

Potencial de generación de servicios ambientales en bosques ribereños de la microcuenca del río Araquá, São Paulo, Brasil

Valdemir Antonio Rodrigues

*Profesor de la Facultad de Ciencias Agronómicas, UNESP, Botucatu, San Paulo, Brasil
valdemirrodriques@fca.unesp.br*

Francisco Jiménez Otárola

CATIE. fjimenez@catie.ac.cr

Aretha Medina dos Santos Oliveira

Fernanda Diniz Silva

Estudiantes de 5o año de Ingeniería Forestal, UNESP, Botucatu, San Paulo, Brasil

La microcuenca se encuentra relativamente estable desde el punto de vista de la conservación ambiental y de potencial de producción de servicios ambientales.

Los resultados de la morfometría son indicativos de un suelo permeable con alta relación infiltración/caudal total, lo que indica una baja susceptibilidad a la degradación ambiental.

Las condiciones de la red de drenaje y la extensión de las áreas de preservación permanente favorecen la generación de servicios ambientales a lo largo del tiempo y del espacio, en beneficio de la sociedad y del ambiente.



Fotos: Valdemir Antonio Rodrigues.

Resumen

Se determinaron los principales parámetros que conforman la morfometría de la microcuenca del río Araquá, en São Paulo, Brasil y se analizó su relación con el comportamiento hídrico, los bosques ribereños, las características de la vegetación arbórea y el potencial para producir servicios ambientales. Los resultados de la morfometría son indicativos de un suelo permeable con alta relación infiltración/caudal total, lo que indica una baja susceptibilidad a la degradación ambiental. La microcuenca tiene una área 31,7 km², una red de drenaje de 42,5 km de longitud y 304,5 ha de área de preservación permanente, todo lo cual favorece la generación de servicios ambientales. Los bosques ribereños ocupan el 9,6% del área de la microcuenca y albergan el 60% de las 35 especies arbóreas identificadas. En términos de sucesión ecológica, de las 35 especies identificadas, 60% son secundarias, 25,7% pioneras y 14,3% en fase final de sucesión ecológica (clímax). La microcuenca se encuentra relativamente estable desde el punto de vista de la conservación ambiental y producción potencial de servicios ambientales; presenta importantes características fisiográficas naturales, alto excedente hídrico con seis cascadas y relieve con exposición de rocas y bosques preservados con diversidad de especies y bellezas escénicas propicias para el ecoturismo.

Palabras claves: Bosques de ribera; cuencas hidrográficas; microcuencas; servicios ambientales; ecoturismo; Brasil.

Summary

Potential for environmental services generation in Araquá River watershed, São Paulo, Brazil. Morpho-parameters for the Araquá River microwatershed were determined, and analyzed their relationship to water production, riparian forests conservation, trees population and potential for environmental services production. Measurements indicate that soils are permeable, with a high infiltration/total flow relation, which denotes a high capacity for environment conservation. The microwatershed area is 31,7 km², with a 42,5 km-long draining system and a 304,5 ha permanent preserving area. These conditions favor the environmental services generation. Riparian forests cover 9,6% of the microwatershed, and house 60% of the 35 tree species identified. According to ecologic succession, 60% of identified tree species are secondary, 25,7% are pioneer, and 14,3% are climax species. The microwatershed is in relatively good condition for environmental conservation and generation of services; it also has physiographic characteristics, a good level of water production (6 waterfalls), exposed rocks, well preserved forests with a variety of flora species, and scenic beauty for ecotourism facilities.

Keywords: Riparian forests; watersheds; microwatersheds; environmental services; ecotourism; Brazil.

Introducción

Los bosques ribereños que ocurren en los márgenes de la red de drenaje de las microcuencas ejercen importantes funciones hidrológicas y ecológicas; entre ellas, protección de los cauces, protección y retención de los suelos, producción de agua y mantenimiento de su calidad, protección de la biodiversidad, refugio y alimentación a la fauna, regulación los cursos de agua. Debido a lo importante de estas funciones, el Código Forestal Brasileño

califica a estos bosques como áreas de preservación permanente.

La drástica reducción y fragmentación de los bosques ribereños en los últimos años en Brasil ha causado aumentos significativos en los procesos de erosión del suelo, lo cual perjudica la hidrología regional, reduce la biodiversidad y degrada extensas áreas (Barbosa 1999). Según Lima (1999), la salud de la microcuenca depende de la perpetuación de su funcionamiento hidrológico, de su potencial pro-

ductivo a lo largo del tiempo y de la biodiversidad en todo el paisaje (bosques ribereños, reservas de vegetación natural, etc.). En consecuencia, en la búsqueda de la sostenibilidad de los recursos naturales, la planificación, el manejo y la gestión de cuencas han incorporado el uso de enfoques sistémicos y socioambientales para desarrollar procesos de largo plazo. En estos enfoques, el agua es el recurso estratégico e integrador del manejo de la cuenca (Jiménez 2004).



La microcuenca del río Araguá presenta importantes características propicias para la generación de servicios ambientales

Foto: Valdemir Antonio Rodrigues.

La morfometría de una microcuenca es una importante herramienta de diagnóstico de las condiciones fisiográficas naturales y de la susceptibilidad a la degradación ambiental. Los parámetros de análisis, tales como factor de forma, densidad de drenaje y declive del terreno ayudan en el planeamiento, manejo e implementación de acciones para la conservación de los recursos naturales. La microcuenca del río Araguá -municipio de Botucatu, São Paulo, Brasil (22°47'23" - 22°53'48" Sur y 48°29'00" - 48°32'45" Oeste; 900 msnm)- presenta importantes características fisiográficas naturales para usos múltiples como ecoturismo y educación ambiental, además de prestar diferentes servicios ambientales. Este estudio tuvo como objetivos calcular los parámetros morfométricos y hacer inferencias de las condiciones de conservación de la microcuenca, identificar las especies arbóreas y los estadios de sucesión ecológica, cuantificar el área de preservación permanente y analizar el potencial para la generación de servicios ambientales en la microcuenca.

Para la **determinación de la morfometría** se delimitó la microcuenca siguiendo la divisoria topográfica según la base cartográfica IBGE, escala 1:50.000. El área y el perímetro se calcularon con el programa ATOCAD r-14. El factor de forma se determinó como la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la microcuenca, según la ecuación propuesta por Horton (1945). A partir de la identificación y cuantificación de todos los canales de drenaje, se determinó el orden de la microcuenca y su clasificación según la red de drenaje (Strahler 1957). La densidad de drenajes (Dd) se calculó como la relación entre la longitud total de los canales de drenaje (Cr) y el área de la microcuenca: $Dd = Cr/A$ (km/km^2) (Horton 1945). Según França (1968), la densidad de drenajes puede ser baja (<1,5), media (1,5 a 2,5) o alta (>2,5).

La relación de textura (T) se calculó según la propuesta de Smith (1950), con la modificación propuesta por França (1968). Esta relación corresponde a la razón entre el número total de ríos de la cuenca (Nw1) y su respectivo perímetro (P):

$T = Nw1/P$, y se expresa en número de ríos por kilómetro. Las clases de textura topográfica se clasifican en grosera (<2,5), media (2,5 - 6,2) y fina (>6,2). La amplitud altitudinal se calculó como la diferencia altimétrica entre la cota mayor en la cabecera y la cota menor en la salida de la microcuenca. La frecuencia de ríos (Fr) se calculó con la fórmula $Fr = (Nw1)/A$, donde Nw1 es el número total de ríos de primer orden y A es el área de la microcuenca en km^2 .

La razón de bifurcación (Rb) se calculó como la media aritmética de la relación entre el número de segmentos de ríos de un orden dado, con respecto al orden más alto. Para este parámetro se utilizó la fórmula de Horton (1945): $Rb = [(Nw1/Nw2) + (Nw2/Nw3) + (Nw3/Nw4)] / 3$, donde Nw 1= es el número de canales de drenaje de primer orden, Nw 2= el número de canales de drenaje de segundo orden, Nw 3= el número de canales de tercer orden y Nw4= número de canales de cuarto orden.

El declive medio (D%) de la microcuenca fue calculado con base en la fórmula de Wisler y Brater 1964, citada por Lima (1986): $D = (\sum Cn \times \Delta H) / A$, donde $\sum Cn$ es la sumatoria de longitud de las cotas (km), ΔH es la equidistancia entre dos cotas (km) y A es el área de la microcuenca. A partir del cálculo de la clase de declive, se determinó el tipo de relieve de la microcuenca: plano (0-3%), ondulado suave (3-8%), ondulado (8-20%), ondulado fuerte (20-45%), montañoso (45-75%) o escarpado (>75) (EMBRAPA 1999).

La vegetación de la microcuenca corresponde a bosque estacional semideciduo y bosque ribereño. Para la **identificación de las especies arbóreas** se marcaron individuos cada 20 m a lo largo de un transecto de 800 metros de longitud, desde la parte alta hasta la red de drenaje. Las especies arbóreas del bosque ribereño fueron identificadas con su nombre vernácu-

lo en tres parcelas continuas de 10 x 30 m hasta el cauce del río; para ello se contó con la ayuda de un leñador de la zona. Los nombres científicos, familias y sucesión ecológica se obtuvieron mediante claves de identificación, literatura especializada y comparación con material de herbarios.

La vegetación ribereña que ocurre a lo largo de cualquier curso de agua o nacientes se considera como **áreas de preservación permanente (APP)** según la legislación brasileña. Las dimensiones totales de las APP en la franja ribereña (Fr) varían con la longitud de los riachuelos, ríos, canales o red de drenaje de la microcuenca y se fijan conforme al ancho de los ríos, según lo establece el Código Forestal Brasileño, Ley 4.771/65, modificada por las Leyes 7.803/89 y 7.875/89:

- Fr = 30 m a cada lado, para ríos de menos de 10 m de ancho
- Fr = 50 m a cada lado, para ríos entre 10 y 50 m de ancho
- Fr = 100 m a cada lado, para ríos entre 50 y 200 m de ancho
- Fr = 200 m a cada lado, para ríos entre 200 y 600 m de ancho
- Fr = 500 m de cada lado, para ríos con más de 600 m de ancho
- Radio de 50 m de ancho en las nacientes perennes o intermitentes

Para todos los canales de drenaje de la microcuenca de primer orden, las cabeceras de las nacientes en un radio de 50 m fueron consideradas como APP, lo mismo que los 30 m de bosque ribereño en la margen a cada lado del río.

La vegetación de bosque estacional semidecídulo y bosque ribereño de la microcuenca del río Araquá se encuentra en buenas condiciones de preservación, por lo que efectivamente contribuye a la protección de los cauces y provisión de servicios hidrológicos y ecológicos que ayudan a mantener la calidad del agua y la integridad de la microcuenca.

Resultados y discusión

Análisis morfométrico

La medición del área de la microcuenca es importante, ya que esta variable tiene correlación con otros parámetros morfométricos, además de su importancia para el cálculo del balance hídrico. El Cuadro 1 presenta los parámetros morfométricos de la microcuenca del río Araquá. La microcuenca posee un factor de forma bajo, lo cual indica su baja susceptibilidad a la degradación. Cuanto menor sea el factor de forma, más alargada es la microcuenca, por lo tanto, disminuye el riesgo de concentración rápida del agua proveniente de las lluvias en el cauce principal, con lo que disminuye la sedimentación, inundaciones y degradación ambiental. La densidad de drenajes también es baja; según França (1968); este paráme-

tro refleja la influencia del origen geológico, de la topografía, de los tipos de suelo, de la vegetación y de las intensidades de infiltración y de escurrimiento superficial del agua. En cuanto al orden de la microcuenca (W), se identificaron y cuantificaron los siguientes órdenes: Nw1= 23 cauces o canales; Nw2= 6 cauces; Nw3= 2 cauces y Nw4= 1 cauce; por ello la microcuenca se clasifica como de cuarto orden. Además, la razón de bifurcación o ramificación de la microcuenca presenta un valor bajo; al relacionarla con el estado de conservación, los resultados sugieren una baja tendencia al escurrimiento superficial de las aguas de lluvia y, consecuentemente, mayor capacidad de infiltración del agua en el suelo.

La densidad de drenajes también fue baja, según la clasificación propuesta por Strahler (1957). Esto permite inferir que el sustrato de la microcuenca es relativamente permeable, lo cual le confiere característica de funcionamiento hidrológico estable. La red de drenaje presenta una razón de bifurcación de 2,94 cauces o canales de orden inferior por cada canal de orden superior. Este escenario hidrográfico permite cuantificar una frecuencia de ríos de 0,73 cauces de primer orden por km² de área de la microcuenca. La razón de textura (T) de 0,88 indica un relieve con pocos recortes y textura topográfica gruesa. La microcuenca presenta un diferencial entre la cota máxima y mínima de 380 m de amplitud altitudinal.

El declive tiene relación importante con varios procesos hidrológicos tales como la infiltración, velocidad de escurrimiento del agua de lluvia

Cuadro 1. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Araquá

A (km ²)	APP (km ²)	P (km)	D (%)	Dd (K/km ²)	H (m)	Ff	Fr	W	T	Rb
31,66	3,05	26,01	14,0	1,34	380	0,27	0,73	4º	0,88	2,94

A = área, APP = área de preservación permanente, P = perímetro, D = declive medio, Dd = densidad de drenajes H = amplitud altitudinal, Ff = factor de forma, F = frecuencia de ríos, W = orden de la microcuenca, T = razón de textura, Rb = razón de bifurcación

y humedad del suelo. Este es uno de los factores principales que regulan los procesos erosivos, el tiempo de duración del escurrimiento superficial y la concentración del agua de lluvia en el cauce principal: entre mayor es el declive, mayor es la velocidad de escurrimiento y menor la infiltración y la posibilidad de recargar la humedad del suelo. El declive medio calculado de 14,0%, corresponde a un relieve clasificado como ondulado, según EMBRAPA (1999).

Los valores de frecuencia de ríos, densidad de drenaje y textura son bajos, lo cual refleja las características y propiedades de los suelos –originados en arenita alterada– y el relieve ondulado predominante. Estos factores, junto con la cobertura vegetal, favorecen la mayor infiltración de la lluvia y la menor escorrentía superficial que caracterizan a la microcuenca del río Araquá con una alta relación entre infiltración y caudal total.

Área potencial de los servicios ambientales de los bosques ribereños

La microcuenca presenta una red de drenaje de 42,5 km de longitud, con cauces o canales menores de 10 m de ancho (Fig. 1). La franja ribereña debe ser, entonces, de 30 m de ancho a cada lado del cauce; o sea, 3,05 km² (304,5 ha) de APP. Esta área sugiere un alto potencial para la generación de servicios ambientales a largo del tiempo y del espacio.

En el inicio de los segmentos de ríos de primer orden, se consideró también a las cabeceras de las nacientes como APP, para cuantificar el área de bosque ribereño potencial para la producción de servicios ambientales en la microcuenca (Fig. 1). Durante el trabajo de campo se encontraron variaciones en las dimensiones de la APP, debido al área variable de afluencia del agua, que se expande y retrae según la época de lluvia o sequía. A lo largo del lecho del río también se observaron caídas abruptas del relieve,

con lo que se forman cascadas de gran belleza escénica, propicias para la práctica del ecoturismo.

El principal servicio ambiental de la vegetación ribereña es la protección de los manantiales. Las áreas de preservación permanente revegetadas y preservadas son unidades básicas de protección de la microcuenca y de la biosfera, pues generan servicios ambientales como conservación de la biodiversidad, secuestro de carbono, regularización de los cursos de aguas, belleza escénica, refugio a la fauna ribereña, salud hidrológica del ecosistema ribereño con producción de agua para las generaciones futuras.

Identificación de la vegetación

El Cuadro 2 muestra los resultados del inventario florístico practicado en la microcuenca del río Araquá. La vegetación de bosque estacional semideciduo y bosque ribereño de

la microcuenca del río Araquá se encuentra en buenas condiciones de preservación, por lo que efectivamente contribuye a la protección de los cauces y provisión de servicios hidrológicos y ecológicos que ayudan a mantener la calidad del agua y la integridad de la microcuenca. De las 35 especies arbóreas identificadas, 21 ocurren en el APP; el 60% de las especies están presentes en los bosques ribereños. En el bosque estacional semideciduo (Bes) y el bosque ribereño (Br) se encuentran procesos sucesionales de desarrollo, con 25,7% de especies pioneras, 60% de especies secundarias y 14,3% de especies en su fase clímax. El 31,4% de las especies forestales están presentes en el ecosistema ribereño, en tanto que el 28,6% de las especies ocurren en ambos ecosistemas; el 40,0% ocurren solamente en el bosque estacional semideciduo.

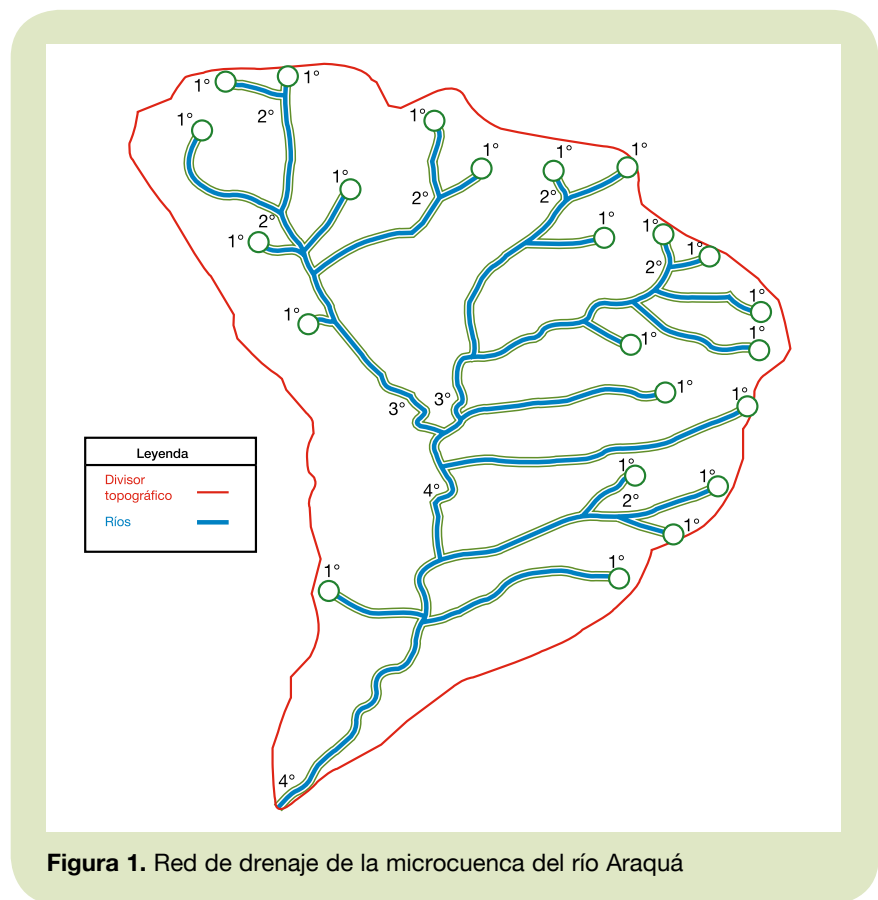


Figura 1. Red de drenaje de la microcuenca del río Araquá

Conclusiones

La microcuenca se encuentra relativamente estable desde el punto de vista de la conservación ambiental y de potencial de producción de servicios ambientales. Los resultados de la morfometría de la microcuenca son indicativos de un suelo permeable con alta relación infiltración/caudal total, lo que indica una baja susceptibilidad a la degradación ambiental.

Las condiciones de la red de drenaje y la extensión de las áreas de preservación permanente favorecen la generación de servicios ambientales a lo largo del tiempo y del espacio, en beneficio de la sociedad y del ambiente.

Aunque solamente ocupan el 9,6% del área de la microcuenca, los bosques ribereños albergan 60% de las 35 especies arbóreas identificadas. Este bosque se encuentra

bien desarrollado, con sotobosque y diversidad de plantas para el secuestro de carbono y protección a los canales de drenajes; además cumple con importantes servicios hidrológicos y ecológicos que contribuyen al mantenimiento de la calidad y producción del agua y a la integridad de la microcuenca.

La microcuenca presenta importantes características fisiográficas naturales, alto excedente hídrico con seis cascadas, relieve con exposición de rocas y bosques preservados con diversidad de especies y bellezas escénicas, propicias para el ecoturismo.

Cuadro 2. Inventario florístico de la microcuenca del río Araquá

Nombre común	Nombre científico	Familia	TP	SE
Açoita cavalo	<i>Luehea caudicans</i>	Tiliaceae	Bes	S
Algodão	<i>Bastardiopsis densiflora</i>	Malvaceae	Br	P
Angico	<i>Pipitadenia</i> sp.	Mimosaceae	Br + Bes	S
Araribá	<i>Centrolobium tomentosum</i>	Fabaceae	Br + Bes	S
Cabreúva	<i>Myroxylon balsamum</i>	Fabaceae	Bes	C
Cajarana	<i>Cabrlea canjarana</i>	Meliaceae	Bes	S
Caleandra	<i>Calliandra tweedii</i>	Mimosaceae	Br	S
Canelinha	<i>Nectandra megapotamica</i>	Lauraceae	Br + Bes	S
Canela de cutia	<i>Diplokeleba floribunda</i>	Sapindaceae	Br	S
Catiguá	<i>Trichilia clausenii</i>	Meliaceae	Br + Bes	S
Caviúna	<i>Machaerium scleroxylon</i>	Fabaceae	Br + Bes	C
Casca danta	<i>Drimys brasiliensis</i>	Winteraceae	Br	S
Copaíba	<i>Copaifera longsdorfii</i>	Caesalpinaceae	Br	C
Croton	<i>Croton floriundus</i>	Euphorbiaceae	Bes	P
Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i>	Cecropiaceae	Bes	P
Figueira	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae	Bes	P
Goiabeira	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	Br	P
Guajuvira	<i>Patanagonula americana</i>	Boraginaceae	Bes	S
Guapuruvu	<i>Schizolobium parahyba</i>	Caesalpinaceae	Br + Bes	P
Ingá	<i>Inga</i> sp.	Mimosaceae	Br	P
Jaracatiá	<i>Jaracatia spinosa</i>	Caricaceae	Bes	P
Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Palmae	Bes	S
Juá	<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae	Br	P
Monjoleiro	<i>Acacia polyphylla</i>	Mimosaceae	Br	S
Paineira	<i>Chorisia speciosa</i>	Bombacaceae	Bes	S
Pata de Vaca	<i>Bauhinia forticata</i>	Caesalpinaceae	Br + Bes	S
Pau magro	<i>Cupania oblongifolia</i>	Sapindaceae	Br + Bes	S
Pau d' alho	<i>Gallesia integrifolia</i>	Phytolacaceae	Br + Bes	S
Pau Pombo	<i>Tapirira guianensis</i>	Anacardiaceae	Bes	S
Piper	<i>Piper</i> sp.	Piperaceae	Br + Bes	S
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	Myrtaceae	Bes	C
Saguaragi	<i>Colubrina glandulosa</i>	Rhamnaceae	Bes	C
Sapuva	<i>Machaerium acutifolium</i>	Fabaceae	Bes	S
Tarumã	<i>Vitex cymosa</i>	Verbenaceae	Br	S
Trema	<i>Trema micrantha</i>	Ulmaceae	Br	S

Tipo de bosque: Br = bosque ribereño, Bes = bosque estacional semideciduo Sucesión ecológica: P = pioneras, S = secundaria, C = climax

Literatura citada

- Barbosa, LM. 1999. Implantação de mata ciliar. Simpósio de mata ciliar. Belo Horizonte, BR. Ciência e Tecnologia. p. 111-135.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, BR. 412 p.
- França, GVA. 1968. Classificação das terras de acordo com sua capacidade de uso como base para um programa de conservação de solos. In Congresso Nacional de Conservação de Solos, 1, Campinas, BR. p. 399 - 408.
- Horton, RE. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America (Col.) 56(3):275-370.
- Jiménez, F. 2004. El manejo integrado de cuencas hidrográficas como enfoque para la gestión de los recursos naturales y el ambiente. Recursos Naturales y Ambiente no. 43: 4.
- Lima, WP. 1986. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba, BR, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 241 p.
- _____. 1999. A microcuenca e o desenvolvimento sustentável. Ação Ambiental no. 3:20-22.
- Rodrigues, VA. 2004. Morfometria e mata ciliar da microcuenca hidrográfica. In Anais, 8º Workshop em Manejo de Bacias Hidrográficas., Botucatu, BR, UNESP. p. 7-18.
- Smith, KG. 1950. Standards for grading texture of erosional topography. American Journal Science 248:655-668.
- Strahler, AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 38: 913-920.