

MODELAGEM 2-D DE DADOS GRAVIMÉTRICOS E AEROMAGNÉTICOS DE CUBA CENTRO-ORIENTAL

RIGOBERTO LÁZARO PRIETO CAINZOS, ELISABETE MARIA PASCHOLATI & CARLOS ROBERTO DE SOUZA FILHO

Abstract *TWO DIMENSIONAL MODELING OF GRAVIMETRIC AND AEROMAGNETIC DATA OF CENTRAL EASTERN CUBA* This paper shows the results of a 2-D geologic-geophysical modeling of central-eastern Cuba. This was achieved through SW-NE-trending sections using gravimetric and magnetic data. The study area comprises broad sectors of key geologic units recognized in Cuba, such as the Cretaceous volcanic arc (CVA), the Mesozoic ophiolites, the margin of the Bahamas continental platform (Upper Jurassic-Upper Cretaceous) and the Cenozoic cover. The region's unique geologic characteristics, including a variety of rocks and structures, make it an attractive site to evaluate geophysical methods and their usefulness in geologic mapping. The 2-D modeling (interactive, direct method) involved the conception of an initial model that was calculated on the basis of the geologic-geophysical behavior of sources responsible for the geophysical anomalies, and subsequent adjustment of gravimetric and magnetic models. This yielded a comprehensible distinction between units of the volcanic arc and ophiolites, and also the distinction among these oceanic units and the continental unit (Bahamas platform).

Keywords: airborne geophysics, geological modeling, ophiolites, volcanic arc, continental platform, Cuba

Resumo O presente artigo apresenta os resultados da modelagem geológico-geofísica 2-D da região de Cuba Centro-Oriental, através de perfis de direção SW-NE, utilizando dados gravimétricos e magnetométricos. Essa região compreende setores das principais unidades geológicas documentadas no arquipélago cubano, as quais incluem o arco de ilha Cretácico (AVC), os ofiolitos Mesozóicos, a margem continental da plataforma das Bahamas (Jurássico Superior-Cretáceo Superior) e a cobertura sedimentar Cenozóica. Cuba Centro-Oriental é marcada por uma grande diversidade de rochas e estruturas, o que a torna atrativa para a utilização e avaliação de modelos geofísicos aplicados ao mapeamento geológico. A modelagem 2-D (método direto interativo) compreendeu a criação de um modelo inicial, calculado com base no comportamento geológico-geofísico das fontes responsáveis pelas anomalias geofísicas, e a comparação dos parâmetros da anomalia calculada com aqueles da anomalia observada, para posterior ajuste. O ajuste dos modelos gravimétrico e magnético permitiu discriminar as unidades oceânicas (seqüências ofiolíticas - arco vulcânico) da unidade continental (Plataforma das Bahamas).

Palavras-chave: aerogeofísica, modelagem geológica, ofiolitos, arco vulcânico, plataforma continental, Cuba

INTRODUÇÃO A maior expressão geológico-estrutural em Cuba Centro-Oriental, no contexto da evolução do Caribe, é o Arco Vulcânico Cretácico (AVC). Diversos modelos sobre a evolução tectônica desse arco têm sido propostos, entre os quais se destacam aqueles de Iturralde-Vinent *et al.* (2000), Meschede & Frisch (1998) e Stanek *et al.* (2000). Contudo, em que pese os esforços realizados em anos recentes, pouco ainda se conhece sobre os processos de reativação magmática do AVC, o arranjo e a composição das rochas pertencentes ao complexo ofiolítico e seu vínculo à zona de sutura. Além disso, há uma controvérsia histórica sobre a polaridade das estruturas vinculadas a subducção-colisão das placas oceânicas do Caribe e continental, da Plataforma das Bahamas (Iturralde-Vinent *et al.* 2000, Stanek *et al.* 2000, Kerr 1999).

Este trabalho pretende contribuir com a modelagem 2-D de dados gravimétricos e aeromagnéticos da região de Cuba Centro-Oriental, a partir de três perfis de direção SW-NE (Fig. 1), com o objetivo mais amplo de dar suporte à interpretação da geologia regional e auxiliar na discussão e solução de questões de fronteira

sobre a geologia do Caribe.

GEOLOGIA REGIONAL A geologia de Cuba é considerada como uma das mais complexas da região do Caribe (Iturralde-Vinent *et al.* 2000). A partir da década de 60, o arquipélago passou a ser estudado sistematicamente, através de levantamentos geológicos básicos conduzidos por geólogos cubanos e do antigo bloco socialista (Furrazola *et al.* 1964, Khudoley & Meyerhoff 1971, Shein 1974, Puscharowski *et al.* 1989). Recentemente, a geologia do território cubano tem sido tratada num contexto mais amplo, principalmente quanto ao seu papel na origem e evolução do Caribe (Ross & Scotese 1988, Pindell *et al.* 1988, Iturralde-Vinent 1997, Meschede & Frisch 1998).

O arcabouço geológico de Cuba, segundo o modelo geológico de Iturralde-Vinent (1997), apresenta dois níveis estruturais principais reconhecidos no arquipélago: o substrato dobrado e o neo-autóctone (Fig. 1).

O **substrato dobrado** (Campaniano Médio até Eoceno Superior) é formado por diferentes unidades, variavelmente alóctones, de

natureza continental e oceânica. Os terrenos continentais são representados por núcleos de alto grau metamórfico (Bloco "Yucatan") e pela Plataforma das Bahamas. Os terrenos de natureza oceânica incluem os ofiolitos setentrionais e os arcos insulares, sendo o maior, do Cretáceo e o menor, do Paleógeno.

O **neo-autóctone** (Eoceno Superior-Quaternário) compreende rochas e estruturas geradas posteriormente à consolidação do substrato dobrado (Eoceno superior), quando predominaram movimentos verticais que levaram à formação de blocos com espessuras de sedimentos de centenas a milhares de metros.

CONTEXTO GEOLÓGICO DE CUBA CENTRO-ORIENTAL A área de estudo, Cuba Centro-Oriental, apresenta os dois níveis estruturais expostos (Iturralde-Vinent 1997). O substrato dobrado é constituído por diversas unidades alóctones, de natureza continental e oceânica, cuja origem e evolução está relacionada a processos orogênicos ocorridos fora dos limites atuais do território cubano. À unidade de natureza continental, pertencem os terrenos da Plataforma das Bahamas (Zona Remédios) e as Sequências do Protocaribe. As unidades de natureza oceânica incluem partes da crosta antiga do Caribe (ofiolitos do Cinturão Setentrional) e o Arco Vulcânico Cretácico (Figuras 2 e 3). O neo-autóctone é representado por rochas e estruturas desenvolvidas, principalmente, na posição atual de Cuba.

SUBSTRATO DOBRADO DE NATUREZA CONTINENTAL A **Plataforma das Bahamas (PB)** situa-se ao norte de Cuba e é constituída por zonas dobradas com estratigrafia própria, denominadas Canal Velho das Bahamas, Calho Coco e Remédios (esta última, presente na área de estudo) (Fig. 3).

A Zona Remédios situa-se na periferia meridional da Plataforma das Bahamas e é composta por sequências de até 2000 m de calcários e dolomitos (Figuras 2 e 3), formados em águas pouco profundas (Díaz *et al.* 1997). Essas rochas estão intensamente deformadas por falhas de cavalgamento e por dobras.

As **Sequências do Protocaribe (SP)** encontram-se numa faixa dobrada entre a Plataforma das Bahamas (Zona Remédios) e os terrenos alóctones de natureza oceânica (ofiolitos, arco vulcânico). Essa faixa, hoje conhecida como zonas Camajuani e Placetas (Furrazola *et al.* 1964), foi originada pela compressão dos sedimentos e da crosta protocaribenha, como consequência da colisão do alóctone oceânico contra a margem continental das

Bahamas. As SP compreendem calcários estratificados, dolomitos e basaltos na base, com espessuras de milhares de metros (Figuras 2 e 3).

SUBSTRATO DOBRADO DE NATUREZA OCEÂNICA A **Associação Ofiolítica do Cinturão Setentrional (AO)** ou **Ofiolito Camaguey** (Figuras 2 e 3), forma uma faixa com geometria em arco, de aproximadamente 1000 km². Dados oriundos de testemunhos de sondagem e gravimetria indicam que a espessura de rochas ultrabásicas que compõem esse ofiolito aumentam progressivamente de norte para sul, podendo chegar a pelo menos 5 km na região de Camaguey (Iturralde-Vinent *et al.* 2000).

O ofiolito Camaguey representa uma mélangé tectônica e encontra-se em contato tectônico, a N-NE, com unidades da Plataforma das Bahamas (Sequências do Protocaribe e Zona Remédios), por meio de um sistema de empurrões controlados por duas nappes principais. A norte, as falhas de empurrão apresentam mergulhos variáveis de 30° a 45° para SW, os quais aumentam progressivamente na porção sul do ofiolito, onde se tornam sub-verticais a verticais (Fig. 2). A fase final de colocação do ofiolito sobre a Plataforma das Bahamas começou no Paleoceno e durou até o Eoceno Superior (Iturralde-Vinent *et al.* 2000).

As duas nappes principais compreendem uma sucessão ofiolítica similar, que contém serpentinitos, peridotitos, gabros, basaltos e sedimentos pelágicos. A nappe inferior distingue-se da superior pelo conteúdo maior de sedimentos (e.g., unidade Sierra de Camaján, a norte de Camaguey).

Dentre os diversos ofiolitos descritos na região norte do Caribe, o ofiolito de Camaguey é o que possui a sequência mais completa (Iturralde-Vinent *et al.* 2000), apresentando exposições das unidades peridotíticas (transicional e cumulática) e vulcano-sedimentar.

A unidade peridotítica é composta principalmente por harzburgitos, mas ainda contém websteritos, lherzolitos, raros dunitos e ocorrências isoladas de cromita. Localmente, diques gabróicos cortam as sequências de harzburgitos. A serpentinização que atingiu as rochas dessa unidade varia, em intensidade, de fraca (onde a textura magmática das rochas aparecem preservadas) a muito forte (quando as rochas apresentam-se completamente alteradas).

A unidade cumulática é a mais desenvolvida do ofiolito. Olivina-gabros, noritos, troctolitos, assim como anortositos, formam grandes corpos com texturas de acamamento (*layering*) magmático.

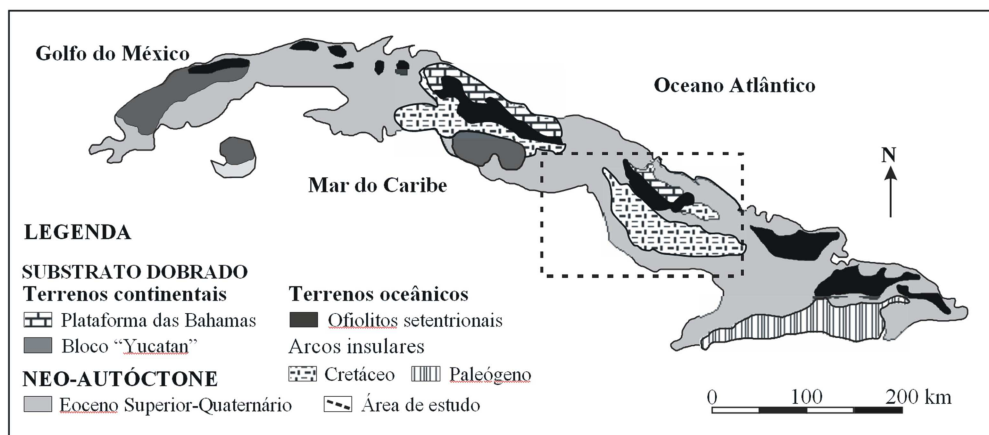


Figura 1 - Esboço geral da constituição geológica de Cuba (substrato dobrado e neo-autóctone) (modificado de Iturralde-Vinent 1997).

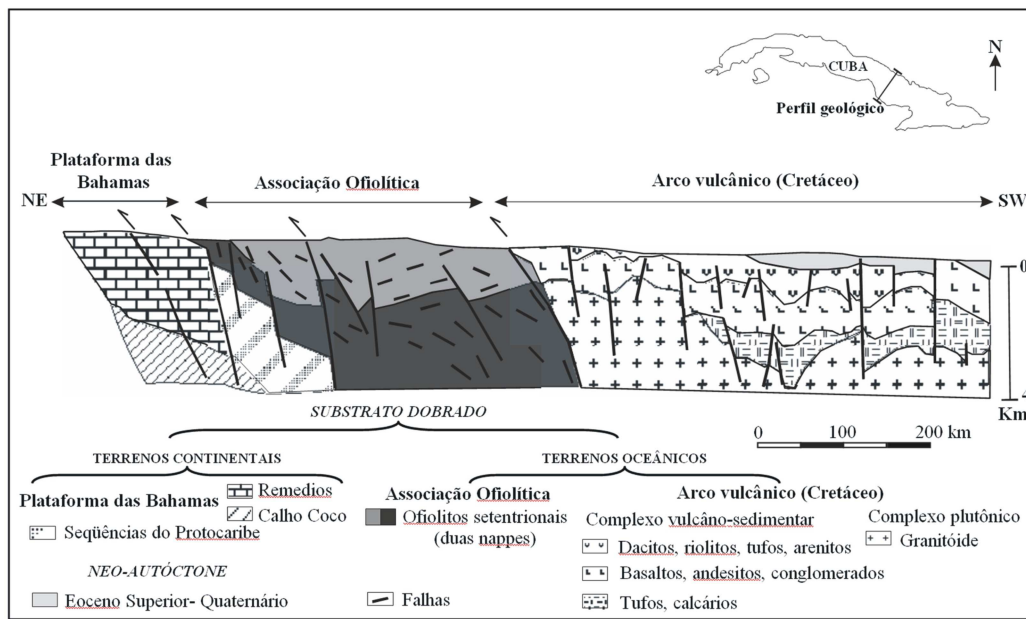


Figura 2 - Perfil geológico das principais estruturas do substrato dobrado em Cuba Centro-Oriental (região de Camaguey) (modificado de Iturralde-Vinent et al. 2000).

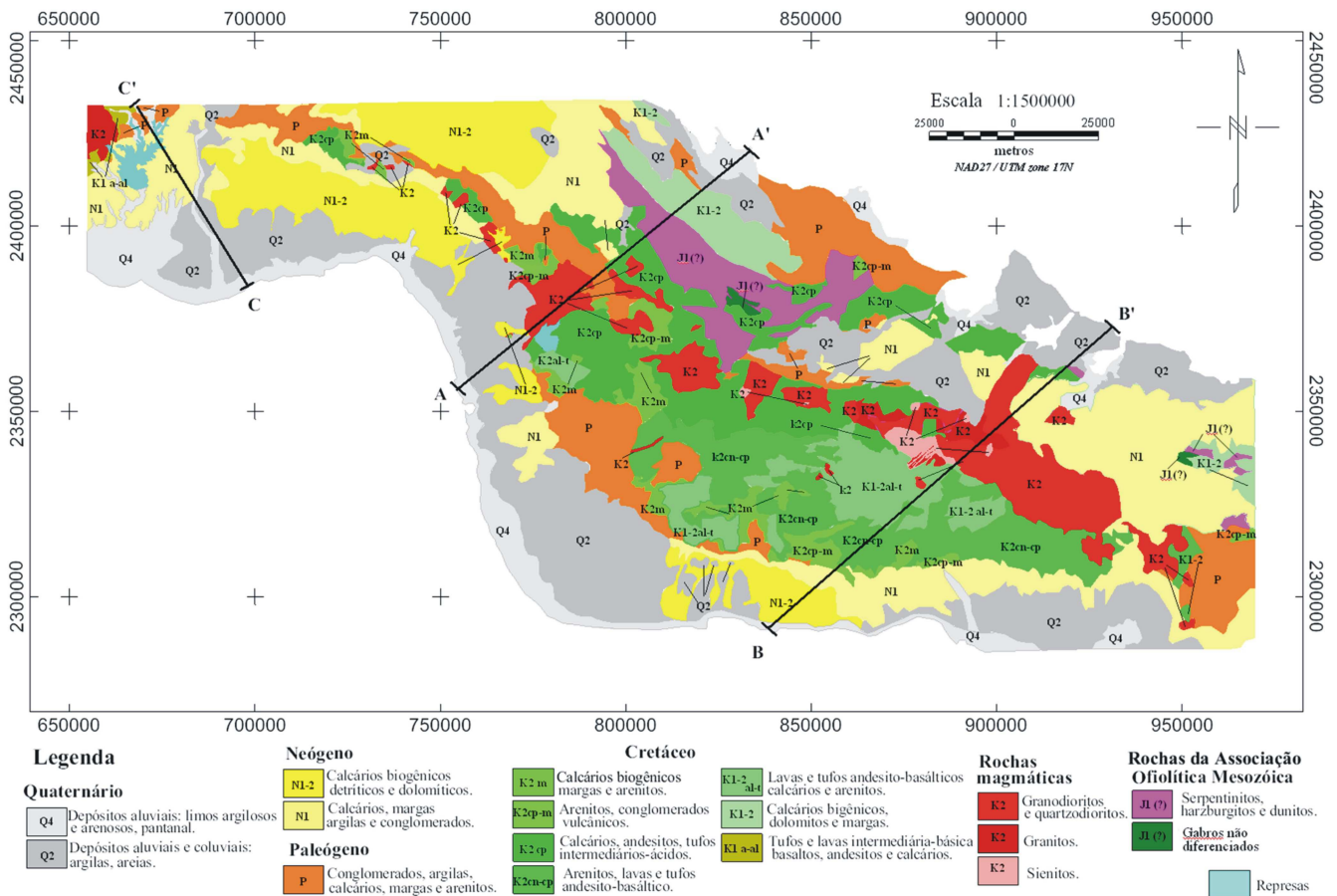


Figura 3 - Mapa litológico com a localização dos três perfis modelados, (modificado de Puscharowsky 1988).

Na partes inferiores dessa unidade, rochas ultramáficas (lherzolitos, websteritos, harzburgitos e poucos dunitos) ocorrem entres os cumulados. Diques de gabros, plagioclasitos e plagiogranitos também foram documentados. Entre as unidades peridotítica e cumulática, existe uma zona de transição, que contém uma mistura de rochas ultramáficas e corpos irregulares, além de diques de gabro e plagioclasito.

Existem raras exposições de enxames de diques em Cuba Central. Em meio à associação ofiolítica próxima à localidade de Mimas, ocorre uma série de diques doleríticos, que foram interpretados, por Iturralde-Vinent *et al.* (2000), como *sheeted dikes*.

O complexo vulcano-sedimentar da sequência ofiolítica aparece sob a forma de lascas tectônicas em diversas localidades. Uma seção de basaltos, hyaloclastitos, *cherts* e siltitos (Formação Albaiza) aflora sob a forma de blocos isolados, de dimensões quilométricas, a sul da Serra de Camaján. Na porção NW da área, próximo a localidade de Esmeralda, fatias de calcários e de *cherts* hemipelágicos encontram-se inclusos em serpentinitos (Formação Mate Prieto). A NE da cidade de Camaguey, ocorre uma grande lasca tectônica contendo xistos verdes, quartzo-mica-xistos, calcários e xistos carbonosos.

Corpos de cromita podiforme são abundantes ao norte de Camaguey. Esses corpos, alguns dos quais compreendem depósitos de cromita de granulação média (~30% Cr₂O₃), estão relacionados a diferentes níveis estruturais no ofiolito e têm, como principais rochas hospedeiras, peridotitos e dunitos. A maior parte dos corpos de cromita situa-se na zona de transição entre os peridotitos e as rochas básicas ricas em feldspato, assim como nas porções inferiores da unidade cumulática. Em Meseta San Felipe, carapaças lateríticas derivadas da alteração supergênica de rochas ultramáficas mostram enriquecimento em Ni.

Existem divergências sobre a origem dos ofiolitos de Camaguey. Alguns autores (Shein 1974, Ando *et al.* 1996) os relacionam ao complexo de subdução do arquipélago vulcânico cretácico; outros (Pushcharowsky *et al.* 1989, Iturralde-Vinent 1997) consideram os ofiolitos como relictos de uma bacia de retro-arco.

O **Arco Vulcânico Cretácico (AVC)** recobre tectonicamente os ofiolitos Camaguey (Figuras 2 e 3). O contato geralmente coincide com falhas de cavalgamento NW-SE (Rumo Cubano), apresentando zonas com foliação penetrativa, ou uma mistura complexa e caótica de blocos de rochas ofiolíticas e rochas derivadas do arco.

As rochas do arco podem ser caracterizadas como as de um antigo arquipélago de ilhas vulcânicas separadas por depressões e canais de água de diferente profundidade, onde coexistiram vulcões submarinos e insulares. Na área de estudo, são reconhecidos os complexos vulcano-sedimentares e plutônicos, com limites estratigráficos e tectônicos definidos (Figuras 2 e 3).

O **Complexo Vulcano-sedimentar** é formado, na base, por seqüências de vulcanismo básico com tendência alcalina, geradas em ambiente submarino. No topo, o complexo compreende rochas de composição intermediária-ácida (magmas riolíticos e dacíticos), desenvolvidas em ambiente submarino pouco fundo até subaéreo (Piñero *et al.* 1997). Na área de estudo, as rochas do Complexo Vulcano-sedimentar podem ser agrupadas em duas seqüências, que correspondem a duas bacias do antigo arquipélago vulcânico: a bacia de retro-arco e a bacia axial (Fig. 4).

A bacia de retro-arco é constituída por seqüências onde predominam rochas sedimentares com conteúdo de detritos vulcânicos relacionados às rochas da associação ofiolítica. Lavas e corpos sub-vulcânicos são pouco comuns nessa seqüência.

A bacia axial do arco engloba aparelhos vulcânicos com predo-

mínio de lavas e corpos sub-vulcânicos e intercalações de tufos e rochas sedimentares. Associados a esses aparelhos, essencialmente na interface entre rochas vulcânicas e plutônicas, processos de metamorfismo de contato e alterações metassomáticas são observados.

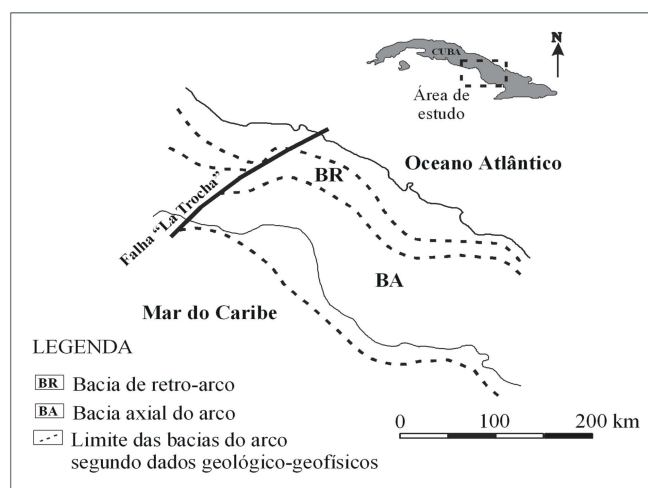


Figura 4 - Limite das bacias do arquipélago vulcânico (modificado de Iturralde-Vinent 1997).

As rochas plutônicas (**Complexo Plutônico**) contidas na área de estudo, de acordo com suas características petroquímicas, foram divididas em três séries: cálcio-alcalina normal, cálcio-alcalina sódica e alcalina (Marí *et al.* 1997, Pérez & Sukar 1997).

A série cálcio-alcalina normal possui a maior extensão em área. Seu conteúdo de K₂O varia lateralmente, aumentando na região Camaguey-Las Tunas. É constituída por rochas do Complexo Tonalito-granodiorítico (quartzo-dioritos, monzodioritos e raros gabro-dioritos) (Fig. 3).

A série cálcio-alcalina sódica apresenta um desenvolvimento escasso na área de estudo, sendo constituída pelo Complexo Gabro-plagiogranítico.

A série alcalina somente é reconhecida na região de Camaguey e é caracterizada por altas concentrações de K₂O, maiores que as de Na₂O. Essa série é representada pelo Complexo Gabro-sienítico, constituído principalmente por rochas sieníticas.

NEO-AUTÓCTONE O neo-autóctone é constituído por rochas e estruturas formadas posteriormente à consolidação do substrato dobrado (Eoceno Superior-recente), compreendendo extensas coberturas e grandes espessuras de rochas Cenozóicas (Figs. 2 e 3).

Segundo Iturralde-Vinent (1997), os movimentos verticais oscilatórios predominantes dessa etapa provocaram a formação de uma estrutura de blocos elevados a diferente altitude. Os blocos de altitude positiva apresentam pouca a nenhuma cobertura; no entanto, os blocos de altitude negativa apresentam até 3000 m de espessura de sedimentos. Nesses últimos, são reconhecidos três ciclos de transformação paleogeográfica, começando nas bacias com predomínio de sedimentos clásticos e terminando nas bacias com predomínio de calcários.

SÍNTESE TECTONO-ESTRUTURAL O mapa geológico de Cuba na escala de 1:500 000 (Capote *et al.* 1992) apresenta a idade relativa dos principais tectono-lineamentos de Cuba e é, até hoje, utilizado como base para interpretações tectono-estruturais. Considerando a terminologia adotada nesse mapa, são expostos a seguir, os principais sistemas de lineamentos presentes na área de estudo (Fig. 5):

(i) Sistema “Cubano”: de direção NW-SE, é representado geralmente por falhas normais relacionadas à evolução da faixa dobrada do arco. Essas falhas exerceram um forte controle no magmatismo do arco. A falha mais expressiva é a falha “Cubana Axial”;

(ii) Sistema “Camaguey”: de direção NE, é representado por falhas transtensivas profundas, bem expressas pelo relevo e pela geologia. Essas falhas separam blocos estruturais distintos e, possivelmente, foram reativadas de modo sucessivo durante a evolução da região. As falhas mais representativas desse sistema são “La Trocha” e “Camaguey”;

(iii) Sistema “Banao”: de direção N-S, compreende falhas com movimentação vertical, reversa e normal, relacionadas ao neo-autoctone.

EVOLUÇÃO TECTÔNICA REGIONAL Entre os modelos propostos nos últimos anos sobre a origem e evolução do Caribe, incluindo Cuba Centro-Oriental, destacam-se os de Iturralde-Vinent *et al.* (1997, 2000). Segundo esses modelos, a região a sul da zona Remédios é caracterizada pela presença simultânea de rochas da associação ofiolítica e sedimentos do AVC (mélange), constituindo relictos de uma crosta de bacia de retro-arco. No entanto, Ando *et al.* (1996) e Pindell *et al.* (1988) defendem a idéia da relação dos ofiolitos ao complexo de subdução a norte, provavelmente de idade Alvia. A presença de rochas boniniticas encontradas em localidades a leste da área de estudo (pela primeira vez nas Antilhas), junto a rochas da associação ofiolítica (com datação de K-Ar entre 120-130 Ma ou mais antigas), sugere que ambos complexos sejam pré-Alvianos e que dois arcos de ilha coexistiram no estágio primário, na região (Kerr *et al.* 1999). O arco boninitico, ter-se-ia desenvolvido no Jurássico Superior-Cretáceo

Inferior, a norte da atual mélangé ofiolítica, e a sua gênese estaria ligada à presença de falhas transformantes relacionadas ao início da história evolutiva da zona de subdução. A inclinação da zona de subdução do arco primitivo boninitico em direção sul pressupõe a existência da bacia de retro-arco junto às rochas ofiolíticas. Por sua vez, essa bacia estaria geneticamente interligada à evolução do arco cretácico, localizado a sul (Fig. 6).

BASES PARA A MODELAGEM 2D A modelagem 2-D na área de estudo foi realizada utilizando-se o mapa geológico (Fig. 3); o mapa residual do campo gravimétrico calculado a partir do mapa de anomalia Bouguer com um filtro de continuação para baixo até 4.000 m (Fig. 7); o mapa residual do campo magnético calculado a partir do mapa do campo magnético anômalo com filtro de continuação para baixo até 2.000 m (Fig. 8); medidas de densidade e susceptibilidade magnética, obtidas em laboratório, sobre amostras coletadas na área de estudo (Tabela 1); e dados obtidos a partir de mapas petrofísicos regionais de Cuba (Vega *et al.* 1994), na escala de 1:1.000.000.

Na análise dos dados de petrodensidade foram considerados os processos que afetaram o grau de conservação das rochas, tais como intemperismo, tectônica, metamorfismo, entre outros. Os mapas residuais do campo gravimétrico (Fig. 7) e do campo magnético anômalo (Fig. 8), foram obtidos a partir da interpolação (método de Krigagem Linear) da base de dados em formato ASCII (x, y, z), respectivamente, do levantamento gravimétrico na escala 1:250.000 e do levantamento aeromagnético na escala de 1:50.000.

O processo de modelagem dos dados gravimétricos e aeromagnéticos foi realizado em uma série de etapas, descritas a seguir:

1- seleção de um modelo geológico para a área de estudo. O modelo conceitual de Iturralde-Vinent (1997) e Iturralde-Vinent *et al.* (2000) foi proposto com base em trabalhos de campo sistemáti-

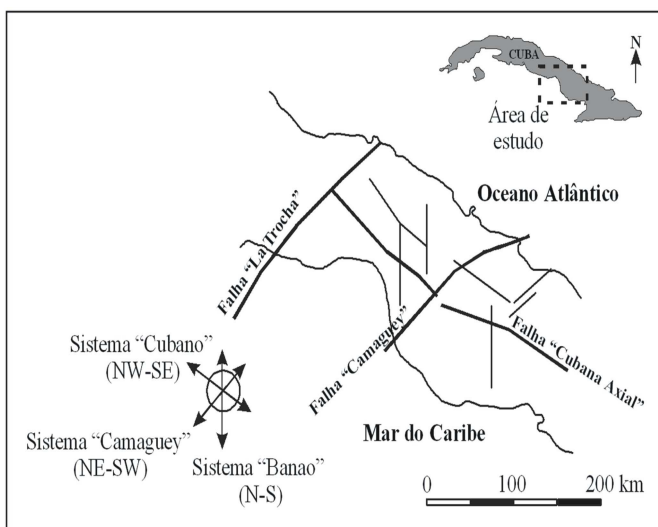


Figura 5 - Principais feições tectônicas em Cuba Centro-Oriental (modificado de Iturralde-Vinent 1997).

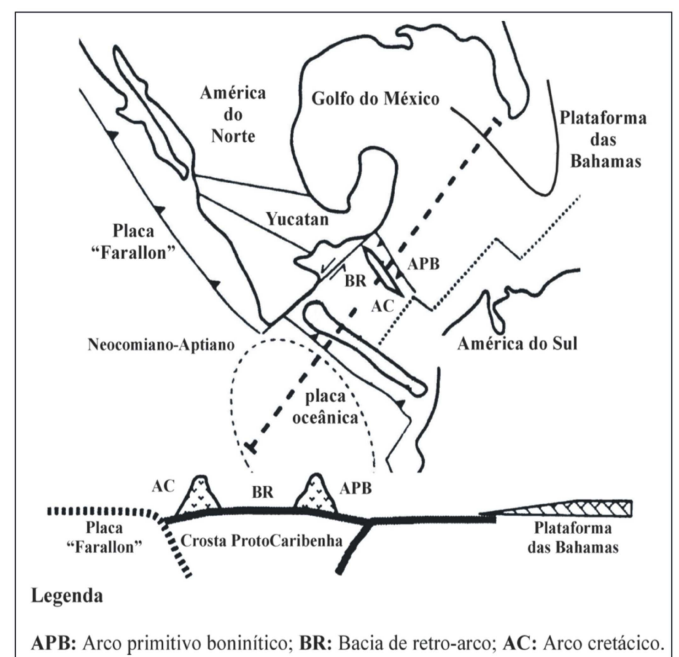


Figura 6 - Evolução do cinturão dobrado no contexto do Caribe no Neocomiano-Aptiano (modificado de Kerr *et al.* 1999).

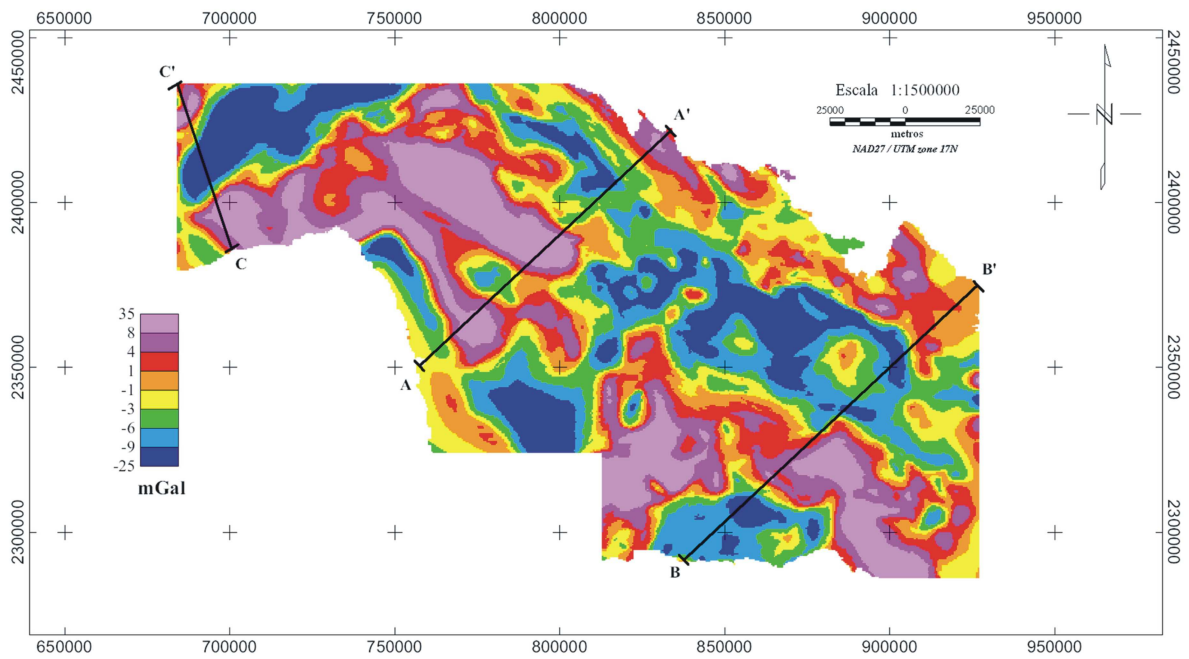


Figura 7 - Mapa residual do campo gravimétrico até 4.000 m, com perfis de modelagem.

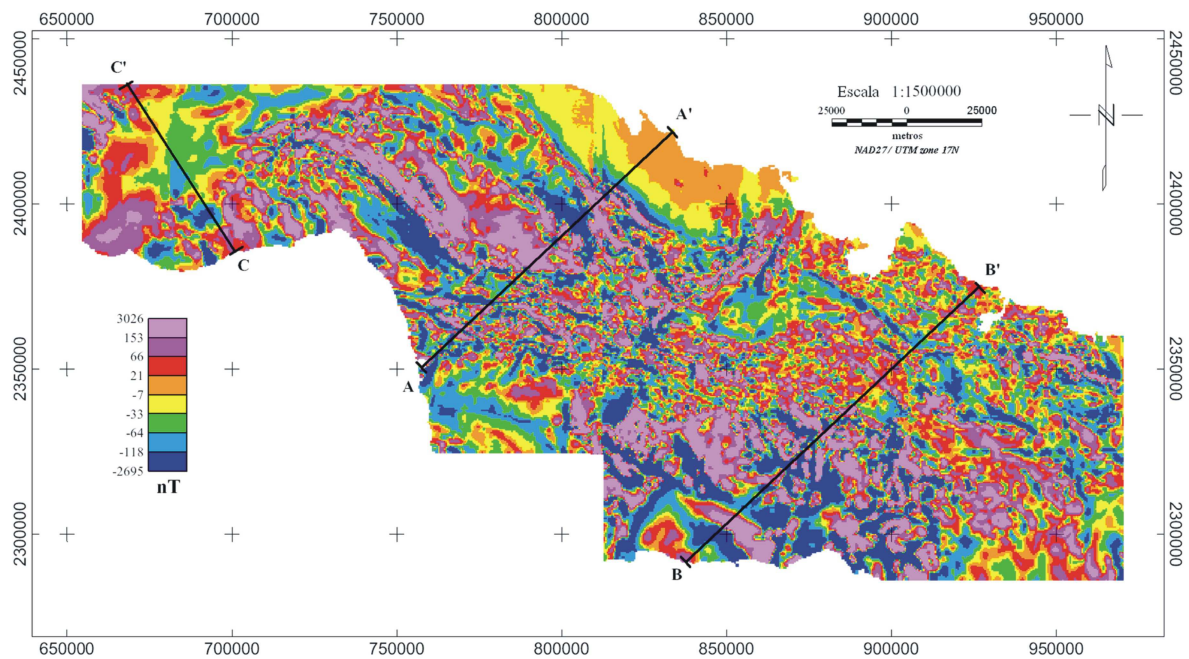


Figura 8 - Mapa residual do campo magnético anômalo até 2.000 m, com perfis de modelagem.

Tabela 1 - Valores médios de densidade e susceptibilidade magnética das unidades geotectônicas que formam o substrato dobrado em Cuba Centro-Oriental (modificado de Pérez et al. 1998).

Denominação	Densidade (σ . t/m ³)	Susceptibilidade Magnética (χ . 10 ⁻⁵ SI)
Margem continental da Plataforma das Bahamas	2.80	100
Associação ofiolítica	2.55	1500
Arco vulcânico cretácico	2.67	3000

cos realizados em Cuba Centro-Oriental, é o mais consensual na literatura e, portanto, foi o adotado neste estudo. Sumariamente, o modelo de Iturralde-Vinent (1997) advoga a existência de um cinturão orogênico cubano, constituído pelas unidades geotectônicas continental (Plataforma das Bahamas) e oceânica (associação ofiolítica e arco vulcânico cretácico). As unidades oceânicas teriam sido deslocadas para a Plataforma das Bahamas pela subducção e posterior colisão da placa Protocaribenha com a Norte-americana, estando as mesmas cobertas parcialmente por depósitos sedimentares mesozóicos;

2- análise das principais fontes responsáveis pelas anomalias geofísicas e suas respectivas profundidades. Foram levados em consideração, os corpos perturbadores até uma profundidade média de 5000 m;

3- obtenção da resposta dos campos potenciais. Foram confeccionados os mapas residuais do campo gravimétrico (Fig. 7) e do campo magnético anômalo (Fig. 8);

4- modelagem 2-D das fontes supracrustais e intracrustais (até 5000 m). A modelagem baseou-se na proposta de Talwani (1959) e Talwani *et al.* (1965), onde as anomalias são interativamente observadas e calculadas a partir do re-posicionamento dos polígonos criados, até que a anomalia calculada atinja a melhor correspondência (menor erro) em relação à observada.

Os procedimentos que permitiram a geração dos modelos geológico-geofísicos 2-D foram os seguintes:

1- seleção de perfis regionais, à oeste, centro e leste da área de estudo, compreendendo as principais associações litológicas documentadas em Cuba Centro-Oriental (Fig. 3);

2- definição de parâmetros dos campos físicos, tais como intensidade do campo magnético total, inclinação e declinação do vetor de indução magnética e altura de vôo do aerolevante;

3- traçado (no modelo a ser criado) das superfícies correspondentes às profundidades das fontes anômalas previamente selecionadas (até 5000 m);

4- traçado dos polígonos correspondentes aos corpos causadores das fontes anômalas, definindo os valores de densidade e susceptibilidade magnética aparente, baseados em dados de laboratório (Tabela 1) e mapas petrofísicos (Vega *et al.* 1994);

5- ajuste da anomalia gravimétrica do modelo à observada;

6- ajuste da anomalia magnética do modelo à observada;

7- confecção do modelo geológico, levando em consideração a análise da geologia superficial presente em cada perfil selecionado.

Esta seqüência de procedimentos foi aplicada aos três perfis selecionados na área de estudo.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS Perfil A-A' O perfil A-A' tem direção SW-NE, azimute 52° e corta a porção central da área de estudo. Esse perfil secciona as estruturas e rochas de natureza oceânica (arco de ilha-associação ofiolítica) e continental (seqüências do Protocaribe-Plataforma das Bahamas), além de rochas da cobertura Mesozóica (Fig. 3).

O modelo geológico-geofísico gerado com base nessa seção partiu primeiramente da análise da anomalia gravimétrica observada, visando a definição do quadro geológico-estrutural até uma profundidade média de 4000 m (Fig. 7). O ajuste da anomalia calculada à observada foi obtido com erro de ajuste de 1.3 mGal (Fig. 9).

O ajuste da anomalia magnética foi realizado estimando-se a profundidade média das fontes anômalas até 5000 m (Fig. 8), com erro de 64 nT (Fig. 9). Nessa análise, somente foi considerada a magnetização induzida, o que aumenta a complexidade de modela-

gem desse campo. Assim, para diminuir as incertezas, ao assumir os valores de susceptibilidade magnética aparente para cada polígono, procurou-se validar um quadro geológico regional.

A interpretação do modelo 2-D para o perfil A-A' permite as seguintes considerações (Tabela 2, Fig. 9):

- de SW para NE, levando-se em conta principalmente o ajuste do modelo gravimétrico e, ocasionalmente, o magnético, foi possível definir a presença de estruturas e unidades relacionadas às espessuras de rochas mesozóicas em contato tectônico com as unidades oceânicas (arco de ilha-associação ofiolítica) e dessas, por sua vez, com as unidades continentais (seqüências do Protocaribe-Plataforma das Bahamas);

- no AVC, o modelo gravimétrico permitiu a diferenciação dos complexos plutônico e vulcano-sedimentar;

- o Complexo Plutônico do AVC, a partir da interpretação gravimagnética realizada nesse trabalho, foi corroborado como uma suite granítica, caracterizada pela variabilidade lateral e, ocasionalmente vertical, nas propriedades físicas das rochas que a compõem (densidade e susceptibilidade), o que foi geologicamente interpretado como mudanças de fácies na suite. Essa variação está em sintonia com os trabalhos de Mari *et al.* (1997) e Pérez & Sukar (1997), que constataram que esse complexo compreende, fundamentalmente, rochas plutônicas das séries cálcio-alcalina normal (Complexo Tonalito-granodiorítico) e cálcio-alcalino sódica (Complexo Gabro-plagiogranítico);

- o Complexo Vulcano-sedimentar de composição intermediária-ácida pertencente à bacia de retro-arco do AVC é marcado pela queda da intensidade do campo gravimétrico, associado à alta variabilidade do campo magnético;

- o modelo gravi-magnetométrico mostra uma diferenciação a partir dos contrastes de densidade e susceptibilidade no contexto da associação ofiolítica, observando-se uma diminuição da intensidade do campo gravimétrico e alta variabilidade no magnético, o que sugere uma variação de fácies nessa associação (e.g., diferenciação no grau de serpentinização - Iturralde-Vinent 1997);

- o extremo NE do perfil mostra aumento na intensidade do campo gravimétrico e queda e posterior estabilidade do campo magnético, relacionados ao aparecimento de rochas pertencentes à margem continental da Plataforma das Bahamas em contato tectônico com as da associação ofiolítica (Iturralde-Vinent 1997). Essa unidade é constituída pelas seqüências do Protocaribe (calcários estratificados) e pelas seqüências da borda setentrional da Plataforma das Bahamas (calcários e dolomitos).

Perfil B-B' O perfil B-B', de direção SW-NE e azimute 52°, corta a porção leste da área de estudo. A seção modelada inclui rochas da cobertura Mesozóica, do AVC, da associação ofiolítica e da margem continental da Plataforma das Bahamas (Fig. 3). Os perfis gravimétrico e magnético foram ajustados com erros de 1,18 mGal e 65 nT, respectivamente (Fig. 10).

A interpretação do modelo 2-D através do perfil B-B' permite as seguintes considerações (Fig. 10 e Tabela 3):

- o modelo gravi-magnetométrico realça a presença de rochas do AVC em contraste com as seqüências mesozóicas e a associação ofiolítica-margem continental das Bahamas;

- a porção central do perfil gravimétrico mostra um marcante contraste de densidade associado ao AVC. Observa-se, na porção SW do perfil, a presença de rochas associadas ao Complexo Vulcano-sedimentar, inferindo-se o aumento da intensidade do campo gravimétrico como devido à variabilidade e alternância do magmatismo efusivo desse complexo (Piñero *et al.* 1997). Seguin-

Tabela 2 - Resultados da modelagem geológico-geofísica em 2-D do perfil A-A' (azimute 52°).

Bloco	Densidade ($\sigma = t/m^3$)	Susceptibilidade Magnética ($\chi \cdot 10^{-5}$ SI)	Interpretação geológico-geofísica
B-1	2.38	250	Sedimentos não consolidados quaternários (argilosos e arenosos)
B-2	2.68	44100	Suíte granítica (de composição intermediária-básica do AVC)
B-2a	2.70	3000	Suíte granítica (de composição intermediária do AVC)
B-3c	2.55	3600	Suíte granítica (de composição intermediária-ácida do AVC)
B-4	2.70	4500	Suíte granítica (de composição intermediária-básica do AVC)
B-5	2.60	800	Complexo efusivo-sedimentar de composição intermediária-ácida do AVC
B-6	2.52	1600	Associação ofiolítica
B-6a	2.52	2200	Associação ofiolítica
B-7	2.61	200	Seqüências do Protocaribe da Margem Continental
B-8	2.67	250	Plataforma das Bahamas

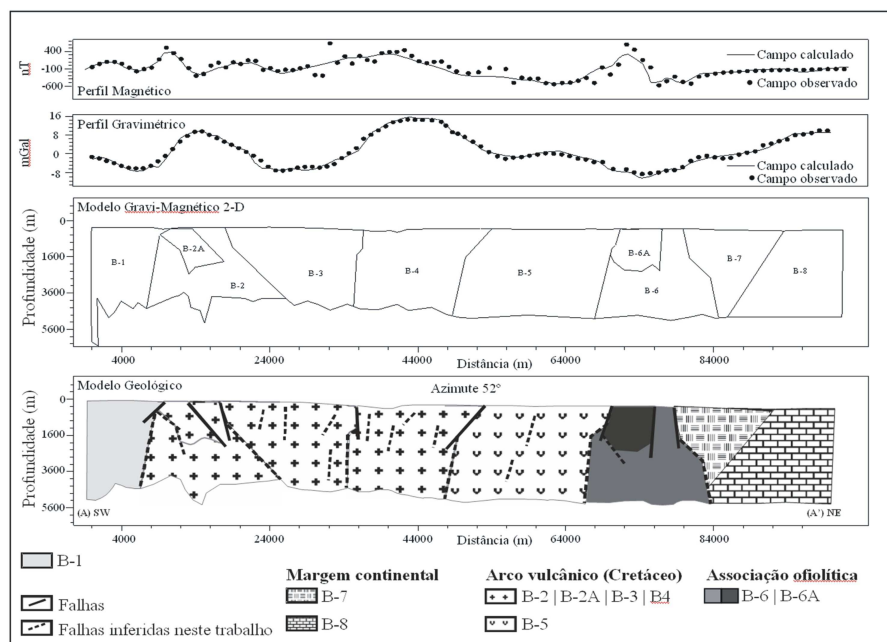


Figura 9 - Modelo geológico-geofísico 2-D através do perfil A-A', Cuba Centro-Oriental. B-1: Sedimentos não consolidados recentes (Q). B-2 | B-2A | B-3 | B-4: Suíte granítica. B-5: Corpo vulcano-sedimentar de composição intermediária-ácida. B-6 | B-6A: Ofiolitos setentrionais. B-7: Seqüências do Protocaribe. B-8: Plataforma das Bahamas.

do na direção NE do mesmo perfil, observa-se uma queda e diminuição da intensidade do campo gravimétrico, fato atribuído à presença de um contato tectônico entre rochas pertencentes à suíte granítica de composição intermediária-ácida e às seqüências vulcano-sedimentar do AVC;

- mais a NE no perfil, observa-se uma diminuição da intensidade do campo gravimétrico, a qual pode ser interpretada como devida a seqüências espessas de sedimentos (Fig. 10), vinculados à bacia de retro-arco do AVC (Iturralde-Vinent 1997);

- a porção mais extrema a NE do perfil gravimétrico é marcada

por um leve incremento e posterior linearidade das intensidades do campo. Esse comportamento é interpretado como função da presença de um corpo tabular constituído pelos ofiolitos setentrionais, entre as estruturas AVC e margem continental das Bahamas. Em superfície, são observadas rochas pertencentes à associação ofiolítica misturadas a sedimentos continentais (Fig. 3);

- o perfil magnético, na mesma secção, apresenta um campo bastante variável. A variabilidade desse campo pode ser função de mudanças faciológicas no Complexo Vulcano-sedimentar (o que, conseqüentemente, provoca mudanças de susceptibilidade

Tabela 3 - Resultados da modelagem geológico-geofísica em 2-D do perfil B-B' (azimute 52°).

Bloco	Densidade ($\sigma = t/m^3$)	Susceptibilidade Magnética ($\chi \cdot 10^{-5}$ SI)	Interpretação geológico-geofísica
B-1	2.40	500	Sedimentos não consolidados recentes (argilosos e arenosos)
B-1a	2.40	2000	Corpo vulcano-sedimentar (inferido) de composição intermediária-ácida do AVC
B-2	2.60	2570	Complexo vulcano-sedimentar de composição intermediária do AVC
B-3	2.65	5055	Complexo vulcano-sedimentar de composição intermediária-básica do AVC
B-4	2.60	2300	Suíte granítica (de composição intermediária-ácida do AVC)
B-5	2.30	200	Sedimentos não consolidados recentes (argilosos e arenosos)
B-6	2.55	1555	Associação ofiolítica
B-7	2.42	500	Plataforma das Bahamas

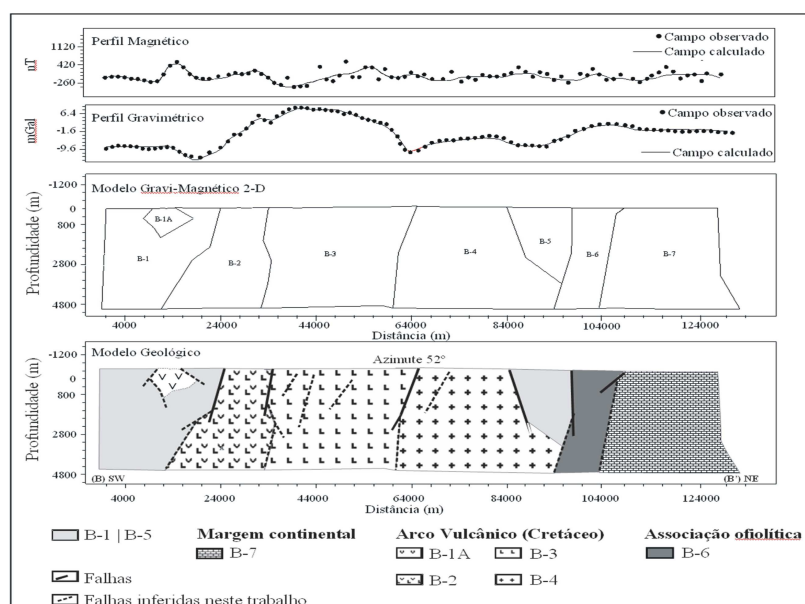


Figura 10 - Modelo geológico-geofísico 2-D através do perfil A-A', Cuba Centro-Oriental. B-1 | B-5: Sedimentos não consolidados recentes (Q). B-1A: Corpo vulcano-sedimentar de composição intermediária-ácida (inferido neste trabalho). B-2: Complexo Vulcano-sedimentar de composição intermediária. B-3: Complexo Vulcano-sedimentar de composição intermediária- básica. B-4: Suíte granítica. B-6: Ofolitos setentrionais. B-7: Plataforma das Bahamas.

magnética) e/ou também pode estar associada a zonas de falhas vinculadas ao processo evolutivo do arco.

Perfil C-C' O perfil C-C', de direção SE-NW e azimute 152°, encontra-se situado na porção oeste da área de estudo e corta estruturas do AVC e da chamada "Bacia Central" (Fig. 3). Os perfis gravimétrico e magnético foram ajustados com erros de 0,7 mGal e 35 nT, respectivamente.

A interpretação do modelo 2-D através do perfil C-C' é comentada a seguir (Fig. 11 e Tabela 4):

- ao longo do perfil, o campo gravimétrico mostra-se bastante homogêneo, sendo caracterizado por um decréscimo de intensidades, as quais se tornam mais intensas na porção NW. Em superfície, a maior parte da área é coberta por sedimentos terciários e quaternários (Fig. 3). No entanto, a partir do ajuste dos campos físicos na porção inicial do perfil, propõe-se, para o modelo, a presença de um corpo denso e magnético, constituído pela suíte granítica do AVC, de composição intermediária-ácida;

- na porção central do perfil, o campo gravimétrico torna-se gradualmente menos intenso, relacionado à presença de grandes es-

pessuras de sedimentos recentes, compreendidos na “Bacia Central” (Iturralde-Vinent 1997). No extremo NW do perfil, um leve incremento das intensidades do campo gravimétrico associa-se à presença, em superfície, de rochas pertencentes ao Complexo Vulcano-sedimentar de composição intermediária-básica do AVC;

- como pode ser observado na porção central do perfil, torna-se difícil o ajuste do campo magnético pela alta variabilidade do mesmo. Essa porção da área foi sujeita a fortes movimentos oscilatórios e intenso falhamento, fato que, aparentemente, contribuiu para aumentar a complexidade do campo magnético.

CONCLUSÕES O ajuste dos modelos gravi-magnéticos possibilitou a diferenciação entre as unidades oceânicas (arco vulcânico e associação ofiolítica) e a sua separação da unidade continental da Plataforma das Bahamas.

No modelo, foi possível diferenciar, no AVC, a presença da suíte granítica do Complexo Vulcano-sedimentar. A partir das características e posterior ajuste do campo gravimétrico, foi possível inferir a existência de novas fácies da suíte granítica do AVC, ainda não descritas na literatura de Cuba Centro-Oriental. O ajuste do campo magnético, conjuntamente com o gravimétrico, possibilitou diferenciar o Complexo Vulcano-sedimentar do AVC, de acordo com a composição das rochas constituintes.

O modelo gravi-magnetométrico do perfil A-A’ permitiu ainda, separar rochas da associação ofiolítica, sugerindo uma variação de fácies ou variação no grau de serpentinização das rochas dessa associação.

O ajuste do campo gravimétrico da porção mais ao NE do perfil B-B’ permitiu definir a estrutura relacionada à bacia de retro-arco do AVC, conforme os modelos propostos por Iturralde-Vinent *et al.* (1997, 2000).

No modelo do perfil C-C’, pelas características dos campos potenciais, foi inferida a presença de um corpo plutônico do AVC, de composição intermediária-básica, na porção SE do perfil. Essa descoberta confirma a hipótese sugerida por Kerr *et al.* (1999) sobre a continuidade do AVC por toda a extensão de Cuba Centro-oriental e sua relação com a evolução de uma bacia de retro-arco junto às rochas ofiolíticas.

Agradecimentos À FAPESP (processo 94/03700-0) pela bolsa de estudo concedida a R.L.P. Cainzos e financiamento da pesquisa, a *Dirección Técnica del IGP* (Cuba), pela concessão da base de dados geofísicos, e aos revisores do artigo, pelas valiosas sugestões. C.R. de Souza Filho ao CNPq, pela bolsa de Produtividade em Pesquisa (Proc. No. 301.227/94). Aos relatores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Referências

- Ando J., Harangi S.Z., Szkány B.Y., Dosztály L. 1996. Petrología de la asociación ofiolítica de Holguín. In: M.A Iturralde-Vinent, (ed.) *Cuban Ophiolites and Volcanic Arc. Project 364: Geological Correlation of Ophiolites and Volcanic Terrenes in the Circum Caribbean Realm*, pp.: 154-178.
- Capote C., Sánchez R., Lledias P., Santa Cruz-Pacheco M., Escobar E. 1992. Rasgos estructurales de los Arcos Volcánicos Cubanos. In: Geological Conference of Caribbean Pinar Del Rio, 13, Cuba, 123-134.
- Díaz O.C., Furrázola B.G., Iturralde-Vinent M.A. 1997. Estratigrafía de la zona Remedios. In: B.G Furrázola, (ed.) *Estudios sobre la Geología de Cuba*, CNDIG, Ciudad de la Habana, pp.: 221-242.
- Furrázola B.G., Judoley K., Mijailovskay M., Mirolubov Y., Novojatsky I., Nuñez-Jiménez A., Solsona J. 1964. *Geología de Cuba*. Consejo Nacional de Universidades, 120 pp.
- Iturralde-Vinent M.A. 1997. Introducción a la Geología de Cuba. In: B. G. Furrázola (ed.) *Estudios sobre la Geología de Cuba*, CNDIG, Ciudad de la Habana, pp.: 35-68.
- Iturralde-Vinent M.A., Stanek K., Wolf D., Thieke H.U., Müller H. 2000. Geology of the Camaguey Region, Central Cuba Evolution of a Collisional Margin in the Northern Caribbean. In: H. Miller & F. Hervé (eds.) *Zeitschrift für Angewandte Geologie* (Geoscientific Cooperation with Latin America-31st International Geological Congress, Rio de Janeiro 2000), pp.: 267-273.
- Kerr A.C., Iturralde-Vinent M.A., Saunders A.D., Babbs T.L., Tarney J. 1999. A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. *Geol. Soc. Amer. Bulletin*, **11**:1581-1599.
- Khudoley, K. M., Meyerhoff, A. A. 1971. Paleogeography and geological history of Greater Antilles. *Geol. Soc. Amer. Members*, **129**: 1-199.
- Mari T.M. Pérez R.M., Sukar S.K. 1997. Granitoides del Arco Volcánico Cretácico de la Región Central de Cuba (antigua provincia de Camaguey). In: B. G. Furrázola (ed.) *Estudios sobre la Geología de Cuba*, CNDIG, Ciudad de la Habana, pp.: 387-398.
- Meschede M. & Frisch W. 1998. A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. *Tectonophysics*, **296**:269-291.
- Pérez R.M. & Sukar S.K. 1997. Granitoides del Arco Volcánico Cretácico de la Región Central de Cuba (antigua provincia de Camaguey). In: B. G. Furrázola (ed.) *Estudios sobre la Geología de Cuba*, CNDIG, Ciudad de la Habana, 387-398.
- Pérez P.E., Pimentel O.H., Pardo E.M. 1998. Interpretación tectónico-estructural de los datos geofísicos en la región Ciego de Avila-Camaguey-Las Tunas, IGP, Relatório técnico-econômico, Ciudad de La Habana.
- Pindell J.L., Cande S.C., Pitman III W.C., Rowley D.B., Dewey J.F., Labrecque J., Haxby W. 1988. A plate-kinematic framework for models of Caribbean evolution. *Tectonophysics*, **155**:121-138.
- Piñero, P. E., Quintana, M. E., Mari, M. T. 1997. Caracterización Geológica de los depósitos vulcanógeno-sedimentarios de la región de Ciego-Camaguey-Las Tunas. In: B. G. Furrázola (ed.) *Estudios sobre la Geología de Cuba*, CNDIG, Ciudad de la Habana, 345-356.
- Puscharowski, YU. M. (ed.) 1988. Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1:250.000. Academias de Ciencias de Cuba y la Unión Soviética.
- Puscharowski, YU. M., Mossakosvsky, A. A., Nekrasov, G. E. 1989. Nota explicativa al Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1:250.000. Academias de Ciencias de Cuba y la Unión Soviética, 40 p.

Tabela 4 - Resultados da modelagem geológico-geofísica em 2-D do perfil C-C' (azimute 152°).

Bloco	Densidade ($\sigma = t/m^3$)	Susceptibilidade Magnética ($\chi \cdot 10^{-5}$ SI)	Interpretação geológico-geofísica
B-1	2.68	3051	Suíte granítica inferida (de composição intermediária-básica do AVC)
B-2	2.55	651	Sedimentos não consolidados recentes
B-3	2.50	455	Sedimentos neogênicos (argilas calcários)
B-4	2.65	2500	Complexo vulcano-sedimentar de composição intermediária-básica do AVC

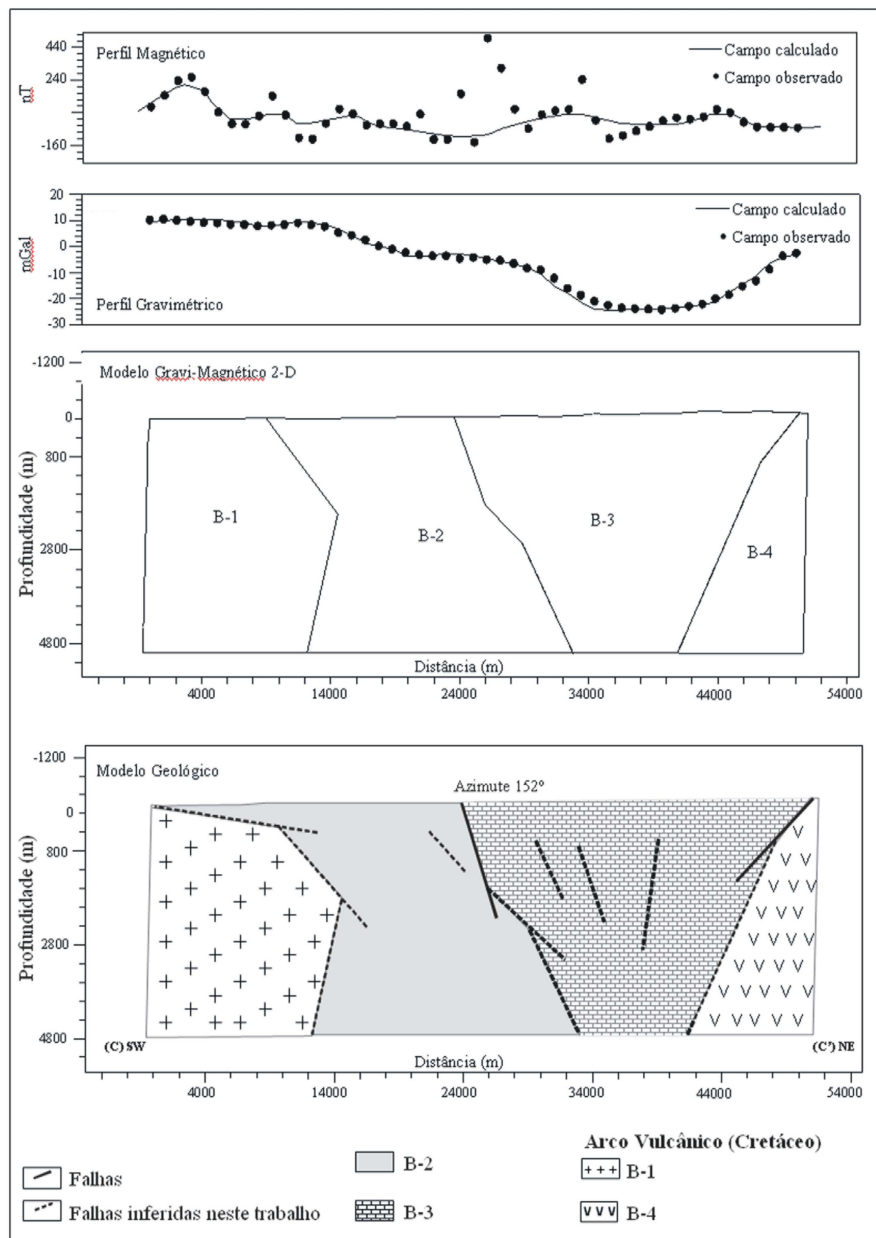


Figura 11 - Modelo geológico-geofísico 2-D através do perfil C-C', Cuba Centro-Oriental. B-1: Suíte granítica de composição intermediária-básica (inferida neste trabalho). B-2: Sedimentos não consolidados recentes (Q). B-3: Sedimentos neogênicos (argilas, calcários). B-4. Complexo Vulcano-sedimentar de composição intermediária-básica.

- Ross, M. I., Scotese, C. R. 1988. A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region, *Tectonophysics*, **155**: 136-168.
- Shein V. S. 1974. Modelo geológico-geofísico de Cuba y su plataforma. *In: Jornada Científico-Técnica de Geología*, 1, Cuba, Resumen.
- Stanek K.P., Cobiella-Reguera J.L., Maresch W.V., Trujillo G.M., Grafe F., Grevel C. 2000. Geological Development of Cuba. *In: H. Miller e F. Hervé (eds.) Zeitschrift für Angewandte Geologie* (Geoscientific Cooperation with Latin America-31st International Geological Congress, Rio de Janeiro 2000), pp.: 259-265.
- Talwani M. 1965. Computation with help of digital computer of magnetic anomalies caused by bodies of arbitrary shape, *Geophysics*, **30**: 797-817.
- Talwani M., Worzel J. L., Landisman M. 1959. Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. *J. Geophys. Research*, **64**: 49-59.
- Vega M., Pérez C. C., García A. 1994. Mapas petrofísicos de Cuba a escala 1: 1 000 000. *In: SCG, Congreso Cubano de Geología*, 2, Resúmenes Expandidos, p.149.

Manuscrito SR-29

Recebido em 20 de setembro de 2002

Revisão dos autores em 06 de março de 2003

Revisão aceita em 30 de abril de 2003