

Simposio Latinoamericano de Percepcion Demata, 7, 1995.

PROCESAMIENTO DIGITAL Y INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE IMÁGENES TM-LANDSAT DEL ÁREA AL ESTE DE LA MINA DE CAMAQUÁ (LÍMITE PROTEROZOICO/FANEROZOICO), ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL-BRASIL.

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida *

Wellington Ferreira da Silva Filho

Heitor Siqueira Sayeg

Gelson Luis Fambrini

Rômulo Machado

Antônio Romalino Santos Fragoso Cesar

Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo

Caixa Postal 11.348 - CEP 01422-970 - São Paulo, SP - Brasil

*E-mail: tirdalme@usp.br

RESUMEN

La Cuenca de Camaquá fué formada durante los estadios finales de la acreción gondwánica, sobre las milonitas del Grupo Porongos. Fueron depositadas dos secuencias sedimentarias silicoclásticas, la inferior localizada en la región de la Mina de Camaquá. La secuencia superior (Formación Guaritas) se compone, en la base, de areniscas eólicas con andesitas intrusivas (Rodeio Velho), y areniscas deltáico-fluviales en la parte superior. El relieve está fuertemente controlado por la composición litológica y por la estructura geológica, con patrón general de drenaje rectilíneo. La vegetación domina la respuesta espectral, estando compuesta aquella por gramíneas con árboles y arbustos dispersos en los campos o en pequeños grupos. La escasa potencia general que presenta el suelo posibilita una exposición subordinada de las litofacies. De acuerdo a los datos de campo, colectaronse parámetros estadísticos en las bandas originales (2, 3, 4, 5, y 7, con corrección atmosférica), los cuales sirvieron de base para el procesamiento digital de imágenes. Los mejores realces de litofacies fueron conseguidos por Análisis por Componentes Principales (ACP), comparándose los resultados con los parámetros estadísticos de la transformación y los de las bandas originales. El análisis preliminar de las imágenes así obtenidas permitió la identificación de patrones espectrales diferenciados en las pelitas, areniscas y conglomerados de la secuencia inferior, areniscas eólicas y fluvio-deltáicas de la Formación Guaritas, andesitas Rodeio Velho y Complejo Porongos. En la C1 se evidenciaron los patrones texturales, relacionados con el relieve y las diferencias de albedo de la vegetación y de las litofacies expuestas. En la C2 fue evidenciada la respuesta espectral de la vegetación arbórea, realizándose el Complejo Porongos y el de Rodeio Velho, y la de las gramíneas, en áreas de desarrollo de areniscas finas de la secuencia inferior y del Guaritas eólico. En la P4, fué evidenciado los lito-tipos de las areniscas y los conglomerados de las dos secuencias, además de las crestas cuarcíticas del basamento.

I-INTRODUCCIÓN

La cuenca de Camaquá está situada en el Estado de Rio Grande do Sul, es el más austral de los estados de la República Federativa de Brasil y comprende una área de gran interés geológico, por su importancia mineral, productora tradicional de cobre en el Brasil, y por su geología variada y bien expuesta (figura 1). Geológicamente se sitúa en el Escudo Gaucho, habiendo sido depositado sobre los terrenos metamórficos y ígneos milonitizados y metasedimentarios del Complejo Porongos. Como actualmente entendida (Fragoso Cesar et al., in prep.), la cuenca ha sido formada después de la acreción Neoproterozóica devido a la actuación de otros eventos tectónicos, aprovechando las discontinuidades originadas en eventos precedentes.

Grandes zonas de cizallamientos limitan la Cuenca de Camaquã tanto al E (fallas Açoetá-Pedras Altas, como cortandola en su interior (fallas Tapera Emiliano, do Espinilho, integrantes del Sistema Tapera Emiliano, todas de dirección NNE.

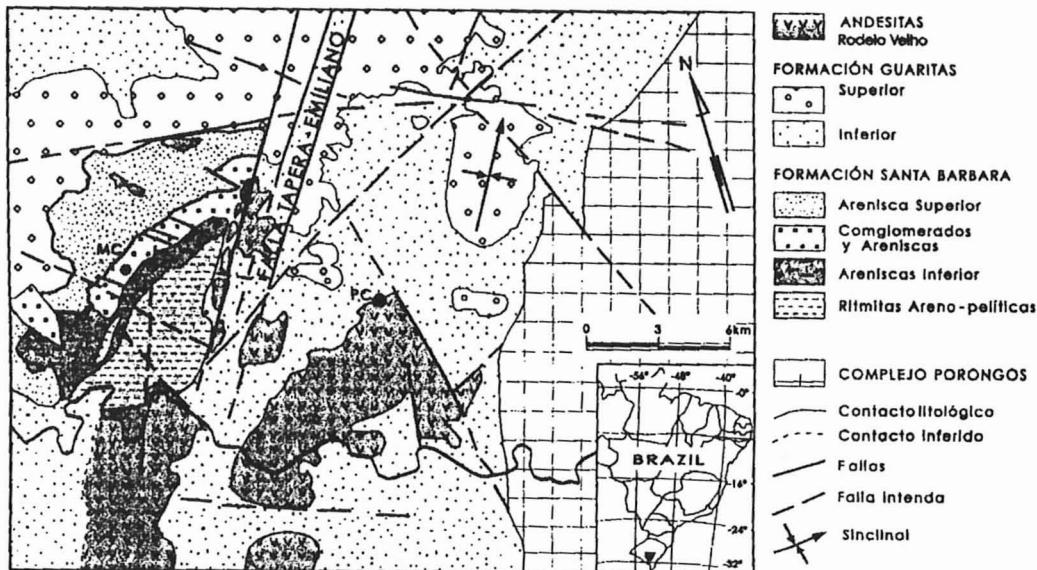


Fig. 01 - UBICACIÓN Y MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA ESTUDIADA.
MC: Mina Del Camaquã PC : Punto central coordenadas 31° 55'30 S. 53° 19'98 W

El área de estudio comprende el Alto Estrutural de la Mina de Camaquã, con los sedimentos de la Formación Santa Bárbara y, al E hasta el contacto con el Complejo Porongos, los afloramientos de la Formación Guaritas (respectivamente la base y techo de la estratigrafía regional), además de las andesitas Rodeio Velho, posicionadas entre las dos unidades. La región viene siendo estudiada por diversos autores más apenas recientemente con la aplicación de percepción remota remoto orbital. La cobertura vegetal es en general pobre, con pocas áreas cubiertas por vegetación de arbustos. Los suelos son poco espesos y las diversas unidades se presentan bien expuestas. Estas dos características regionales sugieren la utilización de los imágenes TM-Landsat y los establecimientos de metodologías de procesamiento digital para aplicaciones en estudios de geología regional. Los resultados obtenidos confirman la buena adecuación de la técnica, siendo la contribución de la vegetación el principal factorpectral discriminante de los varios litotipos presentes, seguro que la textura ayuda mucho en la discriminación de esos litotipos y, en un tercer plano, la roca expuesta. Los procesamientos muestran la aplicabilidad del método de Análisis por Componentes Principales (ACP) con criterioso muestreo y establecimiento previo del comportamiento espectral de los principales

litotipos. Los trabajos geológicos previos, en asociación con observaciones de la fisiografía en campo y análisis de las matrices de auto-valores y auto-vectores permiten una interpretación geológica de las varias PCs resultantes.

2. GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

El basamento de la cuenca es dado por el Complejo Porongos (milonito-granitos, cuarzo-milonitos, milonitos-esquistos, cuarcitas y rocas graníticas). Estas milonitas fueron originadas durante la transición Proterozoico-Fanerozoico como resultado de la acreción de los terrenos Piratini y Rio Vacacai con las márgenes de una placa central en el intervalo entre 700 y 650 m.a. (Fragoso Cesar et al., 1993; 1994). Esta placa central, denominada de Placa Cisplatina (Fragoso Cesar et al., 1994), tuvo su evolución en el inicio del Neoproterozoico, marcada por la preservación de un núcleo continental en cuyas márgenes existían dos oceanos: Adamastor al E (Hartnady et al., 1985) y al W el Océano Charrua (Fragoso Cesar, 1990).

La cuenca comprende, básicamente, conforme la concepción ahora propuesta (Fragoso Cesar et al., in prep.), dos secuencias principales separadas por discordancia angular y erosiva (Leinz et al., 1941; Robertson, 1966; Ribeiro et al., 1966; Tessari & Picada, 1966; Fragoso Cesar et al., 1984, 1985; Paim et al., 1990; Paim, 1994; Fambrini, en preparación): la unidad basal denominada Formación Santa Bárbara y, en la parte superior, la Formación Guaritas, de acuerdo con la definición de Robertson (1966), ambas aflorantes en la región del estudio.

La Formación Santa Bárbara es la unidad dominante en la región del Alto Estrutural de las Minas de Camaquã (figura 1), comprende, según Paim et al. (1990) y Paim (1994), dos secuencias progresivas granodecrescentes (ritmitas arenopelíticas). La base es formada por ciclos ritmicos granodecrescentes variando desde areniscas medias, localmente conglomeráticas a gránulos, hasta limo-arcillosos, constituidos por ritmitos arenopelíticos cuyas bases de estratos exhiben marcas de piso. Los estratos en si muestran estructuras convolutas, constituyéndose en capas originadas por corrientes de turbidez que presentan exposición sub-aérea y marcas onduladas en su techo (Fambrini, en preparación). Este cuerpo acuoso raso, o al menos de lámina de agua poco espesa, no excede mucho la zona de oscilación de ondas y gradativamente es colmatado por cuñas clásticas relacionadas al surgimiento en el sur del área, pues medidas de paleocorrientes efectuadas indican transporte para NNW y NNE, con pequeña dispersión al E (Fambrini et al., en preparación).

Estas cuñas clásticas son caracterizadas por ciclos granodecrescentes con frecuentes exposiciones sub-aéreas (Fambrini et al., en preparación), constituyendo las sub-unidades arenisca inferior y conglomerado, las cuales separan las unidades de ritmitas de las del techo. Estas cuñas clásticas generan depósitos de aquellos aluviales que invaden una planicie deltaica (Gonzalez & Teixeira, 1978; Faccini et al., 1987; Paim et al., 1990; Paim, 1994; Fambrini, en preparación,) se caracterizándose por depósitos de conglomerados y areniscas conglomeráticas. La secuencia rúdica marca el cambio de un ambiente de aguas tranquilas para una secuencia deltaica progradante representada por sucesivos ciclos granodecrescentes que, en general, forman una deposición de gradación inversa culminándose con una colmatación de los cuerpos acuosos, semejante a lo observado en otras proporciones de la cuenca, como en el Vale do Piquiri y Vale do Boici (Fragoso Cesar et al., 1984; Sayeg et al., 1992; Sayeg, 1993).

La secuencia superior (arenisca superior) es entendida como una planicie deltaica alimentada por sistema fluvial "braided" (Faccini et al., 1987; Paim et al., 1990), también incluida en la Formación Santa Bárbara. Se representa por sucesivas capas de arenisca de grano medio a fino, localmente conglomeráticas a gránulos y pequeños cantos, con estructuras tipo "climbing-ripples" y "ripple drift cross lamination", y exposición sub-aérea (inunditos).

La Formación Guaritas, discordantemente sobrepuerta al anterior, representa la continentalización de la Cuenca de Camaquã, evidenciada por el conjunto de facies deltaica a lacustrina, aluvial, eólica y fluvial, estas dos últimas bien representadas en imagen, sobre todo al este del Sistema Tapera Emiliano. Las facies eólicas engloban extensos afloramientos al nordeste de las Minas do Camaquã en la localidad conocida por Pedra Pintada y, por otro lado, las facies fluviales del techo ocupan toda la porción al norte de del área de estudio.

Los depósitos eólicos del piso (Formação Guaritas inferior), se constituyen en areniscas de grano medio y finos bien seleccionados portando grandes estratificaciones cruzadas acanaladas caracterizando planicies eólicas que localmente presentan depósitos de wadis y de interdunas húmedas (Fragoso Cesar et al., 1984; Lavina et al., 1985; Faccini et al., 1987; Paim et al., 1990; Fragoso Cesar, 1991; Paim, 1994), frecuentemente con contribución pelítica. Estos depósitos dominan gran parte de la época Guaritas.

Los depósitos fluviales del techo (Formación Guaritas superior), expuestos tanto a E como al oeste del Sistema Tapera Emiliano son formados por areniscas y conglomerados mal seleccionados de planicie aluvial "braided", con paleocorrientes predominantemente para SW y W (Paim et al., 1990; Paim, 1994; Silva Filho, en preparación). Poseen una coloración de rosa ("pink"), presentando fracturamiento NW bien consistente, saliendo por las crestas tabulares típicas que forman.

Además de las facies continentales, otras dos características individualizan la Formación Guaritas: (1) la presencia común de clastos aislados a concentrados ("wadis" en el ambiente eólico y los niveles de ortoconglomerado en el fluvial) y la coloración típica rosa-rojizo característica de "red-beds"; (2) la predominancia de areniscas arcosianas a feldespáticos, invariablemente portadores de fragmentos de rocas volcánicas, cuya cimentación se da por la percolación de soluciones contenido hematita, caliche y silcrete, sugiriendo un ambiente árido a semi-árido durante la deposición de los "red-beds" (Fragoso Cesar et al., 1984; Paim et al., 1990; Paim, 1992; De Ros et al., 1994; Fragoso Cesar et al., in prep.).

Rocas ígneas de carácter intrusivo son abundantes en el área (Silva Filho, en preparación), tanto en las proximidades del Río Camaquã como al SE. Son conocidas por la denominación andesitas Rodeio Velho de Ribeiro et al. (1966) y su posicionamiento estratigráfico aún se encuentra incierto (Fragoso Cesar et al., in prep.).

3. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

El relieve del área en cuestión se halla bien compartida, con evidente control lito-estrutural. Las cotas más elevadas son encontradas en las cumbres de los morros sustentados por las crestas de cuarzo-milonitos del basamento, en las porciones E y SE de la área. En esta misma unidad, las litologías menos cuarzosas permiten el desenvolvimiento de vales con perfil en "V", controlados por los "trends" de foliación y con vertientes surcadas por tributarios con mismo perfil y dirección orthogonal a los primeros.

Y en el dominio sedimentario, las mayores cotas son encontradas en el límite SE del Alto Estrutural das Minas do Camaquã, en región donde los lito-tipos de areniscas superior y Formación Guaritas ocurren en discordancia angular y erosiva con o conglomerado de la Formación Santa Bárbara infrayacente. Cotazas relativamente más elevadas son encontradas en lo alto de los morros tabulares sustentados por las areniscas mal seleccionados y conglomeráticos de la Formación Guaritas superior, en los morros sustentados por los conglomerados de la Formación Santa Bárbara (límites NW y ENE del Alto Estrutural das Minas do Camaquã) y en las ocorrencias de andesitas Rodeio Velho al S y SE del alto supracitado.

En los sectores más bajos corresponden predominantemente a las áreas de ocurrencia de la Formación Guaritas inferior, en el área estudiada constituida principalmente por areniscas medianas a finas y intercalaciones arenopelíticas frecuentes, siendo menos resistente a la erosión que su contraparte del techo.

El patrón de drenaje en el sector sedimentario es menos denso que en el basamento, con morfología rectilínea/orthogonal bien evidente por el entallamiento profundo de valles desarrollados en fracturas en las areniscas cuarzosas del techo de la Formación Guaritas. Ya en las litologías de la base de la formación supracitada, el patrón de drenaje es menos denso, y menor es el control por las anisotropías geológicas, con patrones dendríticos a retilíneos.

La vegetación recubre gran parte de la superficie del área, compuesta de asociaciones de gramíneas y arbustos. Las áreas nitidamente carentes de cobertura vegetal coinciden con las crestas de cuarzo-milonito del basamento, los altos tabulares de areniscas cuarzosas del techo de la Formación Guaritas y algunas sectores de las ocorrencias de andesitas Rodeio Velho al S y SE del Alto Estrutural das Minas do Camaquã.

Las áreas con gran predominio de árboles se hallan concentradas en el fondo de valles en los terrenos sedimentarios, en valles entallados en el basamento al margen E de la cuenca, en áreas inmediatamente a NE, E, S y ESE del Alto Estrutural das Minas do Camaquã, coincidiendo aproximadamente con las mayores exposiciones de andesitas Rodeio Velho en la región y en con sectores de textura más rugosa del conglomerado de la Formación Santa Bárbara.

Las asociaciones de predominio de gramíneas forman campos abiertos con arbustos y árboles esparcidas, ocurriendo en los sectores más bajos de relieve, coincidiendo en gran parte con áreas de ocurrencia de la Formación

Guaritas basal, intercalaciones arenopelíticas de la Formación Santa Bárbara, arenisca superior y en sectores restrictos de las ocurrencias de andesitas Rodeio Velho.

La característica fisiográfica fundamental del área que permite respuestas espectrales estadísticamente más correlacionadas con el esbozo geológico es la pequeña espesura de suelos, o su inexistencia. De este modo, la composición de los pixels mixtos de los imágenes resulta de ponderación entre el contenido y tipo, tanto de biomasa como de roca expuesta.

4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Fué utilizada el imagen TM- Landsat WRS 222/81, adquirida junto al Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales en las bandas 2, 3, 4, 5 y 7. Inicialmente, como pré-procesamiento, fué hecha la corrección de espallamiento atmosférico en las bandas 2, 3 y 4, usándose el método de Subtracción de Pixel Oscuro (Chavez, 1975), cuyos valores fueron escogidos en la región de sombriamiento topográfico más intenso del imagen. Los valores de corrección fueron los siguientes: banda 2 = 11; banda 3 = 09 ; banda 4 = 04. Para la bandas 5 y 7 no fue necesario aplicar ésta corrección.

En seguida fueron aplicados aumentos lineares de contraste (ALCs) en todas las bandas para la optimización de su contraste, seguida de un análisis visual de cada una de ellas para la identificación de diferencias en la respuesta espectral, tanto entre bandas como en regiones de la misma imagen. Después del análisis visual banda por banda, fueron probadas diversas combinaciones, con el triplete 4R/3G/5B siendo considerado el que mejor discrimina los varios litotipos (figura 6a). El triplete 4R/5G/7B también presentó buena discriminación, aprovechando bien el espacio RGB, aunque teniendo mayor correlación entre sus bandas que a combinación anterior.

El triplete 4R3G5B con ALC y LUT muestra predominancia de cyan, con importante contribución de rojo y magenta. A los últimos colores se asocian las ocurrencias de vegetación de porte arbóreo, que recubren porciones de basamento metamórfico (Grupo Porongos), de las volcánicas Rodeio Velho y Conglomerados de la Formación Santa Bárbara. En las areniscas Guaritas, el cyan más puro se asocia a los altos tabulares formados por los facies más superiores, muy pobre en vegetación, lo mismo ocurre en las crestas de cuarcitos del Grupo Porongos. La fuerte contribución de cyan puede sugerir pequeña importancia de la vegetación, por la ausencia relativa de la banda TM4, puesto que la respuesta espectral de la banda 4 es comúnmente utilizada en el contexto de interpretación de imágenes TM-Landsat como un índice de contenido de biomasa vegetal en la composición de la superficie reflectora (i. e. Sabins, 1986). No es, entretanto, lo que ocurre, pues procesamientos posteriores muestran la importancia de la vegetación en la discriminación de los varios litotipos, además de los citados líneas arriba como asociados la vegetación arbórea.

En una tentativa de disminuir la dimensionalidad espectral del conjunto de bandas disponibles y de separar la respuesta espectral relativa a la vegetación con respecto a de las rocas expuestas, fué hecha un Análisis por Componentes Principales (ACP). Esta técnica es una de las más poderosas en la manipulación de datos multiespectrales y, al mismo tiempo, una de las menos comprendidas (Crosta, 1992). Ohara (1982) la utilizó y el procesamiento digital de imágenes de la región de las minas de Camaquá, consiguiendo buenos resultados, comentados más adelante.

Según Loughlin (1991), la ACP es una técnica estadística la cual selecciona sucesivas combinaciones lineares no correlacionadas de un conjunto de variables de tal manera que cada combinación lineal, el principal componente (PC), tiene una varianza menor que la de su predecesora. La varianza estadística en imágenes multi-espectrales está relacionada a respuestas de los varios materiales superficiales como suelos, vegetación y rocas, además de la resolución radiométrica del sensor. En particular, la varianza de cada sub-conjunto de informaciones (cada banda aislada) ejerce enorme influencia sobre el llamado auto-valor, lo cual da medida de la cantidad de información de cada PC en relación a todo el conjunto. Ya los auto-vectores nada más son que una combinación lineal ponderada de la participación de las bandas originales en la formación de cada PC (Loughlin, 1990). En el presente caso, la interpretación de imágenes PCs se basó filosóficamente en el método denominado "Feature-oriented Principal Component Selection"-FPCS (Crosta & McM. Moore, 1989), el cual "se basa en modelos espirituales de objetos específicos y en la relación cuantitativa existente entre el conjunto original de bandas multiespectrales y el de bandas PCs de los derivados" (Crosta, 1990). La implementación de esta técnica es hecha en tres etapas (Crosta, 1990):

eminente cuarzosas se exponen, como en el techo de los morros de la Formación Guaritas superior, sectores de la Formación Guaritas inferior inmediatamente a ESE de la Hoja Tapera-Emiliano y en las crestas de cuarcitos del Complejo Porongos. Áreas con amplio predominio de cobertura vegetal por gramíneas y relevo plano (ritmito arenopelítico) o poco irregular (areniscas superior) también presentan pixels claros porque la grama comportase, a groso modo, como una superficie homogénea de reflección

Pixels oscuros en el C1 se relacionan a las exposiciones de las andesitas y de litologías no cuarcíticas del Complejo Porongos, superficies las cuales son cubiertas por vegetación arbustivo, texturalmente rugosas. Pixels oscuros ocurren también en áreas de afloramiento de conglomerado de la Formación Santa Bárbara, por la cobertura arbustiva y por la textura naturalmente rugosa del litotipo (fracturas + patamarcs de capas).

Pixels intermedios ocurren en las áreas de exposiciones de Guaritas inferior, donde la proporción de vegetación arbustos/gramíneas es mayor.

La contribución más importante en C2 (figura 3) es la banda 4, con porcentajes de 60,8%, lo que indica gran probabilidad de realce de respuestas espectrales relacionadas a la vegetación. En la imagen, pixels claros están relacionados a los afloramientos de andesitas, ritmitas arenopelíticas, arenisca superior y algunas áreas del Complejo Porongos. Pixels oscuros ocurren notoriamente en las áreas de roca expuesta, como en las crestas de cuarcitos del Complejo Porongos, cumbres de morros de la Formación Guaritas superior y en zonas de ocurrencia de la Formación Guaritas inferior (en las proximidades de gran exposición de andesitas en el centro-sur del área). Pixels intermedios ocurren, groso modo, sobre la Formación Guaritas inferior y conglomerados de la Formación Santa Bárbara. La comparación de C2 con la división 4/3 (figura 4) revela que ambas tienen una alta correlación positiva.

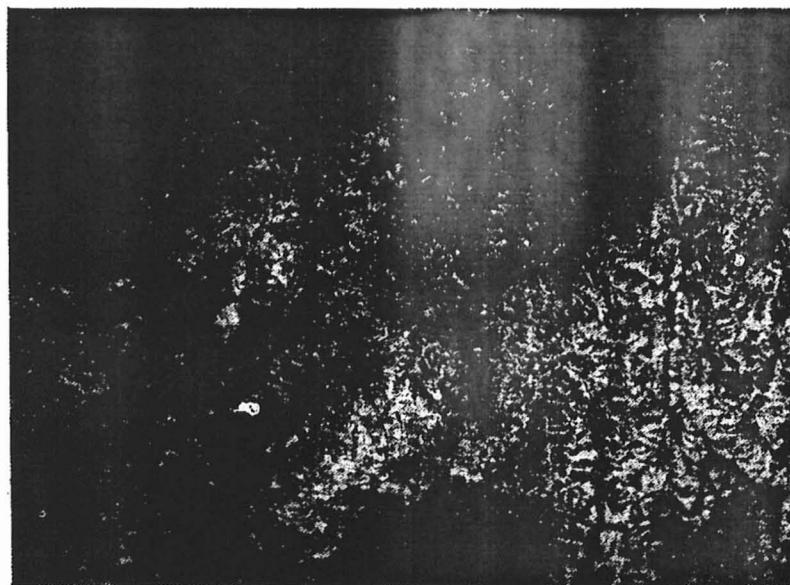


Figura 3: Imagen C2. - predomina la respuesta de la vegetación (pixels claros).

En la curva espectral generica de vegetación, las zonas de menor reflectancia corresponden, en orden creciente, a las bandas 1, 3, 2 y 7. Ya las zonas de mayor reflectancia corresponden a las bandas 4 y 5, en orden decreciente. En la matriz de autovectores de ACP obtenida, notase que la mayor parte de la información relativa a la banda 4, o sea la vegetación, se concentra en C1 y C2. La mayor parte de información de la banda 5 se concentra, como ya fué visto, en

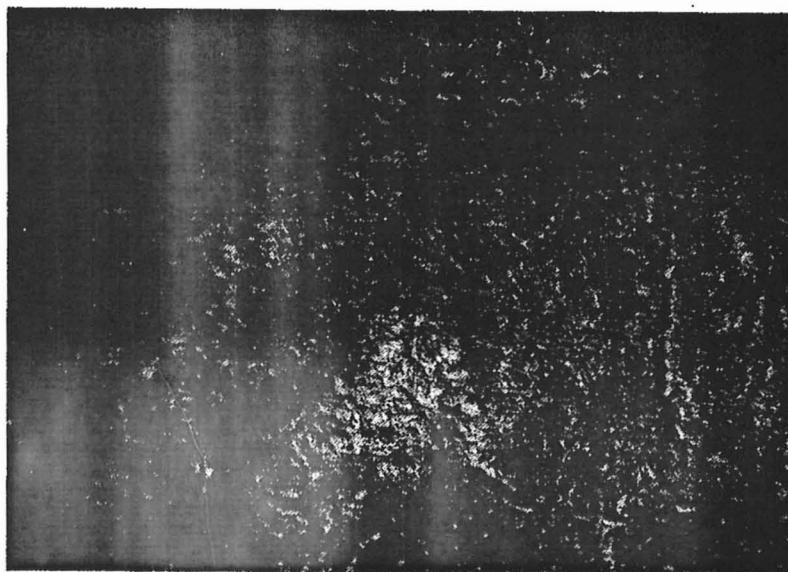


Figura 4: División TM4/TM3 - cobertura vegetal esta en pixels claros, muy semellante a la figura 3.

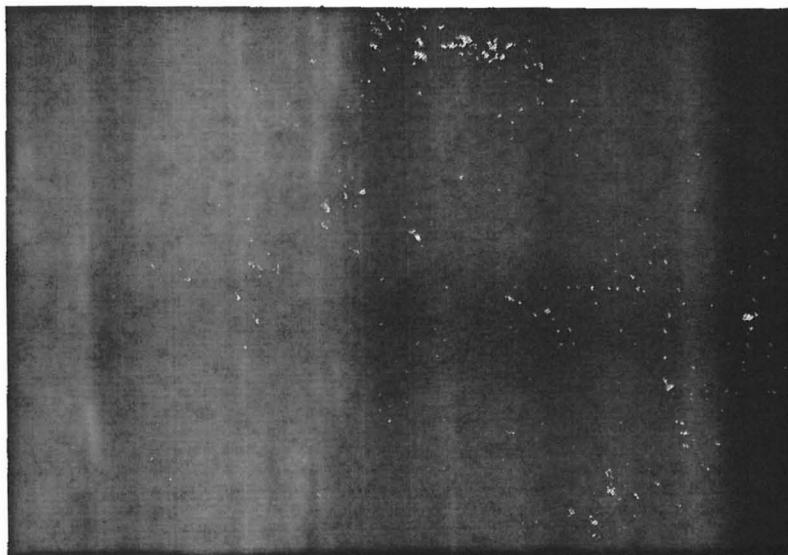


Figura 5: Imagen C4 - diferencias en la relación vegetación/roca expuesta (pixels claros asociados a roca expuesta).

C1. Los PCs restantes poseen mayor contribución de las bandas 3, 7 y 2 (C3, C4 y C5, respectivamente) y, teóricamente, tienen mayor probabilidad de concentrar la información relativa al componente litológico de los pixels mixtos. Análisis semejantes, direccionaladas para medios o objetivos con respuesta espectral más específica (óxidos de Fe y arcillo-minerales), fueran implementadas por Loughlin (1991) para explorar la "Técnica Crosta".

Los exámenes de los tripletes RGB con C1, C2 y una de las remanentes reveló que el triplete C1, C2 y C4 (figura 6b) es el que más realiza los aspectos litológicos estructurales. La mayor contribución (52,6%) en la composición de C4, presentada en la figura 5, se debe a la banda 7.

En la imagen, se observa que pixels notadamente claros ocurren en el techo de los morros de la Formación Guaritas superior, realzando bien las ocurrencias en la porción centro-norte del área y en algunas zonas cercanas de la Falla Tapera-Emiliano, donde ocurren los litotipos más cuarzosos (areniscas eólicas) de la Formación Guaritas inferior, los cuales, más para el norte, están cubiertos por los depósitos de la parte superior (techo). Pixels medios a claros delimitan el techo de muchos de los morros de conglomerado de la Formación Santa Bárbara y de Guaritas superior, en el bloque al W y cerca de la Falla Tapera-Emiliano y el techo de las crestas cuarcíticas del Complejo Porongos. Pixels de intensidad media también delimitan áreas de exposición de las andesitas, al sur y SE del Alto Estructural de la Mina de Camaquá. Pixels preferencialmente oscuros se distribuyen sobre la ritmita arenopelítica y arenito superior de la Formación Santa Bárbara y en zonas de ocurrencia de la Formación Guaritas inferior, en los sectores NE, Centro-E, Centro-SE de la imagen.

Con excepción de las áreas de ocurrencia de las andesitas en esas PC, el comportamiento general de la intensidad de los pixels es inverso al C2. Por el conocimiento de la fisiografía de la región, se puede afirmar que en C4 las áreas más claras representan pixels con pequeñas contribuciones de vegetación, tanto en las ocurrencias de crestas cuarcíticas del basamento y techo de la Formación Guaritas superior cuanto en sectores de ocurrencia de andesitas (principalmente ocurre al S de Alto Estructural de la Mina de Camaquá).

Ohara (1982) consiguió un realce que diferenció las Formaciones Guaritas inferior y superior, como entendidas en este trabajo, en las C3 y C4 generadas por ACP de las cuatro bandas MSS-Landsat.

En suma, el triplete C1, C2 y C4 representa la interacción de tres componentes principales de la fisiografía del terreno que son influenciados por la geología del área de estudio, respectivamente: el relieve, el tipo de cobertura vegetal y la proporción entre área de cobertura vegetal y rocha expuesta.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) por el financiamiento de los estudios (Processo 93/3228-7). Agradecen también a la Companhia Brasileira de Cobre (CBC) por la ayuda en los trabajos en el campo y al geólogo Miguel E. C. Benique por la traducción para el castellano.

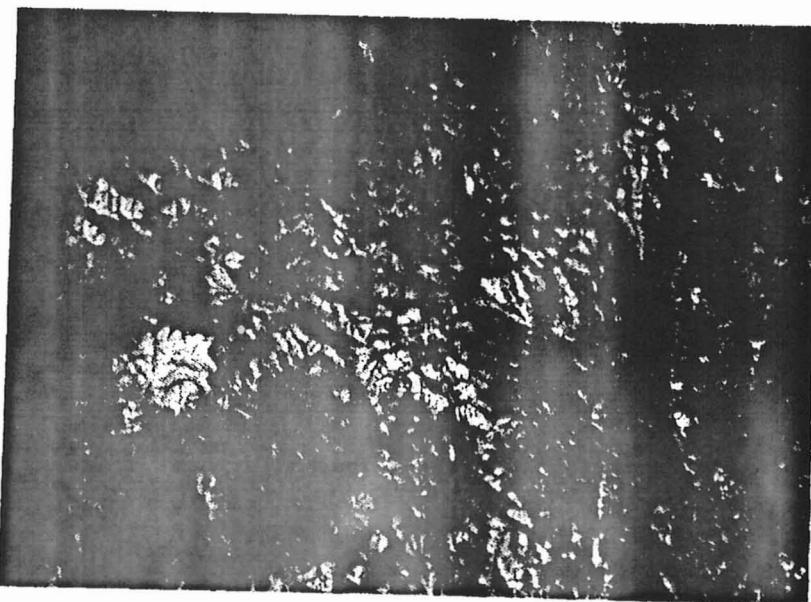


Figura 6a: Triplete TM4/TM3/TM5 en RGB.

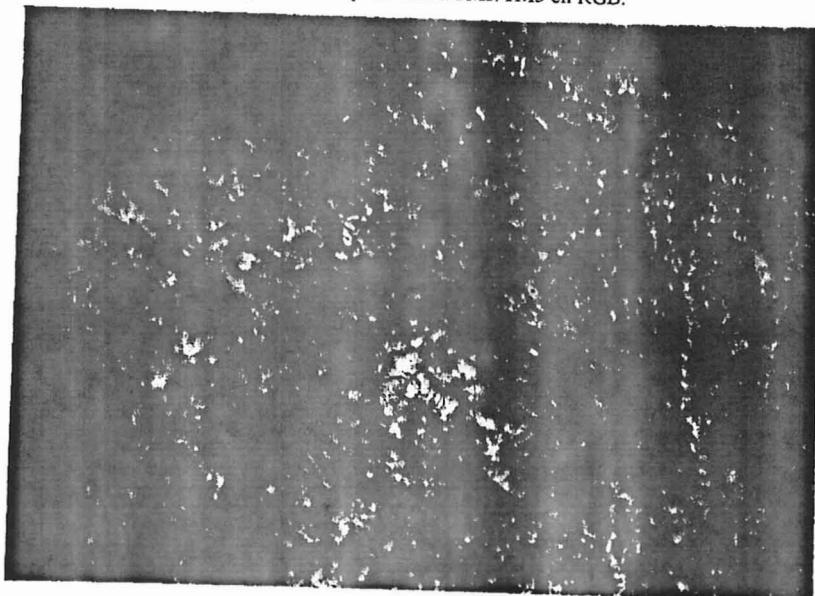


Figura 6b: Triplete C1/C2/C4 en RGB.

7. BIBLIOGRAFIA

Chavez, L., 1975, Atmospheric, solar and MTF corrections of ERTS digital imagery, *Proceedings of American Society of Photogrammetry Fall Convention*, , Phoenix, 69-69a.

Crosta, A. P., 1990, Discriminação de principais componentes com base em relações quantitativas e espectrais, *IV Simpósio de Quantificação em Geociências, Rio Claro, IGCE-UNESP*.

Crosta, A. P. , 1992, Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, *Campinas, IG/UNICAMP, 170 p.*

Crosta, A. P and McM. Moore, J , 1989, Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A prospecting case history in greenstone belt terrain, *Proceedings of the 7th (ERIM) Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, 2-6 oct, 1173-1187.*

De Ross, L.F.; Morad, S. and Paim, P.S.G., 1994, The role of detrital composition on the diagenetic evolution of continental molasses: evidences from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil, *Sedimentary Geology, 92, 197-228.*

Faccini, U.F.; Paim, P.S.G. and Fragoso Cesar, A.R.S., 1987, Análise faciológica das molassas brasileiras na região das Minas do Camaquã, Eo-paleozóico do RS, *III Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, Curitiba, SBG, 1:75-91.*

Fambrini, G.L., en preparación, Evolução tectônica e paleogeográfica da Bacia do Camaquã em sua porção centro-sudoeste: uma contribuição através da análise estratigráfica de proveniência e paleocorrentes.

Fragoso Cesar, A.R.S., 1990, Tectônica de Placas no Bloco São Gabriel (RS) em base nos dados geológicos, geocronológicos e geoquímicos, *Boletim de Resumos do Workshop de Geoquímica isotópica e litoquímica das regiões Sul e Sudeste do Brasil, SBGq -IG-USP, p. 8-16.*

Fragoso Cesar, A.R.S., 1991, Tectônica de Placas no Ciclo Brasiliense: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul, *tese de doutoramento, IG-USP, 366 p. (inédito).*

Fragoso Cesar, A.R.S., 1993, As placas brasileiras do Sul e Sudeste da Plataforma Sul-Americana, *Anais do IV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, SBG, Núcleo MG, 12:183-188.*

Fraqgos Cesar, A.R.S.; Faccini, U.F.; Paim, P.S.G.; Lavina, E.L. e Altamirano, J.A.F., 1985, Revisão na Estratigrafia das Molassas do Ciclo Brasiliense no Rio Grande do Sul, *Anais do II Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, Florianópolis, 1985, 477-491.*

Fragoso Cesar, A.R.S.; Lavina, E.L.; Paim, P.S.G. e Faccini, U.F., 1984, A Antefossa Molássica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul, *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 7:3272-3283.*

Fragoso Cesar, A.R.S.; Machado, R.; Mello, F.M.; Sayeg, H.S.; Pinto, R.F. e Fambrini, G.L., 1993, As placas oceanos e orogenias do Ciclo Brasiliense no Rio Grande do Sul, *Boletim de Resumos Expandidos do V Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, SBG, Núcleos PR/SC/RS, 26-26.*

Fragoso Cesar, A.R.S.; Machado, R.; Mello, F.M.; Sayeg, H.S.; Silva Filho, W.F. da e Fambrini, G.L., 1994, Acresção Neoproterozóica no sul do Brasil e Uruguai: A Placa Rio de La Plata e os Terrenos Piratini e Rio Vacacaí, *Resumos Expandidos do XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camboriú, SBG , 1: 206-207.*

Fragoso Cesar, A.R.S.; Machado, R.; Almeida, T.I.R. de; Silva Filho, W.F. da; Fambrini, G.L.; Sayeg, H.S.; Mello, F.M. and McReath, I, en preparación, The Proterozoic-Phanerozoic transition in Rio Grande do Sul: the Maricá basin, the Bom Jardim magmatic arc and the Camaquã basin.

Hartnady, C.; Joubert, P. and Stowe, C., 1985, Proterozoic crustal evolution in Southeastern Africa, *Episodes, Ontario*, 8 (4): 236-244..

Gonzales, M. e Teixeira, G., 1980, Considerações sobre a estratigrafia e ambientes de sedimentação da região das minas de Camaquã e jazida Santa Maria-RS, *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú*, 3: 1513-1523.

Lavina, E.L.; Faccini, U.F. ; Paim, P.S.G. and Fragoso Cesar, A.R.S., 1985, Ambientes de sedimentação da Bacia do Camaquã, Eo-Paleozóico do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldinense, São Leopoldo*, 21(9): 185-227.

Leinz, V.; Barbosa, A.F. and Teixeira, G.A., 1941, Mapa Geológico Cacapava-Lavras, *Boletim da Divisão de Produção Mineral da Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio, 90:1-39, Porto Alegre, RS.*

Loughlin, W., 1991, Principal component analysis for alteration mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda (MA)*, 57: 1163-1169.

Ohara, T., 1982, Aplicação do Programa Realce pelas Componentes Principais na Região das Minas do Camaquã - RS, *Anais do I Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Brasília, DF*, 1: 34-37.

Paim, P. S. G- 1992, Alluvial Paleogeography of Guaritas Depositional Sequence (Cambrian of Southern Brazil), *Boletim de Resumos Expandidos do I Workshop sobre as Bacias Molássicas Brasilianas , São Leopoldo, RS, SBG/UNISINOS*, 113-119.

Paim, P. S. G.; Faccini, U. F.; Netto, R. G. and Nowatzki, C. H., 1990, Estratigrafia de seqüências e sistemas deposicionais das bacias do Camaquã e Santa Bárbara, Eopaleozóico do RS (Brasil), *Atas:da II Reunião Internacional do Projeto 270-PICG, São Paulo*.

Ribeiro; M., Bocchi, P. R.; Figueiredo Filho, O. P. M. and Tessari, 1966, Geologia da Quadricula de Caçapava do Sul. Rio Grande do Sul, *Boletim da Divisão de Fomento à Prospecção Mineral no Brasil, Rio de Janeiro*, 127, pp. 1-232.

Robertson, J. F., 1966, Revision of Stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava Lavras Region, *Notas e Estudos, IG-UFRGS, Porto Alegre*, 1 (2), pp. 41-54.

Sabins, F.F -1987- Remote sensing: principles and interpretation, 2nd edn San Francisco, Freeeman.342p.

Sayeg, H. S.-1993- Evolução geológica brasileira da Bacia do Arroio Boici,RS, *Dissertação de Mestrado, IG-USP, São Paulo*, 120 p.(inédito).

Sayeg, H. S.; Fragoso Cesar, A. R. S.; Machado, R. and Fambrini, G. L. - 1992a - A bacia transcorrente brasileira do Vale do Arroio Boici no contexto da Antefossa Arroio dos Nobres, RS, *Boletim IG-USP*, 12, p. 103-104.(publicación especial)

Sayeg, H. S.; Fambrini, G. L.; Machado, R. and Fragoso Cesar, A. R. S. -1992b- Evolução brasileira da bacia transcorrente do Arroio Boici, RS. *Boletim de Resumos Expandidos do I Workshop Sobre As Bacias Molássicas Brasilianas, São Leopoldo, SBG/UNISINOS* 129-132.

Silva Filho, W.F. da -en preparación- Contribuição à geologia estrutural de área a leste da Mina do Camaquã, Bacia do Camaquã (limite Proterozóico/Fanerozóico do Rio Grande do Sul - Brasil).

Tessari, R. I. and Picada, R. S. - 1966 - Geologia da Quadrícula Encruzilhada do Sul, Brasil, Rio de Janeiro, *Boletim da Divisão de Geologia DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, RJ, no 124.*