

Caracterización geomorfológica y su relación con el uso y ocupación del suelo en la porción central del litoral del Estado de Paraíba - Brasil

Geomorphological Characterization and its Relationship with the Land Use and its Occupation of the Central Coast Strip of Paraíba State - Brazil

Max Furrier

Profesor adjunto, nivel IV, Departamento de Geociencias -
Universidad Federal da Paraíba - Brasil
Correo electrónico: Max.furrier@hotmail.com

Cristian Camilo Moncada González

Ingeniero Geógrafo y Ambiental
Facultad de Ingeniería - Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - Colombia
Correo electrónico: rudecristiano01@hotmail.com

Resumen: Este trabajo abarca una caracterización geomorfológica y de uso y ocupación del suelo ligado al relieve de la porción central del litoral de Paraíba - Brasil, conformado por las hojas topográficas Nossa Senhora da Penha y Santa Rita, donde el relieve es el tema central. Desde el punto de vista geomorfológico, el área en cuestión está asentada en las Bajas Mesetas Costeras y en las Tierras Bajas Litorales, siendo el primer compartimiento desarrollado, predominantemente, sobre los sedimentos mal consolidados de la Formación Barreiras y, el segundo, sobre sedimentos predominantemente inconsolidados del Cuaternario. La Formación Barreiras reposa, de forma discordante, de oeste hacia el este, sobre el embasamiento cristalino y sobre las rocas sedimentarias del Grupo Paraíba, dispuestas en la Cuenca Sedimentaria Marginal Paraíba. A partir de levantamientos cartográficos, aéreo fotogramétricos, interpretaciones de imágenes de satélite y de radar, observaciones en campo, de pozos perforados y de la integración e interpretaciones obtenidas, se puede concluir que las reactivaciones pos-cretácicas constituyen el factor más importante en la configuración morfológica del área de estudio. Estas reactivaciones fueron responsables por levantamientos distintos y

basculamientos de superficies geomorfológicas, además de crear numerosos y extensos fallamientos que dinamizaron los entalles y orientaron disecciones, definiendo la configuración y la compartimentación actual de las Bajas Mesetas Costeras de la región. La evolución y configuración actual del relieve poseen fuerte influencia en la distribución de los diversos usos y ocupaciones del suelo verificados.

Palabras-clave: Cartografía Geomorfológica, Formación Barreiras, Bajas Mesetas Costeras.

Abstract: This work covers a geomorphological characterization and use and occupation land ligated to the relief of the central portion of the coast of Paraíba - Brazil, conformed by the topographic cards Nossa Senhora da Penha and Santa Rita, where the relief is the central theme. From a geomorphological point of view, the area in question is settled in the Low Plateaus Coastal and Lowland Coastal, the first compartment developed predominantly on the wrong consolidated sediments of the Barreiras Formation and the second on sediments predominantly unconsolidated Quaternary. The Barreiras Formation rests, discordant way west to the

east, the crystalline base percentage and sedimentary rocks of Paraíba Group, arranged in Marginal Sedimentary Basin Paraíba. From mapping, aerial photogrammetric, interpretation of satellite imagery and radar, field observations of boreholes and integration and interpretations obtained, it can be concluded that the post-Cretaceous reactivations are the most important factor in shaping morphological study area. These reactivations were responsible for different surveys and geomorphological tilting surfaces and create numer-

Recibido: 02-02-2015

ous and extensive faulting that energized the notches and guided dissections, defining the configuration and the current partitioning of the Lower Coastal Tablelands region. The evolution and current configuration of the relief have strong influence on the distribution of the various uses and land occupations verified.

Keywords: Cartography Geomorphology, Barreiras Formation, Low Coastal Tablelands.

Aprobado: 03-09-2015

Introducción

Las áreas costeras ejercen una inmensa admiración, de modo que las poblaciones humanas tienden a aumentar la ocupación de estas áreas, mismo que de modo estacional. Cuando la ocupación se torna intensa, los factores antrópicos, se sobreponen a los fenómenos dinámicos, agravando las susceptibilidades naturales e introduciendo susceptibilidades inducidas y creando situaciones de crisis cada vez más complejas de diversos tipos (Suguo *et al.*, 2005).

En virtud de la complejidad natural y del nivel de intervención humana en la organización del espacio geográfico del ambiente costero, este segmento del relieve viene mereciendo atención cada vez mayor en cuanto a la manutención de su equilibrio, el que acaba llevando la necesidad de un conocimiento detallado de sus estructuras y de las fuerzas que intervienen en la adaptación de sus formas (Feitosa, 1996).

El relieve es el escenario de las más variadas actividades humanas. Cada una de las partes del relieve ofrece a la población en él establecido, una variedad de beneficios y riesgos, debido a su génesis y su proceso evolutivo, pudiendo aun ser ampliados, de acuerdo con el tipo de intervención impuesta por el hombre (Marquez, 1994).

Es en este contexto que la Geomorfología es empleada, pues son las formas del relieve, tanto en su génesis como en su evolución, y su objeto de estudio, sin embargo el relieve, en una rápida observación, parezca ser un componente estático del medio, está en constante proceso de evolución, con velocidades variadas, interactuando, en todo instante, con los demás componentes.

La interferencia humana en el relieve terrestre, sin un previo y amplio estudio de sus potencialidades y fragilidades, acaba minimizando los recursos naturales que en él podrían ser aprovechados, pudiendo, al mismo tiempo, causar daños al propio hombre, a sus descendientes y al medio ambiente.

En esta línea de investigación en la que el trabajo fue desarrollado. Se planteó el objetivo de estudiar las formas del relieve y su relación con los demás componentes, así como la intervención antrópica.

La caracterización y la cartografía de la morfología actual del relieve, su caracterización geomorfológica y evolutiva, bien como las tendencias aceleradas o no de la ocupación antrópica y su intervención, se constituyen en el contexto general de este trabajo. El conocimiento sobre las características del relieve, así como la cartografía temática del área de estudio son de fundamental importancia para la ejecución de futuros trabajos de planificación territorial y ambiental y de administración, fortaleciendo, también, datos que puedan contribuir para minimizar, de forma inmediata, varios impactos ambientales actuales relacionados con la temática del trabajo y sus respectivos daños a la sociedad y a la naturaleza.

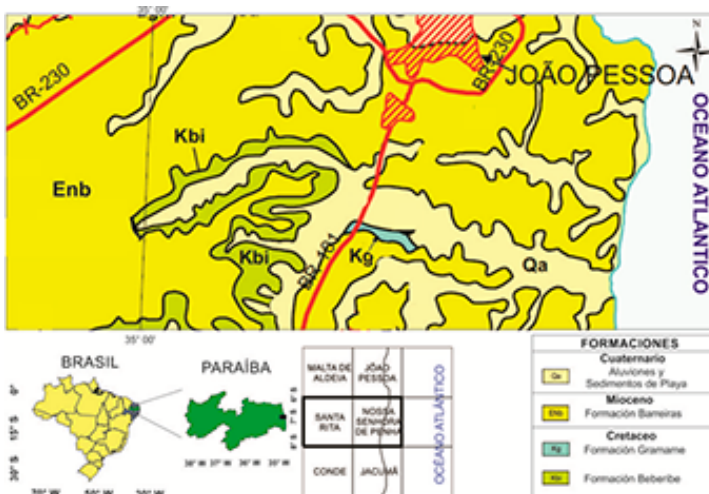
A través de este trabajo, se pretendo contribuir para un mejor conocimiento de la geomorfología de las Bajas Mesetas Costeras y de las Tierras Bajas Litorales de parte del litoral de Paraíba, bien como su estado actual, fortaleciendo, así, datos que puedan servir de ayuda para futuros proyectos de planificación ambiental y territorial y para futuras investigaciones que abarquen esta fracción del Estado.

Localización del área de estudio

El área de estudio está localizada en la porción centro sur del litoral del Estado de Paraíba, comprendiendo toda el área inmersa de las hojas topográficas Nossa Senhora da Penha y Santa Rita, ambas de escala 1:25.000. Esta área es delimitada, al norte por el paralelo $7^{\circ} 7'30''$ S y al sur, por el paralelo $7^{\circ} 15' S$, siendo su límite oeste el meridiano $35^{\circ} 00' W$. La delimitación oriental del área es con el Océano Atlántico (Figura 1).

El área de estudio posee aproximadamente 285 km^2 , con una extensión norte-sur de 14 km y oeste-este de 28 km. Estas divisiones son delimitadas por accidentes geográficos y/o denominaciones populares, a veces por falta de precisión. En el sentido este-oeste, el área de estudio posee una extensión mínima de 22 km debido a la configuración de la línea de costa.

Figura 1. Localización del área de estudio (Adaptado de Brasil, 2002)



CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA

El área de estudio está localizada integralmente en la Cuenca Sedimentaria Marginal Paraíba, última porción de la Plataforma Suramericana que se separó del continente africano, durante la abertura del Océano Atlántico (Françolin; Szatmari, 1987). La Cuenca Paraíba es clásicamente subdividida en subcuencas, estando el área de estudio localizada, en casi su totalidad, en la Subcuenca Alhandra.

La capa sedimentaria basal de la Cuenca Paraíba es la Formación Beberibe y fue así denominada, por primera vez por Kegel (1957), para designar los afloramientos fosilíferos que ocurren en el valle del Río Beberibe. Esta formación reposa de forma discordante, sobre el embasamiento cristalino precámbrico (Mabesoone; Alheiros, 1988). En el área de estudio, ocurren afloramientos relativamente extensos de la Formación Beberibe, siempre condicionados a valles fluviales que, por acción hidráulica, erosionó las formaciones sedimentarias superiores, exhumando esta formación.

La Formación Gramame es la primera unidad carbonática de dominio marino y reposa concordantemente sobre la Formación Beberibe. Esta denominación fue utilizada, por primera vez, por Oliveira (1940 *apud* Barbosa *et al.*, 2003), para designar los afloramientos de rocas calizas en el valle del Río Gramame, al sur de la ciudad de João Pessoa.

El espesor máximo de la Formación Gramame es de aproximadamente 70 m (Almeida, 2000). Con todo, predominan espesores inferiores a 55 m de los cuales más de dos tercios son representados por calizas arcillosas grises (Leal e Sá, 1988). En la base, las calizas son dolomíticas presentándose como foraminíferos-biomicritos, tornándose gradualmente cálcicos y más puros, a medida en que se aproxima a su parte superior. Es intensamente explorada, en el área de estudio, por la fábrica de cemento CIMPOR de Brasil. Pozos perforados para la obtención de agua por empresas particulares prueban la ausencia de calizas al oeste de la autopista BR 101. Tal ausencia refleja la no deposición de la Formación Gramame en esta área o la deposición y posterior erosión por exposición subaérea, característica del evento regresivo del nivel del mar. Por lo tanto, el límite actual de calizas en el área de estudio es de aproximadamente 20 km, a partir de la línea de costa en dirección al continente.

La Formación Maria Farinha representa la continuación de la secuencia de calizas de la Formación Gramame, siendo diferenciada de la última no por las características litológicas o estratigráficas, sino por el contenido fosilífero, que es considerado de edad paleocénica-eocénica inferior (Mabesoone, 1994).

La Formación Maria Farinha fue depositada en un ambiente marino poco profundo regresivo, siendo constituida, principalmente, por calizas dolomíticas muy fosilíferas. Presenta un espesor máximo de 35 m, probablemente debido a la erosión por la exposición subaérea anterior a la deposición de los sedimentos continentales de la Formación Barreiras que la recubre discordantemente (Leal e Sá, 1988).

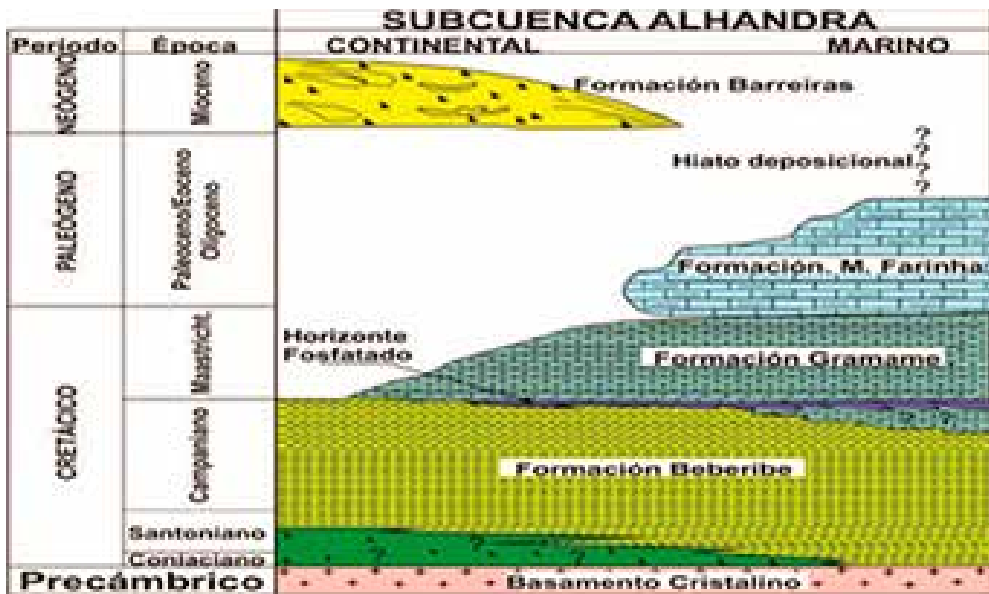
La Formación Beberibe es clásica de deposición continental (porción inferior) y meso-infralitoral (porción superior) más las formaciones calcarías de la deposición marina poco profunda, transgresiva-regresiva, denominadas respectivamente Formación Gramame y Formación Maria Farinha, componen el Grupo Paraíba que

rellena la Cuenca Sedimentaria Paraíba. La Formación Barreiras, de origen continental, cubre el Grupo Paraíba, mas no es componente de la Cuenca Paraíba, y sí, considerada apenas una cobertura residual de plataforma (Figura 2).

La designación Formación Barreiras ha sido aplicada, con aceptación imprecisa, para indicar sedimentos clásticos, pobres en contenido fosilífero, de colores vivos y variados, mal consolidados, que ocurren casi ininterrumpidamente, aflorando a lo largo de la costa brasileña, desde el Estado de Amapá hasta el norte del Estado de Rio de Janeiro (aproximadamente 4.000 km de longitud). Corresponde a areniscas, limolitas, arcillolitas y conglomerados, frecuentemente lenticulares, formando acantilados en grandes segmentos del litoral de la Región Nordeste de Brasil.

Según Alheiros *et al.* (1988), la deposición de los sedimentos de la Formación Barreiras se dio a través de sistemas fluviales entrelazados desarrollados sobre abanicos aluviales. Las facies de sistemas fluviales entrelazados presentan depósitos de granulometría variada con gravas y arenas gruesas a finas, de coloración crema amarillenta, con intercalaciones de microclastos de arcilla limosa, indicativo de ambientes de sedimentación calma como, por ejemplo, de planicie fluvial. La facies de abanicos es constituida por conglomerados polimícticos de coloración crema-rojizo, con cantos rodados y gránulos semiangulares de cuarzo y bloques de arcilla retrabajada, en cuerpos tabulares y lenticulares de hasta un metro de espesor, intercalados con capas limo-arcillosas menos espesa.

Figura 2. Columna estratigráfica de la Subcuenca Alhandra (Modificado de Barbosa, 2003)



Los sedimentos de la Formación Barreiras se depositaron, de forma discordante, de oeste hacia el este, sobre el embasamiento cristalino y sobre las Formaciones Beberibe,

Gramame y Maria Farinha. En el sector oeste del área de estudio, limitando a las proximidades de la autopista BR 101, la Formación Barreiras reposa directamente sobre la Formación Beberibe. Ya en la porción centro oeste, reposa sobre las Formaciones Gramame y Maria Farinha cuando esta no ha sido totalmente erosionada por el hiato deposicional anterior a la deposición de la Formación Barreiras (Figura 2).

El espesor de la Formación Barreiras en el Estado de Paraíba es bastante variable alcanzando espesores máximos entre 70 y 80 m (Leal e Sá, 1998). Al final del ciclo deposicional, el espesor de este conjunto sedimentario era, probablemente, muy superior al actual, por tratarse de un ambiente dominado por procesos denudacionales, desde el Plioceno si se toma en consideración la edad propuesta por Arai *et al.* (1988). Los diferentes espesores ahora verificados están siendo explicados, recientemente, por estudios de tectónica regional cenozoica originadas por reactivaciones de antiguas fallas en el embasamiento cristalino del Proterozoico (Brito Neves *et al.*, 2004).

Asmus (1975) interpreta la Cuenca Paraíba como la fase final de evolución tectono-sedimentar de las cuencas marginales brasileñas caracterizada por la subsidencia continúa de la margen continental, resultando en el engrosamiento vertical y avance progradacional de los sedimentos. Rand (1976), utilizando métodos geofísicos, la caracterizó como una rampa de bloques fallados (escalonados) de gradiente muy suave, inclinándose hacia el este.

Análisis de pozos tubulares perforados en la Cuenca Paraíba, en el área de estudio, fueron realizadas por Araujo (1993), Leal e Sá (1988) y Barbosa *et al.* (2003). En todos los trabajos, se constató una gran variación en las cotas de los niveles de calizas de la Formación Gramame, sugiriendo la existencia de fallas con considerables saltos, que pueden afectar, de manera sustancial, las bajas mesetas sobrepuestas.

Los depósitos cuaternarios abarcan una pequeña fracción del área de estudio, estando bien preservados, en algunos segmentos, y extremadamente ocupados y deteriorados por la acción antrópica. Estos depósitos pueden ser divididos en dos compartimientos: depósitos marinos/transicionales y depósitos continentales. Los depósitos marinos/transicionales identificados en el área son los siguientes: terrazas marinas pleistocenas, terrazas marinas holocenas, arrecifes rocosos (*beach rocks*), arrecifes coralinos, depósitos de manglar y áreas de playa. Los depósitos continentales identificados son: depósitos coluviales, conos de deyección, dunas inactivas y depósitos aluviales.

GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio está inmersa, básicamente, en dos dominios geomorfológicos distintos, cada uno de los cuales abarca varias unidades morfológicas. Los dominios reciben las siguientes denominaciones locales: Bajas Mesetas Costeras y Tierras Bajas Litorales.

Bajas mesetas costeras

Las Bajas Mesetas Costeras están inmersas en la macro compartimentación de las Mesetas Litorales Brasileñas. Esta compartimentación geomorfológica es sostenida por los sedimentos areno-arcillosos mal consolidados de la Formación Barreiras. En líneas

generales, constituyen unidades geomorfológicas de superficies aplanadas y suavemente inclinadas hacia el este, siendo abruptamente interrumpidas por los entalles fluviales y por los acantilados marinos esculpidos por la abrasión marina actual y/o pasada.

La compartimentación geomorfológica del área de estudio está íntimamente relacionada con esfuerzos tectónicos regionales extensionales generados por el alejamiento de la Plataforma Suramericana en relación al continente africano. Más recientemente, investigaciones apuntan a que eventos tectónicos cenozoicos tienen una importancia determinante en la configuración del relieve actual. Estos eventos tectónicos fueron ignorados en el pasado, más vienen siendo enfatizados en varios trabajos presentados en el último Simposio de Geología del Noreste de la Sociedad Brasileira de Geología. Trabajos de Bezerra *et al.* (1998 y 2001), Bezerra y Vita Finzi (2000), Barreto *et al.* (2002) y Brito Neves *et al.* (1999 y 2004) vienen mostrando la existencia interesante e importante de los movimientos tectónicos, no solamente distensionales, sino también, gravitacionales, durante la era Cenozoica, en la costa de la Región Noreste de Brasil y retaguardia.

La importancia mayor presumida y la mayor divulgación para la evolución geomorfológica de las Bajas Mesetas Litorales en la región fue para amplios arqueamientos y por sucesión de formación escalonada hacia el interior, de pediplanos, más subordinada al factor paleoclima (Brito Neves *et al.*, 2004). La identificación de procesos rúpteis pos-Cretáceo torna necesaria una revisión de la geomorfología de las Bajas Mesetas Costeras, principalmente con apoyo de métodos geofísicos.

La compartimentación de las Bajas Mesetas Costeras en distintos niveles topográficos ya había sido constatada en las bajas mesetas del Estado de Sergipe por Ponte (1969) y Leite (1973). Estos investigadores observaron que la superficie de las bajas mesetas se presentaba quebrada por bruscos desniveles, delimitando niveles paralelos, sugiriendo reactivación por fallamientos.

Tierras bajas litorales

Son terrenos relativamente planos de baja altitud formados por sedimentos depositados en el Cuaternario. Poseen altitudes modestas, generalmente inferiores a 10 m, aunque hayan planicies fluviales más lejos de la línea de costa con altitudes superiores.

Las Tierras Bajas Litorales están compuestas de formas variadas que resultan de la acumulación de sedimentos marinos, fluviales y fluvio-marinos. Sus características geomorfológicas son divididas en playas, terrazas marinas, planicies marinas, planicies fluvio-marinas, planicies fluviales y terrazas fluviales.

Seccionando las Bajas Mesetas Costeras, se encuentran valles drenados por ríos perenes que forman terrazas y planicies fluviales, siendo estas muchas más expresivas cuando se aproximan a la línea de costa y sufren influencia de las mareas. Progresivamente, hacia aguas arriba, se percibe un estrechamiento de estos depósitos, en algunos casos llegan hasta el mismo desaparecer.

Las planicies fluvio-marinas, son áreas inundables localizadas en los bajos cursos de los ríos, son fuertemente influenciadas por las oscilaciones de las mareas. Se muestran bastante amplias en el área de estudio, extendiéndose hasta 6 km hacia el interior

del continente, como es el caso de la planicie fluvio-marina del Río Gramame. Son constituidas por sedimentos areno-arcillosos, ricos en materia orgánica, que dan soporte a los manglares.

Para una caracterización geomorfológica más amplia y completa del área de estudio, fue desarrollada y elaborada una plancha geomorfológica en la escala 1:25.000 y posteriormente reducida para adecuarla a este artículo. La metodología para la elaboración de esta plancha geomorfológica fue utilizada la metodología perfeccionada por Ross (1992), con algunas adaptaciones, debido a la escala propuesta y a las peculiaridades del relieve local. La base de esta metodología de mapeo geomorfológico nació en el gran proyecto RADAMBRASIL en los años de 1970.

VEGETACIÓN Y USO DE LA TIERRA

El área de estudio presenta una vegetación variada que refleja las condiciones ambientales diferenciadas en sus diversos compartimientos morfopedológicos. También se observa la fuerte acción antrópica sobre todos los tipos de vegetación del área, donde algunos se encuentran irreversiblemente alterados, debido a la deforestación para leña y carbón vegetal, agroindustria de alcohol para combustibles, agricultura de subsistencia, especulación inmobiliaria y expansión urbana.

Gran parte de las Bajas Mesetas Costeras y, en menor extensión las Tierras Bajas Litorales, eran cubiertos por la “Mata Atlántica”, denominación dada en un principio por los portugueses. Actualmente, constituye en un nombre genérico con que es conocida una gran variedad de matas tropicales húmedas que ocurren en las regiones costeras del Brasil, acompañando la distribución de la humedad traída por los vientos alisios del sureste (Conti; Furlan, 1998).

Hasta finales de los años de 1960, el cultivo de caña de azúcar se limitaba a las terrazas y a las planicies fluviales de los ríos de la región y en algunas pendientes menos inclinadas de las bajas mesetas, siendo sus cumbres, por presentar condiciones edáficas desfavorables (suelos distróficos y arenosos) eran destinados a los cultivos de subsistencia. Es decir, las cumbres por sus características edáficas desfavorables eran un límite natural para la expansión del cultivo de caña-de-azúcar (Moreira; Targino, 1997).

La creación de PROALCOOL en 1975, apoyada en una fuerte política de incentivos fiscales y financiamientos, permitió la expansión de la caña de azúcar sobre las Bajas Mesetas Costeras, rompiendo la barrera natural impuesta por las condiciones edáficas desfavorables de estas áreas (Moreira; Targino, 1997). Los incentivos gubernamentales, junto a los precios del azúcar y posteriormente, de alcohol, compensaron las inversiones necesarias para la adquisición de nuevas tierras, la modernización de los equipamientos, la ampliación del empleo de fertilizantes, herbicidas y de otras variedades de caña-de-azúcar más adaptadas a las nuevas condiciones ecológicas (Egler; Tavares, 1984).

PROCEDIMIENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Penck (1953) observó que las actuales formas del relieve terrestre son resultantes de dos fuerzas antagónicas, pero que actúan simultáneamente durante todo el proceso de formación. Estas fuerzas son denominadas endógenas y exógenas. Las fuerzas

endógenas son originadas al interior de la Tierra y generadas por la desintegración de elementos radiactivos. Ya que las fuerzas exógenas son controladas por la radiación electromagnética emitida por el sol que actúa directamente en la dinámica de la atmosfera y de los océanos. Los fenómenos atmosféricos, como las lluvias, los vientos, la variación de la temperatura y la acción química y física del agua que sumado a los agentes biológicos son los agentes esculpidores del relieve terrestre.

Fundamentándose en las concepciones de Penck (1953), Mescerjakov (1968) estableció los conceptos de morfoestructura y morfoescultura, fortaleciendo, con eso, una nueva dirección teórico-metodológica a los estudios geomorfológicos. Mescerjakov (op cit.) estableció una clasificación del relieve terrestre en dos categorías principales necesarias para el análisis geomorfológico. Estas categorías son los elementos de la morfoestructura y de la morfoescultura.

Las morfoestructuras poseen origen y edades diferentes y se caracterizan como: los cinturones orogénicos, las depresiones denudacionales, depresiones tectónicas, cuencas sedimentarias, entre otras.

Las morfoesculturas corresponden a los rasgos del relieve generados sobre las morfoestructuras, a través de los procesos exógenos. El modelado del relieve generado por la acción de las características ambientales pasadas y actuales que dejan sus marcas en la superficie de las morfoestructuras. Se caracterizan como morfoesculturas altiplanos, sierras, mesetas, cerros, planicies, entre otras.

Apoyado en esas directrices todo el relieve de la Tierra, cualquier que sea su dimensión, tiene una influencia de la estructura que le impone un comportamiento morfoestructural y también la influencia del ambiente pasado y actual que determina el patrón morfoescultural. Esta metodología de investigación geomorfológica es la propia expresión redimensionada de las ideas de Penck (1953) sobre los procesos endógenos y exógenos.

Basado en esos conceptos, Mescerjakov (1968) establece una jerarquización para la clasificación del relieve, creando un nuevo enfoque metodológico para la investigación geomorfológica.

Esta concepción, fundamentada en la delimitación del relieve a través de los conceptos de morfoestructura y morfoescultura para posterior análisis geomorfológico, pasa, obligatoriamente, por la cartografía geomorfológica. Siguiendo esta concepción se hace evidente la dependencia entre la investigación geomorfológica y la cartografía del relieve, cuyo producto – mapa/plancha – y al mismo tiempo, instrumento de análisis y documento de síntesis de la investigación.

Como visto anteriormente, la cartografía geomorfológica, se torna una importante herramienta en el estudio del relieve, pues es en el mapa geomorfológico es donde se traducen y se sintetizan varias metodologías y los resultados de las respectivas investigaciones.

Basándose en los conceptos y fundamentaciones teórico-metodológicas citadas, Ross (1992), apoyado en la interpretación genética, estableció dos niveles jerárquicos de entendimientos para el relieve: el primer taxón que es también el mayor se denomina morfoestructura, y el segundo, definido por un taxón menor son las unidades morfoesculturales, generadas por la acción climática desencadenadora de los más variados procesos en el interior de la unidad morfoescultural, a lo largo del tiempo geológico.

En la representación cartográfica, cada unidad morfoestructural es indicada por una familia de colores, como verde y rojo, por ejemplo. Cada variación de tono indica una unidad morfoescultural.

En una determinada unidad morfoescultural, se observan conjuntos de formas menores del relieve que presenta distinciones de apariencia entre sí en función de la rugosidad topográfica o del índice de disección del relieve, bien como la formación de ápices, pendientes, valles de cada patrón existente. A este tercer taxón, inserido en una determinada unidad morfoescultural y de dimensión inferior, se da el nombre de Unidades de los Patrones de Formas Semejantes del relieve o Patrones de Formas del Relieve. Es en este taxón que los procesos morfoclimáticos comienzan a ser percibidos. Los Patrones de Formas del Relieve pueden ser: formas de acumulación, como las planicies fluviales y marinas, o formas oriundas de procesos denudacionales, como colinas, mesetas, cerros, entre otras. Son delimitados en el mapa geomorfológico y representados por conjuntos de letras-símbolo mayúsculas y minúsculas (Cuadro 1).

Debido a la escala adoptada en el presente trabajo y algunas características del relieve, fueron elaboradas nuevas nomenclaturas de formas de denudación y de acumulación que pudiesen ser lo más posible fidedignas con lo que fue encontrado y, consecuentemente, cartografiado. Para las formas de acumulación, fueron incorporados nuevos términos ya propuestos por Ross (1992) y la incorporación de formas de acumulación coluviales. Estas adhesiones se hicieron necesarias debido a la escala adoptada, pues en algunos casos no fue posible diferenciar, por ejemplo, terraza fluvial de planicies fluvial, terraza marina de planicie marina, depósito de coluvio de terraza fluvial. Por lo tanto los nuevos términos adoptados fueron: formas de terraza y planicie marina (Atpm), formas de depósito de coluvio, terraza y planicie fluvial (Actpf), formas de depósito de coluvio y terraza fluvial (Actf).

Cuadro 1. Patrones de Formas del Relieve.

FORMAS DE DENUDACIÓN	FORMAS DE ACUMULACIÓN
D – DENUDACIÓN	A – ACUMULACIÓN
Da – Formas con ápices aguzados	Apf – Formas de planicie fluvial
Dc – Formas con ápices convexos	Apm – Formas de planicie marina
Dm – Formas en mesetas	Apl – Formas de planicie lacustre
De – Formas de escarpes	Api – Formas de planicie intermareal
Dv – Formas de vertientes	Ad – Formas de campos de dunas
	Atf – Formas de terraza fluvial
	Atm – Formas de terraza marina

Fuente: Adaptado de Ross (1992)

Los Patrones de Formas del Relieve son acompañados de un conjunto de algoritmos arábigos, de acuerdo con una matriz previamente elaborada cuyas columnas indican el grado de incisión de los valles, las filas, la dimensión interfluvial media (Cuadro 2). Las formas agradacionales no reciben los algoritmos arábigos, pues no representan disección por procesos erosivos.

El cuarto taxón en orden decreciente, se caracteriza por los Tipos de Formas

del Relieve que presentan semejanzas entre si tanto en la morfología como en la morfometría, es decir en la forma y en el tamaño.

Cuadro 2. Matriz de los índices de disección del relieve.

Dimensión inter-fluvial media (clases) Incisión media de los Valles (clases)	Muy grande (1) >1.500m	Grande (2) 1.500 a 700 m	Media (3) 700 m a 300 m	Pequeña (4) 300 a 100 m	Muy Pequeña (5) < 100 m
Muy débil (1) < 20 m	11	12	13	14	15
Débil (2) 20 a 40 m	21	22	23	24	25
Media (3) 40 a 80 m	31	32	33	34	35
Fuerte (4) 80 a 160 m	41	42	43	44	45
Muy fuerte (5) > 160 m	51	52	53	54	55

Fuente: Modificado de Ross (1992).

La representación cartográfica del cuarto taxón (Tipos de Forma del Relieve) se hace en conjunto con una representación del tercer taxón (Patrones de Forma del Relieve). Un Patrón de Forma del Relieve tipo Dc 23 es constituido por relieve denudacional de ápices convexos con incisión medio de 20 a 40 m y dimensión interfluvial media de 300 a 700 m.

Para ser calculados las incisiones fluviales, es imprescindible tener en consideración la estructura geológica/geomorfológica regional y la jerarquización de la red de drenaje. Para los Altiplanos y Sierras del Atlántico Este-Sudoeste (Ross, 1985) las incisiones fluviales que dan la dimensión real del relieve regional son los medidos en ríos de 3^{er} orden, en cuanto a las Mesetas Litorales, por ejemplo, los entalles fluviales de los ríos de 2^{do} orden ya pueden ser suficientes para la jerarquización y caracterización de los Patrones de Formas del Relieve.

El quinto taxón en orden decreciente, corresponde a las pendientes o los sectores de pendientes que componen los Tipos de Formas del Relieve Individualizados. Una pendiente o incluso un mismo sector de pendiente por las características geométricas, genéticas y dinámicas.

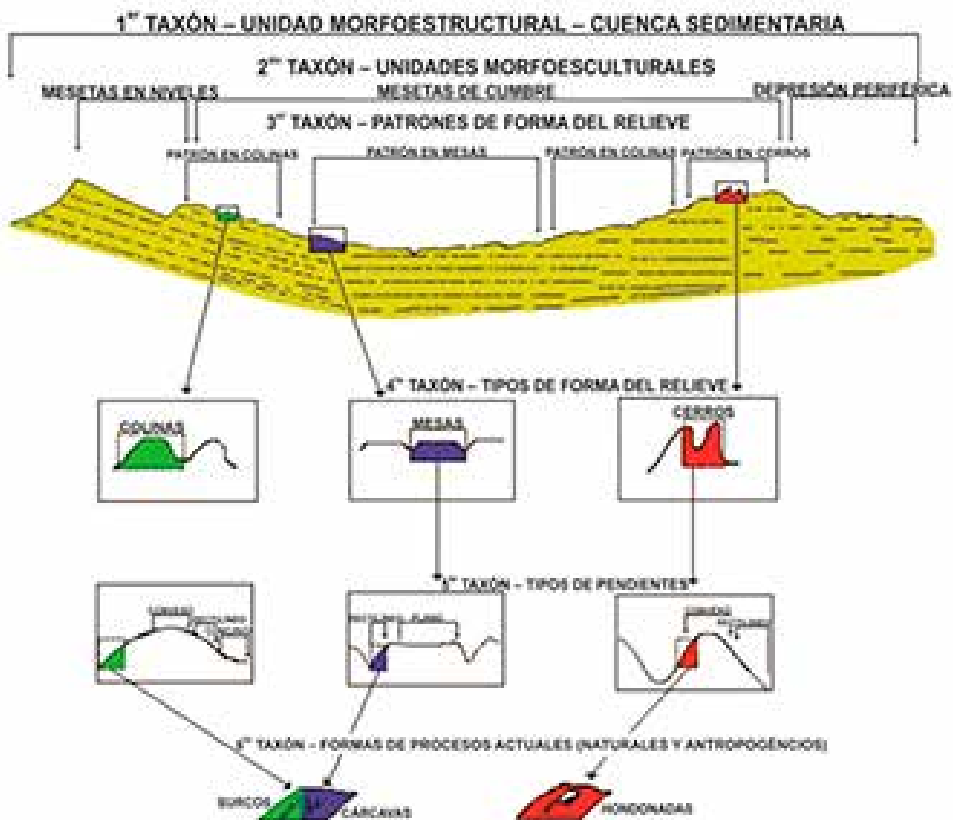
Debido a las propias dimensiones de las vertientes o de sus sectores, el quinto taxón solo puede ser representado cartográficamente en escalas grandes, mayores o iguales a 1:25000. Los Tipos de Formas del Relieve Individualizados son representados por letras símbolo, como Pe (pendiente escarpada), Pc (pendiente convexa), Pcc (pendiente

cóncava), Pr (pendiente rectilínea), Ac (ápices convexos), Ap (ápices planos), entre otras.

El sexto taxón, en orden decreciente, representa las menores formas mapeables. Son formas producidas por los procesos erosivos o deposicionales actuales. Como ejemplo de este taxón, pueden ser citadas formas causadas por agentes naturales, tales como hondonadas, cárcavas, cicatrices de deslizamientos, colmatación, bancos de sedimentación actual y las formas antrópicas, como: corte, aterros, desmontes de morros, entre otras (Figura 3).

La representación cartográfica del sexto taxón posee los mismos problemas descritos en el quinto taxón, es decir, solamente pueden ser representados en escalas grandes, en las cuales la fotografía aérea y las imágenes orbitales de alta resolución son herramientas indispensables. Su representación cartográfica, cuando es posible, es realizada a través de símbolos.

Figura 3. Unidades taxonómicas de clasificación del relieve (Modificado de Ross, 1992)



Una excelente aplicabilidad de esta metodología, ya muy impregnada en otros trabajos, inclusive en la cartografía geomorfológica del Estado de São Paulo (Ross, Moroz, 1997), como la fácil lectura del mapa final con amplia gama de informaciones registradas en su leyenda integrada, hace de esta metodología la más adecuada para el desarrollo de la cartografía propuesta para esta parte del trabajo.

PROCEDIMIENTOS TECNICO-OPERACIONALES

La técnica utilizada para la elaboración de los mapas temáticos propuestos se constituyen básicamente en dos fases, la primera fase fue la elaboración de la plancha hipsométrica y de inclinación de las pendientes que necesitaran de cálculos matemáticos ejecutados por el *software* específico. Las ocho hojas topográficas que engloban el área de estudio fueron escaneadas para su posterior vectorización, en el software apropiado, de todo su contenido como: curvas de nivel, hidrografía, malla vial, área urbana y límites administrativos.

Se optó por la vectorización de las ocho hojas topográficas 1:25.000 que componen la plancha topográfica 1:100.000, por el hecho de las misma presentar curvas de nivel a equidistancias de 10 m, resultando mayor detalle del relieve, ya que en la hoja topográfica 1:100.000 presenta equidistancia en las curvas de nivel de 40 m, omitiendo, así, rasgos considerables de gran parte del relieve en mesetas. Las ocho hojas topográficas en escala 1:25.000, totalmente digitalizadas, fueron comprimidas para la escala 1:100.000, escala propuesta para el presente trabajo. El resultado fue extremadamente satisfactorio, pues el producto final fue una hoja topográfica escala 1:100.000 con detalle en la escala de la hoja topográfica en escala 1:25.000.

Después de la vectorización de las hojas topográficas 1:25.000 y posterior reducción para la escala 1:100.000, las curvas de nivel fueron exportadas al *software* SPRING, con el cual fueron realizados los cálculos que resultaron en la plancha hipsométrica y de inclinación de las pendientes. Para la plancha hipsométrica, los intervalos fueron delimitados a cada 10m, hasta el límite de 20 m y, a cada 20 m, hasta el límite de 140 m. Hubo la necesidad de que se delimitaran intervalos de 10 m, en las menores altitudes del área, para identificar los acantilados y algunas terrazas, del modo más claro posible. En la plancha de inclinación de las pendientes los intervalos empleados fueron basados en Herz y De Biasi (1989).

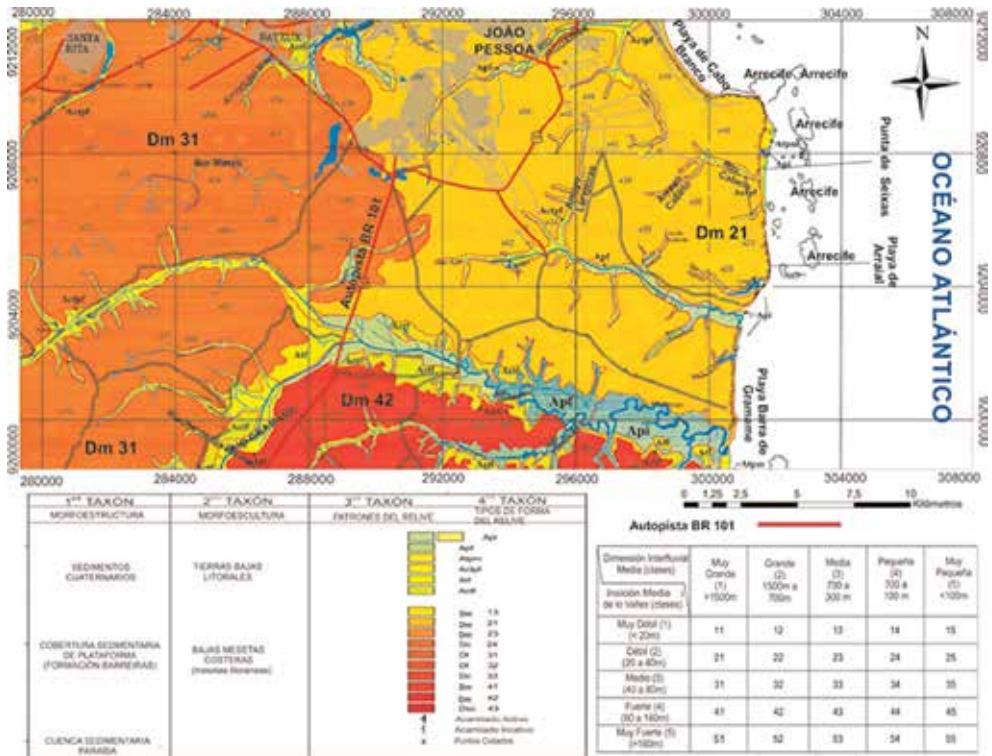
La segunda fase consistió en la elaboración y desarrollo de las siguientes planchas temáticas: geomorfológica, de uso y ocupación de la tierra y de fragilidad de los ambientes naturales y antrópicos. Estas planchas fueron elaboradas directamente en papel poliéster, con ayuda de fotografías aéreas, imágenes orbitales, hojas topográficas y de trabajos de campo. Después de la elaboración en papel poliéster, los croquis de las hojas fueron escaneados y posteriormente vectorizados en el software apropiado. En ninguna etapa de la elaboración de estas tres planchas temáticas se utilizaron cálculos por *softwares*.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados geomorfológicos fueron sintetizados en la plancha geomorfológica elaborada y ajustada a su escala y a las normas del artículo. Fueron cartografiados tres grandes compartimientos denudacionales, clasificados según la metodología aplicada en Dm 21, Dm 31 y Dm 42, por tanto predominan las formas de Bajos Mesetas con una planicie fluvial e intermareal de dimensiones considerables en el sector sur del área (Figura 4).

Las formas denudacionales clasificadas como Dm 41, ocurren en el extremo oriente del área formando, en muchos segmentos, acantilados activos debido al choque de las olas en su base. De todos los sectores cartografiados es el que presenta la mayor área de ocupación humana por el avance de la urbanización donde predominan los problemas más severos en cuanto a los procesos erosivos actuales en sus acantilados. Se limita al sur con el Río Gramame, que se presenta como un graben, separándolo de los compartimientos Dm 43 y Dm 21. Este graben es verificado por el surgimiento de la Formación Gramame en su margen sur, y en el lado opuesto se encuentra a más de 30 m constatada por pozos perforados para la obtención de agua, este es uno de los aspectos más citados sobre la gran variación geomorfológica derivada de las fallas en el Grupo Paraíba, como se mencionaron anteriormente (Figura 4).

Figura 4. Plancha geomorfológica del área de estudio



Los grandes compartimientos Dm 31 encontrados en el sector oriental del área se presentan bastante amplios y con una baja densidad de drenaje. Por ello los drenajes encontrados poseen valles bastante profundos con pendientes de elevadas declividades. Esta fuerte incisión de los ríos es comprobada por los afloramientos de la Formación Beberibe en una gran área, lo que comprueba una fuerte incisión fluvial y los afloramientos de esas formaciones del Grupo Paraíba del Cretácico. Otras características verificadas en cuanto a la geomorfología de este sector son las fuertes inflexiones verificadas en los cursos de los ríos Gramame y Mamuaba y la dirección NE-SO del Río Mussuré, totalmente anómala al patrón morfológico de las redes de drenaje adyacentes (Figura 4).

La forma denudacional donde los procesos erosivos, las incisiones fluviales y las declividades de las pendientes son más pronunciadas, fueron cartografiadas como Dm 42. Sin embargo esa morfología es fraccionada por el recorte del área investigada, la misma posee altitudes elevadas más al sur, ya fuera del área de estudio. Dentro del área de estudio es bastante visible una densidad de drenaje más elevada, donde el Río Gramame posee muchos más afluentes y más amplios. Al sur del Río Gramame es bastante visible las formas trapezoidales que verifican el graben y el confinamiento del río (Figura 4).

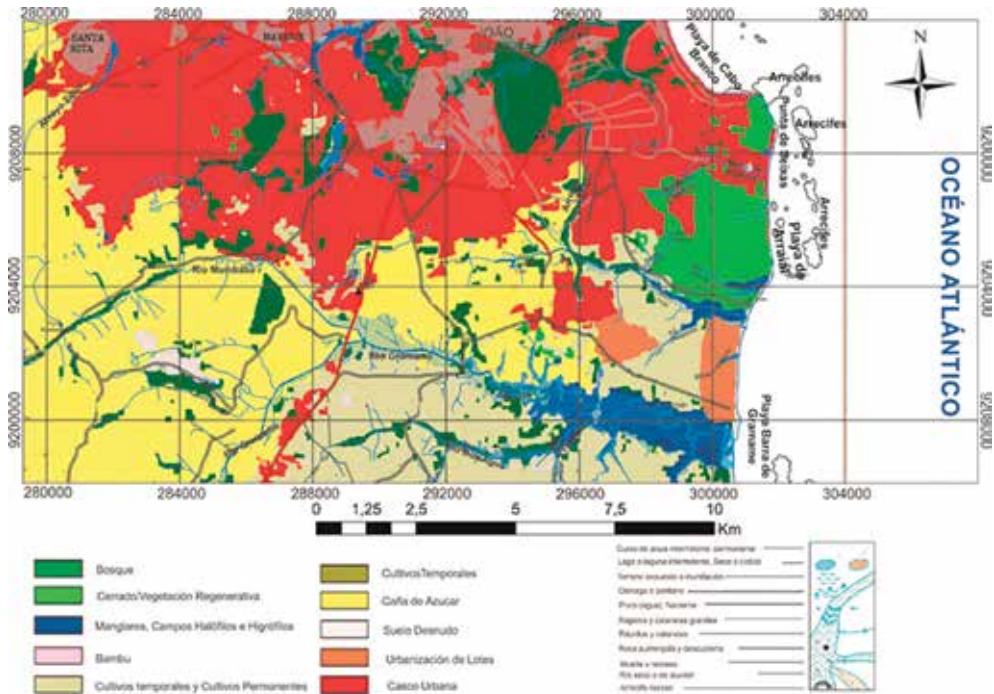
Las formas agradacionales son verificadas en menor exposición en las planicies marinas que son bastante confinadas por los acantilados activos e inactivos. No hay en el área cartografiada un sector de expresión geográfica considerada de planicie costera. La mayor área de sedimentación actual se encuentra en el valle del Río Gramame, donde son verificadas las áreas de planicie intermareal (Api), hasta donde ocurre la influencia de las aguas salinas y después las planicies fluviales, donde ocurren las inundaciones actuales del Río Gramame sin la influencia de las aguas del mar. Se verifican también planicies confinadas en muchos ríos y arroyos donde no es posible hacer la correcta división entre una terraza y una planicie y por eso se optó por la agrupación teniendo en cuenta que no son áreas denudacionales y si agradacionales. En el valle del Río Gramame, también son visualizadas terrazas estructurales debido a la exposición de rocas por debajo del Grupo Paraíba del Cretácico. Por la diferente resistencia litológica a los procesos, las formaciones Beberibe y Gramame forman estas terrazas estructurales mucho más pronunciadas en la margen sur debido a la estructura fallada de la Cuenca Paraíba (Figura 4).

En la plancha de uso y ocupación de la tierra, se visualiza la gran expansión de la región metropolitana de João Pessoa sobre las mesetas Dm 21 y Dm 31. En la plancha geomorfológica se optó por no colocar los cascos urbanos actuales para verificar con mejor precisión la geomorfología. El sentido más fuerte de crecimiento de la región metropolitana de João Pessoa es al sur, justamente donde se encuentran las mesetas más planas y con mayor facilidad para construcciones. Sin embargo el avance será muy fuerte, se verifica algunas áreas verdes como el Jardín Botánico en las márgenes de la autopista BR 230 (Figura 5).

El verde más claro localizado en el sector nororiental es el Área de Protección Ambiental (APA) de Jacarapé. Es un área de vegetación nativa que se encuentra sobre un antiguo campo de dunas y por ello su corte se torna en un potencial desequilibrio para ese sistema de dunas. De cualquier forma es posible percibir que en su sector

norooeste ya existe una expansión urbana irregular caracterizada por la mancha roja. Al norte de la APA – Jacarapé se encuentra otra área de APA, la APA Cabo Branco, punto de discordia política debido a su punto estratégico, de increíble belleza escénica y por tanto con batallas judiciales para su uso más intensivo (Figura 5).

Figura 5. Plancha de uso y ocupación de la tierra



La segunda área más amplia verificada es la ocupada por la caña de azúcar destinada principalmente para producción de alcohol combustible. Este cultivo se instaló en las mesetas más amplias y planas para facilitar su manejo y mecanización. Sin embargo, los suelos desarrollados sobre la Formación Barreiras son todos de baja fertilidad y por eso la fertilización artificial es intensificada contaminando en muchos casos los acuíferos de la región, además de la pobreza característica de los suelos, la Formación Barreiras es altamente porosa y permeable, lo que facilita la contaminación del agua subterránea. El avance de la cultura de la caña de azúcar es tan fuerte que es posible verificar la misma avanzando en ciertas partes del propio valle del Rio Gramame (Figura 5).

En el compartimiento al sur (Dm 42) donde el relieve es bastante accidentado, la cultura de la caña de azúcar no se instaló, probablemente, debido a la imposibilidad de la mecanización. En este sector predomina la agricultura temporaria y de subsistencia, donde predomina el bambú para la producción de papel y la agricultura tradicional predominante en propiedades pequeñas de minifundios.

Los datos obtenidos en el presente trabajo muestran la extrema proximidad entre las formas del relieve y el uso y la ocupación de la tierra. Y cualquier diagnóstico para planificación ambiental u ordenamiento territorial tiene por obligación la comprensión de los dos y su estrecha relación. Cualquier que sea o proyecto futuro, de cualquier parte del planeta Tierra, para planificación ambiental u ordenamiento territorial tiene por obligación acordar que el relieve y la ocupación sobre él son históricos y muchas veces inseparables y que la negligencia de uno puede causar conflictos severos. El relieve es el escenario de todas las actividades sociales y económicas del hombre, y negarlo es renunciar a sus potenciales y fragilidades.

Referencias bibliográficas

- Alheiros, M. M.; Lima Filho, M. F.; Monteiro, F. A. J.; Oliveira Filho, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. Anais... Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.
- Almeida, J. A. C. Calcários recifais eocênicos da Formação Maria Farinha na subbacia Alhandra, Paraíba: aspectos taxionômicos, paleoecológicos, paleoambientais e estratigráficos. 2000. 164f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.
- Arai, M.; Uesugui, N.; Rossetti, D. F.; Goes, A. M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. Anais... Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 738-752.
- Araújo, M. E. Estudo geomorfológico do extremo sul do litoral da Paraíba. 1993. 143f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1993.
- Asmus, H. E. Controle estrutural da deposição mesozóica nas bacias da margem continental brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 5, n. 3, p. 160-175, 1975.
- Barbosa, A. J.; Braga, A. P. G. Projeto leste da Paraíba e Rio Grande do Norte. Relatório final integrado, Folhas SB.25-V-C e SB.25-Y-A. Recife: DNPM/CPRM, 1974.
- Barbosa, J. A.; Souza, E. M.; Lima Filho, M. F.; Neumann, V. H. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos CTG/UFPE*, Recife, v. 13, p. 89-108, 2003.
- Barreto, A. M. F.; Bezerra, F. H. R.; Suguio, K.; Tatum, S. H.; Yee, M.; Paiva, R. P.; Muniz, C. S. Late Pleistocene marine terrace deposits in northeastern Brazil: sea-level change and tectonic implications. *Paleogeography, Paleoclimate, Paleoecology*, v. 179, p. 57-69, 2002.
- Bezerra, F. H. R.; Vita-Finzi, C. How active is a passive margin? Paleoseismicity in northeastern Brazil. *Geology*, v. 28, p. 591-594, 2000.
- Bezerra, F. H. R., Lima Filho, F. P., Amaral R. F., Caldas, L. H. O.; Costa Neto, L. X. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: Stewart, I. S.; Vita-Finzi, C. (Eds.). *Coastal Tectonics*. Geologic Society London, Special Publication, v. 146, p. 279-293, 1998.
- Bezerra, F. H. R.; Amaro, R. F.; Vita-Finzi, C.; Saadi, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. *Journal South American Earth Science*, v. 14, p. 61-75, 2001.
- Brito Neves, B. B.; Ricomini, C.; Fernandes, T. M. G. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino: um legado proterozóico. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS OF THE SBG, 1., 1999. Lençóis. Anais... Lençóis: SBG, 1999. Seção 4, p. 21-24.
- Brito Neves, B. B.; Ricomini, C. Fernandes, T. M. G.; Sant'anna, L. G. O sistema tafrogênico terciário do saliente oriental nordestino na Paraíba: um legado proterozóico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 1, p. 127-134, 2004.

- Conti, J. B.; Furlan, S. A. Geoeecologia: o clima, os solos e a biota. In: Ross, J. L. S. (Org.). Geografia do Brasil. São Paulo: EDUSP, 1998. p. 67-207.
- Egler, C.; Tavares, S. Impactos sociais, econômicos e ambientais do Proalcool na Paraíba. Cadernos Codecit 002, série Impáctos Tecnológicos, n. 1, p. 17-35, 1984.
- Feitosa, A. C. Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da ilha do Maranhão. 1996. 249f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1996.
- Françolin, J. B. L.; Szatmari, P. Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. Revista Brasileira de Geociências, v. 17, n. 2, p. 196-207, 1987.
- Gopinath, T. R.; Costa, C. R. S.; Júnior, M. A. S. Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1993. Natal. Atas... Natal: SBG/Núcleo Nordeste, 1993. v. 1, p. 47-48.
- Herz, R.; De Biasi, M. Critérios e legendas para macrozoneamento costeiro. Ministério da Marinha/Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Brasília: MM, 1989.
- Kegel, W. Novo membro fossilífero da Formação Itamaracá (Cretáceo Superior) de Pernambuco. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 3, n. 29, p. 373-375, 1957.
- Leal e Sá, L. T. Levantamento geológico-geomorfológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, no trecho compreendido entre Recife-PE e João Pessoa-PB. 1998. 127f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.
- Leite, L. W. Geomorfologia dos tabuleiros costeiros de Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., 1973. Aracaju. Anais... Aracaju: SBG, 1973. v. 1, p. 373-384.
- Mabesoone, J. M. Sedimentary basins of northeast Brazil. Recife: UFPE/CT/DG Publicação Especial n. 2, 1994. 310p.
- Mabesoone, J. M.; Alheiros, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. Revista Brasileira de Geociências, v. 18, n. 4, p. 476-482, 1988.
- Marques, J. S. Ciência geomorfológica. In: Teixeira Guerra, A. J.; Cunha, S. B (Org.). Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 23-50.
- Mescerjakov, J. P. Les concept de morpostructure et de morphosculture: un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. Annales de Géographie, v. 77, n. 423, p. 539-552, 1968.
- Moreira, E.; Targino, I. Capítulos de geografia agrária da Paraíba. João Pessoa: EDUFPPB, 1997. 332p.
- Penck, W. Morphological analysis of landforms. London: Macmillan and Co, 1953. 350p.
- Ponte, F. C. Estudo morfoestrutural da Bacia Sergipe-Alagoas. Boletim Técnico da PETROBRÁS, v. 12, n. 3, 1969.
- Rand, H. M. Estudos geofísicos na faixa litorânea no sul do Recife. 1976. 112f. Tese (Livre-Docência) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1976.
- Ross, J. L. S. Relevô brasileiro: uma nova proposta de classificação. Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP, São Paulo, v. 4, p. 25-39, 1985.
- Ross, J. L. S. O registro dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.
- Ross, J. L. S.; Moroz, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: FFLCH-USP/IPT/FAPESP, 1997. 64p. (Escala 1:500.000).
- Suguio, K.; Angulo, R. J.; Carvalho, A. M.; Corrêa, I. C. S.; Tomazelli, L. J.; Willwock, J. A. Vital, H. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: Souza, C. R.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; De Oliveira, P. E. (Ed.). Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos, Editora, 2005. p. 114-129.