

## FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

### FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Alves, F.C.<sup>1</sup>; Rossetti, D.F.<sup>2</sup>; Andrades Filho, C.O.<sup>3</sup>; Cremon, <sup>4</sup>;

<sup>1</sup>INPE *Email*:alves.fabioc@gmail.com;

<sup>2</sup>INPE *Email*:rossetti@dsr.inpe.br;

<sup>3</sup>USP *Email*:clodisfilho@gmail.com;

<sup>4</sup>INPE *Email*:edipocremon@yahoo.com.br;

#### RESUMO:

Um número crescente de publicações tem sugerido eventos de reativações tectônicas Cenozóicas na Bacia Paraíba, apesar de sua localização em margem passiva. O objetivo deste estudo é contribuir para ampliar esse registro com o uso do FSTT na caracterização tectônica em dois compartimentos morfologicamente distintos dessa bacia. Para isso, aplicou-se o FSTT a partir de MDE-SRTM. Os resultados sugerem dois estilos de deformações tectônicas nesses compartimentos: rúptil a oeste e dúctil a leste.

#### PALAVRAS CHAVES:

*Sistemas de drenagem; estruturas tectônicas; quaternário*

#### ABSTRACT:

An increasing number of studies have suggested Cenozoic tectonic reactivation events in Paraíba Basin, despite Its localization in passive margin. The goal of this study is contribute to extend these registers with the use of the FSTT on tectonic characterization in two distinctive morphological compartments in this basin. For this, was applied the FSTT based on DEM-SRTM. The results suggest two tectonic deformation styles in these compartments: brittle to west and ductile to east.

#### KEYWORDS:

*Drainage systems; tectonic structures; quaternary*

#### INTRODUÇÃO:

A região nordeste do Brasil foi considerada, por muito tempo, como tectonicamente estável desde o final do Mesozóico, dada sua localização na margem passiva da placa

## FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Sulamericana. No entanto, é crescente o número de publicações que documentam estruturas tectônicas, como falhas e dobras, em depósitos sedimentares neógenos e quaternários, inclusive holocênicos (p.e., BEZERRA et al., 2001; 2008; BRITO NEVES et al., 2004; 2009; ROSSETTI et al., 2009; 2011). Grande parte desse registro tectônico ocorre na Bacia Paraíba, onde falhas e dobras exercem forte efeito na morfologia e nos sistemas de drenagem, estes últimos sendo particularmente importantes na interpretação de áreas sujeitas a deformações tectônicas. Um método eficaz na análise de efeito tectônico de bacias de drenagem é o Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) (COX, 1994), como documentado em publicações prévias (p.e., IBANEZ et al., 2014; JACQUES et al., 2014). A porção norte da Bacia Paraíba no nordeste brasileiro (Fig. 1A) é uma área interessante para se testar a aplicação do FSTT visando detectar efeito tectônico decorrente de esforços distensivos e compressivos desenvolvidos no Quaternário tardio. Isto porque análises prévias indicaram substrato sedimentar homogêneo consistindo em depósitos pleistocênicos tardios e holocênicos designados de Sedimentos Pós-Barreiras (ROSSETTI et al. 2012). Estes ocorrem em dois compartimentos morfológicos, sendo o primeiro, à leste, relacionado a relevo dômico, sugestivo de dobras, e o segundo, a oeste, por relevo suavemente inclinado e escalonado, sugestivo de falhas. Desta forma, o objetivo deste trabalho é aplicar o FSTT em subbacias hidrográficas desses dois compartimentos, visando analisar possíveis efeitos tectônicos no seu desenvolvimento. Adicionalmente, pretende-se avaliar o potencial desse método na discriminação entre relevos quaternários resultantes de deformação rúptil e dúctil, sugeridas pelas respectivas morfologias dos compartimentos supracitados.

### MATERIAL E MÉTODOS:

Este trabalho baseou-se em explorar modelo digital de elevação (MDE) com aplicação do FSTT de forma automatizada. Para isto, foi utilizado o MDE-SRTM do Topodata de 30 m de resolução espacial. Inicialmente foi aplicada a operação “burn streams” no MDE-SRTM com o intuito de aprofundar os vales dos rios com base em imagem binária (ND = 0 e 1) da drenagem de referência. Isto permitiu a extração automática da rede de drenagem de áreas planas a partir do aplicativo TecDEM, implementado em ambiente MATLAB (SHAHZAD; GLOAGUEN, 2011). Subbacias de 3ª ordem (STRAHLER, 1957) foram extraídas e utilizadas nesta análise, dada sua distribuição uniforme e, portanto, melhor representatividade na área de estudo. Foram selecionadas 15 subbacias hidrográficas para a aplicação do FSTT (COX, 1994). Este fator quantifica a assimetria de um rio em sua bacia, de acordo com a equação:  $FSTT = D_a/D_d$ , onde:  $D_a$  corresponde à distância da linha média do eixo da bacia até o canal principal e  $D_d$  equivale à distância da linha do eixo médio da bacia ao seu interflúvio. Valores de FSTT próximos a 0 indicam que não há alteração do perfil topográfico, enquanto a assimetria aumenta à medida que os valores se aproximam de 1. As causas dessas variações podem estar relacionadas à dinâmica natural inerente ao sistema fluvial ou, mais comumente, a fatores tectônicos (p.e., GARROTE et al., 2008). Para todas as subbacias analisadas, o método FSTT foi aplicado ao longo do canal principal em intervalos regulares espaçados a cada 500 m, a fim de se obter amostras com maior representatividade estatística. Este procedimento resultou em um conjunto de vetores, cujas magnitudes e direções de assimetria foram representados em diagramas polares. Com o vetor resultante, foram obtidos os valores médios e de desvio padrão das amostras, o que permitiu a análise da tendência média de direção de migração lateral

## FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

dos canais fluviais e inferir sobre as direções de basculamentos das subbacias correspondentes.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO:

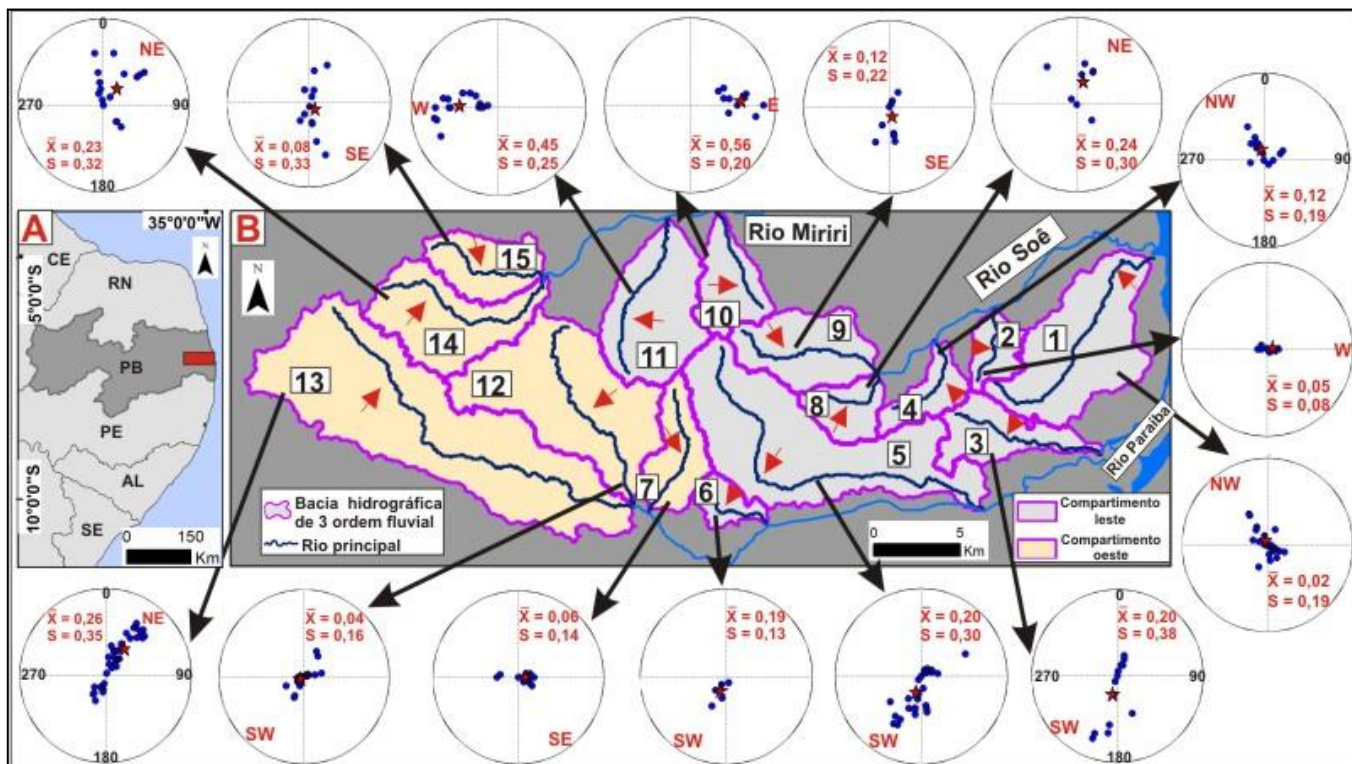
Os valores médios de FSTT variaram entre 0,02 e 0,56, com desvios padrões entre 0,08 e 0,38 (Fig.1). Para efeito comparativo, os valores médios de FSTT foram agrupados em três categorias: baixo ( $\leq 0,19$ ), moderado (entre 0,19 e 0,23) e alto ( $\geq 0,23$ ). FSTT altos foram registrados somente nas subbacias 10 (0,56) e 11 (0,45), localizadas no flanco norte da feição dômica que caracteriza o compartimento leste. Entretanto, é interessante notar que quatro outras subbacias (i.e., 3, 5, 6 e 8) deste compartimento, ainda sob influência da estrutura dômica, apresentaram valores de FSTT moderados. Subbacias localizadas mais distantes do domo (i.e., 1 e 2) tiveram FSTT baixos. No compartimento oeste, valores médios de FSTT alto foram registrados nas subbacias 13 (0,26) e 14 (0,23), embora esses valores estejam abaixo daqueles detectados nas subbacias 10 e 11. A subbacia 15, localizada no extremo norte desse compartimento, teve média baixa (0,08), porém com valores de dispersão elevados, indicado por desvio padrão de 0,33, o que sugere que existem segmentos locais do canal principal com forte assimetria. A análise da direção aproximada de basculamento das subbacias revelou dois conjuntos com padrões de basculamento diferenciados, os quais coincidem com os compartimentos morfológicos leste e oeste. Então, no setor oeste, onde predominam Sedimentos Pós-Barreiras e rochas do embasamento cristalino (Fig. 2A) em relevo plano e progressivamente mais rebaixado para NE (Fig. 2B e C), tem-se subbacias com valores de FSTT mais elevados, sugerindo basculamento para NE (setas na Fig.1). Isso é compatível com falhas de direção NW-SE e mergulho regional para nordeste, como sugerido em publicações prévias nessa região baseadas na integração de dados de campo e de subsuperfície (ANDRADES FILHO, 2010; ROSSETTI et al., 2012). A subbacia 15 teve menor influência desse basculamento, como indicado por FSTT menor, embora suave basculamento para SE seja sugerido para alguns setores pelo desvio padrão elevado. A bacia 7 mostra sentido de migração do canal para SE, o que provavelmente deve-se à influência da feição dômica do compartimento leste adjacente. Em contrapartida, as subbacias da porção leste, dominadas pelos Sedimentos Pós-Barreiras (Fig. 2A), revelaram padrão de basculamento anormalmente mais variável, possivelmente pela influência da feição dômica (Fig. 2B). Esta é caracterizada neste setor por relevo alto e de morfologia levemente convexa (Fig. 2D). É interessante observar que as altitudes do domo são ligeiramente superiores às associadas ao “Domo da Embratel”, localizado a sul da área de estudo (ver Brito Neves et al., 2009) e que foi atribuído a dobramento. Tomando-se por base essa comparação, e considerando que os valores mais elevados de FSTT do compartimento leste ocorrem nas subbacias localizadas próximas ao domo, sugere-se interpretação similar, ou seja que o domo analisado resulta de dobramento. A distribuição aproximadamente radial dos sentidos de basculamentos sugeridos para as subbacias de drenagem sobre ou no entorno desse domo, aliado ao padrão de drenagem levemente recurvado a radial, são compatíveis com a interpretação de que esforços compressivos tenham influenciado o estabelecimento dos elementos da paisagem desta região. Tal interpretação é compatível com o registro crescente de esforços distensivos e compressivos na Bacia Paraíba, revelado por uma abundância de falhas normais e inversas, bem como de dobras

# FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

anticlinais e sinclinais, em afloramentos de depósitos sedimentares neógenos e quaternários (p.e., ROSSETTI et al., 2009; 2011; BEZERRA et al., 2014).

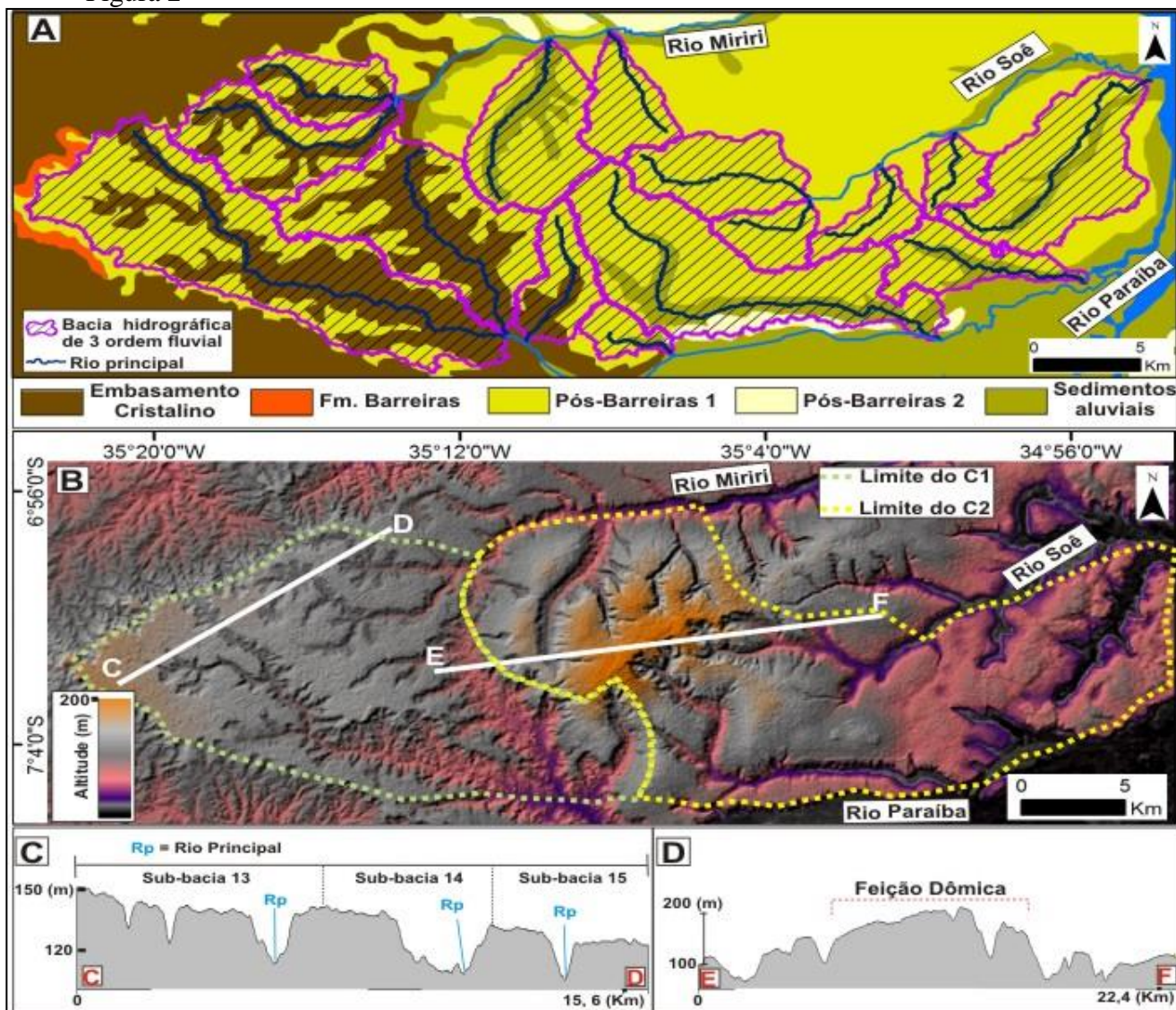
Figura 1

(A) Localização da área de estudo na Bacia Paraíba, nordeste do Brasil. (B) Subbacias e diagramas polares com valores individuais de FSTT.



# FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

Figura 2



(A) Geologia da área de estudo e (B) MDE-SRTM ilustrando os compartimentos de relevo plano inclinado (C1) e dômico (C2). (C-D) Perfis topográficos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS:

A aplicação do método FSTT na área de estudo é consistente com influência tectônica no desenvolvimento dos sistemas de drenagem e subbacias correspondentes. Adicionalmente, esse método foi eficiente para discriminar áreas sujeitas à atuação conjunta de deformações tectônicas rúpteis e dúcteis nesse relevo quaternário. Assim, esforços distensivos teriam condicionado o relevo escalonado e basculado do compartimento oeste, enquanto, esforços compressivos associados a dobramentos teriam produzido relevo em morfologia dômica no compartimento leste desta porção da Bacia Paraíba.

# FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

## AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e doutorado ao primeiro e quarto autor, e à FAPESP, pelo auxílio à bolsa de doutorado ao terceiro autor e pelo financiamento desta pesquisa (# 2012/06010-5).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA:

ANDRADES FILHO, C.O. Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2010, 177p.

BEZERRA, F.H.R.; AMARO, V.E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene- Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, p. 61-75, 2001.

BEZERRA, F.H.R.; NEVES, B.B.B.; CORREA, A.C.B.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin - The Cariatá trough, northeastern Brazil. *Geomorphology*, v. 1, p. 555-582, 2008.

BEZERRA, F.H.R.; ROSSETTI, D.F.; OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, W.E.; BRITO NEVES, B.B.; BALSAMO, F.; NOGUEIRA, F.C.C; DANTAS, E.L.; ANDRADES FILHO, C.; GÓES, A.M. Neotectonic reactivation of shear zones and implications for faulting style and geometry in the continental margin of NE Brazil. *Tectonophysics*, v. 614, p. 78-90, 2014.

BRITO NEVES, B.B.; RICCOMINI, C.; FERNANDES, T.M.G.; SANT'ANNA, L.G. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado Proterozóico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 1, n. 34, p. 127-134, 2004.

BRITO NEVES, B.B.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; COUTINHO, J.M.V.; BEZERRA, F.H.R. Novos dados geológicos e geofísicos para caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-Bacia de Alhandra (sudeste da Paraíba). *Geologia USP-Série Científica*, v. 9, n. 2, p. 63-87, 2009.

COX, R.T. Analysis of drainage and basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. *GSA Bull*, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994.

GARROTE, J.; HEYDT, G.G.; COX, R.T. Multi-stream order analyses in basin asymmetry: a tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid Basin, Central Spain). *Geomorphology*, v.102, n.1, p.130-144, 2008.

FATOR DE ASSIMETRIA E DEFORMAÇÕES NEOTECTÔNICAS NA BACIA  
PARAÍBA, NORDESTE DO BRASIL

IBANEZ, D.M.; RICCOMINI, C.; MIRANDA, F.P.; Geomorphological evidence of recent tilting in the Central Amazonia Region. *Geomorphology*, v. 214, p. 378–387, 2014.

JACQUES, P.D.; SALVADOR, E.D.; MACHADO, R.; GROHMANN, C.H.; NUMMER, A.R. Application of morphometry in neotectonic studies at the eastern edge of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil. *Geomorphology*, p.1-11, 2014.

ROSSETTI, D.F.; VALERIANO, M.M.; BEZERRA, F.H.R.; BRITO NEVES, B.B.; GÓES, A.M. Caracterização morfológica da porção sul da Sub-bacia de Alhandra, Bacia Paraíba, com base em dados SRTM: contribuição na compreensão do arcabouço estrutural. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. Anais...* São José dos Campos: INPE, 2009, p. 3325-3332.

ROSSETTI, D.F.; BEZERRA, F.H.R.; GÓES, A.M.; VALERIANO, M.M.; ANDRADES FILHO, C.O.; MITTANI, J.C.R.; TATUMI, S.H.; BRITO NEVES, B.B. Late Quaternary sedimentation in the Paraíba Basin, Northeastern Brazil: landform, sea level and tectonics in Eastern South America passive margin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 300, p. 191-204, 2011.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; BEZERRA, F.H.; VALERIANO, M.M., BRITO-NEVES, B.B.; OCHOA, F.L., Contribution to the stratigraphy of the onshore Paraíba Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, v. 84, p. 313–334, 2012.

SHAHZAD, F.; GLOAGUEN, R. TecDEM: A MATLAB based toolbox for tectonic geomorphology, Part 2: Surface dynamics and basin analysis. *Comput. Geosci*, v. 37, p. 261–271, 2011.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.