

## **LA INTERACCIÓN ENTRE LAS FORMAS DE FONDO Y EL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS**

**Geraldo Wilson Júnior**

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Programa de Engenharia Oceânica  
E-mails: gwj@peno.coppe.ufrj.br e gwj@predialnet.com.br

### **INTRODUCCIÓN**

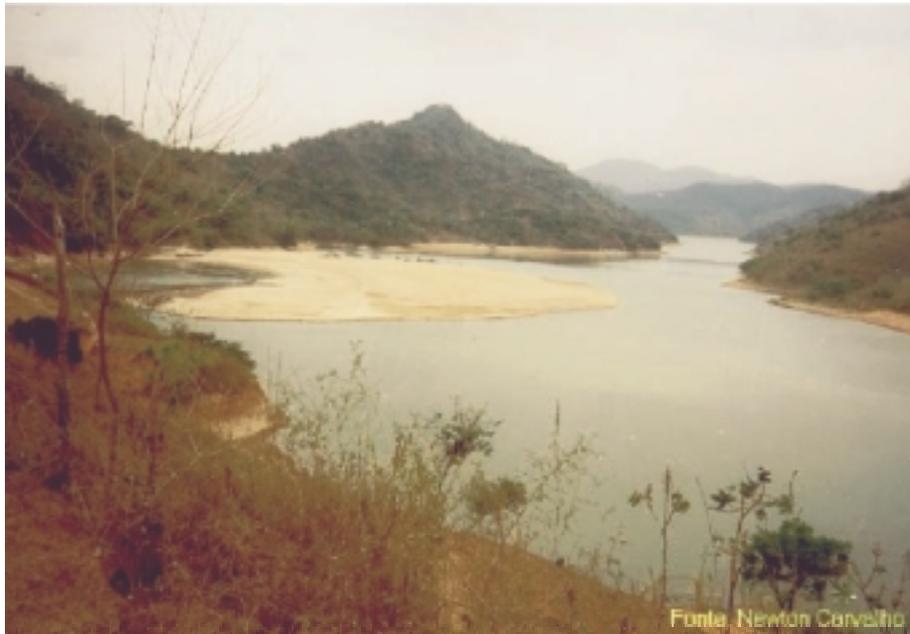
#### **Procesos Sedimentológicos y Morfológicos. Equilibrio Sedimentológico**

Proceso es todo fenómeno que desarrollase en función de una variable independiente cualquier. En Ingeniería de Recursos Hídricos, esta variable es el tiempo. Procesos Sedimentológicos son aquellos fenómenos relacionados con: (i) el iniciación del movimiento de sedimentos debido a los impactos de las gotas de lluvia y a la acción de los escurrimientos en la cuenca hidrográfica; (ii) el transporte y la dispersión de las partículas sólidas en los lechos de los escurrimientos o en suspensión en el interior de la masa líquida; y (iii) la cesación de estos movimientos. Procesos Morfológicos, en una escala de Ingeniería, consisten de las alteraciones de las características geométricas, en planta, perfil y en la sección transversal, en consecuencia de la modificación de estos movimientos. Las fuerzas hidrodinámicas de los escurrimientos originan procesos sedimentológicos que por su vez provocan las variaciones morfológicas en el espacio geográfico, las cuales son la origen de los procesos morfológicos, como de los ejemplos presentados en las Figuras 1 y 2.

El equilibrio sedimentológico, también llamado equilibrio de régimen o dinámico es regido por el principio del auto-ajustamiento. Según este principio en uno escurrimiento sobre terreno aluvial, existe una relación unívoca entre las variables independientes: caudal y descarga sólida, y las variables dependientes: anchura, profundidad y la pendiente media del trecho. Este concepto fue establecido para canales de irrigación, los cuales son proyectados para funcionaren con un caudal constante. Cuando este concepto es generalizado para ríos sujetos a caudal no permanente durante el ciclo hidrológico, surgen dos otros grados de libertad, que están asociados a dos procesos morfológicos: la formación o modificación de las formas de fondo y el desarrollo de los meandros. Un escurrimiento fluvial, por lo consiguiente, tiene cinco grados de libertad: la anchura, profundidad, pendiente media y dos funciones o variables descriptivas de las formas de fondo y de los meandros.



**Figura 1.-** Erosion en el Río Botas, afluente del Río Iguazu, Provincia del Rio de Janeiro, Brasil



**Figura 2.-** Depósitos de sedimentos en el reservatorio de la Usina Hidroeléctrica Madeira Lavrada, Provincia de Minas Gerais, Brasil

## **OBJETIVOS**

Los objetivos de este trabajo son múltiples:

1. Mostrar que el mecanismo del transporte y de la dispersión de los sedimentos, así como del lecho de los escurrimientos con superficie libre dependen del movimiento de sus granos aislados.

2. Distinguir las pérdidas de energía del escurrimiento debidas a las formas de fondo, de las pérdidas debidas a la rugosidad de los granos de la capa movable del lecho.
3. Presentar los criterios de determinación de las parcelas de las fuerzas hidrodinámicas responsables por el movimiento de los sedimentos.
4. Presentar resultados de aplicaciones de las ecuaciones de las dunas en escurrimientos naturales.

### **MECANISMO DEL TRANSPORTE Y DE LA DISPERSIÓN DE LOS GRANOS DE SEDIMENTOS**

La formación e evolución de las formas de fondo resultan del movimiento de los granos individuales pertenecientes a la capa movable del lecho. Ellas se relacionan directamente con las fuerzas hidrodinámicas que actúan sobre estos granos sólidos. Inversamente, las formas del fondo son capaces de modificar las propiedades hidrodinámicas del fluido (tensión tangencial, velocidad crítica, perfiles de velocidad, etc.). De esta forma, el fluido moldea el fondo y tiene sus características hidráulicas modificadas por las formas que él mismo moldeó.

Según Vanoni (1977), existe una faja de caudales dentro de la cual la descarga sólida puede variar hasta diez veces su valor natural sin cambio apreciable de la pendiente, anchura del río o elevación del nivel de agua. De esas variaciones resulta el apareamiento de nuevos tipos de formas de fondo.

Distinguen se en este ítem: el transporte, la dispersión de un grupo de partículas y la migración de las formas de fondo, todos resultantes del movimiento aleatorio de los granos individuales de sedimentos de la capa activa del lecho del escurrimiento.

### **RESISTENCIA DE LAS FORMAS DEL FONDO**

Las formas del fondo dificultan el desplazamiento de los granos de sedimentos (Wilson-Jr., Rodrigues y Soares, 1980). La resistencia ejercida por las dunas, rizas y otras formas de fondo, reducen la parte de la energía del escurrimiento, la transformando en turbulencia y calor. Esa transformación ocurre a una distancia de la capa movable adonde la acción de las fuerzas hidrodinámicas sobre los granos sólidos del fondo es muy pequeña o nula. De este modo, la pérdida total de energía del escurrimiento en el río resulta de las pérdidas debidas:

- (i) a las formas del fondo, con generación de turbulencia y calor;
- (ii) a la rugosidad de los granos, con generación de movimiento de sedimentos y migración del lecho. Entonces, tornase más adecuado considerar, por ejemplo, la tensión tangencial o de fricción,  $\tau$ , la cual es la grandeza que mejor exprime la acción de las fuerzas hidrodinámicas, compuesta de dos parcelas asociadas a las resistencias del lecho.

## PARCELAS DE LAS VARIABLES HIDRODINÁMICAS RESPONSABLES POR EL MOVIMIENTO DE LOS SEDIMENTOS

La partición de  $\tau$  es hecha a través de una analogía con la resistencia al escurrimiento dentro de un conducto, la cual es compuesta de una resistencia de fricción, debido a las asperezas de las paredes internas, y de una resistencia de forma, debido a los ensanches y reducciones bruscas, a las dobladuras, o sea, a las variaciones de las geometrías de los conductos. Así, las parcelas de la tensión media tangencial en los escurrimientos fluviales son:

- $\tau'$  debido a la rugosidad de los granos, y
- $(\tau - \tau')$  debido a las configuraciones del fondo

En las aplicaciones de los modelos e expresiones matemáticas que describen analíticamente el movimiento de los sedimentos, cada autor utiliza un método particular para la determinación de los valores reducidos de las tensiones tangenciales. Son considerados los siguientes métodos para la determinación de estas parcelas: el de Meyer-Peter, Einstein-Barbarossa, Einstein-Keulegan e el método de Engelund. Particularmente, el de Engelund es propuesto para la previsión de los tipos de configuración del fondo, posibles de ser obtenidas en escurrimientos naturales con fondos móviles, cuando sus características hidráulicas y sedimentológicas fueren conocidas.

## APLICACIONES DE LAS ECUACIONES DE LAS DUNAS: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Para el cálculo de la descarga sólida lineal por arrastre fue utilizada la Ecuación 1, conocida como Ecuación de las Dunas y Rizas (Simons, Richardson y Nordin, 1965). Los datos fueron obtenidos en uno tramo del Arroyo Horácio, afluente por la margen derecha del Río Ivai, localizado al Noroeste de la Provincia del Paraná, Brasil, con el equipamiento ultra-sonográfico presentado en la Figura 3:

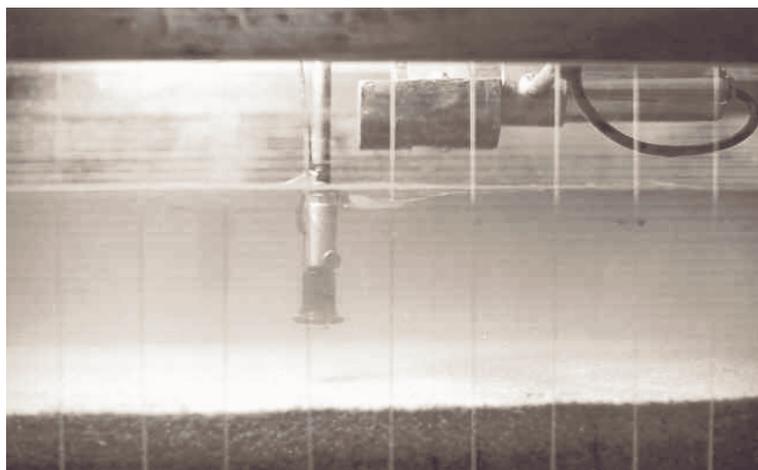


Figura 3.- Equipamiento ultra-sonográfico – C-meter – utilizado para el registro del fondo del escurrimiento

$$q_b = (1 - \lambda) V_s \frac{h}{2} \quad (1)$$

Donde:

$\lambda$  = la porosidad de la capa activa del fondo,

$V_s$  = la velocidad media de desplazamiento de las formas del fondo, y

$h$  = la amplitud media de esas configuraciones.

En este trabajo, se destacan las determinaciones de la velocidad media de desplazamiento  $V_s$  y de la amplitud media de las dunas  $h$ , a través de las Ecuaciones 2 y 3 siguientes. La velocidad media es calculada a partir de los registros Lagrangeanos e Eulerianos, de los cuales se obtienen los valores medios de las longitudes  $L_{mx}$ ; de las alturas  $H_m$ ; y de los tiempos de pasaje de las formas de fondo por una sección fija del tramo del río,  $L_{mt}$ . En estas ecuaciones,  $S_h$  es el desvío patrón de las alturas de las dunas obtenidas de los registros longitudinal y temporal.

$$V_s = \frac{L_{mx}}{L_{mt}} \quad (2)$$

$$h = H_m + S_h \quad (3)$$

Las descargas sólidas así obtenidas fueron comparadas con los resultados obtenidos por medio de fórmulas convencionales, para las cuales se recomienda utilizar las parcelas reducidas de las variables hidrodinámicas responsables por el movimiento de sedimentos.

## CONCLUSIONES

1.- En un escurrimiento natural, existe una relación unívoca entre las variables independientes: caudal y descarga sólida, y las variables dependientes: anchura, profundidad, la pendiente media del tramo, que ya fueron consideradas en el principio del auto-ajustamiento, y también dos otras a más, descriptivas de las formas de fondo y de los meandros.

2.- La pérdida total de energía de un escurrimiento resulta de las pérdidas parciales debidas: (i) a la forma de fondo, con generación de turbulencia y calor, y (ii) a la rugosidad de los granos, con generación de movimiento de sedimentos y migración del lecho. Para las estimativas de la descarga sólida de un río se deben considerar solamente las parcelas asociadas a la rugosidad de los granos.

3.- El registro de las características de las formas de fondo exige cuidados especiales, debido a las variaciones de los tipos y velocidades de desplazamiento de las configuraciones a través de la sección transversal. En este trabajo son presentadas consideraciones y sugerencias sobre esta determinación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Simons, D. E.; Richardson, D. V. y Nordin, C. F. (1965): "Bed-Load Equation for Ripples and Dunes", Geological Survey Professional Paper 462. H, United States Government Printing Office, Washington D.C.

Vanoni, V. A. (1977): “Sedimentation Engineering”. ASCE Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation. Sedimentation Committee of the Hydraulic Division, 745 p. New York.

Wilson-Jr, G.; Rodrigues, H. T. y Soares, J. S. (1980): “Estudos Hidráulico e Sedimentológicos Realizados na Parte Inferior do Rio Ivai, Brasil”. 185 p. e anexos. Form. A3, ARH - CDTN/NUCLEBRÁS, Belo Horizonte, Brasil.