

5 ESTUDOS GRAVIMÉTRICOS E MAGNETOMÉTRICOS

Os métodos potenciais são conhecidos como uma ferramenta útil nos estudos regionais por auxiliarem no entendimento de questões referentes à estruturação observada. No *offshore* do Oeste Africano SubSaariano, os dados gravimétricos e magnetométricos foram utilizados para mapeamento e predição da continuidade lateral das estruturas, de modo a permitir a elaboração do arcabouço tectônico da margem rifteada, que é caracterizada pela coexistência de distintos tipos: margem rica em magma, margem pobre em magma e margem transformante.

Dentro dos estudos realizados, a modelagem gravimétrica 2D foi essencial para a validação da estruturação proposta.

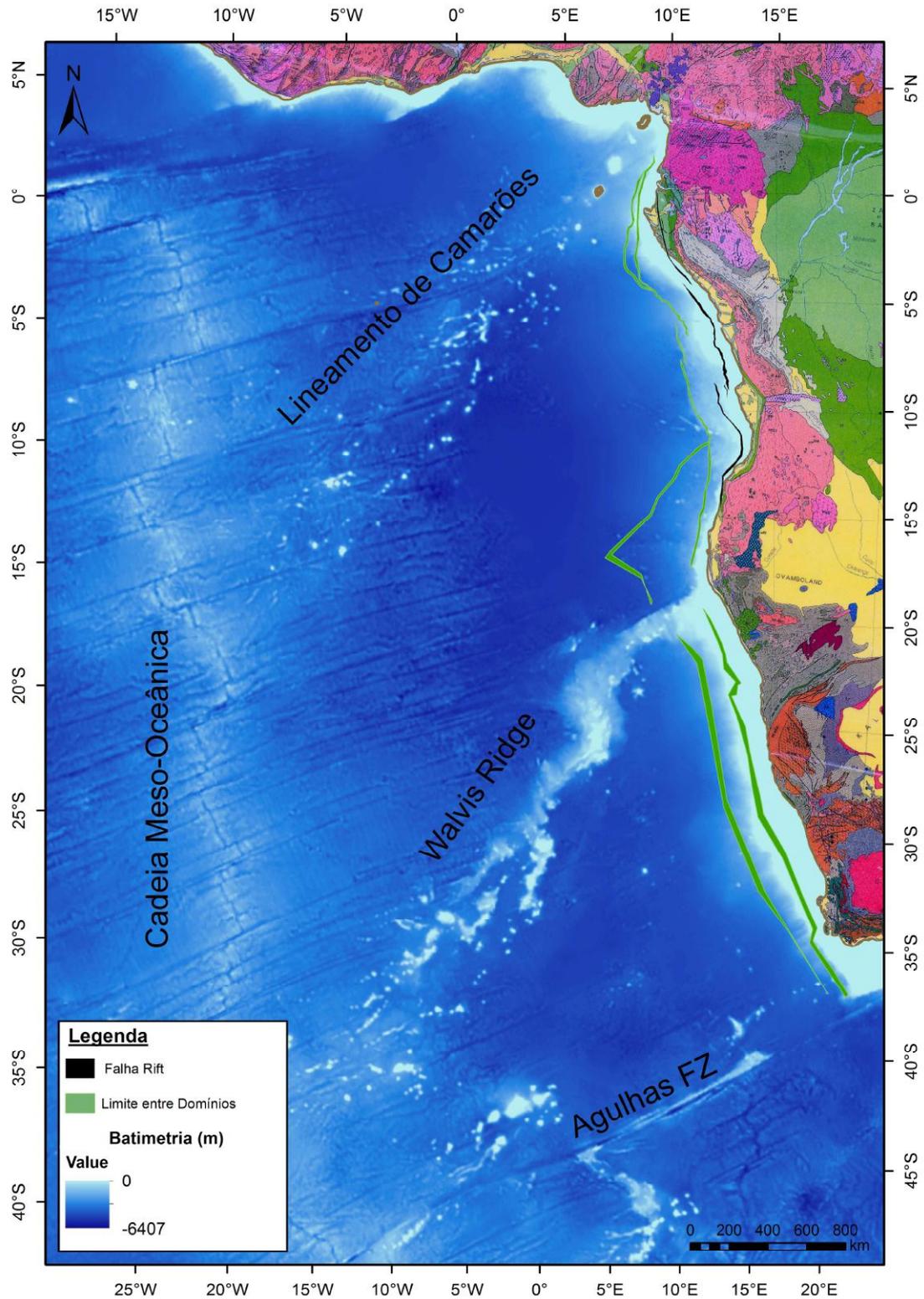
É importante ressaltar que todo o trabalho de gravimetria e magnetometria foi elaborado em parceria com a Luizemara Soares Alves Szameitat, M.Sc.

5.1 Base de Dados

Os dados batimétricos utilizados são dados da Universidade de San Diego – USA de SMITH & SANDWELL (1997), obtidos com radar altímetro, em um *grid* com cela de 4000 m (Figura 47).

A Figura 48 mostra o mapa de Anomalia de Ar-Livre integrado do Oeste Africano, com cela de 4000 m, dados de SANDWELL & SMITH (2009), onde se destaca a Cadeia Meso-Oceânica, as falhas transformantes, a Walvis Ridge, o Lineamento de Camarões e a Sumbe Chain.

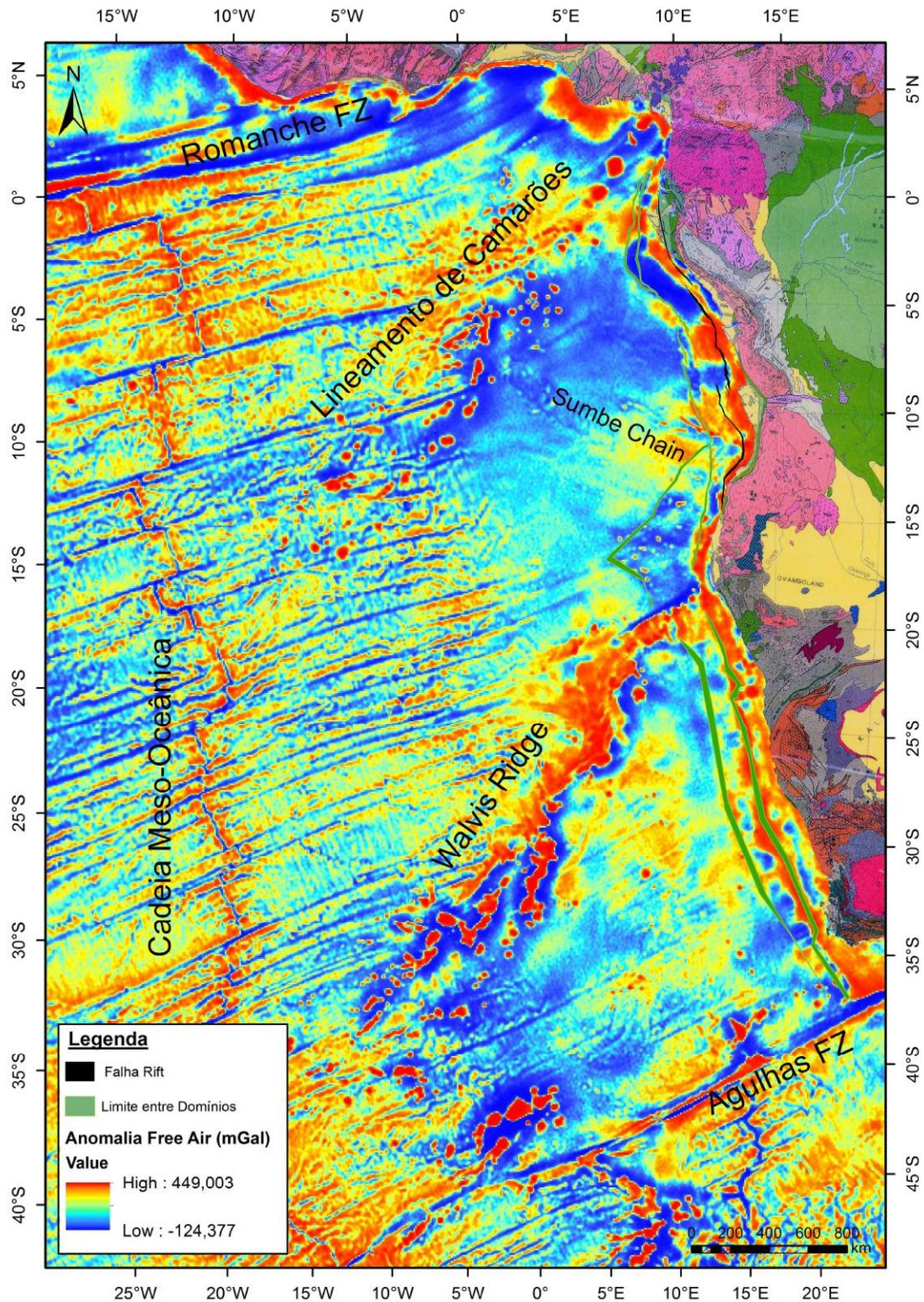
Figura 47 – Mapa batimétrico do Oeste Africano SubSaariano.



Nota: Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

Figura 48 – Mapa gravimétrico de Anomalia de Ar-Livre do Oeste Africano do Oeste Africano SubSaariano.

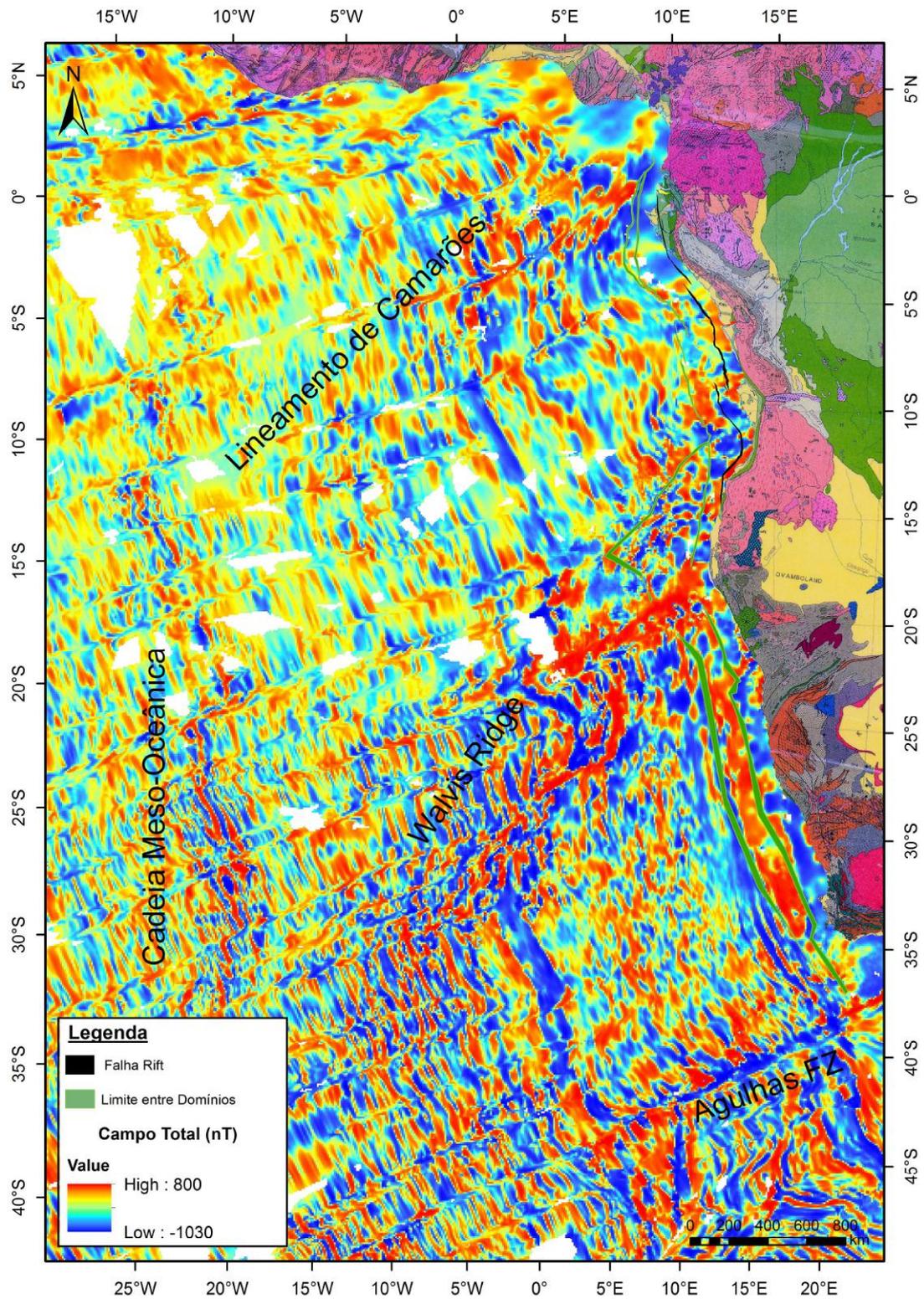


Nota: Observar que a região localizada entre as ocorrências das falhas transformantes e a margem rifteada é caracterizada por um padrão de textura suave com predomínio da baixa amplitude, distinto das demais regiões. Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

A base de dados de intensidade do campo total magnético (Figura 49), subtraído do IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*), é apresentada em MAUS et al. (2009). Estes dados fazem parte de uma malha que cobre todo o globo, composta por uma coletânea de levantamentos marítimos, aéreos, e também de dados obtidos por modelos geológicos sintéticos para áreas que não possuem dados, mas onde a geologia é conhecida. MAUS et al. (op. cit.) mostram que os dados na costa do Oeste Africano são pouco densos em comparação com outras áreas do globo. Por estas ressalvas, é aconselhável utilizar estes dados magnéticos regionais com cautela. Com isso, este dado será utilizado, neste trabalho, apenas para observação regional. Além disso, como a área analisada apresenta dimensão continental e, portanto, contém um grande número de anomalias com diferentes características de magnetização, considerou-se que não haveria ganho no uso do dado reduzido ao polo.

Figura 49 – Mapa magnetométrico regional de Campo Total do Oeste Africano SubSaariano.



Nota: Celas de 2.500 metros; dados retirados de MAUS et al. (2009). Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

5.2 Análise dos dados e filtros aplicados

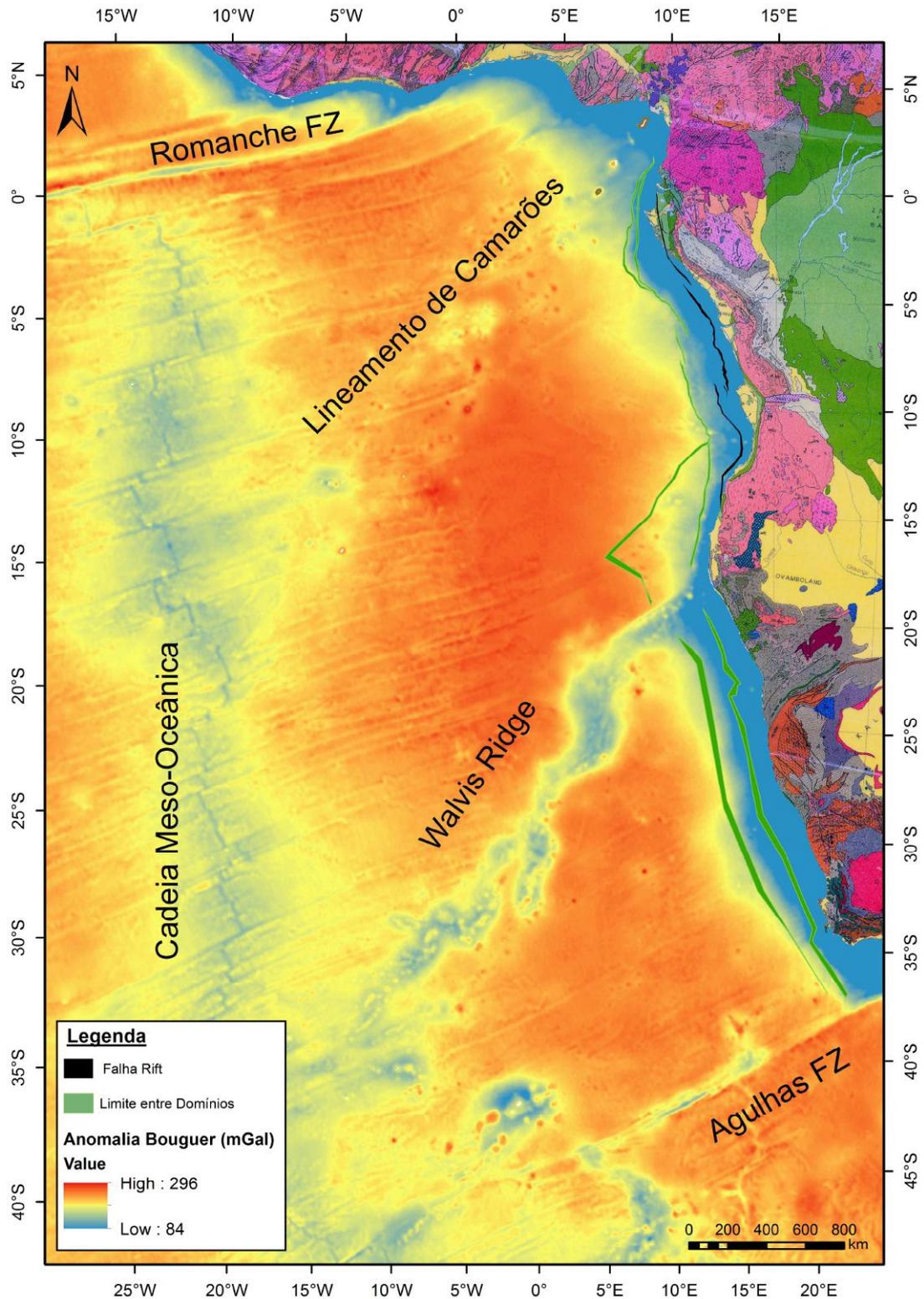
Ao se tratar de dados gravimétricos, a resposta observada é um somatório dos efeitos de deformação do campo gravitacional terrestre gerado por todas as fontes que estão lateralmente próximas e abaixo do ponto medido, que apresentam massas anômalas quando comparadas com o meio onde se encontram. As anomalias gravimétricas são negativas ou positivas, a depender do contraste de densidade do corpo geológico com o meio, sendo negativas quando o corpo possuir uma densidade menor que o meio, e positivas em caso contrário.

No caso dos dados magnéticos, a interpretação é mais complexa, pois envolve a análise de outros aspectos, além do valor numérico da susceptibilidade magnética. Enquanto a gravimetria trabalha com um parâmetro onde, para uma mesma profundidade, as anomalias irão variar apenas com a densidade do material, ou seja, opera com um campo monopolar; na magnetometria, as anomalias irão sofrer influência da configuração do campo magnético terrestre atual, e serão o resultado da interação deste campo magnético com a direção de magnetização remanescente dos minerais da rocha em estudo. Além disso, os valores de densidade variam dentro de uma ordem de magnitude, enquanto que os valores de susceptibilidade variam até cinco ordens. Com isso, o risco de erro na interpretação geológica de anomalias magnéticas é mais elevado.

A análise dos dados foi realizada através de testes com filtros, buscando a assinatura dos principais elementos arquitetônicos identificados. Para uma abordagem mais interpretativa dos dados, é uma prática comum a composição de um conjunto de mapas com diversas informações diferentes, extraídas do dado inicial processado. Para tal, os dados gravimétricos e magnéticos iniciais, respectivamente anomalia de ar-livre e a anomalia de campo total, passam por processos de filtragem. Em geral, primeiramente, a partir dos dados gravimétricos é criado um mapa de Anomalia Bouguer e, com os dados magnéticos, são compostos os mapas de redução ao polo e amplitude do sinal analítico. Alguns outros filtros, que podem adicionalmente ser aplicados são as derivadas verticais, horizontais e Tilt (TDR) (MILLER & SINGH, 1994; VERDUZCO et al., 2004), o mapa de gradiente horizontal total, o filtro de amplitude do sinal analítico e os filtros passa banda (BLAKELY, 1996; TELFORD et al., 1990).

O mapa de Anomalia Bouguer da margem rifteada do Oeste Africano (Figura 50) foi derivado dos dados de Anomalia de Ar-livre, calculado utilizando uma densidade constante para a correção do efeito gravimétrico do contraste entre a lâmina d'água e a superfície batimétrica. Após alguns testes utilizando diversas densidades para a correção Bouguer, foi selecionado o valor de 2.2 g/cm^3 (contraste de 1.17 g/cm^3). Nas regiões de bacias sedimentares, a baixa densidade no cálculo do efeito gravimétrico da massa de água permite uma melhor correção média dos sedimentos, e com isso, resulta em uma melhor expressão gravimétrica de corpos internos anômalos e feições do embasamento. No entanto, o uso do baixo contraste de densidade entre a água e o fundo oceânico implica que nas áreas de maior densidade e onde não há cobertura sedimentar (como sobre montes vulcânicos, por exemplo), a correção é subestimada, fazendo com que a resposta gravimétrica seja acentuada, o que pode auxiliar na localização e observação dos corpos de maior densidade, tendo em mente a correção utilizada.

Figura 50 – Mapa gravimétrico de Anomalia Bouguer do Oeste Africano SubSaariano.



Nota: Mapa gravimétrico calculado com contraste de densidade (água x bacia) de 1.17g/cm^3 . Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

A partir dos mapas gerados, as assinaturas gravimétricas e magnéticas foram analisadas de forma qualitativa, através da filtragem dos dados, buscando, deste modo, estabelecer correlações com as interpretações geológicas existentes. Os filtros utilizados para representar a assinatura dos domínios geológicos pesquisados foram: gradiente horizontal total, primeira derivada vertical, amplitude do sinal analítico e integral vertical (Figura 51). A seguir será realizada uma pequena explanação sobre cada uma dessas metodologias.

O filtro de gradiente horizontal total (BLAKELY & SIMPSON, 1986) utiliza os filtros de derivadas horizontais em x e em y para indicar mudanças abruptas horizontais na propriedade física analisada. Como resultado, os máximos indicados no filtro de gradiente horizontal total tenderão a estar nas bordas da fonte da anomalia (BLAKELY, 1996), sendo o ponto médio da superfície de contato da borda do corpo.

O filtro de derivada vertical amplifica as respostas de baixo comprimento de onda e alta frequência, e minimiza as anomalias de grande comprimento de onda e baixa frequência. Ou seja, a derivada na direção z é utilizada principalmente para estudos de fontes rasas em gravimetria e em magnetometria, em geral a primeira e a segunda ordem desta derivada. O resultado deverá apresentar anomalias nas bordas destas fontes rasas.

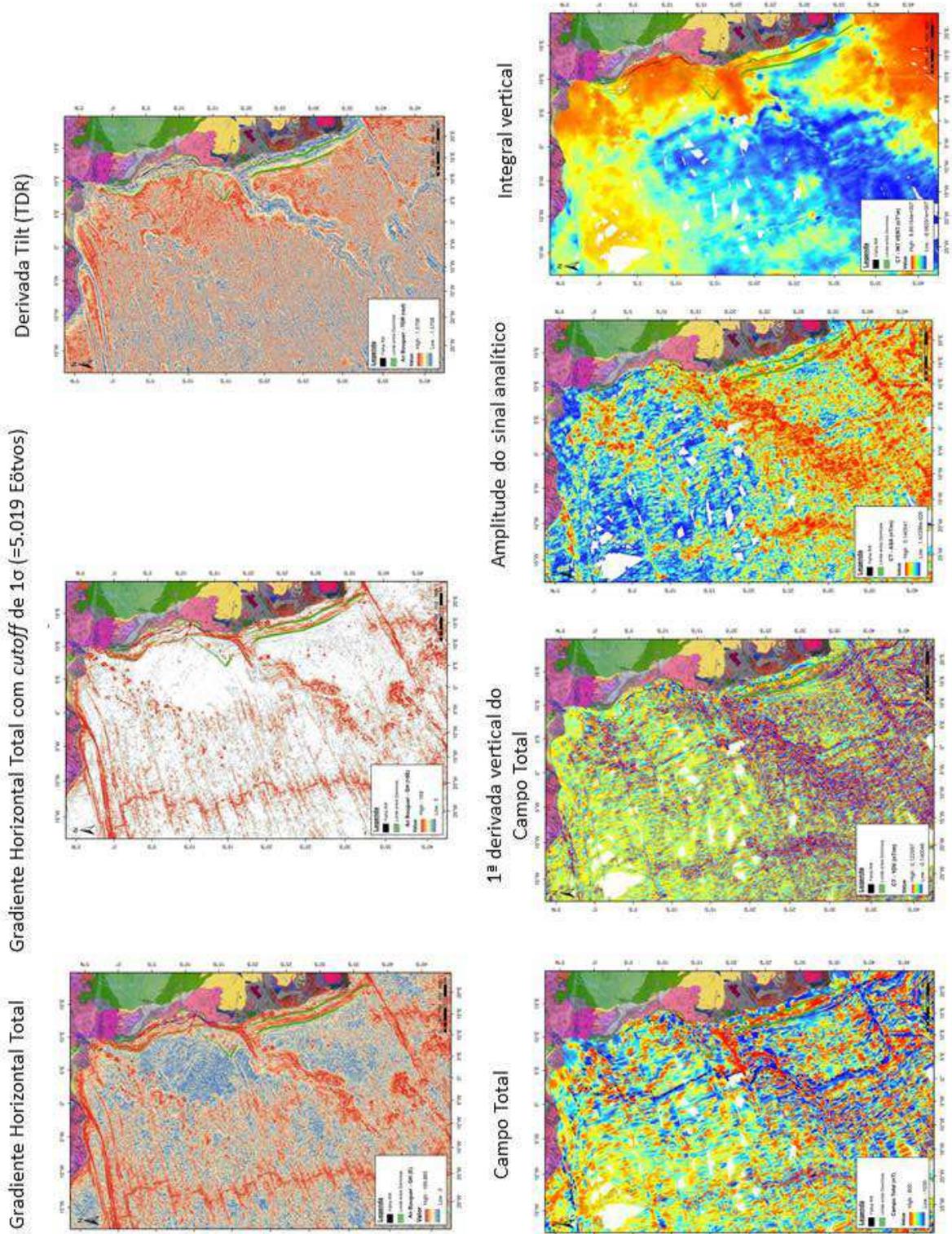
O filtro derivada Tilt (TDR), ou ângulo Tilt, é definido como o arco tangente da derivada vertical sobre a derivada horizontal total (MILLER & SINGH, 1994; VERDUZCO et al., 2004), de modo que sempre apresenta valores entre $+90^\circ$ e -90° , pela natureza da função trigonométrica *arctan*, independentemente da amplitude da derivada vertical ou do valor absoluto do gradiente horizontal total. Como se comporta como um filtro de controle de ganho, onde as amplitudes de saída tendem a ser igualadas (VERDUZCO et al., 2004), o resultado da aplicação desta derivada será menos sensível à profundidade da fonte; o filtro resolve, igualmente bem, fontes rasas e profundas (RAJARAM, 2009). Outra característica deste filtro é o posicionamento da anomalia positiva sobre a fonte e a anomalia negativa fora da fonte. O valor zero se posiciona próximo do limite do corpo-alvo, para um corpo com contato vertical, no caso da gravimetria (MILLER & SINGH, 1994), ou para anomalias magnéticas reduzidas ao polo (RAJARAM, 2009). A derivada Tilt (TDR), por vezes, fornece uma resposta visual próxima à resposta exibida pela primeira derivada, pois também reporta aos contatos de corpos com densidades distintas. Seu diferencial é que privilegia a continuidade das anomalias e a equalização das amplitudes.

A técnica da amplitude do sinal analítico auxilia na determinação de geometria da fonte (NABIGHIAN, 1972 e 1974). O resultado da aplicação do sinal analítico deverá indicar características das bordas do corpo. Uma forma de calcular este efeito é no domínio do

número de onda, através do cálculo de derivadas do dado original (ROEST et al., 1992). Este filtro é principalmente utilizado no tratamento de dados magnéticos, mas pode também ser utilizado em dados gravimétricos.

A integral vertical apresenta um resultado oposto ao da derivada vertical, pois enquanto a derivada ressalta fontes rasas, a integral destacará fontes profundas (SILVA, 1996). Este filtro é similar ao cálculo da pseudo-gravimetria: observando fórmulas em BLAKELY (1996), seria equivalente à etapa de integração anterior ao cálculo da redução ao polo. SILVA (1996) apresenta o uso para interpretação de dados magnetométricos, mas não há impedimento para o uso em estudos de dados gravimétricos. O efeito visual da integral vertical é semelhante ao obtido com o filtro de continuação para cima ou *upward continuation* (BLAKELY, op. cit.), pois atenua o efeito de fontes rasas, mas apresenta maior resolução lateral que a continuação (SILVA, op. cit.).

Figura 51 – Conjunto de mapas gravimétricos e magnetométricos do Oeste Africano SubSaariano.



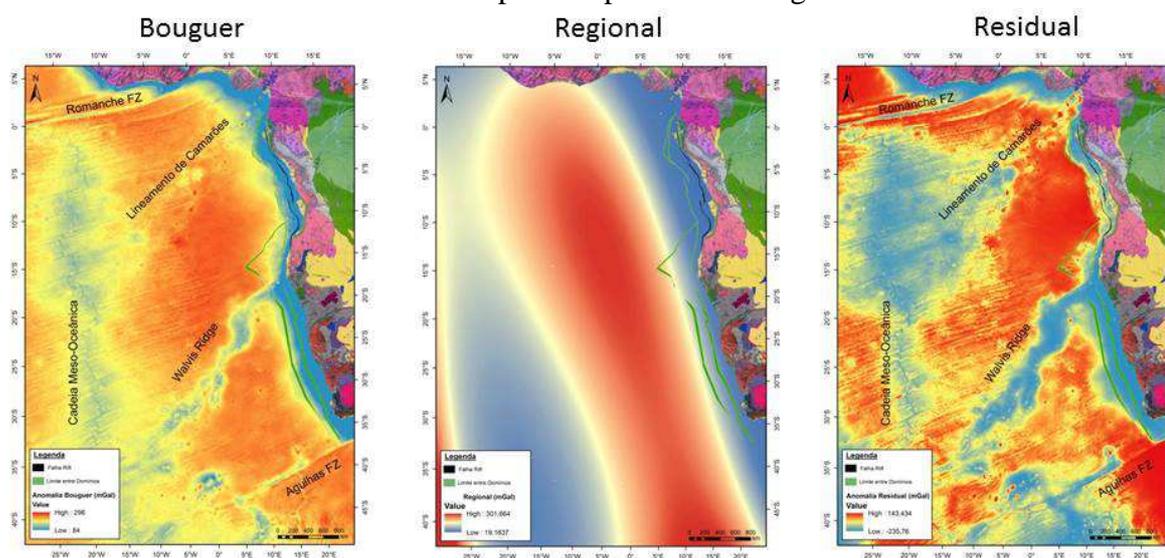
Nota: Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

Em seu conceito inicial, o dado regional equivale à superfície retirada para resultar na gravidade residual, determinada de forma empírica pelo intérprete e não por meios analíticos (NETTLETON, 1954; VAJK, 1951). Por sua vez, o termo gravidade residual é aplicado, em sua origem, para designar o resultado da subtração do efeito gravimétrico de maiores amplitudes, atribuído a feições geológicas profundas (SKEELS, 1967). No processo de tratamento dos dados gravimétricos e magnéticos, normalmente entende-se como regional a superfície que contém as anomalias que não correspondem à assinatura do corpo geológico de interesse, que em geral são de maior amplitude, e de residual a superfície restante da subtração do dado regional (SKEELS, 1967 e TELFORD et al., 1990).

A resposta gravimétrica regional considerada neste trabalho foi obtida através da aplicação de um filtro polinomial de grau 3 (indicado como “REGIONAL”, Figura 52), de modo a minimizar o efeito gravimétrico da Moho.

Figura 52 – Mapa gravimétrico Residual obtido pela remoção do *trend* regional, calculado como uma superfície polinomial de grau 3.



Nota: Mapa gravimétrico calculado com contraste de densidade (água x bacia) de 1.17g/cm^3 . Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

5.3 Descrição dos Resultados Gravimétricos

5.3.1 Limite e Caracterização do Domínio Oceânico

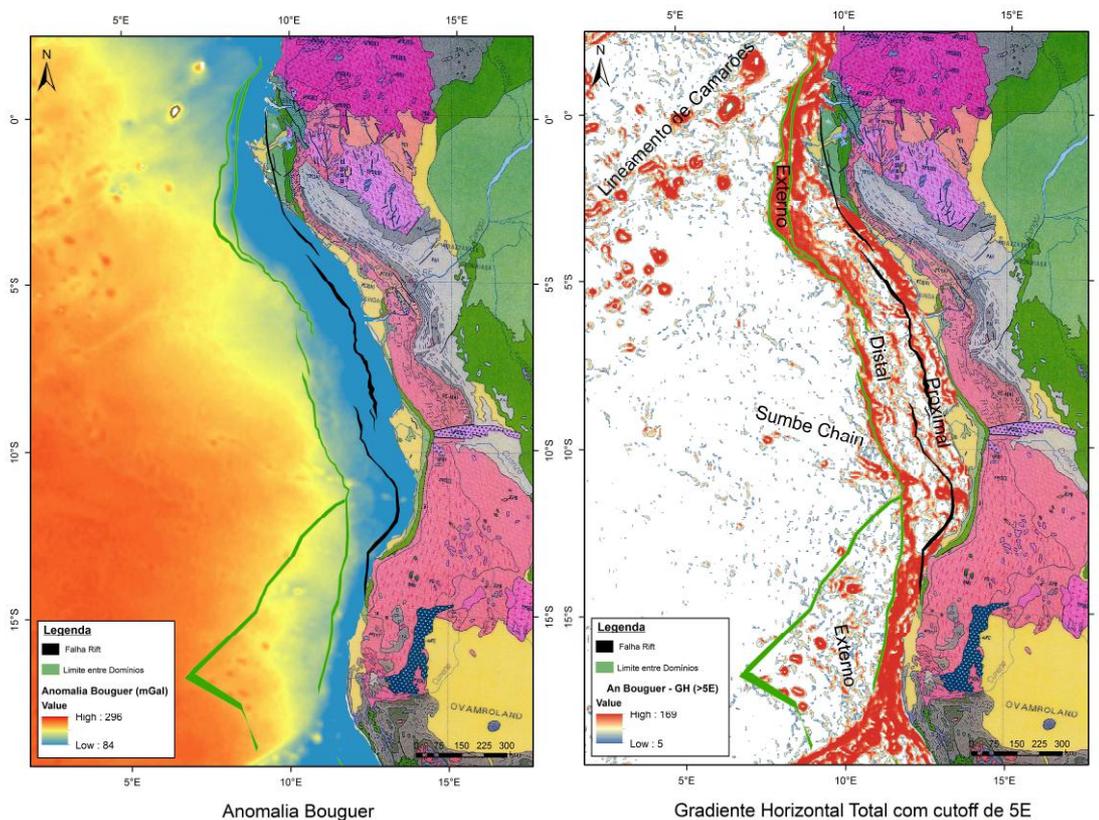
O Domínio Oceânico marca o fim do processo de rifteamento, sendo a delimitação do seu limite de importância fundamental no entendimento da influência continental. O dado gravimétrico é o que melhor apresentou contraste com os demais domínios (Figura 51), embora o dado magnetométrico, a depender do tipo da margem rifteada, tenha também auxiliado na sua definição.

No mapa de gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer (Figuras 34, 37 e 51), de um modo geral, a assinatura do limite crustal é marcada por uma textura de boa continuidade lateral e alta amplitude. Este mapa também pode evidenciar possíveis contatos geológicos laterais, representados pelo contraste de densidade entre os diversos litotipos.

De sul para norte se observa que, ao longo da margem rica em magma, o mapa de gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer apresenta anomalias de alta amplitude, com forte continuidade lateral, que se estendem por toda a margem. Neste caso, essa assinatura gravimétrica pode ser atribuída a prismas de SDR do Domínio Externo.

Quando onde o Domínio Externo está localizado na região de transição para uma margem pobre em magma (Figura 53), o limite crustal passa a apresentar características gravimétricas mais atenuadas, onde as anomalias de gradiente mostram menores valores e continuidade lateral, quando comparada com a parte sul (região de ocorrência da margem rica em magma).

Figura 53 – Características gravimétricas do limite do Domínio Oceânico na região ao norte da Walvis Ridge.



Nota: Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas nos mapas de anomalia Bouguer e de gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer com cutoff de 5E. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

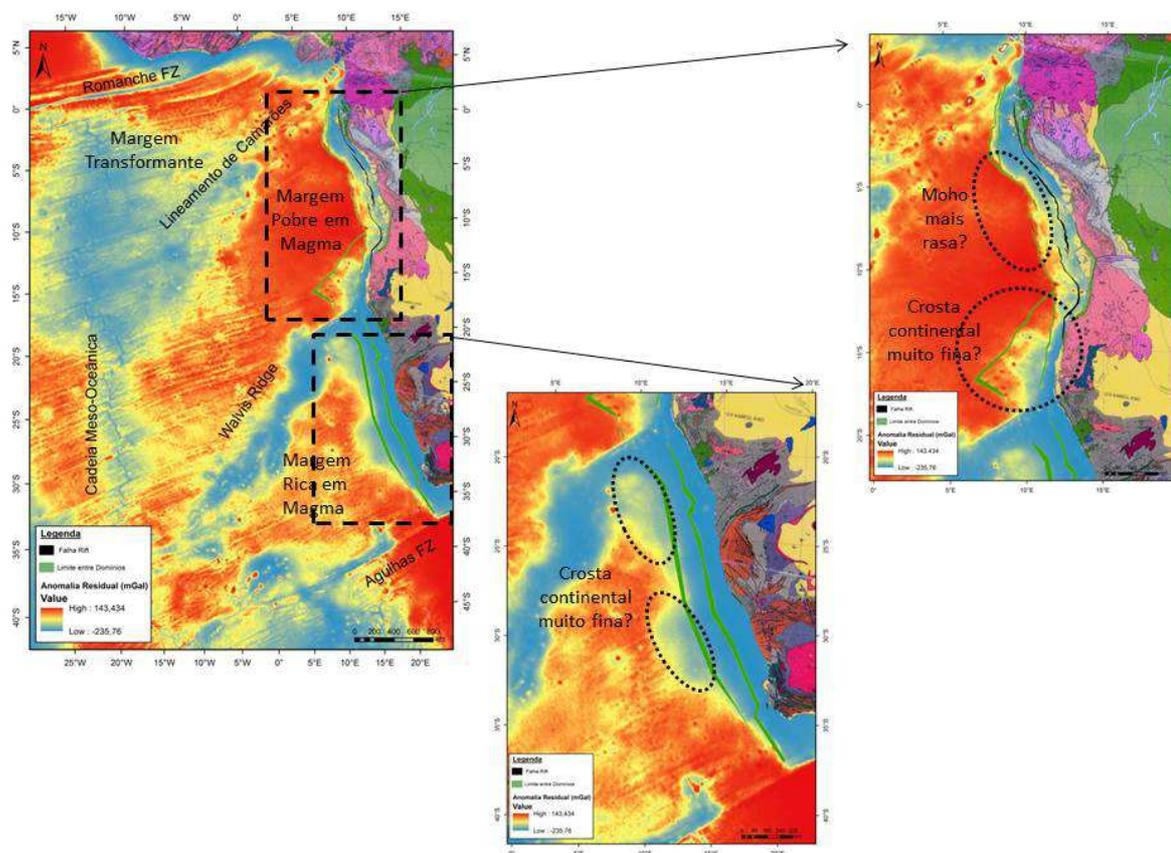
Em algumas regiões do Domínio Distal, ao longo da margem pobre em magma, verifica-se um maior contraste de resposta gravimétrica entre os litotipos, evidenciado por anomalias de alta amplitude no gradiente horizontal do Bouguer. Nestas áreas, interpreta-se que o contato crustal ocorre com o Domínio Distal, mais precisamente com a região nesse domínio onde ocorreu maior infiltração do material fundido do manto (*mantle melting*).

No extremo norte da área, na região próxima ao Lineamento de Camarões, observa-se novamente uma mudança no padrão de textura das anomalias, onde se verifica uma predominância de valores de alto gradiente horizontal. Esta mudança na textura do mapa de anomalias acompanha a mudança no tipo de margem (região de transição entre uma margem pobre em magma para uma margem transformante), e o contato do Domínio Oceânico é observado com o Domínio Externo (prováveis cunhas vulcano-clásticas).

O mapa de anomalia Bouguer Residual (Figura 54) também se mostrou sensível à delimitação do limite crustal, mas sua melhor contribuição está relacionada à discriminação das respostas gravimétricas ao longo das margens. Na margem rica em magma, ao sul, observa-se, ao longo do limite regiões com valores intermediários numa área dominada por

valores altos, sugerindo a presença de crosta continental muito fina dentro do limite do Domínio Oceânico, que viria a corroborar a hipótese de O'REILLY et al. (2009) sobre a presença de fragmentos litosféricos sub-continentais remanescentes nesse domínio.

Figura 54 – Mapa gravimétrico de anomalia Bouguer Residual mostrando as diferentes respostas gravimétricas ao longo das margens rifteadas.



Nota: Nos mapas em detalhe, as envoltórias em linhas tracejadas de preto ressaltam as áreas com comportamento anômalo. Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

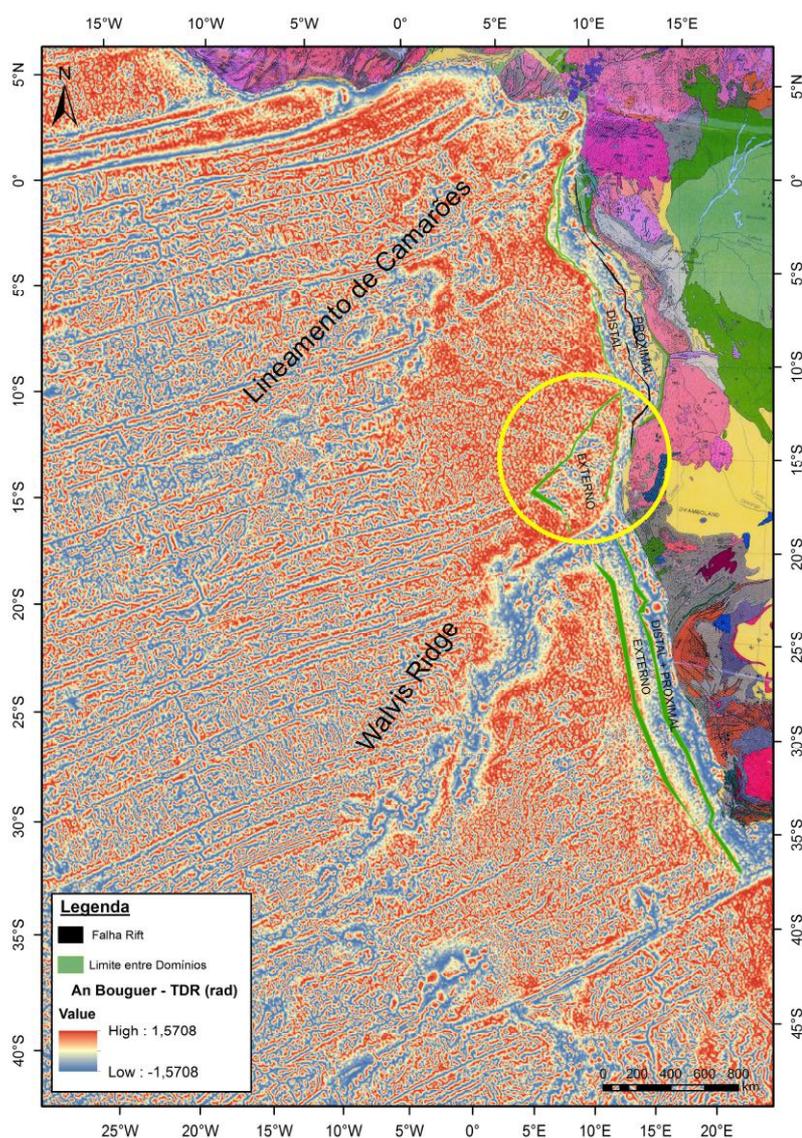
Fonte: A autora, 2016.

Na região de transição para uma margem pobre em magma, o mapa de anomalia Bouguer Residual exhibe valores intermediários na área onde está sendo interpretada como a continuação do Domínio Externo da margem rica em magma. Esses valores se assemelham ao que se verifica nas áreas correspondentes aos domínios Distal e Proximal da margem pobre em magma sugerindo, ainda, a ocorrência de uma crosta continental, embora muito fina, para essa região, ou a presença de serpentinito.

Na margem propriamente considerada como pobre em magma, o Domínio Oceânico é marcado por valores altos no mapa de anomalia Bouguer Residual, o que constitui um indicativo da Moho mais rasa, reforçando a interpretação fornecida pela sísmica.

O mapa de Derivada Tilt da anomalia Bouguer (Figura 55), devido às suas características de realçar as bordas, destacou nitidamente o limite crustal nas margens rifteadas, assim como diferenciou, na região de transição entre a margem rica em magma e a margem pobre em magma, a região que foi interpretada como correspondente à continuação do Domínio Externo. Embora, nessa região esse domínio exiba características bastante atenuadas em relação às observadas ao sul da feição de Walvis Ridge. Nesse mapa, também estão destacadas as feições magmáticas do Lineamento de Camarões e Walvis Ridge, assim como a região de ocorrência das falhas transformantes.

Figura 55 – Mapa gravimétrico de Derivada Tilt (TRD) da Anomalia Bouguer do Oeste Africano SubSaariano.

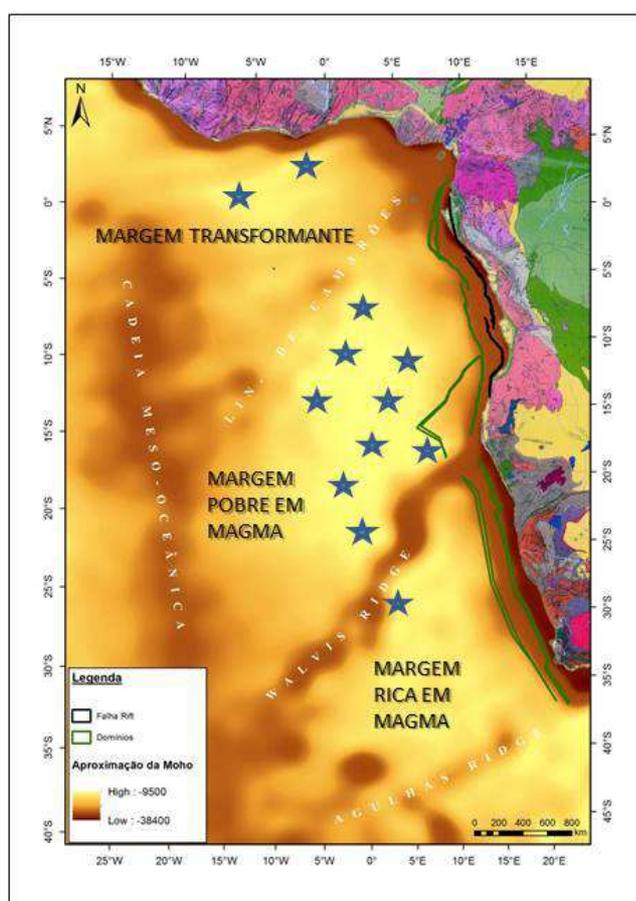


Nota: Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Em destaque no ciclo amarelo a região do Domínio Externo ao norte da Walvis Ridge. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

Em uma tentativa de observar a profundidade relativa da Moho, numa escala regional, ao longo do Oeste Africano, foi realizada uma inversão gravimétrica, sem vínculos, da superfície da Moho (superfície de contraste entre 3.3 e 2.8 g/cm³, com comprimento de onda de anomalia gravimétrica entre 200 e 400 km). Pela simplicidade do modelo, as profundidades são consideradas apenas para comparação relativa entre regiões. Nesse ensaio, a Moho mostrou uma tendência a ser mais rasa em frente à margem rifteada pobre em magma (Figura 56), corroborando com a interpretação do mapa de anomalia Bouguer Residual. Essa inversão gravimétrica também sugere que, nesse segmento, a crosta oceânica tenderia a ser mais delgada do que na margem rifteada rica em magma, ao sul.

Figura 56 – Estimativa da profundidade relativa da Moho através da inversão gravimétrica sem vínculos da superfície da Moho.



Nota: Superfície de contraste entre 3.3 e 2.8 g/cm³, com comprimento de onda de anomalia gravimétrica entre 200 e 400 km. Sobreposição do arcabouço tectônico proposto para as margens rifteadas. Estrelas: destaque para regiões mais rasas. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

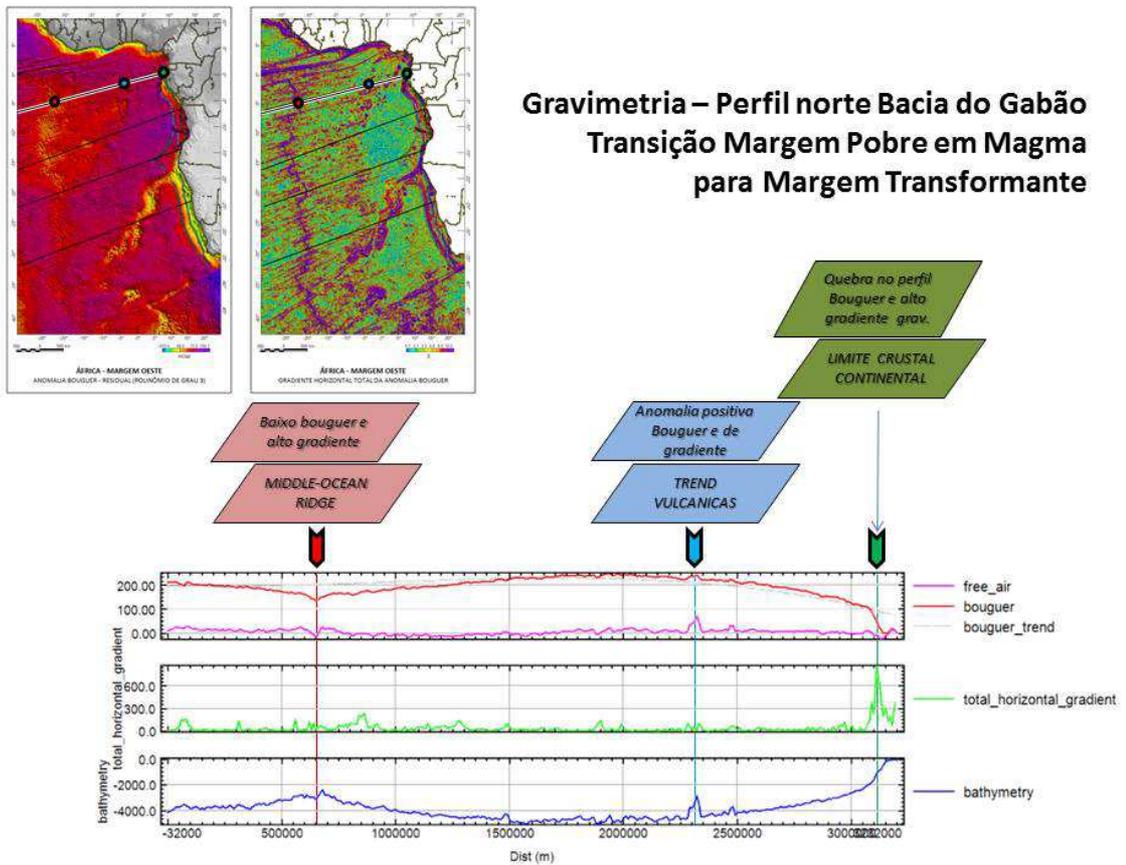
5.3.2 Perfis Gravimétricos

Para uma observação, em escala regional, do comportamento dos dados gravimétricos através das províncias tectônicas reconhecidas no mapa de gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer do *offshore* do Oeste Africano (Figura 34), foram feitos perfis gravimétricos regionais aleatórios (Figuras 57, 58, 59 e 60).

Além de esses perfis exibirem a resposta gravimétrica das principais feições presentes no Domínio Oceânico, como a Cadeia Meso-Oceânica, o Lineamento de Camarões e a Walvis Ridge, eles marcam o limite entre a região de ocorrência das falhas transformantes e a região de textura suave caracterizada por baixa amplitude nesse domínio Oceânico, ressaltada nas Figuras 58, 59 e 60 como área sem contraste de densidade aparente. Essa região será posteriormente discutida como Região Anômala do Domínio Oceânico.

O limite crustal, crosta continental / crosta oceânica, aparece bem marcado em todos os perfis. O perfil da Figura 59 exhibe uma quebra, justamente onde foi proposto o limite entre o Domínio Externo e o Domínio Oceânico, na região ao norte da Walvis Ridge.

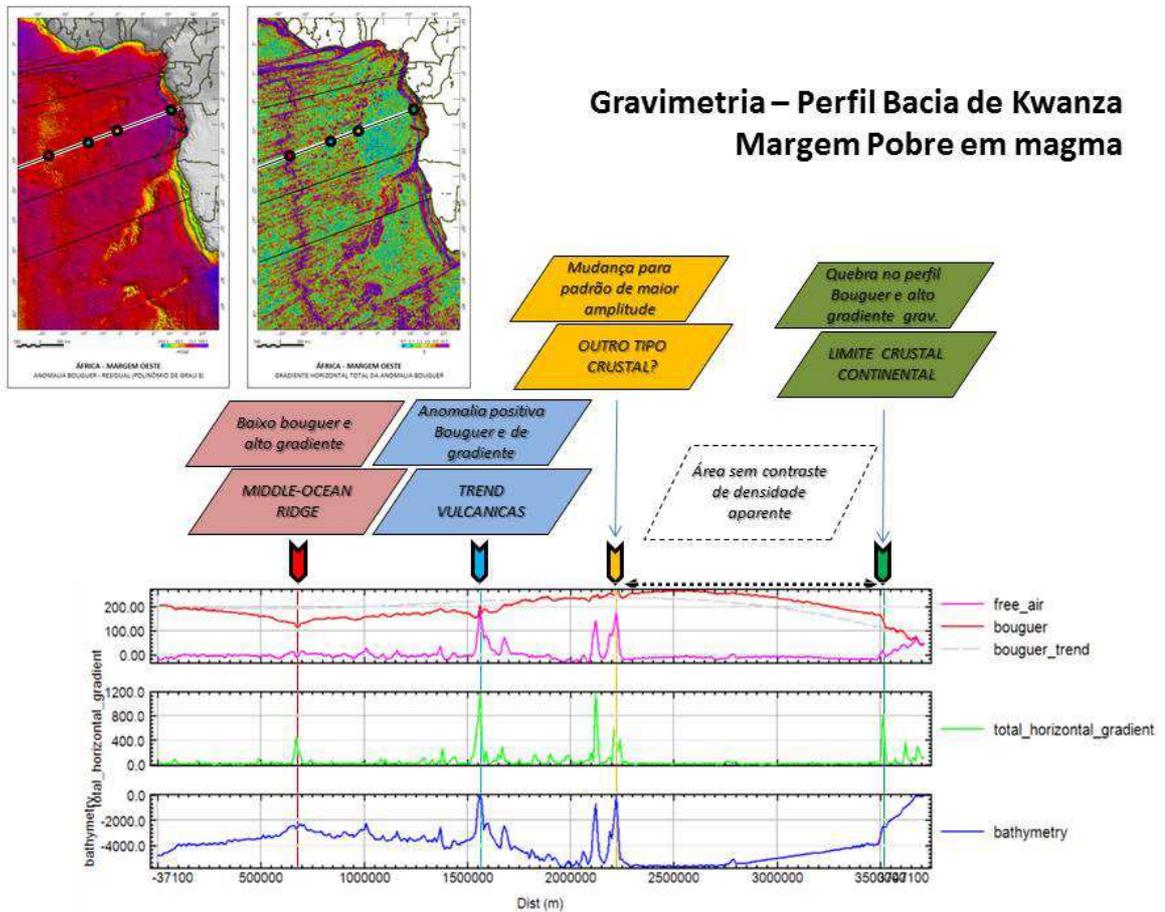
Figura 57 – Perfil gravimétrico ao norte da Bacia do Gabão.



Nota: Perfis: Free-Air, anomalia Bouguer, gradiente horizontal da anomalia Bouguer e batimetria. Em destaque a Cadeia Meso-Oceânica, o Lineamento de Camarões e o limite crustal da margem riftada.

Fonte: A autora, 2016.

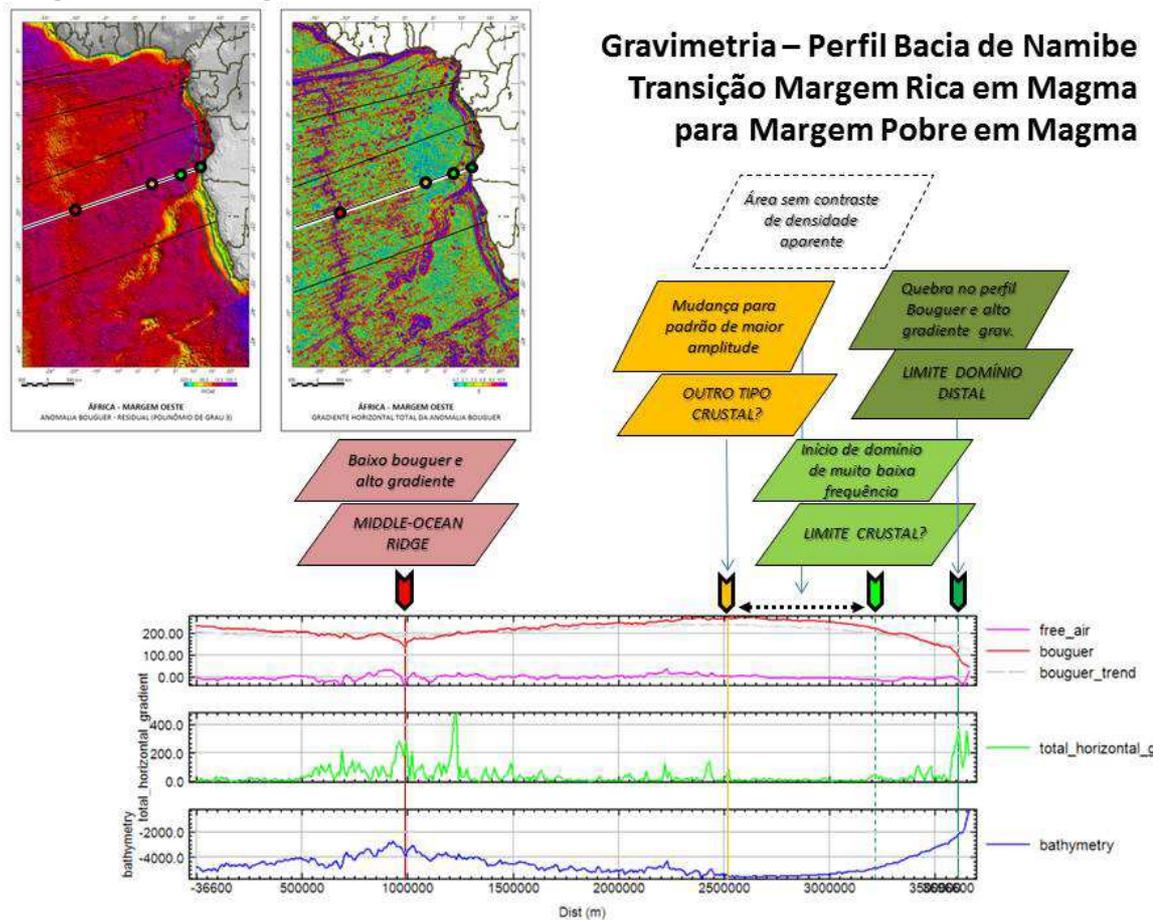
Figura 58 – Perfil gravimétrico atravessando a Bacia de Kwanza.



Nota: Perfis: Free-Air, anomalia Bouguer, gradiente horizontal da anomalia Bouguer e batimetria. Em destaque a Cadeia Meso-Oceânica, o Lineamento de Camarões, uma área sem contraste de densidade aparente e o limite crustal da margem rifteada

Fonte: A autora, 2016.

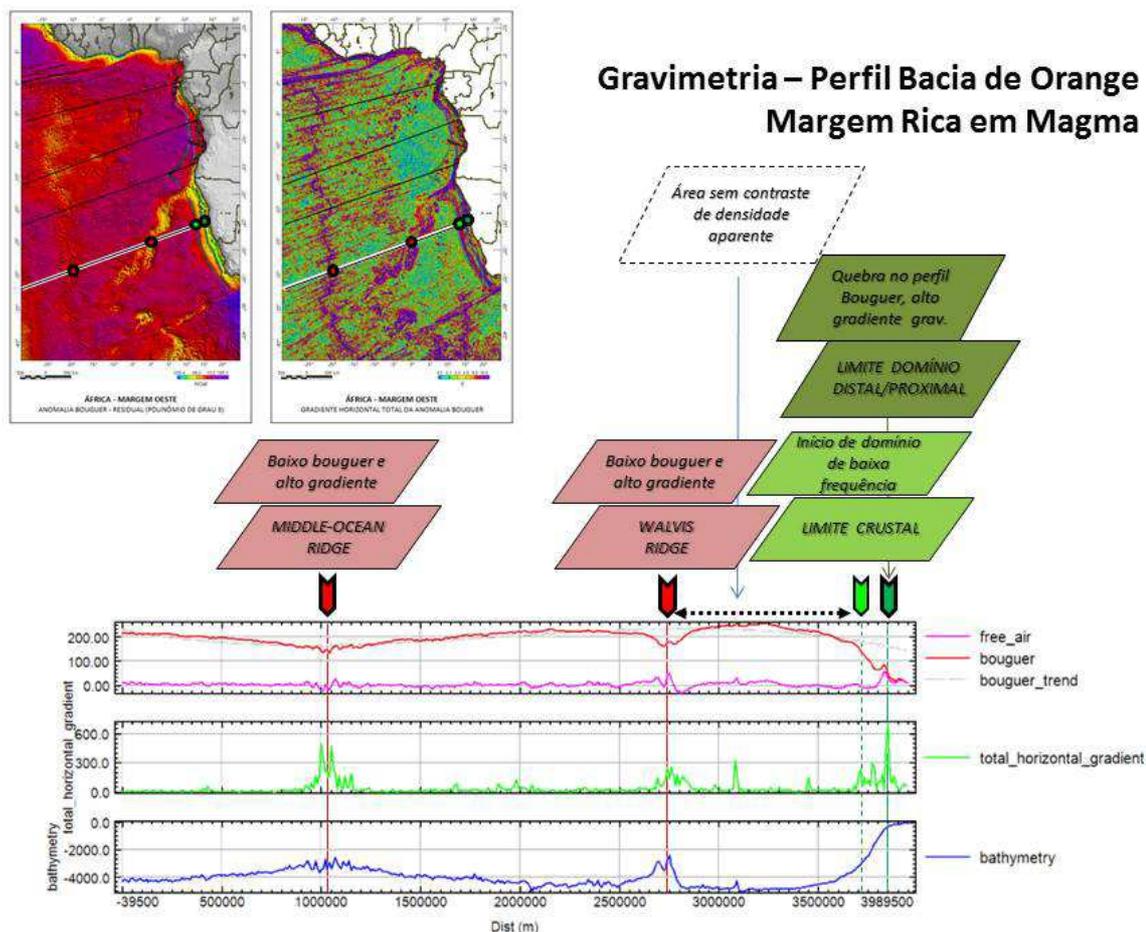
Figura 59 – Perfil gravimétrico atravessando a Bacia de Namibe.



Nota: Perfis: Free-Air, anomalia Bouguer, gradiente horizontal da anomalia Bouguer e batimetria. Em destaque a Cadeia Meso-Oceânica, uma área sem contraste de densidade aparente, o limite crustal proposto para a margem rifteada e o limite do domínio proximal da margem rifteada.

Fonte: A autora, 2016.

Figura 60 – Perfil gravimétrico atravessando a Bacia de Orange.



Nota: Perfis: Free-Air, anomalia Bouguer, gradiente horizontal da anomalia Bouguer e batimetria. Em destaque a Cadeia Meso-Oceânica, a Walvis Ridge, uma área sem contraste de densidade aparente, o limite crustal e o limite do Domínio Distal marcado pela anomalia magnética G da margem rifteada.

Fonte: A autora, 2016.

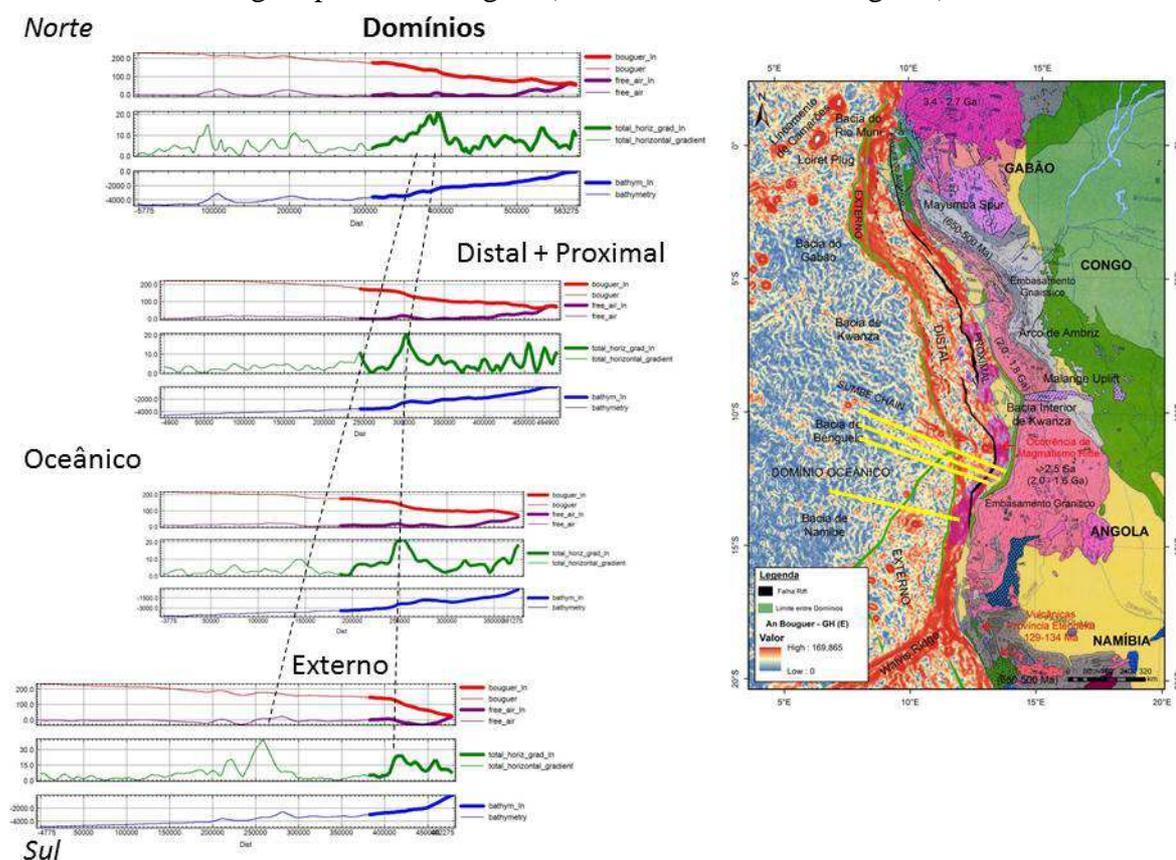
Uma investigação gravimétrica baseada no programa CongoSPAN de sísmica profunda 2D da ION mostrou que, de um modo geral, na margem rifteada, o limite entre os domínios é marcado por altos valores gravimétricos e o Domínio Oceânico se caracteriza, na região, por um padrão de valores mais baixos (Figuras 61, 62, 63 e 64). Salienta-se que, nos perfis de dados, os intervalos realçados das curvas se referem à região imageada pela sísmica.

Os perfis gravimétricos, na região de transição de margem rica em magma para margem pobre em magma (bacias de Namibe e Benguela), permitem observar o comportamento do Domínio Externo, que tende a desaparecer em direção ao norte, à medida que os domínios Distal e Proximal vão evoluindo na configuração da margem pobre em magma (Figura 61).

Na região de transição de margem pobre em magma para margem transformante, os perfis gravimétricos indicam que o Domínio Externo nessa região tende a interagir com a

região limítrofe do Domínio Distal, que sofreu infiltração do material fundido do manto (*mantle melting*), formando um patamar de valores altos, onde os picos marcariam o limite entre esses domínios. A influência das falhas transformante é caracterizada como um pico de alto gradiente (Figura 64).

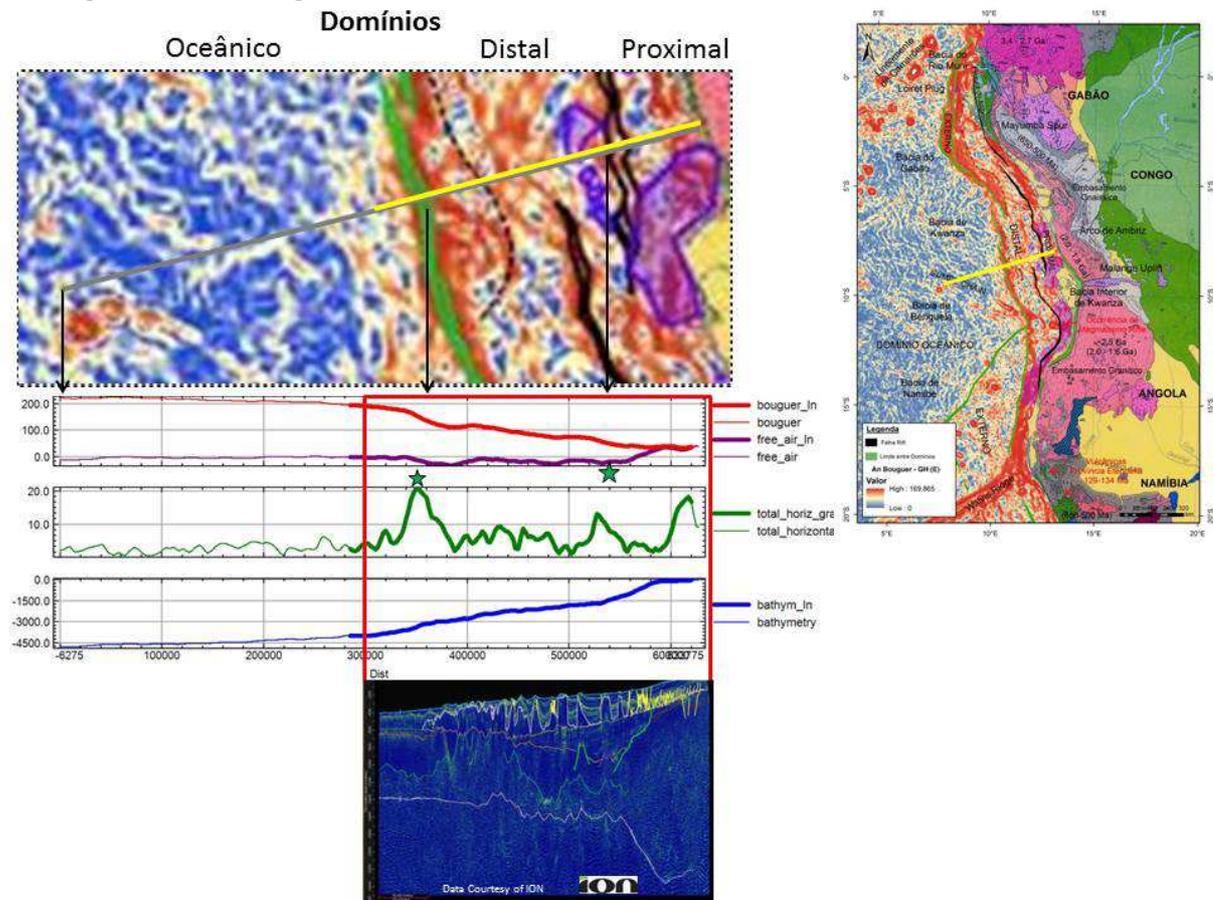
Figura 61 – Perfil gravimétrico na região de transição de margem rica em magma para margem pobre em magma (bacias de Namibe e Benguela).



Nota: Perfis (de cima para baixo): Free-Air (vermelho), Anomalia Bouguer (roxo), gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer (verde) e batimetria (azul). Linha tracejada: destaque do limite entre os domínios e o comportamento do Domínio Externo até o seu desaparecimento. No arcabouço tectônico das margens rifteadas a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988). No mapa, as linhas amarelas mostram a localização dos perfis. Nos perfis, os trechos de linha espessa representam áreas com cobertura de dados sísmicos.

Fonte: A autora, 2016.

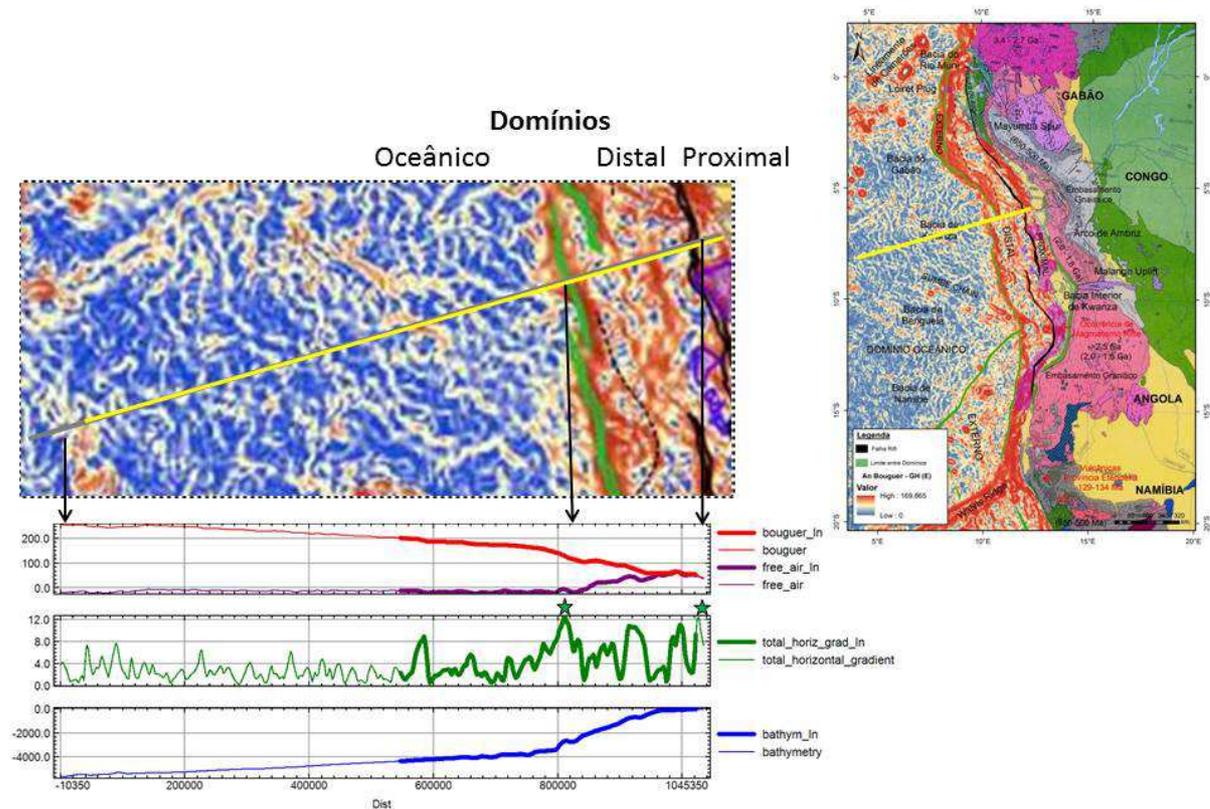
Figura 62 – Perfil gravimétrico transversal a Bacia de Kwanza.



Nota: Perfis (de cima para baixo): Free-Air (vermelho), Anomalia Bouguer (roxo), gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer (verde) e batimetria (azul). Mostrando a variação do gradiente e os maiores valores indicariam os prováveis limites entre os domínios. No arcabouço tectônico das margens rifteadas a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988). No mapa, as linhas amarelas mostram a localização dos perfis. Nos perfis, os trechos de linha espessa representam áreas com cobertura de dados sísmicos.

Fonte: A autora, 2016.

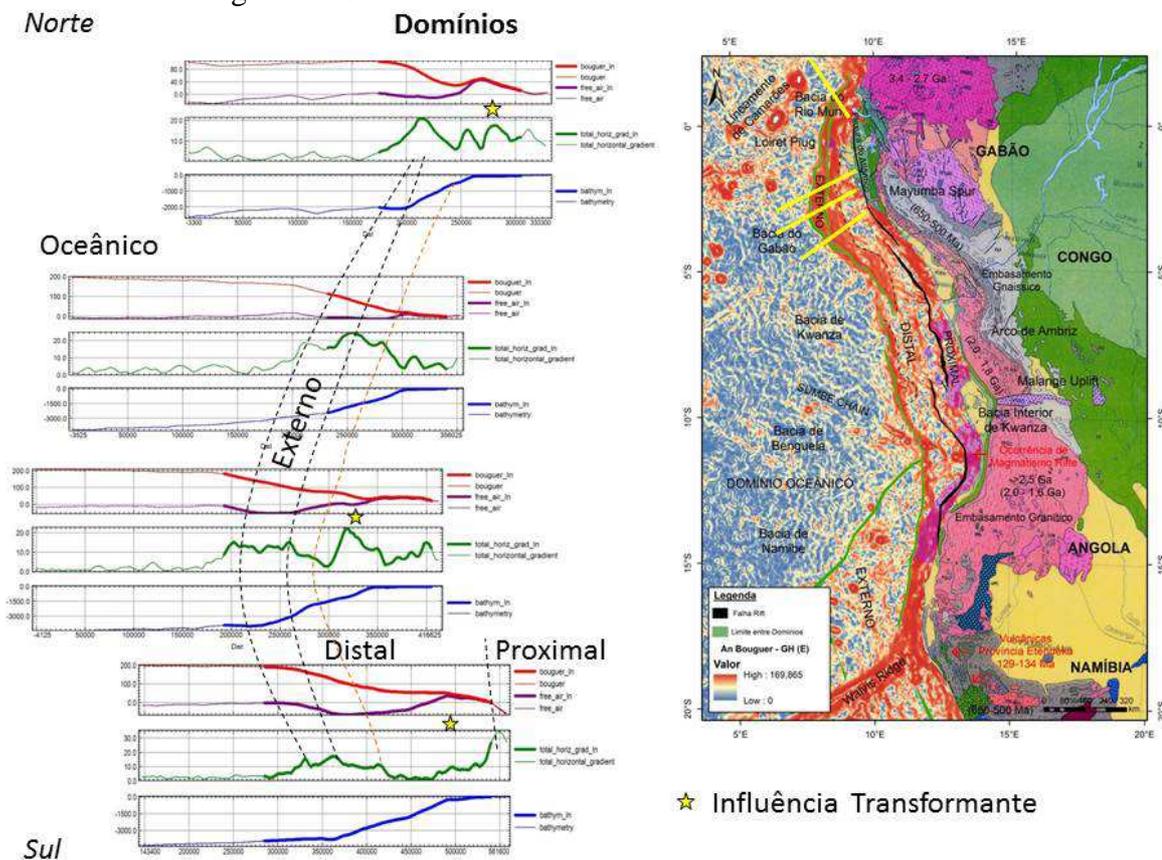
Figura 63 – Perfil gravimétrico transversal a Bacia de Kwanza, na sua porção mais ao norte.



Nota: Perfis (de cima para baixo): Free-Air (vermelho), Anomalia Bouguer (roxo), gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer (verde) e batimetria (azul). Mostrando a variação do gradiente e os maiores valores indicariam os prováveis limites entre os domínios. No arcabouço tectônico das margens rifteadas a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988). No mapa, as linhas amarelas mostram a localização dos perfis. Nos perfis, os trechos de linha espessa representam áreas com cobertura de dados sísmicos.

Fonte: A autora, 2016.

Figura 64 – Perfis gravimétricos na região de transição de margem pobre em magma para margem transformante.



Nota: Perfis Perfis (de cima para baixo): Free-Air (vermelho), Anomalia Bouguer (roxo), gradiente horizontal total da Anomalia Bouguer (verde) e batimetria (azul). Destacando o limite entre os domínios, a interação entre o Domínio Externo e a região limítrofe do Domínio Distal que sofreu infiltração do material fundido do manto (*mantle melting*) e a influência das falhas transformante. No arcabouço tectónico das margens rifteadas a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988). No mapa, as linhas amarelas mostram a localização dos perfis. Nos perfis, os trechos de linha espessa representam áreas com cobertura de dados sísmicos.

Fonte: A autora, 2016.

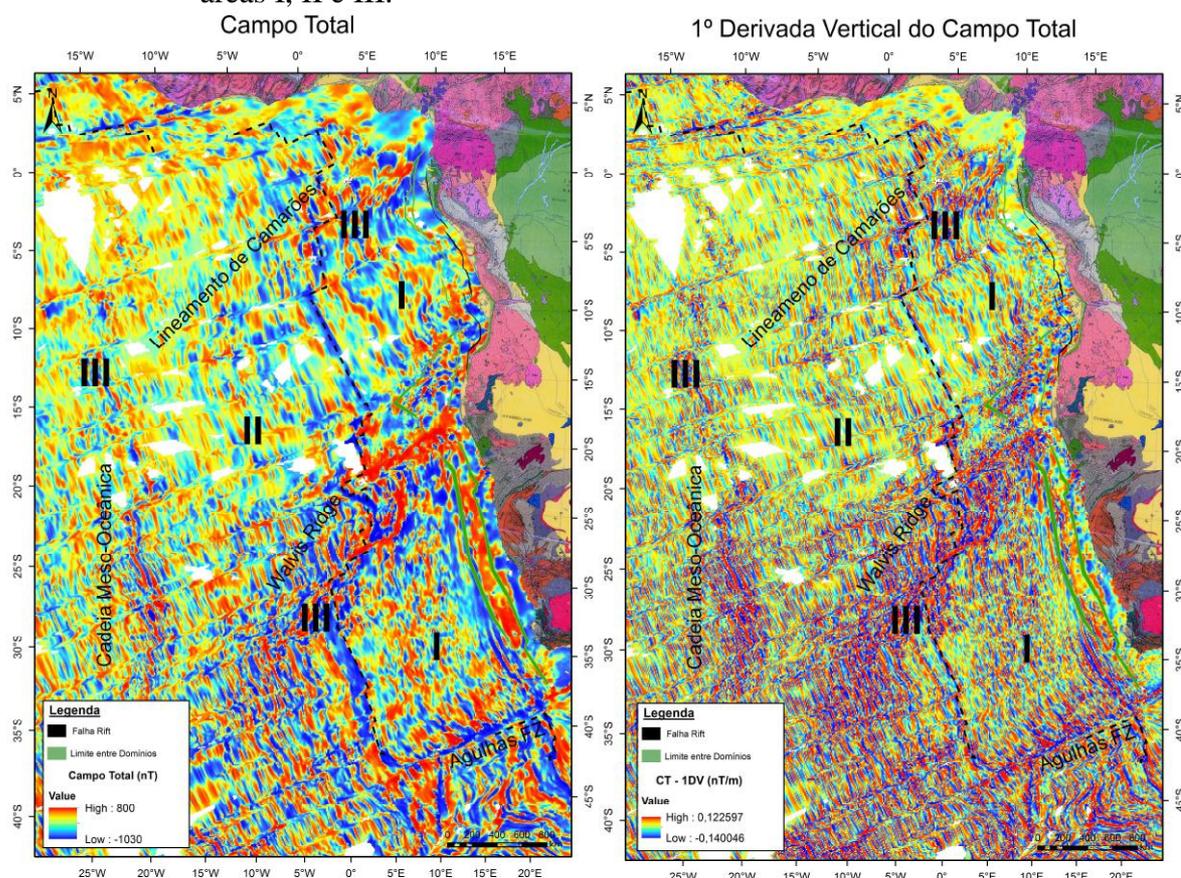
5.4 Descrição dos Resultados Magnetométricos

A análise regional dos dados magnéticos de Campo Total e da 1ª Derivada do Campo Total (Figura 65) do Oeste Africano revelou que três áreas se sobressaem: a **área I** – caracterizada por altos magnéticos com pouca continuidade lateral e lineares, formada durante o período de Quiescência do Cretáceo, sendo limitada a oeste pela isócrona magnética C34 (de acordo com o mapa Tectônico da África de MILESI et al., 2008), que marca o primeiro período de reversão dos polos; a **área II** – com predomínio de altos magnéticos e anomalias

lineares extensas, e que exibe uma assinatura clássica de crosta oceânica; e a **área III** – com altos magnéticos relacionados aos episódios de vulcanismo intenso, como a Walvis Ridge, o Lineamento de Camarões e a Cadeia Meso-Oceânica.

Esses mapas também nos permitem observar que, na região de transição entre uma margem rica em magma para uma margem pobre em magma, mais especificamente na região interpretada como Domínio Externo da margem rifteada, ela exibe um padrão de anomalia não linear e sem continuidade lateral, similar à assinatura de uma crosta continental (domínios Distal e Proximal da margem pobre em magma), distinto do que é observado no Domínio Oceânico adjacente, caracterizado por altos magnéticos com pouca continuidade lateral e linear, subparalelo à direção do espalhamento oceânico. Localmente, se verifica um limite abrupto entre esses domínios, possivelmente decorrente de um contato por falha.

Figura 65 – Mapas magnético de Campo Total e da 1º Derivada do Campo Total do Oeste Africano SubSaariano, mostrando as assinaturas características das áreas I, II e III.



Nota: No arcabouço tectônico das margens rifteadas, a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. A Linha tracejada em preto nos mapas magnéticos se refere à Isócrona Magnética C34 (MILESI et al., 2008). Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

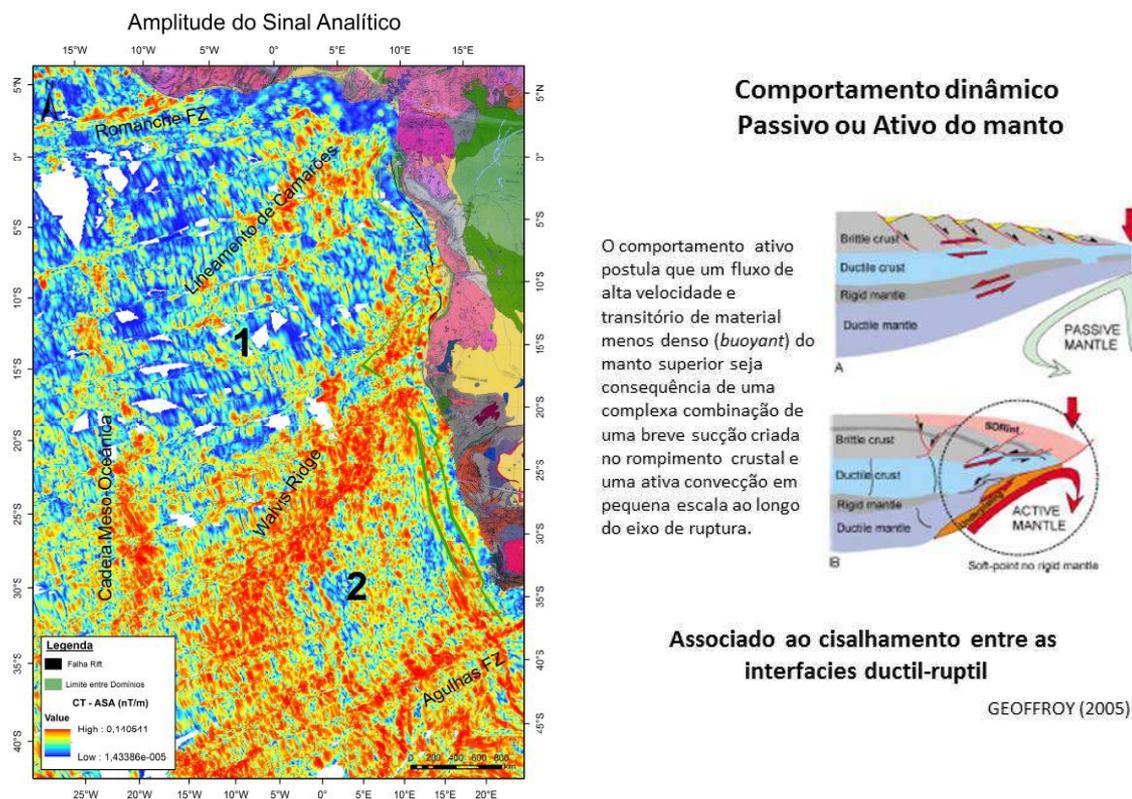
Fonte: A autora, 2016.

O mapa da amplitude do sinal analítico (Figura 66) dessa região mostra dois nítidos padrões texturais: utilizando a Walvis Ridge como referência, tem-se, ao norte, um padrão de anomalias de baixa amplitude (1), ou seja, associado a uma área menos magnetizada; e ao sul, um padrão de anomalias de maior amplitude (2), que corresponderia a uma região mais magnetizada. Um fator que poderia contribuir para a diferença de resposta magnética entre esses segmentos seria a natureza da margem rifteada – se rica em magma ou pobre em magma. Nesse caso, é no segmento sul, onde se localiza toda a feição da Walvis Ridge, que o Domínio Externo da margem rifteada rica em magma se apresenta com seus volumosos prismas de SDR, e se verifica a ocorrência de magmatismo rifte no Domínio Proximal da margem rifteada pobre em magma.

Ressalta-se que esses distintos padrões também estão refletidos na assinatura da Cadeia Meso-Oceânica. No segmento sul, essa região apresenta amplitudes magnéticas maiores do que no segmento norte.

GEOFFROY (2005) propõe que o comportamento dinâmico passivo ou ativo do manto também poderia contribuir para essa diferenciação entre os tipos de margens (rica em magma e pobre em magma). Nesse caso, a natureza do manto no segmento sul seria mais “ativo” que em relação ao norte. Esse comportamento ativo postula que um fluxo de alta velocidade e transitório do leve (*buoyant*) manto superior seja consequência de uma complexa combinação de uma breve sucção criada no rompimento crustal e uma ativa convecção em menor escala ao longo do eixo de ruptura.

Figura 66 – Mapa da amplitude do sinal analítico do Oeste Africano associado com o comportamento dinâmico do manto.



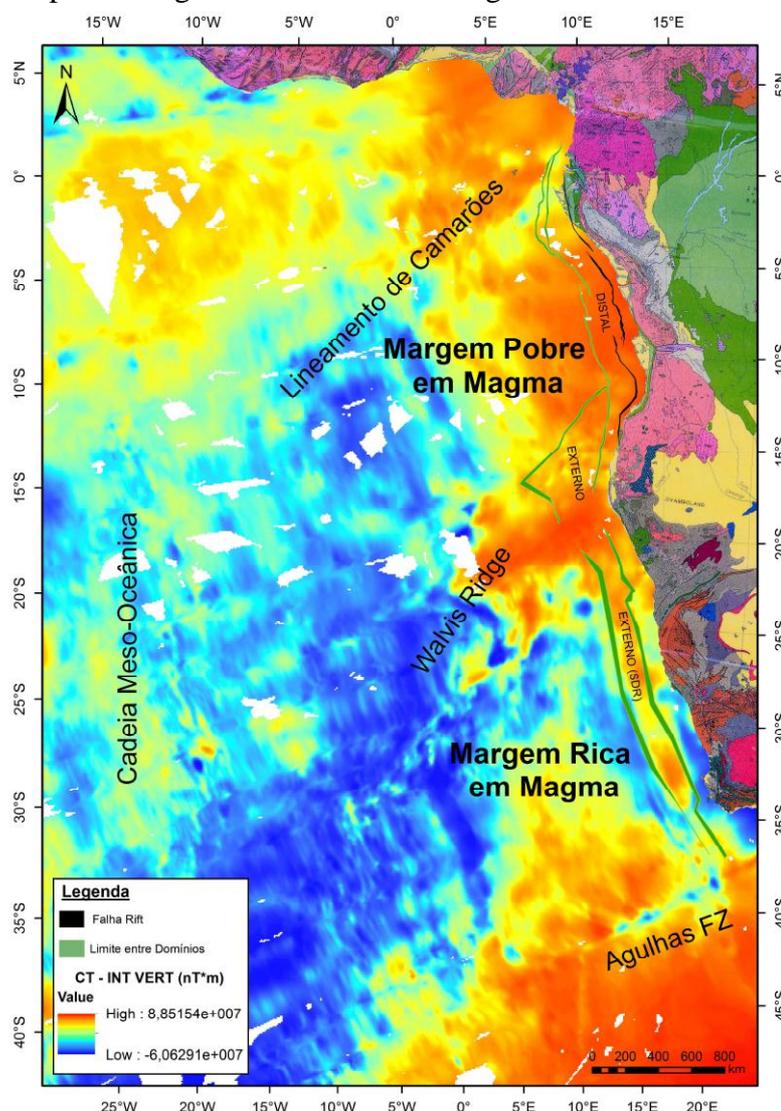
Nota: No mapa de amplitude verifica-se a ocorrência de dois nítidos padrões texturais: 1) região com predomínio de anomalias de menor amplitude, portanto, menos magnetizada; e 2) região caracterizada por um padrão de anomalias de maior amplitude, possivelmente associada a um comportamento dinâmico mais ativo do manto. No arcabouço tectônico das margens rifteadas, a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

Tendo em vista que a integral vertical do sinal magnético corresponde analogamente a um dado gravimétrico (SILVA, 1996), o resultado obtido com o mapa da integral vertical do sinal magnético do Oeste Africano SubSaariano (Figura 67) revelou um nítido contraste entre um ambiente de margem pobre em magma e um de margem rica em magma. A tendência da região de ocorrência da margem pobre em magma foi de apresentar um comportamento mais gradativo em relação às fontes magnéticas profundas, refletindo, desta forma, a ascensão gradativa do manto subcontinental através do hiperestiramento da crosta. Por sua vez, a região da margem rica em magma, localizada ao sul, por apresentar na sua arquitetura um desenvolvido Domínio Externo, constituído por prismas de SDR que exibem uma grande extensão horizontal e limitada espessura vertical, produz um efeito de fonte rasa que interfere de sobremaneira no sinal de uma fonte ampla e profunda, resultando num indicativo de um limite crustal abrupto.

O que também se observa em destaque nesse mapa é a influência das vulcânicas representadas pela Walvis Ridge, o Lineamento de Camarões e o *Plateau* de Agulhas, que aparecem como anomalias de grande amplitude neste mapa. De acordo com PARSIEGLA et al. (2008), o *Plateau* de Agulhas localizado o extremo sudeste da área, faria parte de uma grande província ígnea (LIP) com afinidade oceânica, de idade entre 100 +/- 5 Ma e 94 +/- 5 Ma. Esses autores especulam que uma interação entre a junção tríplice de Bouvet e o Hotspot de Bouvet teriam causado a formação dessa LIP que, posteriormente, seria fragmentada pelo processo de espalhamento oceânico, originando as estruturas de Northeast Georgia Rise, Maud Rise e o próprio *Plateau* de Agulhas.

Figura 67 – Mapa da integral vertical do sinal magnético do Oeste Africano SubSaariano.



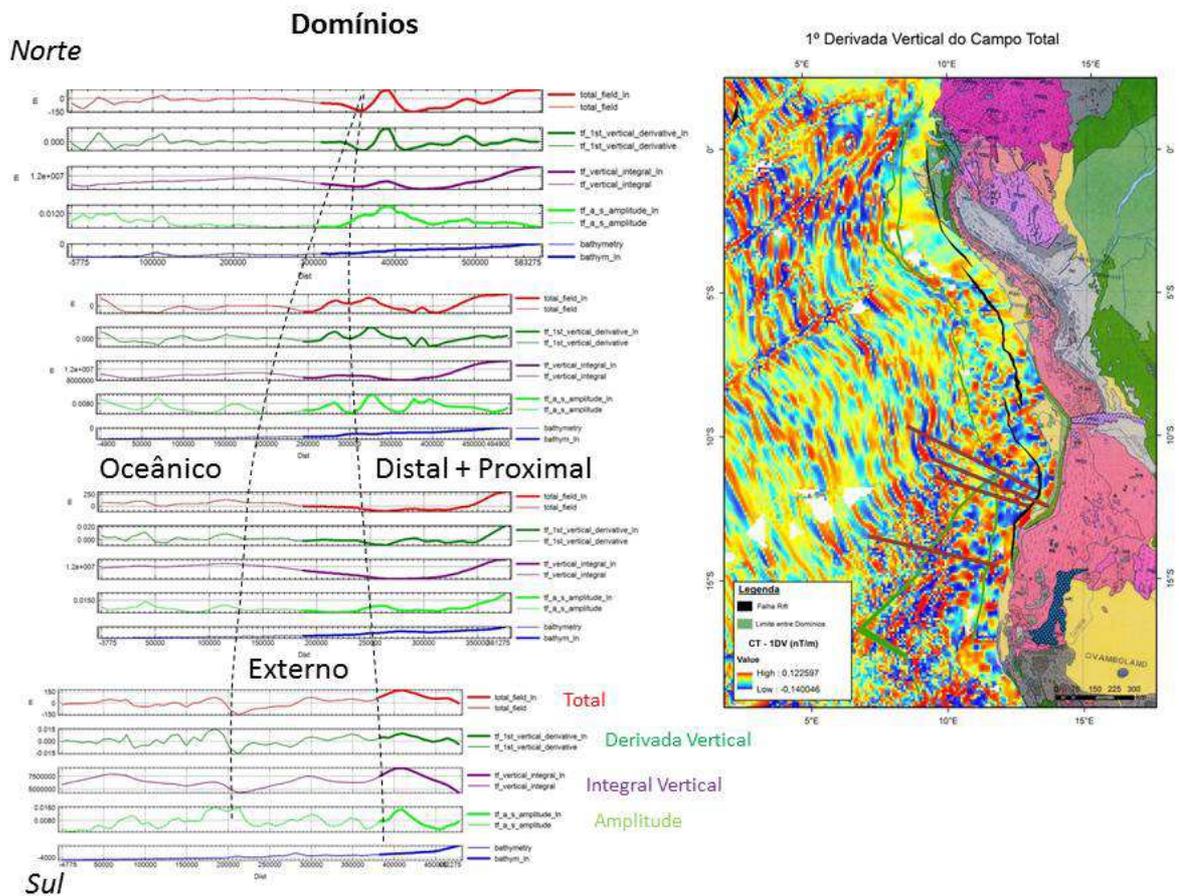
Nota: No arcabouço tectônico das margens rifteadas, a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988).

Fonte: A autora, 2016.

5.4.1 Perfis Magnetométricos

Para uma observação, em escala regional, do comportamento dos dados magnetométricos através das províncias tectônicas observadas, foram feitos perfis magnetométricos regionais aleatórios (Figuras 68, 69, 70 e 71). Os perfis gerados mostram o limite entre os domínios interpretados, que em mapa, se destacam por padrões de anomalias distintos.

Figura 68 – Perfis magnetométricos na região de transição de margem rica em magma para margem pobre em magma.

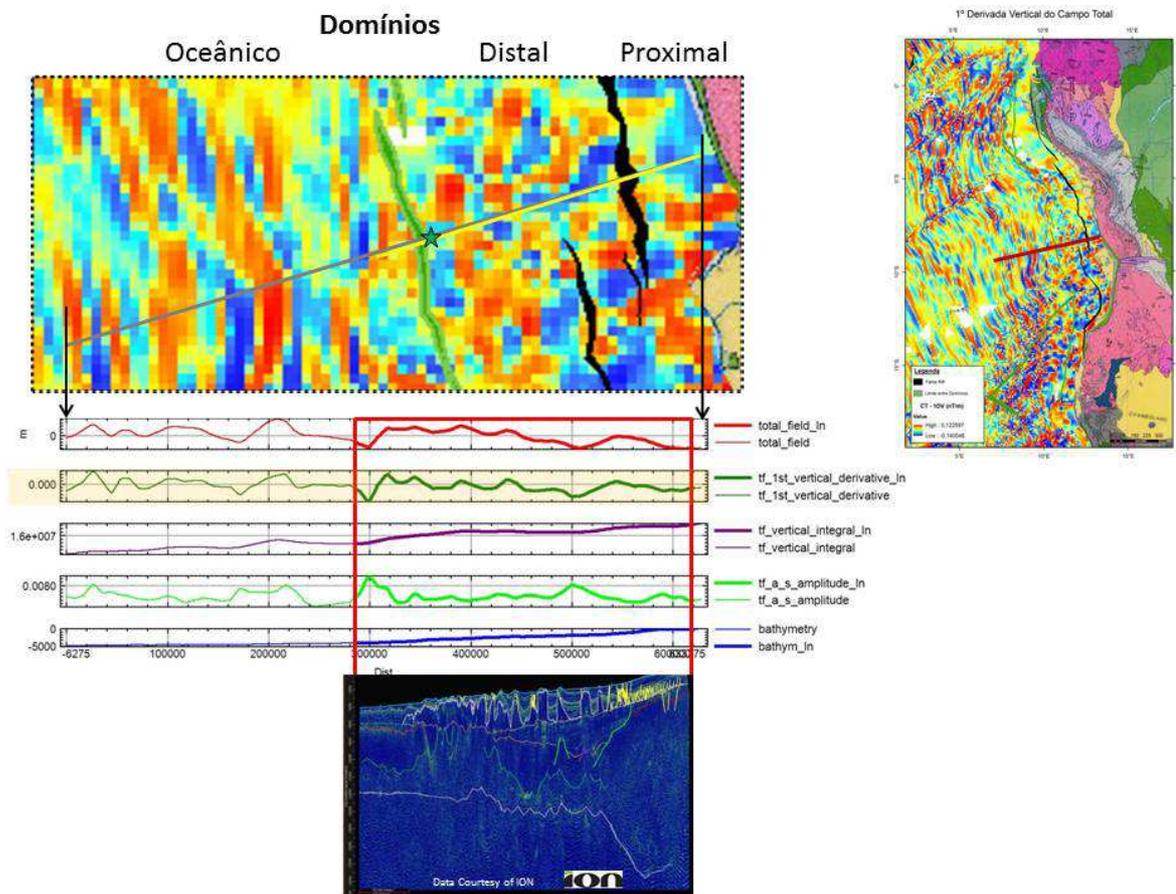


Nota: Em destaque o limite abrupto, de certa forma em ângulo, entre o padrão de anomalias do Domínio Oceânico e do Domínio Externo. Perfis: campo total (vermelho), 1ª derivada do campo total (verde escuro), integral vertical (roxo), amplitude do sinal analítico (verde claro) e batimetria (azul). No canto superior direito da figura, no arcabouço tectônico das margens rifteadas, a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988). No mapa regional (direita): mapa magnetométrico da 1ª Derivada do Campo Total, onde as

linhas vermelhas mostram a localização dos perfis. Nos perfis, os trechos de linha espessa representam áreas com cobertura de dados sísmicos.

Fonte: A autora, 2016.

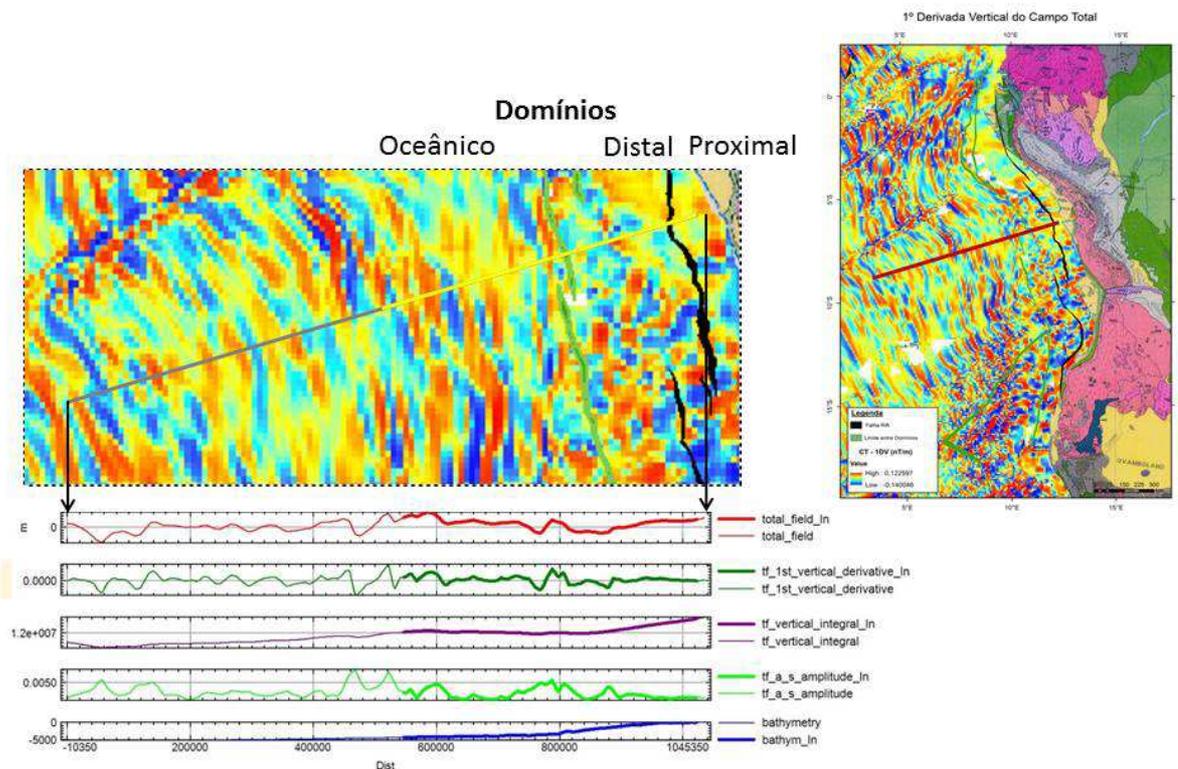
Figura 69 – Perfil magnetométrico transversal à Bacia de Kwanza.



Nota: Observar o contraste entre o padrão de anomalias do Domínio Oceânico e do Domínio Distal. Perfis: campo total (vermelho), 1ª derivada do campo total (verde escuro), integral vertical (roxo), amplitude do sinal analítico (verde claro) e batimetria (azul). No canto superior direito da figura, no arcabouço tectônico das margens rifteadas, a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988). No mapa regional (direita): mapa magnetométrico da 1ª Derivada do Campo Total, onde a linha vermelha mostra a localização do perfil. Nos perfis, os trechos de linha espessa representam áreas com cobertura de dados sísmicos. Na parte inferior da figura, a seção de amplitude sísmica da linha interpretada.

Fonte: A autora, 2016.

Figura 70 – Perfil magnetométrico transversal à Bacia de Kwanza, na sua porção mais ao norte.



Nota: Observar o contraste entre o padrão de anomalias do Domínio Oceânico e do Domínio Distal. Perfis: campo total (vermelho), 1ª derivada do campo total (verde escuro), integral vertical (roxo), amplitude do sinal analítico (verde claro) e batimetria (azul). No canto superior direito da figura, no arcabouço tectónico das margens rifteadas, a Linha Verde externa marca o limite do Domínio Oceânico e a Linha Preta o limite do Domínio Proximal. Mapa geológico na porção emersa, baseado em DE WIT et al. (1988). No mapa regional (direita): mapa magnetométrico da 1ª Derivada do Campo Total, onde a linha vermelha mostra a localização do perfil. Nos perfis, os trechos de linha espessa representam áreas com cobertura de dados sísmicos.

Fonte: A autora, 2016.