



MAPEAMENTO TEMÁTICO DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE: MUNICÍPIOS DE PARELHAS E EQUADOR

THEMATIC MAPPING BORBOREMA PEGMATITE PROVINCE IN THE STATE OF RIO GRANDE DO NORTE: MUNICIPALITIES OF PARELHAS AND EQUADOR

CARTOGRAFIA TEMÁTICA DE LA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA EN EL ESTADO DE RIO GRANDE DO NORTE: MUNICIPIOS DE PARELHAS Y EQUADOR

Prof. Dr. Paulo Sérgio de Rezende Nascimento
Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Geociências
Av. General Rodrigo Octávio, 6.200, Coroado I, Manaus-AM 69077-00
E-mail: psrn.geologia@gmail.com

Prof. Dr. Reinaldo Antônio Petta
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de Geociências
Av. Senador Salgado Filho, S/N, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal-RN 59078-970
E-mail: petta@ccet.ufrn.br

Prof. Dr. Thomas Costa Campos
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de Geociências
Av. Senador Salgado Filho, S/N, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal-RN 59078-970
E-mail: thomascosta@ccet.ufrn.br

Resumo: O desenvolvimento de procedimentos técnicos que maximize a exploração mineral e minimize o impacto ambiental resultante da atividade de mineração requer a elaboração de mapas temáticos relacionados a esta atividade. A escassez de mapas temáticos dos municípios de Parelhas e Equador, no estado do Rio Grande do Norte (municípios com grandes ocorrências de minerais da Província Pegmatítica da Borborema) era uma realidade até o desenvolvimento do presente estudo. Os principais objetivos foram a geração de mapas temáticos e a constituição de um banco de dados georreferenciados, visando armazenar, consultar, visualizar, manipular e gerar dados para o estabelecimento adequado das atividades de mineração nestas áreas. Os materiais utilizados foram o Mapa Topográfico Jardim do Seridó e as imagens OLI/Landsat-8. As operacionalizações realizadas foram: criação de banco de dados; restauração de imagem; compilação e elaboração de mapas de geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso do solo. Os resultados mostraram que é possível gerar, organizar e armazenar, em um único banco de dados, mapas temáticos relacionados à mineração, contribuindo para a formação de uma base cartográfica, tornando uma ferramenta técnico-gereencial para o adequado desenvolvimento das atividades de mineração.

Palavras-chave: Pegmatito, mineração, geoinformação.

Abstract: To develop technical procedures that optimize mineral exploration and minimize environmental impact resultant of mining activity, it is necessary to elaborate thematic maps related to this activity. The lack of thematic maps of the municipalities of Parelhas and Equador in the state of Rio Grande do Norte (municipalities with large occurrences of minerals in Borborema Pegmatitic Province) was a reality until the development of the present study. The main objective of this paper was the generation of thematic maps and the constitution of a georeferred database as a way to store, consult, visualize, manipulate and generate data for the suitable establishment of mining activities in these areas. The materials used were the Topographic Map Jardim do Seridó and

OLI/Landsat-8 images. The operations performed were: creation of database; image restoration; compiling and elaboration of maps of geology, geomorphology, pedology, vegetation and land use. The results showed that it is possible to generate, organize and store, in a single database, thematic maps related to mining, contributing to the formation of a cartographic basis with distinct thematic maps. Therefore it is a technical-managerial subsidiary tool for the proper development of mining activities.

Keywords: Pegmatite, mining, geoinformation.

Resumen: Es de suma importancia la elaboración de mapas temáticos relacionados con minería, desarrollando procedimientos técnicos que maximizen esta actividad y que minimizen el impacto ambiental. La ausencia de mapas temáticos en las ciudades brasileras de Parelhas y Equador en el estado de Rio Grande do Norte (ciudades con grandes hallazgos de minerales en la Província Pegmatítica Borborema) fue una realidad hasta la aparición del presente estudio. Los objetivos principales de este estudio abordan la elaboración de mapas temáticos y la creación de un banco de datos georreferenciados con la finalidad de guardar, consultar, visualizar, manipular datos, tanto como, generar los mismos para una mejor planificación de las actividades mineras en esas áreas. Los materiales utilizados fueron: el Mapa Topográfico Jardim do Seridó y las imágenes OLI/Landsat-8. Las técnicas operacionales realizadas fueran: restauración de imágenes, compilación y elaboración de mapas geológico, geomorfológico, pedológico, de vegetación y uso del suelo. Los resultados mostraron que es posible elaborar, organizar y almacenar en un único banco de datos; mapas temáticos relacionados con minería, contribuyendo para la formación de una base cartográfica, transformándola para una herramienta técnica-gerencial para un adecuado desarrollo de las actividades mineras.

Palabras clave: El pegmatito, la minería, geoinformación.

INTRODUÇÃO

As principais atividades econômicas do Estado do Rio Grande do Norte se concentram, principalmente, na extração e processamento de petróleo, produção de sal marinho, agropecuária, mineração, indústria de cerâmica e turismo. Em relação à produção mineral, a Província Pegmatítica Borborema é uma das mais importantes províncias minerais do nordeste brasileiro, com inúmeras ocorrências minerais associadas ou não aos vários corpos de pegmatitos. Nesta região de estudo há pelo menos um conjunto de 621 (seiscentos e vinte e uma) ocorrências minerais cadastradas (DNPM, 2002). Os municípios rio-grandenses-do-norte Parelhas e Equador concentram grande parte das ocorrências minerais, com destaque para o berilo, tantalita, columbita e barita. A mineração juntamente com a agricultura de subsistência são as duas fontes de renda destas populações. Assim, surgiu o agricultor-garimpeiro ou o garimpeiro-agricultor. A maioria da população sobrevive economicamente da agricultura de subsistência, atividade realizada durante o período chuvoso da região entre os meses de janeiro e abril e da garimpagem nos demais meses do ano.

É importante ressaltar que a extração minerária por garimpagem é realizada tanto a céu aberto quanto por túneis subterrâneos, nestes, ocorrem desabamentos e mortes. Desta forma, é

imperativo o estabelecimento apropriado desta atividade, visando o maior aproveitamento dos recursos minerais, a segurança dos garimpeiros e a minimização dos impactos ambientais. Neste contexto, o primeiro procedimento é a produção e o armazenamento das geoinformações relacionadas a este setor econômico. Pois a mineração da área de estudo se autossustenta há décadas, no entanto, as informações relacionadas a esta atividade econômica, quando disponíveis, apresentam-se de maneira isolada e em escalas pequenas, o que dificulta o tratamento adequado que se deve ter com a população garimpeira e com o meio ambiente.

Desta forma, é necessária a geração e organização de dados temáticos visando armazenar, consultar, visualizar, manipular e gerar informações para variados fins, como por exemplo, a avaliação da dimensão ou potencial econômico das jazidas e definição das mesmas; desenvolvimento de métodos de lavra e beneficiamento de acordo com cada tipo de jazimento e definição de áreas para a agropecuária, visando desenvolver o agronegócio. Destes fatos decorre o interesse do estudo destes municípios, exigindo a necessidade de informações cartográficas confiáveis e atualizadas para subsidiar a implantação de uma política de sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Assim, os objetivos deste trabalho são o mapeamento temático digital, por meio de técnicas de sensoriamento remoto, na escala 1:30.000 da região pegmatítica do Rio Grande do Norte, especificamente, dos municípios de Parelhas e Equador, através da interpretação visual de imagens OLI-Landsat-8 e a elaboração de um Banco de Dados Georreferenciado (BDG), utilizando as informações temáticas para a manutenção de uma base de dados geográficos atualizada e unificada para gerar informações que auxiliem no desenvolvimento da mineração e da agropecuária, no crescimento socioeconômico e na análise ambiental da área de estudo. A contribuição deste artigo se traduz na confecção cartográfica dos diferentes aspectos da superfície terrestre em uma única base de dados, suprimindo a escassez de mapas temáticos no semiárido do estado rio-grandense-do-norte, na escala de 1:30.000.

ÁREA DE ESTUDO

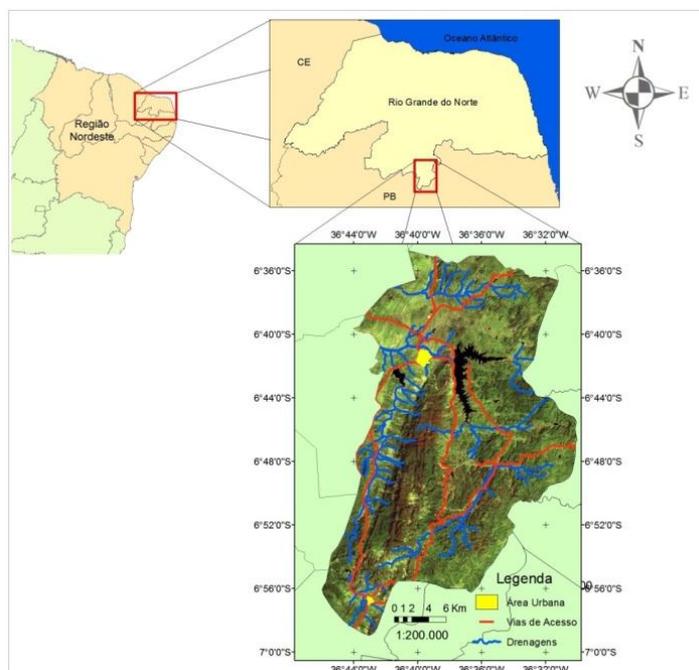
A área de estudo localiza-se na porção extremo sul da Mesorregião Central do Estado do Rio Grande do Norte, distando da capital cerca de 249 km, delimitada pelos paralelos 6°30' a 7°00' de latitude Sul e pelos meridianos 36°45' a 36°30' de longitude Oeste (Figura 1). A região é marcada por frequentes períodos de seca, que influenciam de forma mais rigorosa a atividade agrícola, fonte tradicional de ocupação e sustento do sertanejo potiguar. As precipitações são concentradas em pontos (má distribuição das chuvas) e em um período de tempo muito curto, o que causa o



“sangramento” das represas de água, provocando o processo erosivo, o qual é intensificado por apresentar terrenos formados por solos rasos e arenosos a pedregosos, altamente susceptíveis à erosão. A mineração e a garimpagem se constituíram, ao longo das últimas décadas, numa importante fonte de sobrevivência para inúmeras famílias de baixa renda. Assim, o reconhecimento da importância dessas atividades para a região, sobretudo no aspecto social, contribuiu para absorver grande contingente de mão de obra ociosa. Por outro lado, os impactos adversos ao meio ambiente e conseqüentemente à saúde pública devem ser minimizados.

Esses fatores justificam a realização dos mapas temáticos digitais do município de Parelhas e a respectiva inserção em banco de dado capaz de gerar produtos que otimizem o gerenciamento adequado das atividades minerárias e agropecuárias, que é a estrutura produtiva da região. Pois, deve-se então, entender o regionalismo como um processo em direção ao movimento de fatores de produção dentro de uma região integrada a partir de um modelo de gestão do território com função espacial, institucional e política. Dessa forma, para gerar um produto onde os fatores abióticos e bióticos se integrem com os fatores socioeconômicos, recomenda-se a utilização de geoinformações, como as usadas nesse trabalho.

Figura 1: Localização da área de estudo.



MATERIAL E MÉTODO

Os materiais necessários para o desenvolvimento deste trabalho foram: (i) Folha Jardim do Seridó (SB.24-Z-B-V), escala 1:100.000, Projeção UTM, Zona 24 Sul, Datum WGS-84; (ii)

Imagem orbital OLI/Landsat-8 com órbita/ponto 215/65, datada de 23 de agosto de 2014 e sem cobertura de nuvem; e (iii) programa computacional de geoprocessamento - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING). As principais etapas de operacionalização realizadas para atingir os objetivos deste trabalho corresponderam: criação do Banco de Dado Georreferenciado (BDG); restauração e registro das imagens Landsat; fusão de imagens pelo método IHS (*Intensity, Hue e Saturation*); descorrelação de imagens, composição colorida e realce do contraste das imagens; e compilação e confecção dos mapas temáticos por técnicas de interpretação visual.

Criação do Banco de Dado Georreferenciado

No SPRING, o ambiente de trabalho é organizado de acordo com o esquema conceitual associado às entidades do BDG, indicando para cada tipo de dado geográfico (dado espacial) os seus atributos não espaciais (dados alfanuméricos) e as representações geométricas associadas, ou seja, a definição da estrutura do banco precede a entrada dos dados (CÂMARA *et al.*, 1996). Desta forma, para se operar no SPRING é necessário definir o esquema físico em que o dado será inserido. Isso significa definir um Banco de Dados, um Projeto, as Categorias e os Planos de Informação (CÂMARA; MEDEIROS, 1996). O banco de dados se caracteriza por ser abrangente, pois as informações a serem armazenadas podem ser úteis para outras pesquisas que utilizem, total ou parcialmente, os mesmos tipos de informações. Além disso, novas informações poderão ser inseridas para complementar as já existentes ou para realizar outras configurações procedimentais que se façam necessárias. O primeiro passo, após definir a estrutura do banco foi a importação da cartografia básica, especificamente, a rede de drenagem e as isoípsas (com equidistância de 50 metros), já no formato digital. Foram realizados alguns ajustes de edição em algumas curvas de nível interrompidas e sem seus valores altimétricos e a rede de drenagem foi completada com as imagens OLI/Landsat-8.

Restauração e registro das imagens TM

Antes do registro (georreferenciamento) das imagens, foi realizado o procedimento de restauração das imagens Landsat para a correção radiométrica e aumento dos tamanhos dos pixels para 10m por 10m para as bandas multiespectrais (bandas 4, 5 e 6) e 5m por 5m para a banda pancromática (banda 8), obtendo uma imagem realçada e com o triplo da resolução espacial das imagens originais. Este procedimento foi realizado em um projeto sem projeção cartográfica para garantir que as mesmas não fossem reamostradas e perdessem suas características originais, as quais



são essências para a interpretação dos alvos terrestres (rocha, solo, água, vegetação e área urbana). Após este procedimento, as imagens que estavam no formato GeoTIFF foram convertidas, no Módulo IMPIMA, para o formato GRIB (formato próprio de armazenamento de imagens do SPRING), registradas e só então inseridas automaticamente no BDG.

O registro, mais conhecido como georreferenciamento, de uma imagem orbital compreende uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha, coluna) com as coordenadas geográficas (latitudes e longitudes) de um sistema de referência. Essa transformação elimina distorções existentes na imagem, causadas no processo de formação da imagem, pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento do satélite. No presente trabalho, o registro foi essencial para a integração das imagens a um sistema de referência (CARVALHO; LAENDER, 2007). Assim, no SPRING, este sistema de referência é, em última instância, o sistema de coordenadas planas da projeção adotada, neste caso Projeção UTM. Aplicou-se a transformação polinomial e a reamostragem sobre os níveis de cinza das imagens foi realizada pelo interpolador bilinear. Como resultado, há alteração do valor do nível de cinza do pixel em função da sua vizinhança, mas é indicado em imagens onde há considerável heterogeneidade nos níveis de cinza dos pixels, como é o caso das imagens utilizadas.

Restauradas, registradas e inseridas no BDG, as imagens Landsat foram processadas automaticamente por técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) visando aumentar a potencialidade de discriminação dos alvos pelo fotointérprete (NOVO, 2008). Além disto, novas imagens são geradas com melhor resolução espacial (SCHOWENGERDT, 1997). O primeiro processamento foi a fusão de imagens, que preserva a qualidade espectral das bandas e transfere as informações de detalhes da banda pancromática para o produto híbrido. No SPRING este procedimento é realizado pela Transformação IHS, o qual permite que a componente intensidade (I) seja desacoplada da informação da cor da imagem (matiz e saturação). A componente de intensidade é substituída pela banda pancromática, que após a restauração das imagens passou de 15 metros de resolução espacial para 5 metros e as bandas multiespectrais, originalmente de 30 metros, foram transformadas para 10 metros. Para execução da transformação do sistema RGB (*Red, Green, Blue*) para o sistema IHS foi utilizada a combinação das bandas multiespectrais 4, 5 e 6 (as quais correspondem às bandas 3, 4 e 5 dos sensores TM e ETM+ dos satélites Landsat 5 e 7, respectivamente). Após a fusão das imagens, elas mantiveram a mesma resolução espectral das imagens multiespectrais e a resolução espacial da imagem pancromática. Realizada esta etapa, as composições coloridas falsas-cor 6R5G4B e 5R6G4B foram realçadas pelos métodos de

descorrelação de imagens e contraste linear, que tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano e então ficaram prontas para a fotointerpretação.

Compilação e confecção dos mapas temáticos

O procedimento metodológico adotado para a interpretação visual das composições coloridas supracitadas foi baseado no processo sistemático e lógico de fotointerpretação de imagens de satélites desenvolvido por Veneziani e Anjos (1982), utilizando os elementos de reconhecimento mais significativos como: forma, padrão, cor, tamanho, drenagem, dentre outras, os quais discriminam os diferentes alvos nas imagens. A interpretação das imagens foi feita diretamente no monitor do computador e durante esta atividade foi utilizada ampliação de área (*zoom*), possibilitando a melhor definição e delimitação das referidas áreas homogêneas. A delimitação das áreas homogêneas foi realizada por digitalização manual à medida que foram sendo identificadas no processo de interpretação. Os materiais colaterais para a confecção dos mapas de geologia, geomorfologia e pedologia foram: Mapa Geológico da CPRM (2007), escala 1:100.000; Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981), escala de 1:1.000.000 e no mapa de reconhecimento de média e alta intensidade de solos de uma área piloto do Núcleo de Desertificação do Seridó, Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba (EMBRAPA, 2002), escala 1:100.000. Estes mapas foram de grande auxílio na fotointerpretação visual das imagens.

Após a geração dos mapas fotointerpretados de geologia, pedologia, geomorfologia e vegetação e uso do solo, foram realizados trabalhos de campo, com verificação das características *in loco*, aproximadamente de 300 a 300 metros, principalmente naqueles pontos de dúvidas geradas na fotointerpretação. Com os dados de campo, estes foram inseridos nos mapas fotointerpretados gerando os mapas geológico, pedológico, geomorfológico e vegetação e uso do solo, na escala de 1:30.000.

O mapa de cobertura vegetal e uso do solo foi realizado pela interpretação visual de imagens com base nos padrões fotográficos (cor, textura, forma, padrão, dimensão, tonalidade e contexto) das composições coloridas 6R5G4B e 5R6G4B. Esta última composição colorida ressalta a vegetação em tons de vermelho, cujo comprimento de onda é mais perceptível ao olho humano. As tipologias de vegetação também ficaram bem demarcadas de acordo com a textura do dossel (homogêneo ou heterogêneo), com ou sem influência de solo exposto. É importante ressaltar que a legenda das classes foi definida segundo a nomenclatura adotada pelo IBGE (1992) nas verificações em campo e na escala de trabalho (1:30.000). Além disso, também é importante ressaltar que as imagens OLI/landsat-8 datada de 23 de agosto de 2014 e sem cobertura de nuvem, foram essenciais



para que as classes de vegetação e uso do solo fotointerpretadas apresentassem o mais próximo possível da realidade atual, pois estas classes são muito dinâmicas temporalmente. O trabalho de campo foi imprescindível para esta análise.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir dos mapas compilados e gerados foi possível visualizar o ambiente físico-biótico-antrópico da região e assim obter uma base cartográfica, antes inexistente da região. Assim, apoiado em bases conceituais e tecnológicas, configurou-se um ambiente computacional que proporcionou o armazenamento das informações cartográficas relacionadas às atividades mineira-agrícolas no BDG. Este banco de dados gerado formou uma plataforma unificada de informações contendo os documentos cartográficos da área de estudo, como carta topográfica, imagens de satélite, mapas temáticos e informações alfanuméricas. O armazenamento de dados em um ambiente computacional integrado possui várias vantagens, como a concentração de informações, acesso rápido e automático, inserção de novos dados, atualizações e cruzamentos de mapas temáticos, visando obter novos produtos.

Tanto o BDG quanto o projeto foram denominados de Parelhas-Ecuador com gerenciador SQLite, na projeção UTM/WGS84 com meridiano central 24° Oeste. Apesar da escala da carta topográfica adotada ser de 1:100.000, os mapas gerados foram na escala de 1:30.000, proporcionados pelos procedimentos de restauração e fusão de imagens e trabalho de campo. O resultado do registro das imagens foi considerado satisfatório, pois obteve uma exatidão de 0,3 pixel, precisão esta de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrica Estabelecido (BRASIL, 1996).

Antes de apresentar os mapas temáticos gerados, é importante ressaltar que o conjunto de mapas deve ser simples, barato, sintético e nem por isso simplista e menos informativo ou incompleto. Os mapas, por fornecerem as informações necessárias em formato de fácil leitura e compreensão, são úteis para subsidiar as tomadas de decisões. Outras informações podem estar conectadas aos mapas por meio de tabelas, as quais podem ser acessadas e utilizadas, conforme a necessidade do usuário. E ainda, novos dados podem ser incorporados continuamente na medida em que vem sendo adquiridos e os estudos aprofundados. Esse aspecto não transparece de imediato na representação cartográfica, fato que induz crítica, frequentemente, como sendo um método demasiadamente simplório, o que mostra o desconhecimento da utilização e da importância da geoinformação.

O potencial tecnológico utilizado neste trabalho se destaca na geração, organização e centralização das informações em uma única base de dados. Estas possibilitam vários tipos de modelagem espaciais essenciais no processo de mineração, como por exemplo, a utilização de estatísticas espaciais. No momento, o foco do trabalho concentrou-se no mapeamento regional das principais características físicas, bióticas e antrópicas da área, visando ser um ponto de partida para estudos de maiores detalhes, tanto no mapeamento tradicional de campo como no uso das potencialidades das geotecnologias.

Esta breve discussão tem a finalidade de mostrar a relevância do mapeamento básico para qualquer atividade econômica que venha a ser realizada na superfície terrestre, pois é essencial o conhecimento do ambiente sobre o qual serão desenvolvidos empreendimentos que alterem a estrutura original das características ambientais, como é o caso da mineração. Além disso, para que o leitor não interprete os mapas temáticos como informações isoladas, mas sim como dados sinérgicos que podem e devem ser utilizados para o desenvolvimento apropriado nas atividades de mineração e agricultura, vocações produtivas da região, além do turismo, ainda incipiente no município de Parelhas e inexistente no município de Equador.

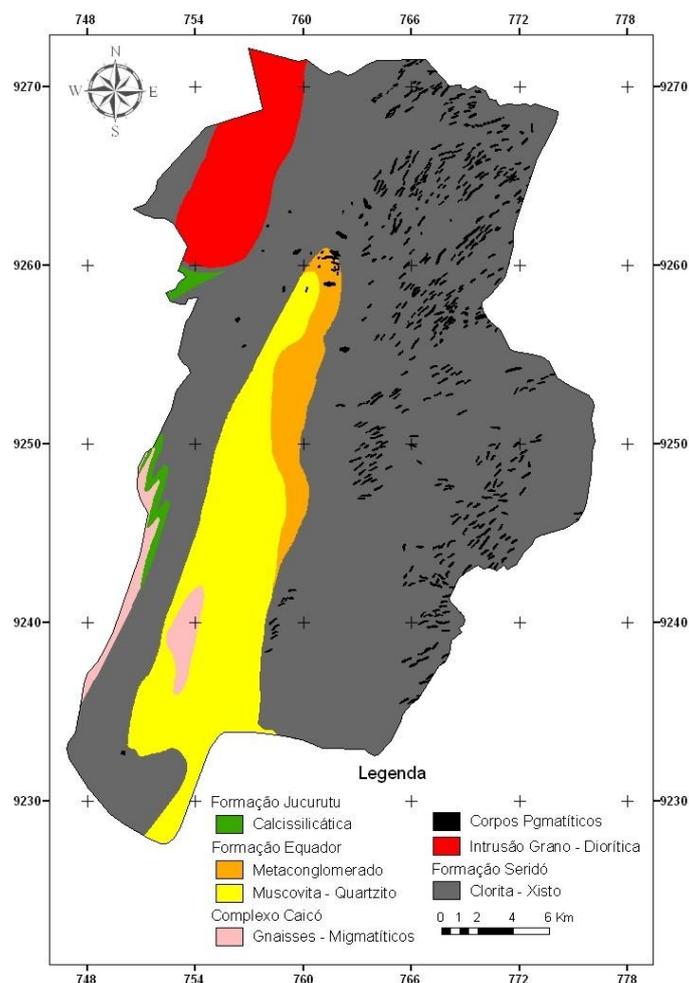
A seguir são mostrados os mapas temáticos geológico, geomorfológico, pedológico e vegetação e uso da terra (Figuras 2 a 5). Estes mapas estão armazenados no BDG nos formatos vetorial e matricial (*raster*). Desta forma, eles estão disponíveis para a integração destas informações (sobreposição a partir da estruturação de arquivos de cruzamentos de mapas) por operações de álgebras de mapas através das técnicas disponíveis em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) ou qualquer outro procedimento que auxilie no desenvolvimento socioeconômico dos municípios de Parelhas e Equador.

Descrição e discussão dos resultados

Os gnaisses migmatíticos do Complexo Caicó ocorrem em duas pequenas áreas (13km^2) a sudoeste, no limite do município de Equador e no interior da rocha muscovita-quartzito da Formação Equador. Esta formação, composta por muscovita-quartzito (107km^2) e metaconglomerado ($2,47\text{km}^2$), aflora na região central. A rocha calcissilicática da Formação Jucurutu é o menor afloramento de rocha (7km^2) no contato entre o Complexo Caicó e a Formação Seridó. Esta, a mais representativa formação da área de estudo (566km^2), está distribuída por toda a área e aloja a intrusão grano-diorítica no município de Parelhas (46km^2) e os pegmatitos (12km^2), distribuídos nos dois municípios (Figura2).



Figura 2: Mapa geológico da área de estudo.

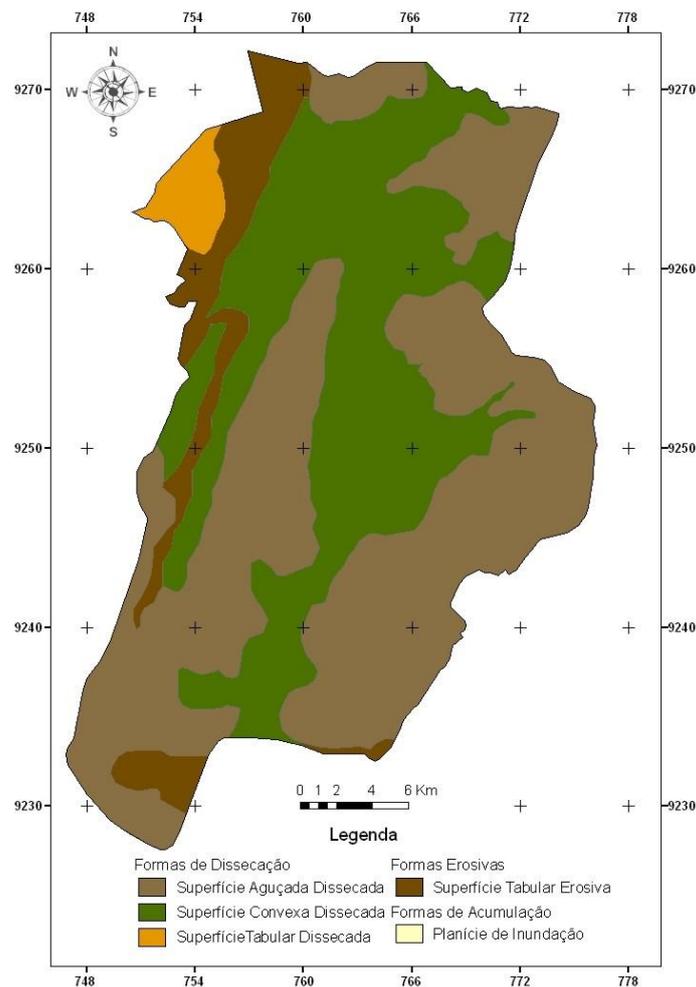


Os corpos gnáissico-migmatíticos indiferenciados do Complexo Caicó, calcissilicáticos da Formação Jucurutu e pegmatíticos não foram identificados nas imagens. Este fato é decorrente da pequena extensão na área de estudo. No entanto, em campo, a identificação destas rochas foi auxiliada pelo fácil acesso, pois os afloramentos estão entrecortados por estradas vicinais e trilhas. Por outro lado, a intrusão grano-diorítica e as rochas das formações Equador e Seridó foram facilmente identificadas nas imagens. As rochas metaconglomeráticas e muscovita-quartzíticas foram discriminadas pela rede de drenagem linear e feições de relevo proeminentes lineares. O limite entre estas rochas da Formação Equador foi definido em campo. A rede de drenagem variando entre dendrítica a levemente treliçada e a escassez de feições de relevo salientes foram determinantes na identificação da rocha clorita-xisto da Formação Seridó. A intrusão grano-diorítica destaca-se tanto na imagem como no campo pela sua forma batolítica bastante dissecada.

As formas de relevo são de dissecação, erosivo e de acumulação. Esta última, apesar de representada na legenda do mapa geomorfológico (Figura 3) não tem largura suficiente para ser

representada no mapa, pois representa 0,13% (1km²) de toda a área de estudo. No entanto, uma ideia de sua ocorrência pode ser vista no mapa pedológico (Figura 4), pois ela ocorre no interior dos neossolos flúvicos. As formas erosivas são representadas por superfície tabular (65km²); e as formas de dissecação são representadas por superfícies tabular (17km²), convexa (284km²) e aguçada (411km²). Estas duas últimas são as mais representativas, ocorrendo na Formação Seridó, a qual apresenta maior distribuição e a superfície aguçada também ocorre na Formação Equador, apresentando o mesmo contorno.

Figura 3: Mapa geomorfológico da área de estudo.



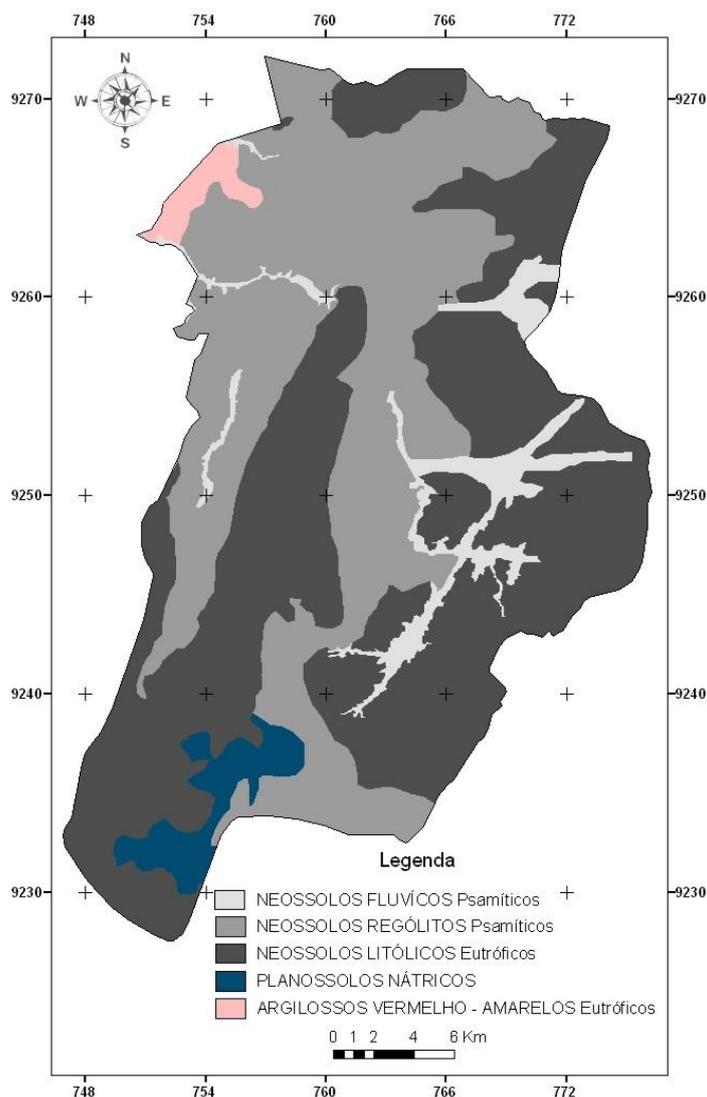
As superfícies tabulares disseçadas e erosivas foram determinadas em campo. As superfícies aguçadas e convexas apresentam-se bem proeminentes na imagem devido à alta densidade de feições relevo e de drenagem. Os limites de separação entre elas foram definidos com base na alta concentração de alinhamentos lineares de relevo da superfície aguçada e de alinhamentos curvilíneos da superfície convexa.



É importante salientar que a superfície dissecada delimita as rochas da Formação Equador. Outro fator importante é o fato das superfícies dissecadas (aguçadas e convexas) separarem a Formação Seridó em dois grupos geomorfológicos. A superfície convexa dissecada apresenta-se como formas de depósitos de tálus ao redor da Formação Equador. Por outro lado, a superfície aguçada dissecada ocorre na porção oriental da Formação Seridó, onde a rocha clorita-xisto apresenta-se em afloramentos mais proeminentes na superfície, formando relevos desprovidos de solos ou recobertos por uma camada incipiente de solos.

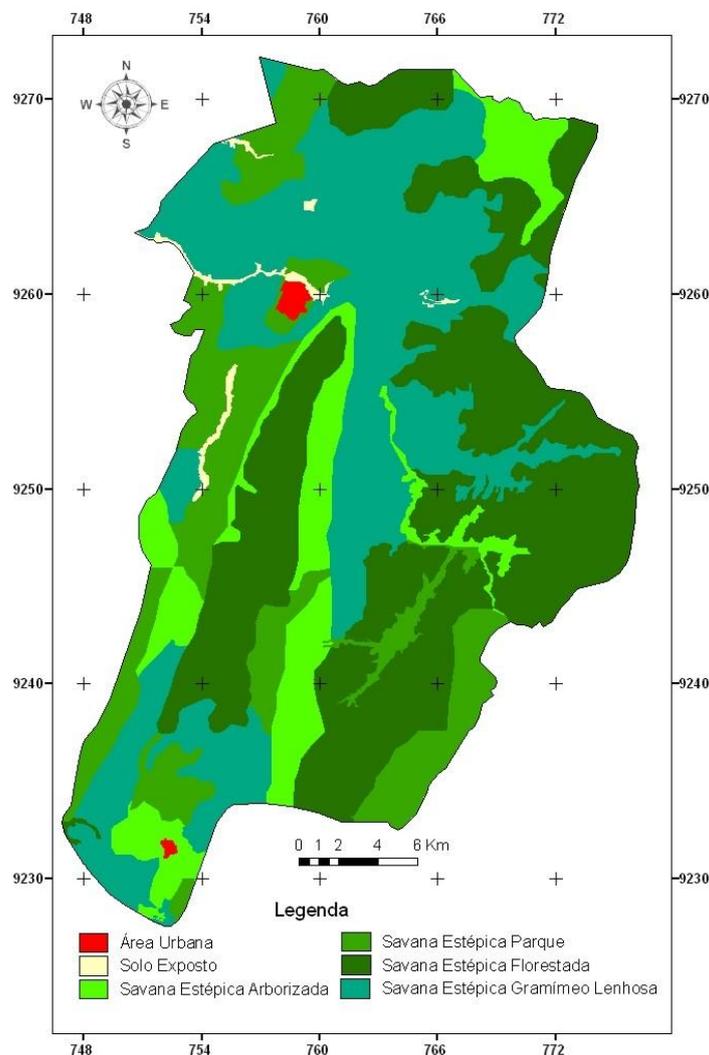
Os neossolos são os tipos de solos característicos da área de estudo (Figura 4) e são representados pelos flúvicos psamíticos (43km²), rególíticos psamíticos (307km²) e litólicos eutróficos (391km²). Estes dois últimos possuem, praticamente, a mesma distribuição das superfícies convexa e aguçada dissecadas, respectivamente.

Figura 4: Mapa pedológico da área de estudo.



Os neossolos litólicos ocorrem na superfície aguçada dissecada das formações Equador e Seridó na porção oriental. Os neossolos regolíticos estão distribuídos predominantemente na superfície convexa aguçada dissecada da Formação Seridó. Os argissolos tabulares ocorrem em uma pequena porção a noroeste da área de estudo, capeando pequenos afloramentos da Formação Seridó com relevo tabular dissecado. Os neossolos flúvicos apresentam-se em alguns trechos dos principais canais fluviais (rios intermitentes), abrangendo as planícies de inundação, que não foram representadas no mapa geomorfológico. Os planossolos estão concentrados em uma pequena porção ao sul da área de estudo, em superfícies tabular erosiva e convexa dissecada.

Figura 5: Mapa da vegetação e uso da terra da área de estudo.



O tipo de vegetação dominante na área de estudo é a Savana-Estépica (Figura 5), divididas em quatro subgrupos: arborizada (95km²), parque (134km²), florestada (278km²) e Gramíneo-lenhosa (281km²). Dentre os vários trabalhos que utilizaram esta classificação do IBGE podem ser citados Sá et al. (2009); Rodal et al. (2008) e Barros et al. (2007). Apesar do grande número de



áreas plantadas (agricultura familiar) e mineração (garimpos clandestinos), a escala de apresentação dos mapas no texto (aproximadamente 1:500.000) não é suficiente para representar estas atividades. Somente foi possível exibir 7km² do solo exposto, que geralmente representa pequenas plantações ao longo dos trechos de alguns rios intermitentes e 3m² das áreas urbanas dos dois municípios.

A vegetação estépica florestada ocorre no topo da Formação Equador e a estépica arborizada em sua base, abrangendo a superfície aguçada dissecada e sobre os neossolos litólicos e regolíticos. A vegetação estépica florestada ainda se distribui sobre os neossolos litólicos e superfície aguçada dissecada da Formação Seridó, na porção leste da área de estudo. A vegetação arborizada também ocorre ao redor da Formação Equador na porção limítrofe com o Complexo Caicó, nos depósitos de tálus, e em algumas porções nos neossolos flúvicos. A vegetação Gramíneo lenhosa distribui-se amplamente sobre a superfície convexa dissecada e neossolos regolíticos do Complexo Caicó. A vegetação parque se distribui em porções significativas por toda a área de estudo. Os aspectos fisionômicos de ação antrópica apresentaram certa variabilidade de tipos de usos da terra, mas, que em virtude das limitações impostas pela resolução espacial das imagens orbitais, impediu que as feições de uso específicas fossem inclusas no mapa. No entanto, pelo trabalho de campo, podem ser citados pequenas plantações de palma, macaxeira, agave, milho, algodão e cajueiro, compondo a classe agrícola familiar. Além disso, muitas áreas são compostas por mineração e garimpos.

A partir da apresentação e discussão dos resultados foi possível observar a grande interação entre as classes de rochas, relevos, solos e vegetações. Esta interação já foi sendo observado no processo de fotointerpretação das imagens OLI/Landsat-8 e no trabalho de campo. Os materiais auxiliares pré-existentes da CPRM, EMBRAPA, IBGE e Projeto RADAMBRASIL, citados neste trabalho, contribuíram para o sucesso do mapeamento temático da Província Pegmatítica Borborema. Verificou-se que a área de estudo é caracterizada por atributos próprios, ou seja, por uma vegetação natural desenvolvida em uma associação de solos, gerados sobre um conjunto de forma de relevo esculpido em corpos rochosos.

Para a fotointerpretação do mapa de vegetação e uso do solo, os padrões inicialmente observados nas imagens foram caracterizados segundo os parâmetros: tonalidade (alta, média alta, média baixa, baixa), cor (vermelha, verde, magenta e cian do espaço de cor RGB), textura (lisa, média lisa, media rugosa e rugosa) e forma (regular e irregular). Para a fotointerpretação dos mapas geológico, geomorfológico e pedológico, foi utilizada esta metodologia como suporte à metodologia do sistema lógico e sistemático da análise das feições de drenagens e de relevo, desenvolvido por Veneziani e Anjos (1982). Os alvos identificados na fotointerpretação foram

comprovados em campo e aqueles delimitados, mas não identificados, foram determinados em campo e utilizados como chaves para interpretação em toda a imagem. Alvos não delimitados nas imagens, mas verificados em campo, foram inseridos nos produtos finais. Terminada a interpretação visual, o cálculo das classes temáticas foi feito utilizando o comando Cálculo de Área, rotina disponível no SPRING. O cálculo de áreas foi usado em todos os mapas gerados.

CONCLUSÕES

Com base no desenvolvimento desta pesquisa, os resultados obtidos permitiram concluir que foi atingido o objetivo deste trabalho: compilar, gerar, organizar e armazenar em um BDG, ou seja, em uma única base de dados, informações espaciais e não espaciais da Província Pegmatítica Borborema inserida nos municípios de Parelhas e Equador (RN), contribuindo para a formação de uma base cartográfica (geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação e uso do solo), na escala de 1:30.000.

A premissa deste trabalho foi suprir a necessidade da geoinformatização, com materiais visuais atuais da área de estudo. Desta forma, espera-se: o aumento da competitividade do setor produtivo minerário e agropecuário, melhorando as condições de trabalho, saúde e segurança do trabalhador; a minimização dos impactos decorrentes da atividade mineraria; desenvolver medidas economicamente saudáveis, procurando acabar com as práticas de mineração predatórias e de baixo rendimento; e contribuir para o desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Norte.

Esses mapeamentos e o consecutivo armazenamento em um Banco de Bados Georreferenciado se justificam também por ser uma base de dados para estudos ambientais, pois os processos de erosão, de assoreamento e de desertificação no semiárido nordestino são intensos, onde a evaporação é maior que a precipitação e as águas pluviais não são suficientes para formar mananciais perenes, apresentando secas prolongadas e baixos índices pluviométricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem: ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico); à FAPERN (Fundação de Amparo às Pesquisas do Rio Grande do Norte) pelo apoio financeiro; e aos Departamentos de Geologia e Geociências das Universidades Federais do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Amazonas (UFAM) pelo suporte tecnológico.



REFERÊNCIAS

- BARROS, M.J.V.; ANDRADE, L.A.; ROSA, P.R.O. Diagnóstico ambiental dos fragmentos florestais do município de Areia-PB nos anos de 1986 e 2001. **Geografia**, v.16, n.2, p.63-84, 2007.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 23).
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia e Comissão de Cartografia. **Cartografia e aerolevanteamento – legislação**. Brasília, p.26-27. 1996.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE. 139p, 1996.
- CÂMARA, G, SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n.3, p.395-403, 1996.
- CARVALHO, G.A., LANDER, B.F. **Georreferenciamento no SPRING**. Belo Horizonte: UFMG, 11p. 2007.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto CPRM**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2012.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Caracterização dos recursos naturais de uma área piloto do núcleo de desertificação do Seridó, estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. Disponível em: www.uep.cnps.embrapa.br/publicacoes/ >. Acesso em: 15 nov. 2012.
- IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira** (Manuais Técnicos de Geociências). Rio de Janeiro: IBGE. 92p. 1992.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher. 3 Edição, 388p. 2008.
- RODAL, M.J.N.; MARTINS, F.R; SAMPAIO, E.V.S.B. Levantamento quantitativo das plantas lenhosas em trechos de vegetação de caatinga em Pernambuco. **Revista Caatinga**, v.21, n.3, p.192-205, 2008.
- SÁ, I.B.; TAURA, T.A.; CUNHA, T.J.F. Mapeamento vegetal da Bacia Hidrográfica do São Francisco. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, **Anais...**São José dos Campos, p.6305-6312, 2009.
- SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing models and methods for image processing**. New York: Academic Press. 552p, 1997.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE. 54 p, 1982.

Recebido em 11 de novembro de 2014

Aprovado em 27 de abril de 2015

