

RELATIONS BETWEEN HIDROGEOMORPHIC ATTRIBUTES OF THE DOURADOS BASIN-BRAZIL AND THEIR ENVIROMENTAL SIGNIFICANCE

RELACIONES ENTRE ATRIBUTOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO DOURADOS Y SU IMPORTANCIA AMBIENTAL

Samantha Alcaraz¹, Omar Daniel^{2*}, A. Carlos Tadeu-Vitorino², Christophe Sannier¹

¹Cranfield University, Department of Natural Resources, Silsoe Bedfordshire MK43 0AL, UK, United Kingdom. (samantha.alcaraz@gmail.com), (christophe.sannier@sirs-fr.com). ²Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, 79.825-070 Dourados-MS. (omar.daniel@pq.cnpq.br), (antoniovitorino@ufgd.edu.br).

ABSTRACT

The study of the morphometry within of catchment boundaries allowed to quantify aspect of the fluvial system in relation to geology, geomorphology and hydrology of the basin of Dourados river, Brazil, making possible to analyse the relations between hydrographic and environmental properties like the first step to better understand the processes taking place within the catchment area. The drainage network was described using qualitative and dimensional observations, from which significant quantitative attributes were derived, including interpolated drainage density and drainage frequency. Environmental data such as geology, geomorphology and soils type were acquired to allow an interpretation of their relationships with the drainage network. The geomorphologic and hydrologic characteristics confirm that the drainage system is strictly dependent on the nature of the bedrock, and on its regional and local structural control. Basaltic lava flow and associated soils shape tabular landforms where dendritic network of low drainage density and low density of dissection are develop. On sandstone and residual basal conglomerate, the drainage frequency is lower but the relief variation is locally increased by erosion processes that create deep and narrow valleys. The drainage network does not appear strongly influenced by regional tectonic control. Nevertheless, lineaments on NW-SE and NE-SW trends could be related to structural constraints affecting the western area of the sedimentary Paraná basin, in relation to the Andine orogeny. To highlight the influence of soil distribution on the drainage network, a smaller area of interest would need to be selected.

Key words: hydrogeomorphology, watershed, catchment.

* Author for correspondence ♦ Autor responsable.

Received: June, 2010. Approved: March, 2011.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 45: 267-279, 2011.

RESUMEN

El análisis morfométrico de las zonas de captación permitió cuantificar aspectos del sistema fluvial en relación con la geología, geomorfología e hidrología de la cuenca del Río Dourados, Brasil, lo que permitió estudiar las relaciones entre las propiedades hidrográficas y ambientales como el primer paso para entender mejor los procesos que se llevan a cabo dentro del área de captación. El sistema de drenaje se describió usando observaciones cualitativas y dimensionales, de las que derivaron atributos cuantitativos importantes, incluyendo densidad de drenaje y frecuencia de drenaje por interpolación. Se obtuvo información sobre el ambiente, como la geología, la geomorfología y los tipos de suelo, para interpretar sus relaciones con el sistema de drenaje. Las características geomorfológicas e hidrológicas confirman que el sistema de drenaje depende rigurosamente de la naturaleza del cimiento, así como de su control estructural regional y local. La corriente de lava basáltica y los suelos asociados conforman relieves tabulares donde se desarrolla un dendrítico de baja densidad de drenaje y baja densidad de disección. En las areniscas y los conglomerados basales, la frecuencia de drenaje es menor, pero la variación de los relieves aumenta localmente por los procesos de erosión que generan valles profundos y estrechos. Al parecer, el sistema de drenaje no está fuertemente influenciado por el marco tectónico regional. Sin embargo, las tendencias lineales georesistivas en direcciones NO-SE y NE-SO podrían deberse a limitaciones estructurales que afectan la zona occidental de la cuenca sedimentaria del Paraná, en relación con la orogenia andina. Para destacar la influencia de la distribución del suelo sobre el sistema de drenaje se necesita seleccionar una área menor de interés.

Palabras clave: hidrogeomorfología, interfluvio, captación.

INTRODUCTION

The Dourados hydrographic basin, a subsidiary of the Paraná river, is located south of the state of Mato Grosso do Sul, south-eastern Brazil, and covers an area of 9205.41 km² (Mato Grosso do Sul, 2000). The Dourados River is the main supplier of fresh water for human consumption in Mato Grosso do Sul and maintaining its water quality environmental and natural resources management is necessary.

The first step to better understand the processes taking place within the basin is to study the relations between hydrographic and environmental properties. The catchment boundary defines an area which is often considered as the most basic unit of monitoring, analysis and management (Brown and Harper, 1999). The study of the basin morphometry within these boundaries will allow to quantify numerically and mathematically aspect of the fluvial system in relation to geology, geomorphology and hydrology of the basin (Clarke, 1966; Martínez-Casasnovas and Stuiver, 1998; Oliveira and Ferreira, 2001).

The expansion of digital representation has stimulated the development of automatic procedures to extract topographic and hydrologic information from Digital Terrain Models (DEM), using GIS software packages and hydrologic models that integrate multiple databases within a minimal time (Lin *et al.*, 2005). These methods are objective, fast to implement, and allow multi-criteria analyses.

The objective of this study was to characterise the drainage network of the Dourados catchment using qualitative and quantitative attributes, comparing raw topographic data and drainage networks from pre-processed digital terrain models, and to establish the relations between these geomorphologic and hydrologic attributes and their significance in terms of the actual geomorphology and geology of the area.

MATERIAL AND METHODS

Land morphology and channel network properties of the Dourados hydrographic basin were analysed using qualitative and quantitative attributes extracted from topographic data and digital terrain models, in relation to the watershed boundary. The processes of defining adequately the boundary of the basin and the automatic generation of the drainage network have been described by Alcaraz *et al.* (2009). Once determined, the

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica Dourados, afluente del Río Paraná, se localiza al sur del estado de Mato Grosso do Sul, al sureste de Brasil, y cubre un área de 9205.41 km² (Mato Grosso do Sul, 2000). El Río Dourados es el principal abastecedor de agua fresca para consumo humano en Mato Grosso do Sul, por lo que es necesario preservar la calidad de su agua y administrar sus recursos ambientales y naturales.

El primer paso para entender mejor los procesos que ocurren en la cuenca es estudiar las relaciones entre las propiedades hidrográficas y ambientales. El área de captación es la zona considerada a menudo como la unidad más básica de monitoreo, análisis y manejo (Brown y Harper, 1999). El estudio de la morfometría de la cuenca dentro de estos límites permitirá cuantificar, numérica y matemáticamente, aspectos del sistema fluvial con respecto a la geología, geomorfología e hidrología de la cuenca (Clarke, 1966; Martínez-Casasnovas y Stuiver, 1998; Oliveira y Ferreira, 2001).

La expansión de la representación digital ha estimulado el desarrollo de procedimientos automáticos para extraer información topográfica e hidrológica de Modelos Digitales de Elevación (MDE), usando el software SIG (Sistemas de Información Geográfica) y modelos hidrológicos que integran bases de datos múltiples en poco tiempo (Lin *et al.*, 2005). Estos métodos son objetivos, rápidos de ejecutar y permiten un análisis multi-criterio.

El objetivo de este estudio fue caracterizar el sistema de drenaje de la cuenca Dourados usando atributos cualitativos y cuantitativos, comparando datos topográficos sin procesar y sistemas de drenaje a partir de modelos digitales de elevación pre-procesados, y establecer las relaciones entre estos atributos geomorfológicos e hidrológicos y su importancia en lo que respecta a la geomorfología y geología actual de la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

La morfología del suelo y las propiedades del sistema de drenaje Dourados se analizaron usando atributos cualitativos y cuantitativos extraídos de datos topográficos y modelos digitales de elevación, con respecto al límite de cuenca. Los procesos para definir adecuadamente el límite de la cuenca y la generación automática

drainage characteristics are interpreted in relation to gathered geological and geomorphological data.

Dourados hydrographic basin

The Dourados hydrographic basin is located south of the Mato Grosso do Sul state ($21^{\circ} 56' S - 53^{\circ} 59' W$) and annual rainfall varies between 1300 to 1750 mm (Arai *et al.*, 2010). This basin covers 11 municipal districts, with 368 956 inhabitants (IBGE, 2010), and concentrate activities of intensive farming and agricultural development due to fertile soils, gentle slope and appropriate climate. Rio Dourados, the main river of the basin, flows from the Serra de Maracaju near the town of Antonio João (Figure 1) and evolves 370 km from west to east until joining Rio Brillhante.

The Dourados catchment area belongs to the vast Paraná sedimentary basin, filled with 7000 m of sedimentary and igneous rocks, and located at the southern boundary of the Amazonian platform. The surface geology of the basin itself is homogeneous and limited to the São Bento group, including formation Serra Geral (JKsg), and the Bauru group with formations Ponta Porã (Qpp) and Caiuá (Kc). The geological description of the formations in the basin of Dourados (Almeida, 1946; RADAMBRASIL, 1982; Courtillot and Renne, 2003) can be summarized as follow: the Serra Geral formation is made up of massive, dark grey, basaltic lava flows with layers of sandstone in the lower unit, usually 1 to 2 m thick, and they are related to

del sistema de drenaje han sido descritos por Alcaraz *et al.* (2009). Una vez determinadas, las características de drenaje se interpretan a partir de los datos geológicos y geomorfológicos reunidos.

Cuenca hidrográfica de Dourados

La cuenca hidrográfica de Dourados se localiza al sur del estado de Mato Grosso do Sul ($21^{\circ} 56' S - 53^{\circ} 59' O$) y la precipitación anual varía de 1300 a 1750 mm (Arai *et al.*, 2010). Esta cuenca cubre 11 distritos municipales, con 368 956 habitantes (IBGE, 2010), y concentra actividades intensivas de agricultura y desarrollo agrícola debido a sus suelos fértiles, sus laderas poco pronunciadas y un adecuado clima. El Río Dourados, el río principal de la cuenca, fluye desde la Serra de Maracaju cercana al pueblo de Antonio João (Figura 1) y fluye 370 km de oeste al este hasta confluir con el Río Brillhante.

La zona de captación de Dourados pertenece a la vasta cuenca sedimentaria del Paraná, rellena por 7000 m de rocas sedimentarias e ígneas, y localizada en la frontera sur de la plataforma amazónica. La geología de la superficie de la cuenca en sí es homogénea y se limita al grupo de São Bento, incluyendo a la formación rocosa Serra Geral (JKsg), y al grupo Bauru con las formaciones Ponta Porã (Qpp) y Caiuá (Kc). La descripción geológica de las formaciones en la cuenca de Dourados (Almeida, 1946; RADAMBRASIL, 1982; Courtillot y Renne, 2003) puede resumirse así: la formación Serra Geral está constituida por corrientes masivas de lava, de color gris oscuro, basálticas,

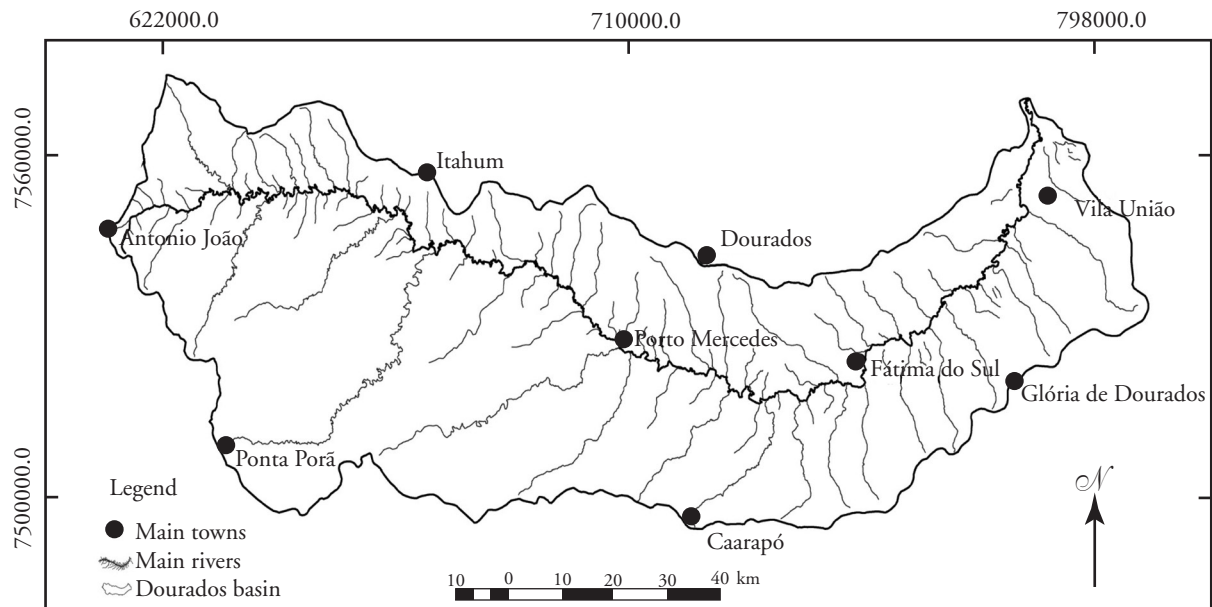


Figure 1. Geography of the Dourados basin.
Figura 1. Geografía de la cuenca Dourados.

numerous sills and dykes of diabases; basalts in outcrops often show spheroid weathering; the Bauru group is represented by medium to fine sandstone intercalated with rounded gravels and conglomerates; pebbles are of volcanic and metamorphic origin in the lower layers, while the sedimentary influence is stronger in the upper units; the formation is strongly weathered and rich in clay.

The geomorphology of the area is characterised by the Maracaju - Campo Grande plateaux, lined up along the basaltic escarpment of Serra de Maracaju. The Dourados plateau itself is sculpted in the Serra Geral basaltic rocks, locally covered by the Bauru sandstones, forming flat inter-fluvial relieves slightly inclined towards the south-east with elevation decreasing from 500 m to 300 m. Basalts shape tabular landform (t41, t51, Ep) associated to shallow valleys (RADAMBRASIL, 1982), where the basalts are covered by the Bauru sandstones, landforms are rounded (c22, c31, t31), and conglomerated form residual hills (c23) (RADAMBRASIL, 1982).

Methodology

The morphometric attributes of the Dourados hydrographic basin were firstly computed from the printed data layers; the Dourados basin was outlined from aerial photography interpretation; rivers, contours and spot height data were digitised from topographic maps. The same procedure was then applied to pre-processed digital terrain models and drainage network using GIS packages (Alcaraz *et al.*, 2009). Two DEM were used for this study: 1) a 50 m resolution DEM formed from the interpolation of digitised contour lines and spot height data (processed via Topogrid, ArcInfo); 2) a 90 m resolution SRTM DEM acquired by interferometry radar. Interpretation must take in account the grid scale which greatly influences the details of information extracted, as some hydrological and geomorphological attributes might be lost (Hancock, 2005).

The qualitative and quantitative attributes extracted for geomorphological classification and drainage analyses, comparing automatically generated drainage networks and raw data digitised from topographic maps, are summarised in Table 1 and 2.

Hypsometry is the measurement of land elevation relative to sea level. It provides a quantitative method for analyzing the geometric form of the catchment, describing the elevation as a function of the total basin area (Luo, 1998). The hypsometric integral gives a measure of the degree of dissection of a landscape (Evans, 1972) and the extent to which topography is opened up by erosion (Clarke, 1966). Two methods were used:

- 1) Estimation of the hypsometric integral from a simple calculation (Equation 1):

con capas de arenisca en la parte inferior, generalmente de 1 a 2 m de espesor, y se relacionan con múltiples láminas y diques de diabasa; los peñascos de basalto muestran frecuentemente meteorización esferoidal; el grupo Bauru está representado por areniscas medias a finas intercaladas con gravas redondeadas y conglomerados; los guijarros son de origen volcánico o metamórfico en las capas inferiores, mientras que la influencia sedimentaria es mayor en las unidades superiores; en la formación hay una fuerte meteorización y es rica en arcilla.

La geomorfología de la zona se caracteriza por el altiplano de Maracaju-Campo Grande, alineado con la meseta basáltica de la Serra de Maracaju. El altiplano Dourados está esculpido en sí mismo en las rocas basálticas del Serra Geral, cubierto localmente por las areniscas Bauru, formando relieves planos interfluviales ligeramente inclinados hacia el sureste con una elevación que desciende de 500 m a 300 m. Los basaltos componen relieves tabulares (t41, t51, Ep) asociados a valles poco profundos (RADAMBRASIL, 1982), donde los basaltos están cubiertos por areniscas de Bauru, los relieves son redondeados (c22, c31, t31), y los conglomerados forman colinas residuales (c23) (RADAMBRASIL, 1982).

Metodología

Los atributos morfométricos de la cuenca hidrográfica Dourados se calcularon primero usando las capas de datos impresas; la cuenca Dourados se delimitó mediante la interpretación de fotografías aéreas; los datos de ríos, contornos y puntos altimétricos se digitalizaron usando mapas topográficos. El mismo principio se aplicó entonces a modelos digitales del terreno pre-procesados y sistemas de drenaje, utilizando los paquetes SIG (Alcaraz *et al.*, 2009). Para este estudio se usaron dos MDT: 1) un MDT con una resolución de 50 m formado de la interpolación de las líneas de contorno (isolíneas) digitalizadas y de los puntos alimétricos (procesados via Topogrid, ArcInfo); 2) un MDT SRTM con una resolución de 90 m adquirida por interferometría radar. La interpretación debe considerar que la escala cartográfica influencia enormemente los detalles de la información extraída, ya que algunos atributos hidrológicos y geomorfológicos podrían perderse (Hancock, 2005).

Los atributos cualitativos y cuantitativos extraídos para la clasificación geomorfológica y el análisis de drenaje, comparando los sistemas de drenaje generados automáticamente y los datos crudos digitalizados de mapas topográficos, se muestran en los Cuadros 1 y 2.

La hipsometría mide la elevación del suelo respecto al nivel del mar. Es un método cuantitativo para analizar la forma geométrica de la zona de captación, describiendo la elevación como una función del área total de la cuenca (Luo, 1998). La integral hipsométrica proporciona una medida del grado de

Table 1. Basin geomorphologic attributes.**Cuadro 1. Atributos geomorfológicos de la cuenca.**

Attributes	Definition
Form of the basin (symbol, unit)	Circular, semi-circular, rectangular
Basin maximum length (L, km)	Distance along the main channel from the watershed outlet to the basin divide
Basin maximum width (W, km)	Maximum distance from one side of the watershed to the other
Length to the centre of area (Lca, km)	Distance along the main channel from the outlet to the point opposite the centre of area
Basin perimeter (P, km)	Outer edge measurement of the drainage area
Basin area (A, km ²)	Drainage catchment region
Form factor (Rf)	$Rf = A / L^2$
Circulatory ratio (Rc)	$Rc = A / A_0$ (A_0 : area of a circle having a perimeter equal to P)
Elongation ration (Re)	$Re = D_0 / L$ (D_0 : diameter of the circle of the same area as the basin)
Max. elevation (Hmax, m)	Maximum elevation within the basin
Min. elevation (Hmin, m)	Minimum elevation within the basin
Basin relief (Br, m)	Difference in elevation between the highest point and the outlet
Average slope (S, n/a)	Rate of change of elevation with respect to distance along the principal flow path
Hypsometry (Hsi, %)	Class of elevation interval
Relative relief (Rre)	$Rre = Br / P$
Relief ratio (Rh)	$Rh = Br/L$

Table 2. Drainage qualitative and dimensional attributes.**Cuadro 2. Atributos dimensionales y cualitativos del drenaje.**

Attributes	Definition
Drainage pattern	Dendritic, radial, rectangular, parallel, trellis
Channel pattern	Meandering, distributary, paleochannels, straight, braided, transitional
Intensity of stream integration	Stream connection between two points: no integration, small integration, good integration
Uniformity	Repetition of the channel pattern in a small area
Orientation	Major orientation of the streams
Control influence	Structural control influence
Angles	Variation intensity in the channel direction
Junction angle	Angle between streams at the junction: obtuse, acute, very acute
Stream max. length (Lc, km)	Main stream length
Partial length (L10-85, km)	Distance along main channel between two points located at 10 and 85 % of the distance from the outlet
Stream total length (l, km)	Total length of the streams within the drainage area
Stream order	Hierarchy ordering from Strahler (1957)
I, II, III	Quantitative properties of each order: number of stream, total and mean length of the channels
Sinuosity variation	Ratio of the channel length to the valley length: l / L
Bifurcation relation (Rb)	Number of stream of one order by number of stream of the order mayor: $Rb = Nu/Nu+1$ (Horton, 1945)
Length relation (Rl)	Average length of stream of one order by the average length of the stream of order minor (Horton, 1945)
Drainage density (Dd)	Sum of channel length per unit area: $Dd = \sum l/A$
Ruggedness number (Rr)	$Rr = Br \times Dd$
Stream frequency (F)	Number of stream per unit area: $F = \sum Ni/A$
Texture qualification (T)	Index to express the interval between streams: $T = N/P$ (N: number of streams with Strahler hierarchy)
Relative infiltration (I)	Relative infiltration in soils: $I = Dd \times F$
Meander wavelength	Spacing of two successive bends in a meandering river

$$H_{si} = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (1)$$

diseción de un paisaje (Evans, 1972) y la extensión a la que la topografía está abierta por la erosión (Clarke, 1966). Se usaron dos métodos:

- 2) Using the DEM to create classes of elevation, 10 groups in this case, and to extract their respective areas to generate a hypsometric curve and its integral.

The drainage was specifically studied according to its pattern type and its texture, also known as density of dissection (Way, 1973). While the first parameter is associated to the nature and structure of the substratum (Howard, 1967), the second is related to rock and soil permeability.

Stream ordering is directly proportional to the watershed dimensions, channel size and discharge (Strahler, 1957). The determination of the stream segments hierarchy was made manually. The bifurcation ratio and length relation refer to factors governing the structure of the various stream attributes in a similar predictable way, certainly linked to the watershed geomorphology. Diverse aspects of drainage network were also found to be quantifiable, such as the drainage density and the drainage frequency. Both attributes were averaged for the entire Dourados basin, but their variability within the basin was also analysed.

All these attributes were compared to the geological and geomorphological data assembled. Maps were created and combined using GIS spatial analyses capabilities to highlight key relationships between these attributes.

RESULTS AND DISCUSSION

The Dourados hydrographic basin has the form of a curved ellipse (250 km length and 72 km width), a dimensionless circulatory ratio of 0.36 and an elongation ratio of 0.43 (Table 3). The basin relief is 468 m between the highest point in the Serra de Maracaju and the outlet, inducing low relief ratio and low relative relief values. Average slope variation is 1.99 %, with the top of the plateau and plains being less than 1 %, valley walls varying from 2 to 5 %, and locally reaching up to 10 %. The same geomorphologic attributes extracted for the drainage networks generated by automatic methods commonly present a good correlation, with differences up to 5 % for the manual extraction (Garbrecht and Martz, 1993).

Elevation for two-thirds of the entire basin area varies between 340 and 525 m. The estimation of the hypsometry (Equation 1) gives a value of 48 %, whereas the derived integral built from the exact hypsometric curve, which gives a better estimation of the distribution of land mass above the outlet datum, is 61 % (Figure 2).

- 1) Estimación de la integral hipsométrica a partir de un cálculo simple (Ecuación 1):

$$H_{si} = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (1)$$

- 2) Usar el MDT para crear tipos de elevación, 10 grupos en este caso, y extraer sus respectivas zonas para generar una curva hipsométrica y su integral.

El drenaje se estudió específicamente de acuerdo con su tipo de patrón y su textura, también conocido como densidad de diseción (Way, 1973). Mientras el primer parámetro está asociado a la naturaleza y la estructura del substrato (Howard, 1967), el segundo está relacionado con la permeabilidad de las rocas y el suelo.

El orden de los cauces es directamente proporcional a las dimensiones del interfluvio, tamaño del canal y descarga (Strahler, 1957). El establecimiento de la jerarquía de los segmentos del cauce se hizo manualmente. El radio de bifurcación y la relación de longitud se refieren a factores que rigen la estructura de los diversos atributos de los cauces de una manera similar y predecible, ligada sin duda a la geomorfología del interfluvio. Se cuantificaron también diversos aspectos del sistema de drenaje, tales como la densidad de drenaje y la frecuencia de drenaje. Ambos atributos se promediaron para toda la cuenca Dourados, pero su variabilidad dentro de la cuenca también se analizó.

Todos estos atributos se compararon con los datos geológicos y geomorfológicos recopilados. Los mapas se crearon y combinaron utilizando las capacidades de análisis espacial de SIG para destacar las relaciones clave entre estos atributos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cuenca hidrográfica de Dourados tiene forma elíptica (250 km de longitud y 72 km de ancho), un radio de circularidad adimensional de 0.36 y un radio de elongación de 0.43 (Cuadro 3). El relieve de la cuenca está a 468 m entre el punto más elevado en la Serra de Maracaju y el cauce, induciendo a un radio de bajo relieve y valores de bajo relieve relativo. La variación promedio del talud es de 1.99 %, con la cima del altiplano y las llanuras de menos de 1 %, las paredes de los valles varían de 2 a 5 %, y alcanzan localmente hasta 10 %. Los mismos atributos geomorfológicos extraídos de los sistemas de drenaje generados mediante métodos automáticos presentan generalmente una buena correlación, con diferencias de hasta 5 % para la extracción manual (Garbrecht y Martz, 1993).

Table 3. Geomorphologic attributes comparison between the printed data and the processed ones (difference between processed and printed data indicated as a percentage).

Cuadro 3. Comparación de atributos geomorfológicos entre los datos impresos y los procesados (la diferencia entre datos impresos y procesados se indica como porcentaje).

Data	Printed data	SRTM (%)	TOPOGRID (%)
L	250 km	-6	-5
W	71.8 km	+1	+2
Lca	133 km	-6	-4
P	567.7 km	+60	+45
A	9236 km ²	+3	+3
Rf	0.15	+13	+13
Rc	0.36	-60	-51
Re	0.43	+9	+7
Hmax	732 m	+1	+1
Hmin	264 m	+4	+5
Br	468 m	-1	-2
S	N/A	+2	+2
His	48%	-21	-23
Rre	0.0008	-38	-25
Rh	0.002	-2	-5

These geomorphological attributes characterise an elongated basin, with very gentle slope, favouring run-off to be spread out. The hypsometric integral expresses the volume of the original basin still *in situ*; 61 % indicates that the basin morphology is still susceptible to erosion. This is typical of a basin developed on resistant lithography or soils with good water infiltration and low run-off. Vitorino *et al* (2003) report the importance of the mineralogy of

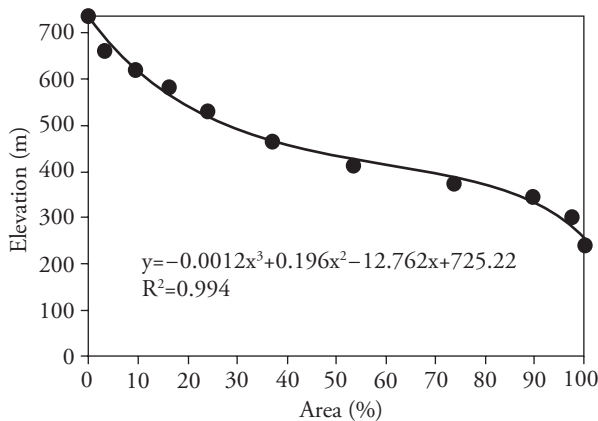


Figure 2. Hypsometric curve of the Dourados basin.
Figura 2. Curva hipsométrica de la cuenca Dourados.

La elevación de dos tercios de toda el área de la cuenca varía entre 340 y 525 m. El cálculo hipsométrico (Ecuación 1) da un valor de 48 %, en tanto que la derivada integral construida a partir de la curva hipsométrica exacta, que proporciona una mejor estimación sobre la distribución de la masa de tierra que se ubica encima de los datos del cauce, es 61 % (Figura 2).

Estos atributos geomorfológicos caracterizan una cuenca elongada, con un talud ligero, que favorecen la escorrentía. La integral hipsométrica expresa el volumen de la cuenca original incluso *in situ*; 61 % indica que la morfología de la cuenca es todavía susceptible a la erosión. Esto es típico de una cuenca desarrollada sobre una litografía resistente o sobre suelos con adecuada infiltración de agua y baja escorrentía. Vitorino *et al* (2003) reportan la importancia de la mineralogía de los Oxisoles en la génesis de su estructura, la cual define con frecuencia su alta permeabilidad (Ferreira *et al.*, 1999). Tal característica de estos suelos les confiere resistencia a la erosión y puede confirmarse mediante el estudio de Arai *et al.* (2010) donde se observan valores pequeños en la erodabilidad de los suelos en la cuenca.

Las propiedades cualitativas del drenaje pueden resumirse así: 1) la cuenca hidrográfica Dourados presenta un patrón de drenaje dendrítico y canales meandriformes; 2) la integración de la corriente es generalmente buena, especialmente la corriente ascendente, así como la uniformidad de los sets de datos de los MDT SRTM impresos; 3) no hay orientación general de las corrientes, pero las tendencias de carácter local NO-SE y NE-SO son evidentes; 4) coinciden con una influencia de control a escala regional.

Si se observa todo el MDT SRTM, que cubre el sur de Mato Grosso do Sul, se hace evidente que ambas orientaciones muestran la estructura de la cuenca sedimentaria occidental del Paraná. Sin embargo, a una escala local las direcciones de los canales son variables y los cruces de las corrientes son principalmente estrechos. Los atributos cuantitativos de los tres conjuntos de datos se muestran en el Cuadro 4.

El conjunto de datos de referencia y los generados automáticamente presentan claras disimilitudes debido a los problemas enfrentados al generar el patrón del canal en el área llana (Alcaraz *et al.*, 2009). Al centrarse en el conjunto de datos impresos, la longitud máxima de la corriente es 437 km para una longitud de valle de sólo 250 km. La descripción cualita-

Oxisols in the genesis of its structure, which often defines their high permeability (Ferreira *et al.*, 1999). Such characteristic of these soils confers resistance to erosion and can be confirmed by the study from Arai *et al.* (2010) where we observe small values for the erodibility of the soils in the basin.

The drainage qualitative properties can be summarised as follow: 1) the Dourados hydrographic basin presents a dendritic drainage pattern and meandering channels; 2) the stream integration is generally good, especially up-stream, as well as the uniformity for the printed and SRTM data sets; 3) there is no general orientation of the streams, but local NW-SE and NE-SW trends are noticeable; 4) they coincide with a regional scale control influence.

Looking at the entire SRTM DEM, that covers the south of Mato Grosso do Sul, it becomes apparent that both orientations point out the structure of the western Paraná sedimentary basin. However, at a local scale the channel directions are variable and streams junction are mainly acute. Quantitative attributes for the three data sets are presented in Table 4.

The reference data set and the automatically generated ones present clear dissimilarities due to the issues encountered in generating the channel pattern in flat area (Alcaraz *et al.*, 2009). Concentrating on the printed data set, the maximum stream length is 437 km for a valley length of only 250 km. The qualitative description are corroborated by the quantitative and systematic attributes such as: the texture is coarse, the drainage density evolves from 0 to 1305 m km⁻² (Figure 3), with a low average of 360 m km⁻², and the frequency varies from 0 to 0.987 (Figure 4) with a small average of 0.07. The sinuosity variation is high and the meanders wavelength down to only 250 m for streams of order 4 and 5. It does indeed characterize a permeable and well-vegetated landscape, with few streams and low run-off in area of smallest slope gradient, favouring the development of ponds, swamps and meanders. A coarse texture value is also an indication of a bedrock resistant to the erosion, which is confirmed by the distribution of soils relatively resistant to the process of erosion in this area (Hernani *et al.*, 1999; Panachuki *et al.*, 2006).

Data derived from automatic processes tend to overestimate the number of streams (Table 4); however, the relationships between stream orders

tiva está corroborada por los atributos cuantitativos y sistemáticos, como: la textura es áspera, la densidad de drenaje evoluciona de 0 a 1305 m km⁻² (Figura 3), con un bajo promedio de 360 m km⁻², y la frecuencia varía de 0 a 0.987 (Figura 4) con un pequeño promedio de 0.07. La variación en la sinuosidad es elevada y la longitud de la ola de los meandros de sólo 250 m para las corrientes de orden 4 y 5. Caracteriza, sin duda, un paisaje permeable y con mucha vegetación, con pocas corrientes y baja escorrentía en las zonas de menor gradiente, favoreciendo el desarrollo de lagunas, ciénegas y meandros. Un valor de textura áspera es también una indicación de un lecho rocoso resistente a la erosión, la cual está confirmada por la distribución de suelos relativamente resistentes al proceso de erosión en esta zona (Hernani *et al.*, 1999; Panachuki *et al.*, 2006).

Los datos derivados de procesos automáticos tienden a sobrestimar el número de corrientes (Cuadro 4); sin embargo, las relaciones entre la magnitud de orden de las corrientes y las propiedades de los canales son fuertes (Figura 5), y los radios de bifurcación y de longitud son consistentes. Los radios de bifurcación de 4 a 5 son típicos de un drenaje desarrollado en una geología homogénea sin una influencia de control estructural fuerte (Strahler, 1964), confirmando la orientación y el control estructural a escala local.

La densidad del drenaje y la frecuencia de la corriente son superficies continuas interpoladas sobre toda la cuenca de Dourados (Figuras 3 y 4). Los análisis espaciales usando las capacidades de SIG permiten la investigación de la influencia de la geomorfología y la geología sobre la densidad y la frecuencia del drenaje. La frecuencia de la corriente asociada a la formación de Bauru (Qc, Qpp) es promedio menor a 0.2 (Figura 6). Los valores más bajos en relación con la geomorfología son 0.22 y 0.3, unidades c22 y c31, que están típicamente asociados con la formación de Bauru. Representan paisajes diseccionados de relieves convexos debido a los conglomerados basales de arenisca de Bauru que puede formar relieves residuales y favorece una mayor profundidad de disección. La densidad de drenaje es relativamente alta para un relieve tabular (t31) que domina en la parte occidental de la cuenca, donde la densidad promedio de la corriente alcanza 417 m km⁻².

La formación Serra Geral (JKsg) tiene en promedio una frecuencia de valor mayor a 0.2 y una densidad por encima de 2250 m km⁻². Las unidades

Table 4. Hydrologic attributes comparison between the printed data and the processed ones (difference between processed and printed data indicated as a percentage).**Cuadro 4. Comparación de atributos hidrológicos entre los datos impresos y los procesados (la diferencia entre los datos impresos y los procesados se muestra como porcentaje).**

	Printed data			SRTM			TOPOGRID		
	Stream maximum length								
Dourados river	402 km			333 km (-17 %)			347 km (-14 %)		
L10-85	328 km			250 km (-24 %)			260 km (-21 %)		
Total	3632 km			3360.6 km (-7 %)			3565 km (-2 %)		
	Quantity (Qty) and length in stream order								
	Qty	Cummulative length (km)	Mean length (km)	Qty (%)	Cummulative length (%)	Mean length (%)	Qty (%)	Cummulative length (%)	Mean length (%)
I	521	1864	3.58	10	-12	-20	44	-7	-36
II	119	763	6.41	-3	12	15	37	2	-13
III	24	429	17.89	13	22	8	61	6	-36
IV	4	232	58.12	-50	-50	0	50	-31	-54
V	1	343	343	0	-34	-34	0	-9	-9
	Sinuosity variation								
	14.53			14.29 (-1.64 %)			14.98 (-3.1%)		
	Bifurcation ratio								
	I/II = 4.38; II/III = 4.96; III/IV = 6; IV/V = 4			I/II = 4.92; II/III = 4.29; III/IV = 13.5; IV/V = 2			I/II = 4.59; II/III = 4.075; III/IV = 6.66; IV/V = 6		
	Length relation								
	II/I = 1.79; III/II = 2.79; IV/III = 3.25; V/IV = 5.90			II/I = 2.57; III/II = 2.62; IV/III = 2.99; V/IV = 3.94			II/I = 2.43; III/II = 2.036; IV/III = 2.35; V/IV = 11.64		
	Drainage density								
	390 m km ²			-8 %			-5 %		
	Ruggedness number								
	0.182			-9 %			-7 %		
	Manutention coefficient								
	2564			8 %			5 %		
	Stream frequency								
	0.07			9 %			43 %		
	Texture qualification								
	1.18			-33 %			-1 %		
	Relative infiltration								
	0.027			0 %			37 %		
	Meander wavelength								
	250 to 300 m			500 to 800 m			main		

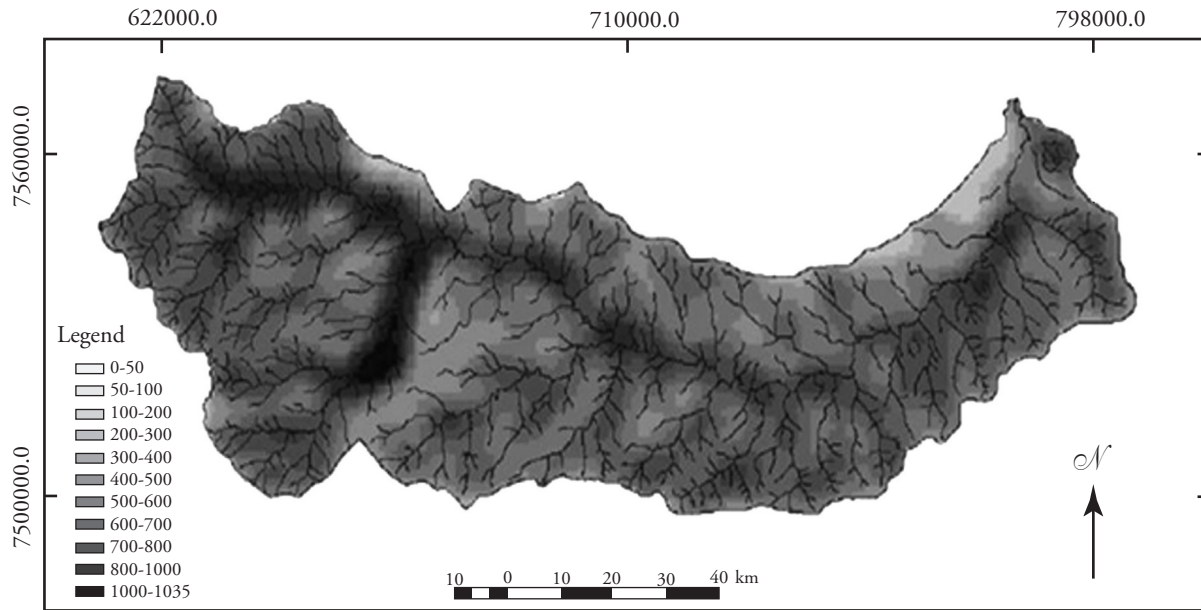


Figure 3. Drainage density map of the Dourados basin (search radius of 6 km).
Figura 3. Mapa de densidad del drenaje de la cuenca Dourados (radio de búsqueda de 6 km).

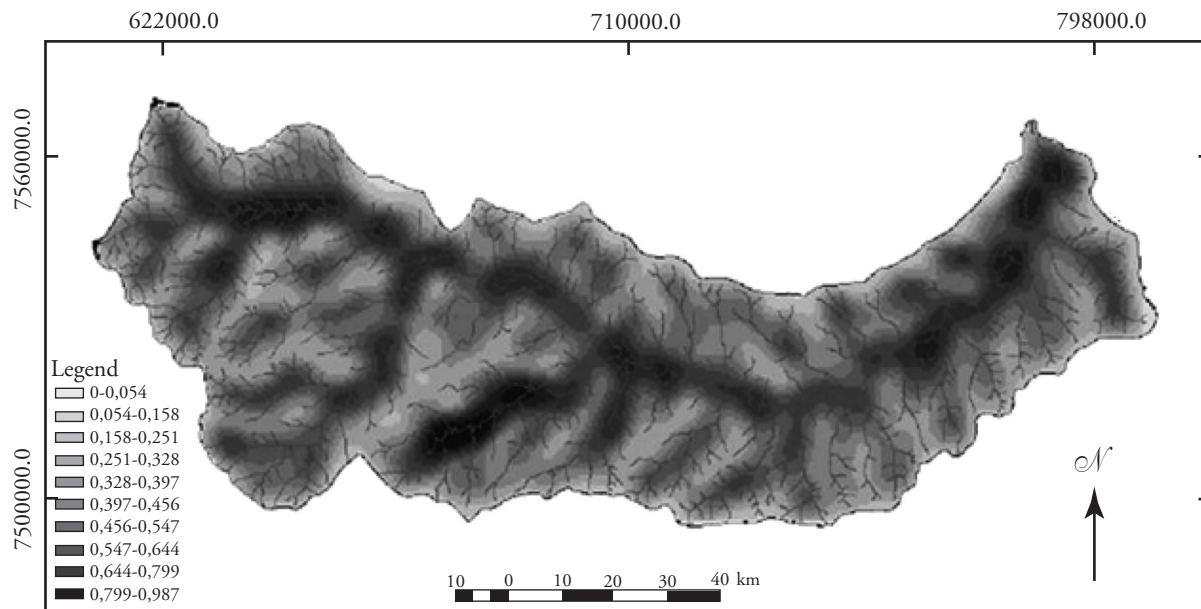


Figure 4. Drainage frequency map of the Dourados basin (search radius of 6 km).
Figura 4. Mapa de frecuencia del drenaje de la cuenca Dourados (radio de búsqueda de 6 km).

and channels properties are strong (Figure 5), and the bifurcation and length ratios are consistent. Bifurcation ratios of 4 to 5 are typical of a drainage developed on homogeneous geology without a strong structural control influence (Strahler, 1964),

geomorfológicas asociadas a la formación (t41 y t 51) la confirman con valores de frecuencia de 0.38 y 0.36. Estas sub-unidades caracterizan relieves poco pronunciados, tabulares y poco disecionados formados con respecto a flujos basálticos resistentes. La

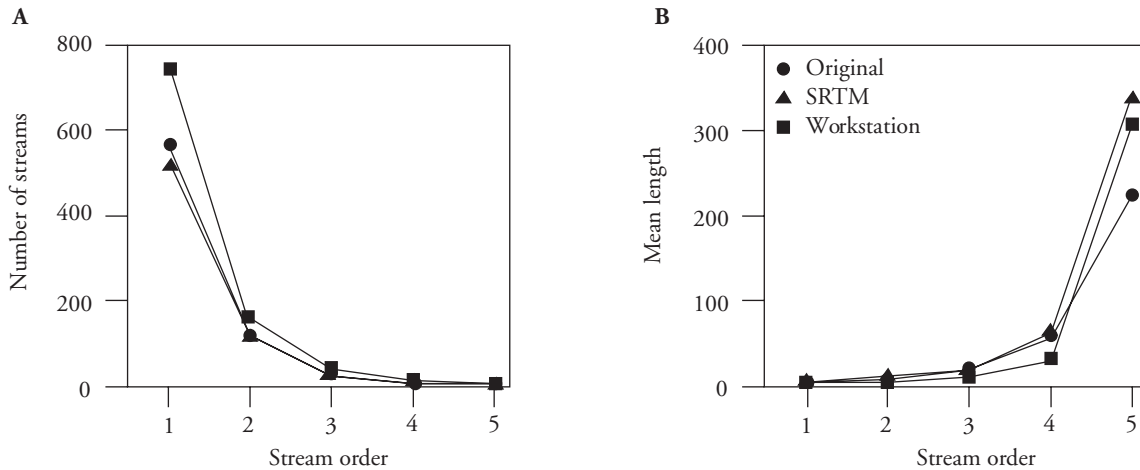


Figure 5. Relationships between stream order and: (A) number of streams, (B) stream mean length; (printed data, SRTM and TOPOGRID processed data).

Figura 5. Relación entre orden de las corrientes: (A) número de las corrientes, (B) longitud promedio de las corrientes; (datos impresos, datos procesados TOPOGRID y SRTM).

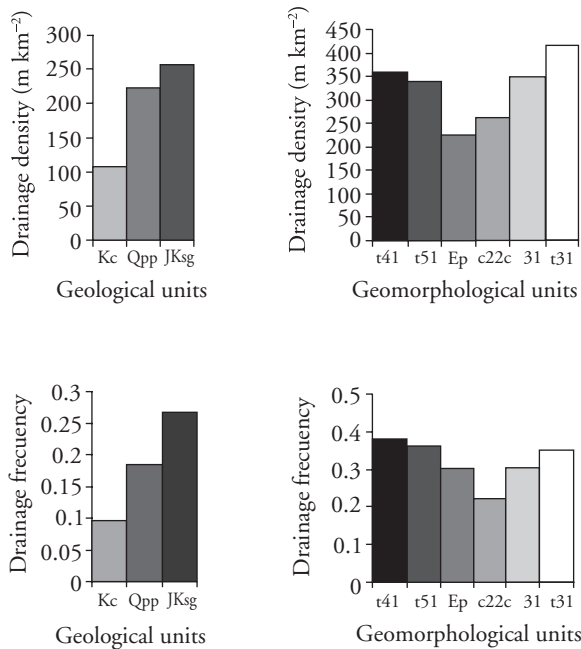


Figure 6. Statistical relations between drainage density and stream frequency versus geology and geomorphology.

Figura 6. Relaciones estadísticas entre densidad del drenaje y frecuencia de la corriente, versus geología y geomorfología.

confirming the orientation and structural control observations at local scale.

Drainage density and stream frequency are continuous surfaces interpolated over the entire

densidad en estas zonas es de aproximadamente 340 m. Es menor que para el relieve t31 previamente descrito y concuerda, por lo tanto, con la clasificación de RADAMABRASIL (1982) que calculó intervalos de drenaje de 750 a 1750 m para t31, y de sólo 1750 a 12750 m para t41 y t 51.

También se observa que globalmente la frecuencia de drenaje es mayor en suelos formados por la descomposición del basalto de la formación Serra Geral, que aquellas características del suelo de la formación Bauru. La densidad de drenaje en relación con los suelos es heterogénea y no muestra ninguna relación evidente. Se podría requerir una menor escala de trabajo dado que el sistema de drenaje no es lo suficientemente exacto en cuanto a la precisión de la distribución del suelo.

CONCLUSIONES

Los atributos geomorfológicos e hidrológicos fueron suficientes para confirmar que en la zona de la cuenca Dourados el sistema de drenaje depende estrechamente de la pendiente, la naturaleza de la cama rocosa y de su control estructural regional y local.

Los suelos desarrollados sobre los basaltos de la formación Serra Geral forman relieves tubulares asociados a sistemas dendríticos de baja densidad de drenaje y baja densidad de disección. Donde el basalto está cubierto por arenisca y conglomerado basal de la formación Bauru, la frecuencia de drenaje es

Dourados basin (Figures 3 and 4). Spatial analyses using GIS capabilities allow investigation of the influence of geomorphology and geology on the drainage density and frequency. The stream frequency associated to the Bauru formation (Qc, Qpp) is on average lower than 0.2 (Figure 6). The lowest values in relation with geomorphology are 0.22 and 0.3, units c22 and c31, which are typically associated with the Bauru formation. They represent dissected landscape of convex relieves due to the basal residuals conglomerates of Bauru sandstone that can formed residuals mounts and favours higher dissection depth. The drainage density is relatively high for the tabular relief (t31) that dominates in the western part of the basin, where the average stream density reach 417 m km^{-2} .

The Serra Geral (JKsg) formation in average has frequency value higher than 0.2 and density above 2250 m km^{-2} . The geomorphological units associated with the formation (t41 and t51) confirm it with frequency values of 0.38 and 0.36. These sub-units characterize gentle, tabular and poorly dissect relieves formed in relation to the resistant basalt flood. The density on these areas is about 340 m. It is smaller than for the t31 relieve previously described and is then in accord with the classification of RADAMBRASIL (1982) that estimated drainage intervals of 750 to 1750 m for t31, and only 1750 to 12750 m for t41 and t51.

It is also consistent to notice that globally the drainage frequency is higher in soils formed by the decomposition of the basalt of the Serra Geral formation, that those soil characteristics of the Bauru formation. The drainage density in relation with the soils is heterogeneous and does not show any evident relationship. A smaller scale of work would be necessary as the drainage network is not enough precise in relation with the accuracy of the soil distribution.

CONCLUSIONS

The geomorphologic and hydrologic attributes were sufficient to confirm that in Dourados basin area the drainage system is strictly dependent on the slope, the nature of the bedrock and its regional and local structural control.

The soils developed over the basalts of the Serra Geral formation shape tabular relieve associated to

menor pero la variación del relieve y la pendiente son localmente más elevadas, debido a materiales menos sólidos, a una tasa de disección más elevada y a una dependencia de valles en forma de V.

Sin embargo, el drenaje no está influenciado por un control tectónico fuerte; los lineamientos regionales sobre las direcciones NO-SE y NE-SO trazan restricciones estructurales en la parte occidental de la cuenca sedimentaria del Paraná relacionada con la epirogenia Andina.

La distribución de los suelos está también directamente ligada a la geología, toda vez que éstos resultan de la descomposición de la estructura rocosa subyacente, pero sería necesario un trabajo a menor escala con el fin de destacar su influencia sobre el sistema de drenaje.

—Fin de la versión en español—

---*---

a dendritic network of low drainage density and low density of dissection. Where basalt is covered by sandstone and residual basal conglomerate of the Bauru formation, the drainage frequency is lower but the relief variation and slope are locally higher, due to weaker materials, increased dissection rate and a deepening of V-shaped valleys.

Nevertheless, drainage is not influenced by a strong tectonic control; regional lineaments on NW-SE and NE-SW directions trace the structural constraints on the western part of the sedimentary Paraná basin related to the Andine epirogeny.

The soils distribution is also directly linked to the geology, as they result of the decomposition of the underlying bedrock, but a smaller scale of work would be necessary to highlight their influence on the drainage network.

LITERATURE CITED

- Alcaraz, S. A., C. Sannier, A. C. T. Vitorino, and O. Daniel. 2009. Comparison of methodologies for automatic generation of limits and drainage networks for hydrographic basins. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 13(4): 369-375.
- Almeida, F. F. 1946. Depósitos mesozóicos do planalto de Maracaju, Estado de Mato Grosso. *In: Congresso Panamericano de Engenharia de Minas e Geologia.* Petrópolis. pp: 211-245.

- Arai, F. K., G.G.G. Gonçalves, S.B. Pereira, E. Comunello, A.C.T. Vitorino, e O. Daniel. 2010. Espacialização da precipitação e erosividade na bacia hidrográfica do Rio Dourados – MS. *Engenharia Agríc.* 30(5):922-931.
- Brown, A. G., and D. Harper. 1999. Sustainability in the context of tropical catchments. *In: Harper, D., and A. G. Brown (eds). The Sustainable Management of Tropical Catchments.* Wiley: Chichester. pp: 3-18.
- Clarke, J. I. 1966. Morphometry from maps. *In: Dury, G. H. (ed). Essays in Geomorphology.* Heinemann, London. pp: 235-274.
- Courtilot, V., and P. R. Renne. 2003. On the ages of flood basalt events. *C. R. Geosci.* 335: 113-140.
- Evans, I. S. 1972. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. *In: Chorley, R. J. (ed). Spatial Analysis in Geomorphology.* British Geomorphological Research Group, New York. pp: 17-90.
- Ferreira, M.M., B. Fernandes, e N. Curi. 1999. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região Sudeste do Brasil. *Ver. Bras. Ciência do Solo* 23(3): 515-524.
- Garbrecht, J., and L. Martz. 1993. Network and subwatershed parameters extracted from digital elevation models - the Bills Creek experience. *Water Resour. Bull.* 29: 909-916.
- Hancock, G. R. 2005. The use of digital elevation models in the identification and characterization of catchment over different grid scales. *Hydrol. Processes* 19: 1727-1749.
- Hernani, L. C., C. H. Kurihara, e W. M. Silva. 1999. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 23(1): 145-154.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 56: 275-310.
- Howard, A. D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *A.A.P.G. Bull.* 51(11): 2246-2259.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Banco de dados agregados. sidra.ibge.gov.br. (Consultado: maio, 2010).
- Lin, W.-T., W.-C. Chou, C.-Y. Lin, P.-H. Huang, and J.-S. Tsai. 2005. Automated suitable drainage network extraction from digital elevation models in Taiwan's upstream watersheds. *Hydrol. Processes* 20(2): 289-306.
- Luo, W. 1998. Hypsometric analysis with a geographic information system. *Comput. Geosci.* 24: 815-821.
- Martínez-Casasnovas, J. A. and H. J. Stuver. 1998. Automatic delineation of drainage networks and elementary catchments from Digital Elevation Models. *Int. J. Aerospace Survey Earth Sci. (ITC J.)* 3(4): 198-208.
- Mato Grosso do Sul. 2000. Bacia Hidrográfica do Rio Dourados: Diagnóstico e implantação da rede básica de monitoramento da qualidade das águas. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, FEMAP/MS, Coordenadoria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Campo Grande, Brasil. 78 p.
- Oliveira, A. e E. Ferreira. 2001. Caracterização de sub-bacias hidrográficas. UFLA-FAEPE. Lavras, Brasil. 64 p. (Textos acadêmicos).
- Panachuki, E., A. C. T. Vitorino, T. Alves Sobrinho, D. F. Carvalho, e M. A. Urchei. 2006. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 10: 261-268.
- RADAMBRASIL. 1982. Mapa Geológico, SF. 21 Campo Grande. Ministério das Minas e Energia. Brasília, Brasil.
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *E.O.S. T. Am. Geophys. Un.* 8(6): 913-920.
- Strahler, A. 1964. Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. *In: Chow (ed). Handbook of Applied Hydrology.* NewYork: McGraw-Hill.
- Vitorino, A.C.T., M.M. Ferreira, N. Curi, J.M. de Lima, M.L.N. Silva, e P.E. F. Motta. 2003. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região do sudeste do Brasil. *Pesquisa Agrop. Bras.* 38:133-141.
- Way, D. S. 1973. *Terrain Analysis: A Guide to Site Selection using Aerial Photographic Interpretation.* Dowden, Hutchinson & Ross Inc. Stroudsburg, PA. 392 p.