

RESULTADOS DO PROJETO GONDWANA: UM EXEMPLO DE CORRELAÇÃO  
GEOLÓGICA INTERCONTINENTAL UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT

R. P. da Cunha, P. R. Martini e E. Crepani

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
C.P. 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

Apresentam-se os principais resultados do Projeto GONDWANA, o qual consistiu na comparação geológica de áreas do Nordeste do Brasil e Oeste da África, utilizando imagens do LANDSAT e de RADAR. Mostra-se que, para o Proterozóico Tardio, o Nordeste do Brasil e o Oeste da África apresentam uma mesma configuração de *stress* regional caracterizada pelos estilos semelhantes de deformação. Quando os mapas de ambas as áreas são ajustados para uma configuração do tipo pré-deriva (tipo Bullard), o Nordeste do Brasil e o Oeste da África mostram um padrão regional do tipo "strike-slip" similar a terrenos do tipo Hercínicos ou do Tibet.

ABSTRACT

The main results of INPE'S GONDWANA Project are presented. The project focus was on a geological comparison between Northeast Brazil and West Africa using LANDSAT and RADAR imageries. It is shown that Northeast Brazil and West Africa in the Late Proterozoic were under a same regional stress configuration characterized by similar styles of deformation. When the maps of both areas are placed in a pre-drift configuration (Bullard type) Northeast Brazil and West Africa display a regional strike-slip pattern similar to Hercynian or Tibetan terrains.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresentam-se resumidamente os principais resultados obtidos durante o Projeto GONDWANA do INPE. Este projeto teve como objetivo principal utilizar imagens orbitais e de radar no estudo de investigação geológica intercontinental.

Desde os dias de A. Wegner, o postulante da deriva continental, estudos comparativos entre continentes (e.g. África e América do Sul) não são feitos em uma base comum de dados. Neste trabalho, através da utilização de imagens de LANDSAT e RADAR para o Brasil e África, obteve-se uma base

comum de informações geológicas em uma escala representativa para estudos regionais (e.g. escala 1:1000.000).

A área de estudo do Projeto Gondwana compreendeu o Nordeste do Brasil (i.e. Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco) e o Oeste da África (Togo, Benin, Nigéria e Camarões). Os dados obtidos durante a fotointerpretação foram plotados em mapas e, com o auxílio de informação geológica pertinente, selecionadas as estruturas geológicas significantes, as quais foram utilizadas para análise comparativa entre as áreas do Nordeste do Brasil e Oeste da África.

Portanto, o leitor encontrará neste trabalho um exemplo de interpretação geológica baseado em informações obtidas a partir de dados de sensoriamento remoto.

## 2. ESTRUTURAS GEOLÓGICAS SIGNIFICANTES

Um dos fatores que determinam a significância de uma estrutura geológica é a escala. Existem estruturas geológicas milimétricas, centimétricas, quilométricas, etc. Uma estrutura geológica determinada em uma (ou duas e três) imagem LANDSAT é, em princípio, uma feição geológica relevante. Caso esta feição geológica seja ainda comprovada através de outros tipos auxiliares de informação (e.g. trabalhos de campo, petrografia, geocronologia, etc.), esta feição pode ser utilizada como um ponto de referência à interpretação geológica. Assim, por exemplo, os megalineamentos identificados em imagens do LANDSAT e de RADAR, neste trabalho, no Nordeste do Brasil e Oeste da África, os quais, combinados com informações geológicas pertinentes, são interpretados como estruturas geológicas de primeira ordem, ou zonas de cisalhamento.

## 3. ZONAS DE CIZALHAMENTO NO NORDESTE DO BRASIL E OESTE DA ÁFRICA

Nesta seção serão mencionados brevemente os principais lineamentos estudados no Nordeste do Brasil e no Oeste da África. Estas estruturas não são lineamentos banais, mas verdadeiras zonas de deformação da crosta terrestre, as quais possuem até dezenas de quilômetros de largura e centenas de quilômetros de comprimento.

### 3.1 - ZONA DE CIZALHAMENTO DE ADAMOUA (CAMARÕES)

Esta zona de cisalhamento situa-se na Região Central e Sul da República dos Camarões. Na área de estudo, somente a extensão desta zona de cisalhamento atinge até 600km de comprimento; incluindo segmentos na República Central Africana (e.g. Cornacchia, 1980), esta zona de cisalhamento pode atingir até 1000km de extensão.

A parte mediana da zona de cisalhamento do Adamoua inclui quatro falhas dextrais principais: Tikar (falha mestra), Meg, Saragambang e Doua-Mbére, as quais formam um padrão divergente ou de terminação de falhas (Figura 1). Estas falhas incluem zonas de milonitos que chegam até 5km de largura (Kock, 1953).

A zona de cisalhamento de Adamoua inclui granitos intrusivos calco-alcalinos ("sinorogênicos") e alcalinos ("tardios", Laserre, 1962) similares aos granitos descritos por Almeida et alii (1971) na zona de cisalhamento Patos-Floresta (Nordeste do Brasil).

A parte mais setentrional da zona de cisalhamento de Adamoua é parcialmente coberta por derrames vulcânicos Terciários-Quaternários. A continuação sul desta zona foi observada através de lineamentos em imagens LANDSAT, os quais coincidem com milonitos mapeados pelo Serviço Geológico de Camarões (Dumort, 1968).

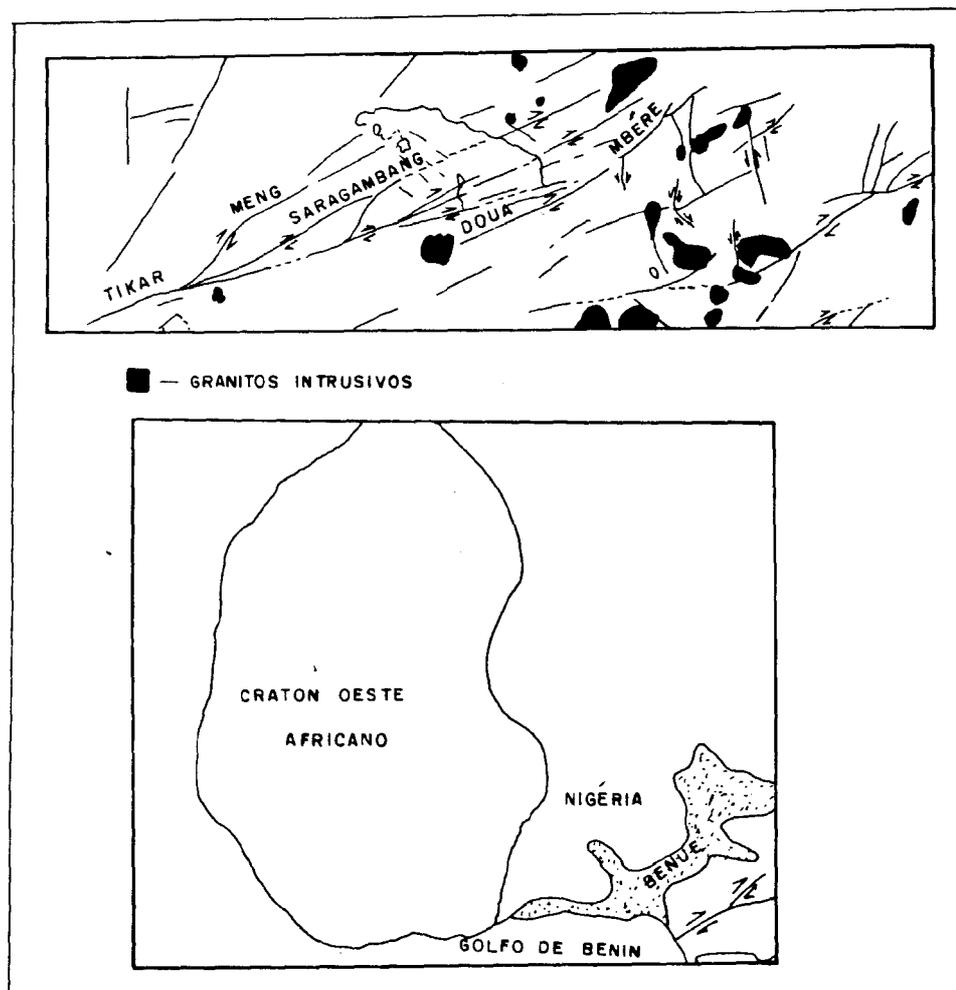
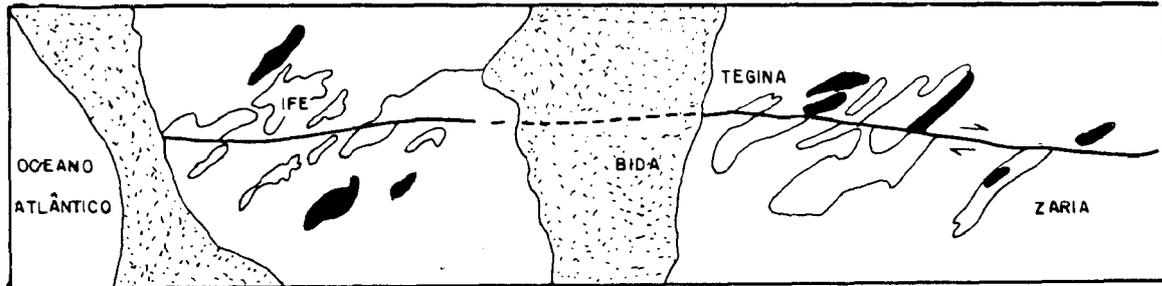


Fig. 1 - Localização da zona de cisalhamento de Adamoua (Camarões).

### 3.2 - ZONA DE CIZALHAMENTO IFE-KALANGAI (NIGÉRIA)

Esta zona de cisalhamento compreende longos lineamentos observados ao norte e sul da bacia do médio Niger através de imagens de RADAR e LANDSAT (Figura 2). A parte norte deste sistema de lineamentos corresponde à falha dextral de Kalangai (Truswell and Cope, 1963), a qual continua para o norte através de uma falha dextral na província de Zaria (McCurry, 1973). Ao sul da bacia do médio Niger, os principais lineamentos correspondem à zona de cisalhamento de Ife (Hubbard, 1975). A zona de cisalhamento de Ife-Kalangai inclui deslocamentos dextrais e dobramentos em eche

lon. Rochas indicadas em mapas como quartzitos e metarcoseos ao longo desta zona de cisalhamento correspondem na realidade, em alguns casos, a milonitos e ultramilonitos (Ajibade et alii, 1979), ou a zonas de falhas silicificadas (De Swardt, 1953). A continuação sul da zona de cisalhamento Ife-Kalangai é traçada na margem continental Nigeriana como correspondente ao limite do alto de Okitipupa (Burke, 1976).



■ GRANITOS INTRUSIVOS    □ CINTURÕES DE XISTOS-QUARTZITOS    ▣ COBERTURAS

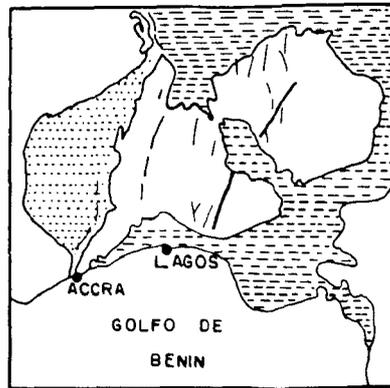


Fig. 2 - Localização da zona de cisalhamento Ife-Kalangai (Nigéria).

### 3.3 - ZONA DE CIZALHAMENTO SAVALOU-ALIBORY (BENIN)

Esta zona de cisalhamento em Benin inclui lineamentos, aproximadamente norte-sul, os quais podem ser observados em três imagens LANDSATs consecutivas (i.e. > 400km, Figura 3). Na região de Alibory esta zona de cisalhamento inclui uma faixa de milonitos que chegam até 25km de largura (Pougnat, 1957). Ao Norte de Benin em direção a Argélia, a zona de cisalhamento de Sanalou-Alibory é associada às zonas de cisalhamento do Hoggar Central (Caby et alii, 1981). Para o sul, o traço da zona de cisalhamento coincide com as falhas nas bacias costeiras de Benin, as quais, por sua vez, são associadas à fratura de Romanche (Masclé, 1976). Próximo a Savalou, junto as falhas sinistrais, ocorrem conglomerados, espilitos e queratôfiros (Boussari and Rollet, 1974).

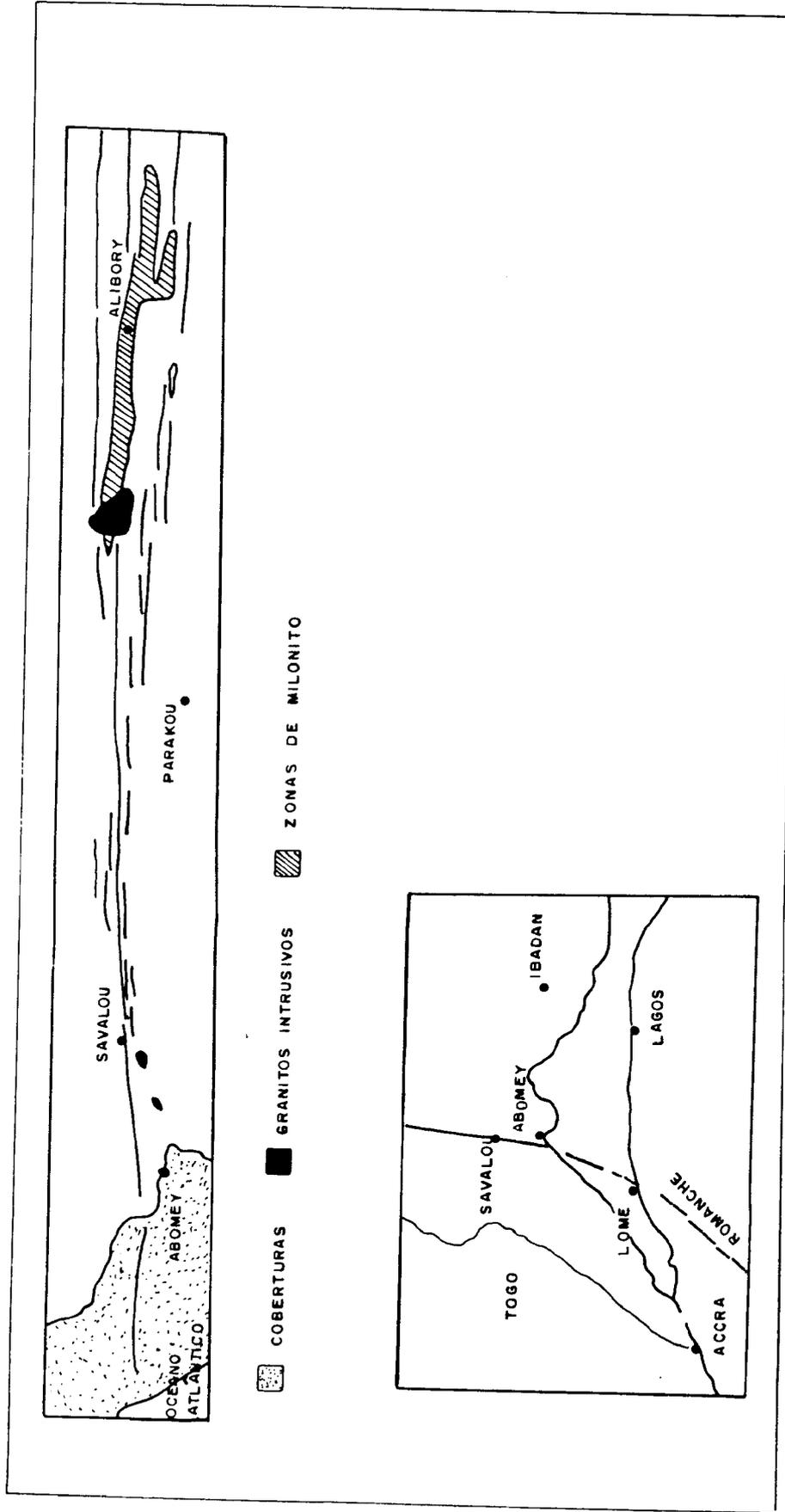


Fig. 3 - Localização da zona de cisalhamento de Savalou-Alibory (Benin).

### 3.4 - ZONA DE CIZALHAMENTO PATOS-FLORESTA (PERNANBUCO-PARAÍBA)

As falhas de Patos e Floresta no Nordeste Brasileiro são um dos melhores exemplos mundiais de zona de cisalhamento Pré-Paleozóicas. Estes dois megalineamentos possuem uma orientação, aproximadamente, este-oeste e comprimentos superiores a 500km, distanciados entre si até 100km. As falhas de Patos e Floresta formam um par cizalhante dextral com um bloco central que inclui um grande número de falhas direcionais de segunda ordem, dobras em echelon, e granitos intrusivos. A região de Patos e Floresta também pode ser considerada como um exemplo clássico de "wrench tectonics".

### 3.5 - ZONAS DE CIZALHAMENTO DE SENADOR POMPEU, ORÓS, JAGUARIBE, TAUÁ, ETC. (CEARÁ)

Adicionalmente a outros exemplos descritos neste trabalho, as falhas direcionais de Tauá, Senador Pompeu, Orós, Jaguaribe, Sabonete, etc. (Figura 4) servem para ilustrar o conceito de "strike-slip orogen" ou região orogênica do tipo Herciniano (Badham, 1982; Arthaud and Matte, 1975) para o Nordeste Brasileiro. Estes lineamentos incluem falhas dextrais e sinistrais, as quais são acompanhadas por cristas de rochas mais resistentes (e.g. "Quartzito de Orós"), o que as torna facilmente identificáveis em imagens RADAR-LANDSAT. É interessante notar que tanto no Nordeste do Brasil como no Oeste da África as zonas de cisalhamento geralmente são acompanhadas por unidades geológicas lineares e, em ambos os casos, estas unidades são mapeadas com unidades litostratigráficas (e.g. Quartzito Orós, "Quartzito Bagdaba", Psamitos Efon, etc.). Ultramilonitos, por exemplo, são facilmente confundíveis com quartzitos (Higgins, 1971).

### 3.6 - ZONA DE CIZALHAMENTO DE SOBRAL (CEARÁ)

Esta zona de cisalhamento é, aparentemente, de pequena extensão ( $\approx 200$ km); isto se deve, talvez, à pequena exposição ou ao recobrimento pela cobertura Fanerozóica da Bacia do Maranhão. Entretanto, a expressão desta zona de cisalhamento pode ser observada através de falhamentos (reativados) na própria bacia do Maranhão. Cunha e Carneiro (1972), por exemplo, indicam a continuação da zona de cisalhamento de Sobral até ao sul da Bacia do Maranhão.

As feições mais importantes da zona de cisalhamento de Sobral são as falhas transcorrentes (e.g. Falha de Forquilha), os dobramentos, as sequências vulcânicas e os conglomerados ("red beds"). As sequências vulcânicas incluem espilitos e queratófiro.

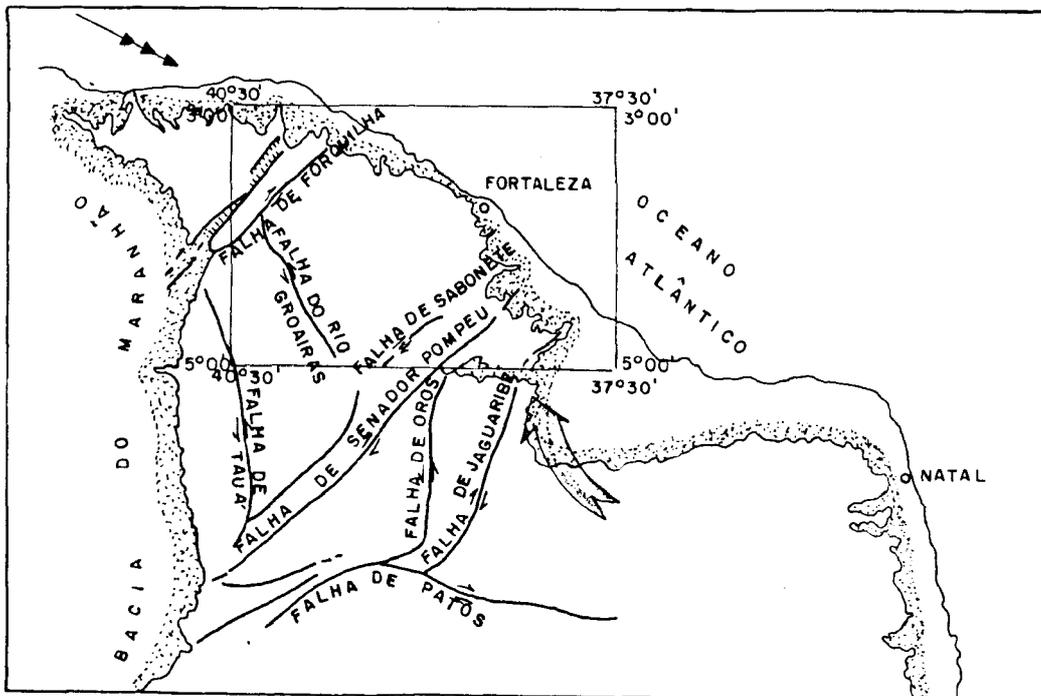


Fig. 4 - Localização das zonas de cisalhamento do Nordeste Brasileiro (A) e detalhe da zona de cisalhamento Patos-Floresta (B).

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Apresentou-se uma breve revisão de algumas estruturas de primeira ordem para o Nordeste Brasileiro e Oeste da África as quais foram estudadas durante o Projeto GONDWANA através da utilização de imagens de RADAR e LANDSAT, combinadas com dados geológicos significantes (petrografia, geocronologia, etc.).

Um dos objetivos do projeto GONDWANA foi cartografar os grandes lineamentos através de dados de sensoriamento remoto para as regiões do Nordeste do Brasil e Oeste da África. Neste aspecto entre as contribuições do projeto, incluem-se a atualização cartográfica e a homogeneização de dados para escalas compatíveis com as imagens LANDSAT (e.g. Folhas 1:1000.000). Mais importante que isto, o Projeto GONDWANA mostrou um exemplo de interpretação geológica baseado em informações obtidas através de sensoriamento remoto. Esta interpretação é principalmente sintetizada na Figura 5 e explicada a seguir.

As principais características comuns encontradas para o Nordeste do Brasil e Oeste da África são: as grandes zonas de cisalhamento, as quais incluem falhamentos principalmente do tipo transcorrente, os quais mostram grande afinidade com os granitos intrusivos Brasileiros e os Pan-Africanos. Cinturões de xistos e quartzitos, deformação e rejuvenescimento isotópico são na maioria dos casos intimamente relacionados com estas zonas de cisalhamento.

Quando se ajustaram as duas áreas estudadas, Nordeste do Brasil e Oeste da África, para uma reconstituição do tipo Bullard, utilizando mapas ao milionésimo (i.e. 1:1000.000), observou-se que: a zona de cisalhamento de Adamoua (Camarões) fica em alinhamento com a zona de cisalhamento de Floresta (Pernambuco) e, conseqüentemente, a zona de cisalhamento de Ife-Kalangai (Nigéria) fica posicionada na mesma direção da zona de cisalhamento de Senador Pompeu (Ceará), e a zona de cisalhamento de Savalou-Alibori (Benin) fica posicionada na mesma direção da zona de cisalhamento de Sobral (Ceará). Isto é mostrado esquematicamente na Figura 5.

Mais importante que a coincidência em direção das zonas de cisalhamento é a similaridade de processos geológicos no Nordeste do Brasil e Oeste da África: ambas as áreas são caracterizadas por falhamentos direcionais. Adicionalmente, nos mapas de reconstrução continental, as falhas dextrais apresentam orientação segundo o quadrante nordeste, e as falhas sinistrais apresentam orientações noroeste, tanto em terrenos do Nordeste do Brasil como em terrenos do Oeste da África. Os falhamentos em ambas as áreas apresentam evidências de movimento no Pan-Africano e no Brasileiro, isto é são coevos, assim como as intrusões graníticas ao longo destes falhamentos são contemporâneas. Os principais cinturões de dobramento nos mapas de reconstituição mostraram orientações similares, meridianas (e.g. "Nigeria Schist Belts", "Togo Belt", faixa de dobramentos Borborema, etc). Isto permite as seguintes interpretações:

- 1) O Nordeste do Brasil e o Oeste da África no Pré-Cambriano Superior apresentam uma mesma configuração de stress regional em um mesmo período de tempo geológico.
- 2) Este stress regional desenvolveu estruturas predominantemente do tipo "strike-slip" sobre embasamentos gnáissico-migmatíticos.

- 3) Como um corolário, os embasamentos do Nordeste do Brasil e do Oeste da África estiveram sob um mesmo sistema de stress durante um mesmo intervalo de tempo geológico, portanto estes embasamentos eram possivelmente contíguos.
- 4) Finalmente, a área Nordeste do Brasil - Oeste da África pode ser considerada como uma zona orogênica do tipo "strike-slip", limitada a oeste pela zona de empurrão da faixa de dobramentos do Togo. Estes terrenos comparados com a região dos Himalais podem ser consideradas como uma zona de reativação do tipo Tibetana (Figura 5).

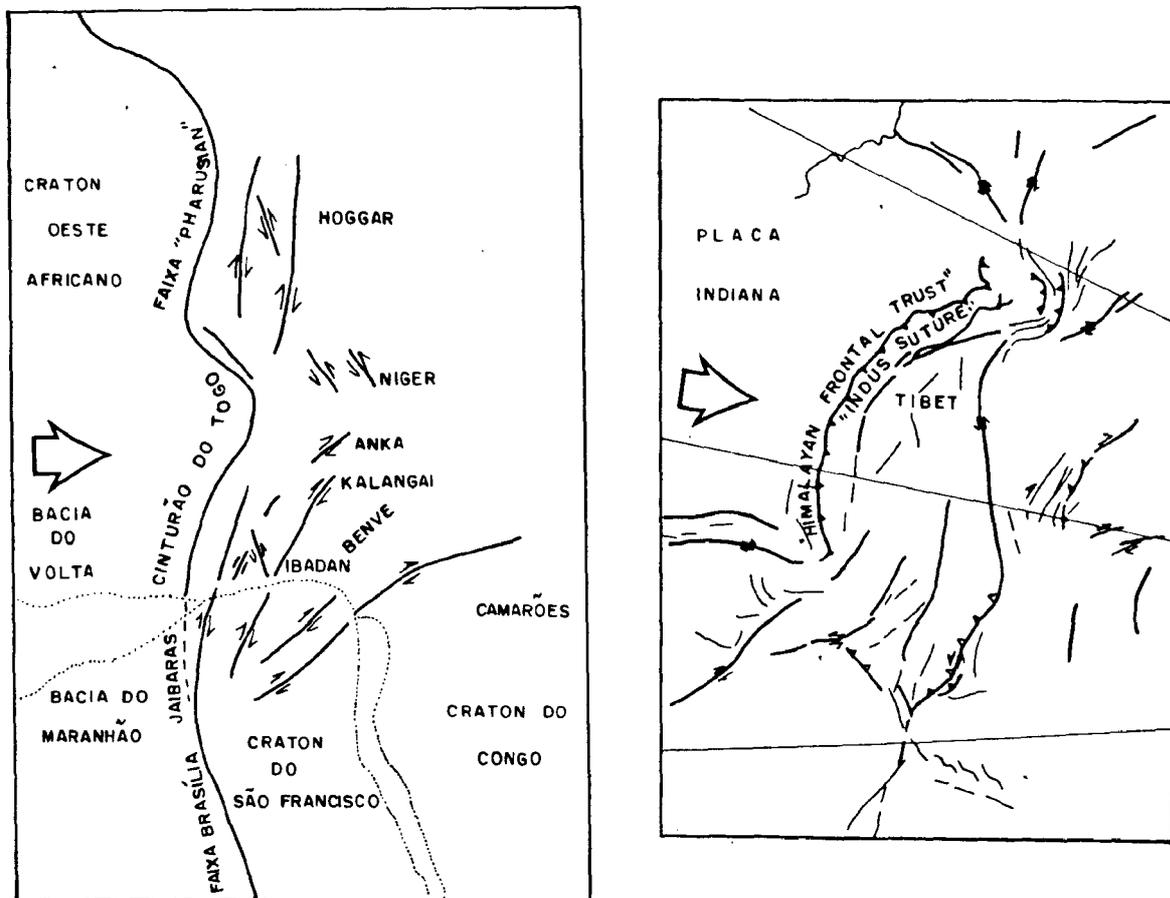


Fig. 5 - Reconstituição das áreas do Nordeste do Brasil e Oeste da África segundo um modelo do tipo Bullard.  
A região dos Himalais é incluída para fins comparativos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJIBADE, A.C.; FITCHES, W.R.; WRIGHT, J.B. The Zungeru Mylonites, Nigeria: recognition of a major tectonic unit. *Review Geologic Dynamic Geografie Physique*, 21(5):359-363, 1979.
- ALMEIDA, F.F.M.; LEONARDOS Jr., O.H.; VALENÇA, J. *Review on granitic rocks of Northeasth South America*. Netherlands, International Union Geol. Sciences, 1971. 41 p.
- ARTHAUD, F.; MATTE, P., Les decrochments tardihercyniens du Sul-Oest de L'Europe. Geometrie et essai de reconstitutions des condition de la deformation. *Tectonophysics*, 25(1-2):139, 1975.
- BADHAM, J.P. Strike-slip orogens - an explanation for the Hercynides. *Journal Geological Society London*, 139.
- BOUSSARI, W.; ROLLET, M., Decouverte d'un basin volcanosedimentary dans la region Centre-Ouest du Dahomey: *Comptes Rendue Academy Sciences*, Series D. (279):29-32, 1974.
- BURKE, K. Neogene and Quaternary tectonics of Nigeria. In: Kogbe, C.A. ed. *Geology of Nigeria*. Lagos, Nigeria, Elizabethan, 1976. p. 363-369.
- CABY, R.; BERTRAND, J.M.L.; BLACK, R., 1981. Pan-African ocean closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment Central Sahara, In: KRONER. A., ed. *Precambriam plate tectonics*. New York, Elsevier, 1981. p. 407-434.
- CHINNERY, M.A. Secondary Faulting. *Canadian. Journal of Earth Sciences*. 3 (2): p. 175-190, 1966.
- CORNACCHIA, M. Les failles du Nord de La Republique Centrafricaine (Consequences tectoniques). *CNRS-Recherches Geologiques en Afrique*, (5):76-80, 1980.
- CUNHA, F.M.B; CARNEIRO, R.G. Interpretação fotogeológica do Centro Oeste da Bacia do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, Belém, 1972. *Anais*. Belém SBG, 1972. p.65-79.
- DE SWARDT, A.M.J. The Geology of the country around Ilesha. *Geological Survey Nigeria Bulletin*. n. 23, 1953, 54p.
- DUMORT, J.C. *Carte geologique de reconnaissance de la Republique Federale du Cameroun, Feuille n° NB32-SE028-DOULA-0*. Paris, Directorie Mines geologie, 1968. Escala 1:500.000.
- HIGGINS, M.W. *Cataclastic rocks*: Reston, VA. USGS, 1971. 97p. (USGS, Prof. Paper n° 687).
- HUBBARD, F.H., Precambriam crestal development in western Nigeria: indications from the Iwo region: *Geological Society America Bulletin*, 86:548-554, 1975.

KOCH, P. Sur les mylonites de la plaine Tikar au sud de Banyo (Cameroun).  
*Boletin Soc. Geol. France*, (6):543-546, 1953.

LASSERRE, M. *Carte geologique de reconnaissance du Cameroun au 1/500.000 avec Notice Explicative feuilles Ngaoundere-Est et Bossangoa-Ouest*: Yace Cameroun Dir. Mines Geologie, 1962, 52p.

MASCLE, J. Atlantic-type continental maryins: distiction of two basic structural types. *Anais da Academia Brasileira Ciências*, 48:191-197, 1976. Suplemento nº 191-197.

McCURRY, P. *Geology of degree sheet 21-Zaria, Nigeria*. London, Overseas Geol. Res., 1973, 45p. (Overseas Geol. Survey Res. nº 45).

POUGNET, R. *Carte Geologique de L'AEF, Feuille Kandi-E*. Dakar, Direct. Federale Mines Geologie, Dakar, 1957. Sheet NC-31-NOE-E-34 - 1:500.000.

TRUSWELL, J.F. and COPE, R.N. The Geology of parts of Niger and Zaria Provinces: *Geological Survey Nigeria Bulletin*. nº 29, 1963. 52p.