



El Lineamiento Transbrasiliano en Paraguay

The Transbrasilian Lineament in Paraguay

Moisés Gadea¹

¹Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción. Email: moi7moses@yahoo.com

Resumen. - El Lineamiento Transbrasiliano es una zona de sutura. Una estructura de primer orden establecida durante la colisión de bloques cratónicos de la antigua Rodinia para la construcción de Gondwana Occidental. Este lineamiento, según se teoriza, atraviesa los territorios de Brasil, Argentina y Paraguay; con su proyección en África en la zona de Benín, Togo y Argelia. No se ha reconocido en superficie a esta estructura en Paraguay, y según algunos modelos, bordea el margen oriental del cratón del Apa (en donde se ha reportado retrometamorfismo neoproterozoico de carácter colisionario) en coincidencia geográfica con la faja móvil Paraguay-Araguaia al noroeste de la cuenca del Paraná. El Lineamiento Transbrasiliano separa los bloques cratónicos del Apa y Tebicuary, los cuales son afines a los del Amazonas y Río de la Plata respectivamente. En relación al registro sísmológico, es escaso en Paraguay, y por ese motivo no es aplicable determinar el emplazamiento de esta estructura basado en *clusters* sísmicos. Hasta el presente, el Lineamiento Transbrasiliano en Paraguay y muchos de los aspectos que involucra resultan inciertos, y sólo se cuenta con algunos modelos e insinuaciones evidenciales, por lo cual, se argumenta que métodos geofísicos deberían ser aplicados para su mejor conocimiento.

Palabras clave: Lineamiento Transbrasiliano, LTB, estructura, sismos, América del Sur, Paraguay.

Abstract. - The Transbrasilian Lineament is a suture zone. A first-order structure established during the cratonic block collision of ancient Rodinia for the construction of West Gondwana. This lineament, as it is theorized, crosses the territories of Brazil, Argentina and Paraguay; with its projection in Africa in the area of Benin, Togo and Algeria. This structure has not been recognized on the surface in Paraguay, and according to some models, it borders the eastern margin of the Apa craton (where colliding neoproterozoic retrometamorphism has been verified) in geographic coincidence with the mobile Paraguay-Araguaia belt to the northwest of the Paraná basin. The Transbrasilian Lineament separates the Apa and Tebicuary cratonic blocks, which are related to those of the Amazon and Río de la Plata respectively. In relation to the seismological record, it is scarce in Paraguay, and for that reason it is not applicable to determine the location of this structure based on seismic clusters. To date, the Transbrasilian Lineament in Paraguay and many aspects that involves are uncertain, and there are only some models and evidential hints, therefore, it is argued that geophysical methods should be applied for better understanding.

Key words: Transbrasilian Lineament, LTB, structure, earthquakes, South America, Paraguay.

En diversas jornadas científicas, en conversatorios y debates acerca de geociencias a nivel local, se menciona con frecuencia la presencia del Lineamiento Transbrasiliano como una estructura que atraviesa el Paraguay, acerca del cual existen mayores incertidumbres que certezas. Por tal motivo, el presente trabajo apunta a reunir la mayor cantidad de información posible en relación a dicho lineamiento, y realizar un acercamiento al estado de arte del conocimiento de su despliegue geográfico teniendo en cuenta algunos modelos, especialmente en la región

continental que ocupa la superficie de Paraguay.

Así también es importante señalar, de que en este breve compilado no se exponen datos de mediciones geofísicas obtenidas de primera mano, sino que teniendo como fundamento los modelos propuestos y otros consensuados, se los revisa e interpreta con los datos geológicos y estructurales que se manejan en Paraguay.

El Lineamiento Transbrasiliano

“Durante los trabajos de compilación del proyecto Carta Geológica de Brasil un millo-



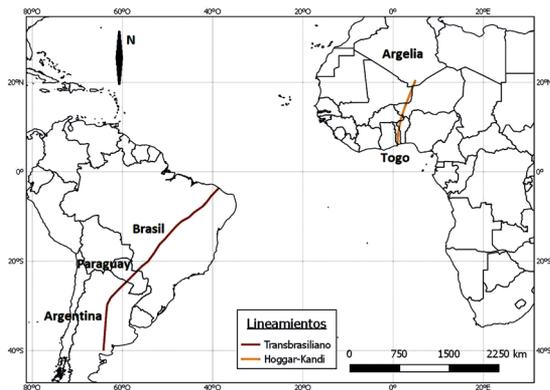


Figura 1. El Lineamiento Transbrasiliano en América del Sur y el Lineamiento Hoggar-Kandi en África Occidental. Modificado de Cordani *et al.*, 2016.

nésimo, fue observado, a través de montajes de varias hojas, la existencia de un lineamiento que atraviesa Brasil de noreste a suroeste, prosiguiendo en dirección de los territorios de Paraguay y Argentina, a lo largo del Río Paraguay” (Shobbenhaus *et al.*, 1975).

El Lineamiento Transbrasiliano (LTB) es un corredor muy extenso en América del Sur, con su contraparte africana: el lineamiento Hoggar-Kandi, dominado por una zona de megacizalla, el cual es uno de los lineamientos tectónicos más largos del mundo. Schobbenhaus (1975) acuñó el nombre *Lineamiento Transbrasiliano* en su compilado del mapa tectónico de Brasil, señalando que esta estructura se proyecta en una gran parte del continente (Cordani *et al.*, 2013) (Figura 1).

Hacia el noreste, el LTB finaliza en el mar adentro de la plataforma continental de América del Sur en Brasil. La sección norte de la fractura del LTB coincide con la zona de cizalla Hoggar 4°50' - Kandi (Caby, 1989; Cordani *et al.*, 2003, 2013a, 2013b; Arthaud *et al.*, 2008. En Curto *et al.*, 2014), la cual se extiende desde Argelia central hasta Togo en la costa. El LTB en América del Sur y la zona Hoggar-Kandi tenían continuidad geográfica durante el tiempo del supercontinente Gondwana (Dos Santos *et al.*, 2008. En Curto *et al.*, 2014).

En el territorio brasileño el LTB representa

una discontinuidad de escala continental de sentido NE-SO, cuyo inicio tiene lugar en Ceará, y se extiende a través de la cuenca de Parnaíba, de los Estados de Tocantins y Goiás, hasta el noroeste de la cuenca del Paraná en Mato Grosso do Sul, ingresando en el territorio de Paraguay y de Argentina (Santos, 2017).

En América del Sur el lineamiento es claramente visible en el mosaico del centro y noreste de Brasil, formando una serie de anomalías magnéticas de escala continental, rastreables a través del país en sentido NE-SO (Cordani *et al.*, 2013), obtenidas por medio de exploraciones de satélites CHAMP y reportados por Fairhead & Maus (2003), aunque no se expone en todos los lugares a lo largo de su despliegue.

El Lineamiento Transbrasiliano es uno de los mayores sistemas transcurrentes (*strike-slip*) de escala global. Este atraviesa la plataforma Sudamericana y se lo verifica en una serie de anomalías magnéticas de baja amplitud en el centro de Brasil, que separan las anomalías más intensas en el cratón de San Francisco al SE, del Amazónico al NO y en algunos lugares de Brasil alcanza una distancia de 350 km de anchura (Fairhead y Maus, 2003).

Santos *et al.* (2008. En Cordani, 2009) señala presencia de rocas eclogíticas y afines en Hoggar, así como rocas metamórficas de alta presión en Dahomeyides, localizados al oeste del lineamiento Kandi-Hoggar. Por otra parte, rocas metamórficas de alto grado se comprueban en el dominio de Ceará Central, ubicado al este del LTB (Cordani, 2009). Con esto se destaca una concordancia petrológica a ambos lados del Atlántico, en el sector noreste de Brasil (América del Sur) y en la región de Togo y Beni (África occidental).

Hacia el suroeste, el LTB desaparece por debajo de la cuenca del Paraná. La determinación del LTB hacia el sur, en base a datos obtenidos en superficie, resulta de mayor complejidad por el predominio de la cobertura sedimentaria y diferentes interpretaciones de los datos aeromagnéticos (Fairhead & Maus, 2003; Curto *et*

al., 2014).

Por evidencias geofísicas (Mantovani y Brito Neves, 2005), y previamente sugerido por Cordani *et al.* (1984), el *megashear* separa las rocas supracorticales del Cinturón Paraguay hacia el oeste del fragmento cratónico de Parapanema hacia el este. Finalmente, se prolonga hacia Paraguay y Argentina (Wiens, 1985. En Cordani, 2009).

Los Supercontinentes

Rodinia

Los continentes se forman por el ensamblaje de terrenos alóctonos y crecen en sus márgenes continentales. La expansión de las superficies es por acreción. El crecimiento es el aumento de tamaño de un cuerpo al agregársele cuerpos menores. Terrenos de bloques continentales de diversos tamaños que viajan grandes distancias incluyen arcos de islas, y pequeñas superficies de corteza oceánica. El ensamblaje requiere cierres oceánicos por subducción en los márgenes de los continentes acrecionarios o bajo los bloques colisionantes (Rogers y Santosh, 2004).

La reconstrucción de las estructuras internas de los continentes, con las distribuciones propuestas de sus componentes corticales (Figura 2), se basa en las correlaciones tectónicas disponibles, tales como sus tendencias estructurales similares, edades similares, o aspectos geológicos específicos y distintivos (Cordani, 2009).

El ensamblaje de Rodinia se produjo a nivel mundial por eventos orogénicos entre los 1300 y 900 millones de años y permaneció estable por 150 millones de años. La formación de este supercontinente fue por acreción de núcleos continentales alrededor de Laurentia (Li *et al.*, 2007). Datos paleomagnéticos señalan la unión Laurentia-Amazonia en la paleogeografía de Rodinia en el tiempo de los 1200 millones de años (Tohver *et al.*, 2006. En Cordani, 2009).

El desarrollo de estructuras esqueléticas aparentemente ocurrió en un corto lapso de mi-

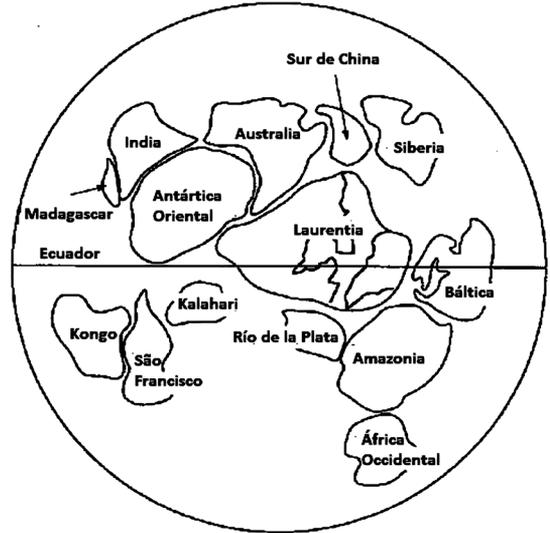


Figura 2. Configuración de Rodinia propuesto por Kalstrom *et al.* (1999. Modificado de Rogers y Santosh, 2004).

llones de años, entre 540-530 millones de años, y McMenamin y McMenamin (1990) propusieron de que seguía la evolución de varios grupos de metazoarios de cuerpos blandos manifiestos en grandes áreas de escudos continentales en el Precámbrico Superior. Esto sugirió un supercontinente de configuración incierta, y McMenamin y McMenamin los nombró Rodinia, derivado de la palabra rusa “engendrar” (Rogers y Santosh, 2004).

El núcleo principal de Rodinia se formaba alrededor de Laurentia, incluyendo Amazonia, un gran océano separaba las masas continentales y fragmentos de este núcleo, tales como Sao Francisco, Río de la Plata, y otros (Cordani *et al.*, 2003. En Cordani, 2009).

El quiebre de Rodinia se produjo diacrónicamente. El primer evento ocurrió en el margen occidental de Laurentia posiblemente en los alrededores temporales de 750 millones de años. El segundo y final, por procesos de *rifting* entre el cratón del Amazonas con Laurentia hacia los 600 millones de años (Li *et al.*, 2007). Según Brito Neves *et al.* (1999), los procesos de quiebre y fisión de Rodinia fueron en varios tiempos: ca. 1000 - 950 ma; ca. 750 ma y ca. 600 ma.

Gondwana

A finales de los 1800s, geólogos trabajando en el hemisferio sur notaron que los fósiles Paleozoicos hallados en el Hemisferio Sur eran muy disimiles a los del Hemisferio Norte. Los fósiles semejantes en América del Sur, África, Madagascar, India y Australia, y en 1913 agregaron a Antártica, fueron reportados por una expedición escocesa. Cuando los geólogos quisieron referirse a estos terrenos como un todo, eligieron nominarlo como los Gonds, un grupo de personas que habitaron en el centro de India hasta el siglo 18. Entonces Gondwana, el imperio de los Gonds, se convirtió en *Gondwana Land* (Rogers y Santosh, 2004).

Casi todos los estudios de la formación de Gondwana sugieren que el supercontinente fue formado por la unión de bloques de diferentes tamaños, en series de colisiones continentales. La mayoría de estos bloques fueron originados por la ruptura de Rodinia, cubriendo el escenario temporal del Neoproterozoico (Li *et al.*, 2008. En Cordani, 2013).

Gondwana se forma por la amalgama de los bloques aislados (Figura 3) como productos

de la desarticulación del supercontinente del Mesoproterozoico Rodinia durante el ciclo orogénico Brasiliano – Pan Africano (Brito Neves *et al.*, 1999).

La formación de este mosaico de diferentes bloques fue enteramente culminada durante el Paleozoico Inferior, con algunos ajustes menores durante el Fanerozoico (Ramos, 1988).

El Océano Goiás-Farusiano fue cerrado al final del Neoproterozoico, y desde ese entonces, Gondwana se convirtió en una única masa continental (Cordani *et al.*, 2013).

El modelo más simple describe la amalgama final de dos masas continentales de gran extensión: Gondwana Occidental, integrada por América del Sur, África y Arabia; y Gondwana Oriental, que incluía a Antártica, Australia, India y Madagascar, formando el cinturón de Mozambique (Cordani *et al.*, 2013).

La evidencia geológica disponible indica que el Océano Goiás-Farusiano fue cerrado alrededor de los 600 Millones de años, y las suturas resultantes se localizan en, o, cercanas al corredor tectónico Transbrasiliano-Kandi (Cordani *et al.*, 2013).

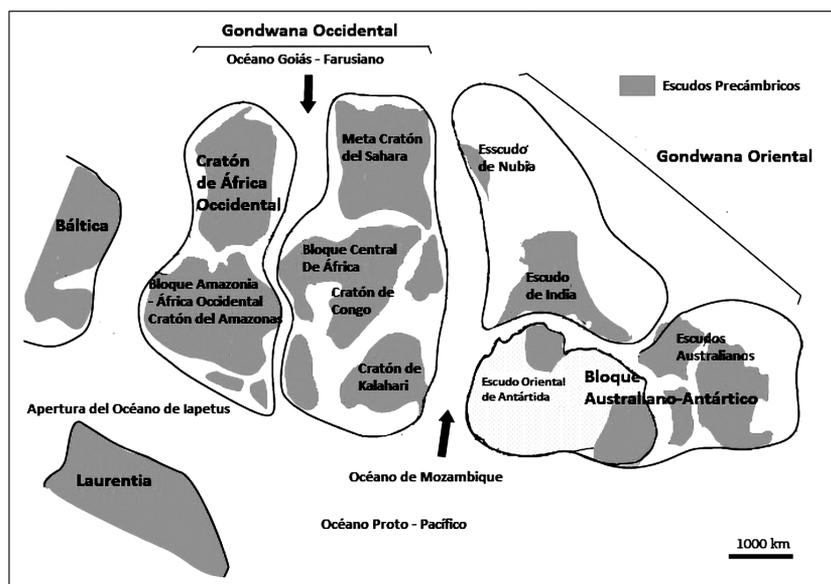


Figura 3. Núcleos continentales dispersados tras la fragmentación de Rodinia. Estos mismos bloques serán reunidos para formar Gondwana. Modificado de Cordani (2013).

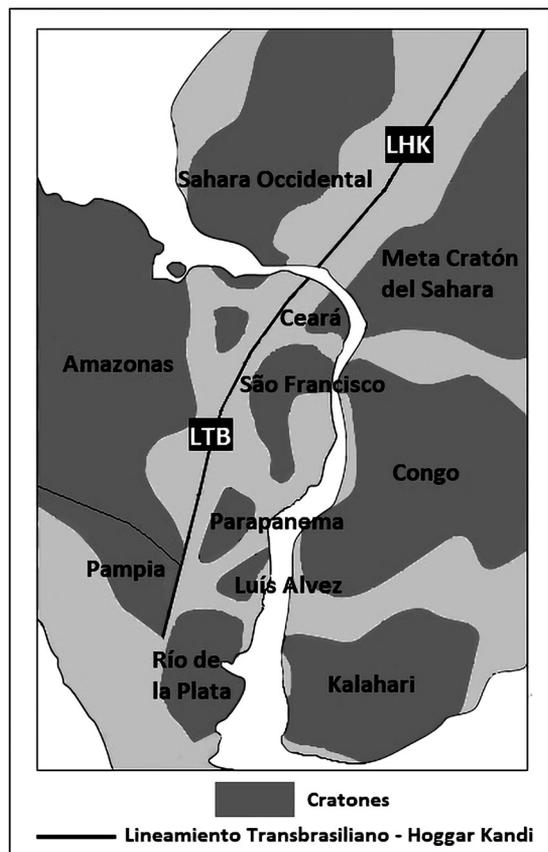


Figura 4. El lineamiento Transbrasiliano – Hoggar Kandi en América del Sur y África prederiva continental. Modificado de Cordani (2013) y Granja (2018).

El LTB corresponde al último episodio asociado con la Orogenia Brasileña-Pan Africana en el Neoproterozoico (Marini *et al.*, 1984; Cordani *et al.*, 2010, 2013a, 2013b. En Curto *et al.*, 2014). En líneas generales, el LTB es una zona de megacizalla cuyo desarrollo tuvo lugar como resultado de los ensambles continentales, para la formación de Gondwana Occidental en tiempos del Neoproterozoico-Paleozoico Inferior durante la orogenia Brasileña-Pan Africana. Una línea de sutura que corta gran parte de América del Sur, y su contraparte en África Occidental, el lineamiento Hoggar-Kandi, que tuvieron continuidad geográfica durante la existencia de Gondwana (Figura 4).

Todas las colisiones están comúnmente



Figura 5. El Lineamiento Transbrasiliano (LTB) en los dominios de Brasil, Paraguay y Argentina (Modificado de Comisión para el Mapa Geológico del Mundo, 2016).

acompañadas por movimientos de cizalla (*strike-slip*) aproximadamente paralelos a los márgenes de crecimiento continental. Las soldaduras de terrenos para formar continentes coherentes probablemente ocurren durante y posterior a la colisión (Rogers y Santosh, 2004).

Resultados y discusión

El Lineamiento Transbrasiliano en Paraguay
Según Báez (2019. Com. pers.), el LTB (Figuras 5 y 6) no se expone superficialmente en Paraguay, y en su manifestación en el borde oriental del cratón del Río Apa dicho lineamiento se encuentra oculto bajo los sedimentos de la cuenca del Paraná (Salina, 2019. Com. pers.).

El Mosaico Cratónico en Paraguay.

Un cratón puede ser definido como una parte de la corteza que ha adquirido estabilidad y que no ha sufrido deformación por mucho tiempo (Bates y Jackson, 1990. En Black y Liegeois, 1993). Constituyen los núcleos más antiguos de los continentes y resultan de mucho interés por sus recursos minerales (James y Fouch,

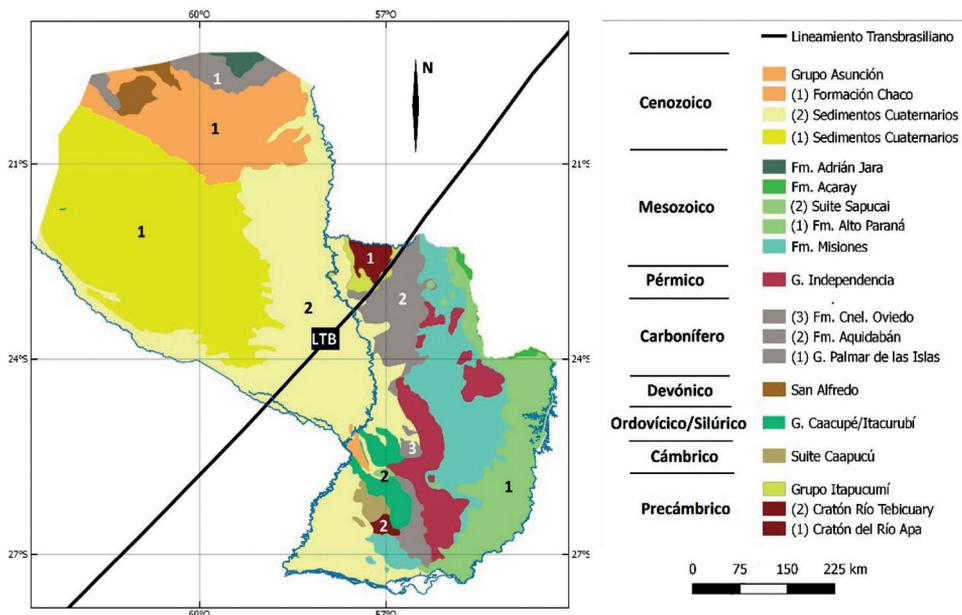


Figura 6. El contexto geológico en Paraguay del Lineamiento Transbrasiliano, según Cordani (2009); Ramos et al. (2010); Campanha *et al.* (2010) y Comisión for the Geological Map of the World (2016). Según estos modelos, la estructura se desplaza al este del cratón del Río Apa por debajo de los sedimentos de la Formación Aquidabán y del Grupo Itapucumí. En el sector del bajo chaco en dirección SSO, se encuentra superpuesto por sedimentos Cuaternarios. Modificado del Mapa Geológico Proyecto PAR (1986).

2002).

Los bloques cratónicos se exponen en zonas restringidas de Paraguay, ambos en la Región Oriental del país. Los visibles en superficie son el del Río Apa, localmente conocido como *el cratón del norte*; y el del Río Tebicuary, como *el cratón del sur* (Orué, 1996); Geoconsultores (1998); Proyecto PAR, 1986); Fulfaro (1996); Palmieri y Velázquez (1982) y varios otros autores.

El fragmento cratónico del Río Apa muestra afinidades con el cratón del Amazonas, como todos aquellos que se sitúan inmediatamente al noroccidente del LTB. Los situados al sureste del lineamiento muestran afinidad con el cratón São Francisco-Congo, por lo cual, al LTB se la considera como una estructura fronteriza entre las mencionadas unidades cratónicas (Kröner y Cordani, 2003; Cordani, 2009). El trazado del LTB en la zona fue hecho en base a modelos que definen el cratón Río Apa como similar al Amazónico, diferenciándolos de aquellos que se

posicionan hacia el este. Hacia el suroeste y en el mismo país, el lineamiento separa al cratón de Amazonia con el de Parapanema (Feng *et al.*, 2004). En Argentina el LTB divide al cratón del Río de la Plata con Pampia (López de Luchi *et al.*, 2005; Rapela *et al.*, 2007; Favetto *et al.*, 2008. En Ramos *et al.*, 2010).

Pampia se localiza por debajo de los terrenos chaqueños; e infrayaciendo a la cuenca del Paraná se encuentra al bloque Parapanema /bloque Paraná/Alto Paraguay. Al sur de la Región Oriental del Paraguay ocupa el cratón del Río de la Plata (Figura 7).

Teniendo en cuenta la disparidad de opiniones con respecto al despliegue cratónico en Paraguay, aquí se pretende señalar a los bloques integrantes probables y la posición del LTB en relación a los mismos, con un modelo tentativo (y sujeto a modificaciones conforme se realicen otras investigaciones), según la Figura 7.

Si el cratón del Apa presenta afinidades con los del escudo central brasileño; y el cratón del

río Tebicuary con los de Parapanema, del Río de la Plata y sus similares africanos, se considera posible que el LTB separa a los cratones paraguayos del Apa y de Tebicuary en algún punto intermedio y subterráneo entre sus superficies de exposición. Según Wiens (Com. pers.), el LTB atraviesa por debajo del Bajo de San Pedro.

Metamorfismo y Deformación.

Las primeras reconstrucciones del basamento de Sur América muestran una serie de rocas metamórficas de edades Precámbricas-Paleozoico Inferior, rodeando el margen suroccidental de la Plataforma Suramericana. Estas exposiciones bordean el cratón del Río de la Plata al oeste, y presentan una exposición de 1600 km en Argentina. El origen de estas rocas metamórficas fue considerado como resultado de la colisión continental de los cratones de Pampia y Río de la

Plata. Del mismo modo y en el sector brasileño, con la unión del bloque Amazonas con el de Sao Francisco, y con Parapanema en el segmento Sur (Ramos, 2010).

El basamento de las unidades cratónicas al sur de Brasil y la parte norte de Paraguay, constituido por el bloque Río Apa, con gneisses intruidos por monzodioritas datan de edades Paleoproterozoicas. Este viejo basamento, en el este, ha sido reactivado por deformación y metamorfismo durante el ciclo Brasiliano tardío (Cordani, 2009).

La deformación y el metamorfismo ocurrió entre 550 y 500 Ma, y se lo atribuye como los estadios finales de la Orogenia Brasiliana – Pan Africana. El análisis estructural de elementos planares y lineales sugiere un transporte tectónico hacia el NO, en dirección al cratón del Amazonas; en la parte sur del cinturón donde se encuentra afectado por zonas de cizalla del LTB con sentido NNE-SSO. Fallas inversas N-S señalan un acortamiento de la corteza terrestre (Alvarenga *et al.*, 2000).

Con el ensamble final de los cratones de Amazonas, Río Apa, Pampia y el cratón Africano, según trabajos recientes (Trindade *et al.*, 2006; Tohver *et al.*, 2006; Tohver *et al.*, 2010), ha ocurrido en 528 ma, al tiempo del cierre del Océano de Clymene. Este evento estaría posibilitando la deformación y estructuración de la Faja Paraguay, correspondiendo al último estadio del *collage* del supercontinente Gondwana hacia el suroeste (Warren, 2012). Ramos *et al.* (2010) correlacionaron al sistema de fallas del LTB en el sur con la discontinuidad cortical en el borde de las Sierras Pampeanas en Argentina.

Ante lo expuesto, se considera que las rocas metamórficas al este del cratón del Apa tuvieron un retrometamorfismo de sus rocas paleoproterozoicas, de carácter colisional y acrecionario durante el ensamble de Gondwana Occidental, relacionado con la faja Paraguay, y como contraparte de las rocas metamórficas del mismo origen en Argentina y Brasil.

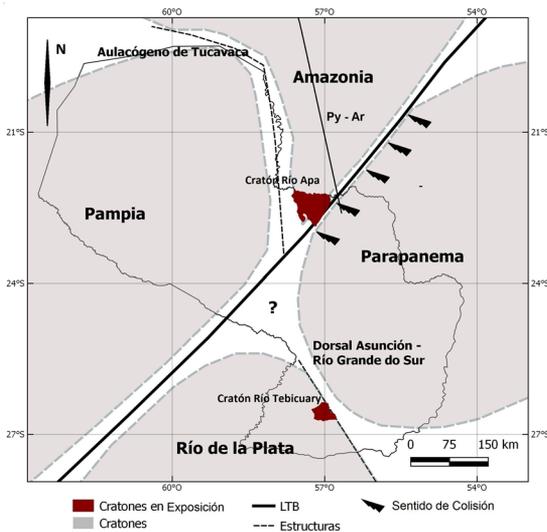


Figura 7. Modelo de despliegue de bloques cratónicos en Paraguay. Sólo existen dos núcleos en exposición: el cratón del Río Tebicuary al sur; y al norte, el cratón del Río Apa. Según se aprecia en la imagen, el LTB separa a los grupos cratónicos de Amazonia y Pampia (occidentales) de los bloques de Parapanema y del Río de la Plata (orientales). Adaptado de Cordani *et al.* (2013); Ramos *et al.* (2010); Fuck *et al.* (2008). Las zonas de neometamorfismo y deformación se localizan en el contacto cratónico oriental del Apa con el Cinturón Paraguayo. El sentido de transporte tectónico de carácter colisional se indica por medio de las flechas.

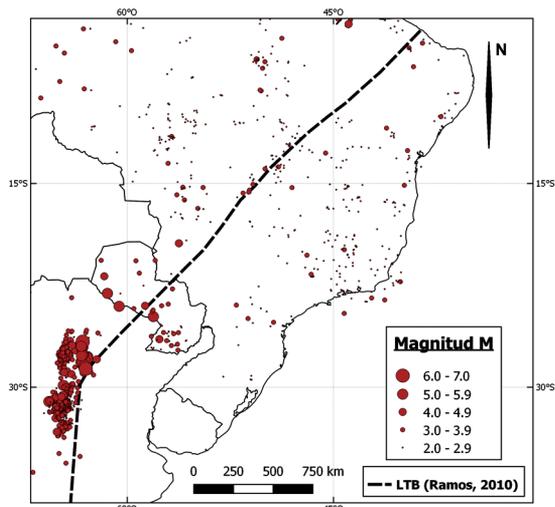


Figura 8. Sismicidad en el Lineamiento Transbrasiliano. Compilado de SISBRA [En línea], OBSIS [En línea], INPRES [En línea] y Fugarazzo et al. (2021).

La separación de los fragmentos de Rodinia posibilitó el desarrollo de dominios sedimentarios y vulcanosedimentarios en el Neoproterozoico, muchos de los cuales fueron transformados en cinturones móviles. El cinturón Paraguay (y Araguaia) es el resultado de la colisión entre el cratón del Amazonas y Parapanema. (Geraldés *et al.*, 2015). Esta faja móvil ingresa en Paraguay en sentido N-S, al este del cratón del Apa, con sus lineamientos NNE-SSO (Orué, 1996) (Figura 7), y se constituye por rocas siliciclásticas y carbonáticas con plegamientos asociados a esfuerzos de empuje hacia el oeste.

Si los modelos de posicionamiento del LTB, según Cordani (2009); Ramos (2010); Campanha *et al.* (2010), que bordea el sector oriental del cratón del Río Apa son correctos, y que el cinturón Paraguay-Araguaia también se adentra en el Paraguay hasta unos 50 km al sur del río Apa y al este del cratón (Orué, 1996), se observa que existe una coincidencia geográfica entre el LTB (sutura) y el cinturón Paraguay-Araguaia (faja móvil) en ese sector. La estructura que ha sido reconocida en superficie es la faja móvil (Báez. com. pers.).

Sismología

De lo observado en la Figura 8, se extrae que el Lineamiento Transbrasiliano no presenta concentración de epicentros de sismos a lo largo de toda su extensión. Asimismo, que los sismos de mayor energía se manifiestan en el margen de la cuenca Chaco-Pampeana, en coincidencia geográfica con el LTB, según los modelos; aunque este hecho en particular no implica que necesariamente guarden relación estricta con dicha estructura.

Una distribución de sismos recientes muestra un lineamiento sísmico de intensidad baja a moderada a lo largo de algunos trechos del LTB, especialmente en el centro y suroeste de Brasil.

Aunque varios *clusters* sísmicos coincidan geográficamente con el LTB, su sismogenética no se relaciona con dicho lineamiento, como lo proponen Assumpção y Sacek (2013) para explicar la concentración de sismos en Brasil central; en donde deformaciones flexurales, coincidentes con altos gravimétricos y adelgazamiento (que implica zonas de mayor debilidad) de la corteza terrestre son los factores determinantes para causar sismos.

Así también, Rocha y colaboradores (2016) atribuyen una coincidencia de bajas velocidades

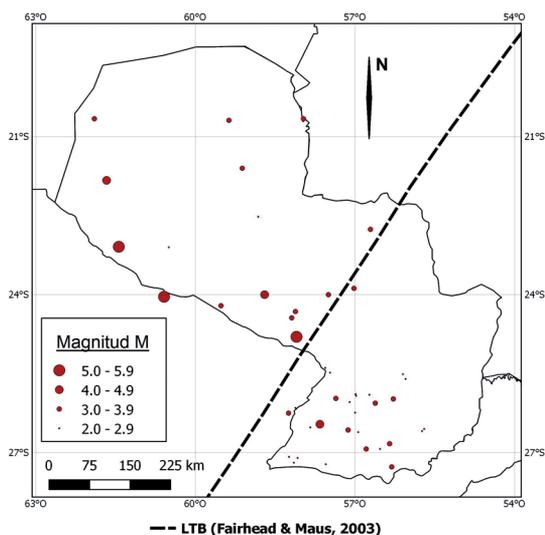


Figura 9. Mapa Sismológico del Paraguay. De Fugarazzo et al. (2021).

de ondas P con bajos espesores de la corteza, y un total de espesor efectivo de la corteza, como variables que interactúan para generar sismicidad.

Habiendo dicho esto, se considera relevante realizar estudios geofísicos adicionales con el fin de discriminar la sismogenética de los *clusters*, especialmente a aquellos que se manifiestan en conformidad geográfica con el LTB, debido a la posibilidad de cometer malas interpretaciones. Cada manifestación de zonas sísmica del tipo intraplaca guarda estrecha relación con la tectónica local, que es muy variable de sitio en sitio.

Sismicidad en Paraguay y el Lineamiento Transbrasiliano

En un trabajo reciente (Fugarazzo *et al.*, 2021) se ha elaborado un catálogo actualizado de sismos en Paraguay. En total se han agrupado 45 eventos de buena precisión; estos son datos obtenidos del Laboratorio de Sismología de la FaCEN-UNA e instituciones de monitoreo sísmico regional.

Cabe destacar que el monitoreo sísmico en Paraguay ha tenido sus inicios a principios de los años 90, y que los datos no están completos. No obstante, por medio de ese trabajo fue posible reconocer algunas zonas sísmicas y tendencias en Paraguay (Figura 9).

Sin embargo, en 1982 ocurrió un evento de

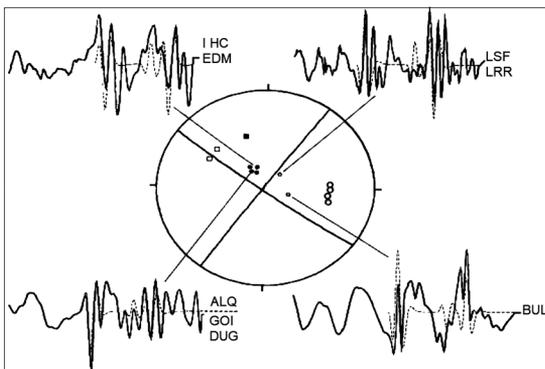


Figura 10. Sismograma y *ball beach* del mecanismo focal del sismo del 8 de abril 1982 Mb 5.2 en el bajo Chaco. Uno de los planos nodales del evento señala un sismo de naturaleza transcurrente (Assumpção y Suárez, 1988).

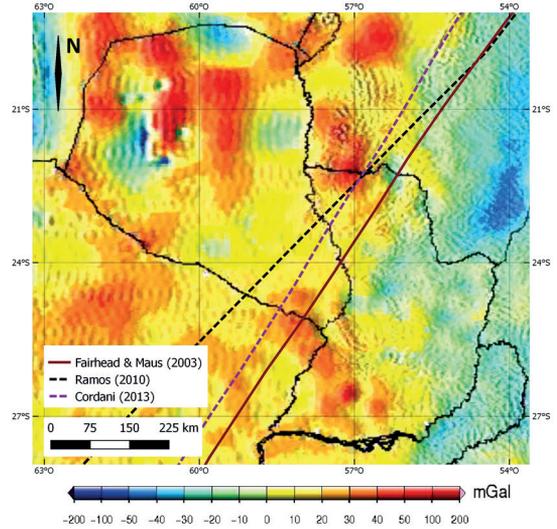


Figura 11. Modelos de posicionamiento del Lineamiento Transbrasiliano en Paraguay en un mapa gravimétrico Airy – Heiskanen, $T_c = 30$ Km (OMP, 2016).

Mb 5.2 en el bajo Chaco (Figura 10), el cual fue uno de los de mayor relevancia, por su cercanía con Asunción e incidencia social, debido a que efectivamente fue sentido en la ciudad y su área metropolitana. Fue el sismo autóctono de mayor violencia registrado en las proximidades de centros urbanos en el país.

Dicho epicentro del sismo, se localiza en un *cluster* sísmico mencionado por Assumpção y Sacek (2013). Para este evento fue determinado su mecanismo focal utilizando los sismogramas de la red Canadiense y el WWSSN de EEUU (Figura 11).

El mecanismo focal tiene dos planos nodales, uno de dirección NO-SE y otro de dirección NE-SO. El análisis de Assumpção & Suárez (1988) no permite distinguir cual es la fractura; sin embargo, el plano de orientación NE-SO sería compatible con la orientación del LTB cercano al epicentro.

Cabe expresar aquí, que con esta única determinación no es posible proponer argumentos contundentes acerca de la presencia del LTB en el bajo Chaco paraguayo. No obstante, tampoco resulta conveniente desechar la evidencia, siendo que esta representa una

insinuación interesante en la zona, en atención a los modelos de posicionamiento del LTB como entidad estructural fronteriza entre los cratones de Pampia, del Río de la Plata y del bloque Parapanema (Figura 7).

Se recalca aquí que la evidencia es pobre, y así también, debería tenerse en cuenta a esta región para futuras observaciones de monitoreo sísmico, y de realizar mediciones geofísicas complementarias para alcanzar una mejor comprensión de la naturaleza de estos eventos.

Conclusiones

El Lineamiento Transbrasiliano en Paraguay es casi totalmente inferido. Se desconoce su proyección exacta y anchura. Hasta el presente no se ha identificado a esta estructura en exposición superficial. Existe una cobertura de sedimentos fanerozoicos por donde se teoriza su despliegue, por lo cual, para su localización y estudio se requiere de mediciones por métodos geofísicos.

Se considera su continuidad hacia Paraguay desplegándose en el estado de Mato Grosso do Sur en Brasil, y por debajo del cinturón móvil Paraguay, al oriente del bloque Río Apa. Si los modelos de posicionamiento del LTB presentados en este trabajo son correctos, entonces es posible una coincidencia geográfica entre el Lineamiento Transbrasiliano y el cinturón Paraguay-Araguaia en el sector oriental del cratón del Río Apa.

En su prolongación hacia el Sur (SSO-NNE), según los modelos, se lo ubica por debajo de los sedimentos chaqueños, y podría tratarse de un delimitador de los bloques cratónicos en Paraguay, siendo ellos en su mayoría cubiertos por sedimentos recientes. Específicamente, en consenso, por evidencias litogenéticas y estructurales, los cratones del Río Apa y Río Tebicuary, se los asocia con los cratones del Amazonas y del Río de la Plata respectivamente; y entre ellos se sitúa al Lineamiento Transbrasiliano como estructura fronteriza entre ambos.

A las rocas metamórficas al oriente del cratón del Río Apa se las interpreta como originadas

por retrometamorfismo de rocas paleoproterozoicas; de carácter colisionario de bloques cratónicos durante el ensamble final de Gondwana Occidental, así como sus congéneres regionales asociados al LTB en Argentina y Brasil.

En Paraguay el registro sismológico es pobre, por lo cual no es posible argumentar de modo contundente la posición del LTB utilizando concentración de epicentros de sismos, sino que son observables ciertas insinuaciones sísmicas que merecen ser tenidas en cuenta para futuros monitoreos, sobre todo en la zona del bajo Chaco paraguayo, donde según varios modelos el LTB atraviesa Paraguay.

Uno de esos eventos, el de 1982 y de Mb 5.2, en el bajo Chaco paraguayo, fue determinado su mecanismo focal, y cuyo resultado arrojó la existencia de dos planos nodales, uno NE-SO (*strike slip*) asociable al LTB, y otro NO-SE. Estos resultados muestran ambigüedad, por lo cual no se asegura que dicho evento guarde relación con el LTB.

Lo más relevante ante todo lo compendiado hasta aquí, es el consenso aceptado acerca de la presencia del Lineamiento Transbrasiliano como estructura que atraviesa el Paraguay, sin exposición visible y bajo una cobertura sedimentaria reciente. Así también, que el Lineamiento Transbrasiliano, según los modelos proyectados, es un elemento geológico separador entre los bloques cratónicos del Apa y Tebicuary.

Literatura

- Alvarenga, C., Veloso, C., Gorayeb, P. & Matos, F. (2000). Paraguay and Araguaia Belts. Pp. 183–193 *in* Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., & Campos, D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, BR: 31st International Geological Congress. 854 pp.
- Assumpção, M. & Suárez, G. (1988). Source Mechanism of Moderate-Size Earthquakes and Stress Orientation in Mid-Plate South America. *Geophysical Journal International*, 92(2): 253–267.

- Assumpção, M. & Sacek, V. (2013). Intra-plate seismicity and flexural stresses in central Brazil. *Geophysical Research Letters*, 40(3): 487–491.
- Black, R. & Liegeois, J. (1993). Cratons, Mobile Belts, Alkaline Rocks and Continental Lithospheric Mantle: the Pan-African Testimony. *Journal of the Geological Society*, 150(1): 89–98.
- Brito Neves, B., Da Costa, M. & Fuck, R. (1999). From Rodinia to Western Gondwana: An Approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and Orogenic Collage. *Episodes* 22(3):155–166.
- Campanha, G., Warren, L., Boggiani, P., Grohmann, C. & Arias, A. (2010). Structural Analysis of the Itapucumí Group in the Vallemí Region, Northern Paraguay: Evidence of a New Brasiliano / Pan-African Mobile Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 30(1): 1–11.
- Cordani, U., Brito Neves, B., Fuck, R., Porto, R., Thomaz Filho, A. & Bezerra da Cunha, A., (1984). *Estudo preliminar de integração do Pré Cambriano com eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. *Ciência Técnica Petróleo: Exploração de Petróleo*, 15: 1–70.
- Cordani, U. (2009). From Rodinia to Gondwana: Tectonic Significance of the Transbrasiliano Lineament. Pp. 32–40 in *Boletim de Resumos Expandidos do Simpósio 45 anos de Geocronologia do Brasil*. São Paulo, Brasil: Instituto de Geociências.
- Cordani, U., Teixeira, W., Colombo, C., Tassinari, G., Coutinho, J. & Amarildo, S. (2010). The Rio Apa Craton in Mato Grosso do Sul (Brazil) and Northern Paraguay: Geochronological Evolution, Correlations and Tectonic Implications for Rodinia and Gondwana. *American Journal of Science*, 310(9): 981-1023.
- Cordani, U., Pimentel, M., Ganade, C. & Fuck, R. (2013). The Significance of the Transbrasiliano-Kandi corridor for the amalgamation of Western Gondwana. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3): 583–597.
- Cordani, U.G., Ramos, V.A., Fraga, L.M., Cengarra, M., Delgado, I., de Souza, Gomes, F.E.M. & Schobbenhaus, C. (2016). *Tectonic Map of South America: explanatory notes, scale 1:5.000.000*. (2nd ed.). Paris, France: Commission for the Geological Map of the World. 16 pp.
- Curto, J., Vidotti, R., Fuck, R., Blakely, R., Alvarenga, C. & Dantas, E. (2014). The Tectonic Evolution of the Transbrasiliano Lineament in Northern Paraná Basin, Brazil, as Inferred from Aeromagnetic Data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(3): 1544–1562.
- Fairhed, J. & Maus, S. (2003). CHAMP Satellite and Terrestrial Magnetic Data Help Define the Tectonic Model for South America and Resolve the Lingering Problem of the Pre-Break-Up Fit of the South American Ocean. *The Leading Edge*, 22(8): 779–783.
- Feng, M., Assumpção, M. & Van Der Lee, S. (2004). Group velocity tomography and lithospheric S-velocity structure of the South American continent. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 147(4): 315–331
- Fuck, R., Brito Neves, B. & Schobbenhaus, C. (2008). Rodinia descendants in South America. *Precambrian Research*, 160(1-2): 108–126.
- Fúlfaro, V.F. (1996). Geology of Eastern Paraguay. pp. 17–29 in Comin-Chiaramonti, P. & Gomes, C.B. (eds.). *Alkaline Magmatism in Central-Eastern Paraguay. Relationships with Coeval Magmatism in Brazil*. São Paulo, Brasil: EDUSP. 464 pp.
- Fugarazzo, R., Gadea, M., Caballero, A., Assumpção, M. & Figueres, V. (2021). Las Zonas Sísmicas en Paraguay. *Reportes*

- Científicos de la FaCEN*, 12(1): 10–20.
- Geoconsultores. (1998). *Potencial de Hidrocarburos del Paraguay (áreas de interés prioritario para exploración), Tomo I*. Asunción. Paraguay: Servicio de Consultoría en Apoyo al Sector de Hidrocarburos del Paraguay. 98 pp.
- Geraldes, M., Dias, A. & Costa, A. (2015). An Overview of the Amazonian Craton Evolution: Insights for Paleogeographic Reconstruction. *International Journal of Geosciences*, 6(9): 1060-1076.
- Godoy, A., Manzano, J., Araújo, L. & Da Silva, J. (2009). Contexto geológico e estrutural do Maciço Rio Apa, sul do Cráton amazônico - MS. *Geociências*, 28(4): 485–499.
- Granja, A., Aguiar De Souza, M., Salina, A., Cubas, N., Matos, J., Dantas, E. & de Oliveira, J.R. (2018). Petrology and Geochronology (U–Pb) of the Caapucú suite - Southern Paraguay: post-tectonic magmatism of the Paraguari belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 88: 621–641.
- INPRES. (2019). *Instituto de Prevención Sísmica*. Secretaría de Obras Públicas, San Juan, Argentina. [Consulted: 22.xi.2019]. <<https://www.inpres.gob.ar/desktop/>>.
- James, D. & Fouch, J. (2002). Formation and Evolution of Archean Cratons: Insights from Southern Africa. *Geological Society of London Special Publications*, 199(1-2): 1–26.
- Kröner, A. & Cordani, U. (2003). African, southern Indian and South American cratons were not part of the Rodinia supercontinent: evidence from field relationships and geochronology. *Tectonophysics*, 375(1-4): 325–352.
- Li, Z., Bogdanova, S., Collins, A., Davidson, A., De Waele, B., Ernst, R., Fitsimons, I., Fuck, R., Gladkochub, D., Jacobs, J., Karlstrom, Su, S., Natapov, L., Pease, V., Pisarevsky, S., Thrane, K. & Vernikovsky, V. (2007). Assembly, Configuration, and Break-Up History of Rodinia: A Synthesis. *Precambrian Research*, 160(1-2): 179–210.
- Mantovani, M. & Brito Neves, B. (2005). The Paranapanema Lithospheric Block: Its Importance for Proterozoic (Rodinia, Gondwana) Supercontinent Theories. *Gondwana Research*, 8(3): 303–315.
- McMenamin, M. & McMenamin, D. (1990). *The Emergence of Animals: The Cambrian Breakthrough*. New York, USA: Columbia University Press. xi + 217 pp.
- Morais Neto, J., Trodstorf, I., Santos, S., Vasconcelos, C., Rui, J., Ribas, M. & Iwata, A. (2013). Expressão Sísmica das Reativações Tectônicas do Lineamento Transbrasiliiano na Bacia do Parnaíba. 4 pp. in Archanjo, C.A. (ed.). *Anais do XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos - VIII International Symposium on Tectonics*. São Paulo, Brasil: IGC, USP. 1 CD ROM.
- OPM. (2016). Global or regional gravity grids derived from the World Gravity Map (WGM2012 model). [Consulted: 1.vi.2014–30.iv.2016]. <http://bgi.omp.obs-mip.fr/activities/Projects/world_gravity_map_wgm>.
- Orué, D. (1996). *Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Brasil: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 163 pp.
- Palmieri, J.H. & Velázquez, J.C. (1982). *Geología del Paraguay*. Asunción, Paraguay: Ediciones NAPA. 82 pp.
- Proyecto PAR 83/005. (1986). *Mapa Geológico del Paraguay 1:1000000*. Mapa y texto explicativo. Asunción, Paraguay: PNUD / Comisión Nacional de Desarrollo Regional. Ministerio de Defensa Nacional. 270 pp.
- Ramos, V. (1988). Late Proterozoic – Early Pal-

- aeozoic of South America – A Collisional History. *Episodes*, 11(3): 168–174.
- Ramos, V., Vujovich, G., Martino, R. & Ota-mendi, J. (2010). Pampia: A large cratonic block missing in the Rodinia Supercontinent. *Journal of Geodynamics*, 50(3-4): 243–255.
- Rocha, M., Araujo De Azevedo, P., Marotta, G., Shimmel, M. & Fuck, R. (2016). Causes of intraplate seismicity in central Brazil from travel time seismic tomography. *Tectonophysics*, 680: 1–7.
- Rogers, J. & Santosh, M. (2004). *Continents and Supercontinents*. New York, USA: Oxford University Press. 304 pp.
- Rossello E., Veroslavsky, G., de Santa Ana, H., Fúlfaro, V. & Fernández Garrasino, C. (2006). La dorsal Asunción - Río Grande do Sur: un altofondo regional entre las cuencas Paraná (Brasil, Paraguay y Uruguay) y Chacoparanaense (Argentina). *Revista Brasileira de Geociências*, 36(3): 515–549.
- Santos, C.H.O. (2017). *Expressão estrutural do Lineamiento Transbrasiliano na porção sul da bacia do Parnaíba*. Dissertação de Mestrado. Natal, Brasil: Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidad Federal do Rio Grande do Norte. 77 pp.
- Schobbenhaus, C., Gonçalves, J., Santos, J., Bastos, M., Leão Neto, R., Muniz De Matos, G., Vidotti, R., Barreto, M.A. & Alvez, J. (1975). *Carta Geológica do Brasil ao milionésimo: Folha de Goiás SE 22*. Mapa y texto. Brasília, Brasil: Sistema de Informações Geográficas, CPRM. 114 pp.
- SISBRA. (2019). Observatorio Sismológico da Universidade de Brasília. [Consulted: 23.xi.2019]. <<http://obsis.unb.br/portalsis/>>.
- Tohver, E., D’Agrella-Filho, M. & Trindade, F. (2006). Paleomagnetic record of Africa and South America for the 1200–500 Ma interval, and evaluation of Rodinia and Gondwana assemblies. *Precambrian Research*, 147(3-4): 193–222.
- Tohver, E., Trindade, R., Solum, G., Hall, M., Riccomini, C. & Nogueira, C. (2010). Closing the Clymene Ocean and bending a Brasiliano belt: evidence for the Cambrian formation of Gondwana, south-east Amazon craton. *Geology*, 38(3): 267–270.
- Trindade, R., D’Agrella-Filho, M., Epof, I. & Brito Neves, B. (2006). Paleomagnetism of Early Cambrian Itabaiana mafic dykes (NE Brazil) and the final assembly of Gondwana. *Earth and Planetary Science Letters*, 244(1-2): 361–377.
- Warren, L. (2011). *Tectônica e sedimentação do Grupo Itapucumi (Neoproterozoico, Paraguai septentrional)*. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 215 p.