

Simposio latinoamericano de Percepción
Remota, 7, 1995.

**PROCESAMIENTO DIGITAL Y INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE IMÁGENES TM-LANDSAT DEL
ÁREA AL ESTE DE LA MINA DE CAMAQUÃ (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 Fragozo Cesar

Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo

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

*E-mail: tirdalme@usp.br

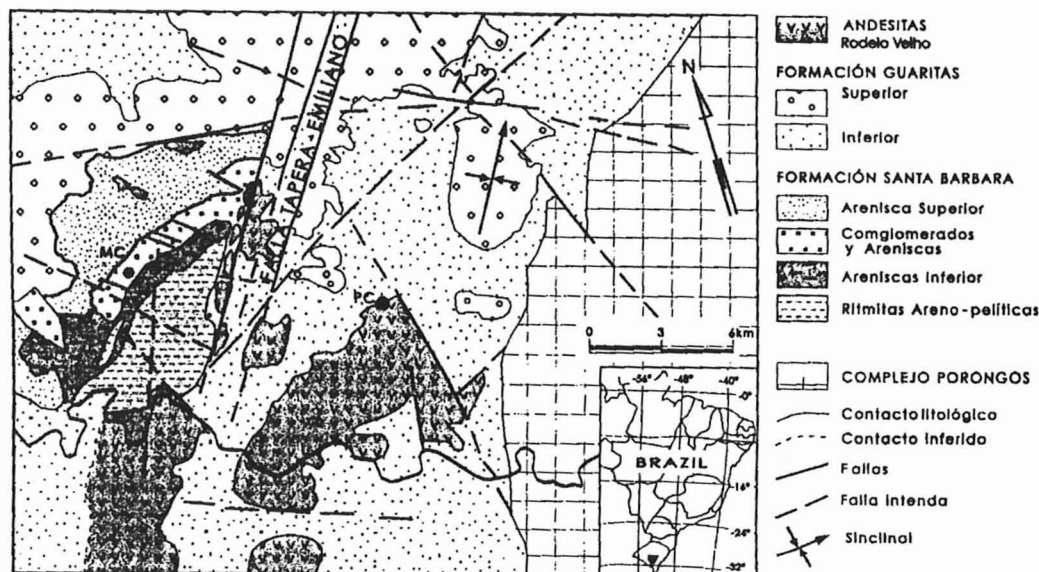
RESUMEN

La Cuenca de Camaquã fué formada durante los estadios finales de la acreción gondwánica, sobre las milonitas del Grupo Porongos. Fueron depositadas dos secuencias sedimentarias silico-clásticas, la inferior localizada en la región de la Mina de Camaquã. 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 cresta cuarcíticas del basamento.

I-INTRODUCCIÓN

La cuenca de Camaquã 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 situa en el Escudo Gaúcho, habiéndose 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 debido 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 Açoteia-Pedras Altas, como cortandola en su interior (fallas Tapera Emiliano, do Espinilho, integrantes del Sistema Tapera Emiliano, todas de dirección NNE.



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 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 factor espectral 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 (milono-granitos, cuarzo-milonitos, milono-esquistos, cuarcitas y rocas graníticas). Estas milonitas fueron originados 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 océanos: 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 Estructural de las Minas de Camaquã (figura 1), comprende, según Paim et al. (1990) y Paim (1994), dos secuencias progresivas granoderecientes (ritmitas arenopelíticas). La base es formada por ciclos rítmicos granoderecientes variando desde areniscas medias, localmente conglomeráticas a gránulos, hasta limo-arcillosos, constituidos por ritmos 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 granoderecientes 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 rudítica marca el cambio de un ambiente de aguas tranquilas para una secuencia deltaica progradante representada por sucesivos ciclos granoderecientes que, en general, forman una deposición de gradación inversa culminándose con una colmatación de los cuerpos acuosos, semejante a lo observado en otras porciones 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 sobrepuesta 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 arcosas a feldespáticos, invariablemente portadores de fragmentos de rocas volcánicas, cuya cimentación se da por la percolación de soluciones conteniendo 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-estructural. 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 ortogonal a los primeros.

Y en el dominio sedimentario, las mayores cotas son encontradas en el límite SE del Alto Estructural 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. Cotas 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 Estructural das Minas do Camaquã) y en las ocurrencias de andesitos 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 medias a finas y intercalaciones areno-pelíticas 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/ortogonal 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 ocurrencias de andesitas Rodeio Velho al S y SE del Alto Estructural 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 Estructural 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 predominancia de gramíneas forman campos abiertos con arbustos y árboles esparcidos, ocurriendo en los sectores más bajos de relieve, coincidiendo en gran parte con áreas de ocurrencia de la Formación

Guaritas basal, intercalaciones arenopelítica de la Formación Santa Bárbara, arenisca superior y en sectores restringidos 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 píxeles mixtos de las imágenes resulta de ponderación entre el contenido y tipo, tanto de biomasa como de roca expuesta.

4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES

Fue utilizada la 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 pre-procesamiento, fue hecha la corrección de espallamiento atmosférico en las bandas 2, 3 y 4, usándose el método de Substracción de Pixel Oscuro (Chavez, 1975), cuyos valores fueron escogidos en la región de sombreado topográfico más intenso del imagen. Los valores de corrección fueron los siguientes: banda 2 = 11; banda 3 = 09; banda 4 = 04. Para las bandas 5 y 7 no fue necesario aplicar esta 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 cian, 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 cian más puro se asocia a los altos tabulares formados por las facies más superiores, muy pobre en vegetación, lo mismo ocurre en las crestas de cuarcitos del Grupo Porongos. La fuerte contribución de cian 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 procesamiento posteriores muestran la importancia de la vegetación en la discriminación de los varios litotipos, además de los citados líneas arriba como asociados a 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, fue hecha un Análisis por Componentes Principales (ACP). Esta técnica es una de las más poderosas en la manipulación de datos multispectrales 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 Camaquã, 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 espectrales de objetos específicos y en la relación cuantitativa existente entre el conjunto original de bandas multispectrales y el de bandas PCs de los derivados" (Crosta, 1990). La implementación de esta técnica es hecha en tres etapas (Crosta, 1990):

eminentemente cuarzosas se exponen, como en el techo de los morros de la Formação 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 (ritmo arenopélico) o poco irregular (areniscas superior) también presentan pixels claros porque la grama comportase, a grosso modo, como una superficie homogénea de reflexión.

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 arbustiva, 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 + patamares 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 arenopélicas, 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, grosso 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.

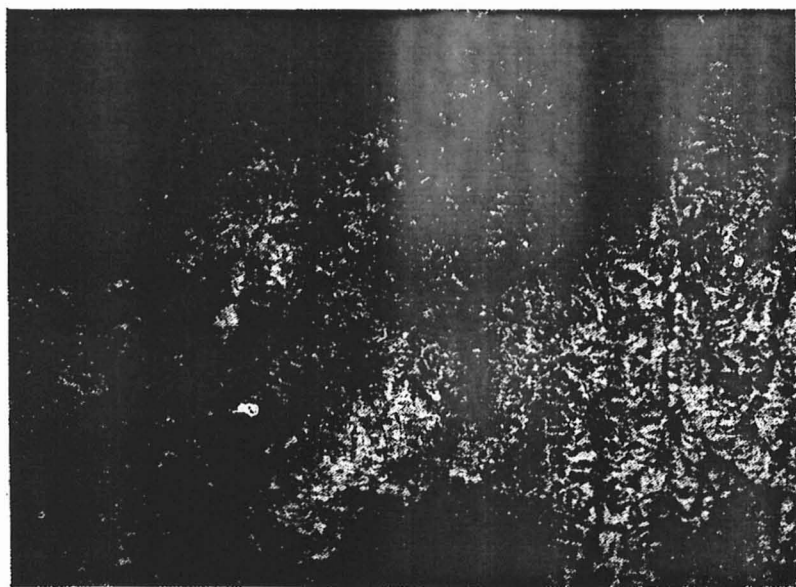


Figura 3: Imagen C2. - predomina la respuesta de la vegetación (pixels claros).

En la curva espectral genérica 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

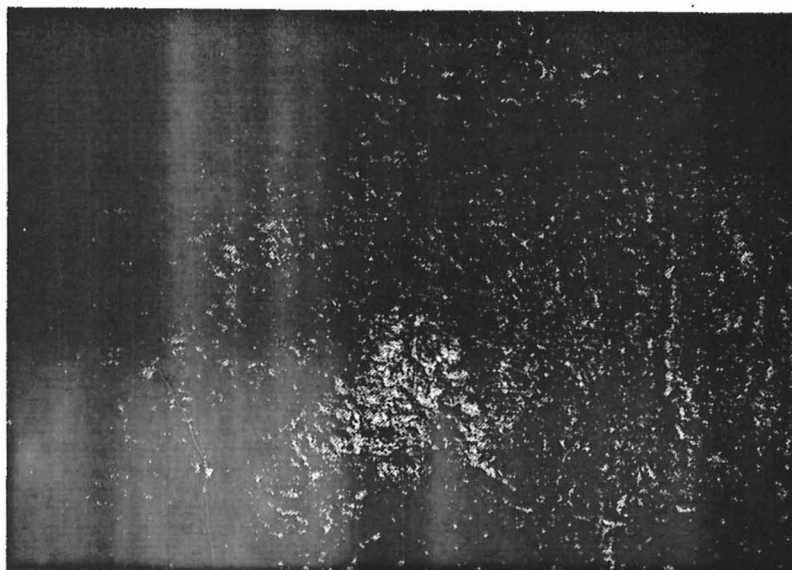


Figura 4: División $TM4/TM3$ - cobertura vegetal esta en pixels claros, muy semellante a la figura 3.

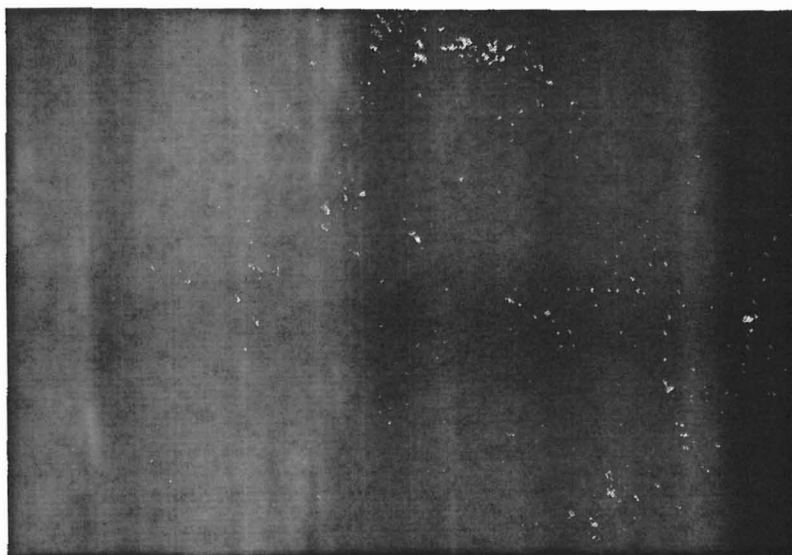


Figura 5: Imagen C4 - diferencias en la relación vegetación/roca expuesta (pixels claros asociados a roca expuesta).

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, direccionados 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 cólicas) 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 Camaquã. Pixels preferencialmente oscuros se distribuyen sobre la litita areno-pelítica 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 Camaquã).

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.

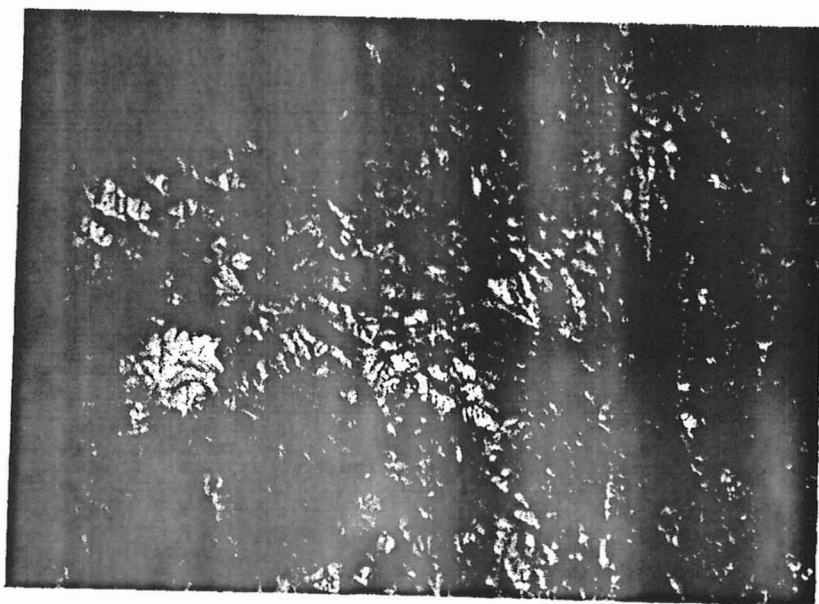


Figura 6a: Triplete TM4/TM3/TM5 en RGB.

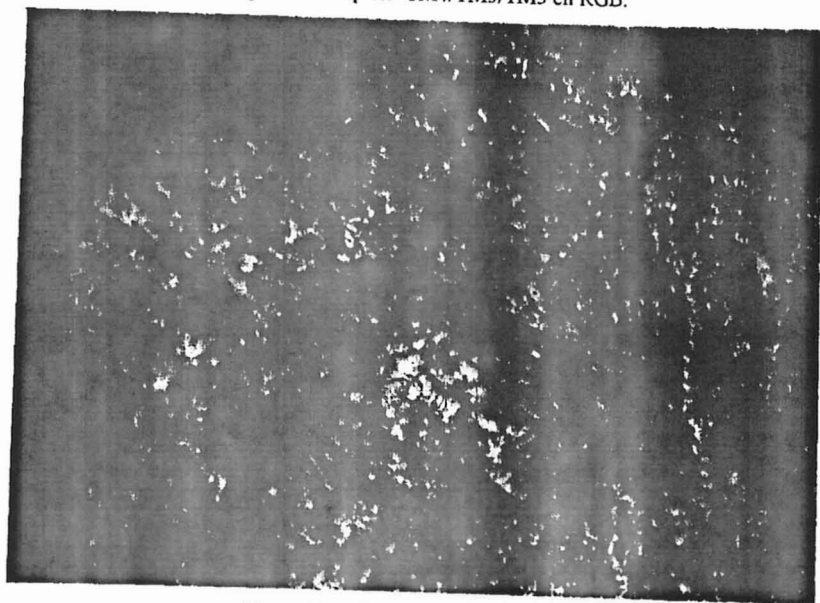


Figura 6b: Triplete C1/C2/C4 en RGB.

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 Frago Cesar, A.R.S., 1987, Análise faciológica das molassas brasileiras na região das Minas do Camaquã, Eo-palcozóico do RS, *III Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, Curitiba, SBG*, 1:75-91.
- Fambrini, G.L., en preparaci3n, Evolu3n tect3nica e paleogeogr3fica da Bacia do Camaquã em sua por3n centro-sudoeste: uma contribui3n atr3ves da an3lise estratigr3fica de proveni3ncia e paleocorrentes.
- Fragoso Cesar, A.R.S., 1990, Tect3nica de Placas no Bloco S3o Gabriel (RS) em base nos dados geol3gicos, geocronol3gicos e geoqu3micos, *Boletim de Resumos do Workshop de Geoqu3mica isot3pica e litoqu3mica das regi3es Sul e Sudeste do Brasil, SBGq -IG-USP*, p. 8-16.
- Fragoso Cesar, A.R.S., 1991, Tect3nica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cintur3es Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul, *tese de doutoramento, IG-USP*, 366 p. (in3dito).
- Fragoso Cesar, A.R.S., 1993, As placas brasileiras do Sul e Sudeste da Plataforma Sul-Americana, *Anais do IV Simp3sio Nacional de Estudos Tect3nicos, SBG, N3cleo MG.*, 12:183-188.
- Fragos Cesar, A.R.S.; Faccini, U.F.; Paim, P.S.G.; Lavina, E.L. e Altamirano, J.A.F., 1985, Revis3n na Estratigrafia das Molassas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul, *Anais do II Simp3sio Sul-Brasileiro de Geologia, Florian3polis, 1985.*, 477-491.
- Fragoso Cesar, A.R.S.; Lavina, E.L.; Paim, P.S.G. e Faccini, U.F., 1984, A Antefossa Mol3ssica do Cintur3o 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 Brasileiro no Rio Grande do Sul, *Boletim de Resumos Expandidos do V Simp3sio Sul-Brasileiro de Geologia, SBG, N3cleos 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, Acre3n3o Neoproteroz3ica no sul do Brasil e Uruguai: A Placa Rio de La Plata e os Terrenos Piratini e Rio Vacaca3, *Resumos Expandidos do XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Balne3rio Cambori3, 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 preparaci3n, The Proterozoic-Phanerozoic transition in Rio Grande do Sul: the Maric3 basin, the Bom Jardim magmatic arc and the Camaqu3 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, Considera33es sobre a estratigrafia e ambientes de sedimenta33o da regi3o das minas de Camaqu3 e jazida Santa Maria-RS, *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Cambori3*, 3: 1513-1523.
- Lavina, E.L.; Faccini, U.F. ; Paim, P.S.G. and Fragoso Cesar, A.R.S., 1985, Ambientes de sedimenta33o da Bacia do Camaqu3, Eo-Paleoz3ico do Rio Grande do Sul. *Acta Geol3gica Leopoldinense, S3o Leopoldo*, 21(9): 185-227.
- Leinz, V.; Barbosa, A.F. and Teixeira, G.A., 1941, Mapa Geol3gico Caapava-Lavras, *Boletim da Divis3o de Produ33o Mineral da Secretaria de Agricultura, Ind3stria e Com3rcio*, 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, Aplica33o do Programa Realce pelas Componentes Principais na Regi3o das Minas do Camaqu3 - RS, *Anais do 1 Simp3sio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Bras3lia, DF*, 1: 34-37.
- Paim, P. S. G- 1992, Alluvial Paleogeography of Guaritas Depositional Sequence (Cambrian of Southern Brazil), *Boletim de Resumos Expandidos do 1 Workshop sobre as Bacias Mol3ssicas Brasileiras*, S3o Leopoldo, RS, SBG/UNISINOS, 113-119.
- Paim, P. S. G.; Faccini, U. F.; Netto, R. G. and Nowatzki, C. H., 1990, Estratigrafia de seq3ncias e sistemas deposicionais das bacias do Camaqu3 e Santa B3rbara, Eopaleoz3ico do RS (Brasil), *Atas da II Reuni3o Internacional do Projeto 270-PICG, S3o Paulo*.
- Ribeiro; M., Bocchi, P. R.; Figueiredo Filho, O. P. M. and Tessari, 1966, Geol3gia da Quadric3la de Caapava do Sul. Rio Grande do Sul, *Boletim da Divis3o de Fomento 3 Prospe333o Mineral no Brasil, Rio de Janeiro*, 127, pp. 1-232.
- Robertson, J. F., 1966, Revision of Stratigraphy and nomenclature of rock units in Caapava 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, Freeman.342p.
- Sayeg,, H. S.-1993- Evolu33o geol3gica brasileira da Bacia do Arroio Boici,RS, *Disserta33o de Mestrado, IG-USP, S3o Paulo*, 120 p. (in3dito).
- 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.(publica33o especial)
- Sayeg, H. S.; Fambrini, G. L.; Machado, R. and Fragoso Cesar, A. R. S. -1992b- Evolu33o brasileira da bacia transcorrente do Arroio Boici, RS. *Boletim de Resumos Expandidos do 1 Workshop Sobre As Bacias Mol3ssicas Brasileiras, S3o Leopoldo, SBG/UNISINOS* 129-132.

Silva Filho, W.F. da -en preparaci3n- Contribui33o 3 geologia estrutural de 3rea a leste da Mina do Camaqu3, Bacia do Camaqu3 (limite Proteroz3ico/Faneroz3ico do Rio Grande do Sul - Brasil).

Tessari, R. I. and Picada, R. S. - 1966 - Geologia da Quadricula Encruzilhada do Sul, Brasil, Rio de Janeiro, *Boletim da Divis3o de Geologia DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, RJ, no 124.*