

Estudio comparativo de las variables de la morfometría planimétrica de las playas del litoral paulista (Brasil) *

por A. CHRISTOFOLETTI ** y A. GONÇALVES PIRES NETO ***

Palabras clave:

Brasil, clasificación de playas, geomorfología litoral, geomorfometría planimétrica, variantes de playas.

Al analizar la morfometría planimétrica del litoral paulista, en el sector comprendido entre Santos y São Sebastião (fig. 1), se presentó la oportunidad de estudiar diferentes variables constituyentes de la morfología litoral, tales como radio de curvatura, ángulo sobreentendido, ángulo de abertura, índice de curvatura y longitud de la cuerda.

Considerando estas variables, el objetivo de la presente comunicación consiste en analizar los datos obtenidos, verificar la correlación y la similitud entre ellos y establecer la clasificación de las playas estudiadas.

1. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables estudiadas pueden definirse de la siguiente manera:

a) *Longitud de la cuerda de la playa*: es la línea recta que une los puntos extremos de la playa.

b) *Radio de curvatura*. Su definición se basa en el principio de que la curvatura de la línea de playa equivale a un arco de circunferencia. De esta forma se intenta obtener el radio que más se adapte al referido arco. La medida de dicho radio corresponde al valor del radio de curvatura.

c) *Ángulo sobreentendido*. Corresponde al ángulo ocupado por el arco de curvatura de la playa y delimitado por los radios que pasan por los extremos de la playa. A fin de no cometer errores de apreciación o de carácter subjetivo debe rectificarse la curvatura de la bahía con un compás.

(*) Este trabajo ha sido elaborado dentro de los trabajos de Geología 73/071 de la Fundación de «Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo». Traducido del portugués por M. DE BOLÒS.

(**) Del Departamento de Geografía de la Facultad de Filosofía, Ciencias y Letras de la Universidad de Río Claro (Brasil).

(***) Becario de la Fundación de «Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo».

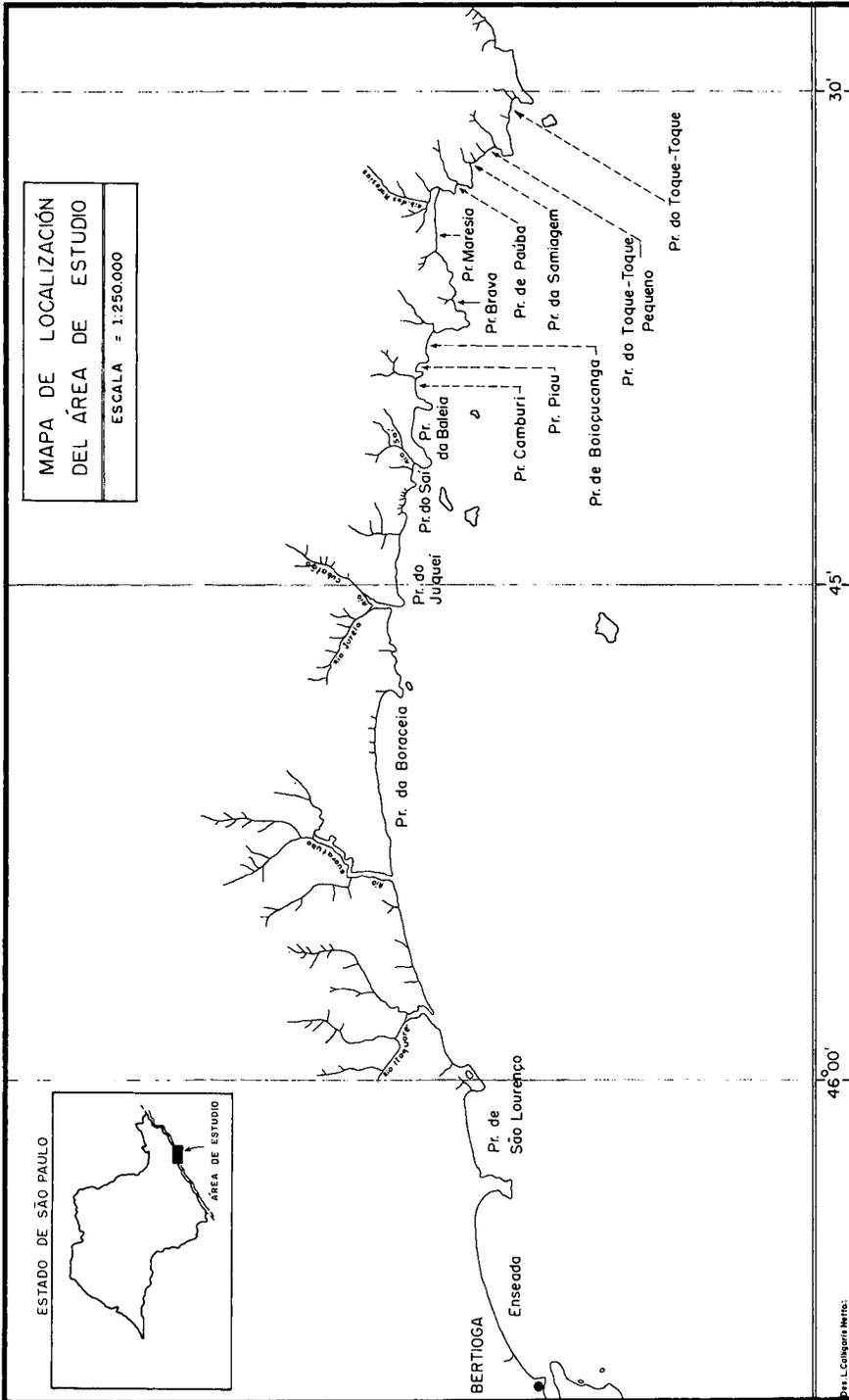


Fig. 1. Localización de las playas entre Bertioiga y São Sebastião, en el litoral del Estado de São Paulo (Brasil).

d) *Índice de curvatura*. Es la relación entre el ángulo sobreentendido y el valor de un radián. En la obtención del índice de curvatura se aplica la relación siguiente:

$$C = \frac{\alpha}{Rd}$$

en la que C es el índice de curvatura, α el ángulo sobreentendido, y Rd el valor, en grados, de un radián.

La relación utilizada para la obtención del índice de curvatura fue propuesta por Araya (1967), el cual considera que desde el punto de vista teórico una playa no debe sobreentender un arco de más de 180°. En esta perspectiva fue posible al referido autor fijar límites para que el índice de curvatura fuera comprensible. Para dicha finalidad utilizó el concepto de que cuando una playa corresponde a un arco de la misma extensión que su radio, el índice debe ser igual a 1 (uno). De esta forma se sigue la relación antes mencionada, tomándose como datos el ángulo sobreentendido y el valor de un radián, en grados.

e) *Ángulo de abertura*. Representa el ángulo formado entre el punto más interno de la playa, considerado como vértice, y las dos extremidades de la misma. Su valor corresponde al ángulo formado por los dos radios que parten del punto más interno y pasan por las dos extremidades de la playa.

Esta medida es propuesta por nosotros en la presente ocasión teniendo en consideración los siguientes principios:

— debido a la acción morfogenética, todo el litoral tiende a presentar entre sus formas sectores rectilíneos. Esta tendencia se explica por la actuación de las olas que ocasiona mayor acción abrasiva y erosiva en los salientes litorales y ejerce, a consecuencia de las corrientes de deriva, depósitos en las ensenadas adyacentes. Bajo las mismas condiciones morfoclimáticas, el equilibrio de las playas se establece en una línea próxima a la recta entre sus dos puntos extremos;

— de acuerdo con esta perspectiva, consideramos que, como máximo, las playas deberían presentar un ángulo de abertura de 180°, y entonces aparecerían como perfectamente rectilíneas. Esta disposición es considerada como ideal en función de la cual serán medidas las desviaciones. Este supuesto es inicial; después hay que realizar un estudio que analice la relación entre el grado de rectilínea y de profundidad de las bahías. Es obvio también que el radio de curvatura es el parámetro que más íntimamente se relaciona con el ángulo de abertura de las playas.

Los datos relacionados con las cinco variables se reseñan en la tabla 1.

2. RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DE LA MORFOMETRÍA PLANIMÉTRICA DE LAS BAHÍAS

Las cinco variables han sido estudiadas a través de su comparación dos a dos. Los datos obtenidos han sido expresados gráficamente y calculadas las correlaciones y la regresión lineal a fin de establecer las relaciones entre las variables. En todos los gráficos la designación numérica sustituye el nombre de las playas y la correspondencia entre el número y el nombre de las bahías está indicado en la tabla 1.

TABLA 1. Relación de las playas estudiadas y de los valores medidos para las distintas variables de morfometría y planimétricas

N.º	Nombre de la playa	Radio de curvatura (metros)	Ángulo sobreentendido	Índice de curvatura	Ángulo de abertura	Longitud de la cuerda de playa (metros)
1.	Enseada	13.750	32	0,56	137	8.000
2.	São Lourenço	5.000	48	0,84	145	3.730
3.	Guaratuba-Boracéia	30.000	33	0,57	156	16.140
4.	Juréia	3.700	15	0,26	175	980
5.	Una	1.870	46	0,80	124	1.350
6.	Juqueí	6.070	28	0,49	165	2.950
7.	Saí	700	65	1,14	142	750
8.	Baleia	1.900	60	1,05	150	1.930
9.	Camburi-Piau	3.140	26	0,45	166	1.430
10.	Boiçucanga	1.850	49	0,85	140	1.420
11.	Brava	1.160	25	0,43	163	490
12.	Maresias	5.900	28	0,49	162	2.820
13.	Paúba	670	44	0,77	157	450
14.	Samiagem-Toque-Toque					
	Pequeno	1.470	70	1,22	145	1.680
15.	Toque-Toque	470	65	1,14	150	500

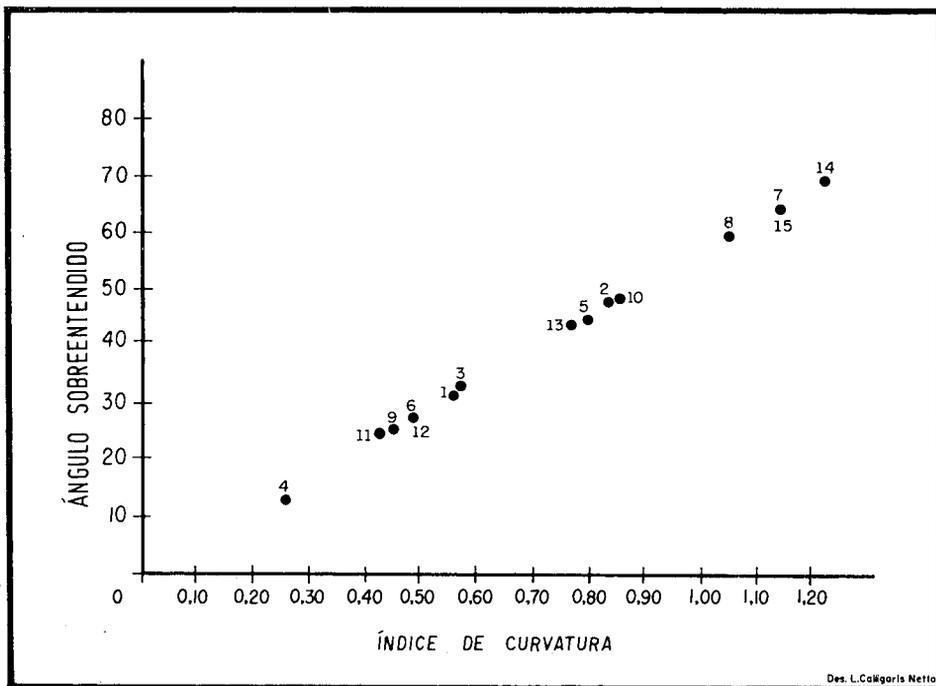


Fig. 2. Relación entre los índices de curvatura y el ángulo sobreentendido.

a) *Índice de curvatura y ángulo sobreentendido*: Los datos de la tabla 1 y de la figura 2 demuestran la correlación al nivel de + 1,00, y la regresión lineal indica que los valores del ángulo sobreentendido (y), considerado como variable dependiente, pueden ser obtenidos a través de la ecuación:

$$y = 0,31 + 56,90 X$$

Verificando la distribución gráfica se pueden distinguir tres grupos de playas:

— grupo con índice de curvatura entre 0,40 y 0,60 y ángulo sobreentendido entre 25 y 33 grados, playas de Juréia, Brava, Camburi-Piau, Juqueí, Maresias, Enseada y Guaratuba-Boracéia;

— grupo con índice de curvatura entre 0,75 y 0,85 y ángulo sobreentendido entre 44 y 49 grados: playas de Paúba, Una, São Lourenço y Boiçucanga;

— grupo con índice de curvatura entre 1,05 y 1,20 y ángulo sobreentendido entre 60 y 70 grados: playas de Baleia, Saí, Toque-Toque y Toque-Toque Pequeno.

b) *Radio de curvatura y longitud de la cuerda de la playa* (fig. 3): Los datos obtenidos presentan correlación positiva con valor de 0,886 y permiten determinar que la ecuación de línea de regresión es igual a

$$y = 70 + 0,577 X$$

en la que y representa la longitud de la cuerda y X el radio de curvatura. La figura 3 demuestra que existe concentración de los valores entre 500 y 4.000 metros para el radio de curvatura, y entre 500 y 2.500 metros para la longitud de

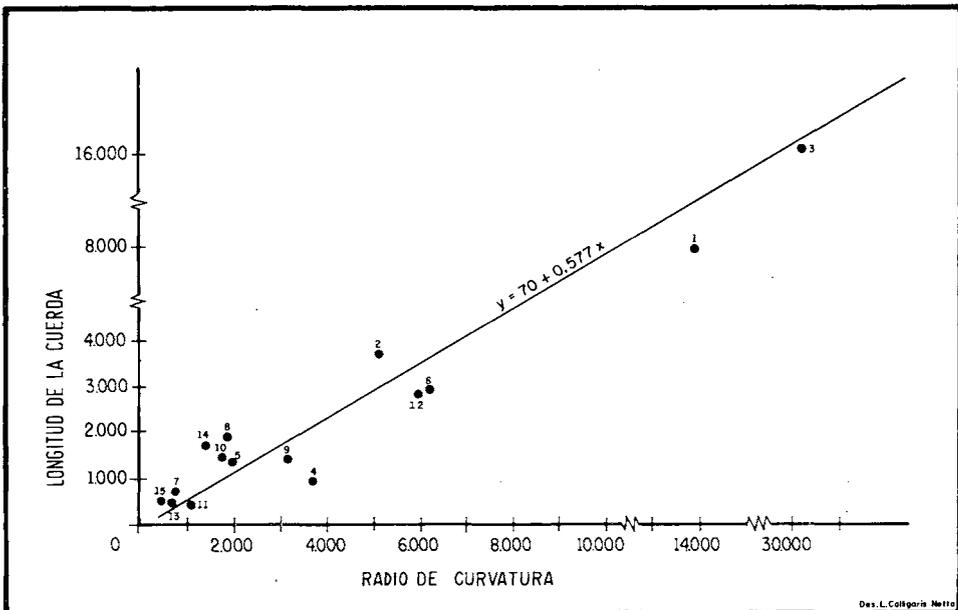


Fig. 3. Relación entre el radio de curvatura y la longitud de la cuerda.

la cuerda, poniendo de manifiesto un conjunto relativamente homogéneo entre las playas por lo que se refiere a estas dos variables.

c) *Angulo de abertura e índice de curvatura*: Los datos demuestran que las relaciones entre el ángulo de abertura y el índice de curvatura presentan una correlación de $-0,608$, indicando relación inversa significativa y permitiendo inferir que el ángulo de abertura disminuye a medida que aumenta el índice de curvatura. La regresión lineal señala que el ángulo de abertura (y) puede ser calculado a través de la ecuación:

$$y = 163,98 - 18,027 X$$

Considerando que la relación entre el índice de curvatura y el ángulo sobreentendido es directamente proporcional, resulta en consecuencia que el valor de la correlación entre los ángulos sobreentendido y de abertura es también idéntica. La línea de regresión para el cálculo del ángulo de abertura (y) se expresa por la ecuación:

$$y = 155,27 - 0,104 X$$

d) *Longitud de la cuerda y sus relaciones con el ángulo sobreentendido e índice de curvatura*: La correlación y la distribución de los valores de la longitud de la cuerda se realizan de modo semejante a las del ángulo sobreentendido y el índice de curvatura, pudiéndose distinguir tres clases:

— la primera clase, que presenta los valores de la longitud de la cuerda

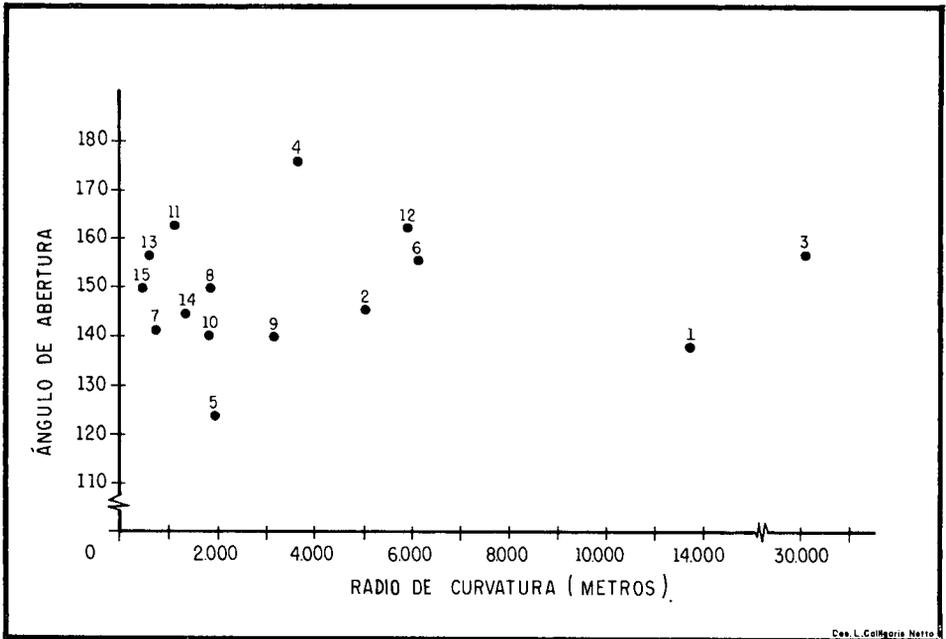
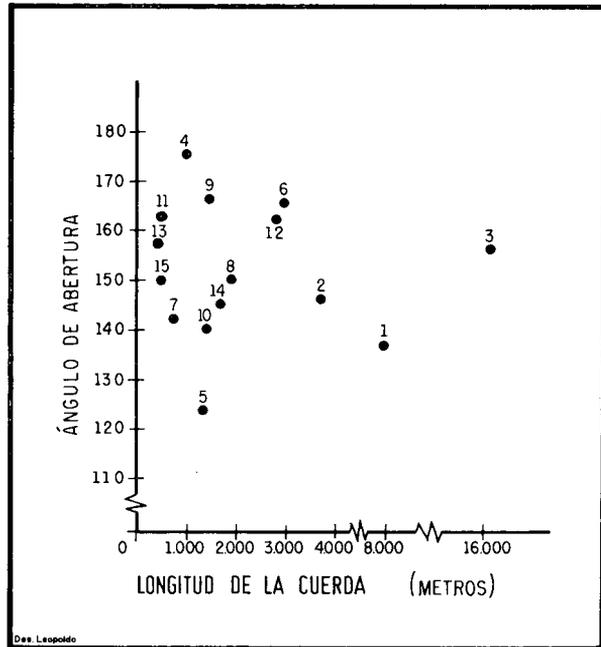


Fig. 4. Relación entre el radio de curvatura y el ángulo de abertura.

Fig. 5. Relación entre la longitud de la cuerda y el ángulo de abertura.



dispersos, pero agrupados en torno a los valores de 25 y 33 grados del ángulo sobreentendido (o limitada por valores de 0,40 y 0,60 del índice de curvatura): playas Brava, Camburi-Piau, Meresias, Jukeí, Enseada y Guaratuba-Borocéia;

— la segunda clase muestra valores de longitud de cuerda entre 450 y 3.700, delimitados por los valores del ángulo entre 44 y 49 (o valores de 0,75 a 0,85 para índices de curvatura): playas de Paúba, Boiçucanga, Una y São Lourenço;

— la tercera clase muestra longitudes variables entre 500 y 1.900 metros, y los ángulos entre 60 y 70 grados (o valores de 1,05 a 1,20 para índices de abertura): playas de Toque-Toque, Saí, Toque-Toque Pequeno y Baleia.

e) *Las relaciones entre el radio de curvatura y el ángulo de abertura y entre la longitud de la cuerda y el ángulo de abertura:* Las figuras 4 y 5 muestran una distribución equivalente para los dos conjuntos dados. La observación de estos gráficos pone de manifiesto la banda comprendida entre los valores de 140 y 170 grados como la de mayor frecuencia del ángulo de abertura, lo que permite deducir que se encuentran bastante próximos del valor ideal propuesto de 180 grados.

Para verificar la relación existente entre el valor ideal y el valor real del ángulo de abertura, tomando como base las relaciones con el radio de curvatura, empleamos las siguientes ecuaciones:

$$\text{valor ideal} = \frac{180^\circ}{\text{radio de curvatura}}$$

$$\text{valor real} = \frac{\text{ángulo de abertura}}{\text{radio de curvatura}}$$

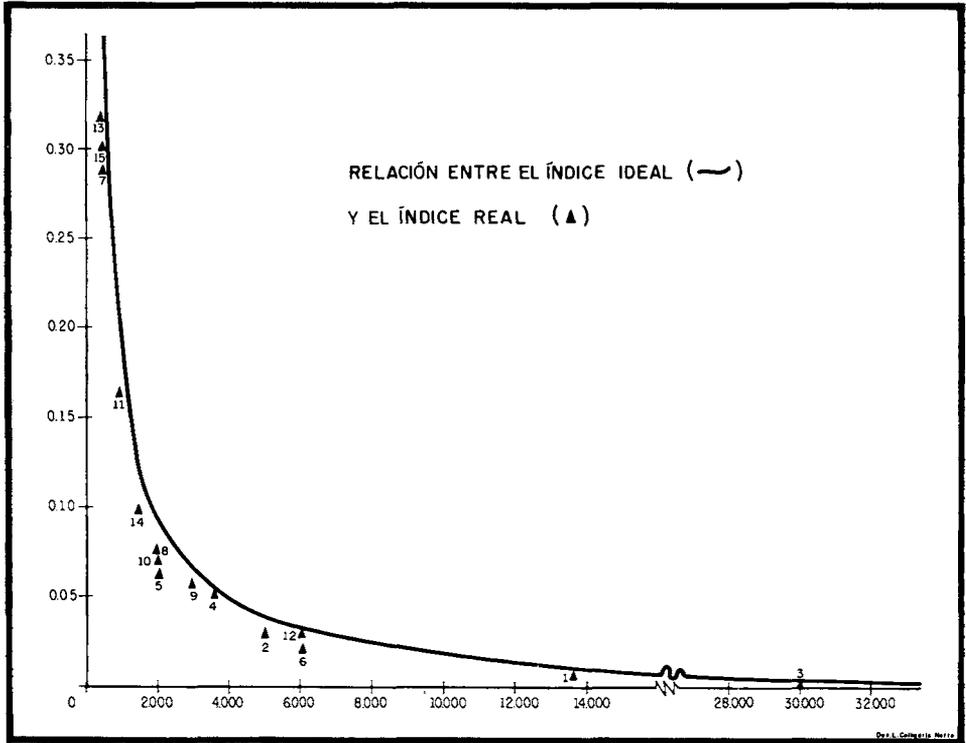


Fig. 6 Relación gráfica entre el perfil del índice ideal y los valores obtenidos del índice real, para las diferentes playas del litoral paulista.

Confrontando los datos obtenidos para los valores ideales y reales, para las diversas playas, mediante la aplicación del coeficiente de correlación de Spearman, se obtiene el valor de $R = 0,9902$. Los cálculos y los valores obtenidos que se encuentran representados en la figura 6 y en la tabla 2 indican relaciones estrechas entre el valor real y el valor ideal, comprobando la hipótesis de que el sector del litoral situado entre Santos y São Sebastião, en el estado de São Paulo, presenta carácter rectilíneo junto a sus formas de depósito, encontrándose en estado de equilibrio estable.

El estudio visual de la distribución en los gráficos y de las relaciones entre las variables, permite suponer que:

- las playas, en los diferentes gráficos, aparecen agrupadas en tres conjuntos de la siguiente manera: Saí, Baleia, Toque-Toque Pequeno y Toque-Toque; São Lourenço, Una, Boiçucanga y Paúba; Enseada, Guaratuba-Boracéia, Juqueí, Brava y Maresias;

- el índice de curvatura y el ángulo sobreentendido que demuestran relación directa, son parámetros efectivos en la constitución de los grupos de playas antes mencionados;

- en relación con el ángulo de abertura, las playas Enseada y Una no se presentan encuadradas en la banda de 140 a 170 grados, permitiendo suponer que ambas no se encuentran ajustadas al equilibrio regional. Por otra parte, la

TABLA 2. Valores para el índice real y el índice ideal del radio de curvatura, en las playas estudiadas (correlación de 0,9902)

N.º	Radio de curvatura	Valor real	Valor ideal
1	13.500	0,0133	0,0100
2	5.000	0,0360	0,0290
3	30.000	0,0060	0,0052
4	3.500	0,0514	0,0500
5	2.000	0,0900	0,0620
6	6.000	0,0300	0,0275
7	500	0,3600	0,2840
8	2.000	0,0900	0,0750
9	3.000	0,0600	0,0553
10	2.000	0,0900	0,0700
11	1.000	0,1800	0,1630
12	6.000	0,0300	0,0270
13	500	0,3600	0,3140
14	1.500	0,1200	0,0966
15	500	0,3600	0,3000

playa de Juréia presenta un ángulo de abertura relativamente grande en relación con los demás valores obtenidos, posiblemente debido a factores locales que han ejercido un control sobre los procesos morfogénicos actuantes.

3. CLASIFICACIÓN DE LAS PLAYAS

Las consideraciones expresadas anteriormente pueden ser consideradas como parciales y basadas en una representación visual de los hechos. Para una clasificación más objetiva de las playas estudiadas, la mayor solución está en precisar el grado de correlación existente entre ellas, considerando las cinco variables planimétricas, y en la utilización de la técnica de análisis de agrupación (*cluster analysis*). El método para efectuar este *cluster analysis* fue expuesto por Parks (1966). La tabla 3 muestra los valores del coeficiente de correlación entre las playas, calculados de acuerdo con la fórmula propuesta por Spearman. La figura 7 demuestra la forma de las agrupaciones y los niveles de correlación entre las diversas playas.

A primera vista se verifica la existencia de cuatro correlaciones positivas en grado máximo (+ 1,00), que ponen de manifiesto cuatro grupos con gran similitud: São Lourenço y Boiçucanga; Juqueí, Maresias y Paúba; Saí, Baleia y Toque-Toque; y Camburi-Piau y Brava.

Si utilizamos el valor centroeide para cada grupo, se pueden encontrar nuevas agrupaciones obtenidas mediante la utilización de matrices sucesivas, registrándose las siguientes:

- a) São Lourenço, Boiçucanga y Toque-Toque Pequeno, al nivel de 0,975;
- b) São Lourenço, Boiçucanga, Toque-Toque Pequeno, Saí, Baleia y Toque-Toque, al nivel de 0,937;
- c) Juqueí, Maresias, Paúba, Camburi y Brava, al nivel de 0,900;
- d) El conjunto del grupo «b» y Una, al nivel de 0,643;
- e) El conjunto «c» y el conjunto «d» al nivel de 0,202;

TABLA 3. *Matriz de los datos de los coeficientes de correlación
 en las playas del litoral paulista, entre Santos y São Sebastião*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,000	-0,600	0,575	-0,125	0,100	-0,900	-0,500	-0,500	-1,000	-0,600	-1,000	-0,900	-0,900	-0,525	-0,500
2	-0,600	1,000	-0,825	-0,625	0,700	0,500	0,900	0,900	0,600	1,000	0,600	0,500	0,500	0,975	0,900
3	0,575	-0,825	1,000	0,350	-0,425	-0,625	-0,925	-0,925	-0,525	-0,825	-0,525	-0,625	-0,625	-0,850	-0,925
4	-0,125	-0,625	0,350	1,000	-0,925	0,175	-0,625	-0,625	0,175	-0,375	0,175	0,175	0,175	-0,600	-0,625
5	0,100	0,700	-0,425	-0,925	1,000	-0,200	0,600	0,600	-0,100	0,700	-0,100	-0,200	-0,200	0,675	0,600
6	-0,900	0,500	-0,625	0,175	-0,200	1,000	0,600	0,600	0,900	0,500	0,900	1,000	1,000	0,575	0,600
7	-0,500	0,900	-0,925	-0,625	0,600	0,600	1,000	1,000	0,500	0,900	0,500	0,600	0,600	0,975	1,000
8	-0,500	0,900	-0,925	-0,625	0,600	0,600	1,000	1,000	0,500	0,900	0,500	0,600	0,600	0,975	1,000
9	-1,000	0,600	-0,525	0,175	-0,100	0,900	0,500	0,500	1,000	0,600	1,000	0,900	0,900	0,575	0,500
10	-0,600	1,000	-0,825	-0,375	0,700	0,500	0,900	0,900	0,600	1,000	0,600	0,450	0,450	0,975	0,900
11	-1,000	0,600	-0,525	0,175	-0,100	0,900	0,500	0,500	1,000	0,600	1,000	0,900	0,900	0,575	0,500
12	-0,900	0,500	-0,625	0,175	-0,200	1,000	0,600	0,600	0,900	0,450	0,900	1,000	1,000	0,575	0,600
13	-0,900	0,500	-0,625	0,175	-0,200	1,000	0,600	0,600	0,900	0,450	0,900	1,000	1,000	0,575	0,600
14	-0,525	0,975	-0,850	-0,600	0,675	0,575	0,975	0,975	0,575	0,975	0,575	0,575	0,575	1,000	0,975
15	-0,500	0,900	-0,925	-0,625	0,600	0,600	1,000	1,000	0,500	0,900	0,500	0,600	0,600	0,975	1,000

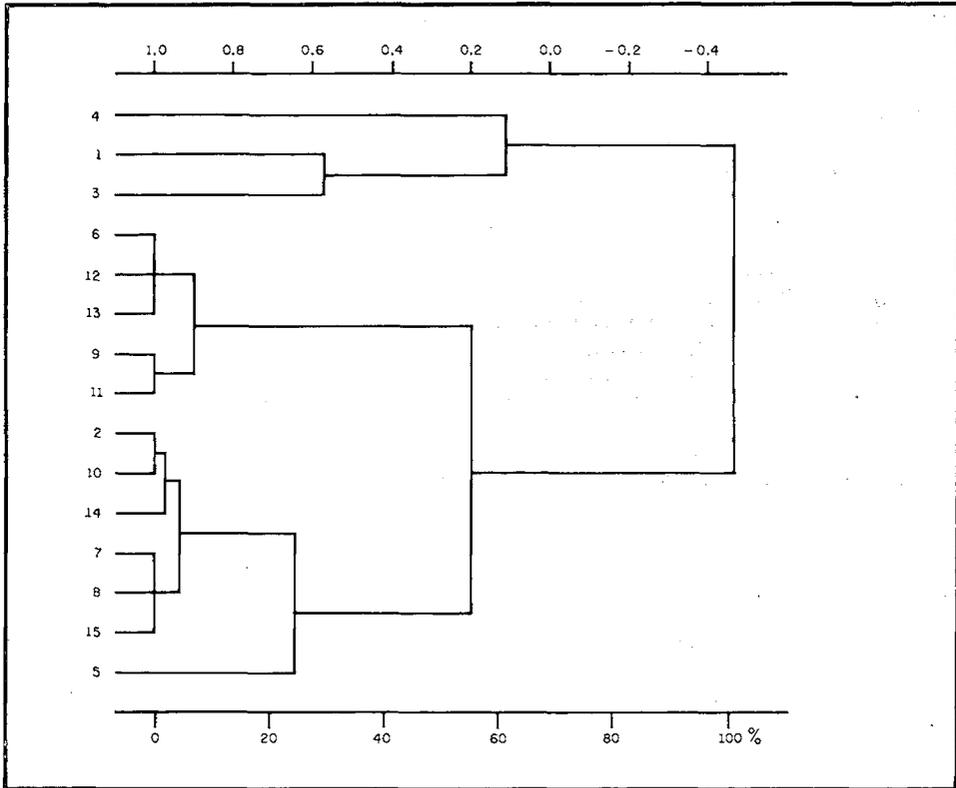


Fig. 7. Dendrograma de clasificación de las playas, teniendo en cuenta los valores de correlación.

f) Enseada, Guaratuba y Juréia, al nivel de 0,112;

g) El grupo final, con 100 % de pérdida de detalle, se encuentra al nivel de $-0,458$.

De esta manera, considerando el umbral del 30 % en la pérdida de detalle, podemos clasificar las playas en cuatro grupos:

a) Grupo 1, caracterizado por valores altos del ángulo sobreentendido y del índice de curvatura y valores bajos del ángulo de abertura: playas de São Lourenço, Boiçucanga, Toque-Toque Pequeno, Saí, Baleia, Toque-Toque y Uná.

b) Grupo 2, caracterizado por valores bajos del índice de curvatura y del ángulo sobreentendido y valores elevados del ángulo de abertura: playa de Juréia.

En una posición intermedia entre los dos primeros están:

c) Grupo 3, con las playas de Jukeí, Maresias, Paúba, Camburi y Brava.

d) Grupo 4, formado por las playas de Enseada y Guaratuba.

Bibliografía

AB'SABER, AZIZ N.: *Contribuição ao estudo do litoral paulista*, «Revista Brasileira de Geografia», vol. 17, n.º 1, 1955, pp. 3-48.

- AB'SABER, AZIZ N.: *A evolução geomorfológica da regiao de Santos*, en «A Baixada Santista» (A. Azevedo, coordinador), Editora da Universidade de São Paulo, vol. I, pp. 49-66.
- ARAYA, JOSÉ F.: *Morfometría de la curvatura de las playas entre Punta de Talca y Punta Toro (Chile central)*, «Informaciones Geográficas», vol. 17, 1967, pp. 5-30.
- CHRISTOFOLLETTI, A., y PIRES NETO, A. G.: *Morfometria planimétrica das praias entre Santos e São Sebastião*, «Revista Brasileira de Geografia», vol. 37, 1975 (en prensa).
- DOORNKAMP, J. C., y KING, C. A. M.: *Numerical analysis in Geomorphology*, Londres, E. Arnold, 1971, 372 páginas.
- KING, C. A. M.: *Techniques in Geomorphology*, Londres, E. Arnold, 1966, 342 páginas.
- KING, C. A. M.: *Beaches and Coasts*, Londres, E. Arnold, 1972 (2.ª ed.), 570 páginas.
- PARKS, J. M.: *Cluster analysis applied to multivariate geologic problems*, «Journal of Geology», vol. 75, n.º 5, 1966, pp. 703-715.
- PIRES NETO, A. G.: *Análise granulométrica dos sedimentos da praia de Juqueí*, «Notícia Geomorfológica», vol. 14, n.º 28-29, 1974, pp. 95-103.
- PIRES NETO, A. G., y OLIVEIRA, A. de: *Granulometria de sedimentos praias do litoral Centro-Norte do Estado de São Paulo, entre Bertioga e São Sebastião*, «Notícia Geomorfológica», vol. 16, n.º 31, 1967.
- TRICART, J.: *Aspectos geomorfológicos do litoral oriental do Brasil*, «Boletim Baiano de Geografia», vol. 1, n.º 1, 1960, pp. 5-39.

Resumé: Étude comparée des variables de la morphometrie planimetrique des plages du littoral de São Paulo (Brasil)

Une fois analysée la morphologie planimétrique du littoral de São Paulo, soit le tronçon compris entre Santos et São Sebastião, il a été possible d'établir différents composants variables de la morphologie littorale des baies, tels que longueur de la corde, rayon de courbure, angle sousentendu, index de courbure et angle de courbure. Une fois bien définies, nous avons recherché les relations entre les variables, que nous avons ensuite appliquées aux différentes baies; ce qui nous a donc permis de les classer en trois groupes: 1, celles qui se distinguent par les hautes valeurs de l'angle sousentendu et l'index de courbure, et par une basse valeur de l'angle d'ouverture; 2, celles qui se distinguent par une basse valeur de l'angle d'ouverture; 3, celles qui présentent des valeurs intermédiaires entre les deux groupes.

Abstract: Comparative study of the variables of the planimetric morphometry of the São Paulo littoral beaches (Brazil)

As a result of analysing the planimetric morphology of the littoral of São Paulo, in the section stretching from Santos to São Sebastião, different variable components of the coastal morphology referring to bays have been established, such as: length of the string, radius of the curvature, inferred angle, index of curvature and angle of a curvature. After defining these features, relationships between the variables have been sought and applied to the different bays reaching a classification of same into three groups: 1) those characterized by high values in the inferred angle and in the index of curvature and by low values in the opening angle; 2) those characterized by low values in the index of curvature and the inferred angle and high values in the opening angle; 3) those which present intermediate values between the previously mentioned groups.