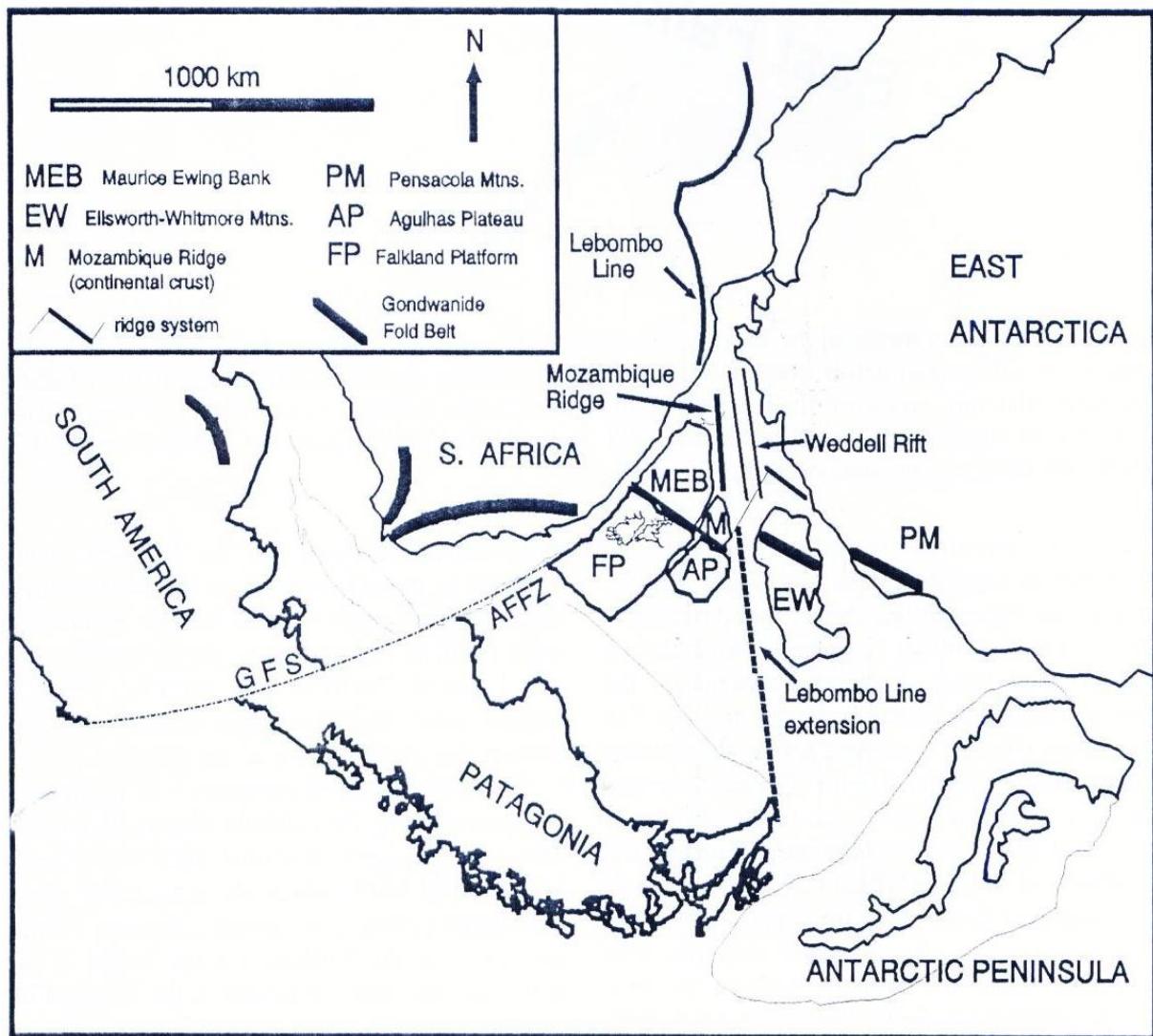


Figura 3: reconstrução paleogeográfica da porção do Oeste Gondwana. GFS: Sistema de Falhas Gastre; AFFZ: Zona de Fratura Agulhas Falkland (extraído de Marshal, 1994).

O mesmo autor ainda ressaltou a importância da propagação da linha Lebombo para o entendimento do início da fragmentação do Gondwana. Esta linha corresponde a um episódio de vulcanismo associado à província vulcânica do Karoo – Figura 3. Sua extensão na porção marítima foi evidenciada pela cadeia de montanhas de Moçambique. Cox (1992) argumentou que este episódio eruptivo refletiu a separação inicial entre as regiões leste Antártica da África e América do Sul.

A evolução do magmatismo da linha Lebombo causou uma fragmentação crustal em microcontinentes. Devido às forças distensivas provocadas pela formação de um sistema inicial de cadeias mesoceânicas, as recém fragmentadas microplacas do platô das Falkland – Malvinas, do banco Maurice Ewing, do platô da Agulhas e da cadeia de Moçambique separaram-se criando espaços para a formação de pequenas bacias (Marshal, 1994). Os esforços distensivos associados a este evento possuíam direção NNE-SSW – Figura 4.

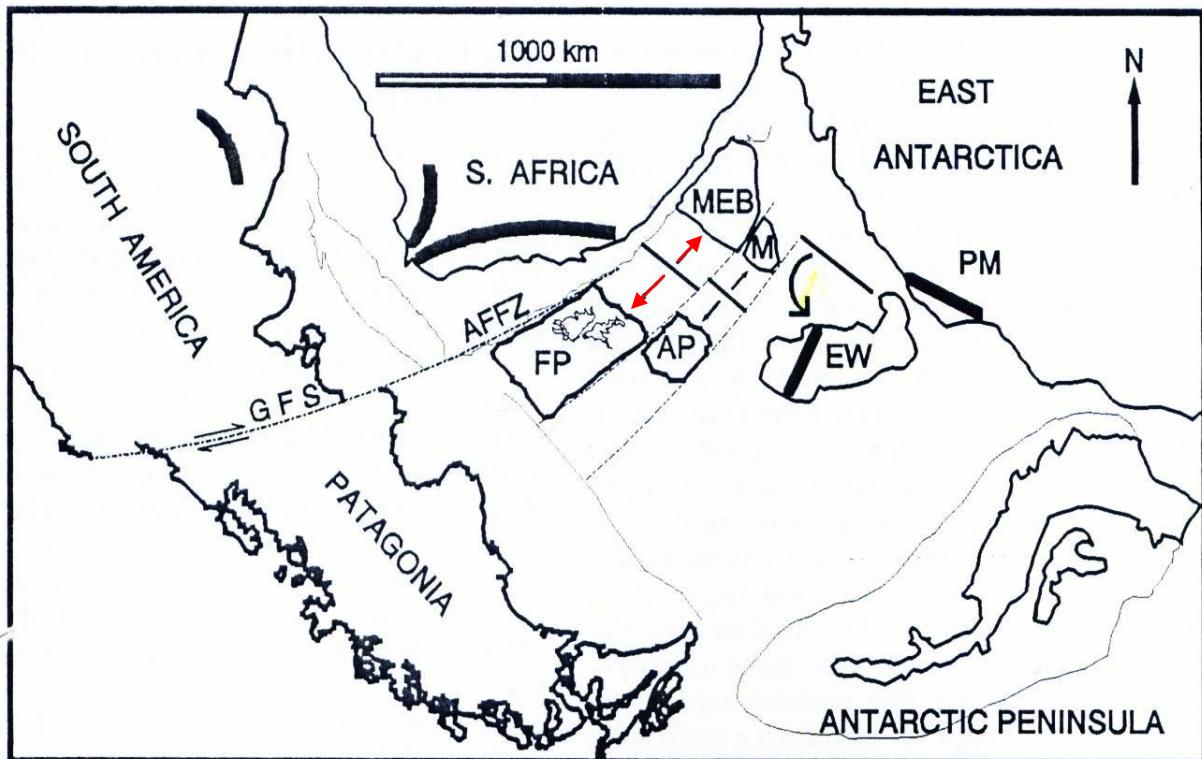


Figura 4: a figura mostra a distensão entre a Plataforma das Falkland – Malvinas (FP) e o banco Maurice Ewing (MEB), com direção dos esforços distensivos representadas por setas vermelhas. As demais abreviaturas são definidas na Figura 3 (extraído de Marshal, 1994).

Esta distensão foi acomodada por movimentos ao longo da Zona de Fratura Agulhas Falkland e do Sistema de Falhas Gastre. Isto ocorreu no intervalo de tempo entre o Eocurássico e o Jurássico Médio, como mostrou Rapela & Pankhurst (1992) com seus dados cronológicos de movimentações ao longo do sistema de Falhas Gastre (Marshal, 1994).

Os cenários de uma história complexa envolvendo a formação de pequenas bacias distensionais, seguidas pela estabilização de um sistema de cadeias mesoceânicas, foram os mecanismos responsáveis pela rotação da microplaca contendo o platô das ilhas Falkland–Malvinas. Uma diferença entre a acomodação na zona de cisalhamento dextral do Sistema de Falhas Gastre, em comparação com a Zona de Fratura Agulhas Falkland, deu início a rotação desta microplaca. Uma vez iniciado este processo, sua total estabilização se deu somente no momento do choque entre a microplaca das Falkland – Malvinas e a plataforma continental da América do Sul (Marshal, 1994) – Figura 5.

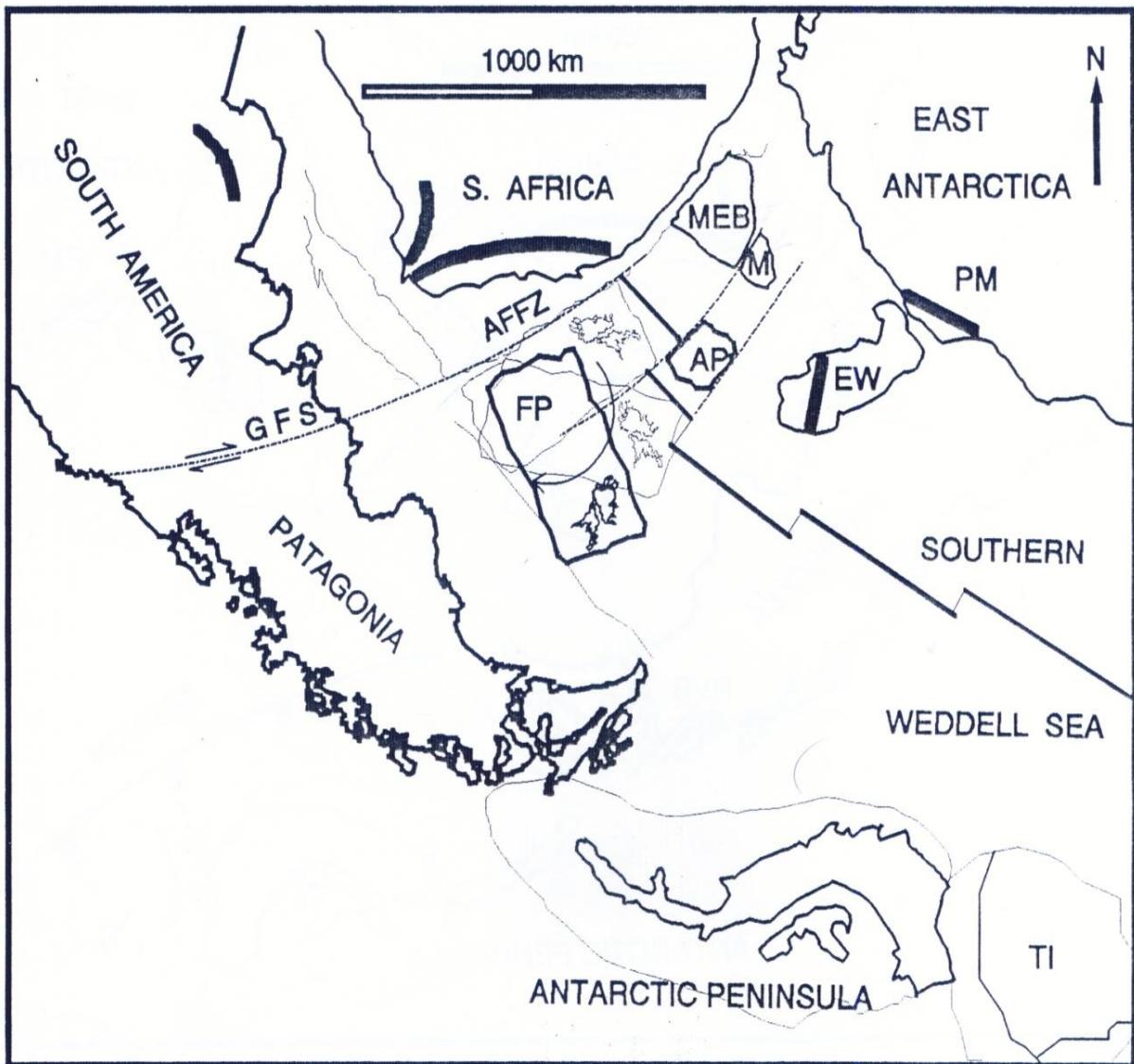


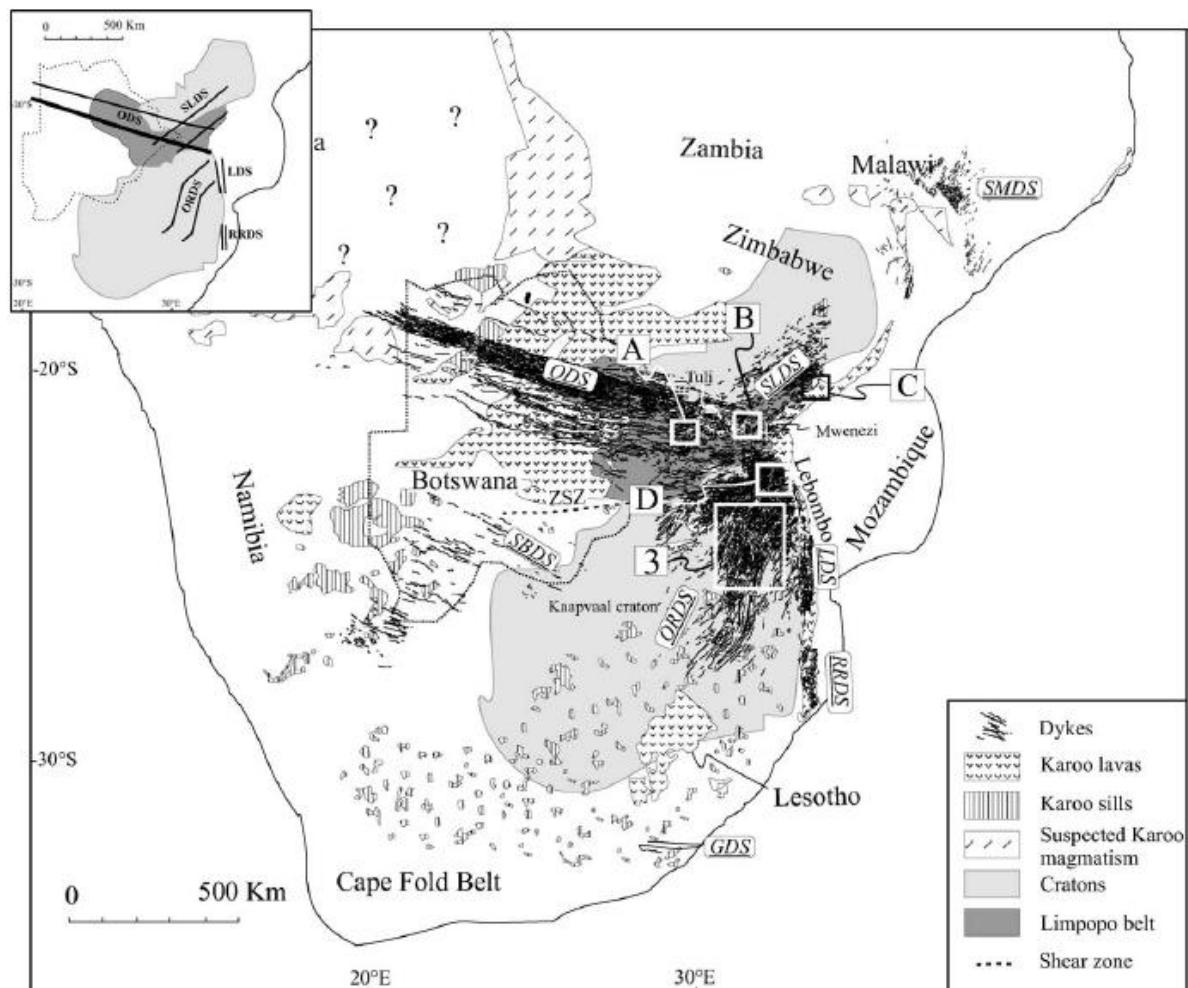
Figura 5: mecanismo rotação da Plataforma das Falkland-Malvinas (FP) causado por uma diferença entre a acomodação na zona de cisalhamento dextral do Sistema de Falhas Gaster (GFS) em comparação a Zona de Fratura Agulhas Falkland (AFFZ). As demais abreviaturas são definidas na Figura 3 (extraído de Marshal, 1994).

Stone *et al.* (2008) demonstraram, com base em dados aeromagnéticos dos enxames de diques básicos, que o processo de rotação das Falkland-Malvinas se restringe temporalmente entre o período de 178 Ma a 121 Ma.

#### 4.4 Enxames de diques da Bacia do Karoo

O derrame continental de basaltos do Karoo foi um grande evento magmático relacionado à quebra do Gondwana e à abertura do Oceano Índico (Jordan *et al.*, 2006). Ele recobriu uma paleosuperfície de mais de três milhões de quilômetros quadrados e é formado por lavas, sills e diques toleíticos (Eales *et al.*, 1984). Associados a este evento, formaram-se enormes enxames de diques denominados: Okavango, Save-Limpopo, Olifants River e

Lebombo. Juntos eles formam uma estrutura chamada de junção tríplice (Jordan *et al.*, 2006) – Figura 6.



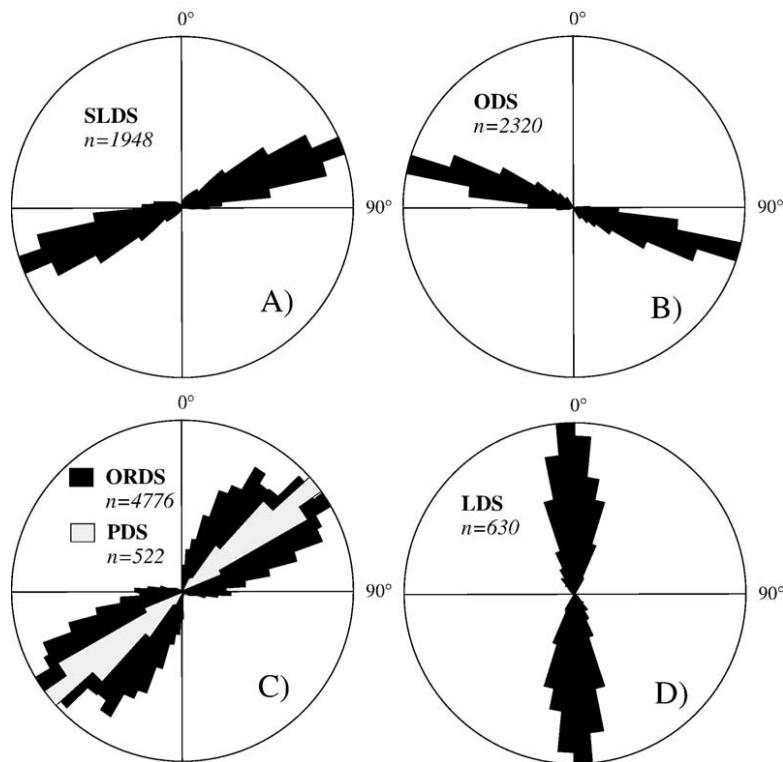
**Figura 6:** localização dos enxames de diques regionais da Bacia do Karoo. Enxames ODS: Okavango; ORDS: Olifants River; SLDS: Save-Limpopo; LDS: Lebombo; SBDS: Botswana Sul; RRDS: Rooi Rand; SMDS: Malawi Sul e GDS: Gap (não datado, intrudindo sedimentos da Bacia do Karoo). Extraído de Jordan *et al.* (2006).

O enxame de diques de Save-Limpopo possui orientação preferencial ENE – WSW, Figura 7 (A), e aflora entre a porção sudeste de Botswana (Bacia Tuli) até a margem nordeste do cinturão orogênico Limpopo no Zimbábue (Jordan *et al.*, 2006). Seus diques cortam rochas metamórficas arqueanas e proterozóicas do cinturão Limpopo, assim como rochas sedimentares permianas a jurássicas da Bacia do Karoo. Datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  em plagioclásio de dois diques pertencentes a este enxame forneceram idades de  $178,9 \pm 0,8$  Ma e  $180,4 \pm 0,7$  Ma (Le Gall *et al.*, 2002; Jordan *et al.*, 2005, respectivamente).

O enxame de Okavango possui diques com direção preferencial WNW-ESSE, Figura 7 (B). Este enxame aflora na porção nordeste e noroeste de Botswana apresentando idades de  $179 \pm 1,2$  Ma e  $178,4 \pm 1,1$  Ma (LeGall *et al.*, 2005).

O enxame Olifants River é intrusivo em rochas sedimentares da Bacia do Karoo (Uken *et al.*, 1997). Este enxame é composto de dois sub-enxames: o sub-enxame Palabora com direção preferencial NE-SW, Figura 7 (C), e um segmento menor com direção predominante NNE-SSW (Gomez, 2001). As datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  obtidas por Jordan *et al.* (2006) mostraram idades proterozóicas (851-1683 Ma) e proterozóicas a arqueanas (2470-2872 Ma) para este enxame.

Os diques do enxame Lebombo possuem uma direção média preferencial N-S, Figura 7 (D), intrudindo o monocinal de Lebombo (Jordan *et al.*, 2006). Duas idades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  em plagioclásio destes diques, obtidas por Jordan *et al.* (2005), trazem valores de  $181,4 \pm 0,7$  Ma e  $182,3 \pm 1,7$  Ma.



**Figura 7:** diagramas de rosetas dos enxames de diques de (A) SLDS - Save-Limpopo; (B) ODS - Okavango; (C) ORDS - Olifants River e PDS - Palabora; (D) LDS - Lebombo. Extraído de Jordan *et al.* (2006).

#### 4.5 Diques como indicadores de paleotensões

Segundo Zoback (1992) diques são bons indicadores tectônicos por se alocarem perpendicularmente ao tensor de menor esforço  $\sigma_3$ . O autor ainda argumenta que seu posicionamento pode ocorrer pelo preenchimento de estruturas pré-existentes em condições de níveis crustais rasos. Porém, Baer *et al.* (1994) demonstraram que, mesmo nestes

cenários, as descontinuidades prévias estarão aproximadamente perpendiculares a  $\sigma_3$ . E adicionam que, se os diques ainda constituírem enxames, forem discordantes em relação à rocha encaixante e apresentarem mergulhos subverticais, sua interpretação estrutural será ainda mais precisa. Esta situação é apresentada no arquipélago das ilhas Falkland–Malvinas.

#### 4.6 Datação $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$

As idades radiométricas baseiam-se no processo físico de decaimento radioativo com a desintegração espontânea de nuclídeos radioativos (cujo estado energético é meta-estável) para nuclídeos radiogênicos, os quais atingem estado de energia reduzida (Faure & Mensing, 2005). Estes autores mostraram que, uma vez conhecido o número de átomos radioativos pai (N) e o total de átomos radiogênicos filho (D), pode-se calcular uma idade utilizando-se a equação fundamental da geocronologia. Tal equação pode ser escrita de duas formas:

$$t = (1/\lambda) \ln [(D - D_0/N) + 1] \quad (\text{Eq. 1})$$

$$D = D_0 + N(e^{\lambda t} - 1) \quad (\text{Eq. 2})$$

O número de átomos filho inicial ( $D_0$ ), que é assimilado durante a cristalização da rocha, e a constante de desintegração ( $\lambda$ ), que consiste na probabilidade de decaimento radioativo do átomo dentro de uma dada unidade de tempo, são constantes obtidas experimentalmente para cada elemento químico envolvido.

O método de datação  $^{40}\text{Ar}$ / $^{39}\text{Ar}$  baseia-se fundamentalmente no cálculo da idade a partir da razão entre os isótopos  $^{40}\text{Ar}$  e  $^{39}\text{Ar}$  (átomos radiogênicos filhos), sendo o primeiro um produto do decaimento natural e espontâneo do  $^{40}\text{K}$  (átomo radioativo pai), enquanto o segundo é obtido pela transmutação neutrônica de  $^{39}\text{K}$  para  $^{39}\text{Ar}$  em um reator (Mitchell, 1968). Após a fase de irradiação, o argônio é extraído da amostra e analisado por um espectrômetro de gases. Esta extração pode ser obtida a partir da técnica de fusão total ou da fusão por etapas (*step heating*).

Na técnica de fusão por etapas (*step heating*), a extração do argônio é realizada em várias etapas através do contínuo aumento de temperatura. O argônio liberado em cada etapa é recolhido, purificado e analisado (Vasconcelos *et al.*, 2002)

## 5. Materiais e métodos

### 5.1 Aquisição e tratamento estatísticos das direções dos diques

Para a aquisição das orientações dos diques situados no Plateau da Falkland-Malvinas foi utilizado o mapa geológico de Aldiss & Edwards (1998) em escala 1:250 000.

As direções dos diques oriundos da porção sudeste da Bacia do Karoo foram retiradas de diversas folhas articuladas que correspondem ao litoral sudeste da África do Sul. A Tabela 2 indica os nomes das folhas, ano de publicação, autores, escalas e respectivas coordenadas geográficas dos limites norte-sul e leste-oeste.

**Tabela 2: folhas utilizadas para a aquisição das direções dos diques da porção sudeste da Bacia do Karoo.**

Nome da Folha	Ano de publicação	Autor	Autores secundários	Escala	Coordenadas geográficas limites			
					Longitude Oeste	Longitude Leste	Latitude Norte	Latitude Sul
Queenstown	1982		Wilkinson, K. J; Coetsee, F.	1:250 000	E 026°00'00"	E 028°00'00"	S 031°00'00"	S 032°00'00"
King William's Town	1976		Hornsveld, H; Keyser, A. W e Johnson, M. R	1:250 000	E 026°00'00"	E 028°00'00"	S 032°00'00"	S 033°00'00"
Drakensberg	1981	Geological Survey (South Africa)	Nortman, L. E; Coetsee, F.	1:250 000	E 028°00'00"	E 030°00'00"	S 029°00'00"	S 030°00'00"
Kokstad	1981		Nortman, L. E; Coetsee, F.	1:250 000	E 028°00'00"	E 030°00'00"	S 030°00'00"	S 031°00'00"
Umtata	1979		Coetsee, F.	1:250 000	E 028°00'00"	E 030°00'00"	S 031°00'00"	S 032°00'00"
Durban	1988		Coetsee, F.	1:250 000	E 030°00'00"	E 032°00'00"	S 029°00'00"	S 030°00'00"

As atitudes dos diques foram coletadas com o auxílio de transferidor e régua, em azimute de 0° a 360°, e organizadas em uma tabela utilizando o software Microsoft Excel® 2010. É importante ressaltar que muitos dos diques que se apresentaram individualizados nos mapas, mas cujos segmentos são colineares, foram interpretados como sendo o mesmo corpo rochoso aflorando descontinuamente. A Figura 8 ilustra esquematicamente esta questão. Portanto, o número total de diques individualizados nos mapas das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo é maior do que os compilados para as análises estatísticas deste projeto.

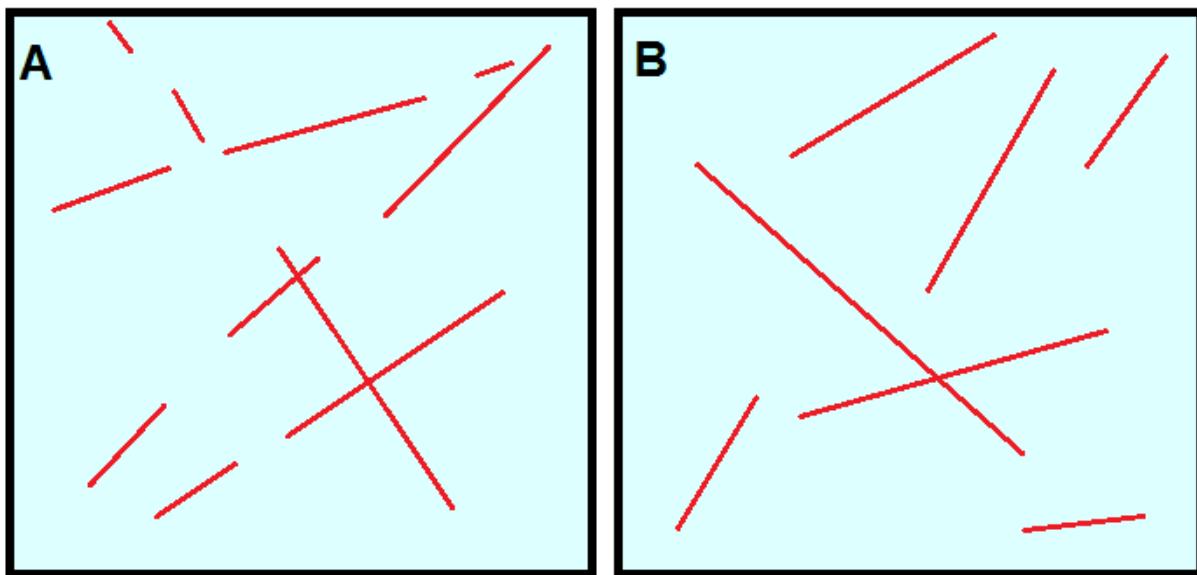


Figura 8: (A) exemplo de diques aflorando descontinuamente, porém sendo colineares, que foram considerados como sendo de um mesmo corpo. (B) exemplo de diques aflorando descontinuamente que foram considerados como corpos individualizados.

O software OpenStereo versão 1.2 (Grohmann & Campanha, 2001) foi utilizado para a confecção dos diagramas de rosetas, possibilitando a comparação gráfica e estatística das direções dos diques e seu agrupamento em famílias de direções preferenciais.

## 5.2 Datação $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ em diques de diabásio

As datações dos diques dos enxames relacionados a este trabalho foram obtidas de duas fontes: artigos científicos já publicados e três novas datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  provenientes de amostras previamente coletadas pelo orientador.

As três novas datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  foram realizadas pelo laboratório da Universidade de Queensland, Brisbane, Austrália e serão publicadas em Riccomini *et al.* (*em preparação*). A Tabela 3 indica os nomes das amostras de mão, as localizações de onde foram coletadas e observações de campo.

**Tabela 3: sumário com as informações das amostras datadas dos diques das ilhas Falkland-Malvinas.**

Nome	Localização	Direção (Azimute)	Observações de campo e da amostra
WF-28	59°58'31"W 51°41'57"S	035	A amostra estava fresca, com granulação grossa e é oriunda de dique de diabásio (intrusivo em arenitos da Fm. Port Stephens), com espessura superior a 17m e com direção aproximadamente NNE-SSW.
WF-30	60°08'40"W 51°56'02"S	005	A amostra estava fresca, com granulação fina e é oriunda de dique de diabásio, com 25-26m de espessura, intrusivo em arenitos da Fm. Fox Bay e com direção aproximadamente N-S.
WF-32	60°12'45"W 51°55'10"S	100	Amostra de dique máfico retirada do núcleo de um matação aflorando na superfície de um dique com direção aproximadamente E-W.

O procedimento de sub-amostragem para as datações consistiu na moagem das amostras em granulação menor do que dois milímetros, sua lavagem em água com auxílio de ultrassom e uma nova lavagem, por quinze minutos adicionais, em água destilada e, sequencialmente, etanol. Posteriormente, com auxílio de microscópio binocular, foram manualmente separados dois cristais de plagioclásio por amostra para a realização das datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  pelo método Step heating.

Cada sub-amostra foi colocada em um disco de alumínio juntamente com um monitor de fluências de neutrões *Fish Canyon Sanidine* (com idade de  $28.201 \pm 0.046$  Ma; Kuiper *et al.* 2008), seguindo a geometria ilustrada por Vasconcelos *et al.* (2002). O disco foi irradiado por quatorze horas em um *Cadmium-lined* CLICIT - um reator do tipo TRIGA, da Universidade do Estado de Oregon, EUA.

Após a irradiação, cada sub-amostra foi aquecida com uma onda contínua de laser de argônio em um feixe de 2 mm de largura. A fração do gás libertado foi filtrada através de uma armadilha denominada *cryocooled cold-trap* ( $T = -125$  °C) e de dois coletores do tipo C-50 SAES Zr-V-Fe. Por fim, o material coletado foi analisado para isótopos argônio em um espectrômetro de massa MAP215-50, também equipado com um terceiro coletor tipo C -50 SAES Zr-V-Fe.

A automação analítica e os procedimentos seguidos estão descritos em Deino & Potts (1990) e Vasconcelos *et al.* (2002). Pipetas de ar e amostras em branco foram analisadas antes e depois de cada sub-amostra para assegurar a confiabilidade das análises. Os dados foram corrigidos para discriminação de massa, interferências nucleogênicas e contaminação atmosférica seguindo os procedimentos de Vasconcelos *et al.* (2002). Para tal, utilizou-se o software MassSpec versão 7.527, desenvolvido por Alan

Deino do Centro de Geocronologia de Berkeley, EUA. Todas as idades aqui reportadas utilizam as constantes de decaimento de Steiger & Jäger (1977) para seus cálculos.

## 6. Resultados

As direções dos diques das ilhas Falkland-Malvinas foram tratadas separadamente para as regiões de West Falkland, Cape Orford e East Falkland. A porção sudeste da Bacia do Karoo não possui nenhum tipo de agrupamento regional prévio e todos os diques foram tratados conjuntamente. Todas as atitudes dos diques utilizadas neste trabalho são apresentadas em tabelas do Anexo I.

### 6.1 Dados dos diques da região da Ilha West Falkland

A região da ilha West Falkland (exceto Cape Orford) apresenta um total de trinta e um diques, com direções preferenciais majoritariamente NNE-SSW, variando para NE-SW, e diques com direções N-S e E-W – Figura 9.

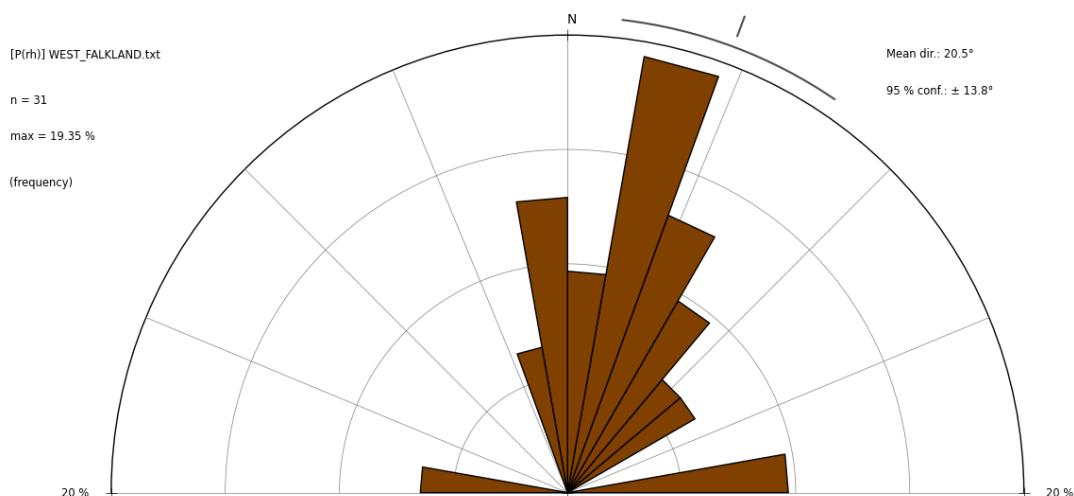
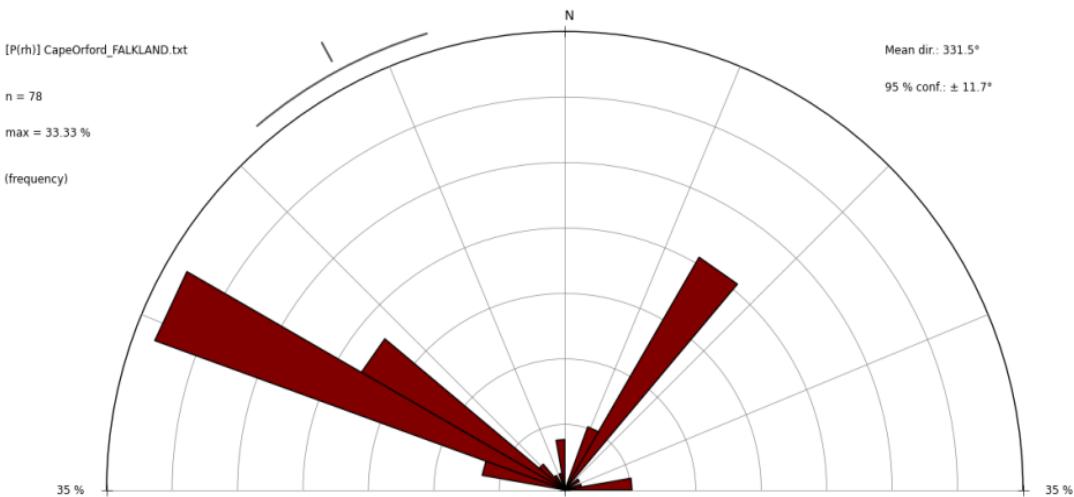


Figura 9: Diagrama de rosetas com as direções dos diques da região dos enxames de diques da ilha West Falkland (exceto Cape Orford).

### 6.2 Dados dos diques da região Cape Orford

A região de Cape Orford apresenta um total de setenta e oito diques, com duas direções preferenciais ortogonais: a mais representativa WNW-ESE, e a secundária NNE-SSW – Figura 10.

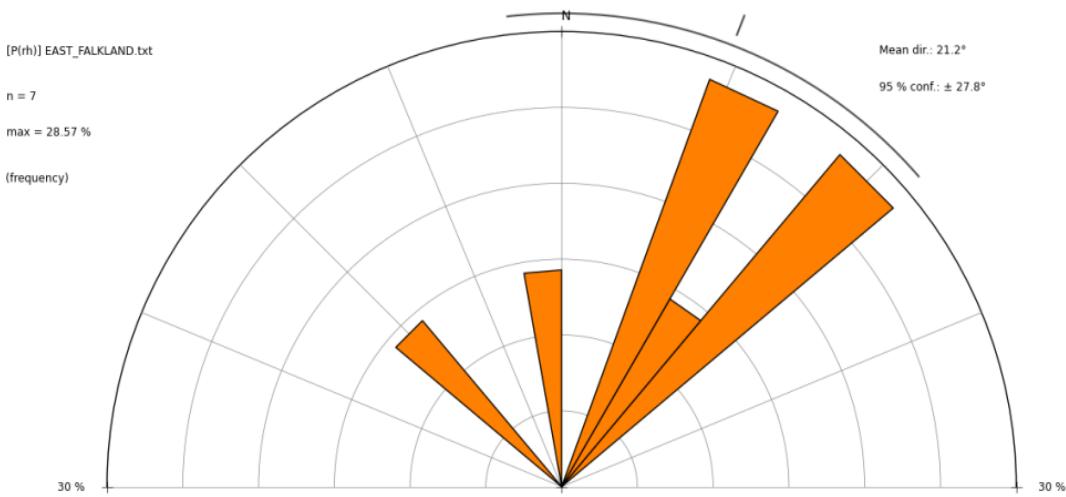


**Figura 10:** Diagrama de rosetas com as direções dos diques da região do enxame de diques de Cape Orford.

A análise dos dados disponíveis permite considerar que, em função das direções preferenciais, o enxame de Cape Orford não parece configurar um enxame de diques radiais. Em decorrência, não há justificativas para que seja considerado um enxame individualizado em relação aos demais, conforme proposto por Stone *et al.* (2008).

### 6.3 Dados dos diques da região da Ilha East Falkland

A região da ilha East Falkland apresenta um total de sete diques, com direções NE-SW, variando para NNE-SSW, e apenas dois diques com direções N-S e NW-SE, respectivamente – Figura 11.



**Figura 11:** Diagrama de rosetas com as direções dos diques da região dos enxames de diques da ilha East Falkland.

O número de diques mapeados na ilha East Falkland é pequeno e estatisticamente pouco representativo, embora a direção NE-SW pareça ser predominante.

#### 6.4 Dados dos diques da porção sudeste da Bacia do Karoo

A região da porção sudeste da Bacia do Karoo apresenta um total de duzentos e cinquenta e três diques, com direções preferenciais NW-SE, variando para NNW-SSE – Figura 12.

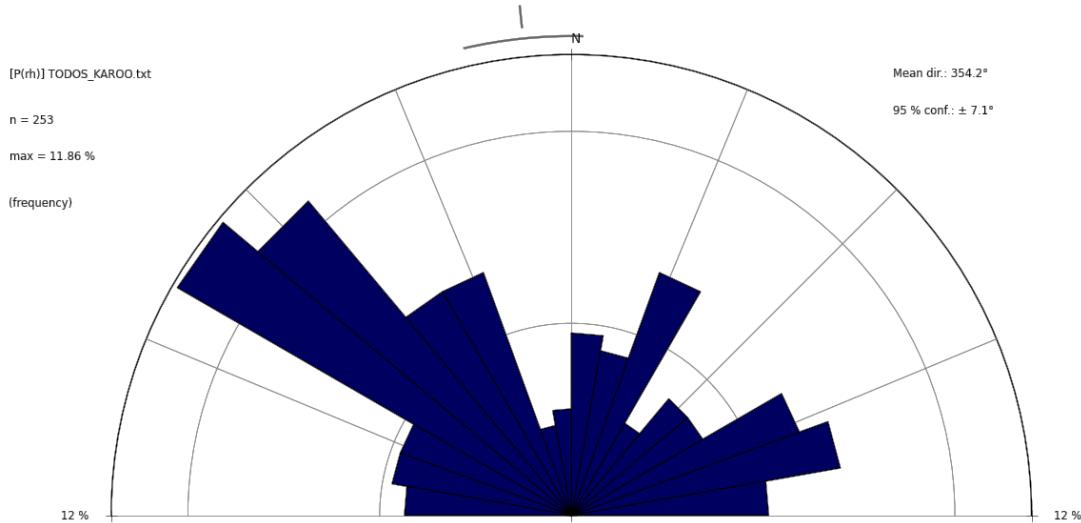
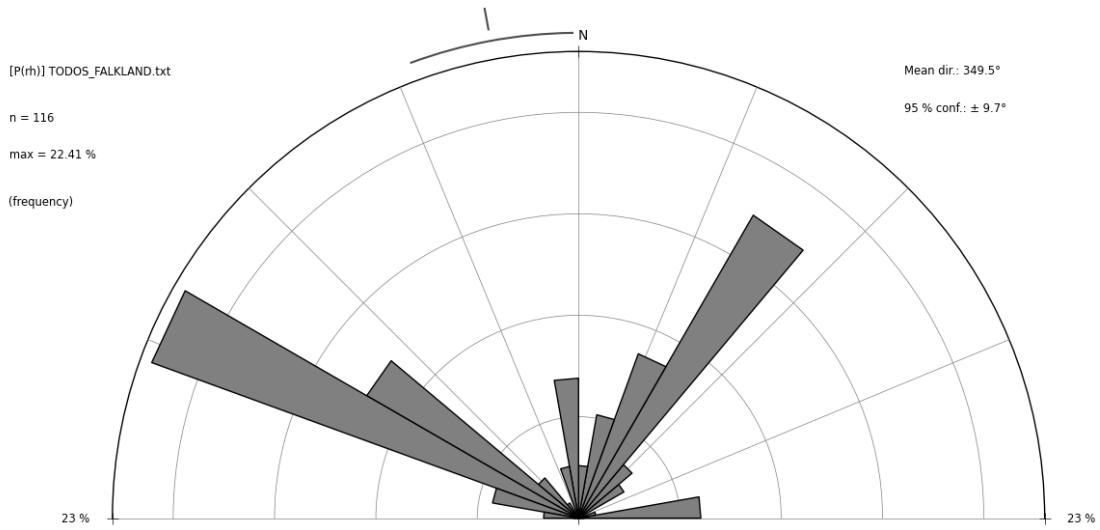


Figura 12: Diagrama de rosetas com as direções dos diques da porção sudeste da Bacia do Karoo.

Os diques da porção sudeste da Bacia do Karoo possuem representantes em praticamente todas as direções. Porém, fica evidente a predominância da direção NW-SE frente às demais (Figura 12).

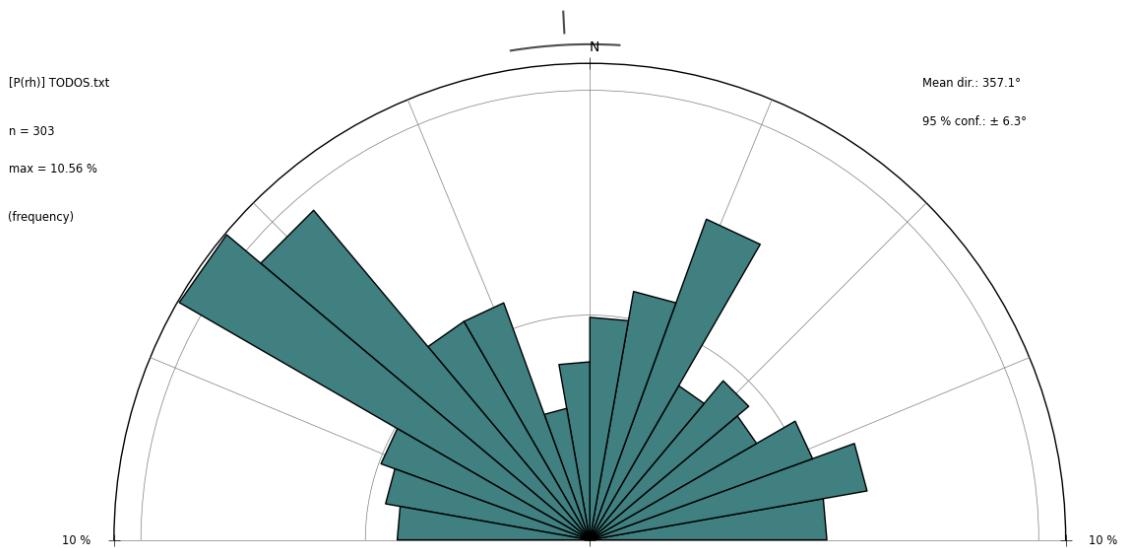
#### 6.5 Comparação entre os diques das ilhas Falkland-Malvinas e a porção sudeste da Bacia do Karoo.

Considerando as tendências nas orientações dos enxames de diques das ilhas Falkland-Malvinas, sobretudo da ilha West Falkland (incluindo Cape Orford), nota-se claramente a existência de apenas duas direções principais ortogonais: NNE-SSW e WNW-ESE (Figura 13).



**Figura 13: Diagrama de rosetas com as direções dos diques da região dos enxames de diques das ilhas East Falkland e West Falkland (incluindo a região de Cape Orford).**

Comparando o diagrama de rosetas das direções dos diques das ilhas Falkland–Malvinas (Figura 13) com o diagrama correspondente da porção sudeste da Bacia do Karoo (Figura 12) é possível observar que o par ortogonal conjugado de direções preferencias NW-SE/NE-SW é predominante em ambas as regiões, com uma pequena variação para WNW-ESE/NNE-SSW. Esta situação é visualizada na Figura 14 que traz um diagrama com todas as direções dos diques das ilhas Falkland–Malvinas somadas às direções da porção sudeste da Bacia do Karoo.



**Figura 14: Diagrama de rosetas com as direções de todos os diques da região dos enxames de diques das ilhas East, West Falkland (incluindo a região de Cape Orford) e da porção sudeste da Bacia do Karoo.**

Esta comparação somente é possível se considerarmos que o arquipélago das Falkland–Malvinas compunha a parte emersa de uma microplaca originalmente situada a sudeste do continente Africano na reconstrução paleogeográfica do Gondwana e que esta

sofrera uma rotação pós-fragmentação gondwânica de 180° (Adie, 1952). Ou seja, uma vez rotacionada em 180°, as direções originais dos diques das ilhas Falkland-Malvinas permaneceriam as mesmas, ocorrendo apenas a inversão dos mergulhos, estes não empregados na análise estrutural.

## 6.6 Datações $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ em diques das ilhas Falkland-Malvinas

A Figura 15, Figura 16 e Figura 17 mostram os espectros de  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  das análises referentes às amostras WF-28, WF-30 e WF-32 (Riccomini *et al.*, *em preparação*). Os platôs das idades obtidos por *Step heating* estão de acordo com a definição de Fleck (1977): “uma sequência de duas ou mais etapas (*steps*) correspondentes ao menos de 50% do total de  $^{39}\text{Ar}$  liberado, com os valores das idades dentro do valor médio de  $2\sigma$  calculado pela ponderação do inverso da distância”. Os resultados das três datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  apresentaram platôs bem definidos, o que indica que os cristais de plagioclásio analisados possuíam todo argônio nucleogênico e radiogênico aprisionado em sua estrutura cristalina e seu sistema permaneceu fechado durante toda sua história geológica. Portanto, as idades obtidas correspondem às idades de formação do mineral e, consequentemente, à idade de cristalização do magma que formou os diques. As amostras WF-28 R-1, WF-30 R-2 e WF-32 R-4 possuem idades de  $180\pm1,2$  Ma,  $178\pm2$  Ma e  $178,5\pm1,1$  Ma, respectivamente (Riccomini *et al.*, *em preparação*).

### $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Step-Heating Spectrum for Run 5345-02 (WF-28-R1)

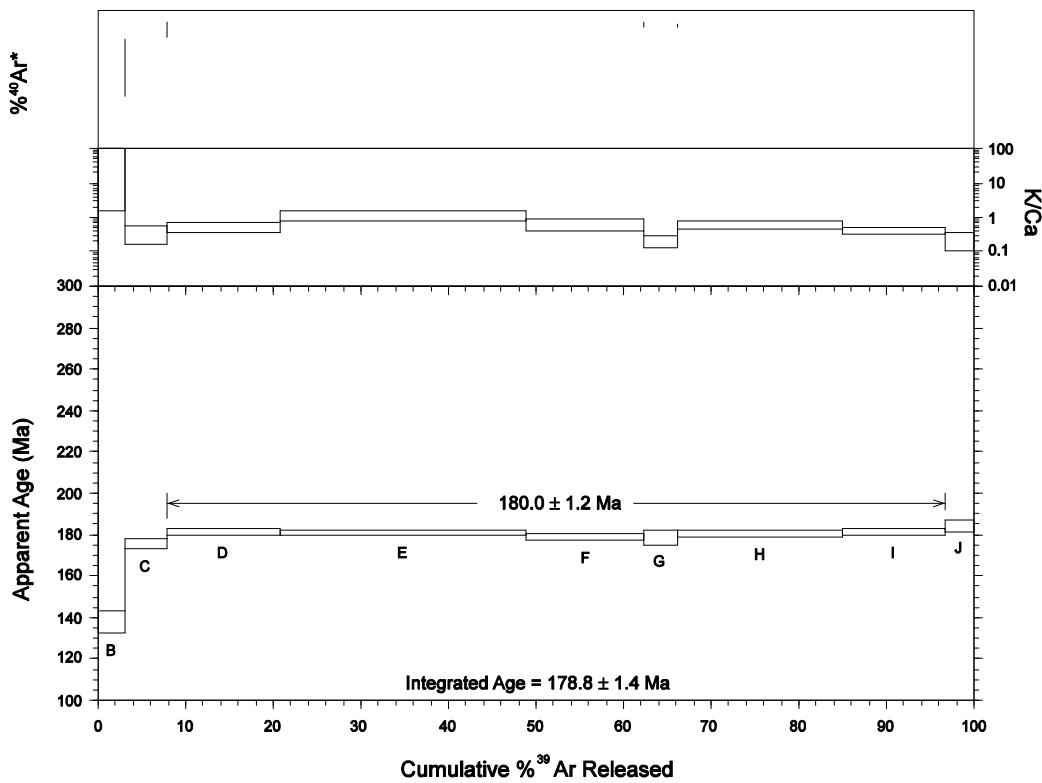


Figura 15: espectro de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  da análise referente a amostra do dique WF-28. Erro da idade demonstrado como  $\pm 2\sigma$ . Extraído de Riccomini et al. (em preparação).

### $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Step-Heating Spectrum for Run 5347-02 (WF-30 R-2)

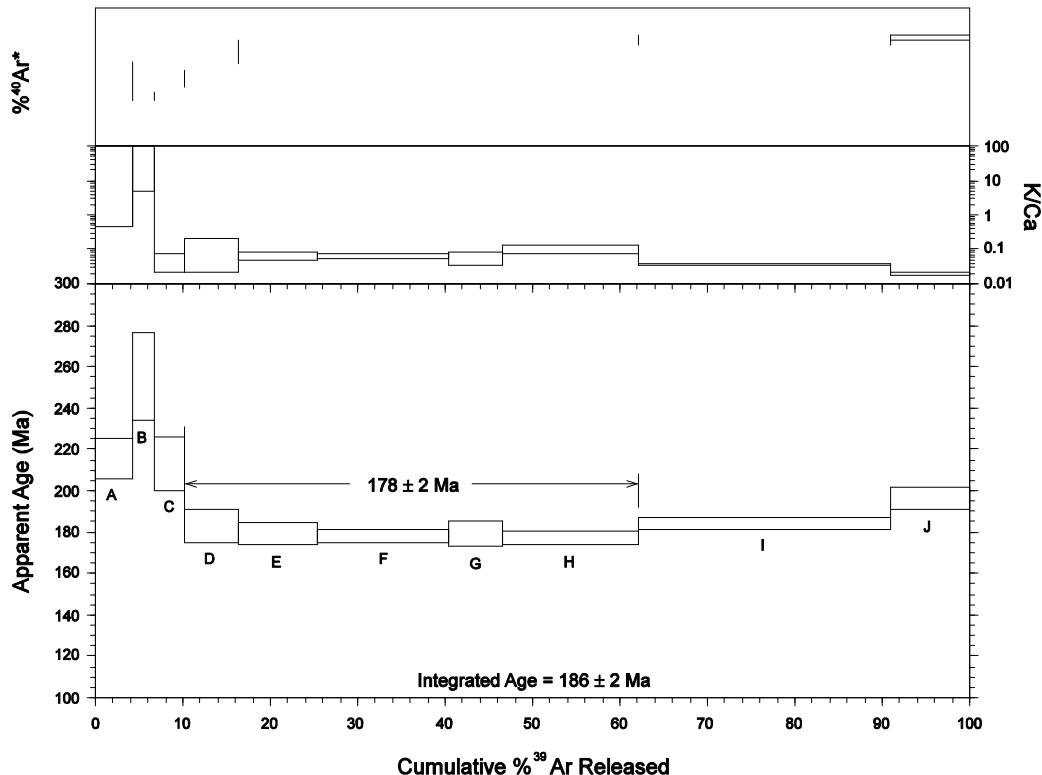


Figura 16: espectro de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  da análise referente a amostra do dique WF-30. Erro da idade demonstrado como  $\pm 2\sigma$ . Extraído de Riccomini et al. (em preparação).

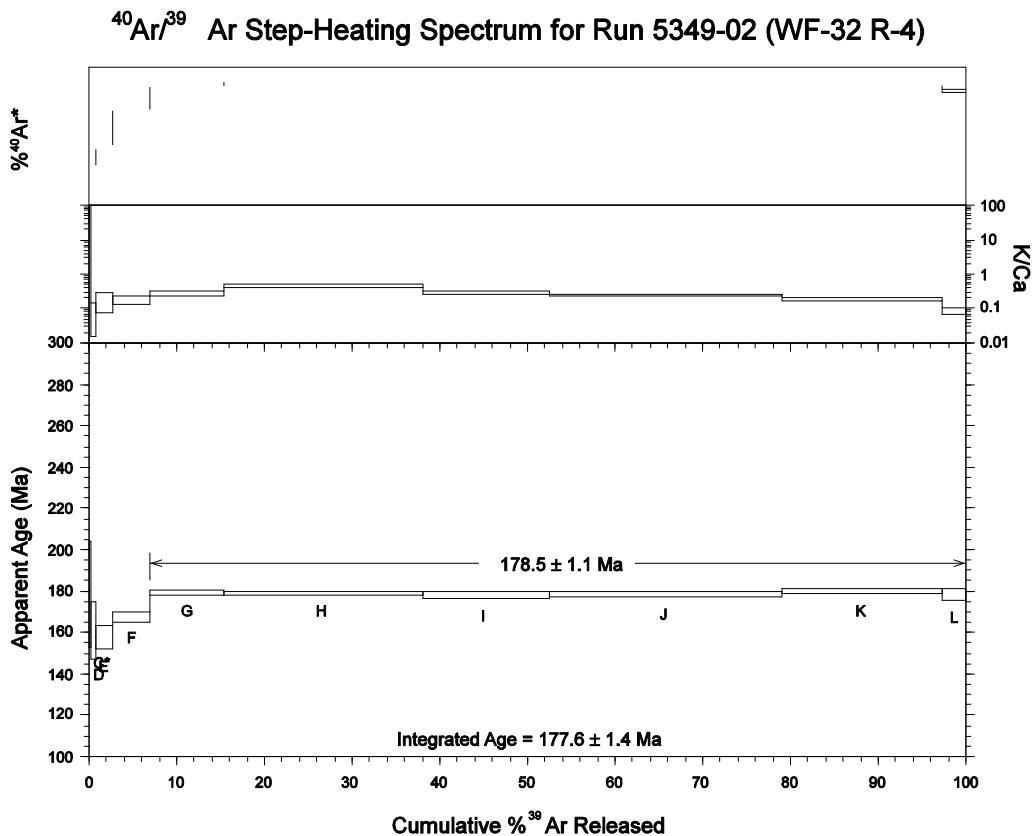


Figura 17: espectro de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  da análise referente a amostra do dique WF-32. Erro da idade demonstrado como  $\pm 2\sigma$ . Extraído de Riccomini *et al.* (em preparação).

## 7. Discussão dos resultados

Considerando a classificação dos enxames de diques das ilhas Falkland-Malvinas proposta por Stone *et al.* (2008), tem-se as amostras WF-28 e WF-30 como representantes do enxame de diques NE-SW e a amostra WF-32 como pertencente ao enxame radial. É importante ressaltar que a amostra WF-30, apesar de ser oriunda de um dique com direção N-S, tem idade de  $178 \pm 2$  Ma, o que exclui a possibilidade da amostra ser um representante do enxame de diques cretáceos N-S definidos por Stone *et al.* (2008).

Utilizando as idades obtidas por Cingolani & Varela (1976), Thistlewood *et al.* (1997) e Musset & Taylor (1994) e a nova idade da amostra WF-30, pode-se considerar que as idades do enxame radial variam em um intervalo de tempo de aproximadamente 192 Ma a 162 Ma. Desta mesma forma, os dados de Musset & Taylor (1994) e Stone *et al.* (2008), bem como as novas idades das amostras WF-28 e WF-30, mostram que o enxame NE-SW possui diques com idades pertencentes a um intervalo de aproximadamente 193 Ma a 178 Ma.

Como exposto preliminarmente, o enxame de dique radial não configura um enxame de diques com orientações aleatórias. Assim, pode-se considerar que os enxames radial e NE-

SW, definidos por e Stone et al. (2008), são correspondentes a apenas um enxame com um par ortogonal conjugado de direções preferencias WNW-ESE/NNE-SSW, com uma pequena variação para NW-SE/NE-SW. Adicionalmente, as idades do enxame radial e NE-SW não permitem distinguir geocronologicamente as duas direções como demonstrado acima. Ao contrário, sugerem que as duas direções envolvem diques colocados em épocas semelhantes. Este fato permite uma nova proposta de agrupamento dos enxames de diques radial e NE-SW em um único enxame com um par ortogonal conjugado de direções preferenciais WNW-ESE/NNE-SSW, que teria sido colocado no intervalo de tempo de 193 Ma a 162 Ma.

Considerando-se a maior precisão das três idades aqui apresentadas, é lícito considerar que enxame ortogonal conjugado com direções preferências WNW-ESE e NNE-SSW tenha sido colocado por volta de 180 Ma.

## 8. Conclusões

Com base nos dados das direções dos diques presentes no arquipélago das ilhas Falkland – Malvinas e na porção sudeste da Bacia do Karoo, bem como nos valores das três novas idades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  obtidas, é possível observar que o enxame de Cape Orford não configura um enxame de diques radiais e não há justificativas para que seja considerado um enxame individualizado em relação aos demais, conforme proposto por Stone *et al.* (2008).

O número de diques mapeados na ilha East Falkland é pequeno e estatisticamente pouco representativo, embora a direção NE-SW pareça ser predominante. Os diques da ilha West Falkland, exceto os de Cape Orford, apresentam direção NNE-SSW francamente predominante. Os diques da porção sudeste da Bacia do Karoo apresentam direções preferenciais NW-SE com uma pequena variação para NNW-SSE.

O fato de as ilhas Falkland–Malvinas e a porção sudeste da Bacia do Karoo possuírem diques com um par ortogonal de mesma direção preferencial WNW-ESE / NNE-SSW, com uma pequena variação para NW-SE/NE-SW, é um indicativo de que os esforços vigentes na época de pré-ruptura gondwânica eram os mesmos tanto para o arquipélago das ilhas Falkland-Malvinas como para a porção sudeste da Bacia do Karoo e que estas famílias de diques foram colocadas contemporaneamente. Isto configura mais um argumento favorável para o posicionamento das ilhas Falkland–Malvinas como parte emergente de uma microplaca originalmente situada a sudeste do continente Africano na reconstrução paleogeográfica pré-ruptura do Gondwana.

As três novas idades das amostras WF-28, WF-30 e WF-32 apresentam somente as idades de cristalização do magma que originou os diques, em torno de 180 Ma, e não a eventos tectônicos-termais posteriores.

Os dados sugerem que as duas direções dos diques das ilhas Falkland–Malvinas, WNW-ESE/NNE-SSW, variando para NW-SE/NE-SW, são conjugadas e coetâneas, num arranjo ortogonal à semelhança do que é observado no enxame de diques da porção sudeste da Bacia do Karoo. Essa disposição indicaria um encurtamento vertical (eixo de tensão principal máximo,  $\sigma_1$ , na direção vertical). A direção WNW-ESE corresponderia provavelmente à direção de  $\sigma_2$ , horizontal, e a NNE-SSW a de  $\sigma_3$ , horizontal. Este arranjo é semelhante ao de famílias de juntas conjugadas ortogonais de distensão (v.g. Caputo, 1995). Estas direções estão de acordo com o modelo de Marshall (1994) e indicam que estes diques estão relacionados às forças distensivas provocadas pela formação de um sistema inicial de cadeias mesoceânicas, envolvendo as recém fragmentadas microplacas do platô das Falkland–Malvinas, do banco Maurice Ewing, do platô da Agulhas e da cadeia de Moçambique no processo de fragmentação gondwânica. Os esforços distensivos associados a este evento possuíam direção NNE-SSW, igualmente à direção de  $\sigma_3$  proposta acima.

Do exposto, pode-se considerar que o arquipélago das ilhas Falkland–Malvinas possui somente dois enxames: o primeiro com um par ortogonal de direção preferencial WNW-ESE/NNE-SSW, variando para NW-SE/NE-SW, que está relacionado à ruptura godwânica, de idade em torno de 180 Ma; e o segundo N-S, que estaria relacionado a um novo regime de esforços distensionais com direção E-W, associado ao rifteamento da North Falkland Basin no Cretáceo (Stone *et al.*, 2008).

## 8. Referências bibliográficas

Adie R.J. 1952. The position of the Falkland Islands in a reconstruction of Gondwanaland. *Geological Magazine*, **89**: 401-410.

Aldiss D.T. & Edwards E.J. 1998. Geology of the Falkland Islands, Falkland Islands, Falkland Islands Government, mapa geológico, folhas East and West, escala 1:250.000.

Baer G., Beyth M., Reeches Z. 1994. Dikes emplaced into fractured basement, Timma Igneous Complex, Israel. *Journal of Geophysical Research*, **99**:24039-24050.

Baker H.A. 1924. Final report on geological investigation in the Falkland Islands, Government Printer, 325p.

Borrello A.V. 1963. *Sobre la geología de las Islas Malvinas*, Buenos Aires, Ediciones Cultura Argentina, 70p.

Caputo R. 1995. Evolution of orthogonal sets of coeval extension joints. *Terra Nova*, **7**:479-490.

Cingolani C.A. & Varela R. 1976. Investigaciones, geológicas y geochronológicas em el extremo sur de las islā Gran Malvinas, sector de Cabo Belgrano (Cape Meredith), Islas Malvinas, *In: Actas del 6º congreso Geológico Argentino*, **1**: 457-473.

Coetsee F. 1979. Geological map of South Africa, Geological Survey of South Africa, mapa geológico, folha Umtata, escala 1:250.000.

Coetsee F. 1988. Geological map of South Africa, Geological Survey of South Africa, mapa geológico, folha Durban, escala 1:250.000.

Cox K.G. 1992. Karoo igneous activity, and the early stages of the break-up of Gondwanaland, *In: Storey B.C (Ed.), Magmatism and the causes of continental break-up*, Geological Society, **68**: 137-148.

Curtis M.L. & Hyam D.M. 1998. Late Palaeozoic to Mesozoic structural evolution of the Falkland Islands: a displaced segment of the Cape Fold Belt. *Journal Geological Society*, **155**: 115-129.

Dalziel I.W.D. & Grunow A.M. 1992. Late Gonwanide tectonic rotations within Gondwanaland, *Tectonics*, **11**: 603-606.

Eales H.V., Marsh J.S., Cox K.G. 1984. The Karoo igneous province: an introduction, *In: Erlank A.J. (Ed.) Petrogenesis of the Volcanic Rocks of the Karoo Province*, Geological Society Special Publication of South Africa, **13**:1-26.

<http://Falkland.gov.fk>, acessado em: 26/03/2012.

Faure G., Mensing T.M. 2005. Isotopes – Principles and Application (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc. 897 p.

Fleck R.J., Sutter J.F., Elliot D.H. 1977. Interpretation of discordant  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age-spectra of Mesozoic tholeiites from Antarctica, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **41**:15-32.

Gomez C. S. 2001. A catalogue of dykes from aeromagnetic surveys in eastern and southern Africa, ITC publication, 80p.

Greenway M.E. 1972. *The geology of the Falkland Islands*, Antartical Science, 42p.

- Grohmann C.H., Campanha G.A.C. 2001. *Open Stereo versão 1.2*, software livre.
- Grunow A.M., Kent D.V., Dalziel I.W.D. 1991. New paleomagnetic data from Thurston Island: Implications for the tectonics of West Antarctica and Weddell Sea opening, *Journal of Geophysics*, **96**: 935-954.
- Hornsved H., Keyser A. W., Johnson M. R. 1976. Geological map of South Africa, Geological Survey of South Africa, mapa geológico, folha King William's Town, escala 1:250.000.
- Jourdan F., Féraud G., Bertrand H., Kampunzu A.B., Tshoso G., Watkeys M.K., Le Gall B. 2005. The Karoo large igneous province: brevity, origin, and relation with mass extinction questioned by new  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age data, *Geology*, **33**:745-748.
- Jourdan F., Féraud G., Bertrand H., Watkeys M.K., Kampunzu A.B., Le Gall B. 2006. Basement control on dyke distribution in Large Igneous Provinces: Case study of the Karoo triple junction, *Earth and Planetary Science Letters*, **241**: 307-322
- Kuiper K.F., Deino A., Hilgen F.J., Krijgsman W., Renne P.R., and Wijbrans J.B., 2008. Synchronizing Rock Clocks of Earth History, *Science*, **320**: 500-504.
- Le Gall B., Tshoso G., Jourdan F., Féraud G., Bertrand H., Tiercelin J.J., Kampunzu A.B., Modisi M.P., Dymant M., Maia J. 2002.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and structural data from the giant Okavango and related mafic dyke swarms, Karoo igneous province, Botswana, *Earth Planet Science*, **202**: 595-606.
- Le Gall G., Tshoso G., Dymant J., Kampunzu A.B., Jourdan F., Féraud G., Bertrand H., Aubourg C., Vétel W. 2005. The Okavango giant mafic dyke swarm (NE Botswana): its structural significance within the Karoo Large Igneous Province, *Journal of structural Geology*, **27**: 2234-2255.
- Nortman L.E. & Coetsee F. 1981. Geological map of South Africa, Geological Survey of South Africa, mapa geológico, folha Drakensberg, escala 1:250.000.
- Nortman L.E. & Coetsee F. 1981. Geological map of South Africa, Geological Survey of South Africa, mapa geológico, folha Kokstad, escala 1:250.000.
- Marshall J.E.A. 1994. The Falkland Islands: a key element in Gondwana paleogeography. *Tectonics*, **13**: 499-514.
- Martin A.K., Hartnady C.J.H., Goodlad S.W. 1981. A revised fit of South America and South Central Africa, *Earth Planet Science Letters*, **54**: 293-305.

- Mitchell J. G. 1968. The argon-40/argon-39 method for potassium-argon age determination. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **32**: 781-790.
- Mitchell C., Taylor G.K., Cox K.G., Shaw J. 1986. Are the Falkland Islands a rotated microplate?, *Nature*, **319**: 131-134.
- Musset A.E. & Taylor G.K. 1994.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  ages for dykes from the Falkland Islands with implications for the breakup of southern Gondwanaland. *Journal of the Geological Society*, **151**: 79-81.
- Rabinowitz P.D & LaBrecque J. 1979. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins, *Journal Geophysical Research*, **84**:5973-6002.
- Rapela C.W. & Pankhurst R.J. 1992. The granites of northern Patagonia and the Gastre Fault System in relation to the breakup of Gondwana, *In*: Storey B.C (Ed.), Magmatism and the Causes of Continental Break-up, Geological Society Special Publications, **68**: 209-220.
- Riccomini C., Tohver E., Contessotto R., Thiede D., Vasconcelos P., em preparação. New  $^{40}\text{Ar}$ / $^{39}\text{Ar}$  ages for Jurassic dykes of the West Falkland Islands and the regional stress field during their emplacement.
- Steiger R. H. & Jäger E., 1977. Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry: *Earth and Planetary Science Letters*, **36**: 359-362.
- Stone P., Richards P.C., Kimbell G.S., Esser R.P., Reeves D. 2008. Cretaceous dykes discovered in the Falkland Islands: implications for regional tectonics in South Atlantic. *Journal of the Geological Society*, **165**: 1-4.
- Storey B.C., Curtis M.L., Ferris J.K., Hunter M.A., Livermore R.A. 1999. Reconstruction and break-out model for the Falkland Islands within Gondwana. *Journal of African Earth Sciences*, **29**: 153-163.
- Taylor G.K. & Shaw J. 1989. The Falkland Islands: new paleomagnetic data and their origin as a displaced terrane from southern Africa. *In*: Hillhouse J.W. (ed) *Deep structure and past kinematics of accreted terranes*. Geophysical Monograph, International Union Geodesy and Geophysics, **5**, 59-72.
- Thistlewood L., Leat P.T., Storey B.C., Millar I.L., Vaughan A.P.M. 1997. Basement geology and Palaeozoic-Mesozoic mafic dykes from the Cape Meredith Complex, Falkland Islands: records of several periods of intracontinental extension, *Geological Magazine*, **143**: 355-367.

Thisstlewood L., Randal D.E. 1998. Palaeomagnetic studies of West Gondwanan microplates, *Journal of African Earth Sciences*, **27 (1A)**: 227-237.

Thomas R.J., Jacobs J., Weber K. 1997. Geology of the Mesoproterozoic Cape Meredith, West Falkland. In: Ricci C.A., (Ed.), *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, Siena, Terra Antartica Publication, **1**: 21-30.

Uken R. & Watkeys M.K. 1997. An interpretation of mafic dyke swarms and their relationship with major mafic magmatic events on the Kaapvaal Craton and Limpopo Belt, *South Africa Journal of Geology*, **100**:341-348.

Vasconcelos P.M., Onoe A.T., Kawashita K., Soares A.J., and Teixeira W., 2002.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology at the Instituto de Geociências, USP: instrumentation, analytical procedures, and calibration, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, **74**: 297-342.

Wilkinson K. J., Coetsee F. 1982. Geological map of South Africa, Geological Survey of South Africa, mapa geológico, folha Queenstown, escala 1:250.000.

Zoback M.L. 1992. First- and second order patterns of stress in the lithosphere: the World Stress Map. *Journal of Geophysical Research*, **97**:11703-11728.

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
East Falkland	1	030	89
East Falkland	2	320	89
East Falkland	3	356	89
East Falkland	4	042	89
East Falkland	5	030	89
East Falkland	6	038	89
East Falkland	7	042	89
West Falkland	1	032	89
West Falkland	2	041	89
West Falkland	3	091	89
West Falkland	4	000	89
West Falkland	5	092	89
West Falkland	6	085	89
West Falkland	7	090	89
West Falkland	8	012	89
West Falkland	9	000	89
West Falkland	10	345	89
West Falkland	11	018	89
West Falkland	12	010	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
West Falkland	13	024	89
West Falkland	14	025	89
West Falkland	15	090	89
West Falkland	16	012	89
West Falkland	17	016	89
West Falkland	18	018	89
West Falkland	19	035	89
West Falkland	20	034	89
West Falkland	21	345	89
West Falkland	22	356	89
West Falkland	23	016	89
West Falkland	24	050	89
West Falkland	25	030	89
West Falkland	26	008	89
West Falkland	27	052	89
West Falkland	28	052	89
West Falkland	29	355	89
West Falkland	30	005	89
West Falkland	31	028	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Cape Orford	1	130	89
Cape Orford	2	162	89
Cape Orford	3	132	89
Cape Orford	4	110	89
Cape Orford	5	110	89
Cape Orford	6	077	89
Cape Orford	7	130	89
Cape Orford	8	112	89
Cape Orford	9	111	89
Cape Orford	10	112	89
Cape Orford	11	057	89
Cape Orford	12	040	89
Cape Orford	13	040	89
Cape Orford	14	126	89
Cape Orford	15	087	89
Cape Orford	16	356	89
Cape Orford	17	300	89
Cape Orford	18	300	89
Cape Orford	19	300	89
Cape Orford	20	300	89
Cape Orford	21	300	89
Cape Orford	22	300	89
Cape Orford	23	032	89
Cape Orford	24	032	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Cape Orford	25	300	89
Cape Orford	26	300	89
Cape Orford	27	300	89
Cape Orford	28	300	89
Cape Orford	29	300	89
Cape Orford	30	300	89
Cape Orford	31	300	89
Cape Orford	32	300	89
Cape Orford	33	300	89
Cape Orford	34	300	89
Cape Orford	35	300	89
Cape Orford	36	300	89
Cape Orford	37	322	89
Cape Orford	38	120	89
Cape Orford	39	114	89
Cape Orford	40	115	89
Cape Orford	41	115	89
Cape Orford	42	122	89
Cape Orford	43	090	89
Cape Orford	44	090	89
Cape Orford	45	090	89
Cape Orford	46	124	89
Cape Orford	47	124	89
Cape Orford	48	030	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Cape Orford	49	030	89
Cape Orford	50	033	89
Cape Orford	51	033	89
Cape Orford	52	033	89
Cape Orford	53	033	89
Cape Orford	54	033	89
Cape Orford	55	035	89
Cape Orford	56	033	89
Cape Orford	57	033	89
Cape Orford	58	033	89
Cape Orford	59	033	89
Cape Orford	60	033	89
Cape Orford	61	033	89
Cape Orford	62	025	89
Cape Orford	63	025	89
Cape Orford	64	000	89
Cape Orford	65	000	89
Cape Orford	66	105	89
Cape Orford	67	105	89
Cape Orford	68	105	89
Cape Orford	69	120	89
Cape Orford	70	138	89
Cape Orford	71	125	89
Cape Orford	72	125	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Cape Orford	73	125	89
Cape Orford	74	125	89
Cape Orford	75	125	89
Cape Orford	76	125	89
Cape Orford	77	125	89
Cape Orford	78	125	89
King William's Town	1	132	89
King William's Town	2	060	89
King William's Town	3	050	89
King William's Town	4	071	89
King William's Town	5	070	89
King William's Town	6	072	89
King William's Town	7	325	89
King William's Town	8	075	89
King William's Town	9	083	89
King William's Town	10	009	89
King William's Town	11	050	89
King William's Town	12	305	89
King William's Town	13	060	89
King William's Town	14	355	89
King William's Town	15	030	89
King William's Town	16	325	89
King William's Town	17	086	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
King William's Town	18	092	89
King William's Town	19	285	89
King William's Town	20	312	89
King William's Town	21	332	89
King William's Town	22	088	89
King William's Town	23	054	89
King William's Town	24	340	89
King William's Town	25	340	89
King William's Town	26	000	89
King William's Town	27	010	89
King William's Town	28	075	89
King William's Town	29	330	89
King William's Town	30	090	89
King William's Town	31	335	89
King William's Town	32	100	89
King William's Town	33	020	89
King William's Town	34	316	89
King William's Town	35	312	89
King William's Town	36	220	89
King William's Town	37	305	89
King William's Town	38	012	89
King William's Town	39	140	89
King William's Town	40	020	89
King William's Town	41	020	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
King William's Town	42	315	89
King William's Town	43	090	89
King William's Town	44	035	89
King William's Town	45	030	89
King William's Town	46	018	89
King William's Town	47	005	89
King William's Town	48	100	89
King William's Town	49	095	89
King William's Town	50	101	89
King William's Town	51	010	89
King William's Town	52	002	89
King William's Town	53	023	89
King William's Town	54	065	89
King William's Town	55	130	89
King William's Town	56	120	89
King William's Town	57	100	89
King William's Town	58	154	89
King William's Town	59	030	89
King William's Town	60	030	89
King William's Town	61	080	89
King William's Town	62	145	89
King William's Town	63	035	89
King William's Town	64	330	89
King William's Town	65	040	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
King William's Town	66	092	89
King William's Town	67	025	89
Queenstown	68	340	89
Queenstown	69	332	89
Queenstown	70	310	89
Queenstown	71	005	89
Queenstown	72	025	89
Queenstown	73	338	89
Queenstown	74	340	89
Queenstown	75	335	89
Queenstown	76	020	89
Queenstown	77	340	89
Queenstown	78	280	89
Queenstown	79	025	89
Queenstown	80	320	89
Queenstown	81	025	89
Queenstown	82	025	89
Queenstown	83	345	89
Queenstown	84	090	89
Queenstown	85	090	89
Queenstown	86	323	89
Queenstown	87	320	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Queenstown	88	065	89
Queenstown	89	065	89
Queenstown	90	320	89
Queenstown	91	068	89
Queenstown	92	309	89
Queenstown	93	309	89
Queenstown	94	030	89
Queenstown	95	290	89
Queenstown	96	320	89
Queenstown	97	015	89
Queenstown	98	300	89
Queenstown	99	300	89
Queenstown	100	045	89
Queenstown	101	080	89
Queenstown	102	010	89
Queenstown	103	320	89
Queenstown	104	310	89
Queenstown	105	325	89
Queenstown	106	033	89
Queenstown	107	325	89
Queenstown	108	030	89
Queenstown	109	315	89
Queenstown	110	015	89
Queenstown	111	350	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Queenstown	112	100	89
Queenstown	113	095	89
Queenstown	114	090	89
Queenstown	115	102	89
Queenstown	116	050	89
Queenstown	117	055	89
Queenstown	118	062	89
Queenstown	119	070	89
Queenstown	120	305	89
Queenstown	121	325	89
Queenstown	122	355	89
Queenstown	123	330	89
Queenstown	124	065	89
Queenstown	125	055	89
Queenstown	126	355	89
Queenstown	127	045	89
Queenstown	128	035	89
Queenstown	129	080	89
Queenstown	130	075	89
Umtata	131	040	89
Umtata	132	070	89
Umtata	133	072	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Umtata	134	295	89
Umtata	135	288	89
Umtata	136	320	89
Umtata	137	325	89
Umtata	138	326	89
Umtata	139	332	89
Umtata	140	305	89
Umtata	141	304	89
Umtata	142	060	89
Umtata	143	065	89
Umtata	144	110	89
Umtata	145	285	89
Umtata	146	055	89
Umtata	147	345	89
Umtata	148	310	89
Umtata	149	025	89
Umtata	150	080	89
Umtata	151	025	89
Umtata	152	265	89
Umtata	153	075	89
Umtata	154	305	89
Umtata	155	290	89
Umtata	156	310	89
Umtata	157	315	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Umtata	158	320	89
Umtata	159	070	89
Umtata	160	320	89
Umtata	161	315	89
Umtata	162	075	89
Umtata	163	315	89
Umtata	164	290	89
Umtata	165	322	89
Umtata	166	301	89
Umtata	167	305	89
Umtata	168	332	89
Umtata	169	052	89
Umtata	170	085	89
Durban	171	080	89
Durban	172	300	89
Durban	173	062	89
Durban	174	312	89
Durban	175	293	89
Durban	176	060	89
Durban	177	330	89
Durban	178	335	89
Durban	179	055	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Durban	180	314	89
Durban	181	020	89
Durban	182	290	89
Durban	183	070	89
Durban	184	070	89
Durban	185	090	89
Durban	186	090	89
Durban	187	085	89
Durban	188	050	89
Durban	189	350	89
Kokstad	190	050	89
Kokstad	191	026	89
Kokstad	192	021	89
Kokstad	193	340	89
Kokstad	194	305	89
Kokstad	195	300	89
Kokstad	196	010	89
Kokstad	197	352	89
Kokstad	198	315	89
Kokstad	199	355	89
Kokstad	200	080	89
Kokstad	201	350	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Kokstad	202	295	89
Kokstad	203	318	89
Kokstad	204	045	89
Kokstad	205	310	89
Kokstad	206	010	89
Kokstad	207	075	89
Kokstad	208	285	89
Kokstad	209	350	89
Kokstad	210	323	89
Kokstad	211	005	89
Kokstad	212	281	89
Kokstad	213	045	89
Kokstad	214	020	89
Kokstad	215	070	89
Kokstad	216	311	89
Kokstad	217	305	89
Kokstad	218	065	89
Kokstad	219	294	89
Kokstad	220	306	89
Kokstad	221	335	89
Kokstad	222	080	89
Kokstad	223	310	89
Kokstad	224	320	89
Kokstad	225	330	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Kokstad	226	310	89
Kokstad	227	340	89
Kokstad	228	310	89
Drakensberg	229	355	89
Drakensberg	230	076	89
Drakensberg	231	311	89
Drakensberg	232	302	89
Drakensberg	233	310	89
Drakensberg	234	045	89
Drakensberg	235	310	89
Drakensberg	236	322	89
Drakensberg	237	091	89
Drakensberg	238	310	89
Drakensberg	239	308	89
Drakensberg	240	304	89
Drakensberg	241	005	89
Drakensberg	242	028	89
Drakensberg	243	301	89
Drakensberg	244	275	89
Drakensberg	245	010	89
Drakensberg	246	320	89
Drakensberg	247	310	89

## ANEXO I

### Atitudes dos diques das ilhas Falkland – Malvinas e da porção sudeste da Bacia do Karoo

Região	Nº do Dique	Azimute	Mergulho
Drakensberg	248	295	89
Drakensberg	249	300	89
Drakensberg	250	313	89
Drakensberg	251	020	89
Drakensberg	252	300	89
Drakensberg	253	080	89